

R. 30905

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

13932964

Rozo



UNIVERSIDAD de SEVILLA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA.
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS I.

UNIVERSIDAD DE SEVILLA
SECRETARÍA GENERAL

Quedan registradas esta Tesis Doctoral
al libro 177 número 92 del libro
correspondiente.
Sevilla, 6 JUN. 2002

El Jefe del Departamento de Tesis
Rosario Marín

**EL SONIDO DEL ESPACIO ECLESIAL EN CÓRDOBA.
EL PROYECTO ARQUITECTÓNICO COMO PROCEDIMIENTO ACÚSTICO.**

TESIS DOCTORAL.
Abril 2002

Autor:

RSM

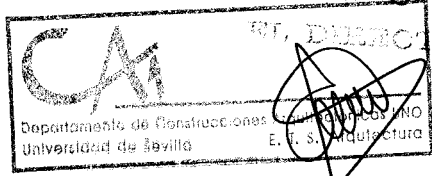
RAFAEL SUÁREZ MEDINA

Directores:

[Signature]

Dr. JAIME NAVARRO CASAS

UNIVERSIDAD DE SEVILLA
Depositado en Dpto. Const. Arquitectónicas
de la E.T.S. de Arquitectura
de esta Universidad desde el día 10/06/02
hasta el día 26/06/02
Sevilla, 26 de Junio de 2002

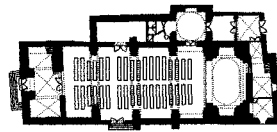


El Director del Dpto.
[Signature]

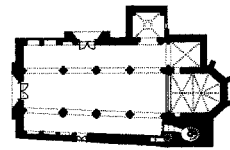
Dr. JUAN JOSÉ SENDRA SALAS.



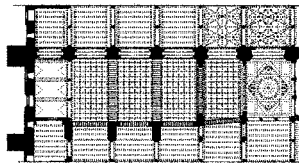
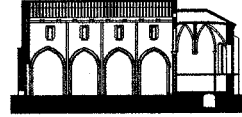
SANTA MARIA DE LA MOTA. MONFORO.



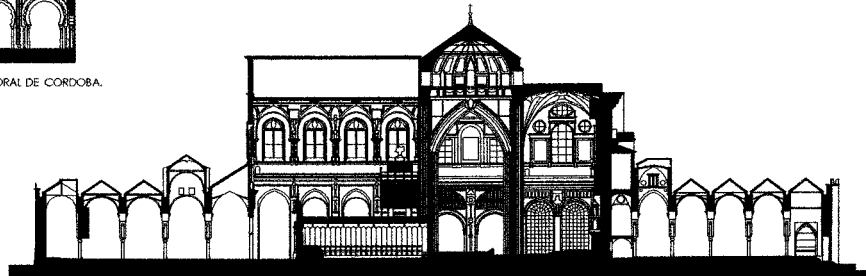
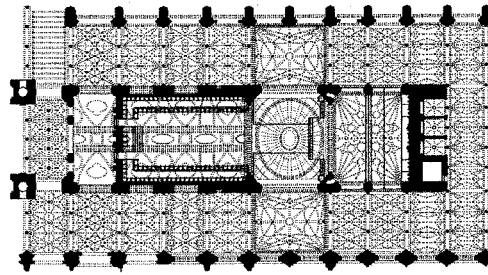
SANIAGO. DOS TORRES.



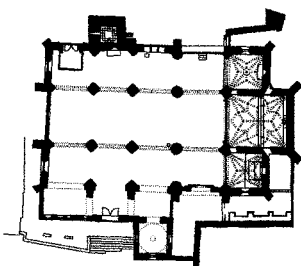
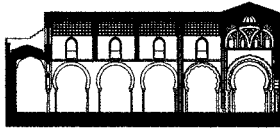
SANTA MARIA MAGDALENA. CORDOBA.



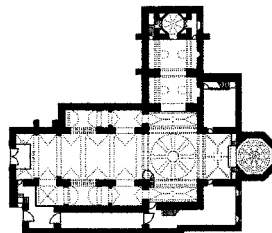
CAPILLA DE VILLAVICIOSA. MEZQUITA-CATEDRAL DE CORDOBA.



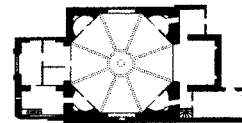
CATEDRAL DE SANTA MARIA DE LA ASUNCION. CORDOBA.



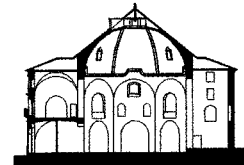
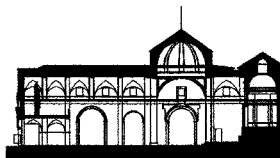
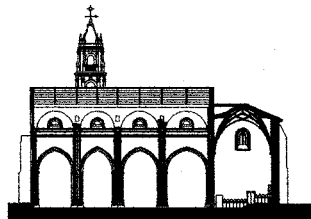
SANTA MARIA LA MAYOR. BAENA.



SAN PEDRO. PRIEGO DE CORDOBA.



SAN JUAN DE DIOS. MONTILLA.



EL SONIDO DEL ESPACIO ECLESIAL EN CORDOBA. EL PROYECTO ARQUITECTÓNICO COMO PROCEDIMIENTO ACÚSTICO.

TESIS DOCTORAL que presenta Rafael Suárez Medina, arquitecto, para optar al grado de Doctor.

A Tere y a mis hijos Teresa y Rafael.

Agradecimientos.

Abordé este trabajo atraído por la investigación sobre acústica de iglesias de los directores de esta Tesis, los doctores Jaime Navarro Casas y Juan José Sendra Salas, que reanimaron la llama que comenzó en mi etapa de estudiante, siendo becario en su departamento, cuando me iniciaron en el campo de la acústica arquitectónica dentro del ámbito teatral. Quiero agradecerles el apoyo prestado durante el tiempo de realización de este trabajo, su disponibilidad y dedicación.

Mi agradecimiento al profesor Dr. Teófilo Zamarreño y a Miguel Galindo por su inestimable ayuda en la realización de las mediciones acústicas, base sobre la que se cimenta gran parte de este trabajo.

Especial gratitud al Dr. Angel Luis León por su abnegación al proporcionarme útiles ayudas respecto de la utilización de los modelos informáticos y cuantas precisiones he necesitado, allanándome en todo momento el camino.

Agradezco también profundamente a Raúl Hernández por su valiosa colaboración en el levantamiento de planos y preparación de la documentación gráfica.

A los arquitectos de la delegación de Cultura de Córdoba por su ayuda en el rastreo de proyectos de rehabilitación de iglesias y en la recopilación de información; y a los arquitectos de los proyectos de rehabilitación, por facilitarme toda la documentación que les he solicitado.

Mi deuda se extiende a María Dolores Vella, dadas mis carencias en los aspectos musicales, por los consejos y orientaciones bibliográficas que me proporcionó, así como al Dr. Juan Antonio Caballero por despejarme las dudas matemáticas.

No quiero olvidar en estas líneas al personal y responsables de las iglesias estudiadas, por todas las facilidades que me han prestado, y en especial al canónigo obrero de la Mezquita-Catedral, don Juan Moreno.

Este trabajo no podría haberse concluido sin el concurso de un puñado de amigos que me entregaron su dedicación y apoyo, evitando que se haya erosionado este trabajo con el paso del tiempo.

Y por obvio dejo para el final el reconocimiento debido a mi familia: a mi mujer, Tere, sufridora paciente del disparatado espectáculo doméstico y destinataria de mis cambios de humor; a mi padre, por su paciencia y minuciosa dedicación en la realización de las maquetas; y a mi madre que ha seguido expectante, durante estos años, la elaboración de un trabajo que parecía interminable, deseosa de que por fin lo acabara.

Índice.

INTRODUCCIÓN	11
1. ANÁLISIS Y METODOLOGÍA DE INTERVENCIÓN EN LA REHABILITACIÓN ACÚSTICA DE IGLESIAS.	21
▪ Evolución histórica de las iglesias de Córdoba.	24
Primera arquitectura cristiana tras la conquista de Córdoba.	24
De la tradición mudéjar al gótico humanista.	30
Las iglesias renacentistas y tridentinas.	32
La arquitectura de los siglos XVII y XVIII.	35
Epílogo.	39
▪ Intervenciones en edificios históricos. Criterios de proyecto.	41
▪ Condiciones acústicas y metodología en la rehabilitación de iglesias.	45
El problema de las condiciones acústicas en la rehabilitación de iglesias.	46
Metodología y procedimientos de corrección acústica en iglesias	47
2. IGLESIA DE SANTA MARÍA DE LA MOTA. MONTORO.	63
▪ Reseña histórica.	65
▪ Análisis acústico del estado actual.	67
▪ Propuesta de intervención.	76
3. IGLESIA DE SANTIAGO. DOS TORRES.	89
▪ Reseña histórica.	91
▪ Análisis acústico del estado actual.	93
▪ Propuesta de intervención.	103
4. IGLESIA DE SANTA MARÍA MAGDALENA. CÓRDOBA.	115
▪ Reseña histórica.	117
▪ Análisis acústico del estado actual.	120
▪ Propuesta de intervención.	129
5. CAPILLA DE VILLAVICIOSA. MEZQUITA-CATEDRAL DE CÓRDOBA.	141
▪ Reseña histórica.	143
▪ Análisis acústico del estado actual.	147
▪ Propuesta de intervención.	157

6. CATEDRAL DE SANTA MARÍA DE LA ASUNCIÓN. CÓRDOBA	171
▪ Reseña histórica.	173
▪ Análisis acústico del estado actual.	178
▪ Propuesta de intervención.	192
7. IGLESIA DE SANTA MARÍA LA MAYOR. BAENA.	213
▪ Reseña histórica.	215
▪ Análisis acústico del estado actual.	218
▪ Propuesta de intervención.	228
8. IGLESIA DE SAN PEDRO. PRIEGO DE CÓRDOBA.	245
▪ Reseña histórica.	247
▪ Análisis acústico del estado actual.	250
▪ Propuesta de intervención.	260
9. IGLESIA DE SAN JUAN DE DIOS. MONTILLA	275
▪ Reseña histórica.	277
▪ Análisis acústico del estado actual.	280
▪ Propuesta de intervención.	288
10. CONCLUSIONES.	307
Adecuación de la metodología acústica	310
Adaptación de las propuestas al uso previsto.	313
Instrumentos de intervención acústica en iglesias.	315
BIBLIOGRAFÍA.	329
APÉNDICES	
1. Equipo de medida e instrumentación.	343
2. Iglesia de Santa María de la Mota. Montoro.	349
3. Iglesia de Santiago. Dos Torres.	367
4. Iglesia de Santa María Magdalena. Córdoba.	385
5. Capilla de Villaviciosa. Mezquita-Catedral de Córdoba.	401
6. Catedral de Santa María de la Asunción. Córdoba.	413
7. Iglesia de Santa María la Mayor. Baena.	435
8. Iglesia de San Pedro. Priego de Cordoba.	454
9. Iglesia del antiguo hospital de San Juan de Dios. Montilla.	469
10. Coeficientes de absorción.	491

"Yo caminaba, mientras oía la campanilla que intentaba penetrar en los estratos más profundos de mi conciencia: la oía pero no la escuchaba. Hasta que de pronto aquel sonido tenue pero penetrante y obsesivo pareció tocar alguna zona sensible de mi yo... Comprendí a partir de aquel día que no era posible dejar transcurrir un solo instante más y que debía iniciar ya mismo la exploración de aquel universo tenebroso." ¹

INTRODUCCIÓN.

En los últimos años se ha puesto de manifiesto la creciente importancia que se da al patrimonio cultural, y hemos asistido a una política de gestión integral y sostenida de dicho patrimonio, que se refleja, por ejemplo, en la puesta en marcha de programas de recuperación del patrimonio histórico andaluz. Estos programas se cimentan en unas buenas relaciones entre la Junta de Andalucía, Ayuntamientos y la Iglesia, lo cual se ha materializado, mediante acuerdos y convenios, en una continua restauración de los templos, en una constante preocupación por mantener, utilizar y conservar el legado histórico, y en una puesta en valor de las iglesias, todo ello dentro de una política que entiende la conservación del patrimonio como un factor de desarrollo económico y social.

La necesidad de rentabilizar socialmente el esfuerzo económico, plantea iniciativas que favorezcan la vinculación entre sociedad y monumento, tanto desde un enfoque emblemático-cultural o religioso como de la misma revitalización de sus usos. Por lo tanto, estas intervenciones han consistido en recuperar, rehabilitar o acondicionar a nuevos usos las iglesias; bien actuando sobre monumentos o bien sobre iglesias que sin ser arquitectura de primerísima magnitud, son piezas de relevante importancia en nuestra herencia histórica.

Quedan atrás las pérdidas de parte de nuestro patrimonio bien por pasividad o por diferentes tipos de presiones. Gracias tanto a su buena localización en los centros urbanos, como a sus características artísticas e históricas propias, las iglesias deben volver a ser centros orgánicos con una utilidad frecuente, ya que mantienen su valor instrumental y poseen capacidad para ser utilizadas de modo práctico para otros usos, por lo que los proyectos de rehabilitación de espacios eclesiales, destinados principalmente a usos culturales (uso teatral, musical, sala de conferencias o sala multiusos), han sido numerosos.

En estos espacios se suelen realizar intervenciones que respetan los valores arquitectónicos, buscando el efecto de simplicidad y abstracción inmaterial, lo cual genera pulcras operaciones de limpieza formal para acondicionamiento al nuevo uso, que presentan un carácter más conceptual que sensorial², olvidándose por lo general dar respuesta a los condicionantes de la acústica, generándose importantes fracasos funcionales por deficiencias acústicas. La principal característica acústica de estos espacios, dado su gran volumen, es su carácter reverberante; además suelen presentar inadecuadas dimensiones, paredes reflectantes y complejas formas que alteran la distribución sonora, lo que, unido a la excesiva reverberación, da lugar a una pobre inteligibilidad de la palabra y una escasa claridad musical.

A lo largo de la historia, la liturgia y la búsqueda de la belleza arquitectónica han definido la morfología de las iglesias, siendo posteriormente la iglesia el espacio donde se ha desarrollado la música, pues es allí donde nace la música occidental. Por consiguiente, a priori es un espacio pensado para la palabra (predicación) y la música litúrgica. La percepción de la música no puede desvincularse de la acústica del espacio donde se interpreta, de manera que cada época tiene sus preferencias para oír la música y cada estilo musical tiene un entorno acústico óptimo para su interpretación. Los compositores, en ocasiones, escribían su música acomodándola para el lugar donde iba a ser interpretada³, además el músico y el director adaptan su interpretación a la acústica de la sala, siendo la iglesia el último instrumento de la orquesta⁴.

Tradicionalmente, se le ha asignado a las iglesias un buen comportamiento acústico⁵, lo cual no es del todo correcto, por lo que generalmente no se ha considerado su acústica cuando se ha afrontado un proyecto de rehabilitación para adaptarlas a usos culturales⁶. Además estos espacios presentan la dificultad de conciliar dos aspectos en un principio contradictorios: que sean adecuados para diferentes tipos de música y al mismo tiempo se pueda escuchar bien el mensaje oral, lo que implica distintos tiempos de reverberación.

Nuestra investigación, se propone el estudio acústico del espacio eclesial, y el empleo de la intervención arquitectónica, desde el proyecto de rehabilitación, como mecanismo para el acondicionamiento acústico de estos edificios. A partir del adecuado diseño arquitectónico de determinados elementos (formas, materiales y texturas que presentan una intención acústica), se pretende resolver las disfunciones acústicas que estos espacios suelen presentar, siendo espacios en los que se va a necesitar una buena inteligibilidad de la palabra o una buena audición musical. Se supone una transmisión natural del sonido, sin ningún tipo de aporte electroacústico.

El campo de actuación es extenso, por lo que se ha acotado geográficamente y temporalmente, restringiéndose a la provincia de Córdoba y sobre iglesias construidas desde la reconquista (1236) hasta el siglo XVIII.

Las investigaciones precedentes en el campo de la acústica de iglesias son escasas, siendo reseñables los siguientes trabajos:

- Distintos análisis acústicos de iglesias barrocas luteranas en Alemania⁷ a partir de la medición del tiempo de reverberación, comprobándose las adecuadas propiedades acústicas de estos templos.
- Estudio acústico de la basílica de San Pedro y las basílicas romanas de San Juan de Letrán, San Pablo Extramuros y Santa María la Mayor⁸, en las que se analiza el comportamiento acústico de grandes espacios, mediante la medida del tiempo de reverberación, que depende principalmente del grado de acoplamiento de los diferentes espacios existentes en cada templo (obteniendo los coeficientes de absorción virtuales), así como de la cantidad de sonido difuso.
- Mediciones de ocho iglesias ortodoxas en Tesalónica⁹ determinando el coeficiente de absorción virtual de espacios acoplados.

- Trabajos en la catedral de San Pablo de Londres¹⁰ en los que se estudia el tiempo de reverberación, la distribución sonora y el índice RASTI, confirmando la inadecuada acústica de este espacio, a pesar de ser lugar tradicional de conciertos corales y de orquesta.
- Medición acústica de 30 mezquitas de Amman en Jordania¹¹ que incluye tiempo de reverberación, RASTI, nivel de ruido de fondo, EDT y relación señal ruido, demostrando la escasa inteligibilidad, y el generalmente elevado tiempo de reverberación que presentan estos espacios.
- Estudio de la acústica de iglesias ortodoxas serbias¹² de diferentes estilos, mediante la medición del tiempo de reverberación, valorando la influencia de las formas volumétricas y las costumbres ortodoxas en el diseño de los interiores de estos templos.
- Acústica de iglesias portuguesas¹³ (desde la época visigótica hasta iglesias contemporáneas). Se realizaron medidas in situ de parámetros acústicos objetivos (tiempo de reverberación, RASTI, claridad musical, definición...) y se relacionan con parámetros subjetivos y arquitectónicos de cada iglesia.
- Estudio de 150 iglesias suizas¹⁴ de diferentes épocas (románicas, góticas, barrocas, neoclásicas y modernas), tanto católicas como protestantes, en las que se analizan principalmente el tiempo de reverberación y el índice RASTI.
- Acústica de las iglesias gótico-mudéjares de Sevilla¹⁵, donde se analiza acústicamente este tipo eclesial de iglesia de tres naves con cubierta de madera y presbiterio abovedado, valorando a partir de las mediciones in situ, los parámetros de tiempo de reverberación, RASTI, distribución sonora y ruido de fondo. Este tipo eclesial se caracteriza por un razonable comportamiento acústico.

La mayoría de los trabajos tratan el conocimiento de las condiciones acústicas de las iglesias, fundado en mediciones in situ, y el posterior análisis de las relaciones entre las características arquitectónicas y las acústicas, pero falta una visión global que aporte a la problemática detectada, soluciones y medidas correctoras para la obtención de la calidad sonora que se demanda a estos espacios eclesiales¹⁶, por lo que nos estimula a intentar abordar, en la medida de nuestras posibilidades, este tipo de estudios más integrales.

Pensamos que resultaría interesante aportar nuevos datos y formas de entender la variedad y complejidad de la rehabilitación acústica, sobre un tipo de edificio tan extendido y sobre el que tanto se interviene en la actualidad, como son las iglesias, lo cual ayudará a considerar una serie de planteamientos antes de afrontar intervenciones sobre este tipo de edificaciones.

El método empleado en el presente trabajo ha sido primeramente el análisis del elemento arquitectónico en sus distintos niveles; habrá que examinar los valores, los problemas y las contradicciones específicamente arquitectónicas, para permitir posteriormente dar respuesta desde una propuesta de intervención. El edificio se manifiesta desde una doble vertiente: como objeto arquitectónico y como testimonio histórico, por lo que se hace necesario un rigor científico en el conocimiento del elemento, la búsqueda de una diagnosis exacta de su problemática, y el planteamiento de una respuesta adecuada a la problemática, con libertad creativa en el diseño de las soluciones formales¹⁷.

Dentro de la fase de análisis distinguiremos tres partes:

- En toda intervención en el patrimonio histórico ha de existir respeto por la historia y un profundo conocimiento del edificio sobre el que se va a intervenir, por lo que se plantea el análisis de las condiciones históricas, evolutivas y compositivas de las iglesias de la provincia de Córdoba.
- Reflexión sobre los criterios de intervención en el patrimonio histórico, el análisis de los medio previos al proyecto arquitectónico y las relaciones entre espacio, forma y función.
- Estudio de la problemática concreta de la rehabilitación acústica de iglesias y de la metodología para la corrección acústica a seguir, mediante la definición de la medición in situ, diagnosis y objetivos.

Esto nos permite construir un marco conceptual dentro del cual nos moveremos con unas definiciones operativas concretas, que serán desarrolladas en el capítulo primero.

La especificidad de la obra de arquitectura y de la problemática que se plantea en este tipo de intervenciones, hace que cada iglesia presente unas características acústicas diferentes y específicas. Así, lejos de plantear unos criterios de generalidad sobre las intervenciones, que aportarían una serie de criterios poco precisos y el establecimiento de una especie de teoría¹⁸; se elude esa posible sistematización, y se ha preferido acudir al análisis de casos concretos.

El basar el análisis en técnicas y procedimientos objetivos, no elude que esté impregnado por el recuerdo o la imaginación, por lo que se puede considerar el análisis como parte del proyecto de intervención¹⁹.

Del análisis evolutivo y compositivo previo, surge un conjunto de tipos representativos de la evolución histórica de la iglesia en la provincia de Córdoba. Se seleccionan una serie de iglesias que han sufrido intervenciones de rehabilitación, más o menos significativas, para adaptarlas a nuevos usos o para destinarlas al uso litúrgico, siendo cada una de estas iglesias representativas de una tipología concreta, presentando, por lo tanto, una adecuada proyección general.

Sobre estos casos concretos se aborda el proyecto arquitectónico como procedimiento de acondicionamiento acústico de estos espacios. Se plantea como pauta, la conservación de los condicionantes y requisitos de programa y uso definidos por el promotor, así como el mantenimiento, a priori, de los criterios de intervención seguidos por los arquitectos autores de los proyectos de rehabilitación sobre cada una de las iglesias. Se incorporan los elementos y materiales necesarios para su corrección acústica, siempre dentro del marco conceptual definido por la fase previa de análisis y de las claves intencionales y de unidad estilística con las que se ha abordado cada proyecto. Sólo en aquellos casos, en los que se consideren inapropiadas funcionalmente las intervenciones propuestas en los proyectos de rehabilitación, o que no se adapten al marco conceptual definido, se optará por aportar soluciones formales originarias, con propuestas más personales.

La necesidad de dar respuesta satisfactoria, tanto para la palabra como para la música, nos llevará a necesitar un cierto grado de versatilidad en las soluciones aportadas, siendo difícil en estos espacios modificar su volumen, utilizándose principalmente soluciones de absorción adicional.

Durante los siguientes capítulos del trabajo (capítulos 2 a 9) abordaremos el estudio de cada una de las iglesias seleccionadas. El criterio cronológico de los tipos a los que representan, permite ir conformando la evolución acústica del tipo eclesial de la provincia de Córdoba. La primera arquitectura cristiana tras la reconquista queda representada por la iglesia de Santa María de la Mota de Montoro; la iglesia de Santiago de Dos Torres representa la tipología de iglesias de la zona de los Pedroches con arcos diafragma; la iglesia de Santa María Magdalena de Córdoba surge como prototipo de iglesia fernandina; el gótico humanista se manifiesta en la iglesia Santa María la Mayor de Baena; San Pedro de Priego de Córdoba es la muestra del barroco cordobés; y la iglesia del antiguo Hospital de San Juan de Dios de Montilla es la aportación barroca de planta centralizada.

Mención aparte merece los dos casos de actuaciones en la mezquita-catedral, en los que actualmente se compaginan el culto con las actividades culturales, no pudiendo extenderse como modelo a otros templos de la provincia, pero que, por su singularidad, se han considerado de gran interés. Por consiguiente, se estudia la primera intervención en la mezquita, la catedral del siglo XV en la capilla de Villaviciosa y la posterior intervención del siglo XVI con la construcción de la capilla mayor y el coro de la iglesia.

Finalmente, en el capítulo décimo, completamos nuestro trabajo intentando sintetizar el análisis y el conjunto de soluciones acústicas empleadas, de forma que puedan servir de pautas para la recuperación funcional de los espacios eclesiales, mediante el proyecto arquitectónico como vehículo por el que se ha de encauzar esta labor. Estas soluciones no se presentan como la única y mejor solución, sino como una de las muchas variantes, y abren el camino a nuevas interpretaciones y actuaciones.

NOTAS.

¹ SABATO, E. *Sobre héroes y tumbas*. Seix Barral, Barcelona 1984, pp. 289-290.

² "La consciencia de la modernidad y el equilibrio entre los sentidos ha evolucionado gradualmente hacia una preponderancia indiscutible del sentido de la visión... Como consecuencia de un creciente poder de la visión sobre otros reinos sensoriales, la arquitectura se ha convertido en una forma artística basada en una imagen visual instantánea... Nuestros edificios han perdido la opacidad y profundidad, su capacidad de invitación y descubrimiento sensoriales, su misterio y sombra". PALLASMAA, J. "Hapticidad y tiempo. Notas acerca de la arquitectura frágil" en *Pasajes de arquitectura y crítica* n° 30. América Ibérica, Madrid 2001, p. 34.

³ Son reseñables algunos casos de música compuesta para el lugar donde va a ser interpretada, como las tempranas composiciones litúrgicas de Perotinus para la catedral de Notre Dame de París hacia el año 1200, los efectos musicales de Gabrielli en el siglo XVII en San Marcos de Venecia, La Pasión según San Matero y la Misa en si menor de J.S. Bach, escritas especialmente para la Thomaskirche de Leipzig, las composiciones de Mendelssohn para la catedral de San Pablo de Londres o el Requiem de Berlioz para la iglesia de los Inválidos de París.

⁴ "Creo que una sala de conciertos no es más que una instrumento grande, el mayor de todos, el que hace sonar a todos". GARCÍA DE PAREDES, J.M. *Paseo por la arquitectura de la música*. Discurso en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, Madrid 1986, p. 39.

⁵ Hasta que en este siglo se ha realizado una aproximación científica, diversos mitos han tratado de dar respuesta a las características acústica de algunas salas. Adolf Loos afirmaba en su ensayo "*Das Mysterium der Akustik*" que las salas adquirían su magnífica acústica cuando se interpretaba en ella música de calidad y era gradualmente absorbida por sus muros.

⁶ Las actuaciones musicales actuales en las iglesias se adaptan a nuestro gusto musical, al placer estético y difieren de los valores musicales y la función de la música religiosa de otras épocas, cargada de significados simbólicos y alegóricos, fruto de otros valores estéticos.

⁷ LOTTERMOSE, W. "Nachhallzeiten in Barockkirchen" *Acustica* n° 2 (1952), pp. 109-111, KEIBS, L. y KUHL, W. "Akustik der Thomaskirche in Leipzig" *Acustica* n° 9 (1959), pp. 365-370 y SCHADER, S., SCHUBERT, G. y LÜSCHER, E. "Akustische Gesichtspunkte bei der Gestaltung von Sakralräumen" *Detail* 4/81, München 1981, pp. 478-482.

⁸ SHANKLAND, R.S. y SHANKLAND H.K. "Acoustics of St. Peter's and patriarchal basilicas in Rome" *Journal of the Acoustical Society of America* N° 50(2), 1971, pp. 389-396.

⁹ TZEKAKIS, E. "Data on the Acoustics of the Byzantine Churches of Thessaloniki" *Acustica* n° 43 (1979), pp. 275-279.

¹⁰ ANDERSON, J. y JACOBSEN, T. "RASTI measurements in St. Paul's Cathedral, London" Brüel & Kjaer. Glostrup; ANDERSON, J. y BRATOS-ANDERSON, J.S. "St. Paul's Cathedral London, as a concert hall" 6º Congreso internacional sobre sonido y vibraciones. Technical University of Denmark. Lyngby. Julio, 1999 y LEWERS T.H. y ANDERSON, J. "Some Acoustical Properties of St Paul's Cathedral, London", 1984 n° 92(2), pp. 285-297.

¹¹ ABDELAZEEZ, M.K., HAMMAD, R.N. y MUSTAFA, A. "Acoustics of King Abdullah Mosque". *Journal of the Acoustical Society of America* n° 90(3), 1991, pp. 1441-1445 y HAMMAD, R.N.S. "RASTI Measurements in Mosques in Amman, Jordan" *Applied Acoustics* 30 (1990), pp. 335-345.

¹² MIJIC, M. "Reverberation time in Serbian Orthodox workshop spaces", en la dirección <http://asa.aip.org/web2/asa/abstracts/search4/asa1055.html>.

¹³ Desarrollado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Oporto, coordinando el equipo Antonio Pedro Oliveira de Carvalho. Se pueden consultar los trabajos reseñados en la dirección www.fe.up.pt/~carvalho/igrejas.htm y en la bibliografía.

¹⁴ DESARNAULDS, V., BOSSONEY, S. y EGGENSCHWILER, K. "Studie zur Raumakustik von Schweizer Kirchen" en *DAGA* 98, pp. 710-711 y EGGENSCHWILER, K. y BASCHNAGEL, K.

"Aktuelle Aspekte der Kirchenakustik" en *Schweizer Ingenieur und Architekt* nº 25, 1999, pp. 8-12. Estos trabajos se pueden consultar en la dirección www.arch.ethz.ch/eggenschwiler.

¹⁵ SENDRA, J.J., ZAMARREÑO, T. y NAVARRO, J. *La acústica de las iglesias gótico-mudéjares de Sevilla*. I.U.C.C. ETSA de Sevilla, Sevilla 1999.

¹⁶ Véase SENDRA, J.J., ZAMARREÑO, T., NAVARRO, J. y ALGABA, J. *El problema de las condiciones acústicas en las iglesias: principios y propuestas para la rehabilitación*. I.U.C.C. ETSA de Sevilla, Sevilla 1997, pp. 103-139 donde aparecen tres ejemplos de corrección acústica, la iglesia del Hospital de las Cinco Llagas de Sevilla adaptada a Parlamento Andaluz, iglesia del convento de S. Francisco de Baeza para uso cultural y la iglesia del convento del Carmen de Vélez-Málaga rehabilitada como teatro.

¹⁷ GONZÁLEZ, A. "Por una metodología de la intervención en el patrimonio arquitectónico" *Monumentos y proyectos. Jornadas sobre criterios de intervención en el patrimonio arquitectónico*. Ministerio de Cultura, Madrid 1990, pp. 43-51. Establece siete puntos básicos del método, que se resumen en: lectura previa, exploración física del edificio, diagnosis y definición de objetivos, el diseño de los mecanismos de intervención, la revisión continua de los mecanismos, participación de los usuarios y la difusión de la obra.

¹⁸ "Una buena acústica es más una experiencia empírica y de buena suerte que una ciencia sistemática basada en el diseño" KUTTRUFF, H. "On the acoustics of auditoria" en *Building Acoustics*, vol. 1 nº 1 p. 27, citado en McMINN, T. "A little Acoustics History: Spaces used for Speech" en <http://puffin.curtin.edu.au/~mcminn/papers/aas95-p1.htm>.

¹⁹ Existe una similitud con el trabajo del arqueólogo, que utiliza los vestigios encontrados para formular, una hipótesis de reconstrucción de la realidad investigada. "Hoy sabemos que [los estudios arqueológicos] partiendo de su propio rigor filológico desembocan en una intensa tarea de imaginación y de invención. La obsesión analítica por el objeto amado, al traducirse en medidas y levantamientos, en clasificaciones y catálogos, conduce insensiblemente al territorio del sueño y de las ideas, alimentando la construcción de un mundo de formas paralelas. Esta mezcla de rigor, de obsesión y de invención, puede arrojar mucha luz sobre la relación análisis-proyecto". VITALE, D. "Análisi urbana e architettura" en *Urbanística* nº 82, febrero 1986, p. 16.

" Con esta tensión de la poesía por rescatar el tiempo perdido, su vocación quizá, se enlaza el que la poesía primera que no es dado conocer sea lenguaje sagrado, verdadero prólogo de lo que llamamos historia. Lenguaje sagrado que se escucha en las formas y en las fórmulas de la liturgia. Más claro está que estas fórmulas sacras de la liturgia son para el que las consume vehículos del misterio, misteriosa verdad que vivifica." ¹

1. ANÁLISIS Y METODOLOGÍA DE INTERVENCIÓN EN LA REHABILITACIÓN ACÚSTICA DE IGLESIAS.

Entre los objetivos que nos marcamos a la hora de abordar el presente trabajo de investigación, no se encuentra el establecer un cuerpo teórico general de acústica para ser aplicado a la rehabilitación de iglesias, ya que la diversidad y complejidad del comportamiento acústico de estos recintos, hace difícil este tipo de planteamientos basados en generalidades, por lo que, en busca de la máxima calidad acústica posible del mensaje sonoro, se hace necesaria una aplicación puntual, sobre cada iglesia, de la metodología de intervención para posteriormente abordar soluciones a través del proyecto arquitectónico.

Así pues, en este capítulo pretendemos asentar las bases sobre las que se establecerán las posteriores intervenciones en cada iglesia, desde el análisis de tres aspectos:

- Evolución histórica de las iglesias de Córdoba: acercándonos a la realidad arquitectónica mediante su conocimiento histórico, el análisis tipológico y su repercusión acústica.
- Intervenciones en edificios históricos y criterios de proyecto: fijando unos criterios de proyecto específicos sobre cómo debe acometerse una intervención en este tipo de edificios.
- Problemática y metodología en la rehabilitación acústica de iglesias. Tratando de descubrir las relaciones internas existentes entre el hecho arquitectónico y su respuesta acústica, mediante el empleo de una metodología anteriormente contrastada², y la valoración de los parámetros acústicos para conseguir mediante un adecuado diseño, el acondicionamiento acústico de la iglesia.

El objetivo a establecer dentro de cada espacio será el garantizar la máxima calidad acústica, absorbiendo el exceso de energía sonora, evitando cualquier tipo de deficiencia acústica y de molestia al público, por lo que, tras el diagnóstico del comportamiento acústico de cada iglesia, se obtendrá un abanico de posibles soluciones que mejoren las condiciones acústicas de ese espacio.

Evolución histórica de las iglesias en Córdoba.

En el año 1236 Fernando III hace su entrada en Córdoba, encontrando una ciudad y unos núcleos urbanos islámicos, con sus centros administrativos, económicos, religiosos y culturales. Así pues, la herencia musulmana dejada a los cristianos no se limitó a un esquema urbano, sino que consistió también en numerosos edificios que se reutilizarían, mezquitas, casas, baños, etc., como contenedores de nuevas funciones.

La conquista de una ciudad musulmana y la implantación, sin precedente alguno, del culto cristiano, obligó a los castellanos leoneses a utilizar, como se venía haciendo en Castilla desde el siglo XI, toda la infraestructura religiosa del Islam. Los nuevos habitantes de la ciudad, no se vieron forzados a erigir nuevos templos en los que rendir culto a su Dios³. Se podría decir que tal dedicación era costumbre inveterada en Castilla. Esto retardaría la implantación de la arquitectura cristiana⁴.

La convivencia entre arquitectura islámica y arte cristiano, va a imprimir un carácter peculiar al mundo cristiano cordobés de la Edad Media, que posteriormente trascenderá a gran parte de la Andalucía conquistada, con la aparición del mudéjar⁵.

El esquema de las mezquitas omeyas es de planta basilical, edificio o sala rectangular, dividida en varias naves, más elevada generalmente la central que las restantes, lo que permitía abrir ventanas en la parte alta de los muros, separadas por pantallas de arcos y con cubiertas leñosas, abierta a un patio o sahn⁶.

Mientras en la capital y los pueblos más importantes, la relativa buena conservación de las mezquitas permitió el uso de la mayor parte de ellas como iglesias, en núcleos rurales el mal estado de las mismas hacía necesaria su adecuación⁷, o bien la carencia de ellas, en estos emplazamientos rurales obligó a unos planteamientos urgentes, con el fin de dotarlos de templos.

Primera arquitectura cristiana tras la conquista de Córdoba.

En 1249 quedan establecidos los límites del obispado cordobés en 3 acerdianatos: Córdoba, Castro del Río y Pedroche. Esta división y las características de cada una de las villas y comarcas pudo influir, junto a factores geográficos y económicos, en la creación de los primeros tipos constructivos de carácter religioso y su posterior evolución al menos en la Baja Edad Media.⁸



Figura 1.1. Plano de la provincia de Córdoba

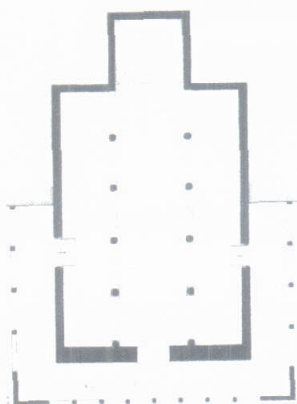


Figura 1.2. Planta Ntra. Sra. de Alcantarillas.

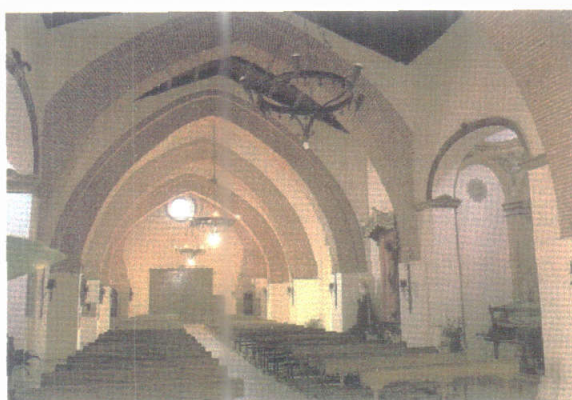


Figura 1.3. Interior iglesia Santa Eufemia.

La primera arquitectura cristiana se manifiesta en las iglesias de Nuestra Señora de Alcantarillas de Belalcázar (figura 1.2), Santa María de la Mota de Montoro, Santa María de Hornachuelos, San Antonio Abad de Obejo y la cabecera de Santa María de Castro del Río. Es una arquitectura improvisada que utiliza el ladrillo y la piedra⁹ con aprovechamiento de materiales de acarreo de origen hispanoromano, hispanomusulmán y judío. En todas, la planta es de 3 naves con ábside plano, excepto en Castro del Río, de tres ábsides poligonales.

Son iglesias de escaso volumen, "ajustadas" proporciones, con cubierta de madera no muy alta y paredes reflectantes, en las que existen unas aceptables condiciones acústicas. Lugar adecuado para la liturgia del momento, el canto¹⁰ y la enseñanza de la religión cristiana.

En los Pedroches, comarca ganadera y vinícola, se desarrollan unos modelos arquitectónicos casi propios, basados en espacios musulmanes. Las antiguas cañadas de ganado serían los caminos artísticos por los que pudieron difundirse.

La iglesia parroquial de Santa Eufemia (figura 1.3) es el prototipo de la zona. Son pequeñas iglesias de arcos transversales de ladrillo, cubiertas con armaduras de madera. Los arcos actúan de pantalla que impiden una visual continuada hacia el fondo y su raíz mudéjar hay que buscarla fundamentalmente en la esencia del arte popular donde el aislamiento y la tradición hace muy difícil la asimilación de nuevas formas artísticas.

Estas iglesias de los Pedroches, con una tipología de arcos diafragma, presentan unas características acústicas similares a las primeras iglesias cristianas de la provincia, con un ligero aumento del volumen y de la profundidad de la nave. Los arcos y sus machones producen sombras acústicas, disminuyéndo de esta forma la sonoridad y la inteligibilidad en la zona posterior de la iglesia, donde el sonido directo es más débil.

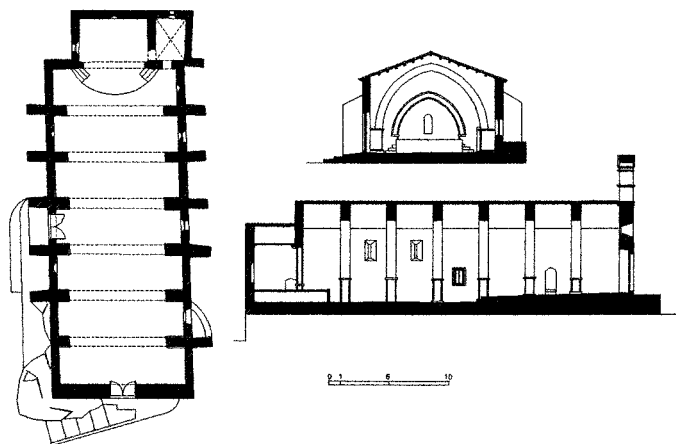


Figura 1.4. Iglesia de Santa María de Pedroche. Esquema de iglesias de arcos diafragma.

En torno a 1277 se culmina la organización económica diocesana, lo que permite afrontar un amplio proyecto en la capital de sustitución de las antiguas estructuras musulmanas de las mezquitas, convertidas en iglesias parroquiales, por auténticos templos de estilo cristiano¹¹.

La creación en la capital de catorce collaciones genera la fundación de catorce parroquias, de las cuales permanecen en la actualidad la iglesia de San Miguel en la Medina, y en la Ajerquía las iglesias de San Pedro, parte de San Andrés¹², Santa Marina (figura 1.5), San Lorenzo, Santa María Magdalena y Santiago. Paralelamente a la erección de estas iglesias, se establecen las primeras órdenes monásticas, dominicos en 1241 y franciscanos en 1236, que pudieron influir notablemente en los modelos arquitectónicos, que se supeditan a dos fines: la liturgia y la predicación¹³. La regla de Sto. Domingo impuso la máxima sencillez para sus templos y prohíbe el abovedamiento, salvo en los presbiterios. Los estatutos franciscanos de Narbona (1260) y el capítulo de Padua

(1310) mantienen normas análogas para la construcción de sus templos¹⁴. Se construyen los conventos de San Pablo (figura 1.6) por parte de los dominicos y de San Pedro el Real (hoy iglesia de San Francisco) por parte de los franciscanos, muy alterada en la actualidad, pero cuya planta se ajusta al modelo franciscano (figura 1.7).



Figura 1.5. Interior iglesia Santa Marina.

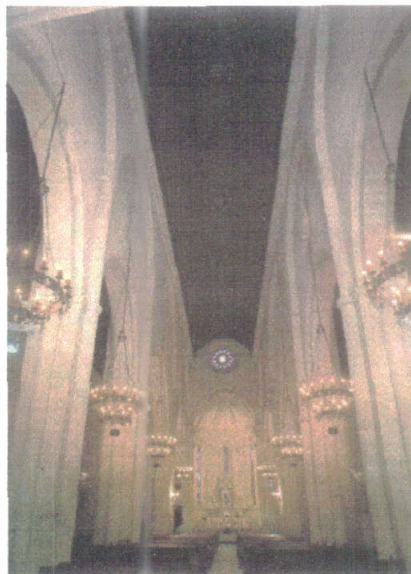


Figura 1.6. Interior iglesia de San Pablo.

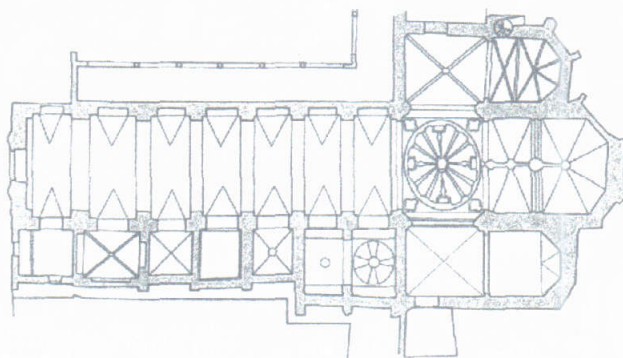


Figura 1.7. Planta iglesia de San Francisco. Córdoba.

Las iglesias fernandinas parten de un modelo aplicado en el norte, aunque típicamente cordobés y sin precedentes en su conjunto en cuanto a la combinación del muro armado y las techumbres de madera, que sufrió las lógicas variaciones para su adaptación local.

El resultado son unas iglesias donde se mezclan elementos cistercienses, el mudéjar de los artesanos y el gótico francés a través de su interpretación burgalesa. El modelo de iglesia, que se convertirá en arquetipo, es de tres naves. Mientras en la arquitectura burgalesa era frecuente el crucero, en las iglesias cordobesas no se utilizó, lo que se debió a la adaptación del modelo a los condicionamientos locales, ya que sólo se emplearon bóvedas para cubrir los ábsides, en tanto que en las naves se utilizaron techumbres de madera, de estilo mudéjar, que se ejecutaban fácilmente desde la cabecera hasta los pies, sin

solución de continuidad, lo cual se debió a la influencia, fundamentalmente, de la carpintería de lo blanco mudéjar¹⁵.

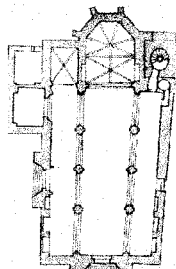
La imagen de la arquitectura cordobesa del siglo XIII ofrece una imagen híbrida, producto de un pueblo heterogéneo¹⁶ con una impronta mudéjar que describe Chueca Goitia: "Castilla victoriosa rinde un delicado homenaje al vencido adoptando algunas de sus soluciones por su sentido práctico y su fácil adaptación"¹⁷.

El aumento de la altura del techo y de la profundidad de las naves, supone un notable aumento del volumen, y por lo tanto una considerable merma de las condiciones acústicas. Esto unido a los grandes paños murales reflectantes, provoca reflexiones largas y la posible aparición de ecos, junto con una elevada reverberación que incide en unos escasos valores de inteligibilidad de la palabra. El techo de madera, mitiga los excesivos tiempos de reverberación a todas las frecuencias, especialmente en los sonidos graves, gracias a su efecto de membrana. Estas iglesias, son espacios adecuados para cantos corales y gregorianos, en los que la liturgia enfatiza la música y el esplendor visual antes que la comunicación del mensaje verbal¹⁸.

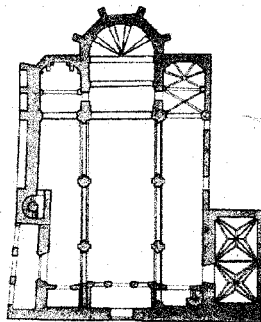


- | | | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|----------------|
| 1. Magdalena. | 2. Santiago. | 3. San Lorenzo. | 4. San Pedro. | 5. San Andrés. |
| 6. San Nicolás. | 7. Sta. Marina. | 8. San Miguel. | 9. San Pablo. | |

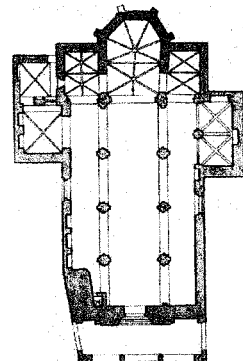
Figura 1.8. Plano de situación de iglesias fernandinas. Córdoba.



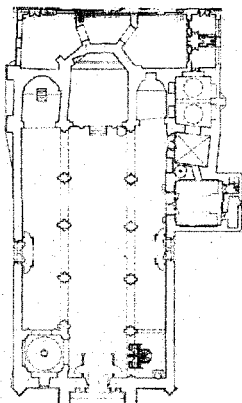
Iglesia de la Magdalena.



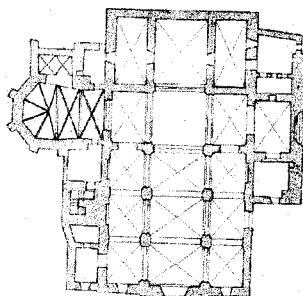
Iglesia de Santiago.



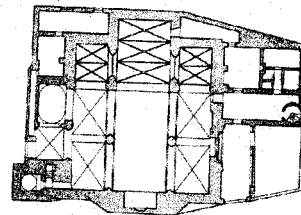
Iglesia de San Lorenzo.



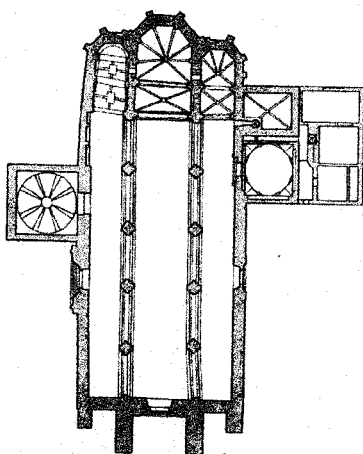
Iglesia de San Pedro.



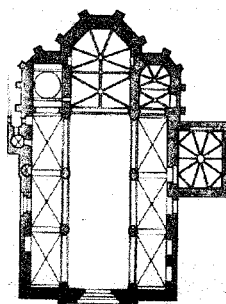
Iglesia de San Andrés.



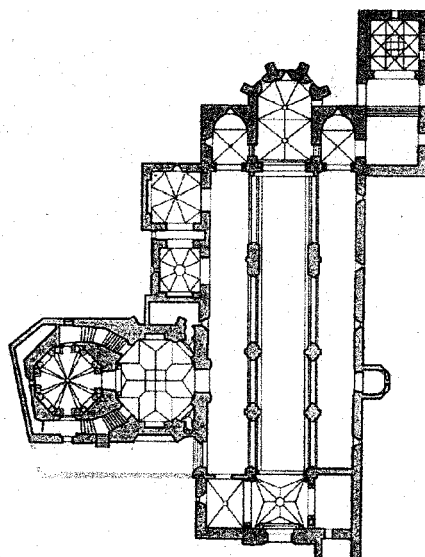
Iglesia de San Nicolás.



Iglesia de Santa Marina.



Iglesia de San Miguel.



Iglesia de San Pablo

Figura 1.9. Plantas de iglesias fernandinas. Córdoba.

En el siglo XIV se produce una perpetuación de la arquitectura del siglo anterior, con la construcción de la iglesia conventual de San Agustín, San Nicolás de la Villa y la real colegiata de San Hipólito, aunque comienzan a generarse modificaciones del tipo. Así en San Agustín aparece crucero abovedado y en San Hipólito aparece cubierta la nave con bóvedas, pasos estos en la evolución de la arquitectura local hacia el modelo que se impondrá de iglesia de una nave única cubierta con bóvedas.

La peste negra, sus secuelas socio-económicas y la crisis demográfica que se sucedió durante la segunda mitad del siglo XIV debieron influir no poco en la paralización de los únicos edificios monumentales en cuanto a sus dimensiones. La llegada al trono de Enrique II y el consecuente auge de la nobleza cordobesa que lo había apoyado, inicia un nuevo periodo de dominio absoluto del estilo mudéjar que se prolongará desde 1370 a 1428. Sus materiales en cuanto a su costo, parecen perfectamente adaptados a la crisis económica. En arquitectura religiosa se tenderá por lo general a la creación de pequeños espacios¹⁹. Aparecen una serie de capillas funerarias anexas a las primeras iglesias parroquiales y conventuales, así como adosadas al interior de los muros que cerraban la mezquita aljama.

Las capillas funerarias construidas en las iglesias, son cuerpos cúbicos, casi independientes del templo, con el cual se comunican por una portada y que no alteran el espacio eclesial entendido como una unidad. La planta es siempre cuadrada o rectangular y se cubre con bóvedas de diferentes tipos, primando los elementos y resoluciones arquitectónicas del gótico²⁰.

La incorporación de estas capillas, sobre todo sin son profundas, favorece las condiciones acústicas de las iglesias, pues se comportan como espacios acoplados, incrementando la absorción sonora y disminuyendo el tiempo de reverberación.

De la tradición mudéjar al gótico humanista.

La transición del tipo de iglesia mudéjar a la gótica se produce de forma lenta, permaneciendo ciertos rasgos arcaicos hasta la mitad del siglo XV, que como describe Jordano Barbudo²¹ es cuando comienza a percibirse la introducción del gótico tardío, de origen toledano; sobre todo, de la mano de Gonzalo Rodríguez, predecesor de toda una generación de arquitectos, como es la de los Hernán Ruiz, quienes traerán a Córdoba las nuevas corrientes clasicistas. Es por tanto a partir de la segunda mitad del XV y durante la primera del XVI, cuando se produce un renacimiento de la arquitectura local, con la materialización de un abultado número de fundaciones, principalmente de carácter privado, en oposición a los siglos precedentes cuando predominaron empresas reales, que debían cubrir las necesidades espirituales del pueblo; es decir, parroquias y conventos.

En general, se aprecia una simplificación del modelo arquitectónico, evidente en la reducción del número de naves a una, como ocurre en la capital en las iglesias de Santa Marta (figura 1.10), San Jerónimo y Santa Cruz, y proseguirá con las últimas iglesias del gótico cordobés, como la conventual de Jesús Crucificado o la de Regina Coeli,

El monasterio de S. Jerónimo es importante, por el hecho de que se inicia un nuevo tipo de iglesia que destierra el modelo cordobés impuesto desde la conquista, de templo de tres naves con triple ábside y unos elementos arquitectónicos que se repetían sin variación. Presenta esta iglesia una planta compuesta por presbiterio, nave, coro y sotocoro, que se impuso como modelo en la Córdoba del último cuarto del siglo XV y principios del XVI.

En la provincia, por el contrario permanece la implantación de las tres naves como en la iglesia de Nuestra Señora del Castillo de Fuente Obejuna (figura 1.11) o la iglesia del Salvador de Pedroche.

Finaliza el siglo con la nave de la Capilla de Villaviciosa en la mezquita (figura 1.12), único ejemplo en Córdoba donde se utilizó una techumbre de madera sobre arcos diafragmas y también interesante por el ajuste de una concepción arquitectónica del gótico tardío a las formas musulmanas existentes.

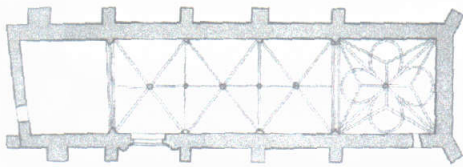


Figura 1.10. Planta iglesia del convento de Santa Marta. Córdoba.

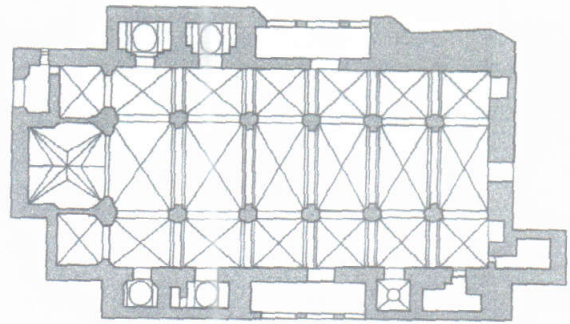


Figura 1.11. Planta iglesia Nuestra Señora del Castillo. Fuente Obejuna.



Figura 1.12. Capilla de Villaviciosa.

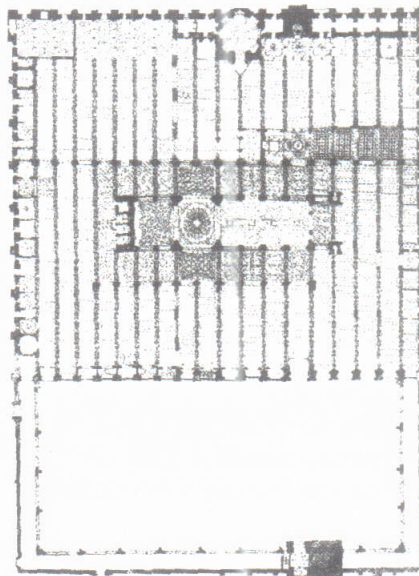


Figura 1.13. Planta de la mezquita-catedral.



Figura 1.14. Catedral de Córdoba.
Vista desde el coro.

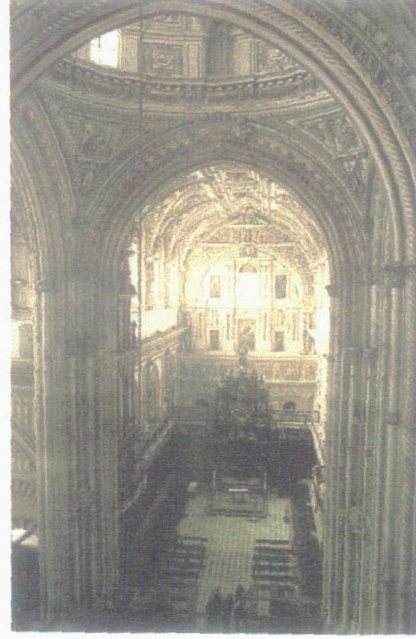


Figura 1.15. Catedral de Córdoba.
Vista desde el Altar Mayor.

Las iglesias renacentistas y tridentinas.

La primera mitad del siglo XVI está dominada por la figura de Hernán Ruiz el Viejo, que despliega una arquitectura enmarcada dentro de un gótico humanista, resultado de acomodar las tradicionales formas ojivales al sistema de proporciones antropomórfico del Renacimiento. Poco a poco las formas medievales perderán su carácter funcional y se tornarán elementos decorativos.

La edificación de la Catedral es la culminación de un programa ideológico desarrollado a lo largo del quinientos, cuya finalidad era matizar el aspecto del templo musulmán, actuando de forma puntual en uno de los procesos más inteligentes de cristianización estética de un espacio musulmán, sin destruirlo²². Así en 1523 se acometen las obras de construcción de la Capilla Mayor y el Coro de la iglesia.

Aprovechando la disposición ortogonal de la construcción islámica y utilizando el espacio de once naves y doce tramos, Hernán Ruiz organiza una auténtica iglesia de planta de cruz latina inscrita en un rectángulo, con tres naves, nártex a los pies y transepto a la cabecera. La nave central se cubre con bóveda de cañón con lunetos, mientras que las laterales lo hacen con crucería por tramos, lo mismo que las del transepto y nártex.

La Catedral se trazó dentro de un concepto gótico humanista; la ornamentación es plateresca; las resoluciones del Renacimiento y el sello anticlásico del Manierismo. Todo esto la convierte en un tratado de la arquitectura española del siglo XVI (figuras 1.13 a 1.15).

En la década de 1520 se proyectan las últimas iglesias góticas en relación con el arte de Hernán Ruiz, en la zona sur de la provincia, como son la de Santa María de Baena y San Mateo de Lucena (figura 1.16). Lo gótico, lo renacentista y lo mudéjar se unen como broche representativo del periodo.

El resultado es un aumento del volumen y del tiempo de reverberación de los templos, con lo que se acrecientan los problemas acústicos que presentaban las iglesias fernandinas, que se incrementan además cuando se cubren las naves con bóvedas, al anular el efecto beneficioso de las cubiertas mudéjares, que pueden generar concentraciones sonoras con el consiguiente agravamiento de una distribución sonora deficiente. Existe un aumento de la absorción a altas frecuencias debido a la absorción del aire. Son espacios adecuados para la interpretación de música tradicional de órgano y coro; marcos idóneos para la música polifónica, el motete y la misa en la música litúrgica²³.

Durante los siglos XV y XVI, los teóricos recomiendan la planta de tipo central para la iglesia, planta que a su vez estaba cargada de un fuerte simbolismo religioso²⁴. Pero la planta central no se adaptaba a las necesidades litúrgicas, a la vez que suponía un alejamiento del tipo tradicional: la basílica. Estos tipos no tendrán su reflejo en Córdoba hasta el siglo XVIII.

Frente a esta postura humanista, existe un desplazamiento de estos ideales por el clericalismo de la Contrarreforma, con el predominio de los intereses puramente litúrgicos frente a los artísticos²⁵, marco de las inquietudes espirituales que afloran en torno al hecho religioso más importante de la época, el Concilio de Trento (1563), que se reflejará en la construcción de iglesias longitudinales.

Algunas iglesias revelan la influencia de las normas emanadas de Trento, entre ellas la parroquial de Belalcázar con amplia nave y capillas laterales (figura 1.18), o la iglesia parroquial de Carcabuey.

El nuevo estilo, que bebe de las fuentes italianas, se introduce en Córdoba con la iglesia del Colegio de Santa Catalina, primera casa de los jesuitas en Córdoba, conocida popularmente como La Compañía, construida entre 1564 y 1587 (figuras 1.17). Gran nave de bóvedas vaídas, brazos cortos, cabecera plana y casquete esférico sobre el crucero, con una sobria decoración toscana y atribuida a Hernán Ruiz II.

Tras la Contrarreforma, existe un énfasis en la palabra, que se traduce en la tendencia a diseñar espacios menos reverberantes; disminuyen los volúmenes de las iglesias, con la consiguiente mejora de las condiciones acústicas, favorecidas también por la incorporación de bancos. Las capillas laterales se comportan como difusores a sonidos graves, aumentando la absorción y disminuyendo el tiempo de reverberación. En las iglesias de nave única sin capillas, existe una mejora en la distribución sonora gracias al aumento de las reflexiones laterales, lo que favorece la sonoridad y la inteligibilidad.

En el terreno musical, los jesuitas promueven que la música religiosa sea compuesta para inspirar la contemplación religiosa, apareciendo nuevas formas musicales como son los oratorios y las óperas, siendo ejecutadas por profesionales, por lo que las iglesias favorecerán la interpretación de estas nuevas formas que necesitan una mayor claridad²⁶.

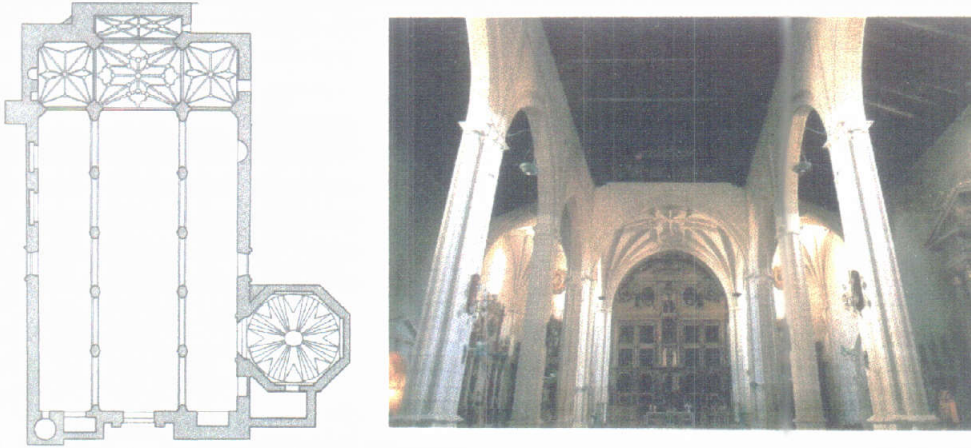


Figura 1.16. Planta e interior de la iglesia de San Mateo. Lucena.

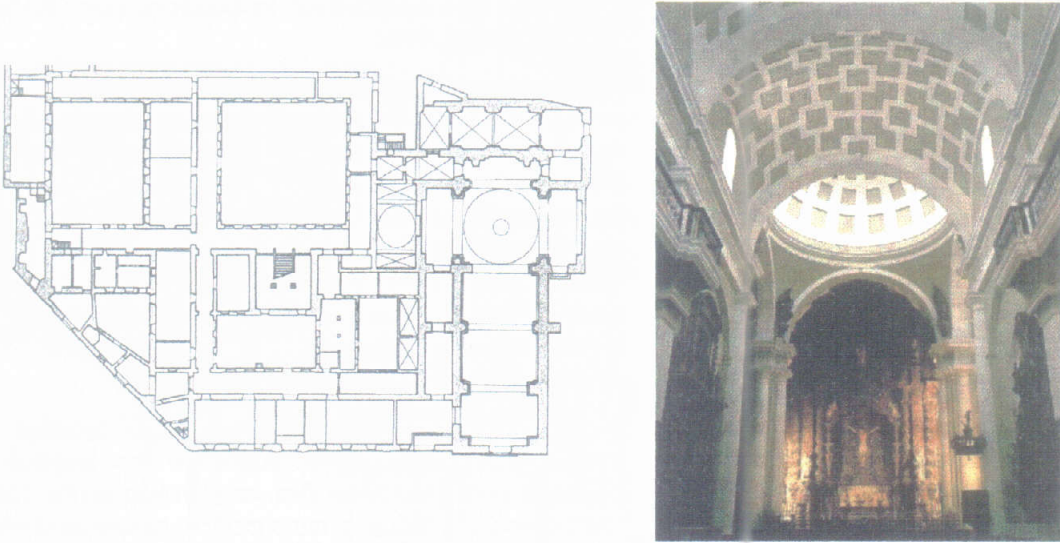


Figura 1.17. Planta e interior de la iglesia de la Compañía. Córdoba.

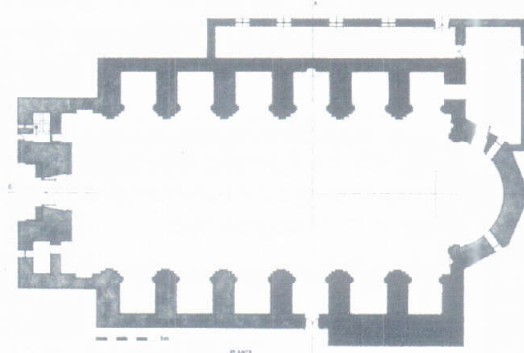


Figura 1.18. Planta de la iglesia parroquial de Belalcázar.

La arquitectura de los siglos XVII y XVIII.

Durante casi todo el siglo XVII se sufrió una fuerte crisis económica, que empieza a subsanarse en el siglo XVIII. Este estado económico se verá reflejado en el número de construcciones, en especial la arquitectura religiosa que es la gran protagonista de este periodo, creándose una ciudad eminentemente conventual. El nuevo estilo es fundamentalmente introducido por las órdenes religiosas, celosas de guardar el espíritu de la Contrarreforma²⁷.

El barroco cordobés se verá influido por las construcciones contemporáneas del resto de España, al existir unas líneas de actuación que unifican los criterios dados en Trento.

Frente a un desarrollo nada espectacular de la arquitectura en la capital, destaca un florecimiento en los pueblos meridionales, principalmente centrado en Priego y Lucena. La razón de este desarrollo se debe al florecimiento demográfico, económico, la gran actividad de clero y nobleza así como ser cuna de importantes arquitectos. La figura central de este periodo es Francisco Hurtado Izquierdo que será quien a finales del siglo XVII le dé personalidad propia al barroco cordobés.

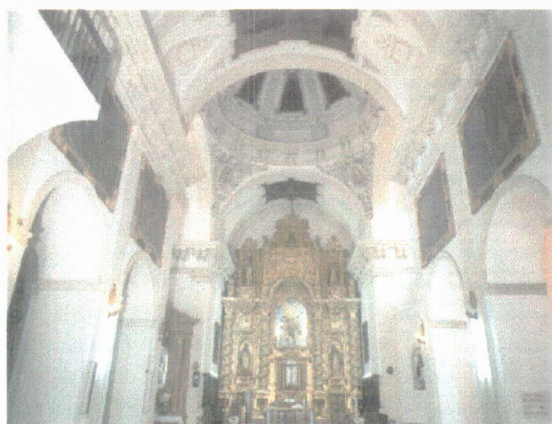


Figura 1.19. Interior de la iglesia de los Padres de Gracia. Córdoba.

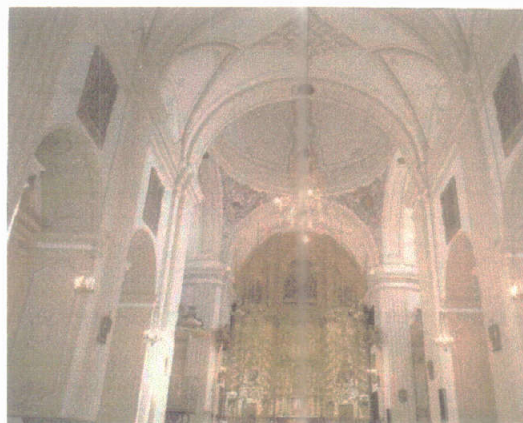
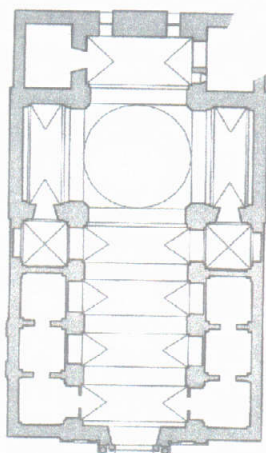


Figura 1.20. Planta e interior de la iglesia conventual de Santa Ana. Córdoba.

La mayor parte de la arquitectura del dieciocho responde a esquemas más o menos tradicionales, siendo el aparato ornamental el que les confiera su pleno carácter barroco, así estructuras estáticas se dinamizan gracias a la ornamentación. Por lo tanto no es de extrañar que se retomen las iglesias góticas y mudéjares y se renueven mediante la decoración barroca; así los artesonados de madera desaparecen bajo las bóvedas de aristas en las naves y surgen cúpulas en el tramo anterior al presbiterio. La importante escuela retablista cordobesa dota, tanto a las nuevas iglesias como a las existentes, de retablos de madera en los presbiterios, elementos con una importante eficacia difusora del sonido. Se añaden también uno de los elementos más peculiares como son los camarines, elemento de características inconfundibles, por lo general de planta centrada, ricamente decorados y que pueden ser bajos, con una relación más directa con la iglesia, o altos, dispuestos tras el retablo, en el primer piso. Estos camarines actúan como espacios acoplados, mejorando las condiciones acústicas del espacio principal.

El clero es el impulsor de las nuevas construcciones, para así favorecer el máximo contacto con la población. Serán los trinitarios descalzos o capuchinos quienes inicien sus iglesias. La construcción de estas iglesias, tanto parroquiales como conventuales, pasa por la influencia de las teorías tridentinas, siguiendo el modelo de la iglesia del Gesú de Roma. Se realizan iglesias de planta longitudinal con capillas laterales, con leve crucero cubierto con cúpula. Este sistema fue ideado para una mayor concentración de fieles y se lograba un mayor efectismo con el uso escenográfico de la luz de la cúpula.

Bajo esta influencia se levantan iglesias como la del convento de S. José de Carmelitas Descalzos, San Cayetano, los Padres de Gracia (figura 1.19) y el convento de Santa Ana (figura 1.20).

Frecuentemente, se emplea la iglesia de cruz latina, que en esencia es una variante, pero sin capillas laterales, en cuyo lugar aparecen hornacinas o nichos. Bartolomé de Bustamante lo hizo así en las iglesias jesuíticas. Este arquitecto asimiló rápidamente el ideal jesuítico que aspiraba al tipo de iglesia económico, adaptado plenamente a la necesidad de culto. Le interesaba resaltar la concepción unitaria del espacio interior en la anchura de la nave y diafanidad de la capilla mayor, suprimiendo por ello las capillas laterales. Adoptó un sistema de nichos o capillas abiertas a ambos lados, perforadas por el grosor de los muros de la nave, que servían para colocar altares o confesionarios; sin romper la unidad, se incorporaban a la homogeneidad espacial de la nave²⁸. Las dos iglesias mejor logradas a este propósito son las de los jesuitas de Córdoba y Sevilla. Este sistema de iglesia inaugura en Andalucía el tipo de las de cajón, antes de que lo propagaran Hernán Ruíz y otros a través de la capilla del Hospital de la Sangre, la iglesia de la Merced y el Sagrario de la catedral en Sevilla²⁹.

Existen muchos ejemplos de iglesias que se ajustan a los mencionados esquemas con ejemplos en la provincia como la iglesia Madre de Dios, convento del Carmen de Lucena (fig. 1.21) y la iglesia del convento de San Pedro de Priego.

Pero este esquema es objeto de algunas modificaciones como es el acortamiento que se produce en el eje longitudinal comprimiéndolo en un área bastante corta con respecto a su ancho, quedando casi fundida con el espacio centralizado del crucero, en un intento de síntesis de estructuras espaciales centrales y longitudinales, que tanto preocupó a los arquitectos barrocos. A tal efecto colabora también la compresión espacial que supone el coro alto,

establecido a los pies. Un ejemplo de esta variante es el convento del Císter (figura 1.22).

Los aquilatados volúmenes, junto con la absorción y la difusión producida por las capillas laterales y su ornamentación, caracterizan favorablemente desde el punto de vista acústico a estas iglesias. Otros efectos acústicamente positivos son los presbiterios planos y la eliminación de sus coros³⁰.

La aparición de los coros, sobre la entrada de la iglesia, supone una mejora de las condiciones acústicas, pues disminuyen las reflexiones de la zona de fondo y por lo tanto el sonido reverberante, llegando a ser considerados como espacios acoplados si avanzan considerablemente sobre la nave.



Figura 1.21. Interior de la iglesia conventual Madre de Dios. Lucena.

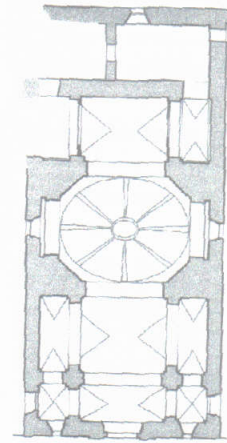


Figura 1.22. Planta de la iglesia del convento del Cister.

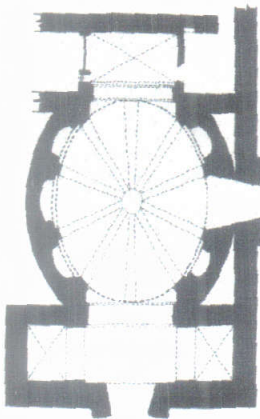


Figura 1.23. Planta e interior de la iglesia conventual de San Martín. Lucena.

Los esquemas centrales se materializan en la iglesia del convento de San Martín de Lucena (figura 1.23), de principios del siglo XVIII, de planta elíptica con exedras y tribunas rematada por una cúpula sobre tambor, adosándose a esta pieza central dos cuerpos rectangulares a modo de vestíbulo y presbiterio y en una variante a esta iglesia que es la San Juan de Dios de Montilla, donde el cuerpo de la iglesia corresponde a un octógono.

Si bien estos esquemas centrales suponen un acortamiento en las distancias, las plantas centrales presentan deficientes condiciones acústicas, debido a sus proporciones y su forma geométrica, que genera la aparición de efectos focalizadores y de zonas sordas, con una inadecuada inteligibilidad y pérdida de calidad acústica.

La ornamentación desempeña un importante papel en la arquitectura dieciochesca, ya que el concepto de barroco se asocia con la ornamentación, a la que se le encomienda la misión de dinamizar o agitar lo que a veces ya estaba implícito en las estructuras y luces, como una prolongación de su actividad; en suma, contribuir al Barroco, según d'Ors, "todo música y pasión"³¹.

Como características de la ornamentación que nos ocupa, se debe reseñar, en primer lugar, una cierta tendencia a localizarla en las partes altas de los muros y en las cubiertas, lo cual resulta propio de la arquitectura española³².

La rica decoración y el mobiliario barroco (yeserías, retablos, órganos...) suponen una clara mejora de las condiciones acústicas, principalmente para los sonidos agudos, contribuyendo a una mayor difusión del sonido a estas frecuencias, además de prevenir la aparición de eco, y aumenta la absorción sonora de zonas que presentan escasa absorción a reflexiones especulares.

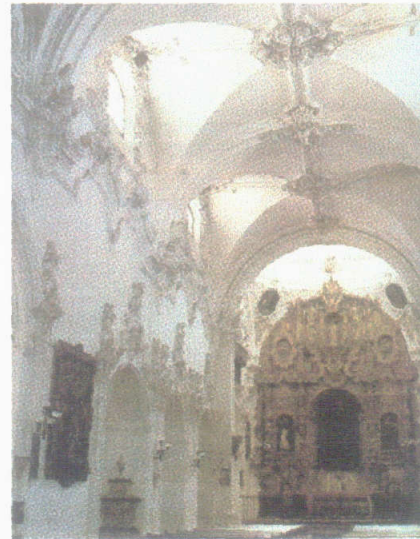


Figura 1.24. Interior de la iglesia de San Francisco.
Priego de Córdoba.

Lo teatral o la teatralidad es algo característicos del Barroco. Existen elementos de las iglesias barrocas que contribuyen a crear el efecto teatral: tribunas, balcones y balaustradas, que determinan en el espectador la sensación de encontrarse en la sala de un teatro; existen coros, tribunas y balcones que dan a la nave, incluso coros de los que surgen dos alas que se prolongan hasta el crucero, de la misma forma que el palco corrido de un teatro. Estos elementos favorecen igualmente las condiciones acústicas de la iglesia al aumentar la absorción sonora.

Las iglesias barrocas suponen un adecuado marco, tanto desde un punto de vista óptico como acústico, para servir de soporte a la música barroca como describe Benévolo³³ "... son, aún hoy, el marco ideal, acústico y óptico, para escuchar esta música. También aquí los efectos de timbre y composición, el carácter popular y el reservado a los especialistas, se funden por última vez en una perfecta y a la vez efímera unidad".

Epílogo.

Los diferentes esquemas tipológicos obedecen a planteamientos heterogéneos, no reproduciéndose los modelos historiográficos convencionales. Los cambios de época no suponen la superación del pasado de forma lineal y el triunfo de lo nuevo, ni creaciones "ex novo" de objetos bien diferenciados respecto a los anteriores. Se entiende la modernidad de cada época como un sistema de superposiciones, siendo la continuidad en el tiempo una de las principales características del desarrollo evolutivo de la arquitectura universal y la cordobesa en particular, a nivel compositivo, espacial y formal.

Las estructuras formales presentan de esta manera múltiples desarrollos, y como describe Martí Arís, la complejidad del mundo formal se desarrolla según un proceso caracterizado por la superposición y la mixtura³⁴, con transformaciones cuantitativas o dimensionales. Víctor Hugo lo describe de la siguiente forma:

"Los edificios ... son la obra de los siglos. A veces se transforma el arte cuando aún está en construcción ... se prosigue tranquilamente según las reglas del arte transformado. El nuevo arte toma el monumento donde lo encuentra, se incrusta en él, se lo asimila, lo desarrolla de acuerdo con su fantasía y lo termina si puede La constitución misma de la iglesia cristiana no es afectada por ello. Siempre se trata de la misma armazón interna, la misma disposición tipológica de las partes... Se desarrolla eternamente sobre el suelo siguiendo la misma ley. Son, invariablemente, dos naves que se cortan en cruz y cuya extremidad superior redondeada en ábside forma el coro; son siempre dos naves laterales para las procesiones interiores, para las capillas, y que hacen de ambulatorios a ambos lados de la nave central con la que comunican por los intercolumnios. Sentados estos principios, el número de capillas, de pórticos, de campanarios, de agujas, se modifica hasta el infinito según la fantasía de cada siglo, de cada pueblo, de cada arte(...)"³⁵

Se hereda el tipo basilical de la mezquita en la que los ejes transversales y secundarios se yuxtaponen apareciendo un espacio neutro y abierto en el que no existe un único punto de vista y donde se enfatiza la presencia omnipotente de Dios.

La transformación de una mezquita en parroquia consiste en derribar el muro de la quibla que se utiliza como puerta y transformar el eje norte-sur islámico en el eje este-oeste cristiano, generándose tres naves con simetría axial y con un principio jerárquico en el que la nave central tiene mayor altura y anchura. Se plantea un eje que une el acceso con la forma absidial del extremo opuesto. La presencia de Dios en el ábside ordena la construcción direccional del edificio. Las naves se comunican por grandes aberturas y el espacio se unifica, se pauta mediante los elementos estructurales. Se interviene mediante un proceso de yuxtaposición, con una arquitectura de superficies y planos, en donde su condición axial y secuencial serán sus principales características.

En la época gótica se continúa con el arquetipo, pero se exagera la altura de la nave central y las paredes de separación de las naves se hacen inmateriales. Estos espacios pierden la escala humana (Dios es una esencia superior, un ser lejano) y se caracterizan por la anfitésis de la directriz horizontal y vertical³⁶. La iglesia deja de ser lugar de reunión y se convierte en monumento en el que las celebraciones litúrgicas son un espectáculo en el que actúan los ministros. Sobre las iglesias existentes se formalizan una serie de capillas, entendidas como compartimentos autónomos.

En la arquitectura renacentista se introduce la reflexión matemática y la modulación de los espacios, aparece un nuevo modelo cultural, donde existe

una primacía del aspecto formal y en el cual el hombre es el protagonista espacial, existe una domesticación de la imagen de Dios. Aparece una actitud crítica respecto a las edificaciones heredadas y se interviene en ellas con el objetivo de unificar el espacio³⁷. Así por ejemplo, en la intervención de la mezquita, Hernán Ruiz trabaja sobre una estructura previa, en la que variará su significado global al introducir otro sistema de proporciones y una nueva concepción del espacio.

Tras el Concilio de Trento se materializa el tipo de iglesia cruciforme, en la que se genera un nuevo centro que se eleva en vertical. Esta planta ya no entiende una secuencia lineal que finaliza en el fondo, sino que materializa un centro resultado de la intersección de las principales direcciones del espacio, con un triple sistema coordinado. Es el reflejo arquitectónico de la acrecentada importancia de la liturgia, la subordinación del mundo secular frente al clero. La idea de dominio de todo el ámbito hace que las naves laterales se transformen en capillas que se asocian a la nave; aparece la iglesia cajón, fruto de una sola idea.

La aspiración de la visión del espacio absoluto se materializa en las plantas centrales en donde se define un eje vertical que enfatiza la posición de centro y donde se subordinan los intereses religiosos a los artísticos.

En el barroco aparece una nueva espacialidad, se exalta la tercera dimensión, haciendo del barroco el arte de la perspectiva, de la fuga³⁸. La decoración suspendida tanto de los nuevos templos como de los existentes, junto a la costumbre de disponer retablos y esculturas, sacia el *horror vacui* de la época. La importancia escenográfica delata que, de nuevo, los intereses litúrgicos pasan a ocupar un segundo lugar.

Intervenciones en edificios históricos. Criterios de proyecto.

Hasta finales del siglo XVIII, en las actuaciones sobre edificios religiosos prevalecía la idea de restaurar la sacralización del lugar, no la arquitectura en sí misma³⁹. A partir de esta época, surge el concepto de conservación del patrimonio arquitectónico basado en la consideración de éste como testimonio cultural del pasado, legado que ha llegado hasta nuestros días.

La idea de adoptar el uso cultural, como sistema de permanencia en el tiempo de los viejos edificios, ha sido un recurso utilizado para la conservación de las iglesias, considerándose que el uso conserva el edificio y que, si éste es cultural, además no supone una alteración de sus valores. De este modo, la intervención sobre un edificio histórico, que es preciso modificar, supone un complejo tema de composición arquitectónica. La modificación necesita el entendimiento de su configuración, consideración de sus valores y una diagnosis de las carencias que plantea y sobre estos postulados se dará una solución compositiva y formal. Estas transformaciones necesitan de un rigor y un sometimiento al campo de la disciplina, pero no forma parte del presente capítulo incidir sobre la teoría e historia de la restauración arquitectónica, ni sistematizar una metodología de la restauración⁴⁰, sino incidir de una forma ligera sobre el análisis de objetivos y medios previos a la intervención sobre las iglesias, así como definir una serie de criterios de proyecto sobre los que se implementen las actuaciones de carácter preferentemente acústico.

Tras el estudio de la evolución histórica se pone de manifiesto que una obra arquitectónica es un mecanismo vivo, en la que el tiempo va dejando sus huellas de una forma clara; así sufre diversas alteraciones, reformas, se sustituyen o modifican espacios, planteadas como procesos de adaptación, transformación, meras superposiciones o recientemente como recreaciones estilísticas, transformándose inevitablemente la imagen del edificio, cuando no perdiendo la imagen original, por haberse construido con postulados culturales y estilísticos heterogéneos.

La transformación y el cambio de uso han sido tradicionalmente el destino que se le ha asignado antiguamente a los edificios del pasado, mediante transformaciones mas o menos cualificadas: "la arquitectura es siempre la expresión espacial de la voluntad de una época"⁴¹. Así, cada época cree que su forma de entender las cosas es la verdadera y que su estética la representa, confundiendo con ella, sólo el tiempo revela como producto de una sensibilidad pasajera aquello que se había considerado incontestablemente cierto. Es necesaria la comprensión del arte de cada momento más allá de las circunstancias, connotaciones y anécdotas que lo rodean.

Como obra viva, independiente del uso que se le asigne, el edificio debe responder en cada época, con belleza y eficacia, al uso o a la significación que se le exige, soportando su arquitectura el paso del tiempo.

Moneo explica la importancia de la vida de los edificios:

" Se tiende a pensar que la vida de los edificios concluye con su construcción y que la integridad de un edificio consistirá en mantenerlo exactamente como lo dejaron sus constructores. Esto reduciría dicha vida a la realidad consolidada de un preciso instante... Estoy de acuerdo con los comentarios de Ruskin en la "Lámpara de la memoria" de que un edificio sin vida deja de ser un edificio y se transforma en otra clase de objeto... Si la arquitectura se estableció con firmeza permanecerá abierta a nuevas intervenciones que prolongarán indefinidamente la vida del edificio... El respeto a la identidad arquitectónica de un edificio es quien hace posible el cambio, quien garantiza su vida⁴²".

Los mecanismos formales de composición del edificio son los encargados de mantener la identidad de la estructura tipológica. La experiencia histórica demuestra que la forma es más fuerte que el uso, posee una autonomía propia, como plantea Martí Arís:

"...la vicisitud particular expresa una ley más general según la cual cuando una actividad se formaliza, es decir, cristaliza en un sistema de relaciones pautado por la arquitectura, la forma resultante adquiere un carácter más permanente que la actividad específica que la ha generado. En tal caso, el uso que se atribuye a la arquitectura tiene un carácter contingente y puede modificarse quedando la forma sustancialmente inalterada. Esta persistencia de ciertas estructuras formales constituye el fundamento del tipo⁴³".

Se posiciona con la idea platónica de forma como lo permanente⁴⁴, así la formación del tipo eclesial se ha visto implicada durante su larga historia en movimientos de permanencia y de transformación.

La mayoría de los monumentos están cualificados para ser utilizados de un modo práctico para unos usos diferentes a los que tuvo en su origen⁴⁵. El cambio de uso del edificio está ligado a la funcionalidad del mismo, y supone la incorporación de la antigua arquitectura a las nuevas necesidades, lo cual supone una intervención formal sobre ésta, una obligada transformación de la arquitectura existente, con el fin de alcanzar el objetivo social de puesta en valor del inmueble.

La intervención sobre el patrimonio hace por tanto necesario, como punto de partida la lectura del edificio, de su identidad arquitectónica, del entendimiento del edificio como obra no acabada, sin sometimientos a apriorismos ideológicos y de la necesidad de su adaptación funcional al uso previsto.

El primer aspecto que se plantea en este tipo de actuaciones es la forma de entender la relación entre la arquitectura existente y la nueva arquitectura, la transformación, de un objeto concebido con unos planteamientos culturales distantes en el tiempo⁴⁶, a la sensibilidad y valor contemporáneos.

Villanueva Sandino⁴⁷ reflexiona sobre la valoración de la relación nuevo – viejo y concluye que no es posible formular un sistema estético que tenga validez suficiente para atribuirle una eficacia más allá de la puramente puntual⁴⁸, el debate entre lo nuevo y lo viejo ha basculado entre el contraste⁴⁹ y la analogía⁵⁰. Esta actitud crítica de la relación viejo – nuevo va acompañada de

un objetivo funcional específico, el uso del inmueble, y de un objetivo social, su puesta en valor.

El campo de la analogía se asienta sobre la semejanza, describiéndola en palabras de Octavio Paz:

" La analogía es la metáfora en que la alteridad se sueña unidad y la diferencia se proyecta ilusoriamente como identidad. Por la analogía el paisaje confuso de la pluralidad y la heterogeneidad se ordena y se vuelve inteligible; la analogía es la operación por medio de la que, gracias al juego de las semejanzas, aceptamos las diferencias. La analogía no suprime las diferencias; las redime, hace tolerable su existencia⁵¹"

Se deberán encontrar instrumentos formales, que dotando al edificio de una nueva unidad, expresen de forma clara la discontinuidad de la misma en cuanto compuesta de dos partes, lo nuevo y lo viejo, existiendo un compromiso con la cultura arquitectónica contemporánea⁵². El concepto de analogía⁵³ que puede presentar una gran diversidad, parece necesario en el caso de intervenciones que presentan problemas de nuevos usos, en donde las actuaciones deberán introducir algo nuevo, por pequeño que sea, y no sería conveniente intentar mimetismos o engarces formales que puedan dar lugar, con el paso de los años, a ningún tipo de confusión cronológica.

El criterio analógico debe estar bien fundado y estar cualificado en su diseño, siendo en este caso la alternativa adecuada a las tradicionales soluciones formales de mimesis histórica o de creación moderna indiscriminada⁵⁴. Así, el proyecto, como define Solá Morales⁵⁵, "hecho desde la comprensión no histórica, ni sentimental, ni científica de la obra del pasado, sino desde el entendimiento precisamente arquitectónico".

Una vez planteado el dilema de la relación nuevo-viejo, aparece un nuevo aspecto que es la opción arquitectónica de la intervención. Así el conocimiento instrumental del objetivo, no hace inevitable el riesgo del proyecto y de la nueva estructura lingüística que la intervención deberá introducir y que deberá ser resuelto caso a caso en cada proyecto, en el que se ha de plantear una propuesta específica, en cierto modo arbitraria⁵⁶, impregnada por el azar, en la que se ha de intentar no sólo reconocer el pasado y las estructuras significativas del material histórico existente⁵⁷, sino también usarlas como marco o traza analógica de la nueva construcción⁵⁸, en busca de la construcción de la memoria.

Esta construcción de la memoria conlleva la constatación de la presencia del concepto tiempo en la composición arquitectónica, por lo que éste debe ser incorporado a la propuesta. Frente a posturas que entienden el tiempo como un trayecto lineal o cíclico, surge otro modelo según el cual "cada instante tiene en sí la densidad de todos los instantes producidos, cada momento presenta, hace presente todos los tiempos"⁵⁹. Así pues el tiempo se concreta como material constitutivo de la obra, ya que el tiempo ocurre en la arquitectura. La operación de incorporación del tiempo la describe Quetlas a partir de la obra de Moneo como:

" Se parte del estado actual, y se avanza en dos direcciones temporales contrapuestas: hacia el pasado rehaciendo la historia del edificio, reiniciándolo, y en el presente, con el proyecto y construcción del nuevo edificio... Concebir un hacer que recomponga el pasado, y eso sólo será posible cuando el pasado esté contenido en el presente, cuando seamos capaces de *presentar* el pasado⁶⁰".

Se someterá al material histórico de la arquitectura a un proceso radical de abstracción, a través del cual se destilen sus aspectos temporales y permanentes, y con un lenguaje contemporáneo, conciso, que establezca un diálogo desde la arquitectura del presente, con una lectura diferenciada entre lo nuevo y lo existente, se intentará crear un diálogo sin estridencias, en el que se dejará hablar al edificio.

A lo largo de la historia, encontramos operaciones de transformación, intervenciones de la arquitectura sobre la arquitectura, en las que es tan importante la recuperación del pasado como la incorporación de nuevos proyectos. Así, la transformación de la mezquita-catedral de Córdoba para adecuarse a los sucesivos usos que de ella se demandaban, es un ejemplo claro de transformaciones en las que se han aplicado inteligentemente los instrumentos compositivos necesarios para la resolución de los problemas de cada momento y además añadir una calidad arquitectónica al conjunto. El criterio general de intervención fue el de seguir la manera y el estilo preponderante en el momento histórico en el que estas intervenciones se producían⁶¹.

Un claro ejemplo de actuación sobre un espacio eclesial es la intervención de Gaudí en la catedral de Palma de Mallorca. En 1904 el obispo encarga al arquitecto poner orden en un espacio enturbiado a largo del tiempo e inadaptado a la liturgia del momento. El trabajo fue definido por el mismo Gaudí:

" No se trata de una reforma, sino de una restauración, y no en el sentido restringido de rehacer elementos de un determinado estilo o época, sacrificando las otras épocas, sino en el sentido de volver las cosas a su lugar y a su verdadera función... Hagamos arquitectura sin arqueología: no debemos copiar las formas, sino estar en condición de producirlas dentro de un determinado carácter, poseyendo su espíritu"⁶².

Quizá la esencia de las propuestas relacionadas con las intervenciones en edificios históricos se resuma en la frase de Sáenz de Oíza:

" El problema de la restauración tiene mucho que ver con el problema de la traducción de poesía. El arquitecto restaurador deber ser un poeta del espacio, debe traducir el lenguaje poético de otra época y otro estilo al lenguaje de nuestro siglo"⁶³.

Condiciones acústicas y metodología en la rehabilitación de iglesias.

Tras el análisis histórico y de intervención arquitectónica, entendido como medio de significación, de articulación de contenidos simbólicos y culturales, se hace necesario conocer el espacio sonoro como realidad física, como atributo de la arquitectura eclesial, desvelar por lo tanto el sonido, o mejor, los sonidos de las iglesias.

"Hay ciertamente cosas que no se pueden expresar. Se muestran a sí mismas, son lo místico"⁶⁴. El espacio eclesial es un espacio místico, sagrado, en donde surge la intuición que relaciona a Dios con la nada, y por lo tanto en su correspondencia espacial con el vacío. Este espacio sagrado dentro de un ámbito de penumbra y silencio, es el neutro escenario en el que los estímulos se presentan con una mayor intensidad; espacio cargado de referencias de carácter sensorial⁶⁵, en el que se da una estrecha unión entre la experiencia espacial y la auditiva⁶⁶. Sólo el vacío y el silencio pueden sugerir la presencia de lo que no puede ser representado: lo divino.

El espacio sonoro se cualifica mediante: el espacio, el tiempo y el silencio, componentes que se relacionan entre sí y que dan forma a la música y a la palabra. Como comenta el saxofonista Steve Lacy: "...la música parte del silencio y el silencio de la música, ambos se deben al espacio, la música no es más que el intento de llenarlo"⁶⁷. Importancia por lo tanto del silencio como configurador del espacio sonoro⁶⁸, como oposición al ruido, así como del control del tiempo como soporte acústico⁶⁹.

EL PROBLEMA DE LAS CONDICIONES ACÚSTICAS EN LA REHABILITACIÓN DE IGLESIAS.

Históricamente las iglesias son el fruto del arte y la liturgia, lugar de la música⁷⁰ y la predicación, por lo que se cree que el factor acústico está implícito en la conservación del tipo sobre el que se actúa, resultando decepcionantes en muchas ocasiones los resultados finales, con elevados tiempos de reverberación, inadecuadas distribuciones sonoras y falta de inteligibilidad, siendo difíciles las correcciones acústicas sin atender la cualificación material y arquitectónica del espacio interior.

Vivimos en una época en la que existe una primacía de la estética visual, por lo que a la hora de afrontar un proyecto de rehabilitación de una iglesia para adecuarla a un nuevo uso (en el cual sean necesarias unas adecuadas condiciones para la palabra y para la música), se suele centrar la actuación sobre el carácter formal de la intervención, soslayando, en ocasiones, el carácter funcional, la acústica del recinto. No se pueden disociar dos elementos

como son el formal y el funcional, pues ellos son los que dan el peso y la medida a la intervención. Se ha de buscar una conciliación entre la forma y el contenido, pero teniendo presente que la utilidad constituye una condición necesaria. No obstante, a partir de la utilidad no puede alcanzarse una formulación arquitectónica, pero mediante la forma se puede responder a los requerimientos que la utilidad plantea, ya que la forma adecuada contiene en sí misma, de un modo implícito, la cuestión de la utilidad⁷¹.

Es necesario por lo tanto, conocer qué problemática acústica particular presenta cada tipo eclesial en cada época⁷², para conocer cómo nuestra propuesta debe afectar funcionalmente a la acústica de ese espacio.

Cada espacio eclesial tiene su propio sonido, por lo que el conocimiento a priori de las características generales, a efectos acústicos, del templo es conveniente para enfrentarse a la propuesta. No obstante, se ha de tener en cuenta que, dado el importante volumen de los espacios eclesiales, suele existir una elevada reverberación que afecta a la interpretación musical⁷³ y a la palabra.

Las características acústicas del espacio vienen determinadas principalmente por su forma, proporciones y volumen, los materiales de las superficies interiores y la superficie de audiencia. Las complejas agrupaciones espaciales, con un volumen principal al que se le anexionan otros espacios normalmente con un volumen de aire menor, hace necesario conocer la existencia de espacios acoplados acústicamente al volumen principal, ya que la división acústica de la iglesia en diferentes espacios de menor volumen acoplados al espacio principal, suele proporcionar un tiempo de reverberación bajo sin la adición de materiales absorbentes. La modificación volumétrica y formal del espacio es difícil, por lo que el esfuerzo debe encaminarse a la actuación sobre la audiencia, los espacios acoplados y complementarios y las superficies interiores.

Se ha de prestar especial atención en cualquier tipo de actuación al área de audiencia, a la valoración de la forma y del grado de ocupación, ya que éstas proporcionan un considerable aumento de la absorción sonora⁷⁴.

El otro factor a tener en cuenta son las superficies interiores de las iglesias. El ornato y mobiliario litúrgico típico de las iglesias, situado en las paredes laterales y fondo, frecuentemente desaparece cuando se interviene en estos espacios para destinarlos a un uso cultural. Estos elementos, por lo general tapices, esculturas, altares, retablos, confesionarios, etc., proporcionan una importante absorción sonora y contribuyen a la difusión del sonido. Su eliminación debe ser compensada acústicamente de una forma adecuada, con el problema que plantea la limitación en el uso de materiales absorbentes, difícilmente compatibles con las características materiales de la iglesia⁷⁵.

METODOLOGÍA Y PROCEDIMIENTOS DE CORRECCIÓN ACÚSTICA EN IGLESIAS.

A la hora de acometer la intervención acústica sobre una iglesia, desde el punto de vista metodológico, debe realizarse previamente:

- Un estudio previo del templo que nos defina sus condiciones acústicas, mediante una medición in situ que nos marca la referencia y el punto de partida.
- Un estudio sobre el uso posterior del edificio, para poder realizar una ejecución idónea acorde con ese uso.

Lo primero que se ha de conocer es el estado acústico actual del recinto. Para ello se obtienen, mediante la medición acústica in situ, los valores correspondientes al tiempo de reverberación, distribución sonora, inteligibilidad y ruido de fondo, en los puntos característicos de la iglesia, disponiendo la fuente sonora en el lugar desde donde se suele ubicar la fuente natural. Estas medidas realizadas con la iglesia vacía, nos van a permitir conocer el comportamiento acústico del recinto a las diferentes bandas de octava de frecuencia, si presenta espacios acoplados acústicamente, si existen zonas de sombra, ecos, etc. Esta tarea es fundamentalmente de tipo instrumental, describiéndose en el apéndice 1 el equipo de medida e instrumentación utilizado para este fin.

No existe un algoritmo para determinar si dos espacios se encuentran acústicamente acoplados. Se puede partir de las relaciones geométricas establecidas por algunos autores, Knudsen, Kuttruff o Carvalho⁷⁶, para determinar si dos espacios se encuentran acoplados, o bien utilizar el método de integración inversa de Schroeder⁷⁷, para obtener la curva de decaimiento⁷⁸ y conocer si existen espacios acoplados.

El análisis previo se ve complementado con un estudio arquitectónico de la geometría de las superficies de contorno e interiores del local, y con un análisis de las características de los materiales de dichas superficies⁷⁹. Se crea un modelo de recinto para análisis mediante ordenador. Los parámetros de este modelo se irán ajustando hasta conseguir unos resultados de análisis teórico iguales o equivalentes a los medidos en realidad. La simulación informática se ha realizado con el programa CATT-Acoustic versión 7.2.f.

Tiempo de reverberación.

Uno de los principales criterios acústicos que se debe alcanzar es un adecuado tiempo de reverberación. El comportamiento de la iglesia ante un estímulo sonoro (señal muy breve y de amplitud elevada) se realiza mediante una respuesta impulsional, obteniendo los valores del tiempo de reverberación para los distintos puntos en bandas de octava. A partir de estos valores, se obtienen los tiempos de reverberación promediados para la iglesia.

Para el establecimiento del tiempo de reverberación óptimo en las iglesias se debe hacer una primera diferenciación del volumen del espacio. Así para grandes volúmenes (comprendidos entre 10.000 y 30.000 m³), el tiempo de reverberación óptimo se suele estimar en función del programa, mientras que en espacios menores hay una tradición de considerarlo a partir del volumen de la sala⁸⁰. En cuanto al establecimiento del tiempo de reverberación óptimo en función del volumen⁸¹, diferentes fuentes bibliográficas dan recomendaciones, y los resultados finales podrían verse influidos por la experiencia individual de salas, así como las intenciones acústicas sobre el espacio.

Para determinar el tiempo de reverberación óptimo en función de la sala, no sólo se debe partir del aumento del volumen por aumento de las dimensiones, sino también por el reparto equilibrado entre sonido directo y sonido reverberado, por lo que el tiempo de reverberación debe mantener esta relación de una forma razonable. El mantenimiento constante de esta relación, para salas de la misma forma y diferentes volúmenes, lleva a proponer a algunos investigadores una relación del tipo $Tr = \delta \sqrt[3]{V}$ en la que δ depende del uso del espacio⁸², adoptándose en estos casos la forma $Tr = a + b \sqrt[3]{V}$. Cabe destacar entre ellos los siguientes:

- Watson⁸³ establece el tiempo de reverberación óptimo para la música:

$$Tr = 0.75 + 0.12 \sqrt[3]{V}.$$

- Pérez Miñana⁸⁴. Propone la fórmula empírica:

$Tr = f u i \sqrt[3]{V}$ donde $i = 1$ al no existir apoyo electroacústico, u es un coeficiente de valor 0.08 para la palabra y 0.11 para la música⁸⁵ y f es función de la frecuencia, siendo sus valores:

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Coefficiente f	1.30	1.15	1.00	0.90	0.90	0.90

A partir de las experiencias empíricas y en función de ligeras modificaciones del tiempo de reverberación y del nivel sonoro, una serie de autores establecen formas más elaboradas que se adaptan a la forma $Tr = a + b \log V$. Destacamos las siguientes:

- Knudsen⁸⁶, para la frecuencia de 500 Hz y con una ocupación de 2/3 de la iglesia, establece un tiempo de reverberación óptimo, que ha sido refrendado en diferentes iglesias:

Música religiosa : $Tr = 0.34 \log V + 0.50$

Palabra : $Tr = 0.17 \log V + 0.32$

Se establece una corrección en función de las frecuencias⁸⁷:

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Música	1.45	1.15	1.00	1.00	1.00	1.00

- Beranek⁸⁸, a partir de la opinión de la audiencia en salas existentes de reconocida cualidad acústica, establece los siguientes valores para la frecuencia de 500 Hz:

Música religiosa : $Tr = 0.55 \log V - 0.14$

Palabra : $Tr = 0.33 \log V - 0.15$

Al igual que los anteriores autores, establece una corrección en función de las frecuencias:

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Música	1.40	1.15	1.00	1.00	1.00	1.00
Palabra	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

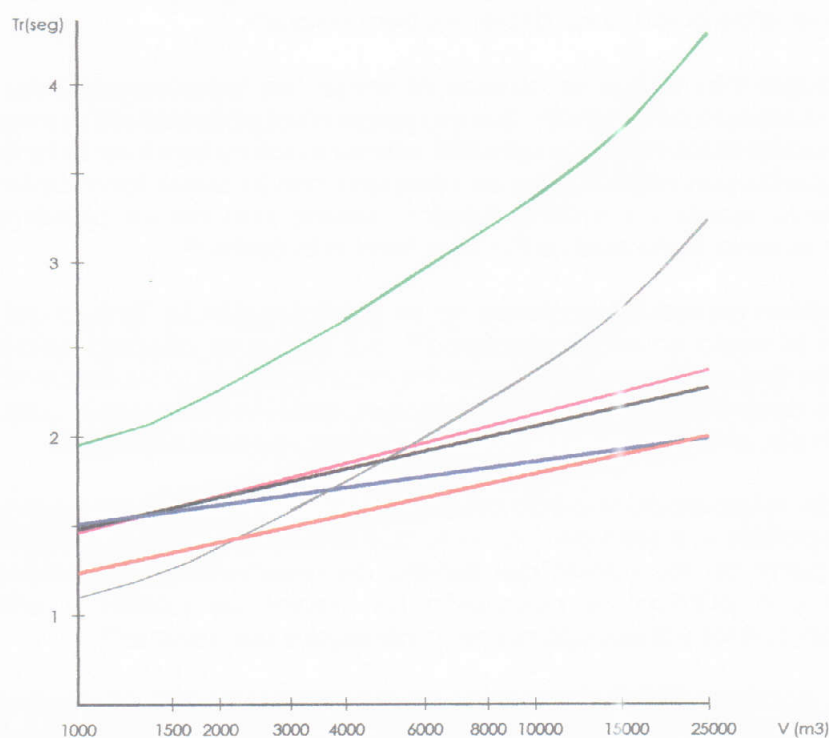
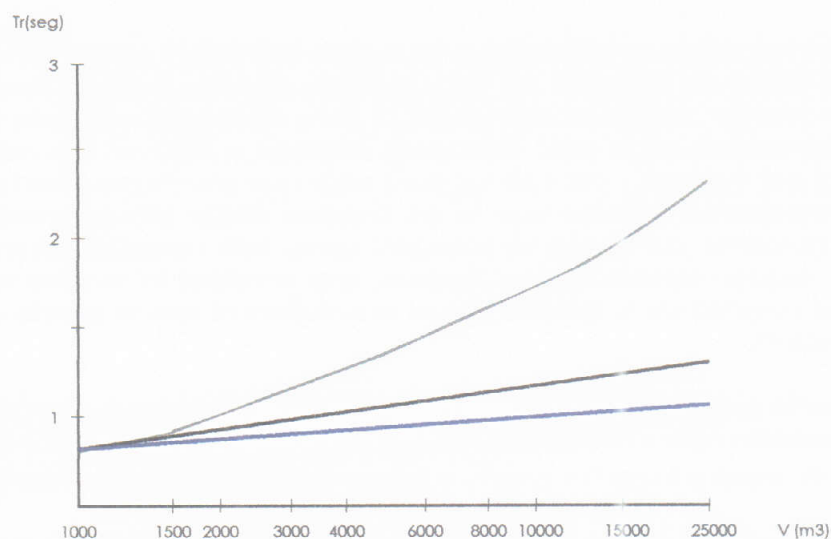
- Cremer⁸⁹ establecen un valor del tiempo de reverberación para la música religiosa de:

$$Tr = 0.138 \log V - 0.306$$

Y, en función de la sensibilidad del oyente, un nivel superior definido por:

$$Tr = 0.63 \log V - 0.4$$

Se representan en la figura 1.25 de forma conjunta las diferentes propuestas de tiempo de reverberación óptimo, tanto para la palabra como para la música.



— WATSON. 1923. — KNUDSEN. 1950. — CREMER. IGLESIAS. 1978
— PÉREZ MIÑANA. 1969. — BERANEK. 1954. — CREMER. 1978

Figura 1.25. Tiempos de reverberación óptimos para la palabra y la música.

Para la palabra debe existir un ajuste entre una adecuada inteligibilidad, un adecuado nivel sonoro y el tiempo de reverberación⁹⁰, por lo que se considera inadecuada la propuesta de Pérez Miñana por ser excesivamente reverberante, lo que suponen una clara degradación del mensaje oral. Se considera como más adecuada la relación establecida por Beranek, que se adapta mejor a la realidad de las condiciones acústicas para la palabra en una iglesia⁹¹.

En cuanto a la música, se observa que los valores de Watson son excesivamente altos para todos los tamaños de sala, mientras que los indicados por Pérez Miñana se pueden considerar algo elevados para volúmenes superiores a 10000 m³ y excesivamente bajos para volúmenes inferiores a 3000 m³. Las relaciones expresadas por Beranek y por Cremer para salas con una mayor reverberación son casi semejantes, mientras que la de Knudsen difiere principalmente para grandes volúmenes, por lo que se considera como más apropiada para el uso musical la relación establecida por Beranek, que combina la reverberación en función del volumen de la iglesia⁹² con el uso musical al que se puede destinar dicho espacio⁹³.

Así pues, tanto para la palabra como para la música, se observa que el tiempo de reverberación óptimo obtenido mediante la forma $Tr = a + b \log V$ responde mejor que la relación lineal $Tr = a + b \sqrt[3]{V}$ a las condiciones acústicas de las iglesias.

A diferencia del tiempo de reverberación para la palabra, donde se recomienda un valor plano de la curva tonal óptima, para la música⁹⁴, un incremento de bajos es deseable para lograr una percepción constante del tiempo de reverberación a las diferentes frecuencias⁹⁵.

Con el modelo informático se obtiene el tiempo de reverberación del recinto mediante la fórmula de Sabine⁹⁶, que se adaptará al obtenido de la medición in situ. Este modelo adaptado nos permitirá estimar la curva tonal en la hipótesis de iglesia ocupada con público, que se compara con la curva tonal óptima para los usos de la palabra y música litúrgica, siendo uno de los objetivos de la corrección acercar en lo posible la curva tonal a la óptima⁹⁷.

Cuando existan espacios acoplados no es de aplicación la fórmula de Sabine, basada en la teoría acústica estadística⁹⁸, por lo que se aplicará ésta sobre el espacio principal, sustituyendo los espacios acoplados por la superficie virtual de separación de éstos con el volumen principal, debiéndose obtener, partir de la medición in situ, el coeficiente de absorción sonora de esta superficie.

El tiempo de reverberación no sólo determina la viveza acústica del espacio, sino también la calidez y el brillo del mismo, lo que informa sobre el balance tonal del sonido. A partir de los valores del tiempo de reverberación obtenidos de la estimación con público, se calcularán los valores de calidez y brillo y se compararán con los valores óptimos recomendados por Beranek⁹⁹.

La calidez acústica (BR) refleja la viveza a bajas frecuencias y representa la suavidad y melosidad de la música¹⁰⁰. El margen de los valores recomendado, según Beranek¹⁰¹, para una sala de conciertos destinada a música sinfónica y totalmente ocupada, es:

Tiempo de reverberación	Calidez (BR)
$Tr_{mid} > 2.2 \text{ s}$	$1.1 \leq BR \leq 1.25$
$Tr_{mid} \leq 1.8 \text{ s}$	$1.1 \leq BR \leq 1.45$
$2.2 \geq Tr_{mid} \leq 1.8 \text{ s}$	Se interpola linealmente.

Tabla 1.1. Valores óptimos de calidez (BR)

El brillo (Br) es indicativo de que el sonido de la sala sea claro y rico en armónicos¹⁰². Beranek recomienda que su valor sea superior a 0.87¹⁰³.

Distribución sonora.

El estudio de la distribución sonora se ha efectuado con una fuente sonora omnidireccional y una potencia de emisión que ha variado en cada iglesia en función de su volumen y sus características absorbentes, obteniéndose los valores de presión sonora en cada punto y frecuencia, así como los valores globales en cada punto, tanto lineal como ponderado, y las curvas isonivel.

Como la fuente está calibrada, una vez conocida la potencia de emisión, se estudia el carácter difuso del campo acústico. Para ello, se comparan los niveles correspondientes, en función de la distancia, con los previstos por los modelos clásicos y de Barron¹⁰⁰.

El empleo del modelo informático, mediante el programa CATT-Acoustic¹⁰¹, permite realizar el estudio teórico de distribución sonora. El análisis de las reflexiones, hasta tercer orden, de las primeras reflexiones y de la cola reverberante, mediante la obtención de los ecogramas en cada punto (representación de la energía sonora respecto al sonido directo en función del tiempo) nos aporta información sobre la estructura temporal del campo sonoro. El criterio acústico considerado ha sido el admitir como reflexiones beneficiosas las que se producen con un retardo máximo de 60 ms respecto al sonido directo para la palabra y de 100 ms para el uso musical.

Mediante el programa informático, se obtendrán los niveles de sonoridad (G) en cada punto y frecuencia, informando sobre el grado de amplificación del sonido producido en la iglesia. Beranek¹⁰² recomienda que el valor de la sonoridad para la sala vacía, obtenido como promedio de los correspondientes a las bandas de octava centrales de 500 y 1000 Hz, esté situado entre $4 \leq G \leq 5.5$ dB.

Así mismo, se obtienen los valores de intimidad acústica, impresión subjetiva que viene determinada por el indicador ITDG (Initial Time Delay Gap) o retardo de la primera reflexión representativa respecto al sonido directo, como parámetro de valoración de la calidad musical principalmente. Beranek recomienda valores inferiores a 20 ms¹⁰³. Valores superiores a 35 ms suponen generalmente una reducción significativa de la calidad acústica de la sala.

Inteligibilidad.

Para la obtención de la inteligibilidad se ha utilizado el índice RASTI (Rapid Speech Transmission Index). Se coloca un emisor con unas características direccionales semejantes a la cabeza humana, y se recoge la señal con un micrófono colocado en los mismos puntos que anteriormente se utilizaron y se envía a un receptor para su posterior análisis.

A partir de los datos obtenidos se representa la relación entre el índice RASTI y la distancia de cada punto a la fuente, permitiéndonos obtener la calificación de inteligibilidad en cada punto¹⁰⁴.

Mediante el empleo del programa CATT-Acoustic, se calculan magnitudes energéticas que determinan la calidad acústica del recinto como son la definición y la claridad musical

La definición (D) es un valor relacionado con la claridad de la voz (C_{50})¹⁰⁵ y refleja el grado de inteligibilidad de la palabra, siendo su valor recomendado para la sala ocupada, y en cada banda de frecuencias, superior a 50%¹⁰⁶.

La claridad musical (C_{80}) indica el grado de separación entre los diferentes sonidos integrantes de la composición musical. Marshall¹⁰⁷ propone para salas ocupadas el siguiente margen de variación, para el valor medio ponderado en las frecuencias de 500 a 2000 Hz: $-2 \leq C_{80}(3) \leq +2$ dB¹⁰⁸. Cuando la música sea de órgano, Marshall propone un intervalo: $-8 \leq C_{80}(3) \leq -2$ dB.

Ruido de fondo.

El control del ruido de fondo es un aspecto importante en estos espacios, que suelen presentar bajos valores de aislamiento debido a la falta de hermeticidad de los huecos.

De la medición se obtienen los valores del ruido de fondo por banda de octava, comparando el espectro obtenido con las curvas NR (noise reduction), recomendando valores entre 25 y 35¹⁰⁹. Con el sonómetro se obtiene el nivel sonoro equivalente, valor que se compara con el valor máximo admitido en iglesias de 40 dBA.

Otros parámetros.

Se analizan entre sí una serie indicadores de tipo genérico, que relación magnitudes geométricas de la iglesia y de aforo, como indicadores para una mejora de la calidad acústica. Los valores recomendados¹¹⁰ de estos indicadores (tabla 1.2) surgen a partir de las relaciones obtenidas en diferentes salas con una acústica considerada como buena.

La relación volumen/plaza está vinculada con el tiempo de reverberación de la sala, al ser éste directamente proporcional al volumen e inversamente proporcional a la absorción sonora del mismo.

La absorción sonora total de una sala aumenta proporcionalmente con la superficie de suelo ocupada por la audiencia, siendo prácticamente independiente del número de personas, por lo que Beranek¹¹¹ propuso la relación volumen/área de audiencia como un parámetro importante en el diseño de salas. Además se debe mantener una adecuada relación entre la superficie acústica efectiva del área de audiencia y el número de plazas.

Relación	Valor recomendado
Volumen/plaza	5.1 ÷ 9.1
Volumen/área de audiencia	9.2 ÷ 12.0
Área de audiencia/plaza	0.63 ÷ 0.75

Tabla 1.2. Valores recomendados para las relaciones geométricas y de aforo en iglesias.

Objetivos acústicos.

A partir de los datos anteriores, se realiza la diagnosis acústica, basada en la interpretación de los valores obtenidos, detectando los principales problemas acústicos. Se valoran los recursos conceptuales disponibles para evitar estas disfunciones acústicas determinando, a partir de las condiciones particulares de cada iglesia, las soluciones más idóneas que se formalizarán adecuadamente en función de los criterios específicos del proyecto arquitectónico.

Las soluciones deberán dar respuestas a los objetivos acústicos en este tipo de espacios, que serán principalmente:

- Uno de los principales objetivos será el acercar la curva tonal a la curva tonal óptima calculada¹¹², ya que el tiempo de reverberación es el parámetro que mejor caracteriza la calidad acústica del espacio.
- En el estudio de los niveles de presión sonora en cada punto de la iglesia, lo importante no es tanto el valor absoluto en cada punto, sino las diferencias de nivel que se producen entre diferentes posiciones de la audiencia, buscando que las diferencias sean mínimas. Búsqueda de una adecuada difusión del sonido, que tienda a igualar la intensidad sonora.
- Evitar cualquier fallo acústico que pueda interferir en la recepción del sonido directo y reflejado, tales como concentraciones, sombras acústicas, focalizaciones y eco.
- Existencia de primeras reflexiones con niveles sonoros altos frente al sonido directo, ya que éstas favorecen la intimidad, la inteligibilidad y la sonoridad, siendo de especial importancia para la comprensión del mensaje oral.
- Exigir un adecuado control del ruido de fondo, ya que influye notablemente en la inteligibilidad de la palabra, pues el ruido de fondo puede enmascarar el sonido.

Las exigencias acústicas, en cada caso, dependerán de la utilización de la iglesia. Así, para una adecuación para la palabra principalmente, se buscará una baja reverberación, un elevado nivel sonoro y una adecuada inteligibilidad.

La adecuación musical es más compleja, ya que cada tipo de música requiere de un recinto con unas características acústicas específicas y diferenciadas. A nivel general, es deseable una cierta espacialidad del sonido, pero siendo importante la inteligibilidad que se traduce en la claridad del sonido musical. Por lo tanto, hemos de encontrar el equilibrio entre la espacialidad y la claridad, pero este equilibrio dependen del tipo de música que se interprete. Así una música barroca requiere alta claridad y baja reverberación y una música romántica necesita una alta reverberación y una baja claridad. Además existen criterios subjetivos más difíciles de establecer, ya que en ellos intervienen criterios de orden estético, pero en cualquier caso, siempre debe existir un buen componente de sonido directo y un equilibrio adecuado entre reverberación y claridad.

En ciertas iglesias se tendrá el requisito de satisfacer diferentes usos y exigencias, tanto para la palabra como para la música. Esta dualidad nos llevará a proponer sistemas de acústica variable que satisfagan las necesidades específicas de cada uso. Siendo difícil en los espacios eclesiales modificar su volumen, se utilizarán métodos de absorción adicional, intentando en cualquier caso conseguir un ambiente musical lo más adecuado posible, mientras no interfiera a la inteligibilidad de la palabra. Dado que las características acústicas de un recinto son más una cuestión de grandes formas que de pequeños detalles, para que la acústica variable sea significativa deben producirse importantes cambios.

NOTAS.

¹ ZAMBRANO, M. "Apuntes sobre el lenguaje sagrado y las artes" en *Obras reunidas*. Aguilar, Madrid 1971, pp. 222-223.

² Metodología e instrumentación desarrollada por el grupo de trabajo formado por los profesores J.J. Sendra, T. Zamarreño y J. Navarro dentro del ámbito teatral y eclesial.

³ Con mayor razón, y sin escrúpulo alguno, cuando el mismo Fernando III había entrado en la mezquita mayor bajo el canto del *Te Deum* y consagraba ésta como capilla.

⁴ NIETO CUMPLIDO, M. *Historia de la iglesia en Córdoba. Reconquista y Restauración (1140-1326)*. Monte de Piedad y Caja de Ahorros de Córdoba, Córdoba 1991, pp. 367-370.

⁵ En opinión de DUCLÓS BAUTISTA, G. el mudéjar no es un estilo sino que se define como la pervivencia de lo hispanomusulmán en la sociedad cristiana del momento tras la desaparición del poder político. *Carpintería de lo blanco en la arquitectura religiosa sevillana*. Diputación Provincial de Sevilla, Sevilla 1993, p. 28.

⁶ TORRES BALBÁS, L. "Origen de las disposiciones arquitectónicas de las mezquitas". *Obra dispersa. Crónica de la España musulmana*, 5. Instituto de España, Madrid 1981, pp. 145 y ss.

⁷ La precariedad económica, no permitirá otra cosa que la restauración de la techumbre que "era de adobar en muchas guisas". Archivo de la catedral de Córdoba, caja P nº 251. Citado en NIETO CUMPLIDO, M. op. cit., p. 368.

⁸ LAGUNA PAÚL, T. "El segundo arte cristiano" en *Córdoba y su provincia. Tomo III*. Ediciones Gever S.L., Sevilla 1986, p. 167. Se puede hablar de una arquitectura de reconquista (1236-1340) hasta la batalla del Salado, periodo durante el cual las pestes, las luchas y la precaria situación económica debieron paralizar muchas construcciones.

⁹ En los lugares más pobres parece debió recurrirse, según el humilde tipo de iglesia que se conservaba en El Guijo hasta finales del siglo XVI, a una construcción en la que sólo se utilizó madera. La iglesia de esta pequeña villa se nos describe como "de una nave fundada sobre pilares de maderos rollizos y por los costados del texto y van por lo largo unos maderos, los quales estaban apuntalados a manera de choza. El techo de cañas, hojas e madera de encina tosca y vieja". Archivo general del obispado de Córdoba, sec. visitas generales. El Guijo 1589. Citado en NIETO CUMPLIDO, M., op. cit., p. 370.

¹⁰ La importancia de la música se remonta al nacimiento de la cristiandad. San Pablo dijo: "hablando los unos a los otros en salmos, en himnos y en cánticos espirituales, cantando y alabando al Señor en vuestros corazones" (Efesios 5:19). Todas las melodías comparten su carácter monódico, su función litúrgica y el uso de la lengua latina; además la música debía tener una función docente. VICENTE DELGADO, A. *Música Sacra*, Tomo I. Ediciones Altaya, Barcelona 1999, p. 8.

¹¹ NIETO CUMPLIDO, M. op.cit., p. 370.

¹² Muy alterada ya que en el siglo XVIII se construyó una iglesia perpendicular a la medieval, parte de la antigua nave central y la capilla mayor quedaron como crucero del nuevo templo y el ábside se convirtió en capilla del Sagrario

¹³ En las órdenes medicantes, el espacio sagrado adquiere una nueva finalidad, dejando de ser el espacio cerrado reservado a la actividad litúrgica de los monjes, y abre sus puertas a los fieles, llegando a utilizarse en la predicación el idioma vulgar frente al latín. CUADRADO SÁNCHEZ, M. "Arquitectura de las órdenes mendicantes" *Cuadernos de arte español* Nº 86. Grupo 16, Madrid 1993, p. 12.

¹⁴ LAGUNA PAÚL, T. op.cit., p. 168.

¹⁵ JORDANO BARBUDO, M.T. *Arquitectura medieval cristiana en Córdoba*. Universidad de Córdoba, Córdoba 1996, pp. 23-29.

¹⁶ NIETO CUMPLIDO, M. op.cit., p. 371.

¹⁷ CHUECA GOITIA, F. en *Historia de la arquitectura*, p. 356, citado en NIETO CUMPLIDO, M., op.cit., p. 372.

¹⁸ En la Edad Media se tiende a buscar maneras de reducir la interferencia de la reverberación sobre la liturgia verbal. El canto gregoriano y la música polifónica son el

resultado de dicha búsqueda. Era esencial para la música interpretarse y cantarse despacio, y la palabra era cantada de forma monótona para ser inteligible. Los cantos lentos y majestuosos incrementan la cantidad de mensaje y explotan la frecuencia selectiva del oído, lo que se explica el estilo silábico del gregoriano. LUBMAN, D. "Notes on Conflicting Acoustical Requirements for Speech and Music in Worship Spaces, and the Uses of Electronics for their Reconciliation" en *Acoustics of Worship Spaces*. American Institute of Physics, Nueva York 1985, p. x.

¹⁹ NIETO CUMPLIDO, M. *Historia de Córdoba. Islam y cristianismo*. Monte de Piedad y Caja de Ahorros de Córdoba, Córdoba 1984, pp. 297-298.

²⁰ JORDANO BARBUDO, M.A. op.cit., p. 150.

²¹ Ibídem, pp. 176-179.

²² VILLAR MOVELLÁN, A. "La arquitectura del quinientos" en *Córdoba y su provincia*. Tomo III. Ediciones Gever S.L., Sevilla 1986, p. 211.

²³ Al aumentar el número de líneas melódicas, diferentes voces se escuchan como entidades diferentes y en ocasiones dificultan la comprensión de los textos sagrados.

²⁴ WITTKOWER, R. *Principiu arhitecttoni nell'età dell'umnesimo*. Turín. 1964, pp. 26 y ss. Citado por RIVAS CARMONA, J. *Arquitectura barroca cordobesa*. Monte de Piedad y Caja de Ahorros de Córdoba, Córdoba 1982, p. 81.

²⁵ FRANKL, P. *Principios fundamentales de la historia de la arquitectura*. Gustavo Gili, Barcelona 1981, p. 227.

²⁶ El pronunciamiento en España más importante sobre la música religiosa del siglo XVI fue el expresado por el Concilio Provincial de Toledo, en 1565: "Cuando se cante en la iglesia debe redundar en gloria de Dios y debe ser comprendido por las gentes. Las palabras no deben ser oscuras. El canto polifónico puede seguirse utilizando pero el texto debe ser claramente inteligible". Citado por SENDRA SALAS, J.J. y otros. *La evolución de las condiciones acústicas en las iglesias: del Paleocristiano al Tardobarroco*. IUCC ETSA Sevilla, Sevilla 1997, p. 52.

²⁷ ILLESCAS ORTIZ, M. "La Arquitectura de los s. XVII y XVIII" en *Córdoba y su provincia tomo III*. Ediciones Gever S.L., Sevilla 1986, pp. 275-280.

²⁸ RIVAS CARMONA, J. op. cit., p. 84.

²⁹ RODRÍGUEZ, G. DE CEBALLOS, A. *Bartolomé de Bustamante y los orígenes de la arquitectura jesuítica en España*. Roma 1967, p. 314 y ss. Citado por RIVAS CARMONA, J. op. cit., p. 84.

³⁰ "Los jesuitas habían suprimido el oficio coral en sus iglesias, por lo que redujeron las dimensiones del coro. En cualquier caso, en determinadas celebraciones no se podían evitar los cánticos, y dispusieron una tribuna de cantores inmediatamente detrás de la fachada principal, al pie de la iglesia." SENDRA SALAS, J.J. y otros, op. cit., nota 74, p. 78.

³¹ D'ORS, E. *Lo barroco*. Madrid 1964, p. 82. Citado por RIVAS CARMONA, J. op. cit., p. 115.

³² CHUECA GOITIA, F. *Invariantes castizos de la arquitectura española*. Dossat, Madrid. 1981, pp. 139 y ss., apunta cómo es típico de ésta la decoración suspendida, contraviniendo el más elemental principio de la lógica arquitectónica Normalmente se lleva la ornamentación a la altura de las cornisas, a las pechinas, a las bóvedas y a las cúpulas, quizá para evitar que sea maltrecha por el roce o quizá siguiendo una tradición instintiva, que se remonta al arte musulmán.

³³ BENEVOLO, L. *Historia de la arquitectura del Renacimiento. La arquitectura clásica del siglo XV al siglo XVIII*. Vol 2. Gustavo Gili, Barcelona 1981, p. 1183, citado por SENDRA SALAS, J.J. y otros, op. cit. p 85.

³⁴ MARTÍ ARÍS, C., *Las variaciones de la identidad. Ensayo sobre el tipo en arquitectura*. Serbal, Barcelona 1993, p. 12.

³⁵ HUGO, V. *Nôtre-Dame de Paris*, 1831. Versión castellana, Alianza Editorial, Madrid, 1980, pp. 132-134. Citado en MARTÍ ARÍS, C. op. cit., p. 18.

³⁶ ZEVI, B. *Saber ver la arquitectura*. Poseidón, Barcelona, 1979, pp 76-78.

³⁷ La arquitectura medieval fue víctima de la revalorización del clasicismo, así en manuales, como el *Tratado de arquitectura* de Serlio (1475-1554), se indica cómo transformar los edificios góticos en renacentistas.

³⁸ CHUECA GOITIA, F. op. cit., p. 144.

³⁹ "Las Partidas (1256-1265) código redactado durante el reinado de Alfonso X el Sabio, suponen el primer antecedente en Castilla de legislación que trata del respeto debido a los edificios religiosos, no como monumentos, sino por su condición de recinto sagrado". LACUESTA, R. *Restauració monumental a Catalunya (segles XIX i XX) Les aportacions de la Diputació de Barcelona*. Diputació de Barcelona, Barcelona 2000, p. 189.

⁴⁰ CAPITEL, A. analiza las teorías de la restauración en *Metamorfosis de monumentos y teorías de la restauración*. Alianza Forma, Madrid 1988, pp. 17-50.

⁴¹ VAN DER ROHE, M. "Arquitectura y voluntad de época", 1924 recogido por NEUMEYER, F. en *Mies van der Rohe, La palabra sin artificio*. El Croquis, Madrid 1995, p. 37. La concepción de la arquitectura como fruto de una época supone la negación del subjetivismo, "Las construcciones de épocas anteriores no nos parecen tan importantes por su realización arquitectónica, sino por ser creaciones de una época entera y no obra de una persona determinada. Son portadoras puras del espíritu de una época. En esto radica su significado más profundo. Sólo así podrían convertirse en símbolos de su tiempo".

⁴² MONEO, R. "La vida de los edificios. Las ampliaciones de la Mezquita de Córdoba." *Arquitectura 256*, Madrid, 1985, pp. 26-36.

⁴³ MARTÍ ARÍS, C. op. cit., p. 82.

⁴⁴ Para Platón la forma es el eidos, la idea o esencia invisible de un objeto, y es ella la que le hace ser lo que es porque es aquello que permanece. Véase AZÚA, F. DE *Diccionario de las artes*. Planeta, Barcelona 1995, pp. 157-160.

⁴⁵ RIEGL, A. plantea que los monumentos poseen valor de contemporaneidad por el que tienen capacidad de satisfacer las necesidades actuales y un valor instrumental si éstas son materiales o un valor artístico sin son espirituales, si no se reutilizaran habría que crear algo nuevo que los sustituyera. *El culto moderno a los monumentos. Caracteres y origen*. Visor, Madrid 1987, pp. 71-73.

⁴⁶ En palabras de Miguel de Unamuno "De puro sabido se olvida que la representación del mundo no es idéntica en los hombres, porque no son idénticos ni sus ambientes ni las formas de su espíritu, hijas de un proceso de ambientes". Citado por CHUECA GOITIA, F. *Invariantes castizos de la arquitectura española. Invariantes en la arquitectura hispanoamericana. Manifiesto de la Alhambra*. Dossat, Madrid 1981, p. 31.

⁴⁷ VILLANUEVA SANDINO, F. "El proyecto de rehabilitación" en *Restauración de la casa-palacio de Miguel Mañara*. Junta de Andalucía. Consejería de Cultura, Sevilla 1993, pp. 29-37.

⁴⁸ La imposibilidad de establecer una teoría o doctrina de intervención es denominador común de la mayoría de autores, así SOLÁ-MORALES, I. "Dal contrasto all'analogia. Trasformazioni nella concezione dell'intervento architettonico" en *Lotus*, 46 Electa Milan 1986, p. 37 cita "Es un gran error pensar que se puede establecer una doctrina o aún menos una definición científica de la intervención arquitectónica. Al contrario, sólo comprendiendo las bases de partida de la cuestión original, es posible descifrar las diferentes relaciones que se han establecido a lo largo del tiempo".

⁴⁹ "El predominio de la categoría de contraste, como fundamento del problema estético, ya pertenece al pasado, y se puede utilizar como una figura retórica más de las complejas relaciones que la sensibilidad actual establece con la arquitectura del pasado". *Ibidem*, p. 40.

⁵⁰ El problema de los criterios ha basculado a lo largo de la historia desde la búsqueda de la forma prístina de Viollet-le-Duc y la muerte digna de los edificios de Ruskin, desde la acción mínima y la diferenciación entre lo viejo y lo nuevo de Boito, del problema del contraste fondo y figura, desde la sensibilidad ambientalista al tipologismo, del recurso de la abstracción y de la analogía o a la poética de lo fragmentario. Véase MOSQUERA ADELL, E. "De la utilidad de la arquitectura para el patrimonio" en *Arquitectura y Patrimonio*. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, Jerez 1994, p. 21-22.

⁵¹ PAZ, O. *Los hijos del limo. Del romanticismo a la vanguardia*. Seix Barral. Barcelona 1986. Citado por MARTÍ ARÍS, C. op. cit., p. 186.

⁵² Ejemplos de realizaciones con analogía formal sobre arquitectura eclesial son aportados por CAPITEL, A. op. cit. pp. 147-155, y en *Proyectos de intervención en edificios y recintos históricos*. C.O.A.M., Madrid 1987.

⁵³ "Analogía formal como la medida de un diálogo interno entre los contenidos de un edificio del pasado y su lectura y reapropiación en el momento de intervenir sobre él". SOLÁ-MORALES, I. "Transformaciones. Una revisión de métodos." en *Arquitectura Viva*, 6, Madrid 1989, p. 6.

⁵⁴ CAPITEL, A. op. cit., p. 154.

⁵⁵ SOLÁ MORALES, I. "Transformaciones. Una revisión..." op. cit. p. 6.

⁵⁶ Resulta imposible eliminar la propia interpretación en el análisis del edificio histórico como apunta SOLÁ-MORALES, I. en "Teorías de la intervención Arquitectónica". *Quaderns d'arquitectura i urbanisme* 155. Barcelona 1982, p. 30.

⁵⁷ "Lo edificado necesita de un sentido, no de una ley que lo explique. Se abre claramente para el arte y la arquitectura un territorio que habla de relaciones, mejor de interrelaciones". MORALES, J.. "La construcción del olvido. Memoria, Historia, Proyecto" en *Arquitectura y Patrimonio*. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, Jerez 1994, p. 50.

⁵⁸ VILLANUEVA SANDINO, F. op. cit., p. 33.

⁵⁹ QUETGLAS, J. "La danza y la procesión" en *Croquis* 64, Madrid 1994, p. 33. En este ensayo el autor analiza la forma del tiempo en la arquitectura, centrándose en el análisis de ésta en la obra de Rafael Moneo.

⁶⁰ *Ibidem*, p. 40.

⁶¹ Véase RUIZ CABRERO, G. "Principios y criterios a respetar en la redacción de los proyectos de las obras de restauración de la mezquita de Córdoba" en *Proyectos de intervención en edificios y recintos históricos*. C.O.A.M., Madrid, 1987, pp. 207-210.

⁶² Citado por GONZÁLEZ MORENO-NAVARRO, A. "El monumento, documento y arquitectura. Apuntes sobre su posible restauración objetiva" en *Restauración arquitectónica II*. Universidad de Valladolid, Valladolid 1998, pp. 46-47.

⁶³ Citado por PIOZ-GÓMEZ, J. "Intervención en edificios históricos. Un paseo crítico" en *Proyectos de intervención en edificios y recintos históricos*. C.O.A.M., Madrid 1987, p. 25.

⁶⁴ WITTGENSTEIN, L. *Tractatus Logico-Philosophicus*, Alianza, Madrid 1973, citado por ESPUELAS, F. *El claro en el bosque*. Fundación Caja de Arquitectos. Barcelona 1999, p. 102.

⁶⁵ "Gaudí estudiaba cuidadosamente las posibilidades musicales de su iglesia, y concibió un proyecto fantástico de hacer concordar el sonido de estas campanas con el de un órgano desmesurado cuyos tubos estarían en las torres de poniente. Toda la ciudad escucharía estemecida tales sonidos sagrados. Como en una ópera wagneriana, la Sagrada Familia no sería sólo una cosa para mirar sino que involucraría a todos los sentidos. Esta obra de arte total haría presentir a los creyentes la gloria ultraterrena de Dios" RAMÍREZ, J.A. *Gaudí*. Anaya. Biblioteca básica de arte, Madrid 1992, p. 86.

⁶⁶ En las primeras culturas, el espacio sagrado es más un espacio inmediato y de referencias de carácter sensorial que un espacio de carácter geométrico, más un "espacio acústico" que visual. GIEDION, S. *El presente eterno: Los comienzos del arte*. Alianza, Madrid, 1981, capítulo VI. Citado por BARAÑANO, K. de en "Geometría y tacto. La escultura de Chillida 1948-1998" en *Chillida 1948-1998*. Catálogo de la Exposición. Museo Nacional Reina Sofía, Madrid 1998, p. 89.

⁶⁷ Citado por BARAÑANO, K. de, op. cit., p. 33.

⁶⁸ El silencio adquiere una especial importancia en estos espacios, llegando a hacerse sonoro, elocuente. MARTÍ ARÍS, C. *Silencios elocuentes*, op. cit., se dedica a desentrañar las claves de la poética del silencio en diferentes obras y autores.

⁶⁹ "Creen las gentes que la música consiste en la armadura de un orden sonoro, y en buena medida eso es la música, pero más exactamente, la música es un orden del tiempo, un arte que da sentido y significado al fluido inaprensible de la duración... Para nosotros, nacidos en la cultura cristiana de occidente, el mínimo elemental de música, es el tañido de una campana". AZÚA, F. de. *La invención de Caín*. Alfaguara, Madrid 1999, p. 259.

⁷⁰ Hasta el siglo XIX no surgen las primeras salas de concierto, arquitectura específica para la interpretación musical.

⁷¹ "No sabemos de ningún problema formal, sólo problemas constructivos. La forma no es la meta, sino el resultado de nuestro trabajo. La forma, por sí misma, no existe. La verdadera plenitud de la forma está condicionada con la propia tarea, sí, es la expresión elemental de su solución." VAN DER ROHE, M. "Escritos" 1923 recogido por NEUMEYER, F.

op. cit. p. 366. Mies rechaza la voluntad de inventar formas, la aleatoriedad no es aceptable.

⁷² Para un conocimiento de la historia de la evolución del tipo eclesial desde el problema acústico véase SENDRA SALAS, J.J. y NAVARRO CASAS, J., *La evolución de las condiciones acústicas en las iglesias del Paleocristiano al Tardobarroco*. I.U.C.C., ETSA Universidad de Sevilla, Sevilla 1997.

⁷³ "La reverberación es uno de los componentes que utiliza el compositor (y el intérprete) para producir un efecto musical, y por lo tanto no parte de la música" BERANEK, J.L. *Concert and Opera halls. How they sound*. Acoustical Society of America, Nueva York 1996, p. 30.

⁷⁴ La máxima absorción se obtiene con público situado de pie, situación habitual en las iglesias hasta que el protestantismo debido a la duración de la liturgia, introdujo los asientos, lo que supuso la aparición de las galerías como describe FRANKL, P. *Principios fundamentales de la historia de la arquitectura. el desarrollo de la arquitectura europea: 1420-1900*. Gustavo Gili Arte, Barcelona 1981, p. 232.

⁷⁵ "La sobriedad y principio de autenticidad deseables en un templo, limitan la utilización de los absorbentes, de manera que no se disfraza la veracidad de los materiales empleados en su construcción". PÉREZ MIÑANA, J. *Compendio práctico de acústica*. Labor, Barcelona 1969, p. 407.

⁷⁶ Según KNUDSEN, V.O. y HARRIS, C.M. op. cit., p. 177, los espacios con una profundidad superior a dos veces la altura de la apertura con el espacio principal se consideran espacios volumétricamente independientes del espacio principal. KUTTRUF, H. *Room Acoustics*. Elsevier Science Publishers Ltd., Nueva York 1991, considera efectos de acoplamiento si el área de la superficie virtual de separación entre los espacios acoplados es sustancialmente más pequeña que el área total de las paredes del volumen acoplado. CARVALHO, A. "The use of Sabine and Eyring reverberations equations to churches" en *129th Acoustical Society of America Meeting*, Washington 1995, propone que las capillas se considerarán acopladas al volumen principal si la profundidad del volumen acoplado es mayor que 0.6 veces la anchura de la superficie virtual de separación.

⁷⁷ SCHROEDER, M.R. "New method of measuring reverberation time" *Journal of the Acoustical Society of America* 37, 1965, pp. 409-412.

⁷⁸ EYRING, F. en "Reverberation time measurements in coupled rooms" *Journal of the Acoustical Society of America* 3, 1931, pp.181-206, señala que las curvas de decaimiento de energía sonora, en una escala logarítmica no son, en general, lineales en espacios acoplados que tienen diferentes tiempos de reverberación, o incluso en un espacio único con distribución no uniforme de absorción y no difuso. Citado en XIANG, N y GOGGANS, P. "Evaluation of decay times in coupled spaces: Bayesian parameter estimation" en *Journal of the Acoustical Society of America* 110(3), September 2001, p. 1416.

⁷⁹ Los coeficientes de absorción a las distintas frecuencias se tomarán de las fuentes bibliográficas de mayor prestigio, dada la dispersión en ocasiones de los valores, promediándose en ciertas ocasiones éstos.

⁸⁰ BARRON, M. *Auditorium Acoustics and Architectural Design*. E&FN Spon, Londres 1993, pp. 28-29, aconseja que se considere este criterio de tiempo de reverberación óptimo en función del programa para auditoriums y en relación con el volumen para pequeñas salas de recitales. De cualquier manera, para iglesias de tamaño intermedio, a las que se le exija un buen programa musical y una adecuada inteligibilidad para la palabra, se le debería requerir un ambiente acústico similar al de una sala de conciertos.

⁸¹ Para su determinación, se ha utilizado el método experimental, mediante la medición del tiempo de reverberación en salas con una reconocida reputación desde el punto de vista acústico, cuyos valores se han tabulado a partir del volumen y uso de la sala.

⁸² CONTURIE, L. *L'acoustique dans les batiments. Théorie et applications*. Éditions Eyrolles. París 1955, pp. 71-74, basándose en la teoría del decrecimiento constante de la energía sonora dentro de los recintos, establece para la iglesia un valor $\delta = 0.10$. En esta misma línea, JOUHANEAU, J. *Acoustique des salles et sonorisation*. Technique & Documentation. París 1997, pp. 210-211, establece valores para esta constante δ en función del uso y del volumen de la sala, así para salas de conciertos (de 10.000 a 25.000 m³) $\delta = 0.07$ y para teatros (de 500 a 10.000 m³) $\delta = 0.05$.

⁸³ WATSON, F.R. *Acoustics of Buildings*. Wiley, Nueva York 1923, citado en BARRON, M. op. cit., p 196 y JOUHANEAU, J. op. cit., p 211.

⁸⁴ PÉREZ MIÑANA, J. op. cit., pp. 404-408.

⁸⁵ *Ibidem.*, p. 407, "Dado el mayor volumen por plaza de una iglesia, es recomendable, aumentar ligeramente el tiempo de reverberación para conseguir un refuerzo de la intensidad hasta un grado que no suponga un enmascaramiento contraproducente", estos valores del coeficiente *u* suponen un aumento de la reverberación en las iglesias de un 6% para la palabra y de un 10% para la música respecto a locales propios para estas actuaciones.

⁸⁶ KNUDSEN, V.O. y HARRIS, C.M. *Acoustical Designing in Architecture*. Acoustical Society of America, Nueva York 1988, pp. 174 y 331-332.

⁸⁷ KNUDSEN, V.O. op. cit., p. 174, especifica que una desviación de un 10% de los valores del tiempo de reverberación es aceptable, aunque es más recomendable adaptarse a los valores determinados y permitir un incremento a bajas frecuencias.

⁸⁸ BERANEK, L. *Acoustics*. Acoustical Society of America, Nueva York 1993, pp. 425-426.

⁸⁹ CREMER, L., MÜLLER, H. y SCHULTZ, T.J. *Principles and Applications of Room Acoustics*. Vol 1 y 2. Applied Science Publishers, Londres 1982, pp. 613 y 625.

⁹⁰ Los valores del tiempo de reverberación para la palabra, a medias frecuencias, deben oscilar entre 0.7÷1.2 s para espacios comprendidos entre 100 y 10000 m³, ya que valores superiores a 1.5 s resultan excesivamente "vivos" para su utilización para la palabra, mientras que valores inferiores a 0.5 s suponen tener un espacio demasiado "seco" con la consiguiente falta de confort acústico y de nivel sonoro, en especial en los puntos más alejados del foco. CARRIÓN ISBERT, A. *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. UPC, Barcelona 1998, pp. 181-182.

⁹¹ CREMER y MÜLLER, op. cit., p. 624 confirman que "a pesar de la preocupación por la inteligibilidad del sermón y las oraciones, el tiempo de reverberación en iglesias ocupadas, debe ser más alto del que le correspondería para salas destinadas exclusivamente para la palabra, para poder adaptarse a la música, que fue escrita, después de todo, *ad majorem gloriam Dei*".

⁹² BARRON, M. op. cit., p. 196, "La elección del tiempo de reverberación óptimo para espacios con un volumen intermedio, es más difícil que en grandes volúmenes, pero menos decisivo. Las reflexiones laterales llegan pronto, lo que supone que se mantiene de forma satisfactoria la claridad, que en grandes espacios es menor".

⁹³ BARRON, M. op. cit., p. 29. En función del tipo de música que se interprete, a partir de salas con reconocida acústica, se tiene para frecuencias medias los siguientes valores:

Música de órgano.	> 2.5 s
Música clásica romántica	1.8-2.2 s
Música clásica	1.6-1.8 s
Opera	1.3-1.8 s
Música de cámara	1.4-1.7 s

⁹⁴ BARRON, M. op. cit., p. 197. "El tiempo de reverberación característico con la frecuencia es también un elemento necesario para tener un balance tonal. Un tiempo de reverberación a altas frecuencias similar al valor a medias reforzaría la brillantez tonal. El tiempo de reverberación a bajas frecuencias determinará la calidez".

⁹⁵ BARRON, M. op. cit., p. 29, "Este argumento se basa en la frecuencia característica del oído: si bien a elevados niveles de sonido el oído presenta la misma sensibilidad a todas las frecuencias, a bajos niveles de sonido, éste es mucho menos sensible a bajas frecuencias... Un mayor tiempo de reverberación a bajas frecuencias puede compensar esto. Un incremento de un 50% a 125 Hz en relación con el valor a medias se puede considerar apropiado para música de orquesta".

⁹⁶ La utilización de la fórmula de Sabine se considera adecuada al tipo eclesial ya que, según diferentes autores, será válida para hipótesis de campo sonoro difuso, geometría regular de la sala, absorción y distribución uniforme de las superficies absorbentes y un coeficiente de absorción medio inferior aproximadamente a 0.25. Véase PÉREZ MIÑANA, J. op. cit., p. 138, LLINARES, J., LLOPIS, A. y SANCHO, J. *Acústica arquitectónica y urbanística*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia 1991, p. 207, CARRIÓN ISBERT, A. op.cit., p. 65. Además, dado el volumen de estos espacios, se ha corregido la fórmula

de Sabine incorporando la absorción del aire para altas frecuencias. Para calcular la absorción del aire se adopta la fórmula $A_a = 4mV$, donde V es el volumen del recinto en m^3 y m es la constante de atenuación del sonido en el aire (m^{-1}) obtenido utilizando la expresión de CREMER, L. op. cit., p. 213:

$$m = \frac{[1 - (\nu - 20) \cdot 0.04] \cdot f^2}{\phi} 17 \cdot 10^{-9}$$

donde: ν = temperatura del aire ($^{\circ}C$)

f = frecuencia central de la banda de octava (Hz)

ϕ = humedad relativa del aire (%).

⁹⁷ El objetivo no es la predicción exacta del tiempo de reverberación, sino una aproximación a éste.

⁹⁸ Según la teoría estadística, la energía acústica alcanza un estado estacionario en el que la densidad media de energía permanece constante, mientras actúa la fuente. En espacios acoplados, el análisis estadístico del tiempo de reverberación no es aplicable, ya que la prolongación del sonido, cuando cesa la fuente sonora, no tiene el mismo valor en el volumen principal que en los acoplados.

⁹⁹ BERANEK, L. *Concert and Opera halls...* op. cit., p. 430.

¹⁰⁰ Se define la calidez como la relación existente entre la suma de los tiempos de reverberación a frecuencias bajas (125 y 250 Hz) y medias frecuencias (500 y 1000 Hz).

¹⁰¹ ARAU, H. recomienda un margen de los valores de calidez, independientemente del tiempo de reverberación de la sala, entre $1.10 \div 1.30$ s, cuando el uso es una sala de conciertos, y entre $0.90 \div 1.30$ s, cuando el uso es teatral. *ABC de la acústica arquitectónica*. CEAC, Barcelona 1999, p. 263.

¹⁰² Se define el brillo como la relación existente entre la suma de los tiempos de reverberación a frecuencias altas (2000 y 4000 Hz) y medias frecuencias (500 y 1000 Hz).

¹⁰³ ARAU, H. op. cit. p. 263, recomendando un valor mínimo de brillo de 0.80.

¹⁰⁴ La teoría clásica establece un campo reverberado estacionario, con un nivel total casi constante, correspondiente al sonido directo y al reflejado:

$$L_p - L_{pref} = 10 \log \left[\frac{100}{r^2} + \frac{31200T}{V} \right],$$

donde L_{pref} = nivel referencia a 10 m, r = distancia fuente receptor y V = volumen.

La teoría revisada de Barón y Lee establece una cierta caída del nivel sonoro con la distancia, que se corresponden con el sonido directo, el reflejado con un retardo inferior a 80 ms. y el reflejado tardío: $L_p - L_{pref} = 10 \log (d + e_r + l)$, donde:

$$d = \frac{100}{r^2}; e_r = \frac{31200T}{V} e^{-0.04r/T} \left[1 - e^{-1.1\sqrt{T}} \right]; l = \frac{31200T}{V} e^{-0.04r/T} e^{-1.1\sqrt{T}}$$

¹⁰⁵ Los principales parámetros de cálculo, establecidos con el programa CATT-Acoustic, han sido un tiempo de truncado de los rayos de 300 a 500 ms, en función del tipo de iglesia, un número de reflexiones especulares igual a 3 y un número de rayos calculados establecido por el programa en función de las medidas de la iglesia y otros parámetros.

¹⁰⁶ BERANEK, L. op.cit. p. 446.

¹⁰⁷ BERANEK, L. asocia la intimidad acústica con la sensación que tiene el oyente de escuchar en un espacio de dimensiones más reducidas que las dimensiones de la sala. *Music, Acoustics and Architecture*. Wiley, Nueva York 1962, citado por CARRIÓN ISBERT, op. cit. p 228. Los estudios de Beranek a partir de la opinión de expertos en música, directores, intérpretes y críticos sobre 54 de las mejores salas del mundo, demuestran que el tiempo de reverberación es importante, pero el mayor peso, 40% se da al ITDG. Las mejores salas presentan valores del ITDG menores de 21 ms.

¹⁰⁸ La relación entre el índice RASTI y la inteligibilidad será:

RASTI	INTELIGIBILIDAD
> 0.75	Excelente
0.60 ÷ 0.74	Buena
0.45 ÷ 0.59	Aceptable
0.30 ÷ 0.44	Pobre
< 0.30	Mala

ANDERSON, J y JACOBSEN, T. "RASTI measurements in St. Pauls's Cathedral, London" Brüel & Kjær. Glostrup, p. 6 y CARVALHO, A. "Relations between rapid speech transmission index (RASTI) and other acoustical and arquitectural measures in churches" *Applied Acoustics* 58 (1999), p. 35.

¹⁰⁹ La relación entre la definición (D) y la claridad de la voz (C_{50}), para cualquier banda de frecuencia es:
$$D = \frac{1}{1 + 10^{C(50)/10}}$$

¹¹⁰ Citado por CARRIÓN ISBERT, A. op. cit. p. 184.

¹¹¹ MARSHALL, L.G. "An acoustic measurement program for evaluating auditoriums based on the early/late sound energy ratio" " *The Journal of the Acoustical Society of America*,. 96, 1994, pp. 2251-2261. Citado por CARRIÓN ISBERT, A. op. cit., p. 232.

¹¹² Estos intervalos coinciden con los establecidos por BARRON, M. op. cit., p. 61, para C_{80} en salas ocupadas.

¹¹³ Curvas normalizadas en la norma ISO R-1966. Véase SENDRA, JJ. y otros. *El problema de las condiciones acústicas en iglesias: principios y propuestas para la rehabilitación*. IUCC ETSA Sevilla, Sevilla 1997, p. 43.

¹¹⁴ *Ibíd*em, p. 101.

¹¹⁵ BERANEK, L. "Audience and seat absorption in large halls" *The Journal of the Acoustical Society of America*, 32, 1960, pp. 661-670.

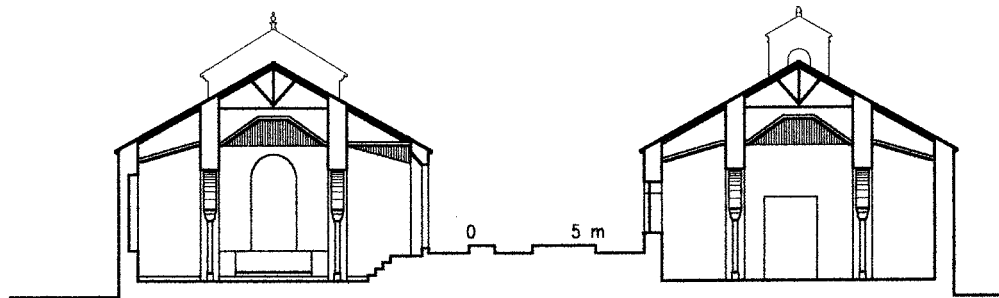
¹¹⁶ "Se ha de tener en cuenta que el oyente medio no reconocerá desviaciones de menos de 0.15 segundos y éstas son tolerables". RECUERO LÓPEZ, M y GIL GONZÁLEZ, C. *Acustica arquitectonica*. EUIT UPM, Madrid 1991, p. 756.



"Si los silencios no hablaran
nadie podría decir
lo que callan las palabras"¹

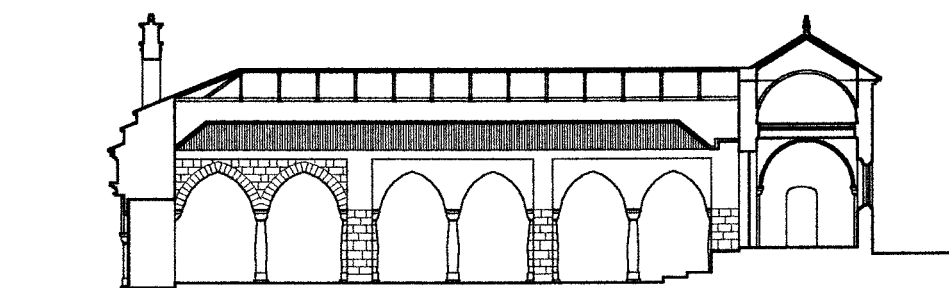


**2. IGLESIA DE SANTA MARÍA DEL
CASTILLO DE LA MOTA. MONTORO.**

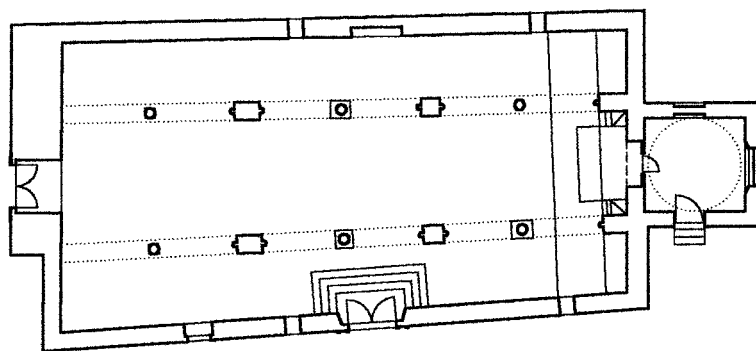


SECCIÓN HACIA CABECERA

SECCIÓN HACIA ENTRADA



SECCIÓN LONGITUDINAL



IGLESIA DE STA. MARIA DEL CASTILLO DE LA MOTA. MONTORO
ESTADO ACTUAL.

2.1
PLANO

Reseña histórica.

Si la conquista cristiana de Andalucía fue fundamental, más aún fue el hecho de la repoblación, que supuso una radical transformación de la vida andaluza. Como reflejo del concepto de mundo profundamente cristiano, en el que las estructuras civiles y religiosas se superponen, se consagra un modelo administrativo de ciudad que tiene su base en la parroquia². Las dificultades económicas y demográficas, junto con los intereses políticos, marcan el primer arte cristiano de la Edad Media³, cuyo fruto son pequeñas iglesias estratégicamente situadas, que aprovechan construcciones anteriores y que se alejan del estilo musulmán, pero también son diferentes de los modelos castellanos de los que surgen, condicionados por el arte islámico del entorno.

En el solar del hoy derruido Castillo de la Mota, en lo más alto de lo que fue el núcleo medieval, se levanta la iglesia de Santa María del Castillo de la Mota, que debió de reconstruirse en los días que siguieron a la Reconquista, posiblemente aprovechando una vieja mezquita. Planta rectangular de tradición mozárabe, con tres naves separadas por arcos apuntados, alternando columnas exentas y pilares de sección rectangular con columnas adosadas al mismo, destacando los capiteles posiblemente visigóticos o prerrománicos. Presenta un ábside añadido posteriormente que desempeñaría funciones de camarín de la imagen titular. Este primer tipo de arquitectura cristiana se muestra en otras iglesias de la provincia como son Nuestra Señora de las Alcantarillas de Belalcázar, Santa María de Hornachuelos o San Antonio Abad de Obejo.

Los orígenes quizá los tuviera a mediados del siglo XIII⁴, siendo una iglesia enraizada en lo popular, que presenta elementos de tradición musulmana y otros de tradición cristiana. El aparejo de los muros, de tradición árabe, está construido alternando hiladas de sillar y ladrillo. La cubierta primitiva, hoy desaparecida, sería de estructura de madera, de par y nudillo. Las fachadas con portadas renacentistas, corresponden a una reforma de final del siglo XVI⁵.

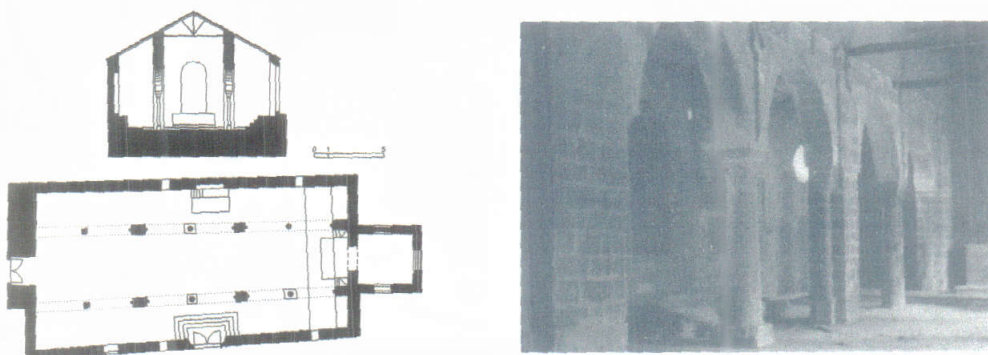


Fig. 2.1. Planta, sección transversal e interior de la iglesia antes de la restauración.

Castigada por la guerra civil, en el edificio se han venido realizando obras de restauración⁶; así la cubierta de las naves fue rehecha en 1972 y en 1976 se rehizo la cubierta del camarín y se restauraron las fachadas de éste.

En 1982 se redacta por parte del arquitecto José María Aranda del Valle un proyecto de restauración para su adaptación a actividades culturales⁷. Desde entonces la iglesia ha compaginado las actividades culturales (conciertos corales y de cuartetos, conferencias,...) con su uso como museo arqueológico municipal.



Fig. 2.2. Interior de la iglesia tras la restauración.

Vista hacia los pies.



Vista desde la nave lateral.



Fig. 2.3. Interior de la iglesia tras la restauración. Año 2000.

Análisis acústico del estado actual.

La medición acústica, se realizó con el área de audiencia sin ningún tipo de mobiliario, existiendo en las paredes laterales unos muebles de madera con puertas de vidrio, destinados a acoger las piezas del museo. Se tomaron ocho puntos de medida, cuatro en la nave central y cuatro en las laterales, a una altura de 1.20 sobre el suelo. La fuente se colocó al final del primer vano de la nave, a una altura de 1.50 m sobre el suelo.

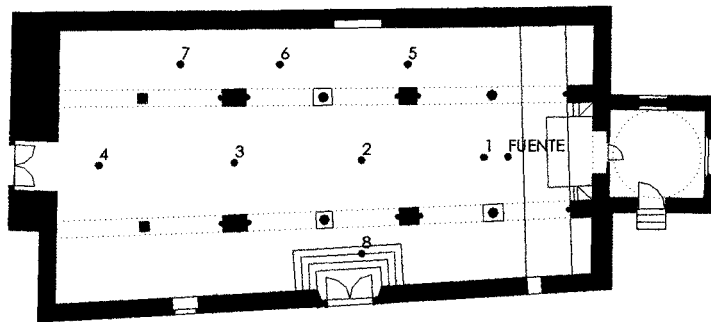


Fig. 2.4. Situación puntos de medida.

El análisis acústico se realiza tanto sobre la configuración actual de la iglesia, como para la configuración volumétrica anterior a la restauración, con una cubierta de madera tradicional a par y nudillo situada a una mayor altura, con vista a obtener datos sobre el comportamiento acústico prístino de la iglesia.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN.

Se realizaron las detonaciones para el registro de la respuesta impulsiva en el punto señalado como fuente en la figura 2.4, obteniéndose los valores del tiempo de reverberación para los distintos puntos en bandas de octava (tabla A2.1 apéndice 2). A partir de estos valores se han obtenido los tiempos de reverberación promediados para la iglesia, en la nave central y en la lateral (tabla 2.1).

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Promedio	2.36	2.71	2.63	2.34	1.66	1.34
Promedio nave central	2.24	2.69	2.62	2.33	1.67	1.36
Promedio nave lateral	2.51	2.63	2.60	2.36	1.66	1.33

Tabla 2.1. Tiempos de reverberación medidos promediados.

A partir de los valores promediados del tiempo de reverberación, se obtiene, mediante simulación informática con el programa CATT-acoustic, un modelo teórico que comprende el volumen completo de la iglesia, no considerándose ningún tipo de acoplamiento acústico, dada la similitud de valores entre los tiempos de reverberación en la nave central y en la lateral.

Se obtiene la absorción sonora, a las distintas frecuencias, deducida de los valores del tiempo de reverberación medido en la iglesia, a la vez que se computa la absorción sonora de suelo y paredes, a partir de los coeficientes de absorción de las diferentes superficies, tomados de las fuentes bibliográficas. La diferencia de absorción sonora entre ambos valores, será la absorción sonora correspondiente a la cubierta de falso techo de madera, de la cual se deducen sus correspondientes coeficientes de absorción a las distintas frecuencias de octava (tabla 2.2).

MATERIAL	SUP. m ²	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Suelo cerámico	175	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07
Público sillas	84	0.24	0.32	0.51	0.60	0.59	0.56
Revoco de cal	368	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07
Piedra	211	0.02	0.02	0.06	0.08	0.04	0.05
Madera	20	0.16	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
Vidrio	2	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
Falso techo de madera	238	0.23	0.20	0.18	0.18	0.28	0.25
Aire (m ³)	1225					0.008	0.021
SUPERFICIE TOTAL	1098						

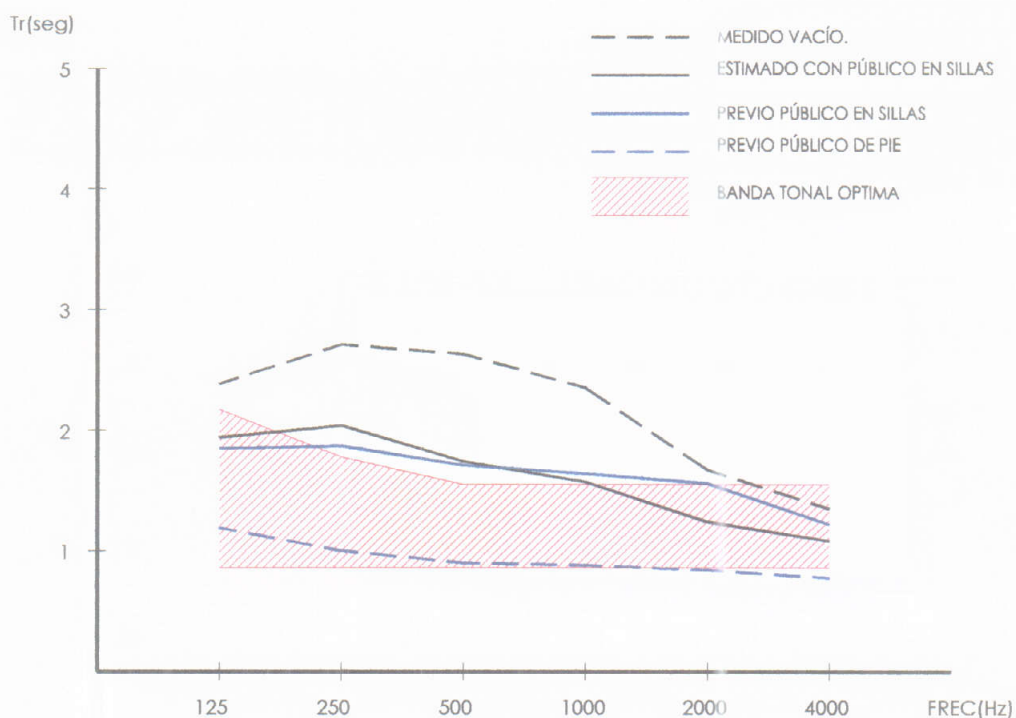
Tabla 2.2. Características absorbentes de los diferentes materiales. Estado actual.

MATERIAL	SUP. m ²	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Suelo cerámico	175	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07
Público sillas	84	0.24	0.32	0.51	0.60	0.59	0.56
Revoco de cal	432	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07
Piedra	211	0.02	0.02	0.06	0.08	0.04	0.05
Madera	20	0.16	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
Vidrio	2	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
Cubierta de madera	253	0.30	0.25	0.20	0.17	0.13	0.10
Aire (m ³)	1500					0.008	0.021
SUPERFICIE TOTAL	1304						

Tabla 2.3. Características absorbentes de los diferentes materiales. Estado previo.

Con la ayuda de este modelo y el empleo de la fórmula de Sabine, se realiza una predicción teórica de los valores del tiempo de reverberación de la iglesia, con público sentado en sillas en la nave central, tanto para el estado actual como para el previo. Así mismo, para el estado previo se estima el tiempo de reverberación para una ocupación masiva de la iglesia con público de pie⁸. Estos valores se comparan con los valores óptimos teóricos tanto para la palabra como para la música, representándose en la fig. 2.5.

El tiempo de reverberación obtenido de la medición, refleja una importante absorción sonora a bajas frecuencias, debido al falso techo de madera de la iglesia, que actúa como un absorbente del tipo "membrana". En la hipótesis de ocupación de la nave central con público sentado en sillas, la curva tonal se acerca a la curva tonal óptima para la música religiosa.



	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Medido vacío	2.36	2.71	2.63	2.34	1.66	1.34
Estimado con público	1.94	2.04	1.74	1.57	1.24	1.08
Previo con público	1.85	1.87	1.71	1.64	1.56	1.22
Previo público de pie	1.19	1.00	0.90	0.88	0.84	0.80
Óptimo música	2.17	1.78	1.55	1.55	1.55	1.55
Óptimo palabra	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86

Fig. 2.5. Tiempos de reverberación medido, estimados y óptimos.

En el estado previo, el aumento de volumen no supone un incremento del tiempo de reverberación⁹, debido al mejor comportamiento acústico de la cubierta de madera mudéjar frente al falso techo de madera, especialmente a bajas frecuencias¹⁰. La ocupación de la iglesia con público de pie en todas sus naves, supone un notable aumento de la absorción sonora, obteniéndose unos valores de los tiempos de reverberación ajustados a la curva tonal óptima para la palabra.

Los valores de los índices de calidez y brillo (tabla 2.4), son semejantes en cada una de las configuraciones analizadas. Así, existe una buena respuesta a bajas frecuencias debido a la cubierta de madera, mientras que se obtienen unos valores del índice de brillo inferiores a los valores recomendados por Beranek (más acusados en la configuración actual), lo que resta riqueza de armónicos a la iglesia.

	BR	Br
Estimado con público	1.20	0.70
Previo con público	1.11	0.82
Valores recomendados	1.1÷1.45	>0.87

Tabla 2.4. Valores de calidez y brillo con público en sillas.

DISTRIBUCIÓN SONORA.

El estudio de la distribución sonora, se ha realizado a partir de la emisión con una fuente sonora omnidireccional y una potencia de emisión de 105 dB, obteniéndose los valores de nivel de presión sonora que se reflejan en la figura 2.6 y la tabla A2.2 (apéndice 2).

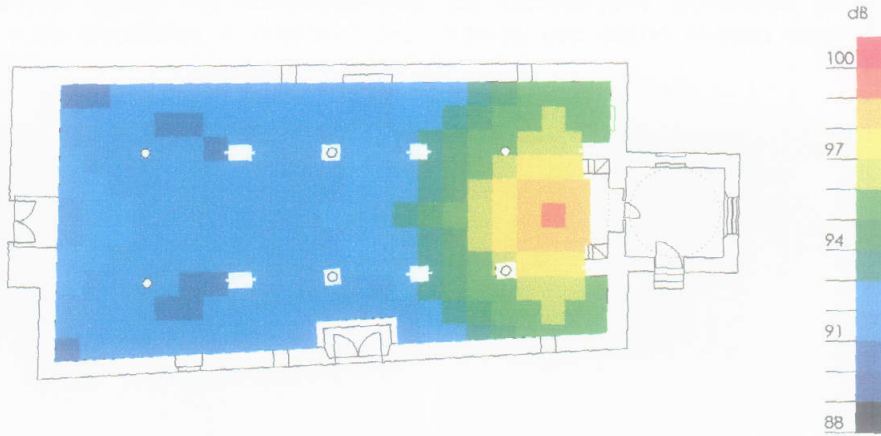


Fig. 2.6. Mapa de distribución sonora estado actual. Medido vacío.

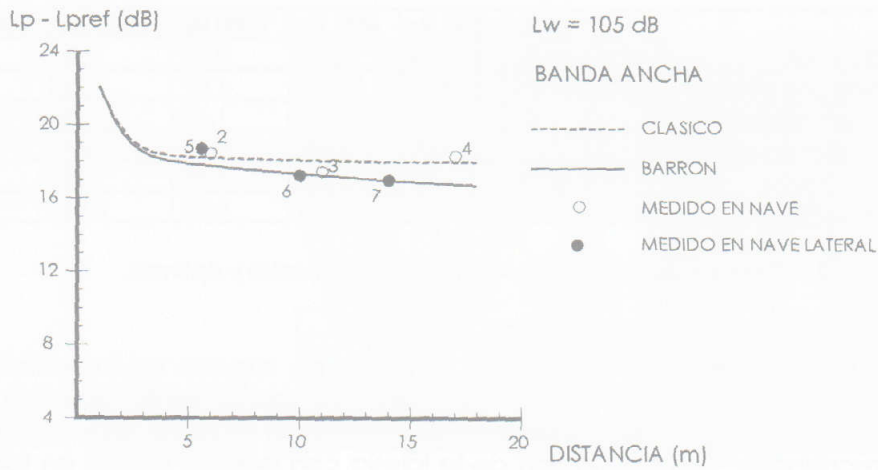


Fig. 2.7. Comportamiento del campo acústico frente a la distancia. Banda ancha.

Para analizar el grado de difusión sonora en la iglesia, se han representado los niveles sonoros medidos respecto al nivel de referencia, en función de la distancia, y se han comparado con los valores previstos por el modelo clásico y el modelo de Barron (fig. 2.7).

Los niveles sonoros medidos se ajustan a los previstos por el modelo de Barron, salvo en los puntos más cercanos y en el fondo de la iglesia, en donde se obtienen niveles sonoros semejantes a los previstos por el modelo clásico, debido a la concentración sonora que se produce en esas zonas causada por el aumento de reflexiones. Las pequeñas dimensiones de la iglesia y las superficies poco absorbentes, favorecen un campo reverberado homogéneo, con escasa variación del nivel sonoro, tanto para los puntos de la nave central como de la lateral.

El análisis de la distribución sonora, se completa con un estudio teórico a partir del modelo informático generado, comprobando en primer lugar la idoneidad de éste respecto a la medición (valores semejantes entre los niveles sonoros medidos, tabla A2.2, y los estimados con la iglesia en su estado actual vacía, tabla A2.5).

Posteriormente, se determina el valor de la sonoridad de la iglesia, con valores medios de 17.7 dB para el estado actual, y de 16.8 dB para el estado previo (tablas A2.12 y A2.13 del apéndice 2). La sonoridad presenta unos valores elevados debido a una excesiva energía asociada a las reflexiones especulares, lo que supone un grado de amplificación superior al considerado como óptimo (valores entre 4 y 5.5 dB).

El análisis de las reflexiones que se producen en la iglesia, nos muestra un importante nivel de primeras reflexiones, tanto para el estado actual como para el previo (figuras A2.4 y A2.5 del apéndice 2). Las reflexiones, en ambos configuraciones, presentan una estructura similar, sin variaciones significativas. En general, se distingue un destacado número de reflexiones que provienen de la cubierta y de las paredes de las naves laterales, con una cola reverberante que es más importante en los puntos más cercanos a la fuente, debido a reflexiones en el fondo de la nave, pero con una importante pérdida de nivel sonoro frente al sonido directo.

INTELIGIBILIDAD.

Los índices RASTI de la medición en los diferentes puntos, se representan en la figura 2.8, frente a la distancia de cada punto a la fuente. Esos índices permiten calificar la inteligibilidad como "aceptable" en la nave central, disminuyendo sus valores para los puntos de la nave lateral.

Se realizó una medida con el nivel del transmisor en su nivel de referencia, y otra elevando el nivel de emisión en 10 dB (tabla A2.3 del apéndice 2), observando la escasa variación que existe en el índice RASTI, llegando en algunos puntos incluso a decrecer, debido a la elevada reverberación que presenta la iglesia, por lo que un aumento de nivel sonoro no se traduce en un aumento de la inteligibilidad en este espacio.

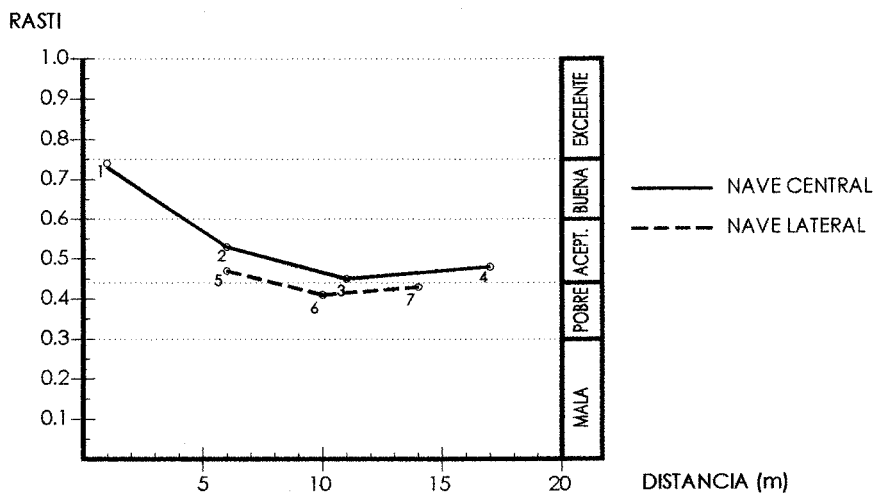


Fig. 2.8. Índice RASTI frente a la distancia. Medido vacío.

Se evalúa la inteligibilidad mediante el programa de simulación informática CATT-acoustic, obteniendo el valor del índice RASTI en cada punto. Para evaluar el grado de adaptación del modelo a la medición se comparan los valores del índice RASTI en los diferentes puntos (tabla 2.5). Se aprecia una diferencia entre los valores del índice RASTI en la medida y los simulados, principalmente en la nave central, por lo tanto se opta por introducir un factor de corrección, con el fin de adecuar el índice RASTI obtenido en las distintas simulaciones a la medición realizada.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Medido	0.73	0.53	0.45	0.48	0.47	0.41	0.43	0.45
Simulación actual. Vacío	0.65	0.45	0.38	0.43	0.48	0.41	0.42	0.46
Factor de corrección.	1.12	1.17	1.18	1.11	0.98	1.00	1.02	0.97

Tabla 2.5. Valores RASTI medidos y estimados teóricamente. Iglesia vacía.

Al ocuparse con público la iglesia, el índice RASTI mejora sensiblemente, manteniéndose en la calificación de "aceptable", tanto para el estado actual como para el estado previo¹¹.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Estimado actual con público	0.78	0.59	0.50	0.52	0.52	0.44	0.48	0.48
Estado previo con público	0.78	0.55	0.51	0.50	0.49	0.44	0.47	0.46

Tabla 2.6. Valores RASTI estado actual y previo. Iglesia ocupada.

Los valores estimados de definición, muestran unos valores inferiores al mínimo recomendado de 50%, lo que supone que la iglesia presenta una inadecuada inteligibilidad para la palabra (figura 2.9).

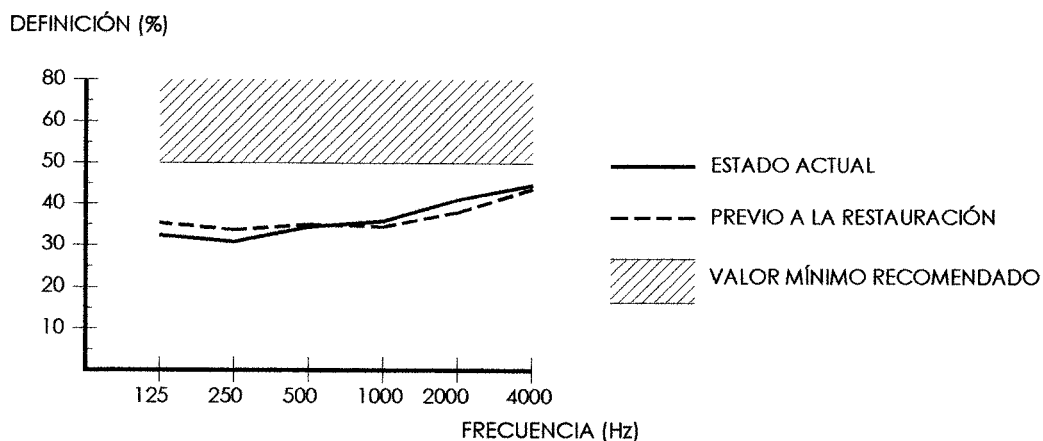


Fig. 2.9. Valor de definición. Estimado con público.

No obstante, los valores de claridad musical se encuentran dentro del margen óptimo recomendado para una adecuada audición musical (figura 2.10), tanto en el estado actual como en el estado previo a la restauración.

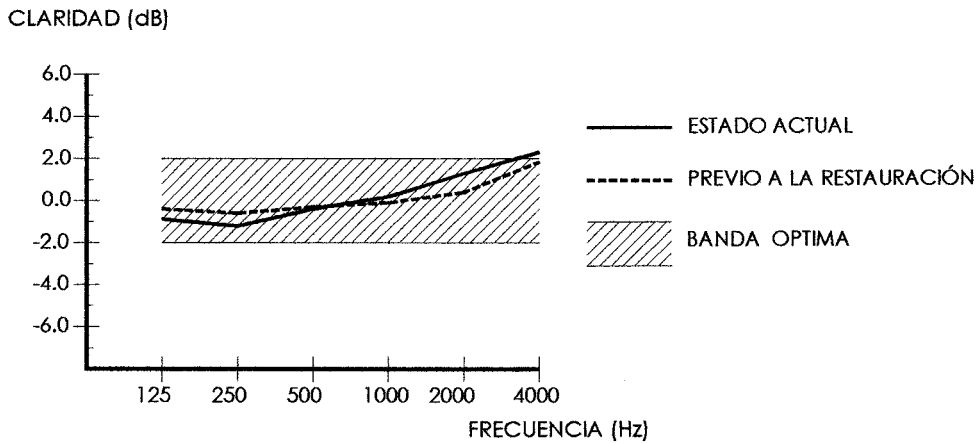


Fig. 2.10. Valor de claridad musical. Estimado con público.

RUIDO DE FONDO.

La medición efectuada del nivel de ruido de fondo en la iglesia se presenta en la tabla A2.4 del apéndice 2. El valor obtenido para el nivel sonoro continuo equivalente ($L_{eq} = 38.3$ dBA) resulta inferior al máximo admitido para iglesias de 40 dBA. Para valorar el ruido en el interior de la iglesia¹², se ha comparado el espectro medido con las curvas NR, correspondiéndole un índice NR de 35, valor que se encuentra dentro del margen recomendado entre 25 y 35 (figura 2.11).

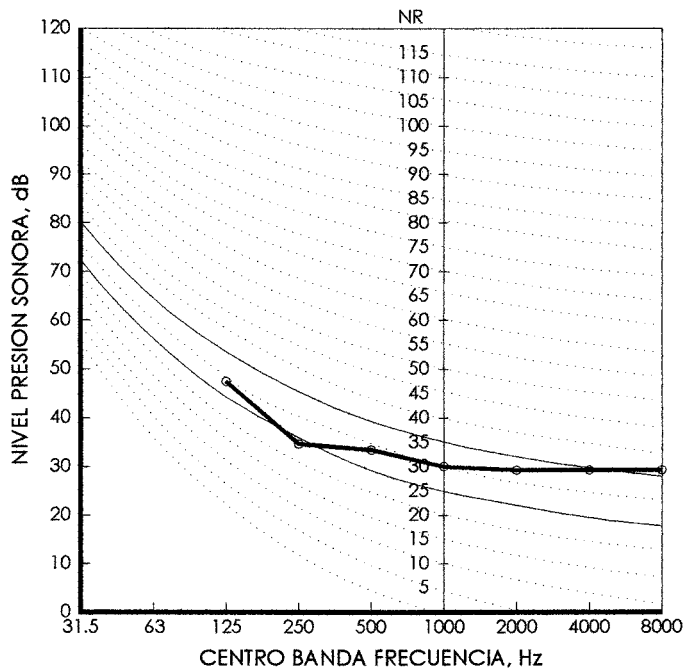


Fig. 2.11. Ruido de fondo.

OTROS PARÁMETROS.

	Estado actual	Estado previo.
Volumen	1225 m ³	1500 m ³
Nave central.		
Longitud	22.69 m	22.69 m
Ancho	4.45 m	4.45 m
Altura media	5.85 m	7.35 m
Nave epístola.		
Longitud	22.69 m	22.69 m
Ancho	2.50 m	2.50 m
Altura media	5.03 m	6.10 m
Nave evangelio.		
Longitud	22.69 m	22.69 m
Ancho	2.55 m	2.55 m
Altura media	5.03 m	6.90 m

Area de audiencia: 84 m² en nave central y 113 en naves laterales

Aforo: 128 personas sentadas en nave central.

Relación volumen/plaza: 9.5 en el estado actual y 11.7 en el estado previo.
(Rango 5.1-9.1)

Relación volumen/área de audiencia: 14.5 en el estado actual y 17.8 en el estado previo. (Rango 9.2-12.0)

Relación área de audiencia/plaza: 0.65 (Rango 0.63-0.75)

CONCLUSIONES.

El tiempo de reverberación que presenta esta iglesia, tanto en su estado actual como en su estado previo con ocupación de público sentado en sillas, se ajusta a la curva tonal óptima para la música, siendo elevado para la palabra. La ocupación tradicional de la iglesia con público de pie proporciona la absorción adecuada y ajusta el tiempo de reverberación a la curva tonal para la palabra. En el estado actual se detecta cierta falta de riqueza de armónicos, lo que restará calidad a las actuaciones musicales.

La distribución del nivel sonoro en la iglesia es uniforme, apreciándose en los ecogramas la importancia de las primeras reflexiones de las paredes laterales y de la cubierta de madera. No obstante, existe una pérdida de la calidad sonora debido a un exceso de sonoridad.

Los elevados valores de sonoridad, suponen que el grado de amplificación del sonido sea elevado en la iglesia. Dado que la atenuación del sonido con la distancia del sonido reverberado se ajusta a la propuesta por el modelo de Barron, que el nivel de ruido de fondo es adecuado y que la inteligibilidad es correcta, estimamos que estos valores de sonoridad se deben a un exceso de energía asociada a las primeras reflexiones.

La inteligibilidad, a partir de los valores del índice RASTI, se puede calificar como "aceptable", ofreciendo unos adecuados valores para la música que se corroboran con los valores de claridad, mientras que se muestra insuficiente para la palabra, como se confirma con los bajos valores de definición, debido a la excesiva reverberación.

Los datos de ruido de fondo se consideran admisibles, gracias a la situación de la iglesia, aislada de vías de circulación, ya que es el ruido de tráfico el que suele generar, principalmente, el ruido de fondo.

En cuanto a las relaciones entre las dimensiones y el aforo de la iglesia, los índices están cercanos a los considerados como óptimos, dado el pequeño volumen que presenta la iglesia.

A partir de estos datos, se concluye que las condiciones acústicas de la iglesia, en las dos configuraciones consideradas, se pueden considerar como aceptables para la música, siendo inadecuadas para la palabra, debido principalmente a una falta de absorción sonora.

La iglesia refleja todo el misterio de la Alta Edad Media, una época de escasa población, con unos límites económicos sobrios, en donde las iglesias son monumentos de las convicciones religiosas del hombre de la época¹³, lugar en el que se rinde homenaje a Dios mediante salmos e himnos, bajo la forma de las melodías simples y firmes del canto llano¹⁴, que se vinculan íntimamente a la arquitectura de este tipo de iglesias, subrayando la serenidad, firmeza y simetría de esta época.

Las medidas correctoras acústicas a emplear en este espacio, deberán centrarse, en una mejora de las condiciones acústicas para la palabra, aumentando principalmente la absorción sonora y mejorando la inteligibilidad, mientras que se debería conseguir una mejora de la calidad sonora para las audiciones musicales, aumentando el índice de brillo.

Propuesta de intervención.

La iglesia presenta, en la actualidad, un uso continuo como museo arqueológico, a la vez que se utiliza eventualmente para la celebración de actos culturales, como conferencias y conciertos. Esta versatilidad de uso, hace necesario modificar las características absorbentes de los paramentos del interior de la iglesia, aumentando la absorción sonora, para disminuir el tiempo de reverberación y aumentar la inteligibilidad, cuando el uso requerido sea la palabra y modificando la curva tonal para el uso sea musical, buscando un adecuado equilibrio tonal, principalmente a altas frecuencias.

El equilibrio tonal necesario para la actividad musical, se puede obtener disminuyendo la absorción sonora a altas frecuencias (aspecto difícil de conseguir ya que la principal absorción proviene del público sentado en sillas y del falso techo de madera), o bien aumentando el volumen de la sala e incrementando adecuadamente la absorción para los sonidos graves y medios.

En cuanto al aumento de absorción sonora, a todas las frecuencias, necesario para adaptar la iglesia para el uso de la palabra, convendría incorporar un tratamiento absorbente poco selectivo, o bien emplear un material poroso (efectivo a medias y altas frecuencias) junto con un tratamiento más selectivo con resonadores (efectivo a bajas frecuencias).

Las diferentes actuaciones que ha sufrido la iglesia, han intervenido de forma puntual, sin establecer una interrelación entre las diferentes partes y los contenidos de la iglesia, por lo que se plantea revalorizar la imagen arquitectónica, que a la vez permita una utilización pública, racional y flexible, mediante una actuación unitaria y coherente que permita una única lectura del conjunto.

Se propone recuperar el primitivo volumen interior de la iglesia, aumentando la altura de la cubierta, operación que favorece la distribución de los sonidos graves en este espacio¹⁵, disponiendo una cubierta en la nave central de par y nudillo¹⁶ y en las naves laterales de colgadizo en un solo plano. Esta cubierta supone un aumento de la absorción sonora a bajas frecuencias y una disminución de la absorción a altas frecuencias.

Históricamente el problema de articulación de un espacio litúrgico, con un espacio colocado a continuación (camarín), se ha producido en gran número de ocasiones mediante un retablo que, deja de ser mobiliario para convertirse en una pieza arquitectónica que resuelve el paso de un espacio a otro, permitiendo que cada uno conserve su carácter independiente¹⁷. Se plantea una solución de este tipo mediante un resonador a base de paneles de madera perforados, que retome la idea de retablo rematando la iglesia, y permita el acceso al camarín¹⁸ a la vez que el paso de la luz mediante una serie de nichos. Este cierre se materializa mediante un resonador de membrana, formado por paneles BF¹⁹ de 12 mm de espesor con taladros de diámetro 5 mm en un 20% de la superficie y cámara de 20 mm rellena de lana mineral. Este elemento proporciona una significativa absorción sonora, principalmente a medias frecuencias, necesaria para equilibrar el índice de brillo en la iglesia.

Para acoger las piezas del museo expuestas, se propone sustituir las actuales vitrinas de las naves laterales, por unos estantes metálicos protegidos por paneles oblicuos de vidrio, que favorezcan las reflexiones laterales y aumenten la difusión sonora en la iglesia al ser una superficie vibrante. Además los paneles de vidrio se comportan como un material elástico, con absorción sonora a bajas frecuencias, mientras que para las frecuencias en las que apenas si existe absorción, la vibración del panel tiene efectos difusores²⁰.

Para aumentar la absorción sonora, necesaria para el uso de la iglesia para actividades asociadas a la palabra (configuración teatral), se propone como solución incorporar material poroso con cámara de aire, mediante un cortinaje en las naves laterales, paralelo a los paneles de vidrio, con tela blanca fruncida, que oculta los paneles expositivos y asciende hasta la cubierta de madera, operación utilizada por Carlo Scarpa para la adecuación de espacios expositivos²¹.



Figura 2.12. Retablo en la iglesia del Colegio Máximo de Alcalá de Henares. Tuñón e Iglesias.

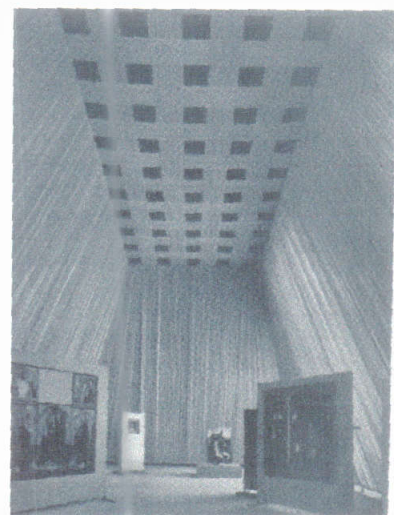


Fig. 2.13. Sala exposición "Antonello da Messina". C. Scarpa.

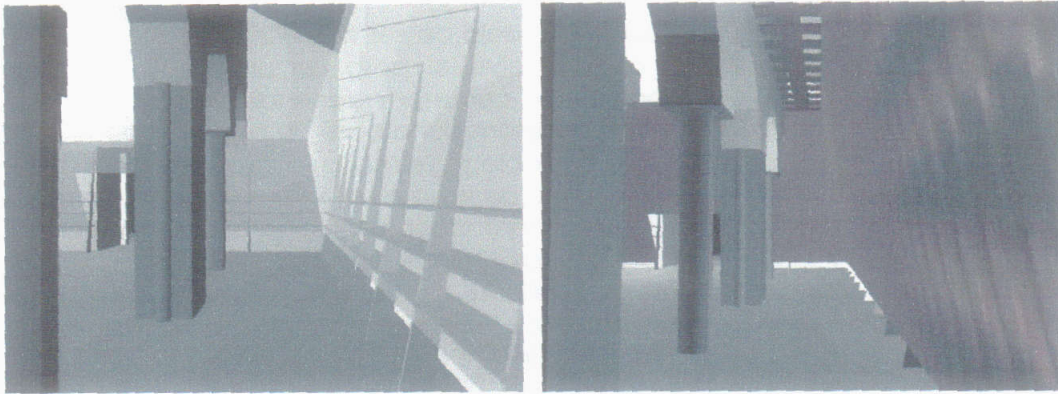
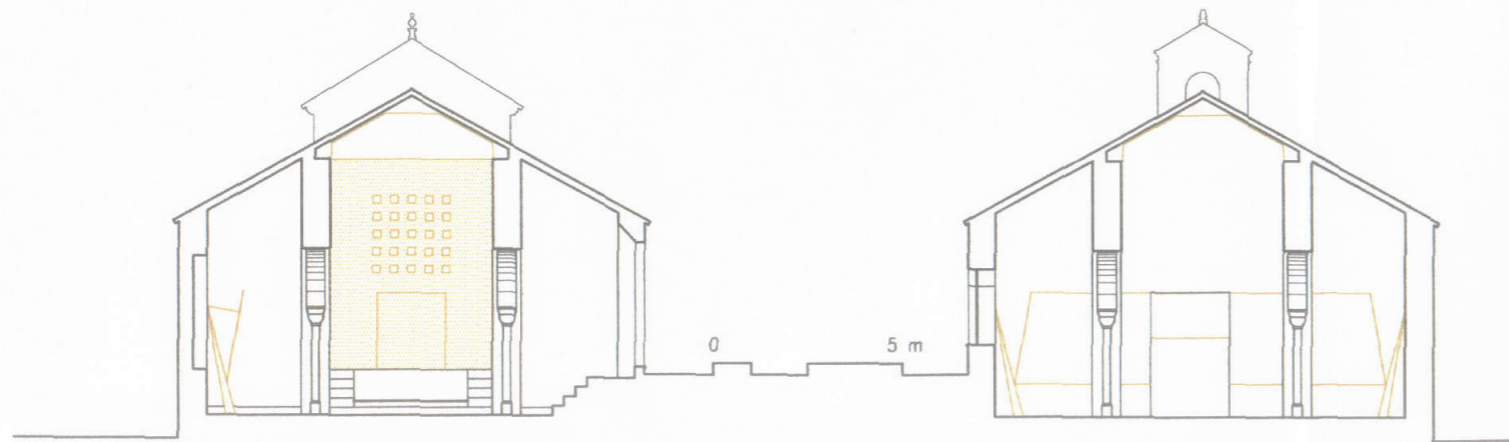
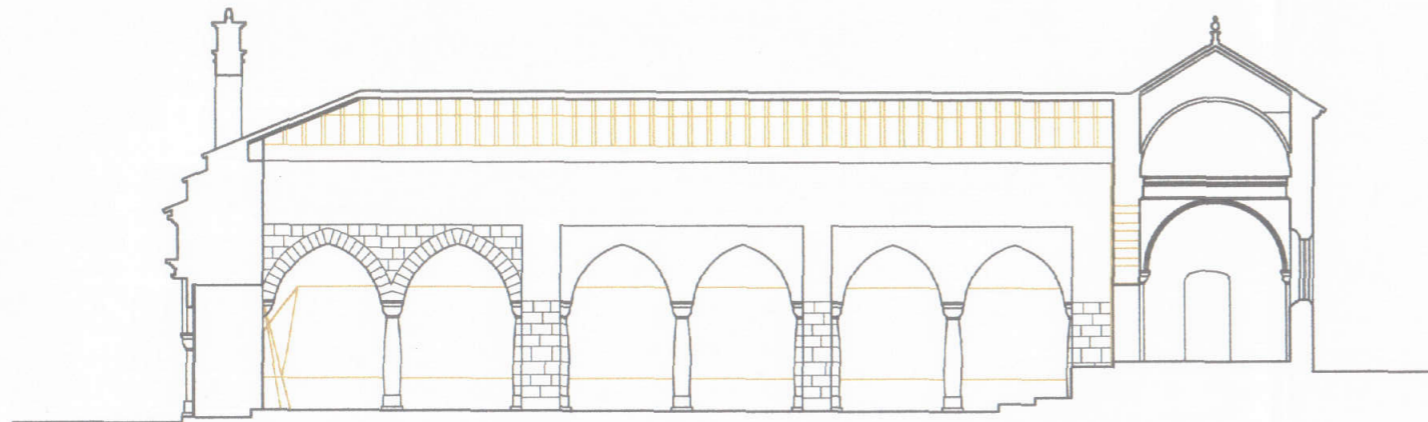


Fig. 2.14. Vista nave lateral. Configuración musical y configuración teatral.

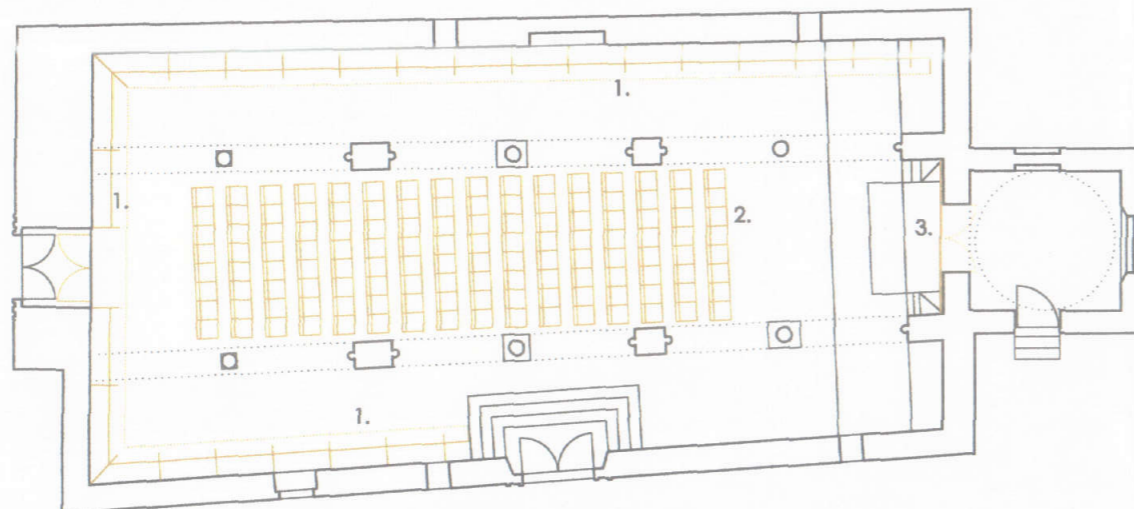


SECCIÓN HACIA CABECERA

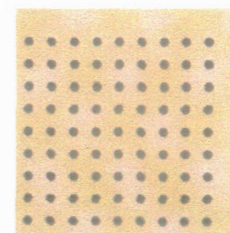
SECCIÓN HACIA ENTRADA



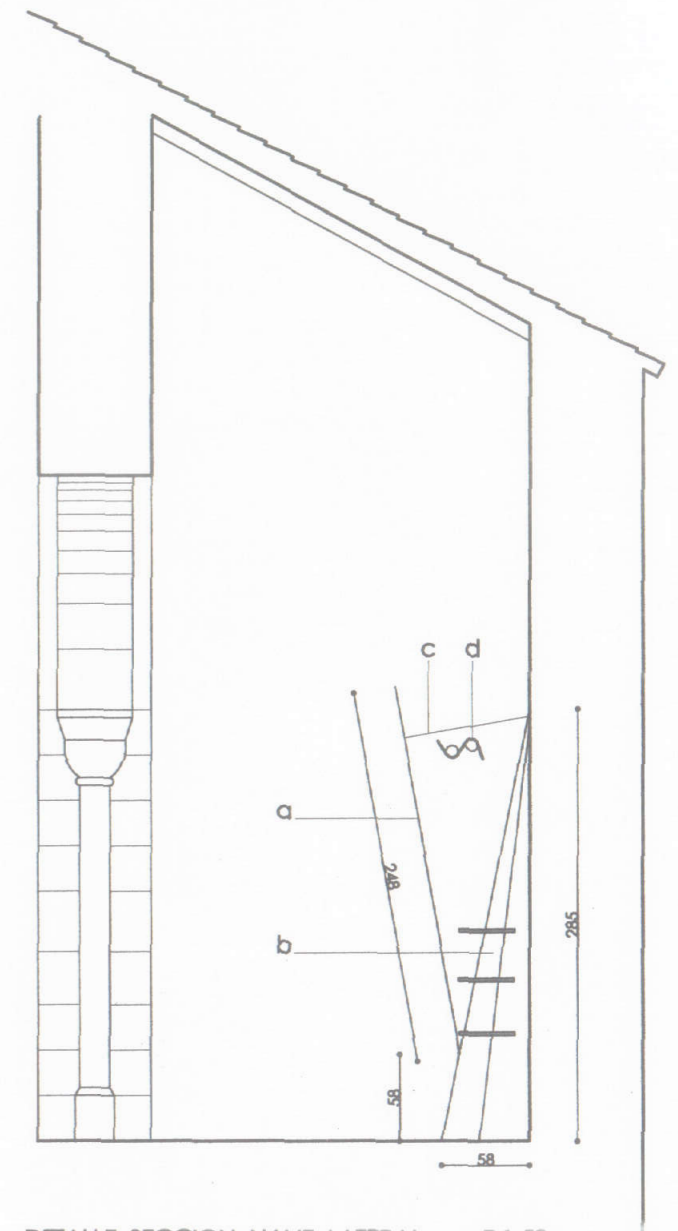
SECCIÓN LONGITUDINAL



1. Vitrina expositor con vidrio stadip 4+4. 2. Sillas. 3. Resonador panel BF 12 mm con perforaciones de 5 mm separado 20 mm de la pared y lana de vidrio.

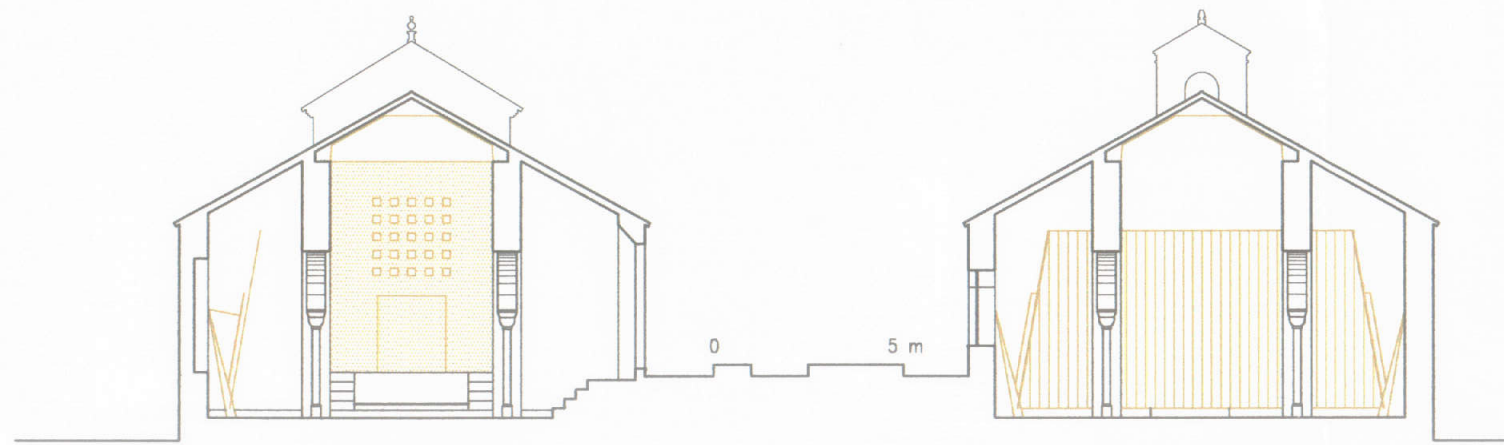


Detalle panel BF.



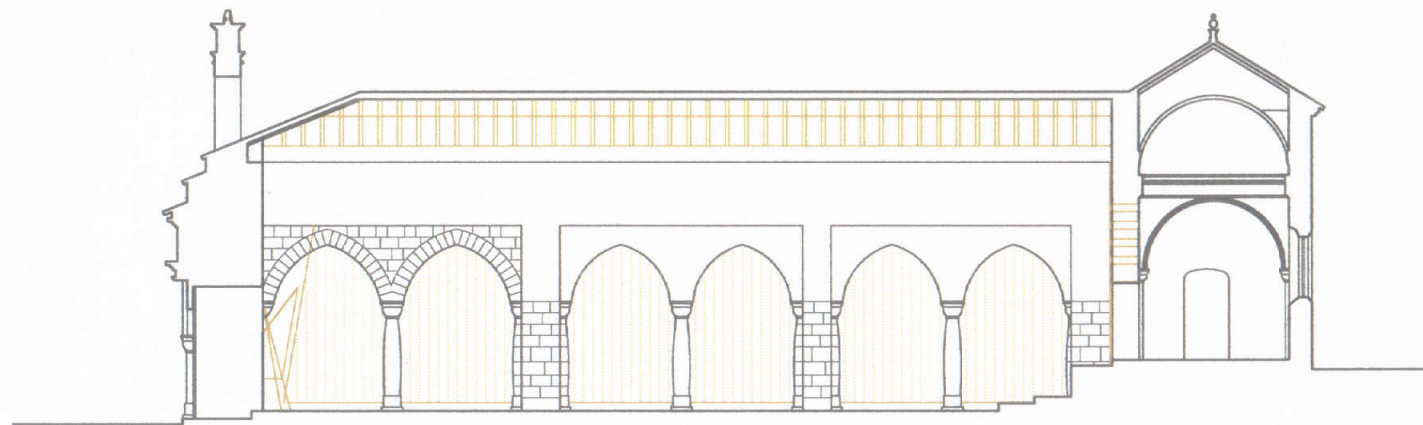
DETALLE SECCION NAVE LATERAL. E 1:50

- a. Vidrio stadip 4+4.
- b. Vitrina expositor de acero.
- c. Ø 4 calibrado.
- d. Iluminación con difusor de plancha de aluminio.

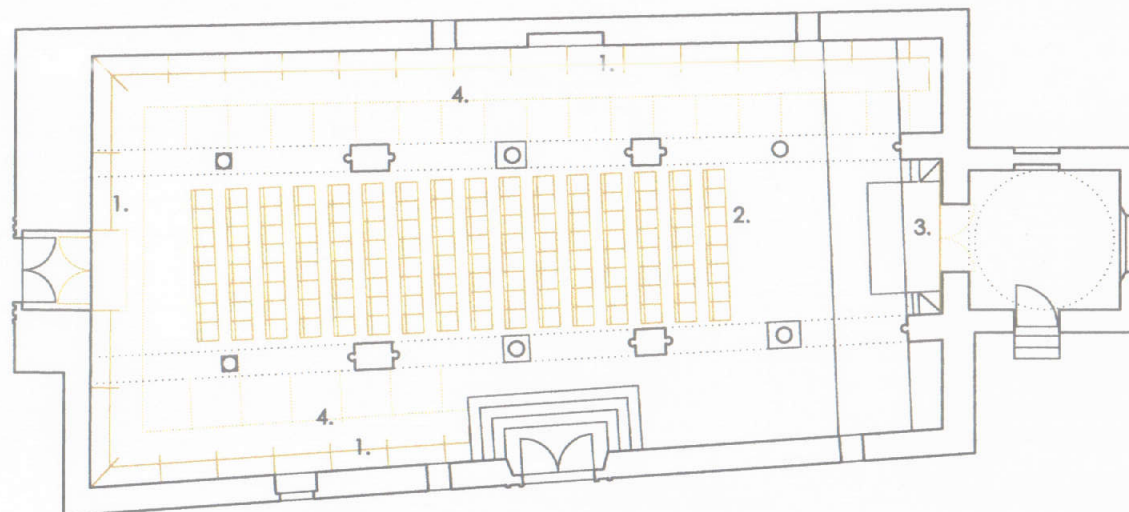


SECCIÓN HACIA CABECERA

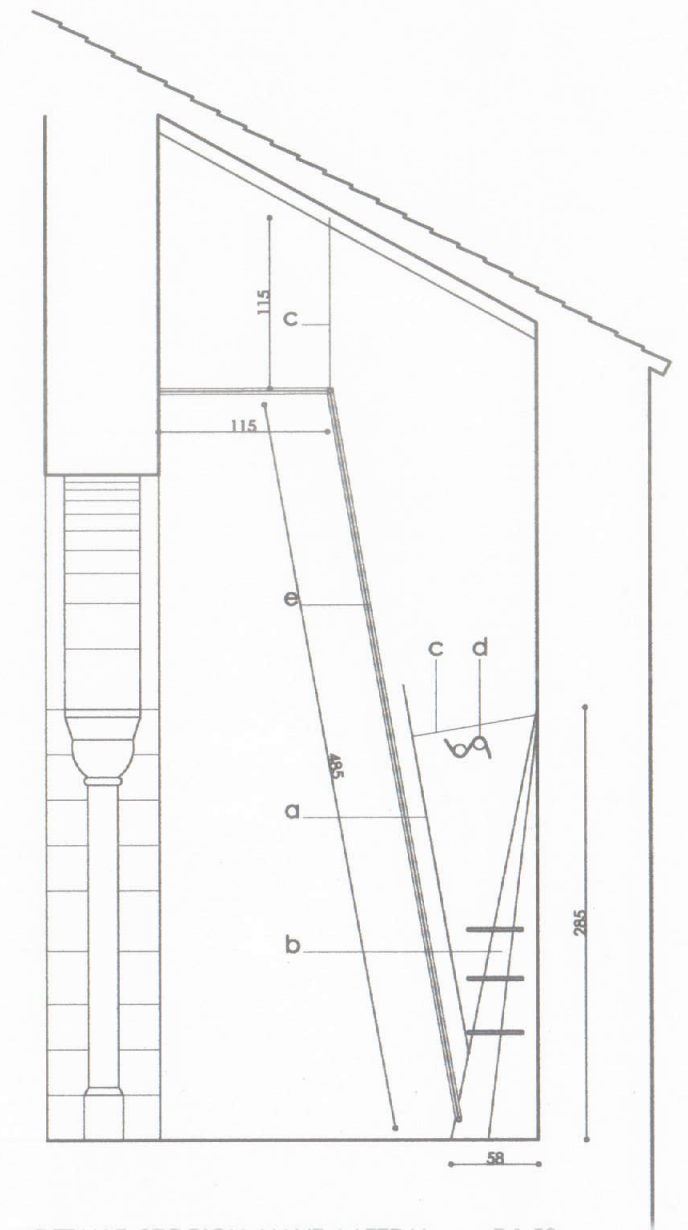
SECCIÓN HACIA ENTRADA



SECCIÓN LONGITUDINAL



1. Vitrina expositor con vidrio stadip 4+4. 2. Sillas. 3. Resonador panel BF 12 mm con perforaciones de 5 mm separado 20 mm de la pared y lana de vidrio. 4. Cortina algodón blanco fruncida al 180%.



DETALLE SECCION NAVE LATERAL. E 1:50

- a. Vidrio stadip 4+4.
- b. Vitrina expositor de acero.
- c. Ø 4 calibrado.
- d. Iluminación con difusor de plancha de aluminio.
- e. Cortina algodón blanco fruncida al 180%.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

A partir del modelo informático, y el empleo de la fórmula de Sabine, se realiza el cálculo del tiempo de reverberación de la propuesta de intervención, tanto para la configuración musical como para la teatral considerando los coeficientes de absorción de los materiales de las tablas 2.7 y 2.8 respectivamente.

MATERIAL	SUP. m ²	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Suelo cerámico	175	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07
Público sillas	84	0.24	0.32	0.51	0.60	0.59	0.56
Revoco de cal	311	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07
Piedra	211	0.02	0.02	0.06	0.08	0.04	0.05
Madera	14	0.16	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
Vidrio	104	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
Cubierta de madera	253	0.30	0.25	0.20	0.17	0.13	0.10
Resonador membrana	25	0.20	0.40	0.80	0.70	0.40	0.05
Aire (m ³)	1469					0.008	0.021
SUPERFICIE TOTAL	1176						

Tabla 2.7. Características absorbentes de los diferentes materiales. Configuración musical

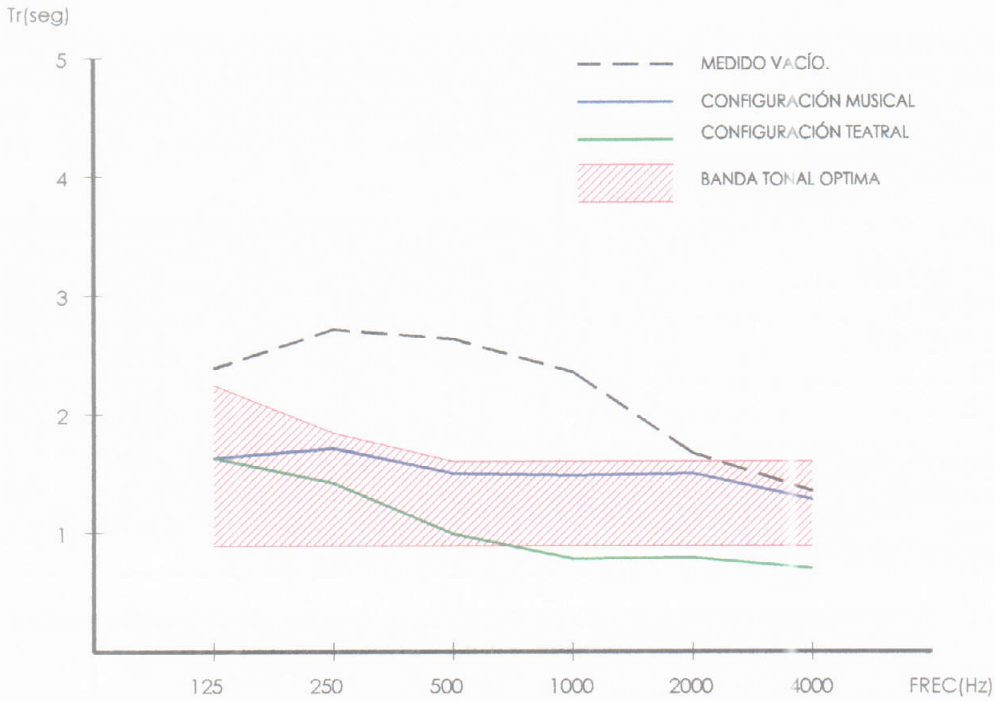
MATERIAL	SUP. m ²	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Suelo cerámico	175	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07
Público sillas	84	0.24	0.32	0.51	0.60	0.59	0.56
Revoco de cal	239	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07
Piedra	211	0.02	0.02	0.06	0.08	0.04	0.05
Madera	14	0.16	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
Cortina ²²	93	0.03	0.03	0.25	0.95	0.95	0.99
Cortina delante vidrio ²³	104	0.17	0.32	0.62	0.60	0.60	0.67
Cubierta de madera	25	0.30	0.25	0.20	0.17	0.13	0.10
Resonador membrana	253	0.20	0.40	0.80	0.70	0.40	0.05
Aire (m ³)	1469					0.008	0.021
SUPERFICIE TOTAL	1198						

Tabla 2.7. Características absorbentes de los diferentes materiales. Configuración teatral.

El aumento del volumen de la iglesia respecto al estado actual, se compensa en la configuración musical, con el aumento de la absorción sonora debido tanto a la cubierta de madera mudéjar, como al resonador de membrana a modo de retablo, lo que se traduce en una disminución del tiempo de reverberación, como se observa la figura 2.15. El tiempo de reverberación obtenido se acopla a la curva tonal óptima para la música, salvo a bajas frecuencias debido a la absorción de la cubierta y el vidrio.

El aumento de absorción sonora, para adaptar este espacio al uso para la palabra, se consigue mediante la incorporación de cortinas fruncidas que se disponen paralelas a los paneles de vidrio, a 14 cm de éstos y se prolongan hasta la cubierta de madera, con lo que se consigue una absorción sonora especialmente importante a medias y altas frecuencias.

La curva tonal resultante para la configuración teatral, se adapta a la curva tonal óptima para la palabra a medias y altas frecuencias, siendo alta para las bajas frecuencias²⁴.



	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Medido vacío	2.37	2.71	2.63	2.35	1.67	1.35
Configuración musical.Público	1.63	1.71	1.50	1.48	1.50	1.28
Configuración teatral. Público	1.63	1.42	0.99	0.78	0.79	0.70
Óptimo música	2.24	1.84	1.60	1.60	1.60	1.60
Óptimo palabra	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89

Fig. 2.15. Tiempos de reverberación estimados y óptimos. Propuesta.

Respecto a la previsión de los valores de los índices de brillantez y calidez, en la configuración musical existe una mejora del índice de brillantez, manteniéndose el valor de calidez obtenido en el estado actual, por lo que la música presentará una adecuada riqueza de armónicos y de graves (tabla 2.8).

Para la configuración teatral, el índice de calidez es algo superior al valor recomendado y el brillo es algo inferior. No obstante estos parámetros, están más asociados al uso de la sala para la audición musical que para la transmisión de la palabra.

	BR	Br
Configuración musical	1.12	0.93
Configuración teatral	1.72	0.84
Valores recomendados	1.1±1.45	>0.87

Tabla 2.8. Valores de calidez y brillo con público en sillas.

DISTRIBUCIÓN SONORA.

Se analiza la distribución sonora en la iglesia, a partir del estudio teórico, mediante la simulación informática para las dos configuraciones consideradas con el programa informático, manteniendo la potencia de emisión de la fuente en 105 dB.

Los valores de presión sonora, respecto a la distancia a la fuente, obtenidos para la configuración musical, son algo inferiores a los valores obtenidos en la simulación del estado actual con público, como se aprecia en la figura 2.16. Por contra, en la configuración teatral, el aumento de absorción sonora, provoca una disminución del nivel de presión sonora, con una atenuación del nivel sonoro de 6 dB por cada 10 m, que se hace uniforme en los últimos vanos de la iglesia.

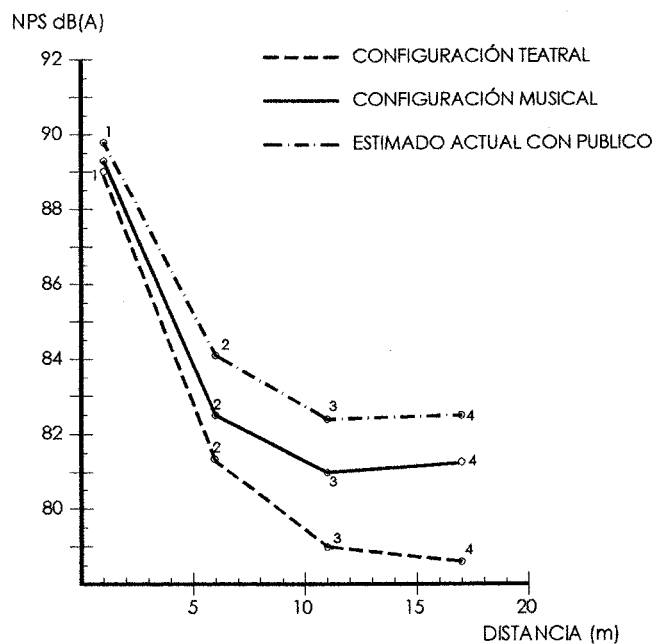


Fig. 2.16. Nivel de presión sonora respecto a la distancia. Propuesta.

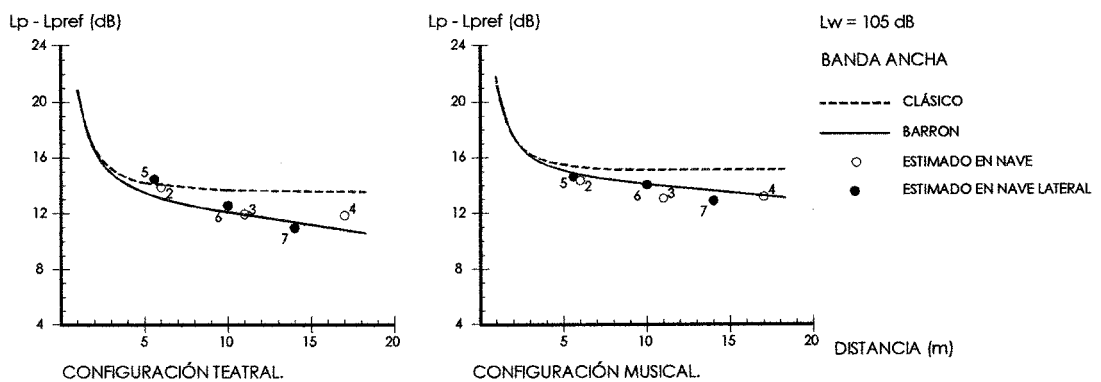


Fig. 2.17. Comportamiento estimado del campo acústico frente a la distancia. Banda ancha. Configuración teatral y musical.

Se han representando, para cada configuración, los niveles de presión sonora global estimados en función de la distancia a la fuente, y se han comparado con los valores previstos por el modelo clásico y el modelo de Barron (fig. 2.17).

En ambas configuraciones los niveles sonoros estimados se ajustan a los previstos por el modelo de Barron. Las proporciones de la iglesia y el adecuado tiempo de reverberación, en cada configuración, favorecen una adecuada difusión del sonido.

El estudio teórico de las reflexiones (véase ecogramas y cuadro resumen de reflexiones fig. A2.8, A2.9 y tabla A2.22 del apéndice 2) muestra en la configuración musical, un aumento del número de reflexiones en los puntos más alejados de la fuente, junto con una disminución de la cola reverberante, que presenta una diferencia respecto al nivel sonoro del sonido directo cercana a los 20 dB, por lo que la cola reverberante se encuentra en la zona del umbral de percepción²⁵, lo que supone una mejora de las condiciones acústicas al mejorar la inteligibilidad.

En la configuración teatral, existe una pérdida de nivel sonoro y una disminución de las reflexiones tardías, centrándose las primeras reflexiones en un retardo de 60 ms, con el consiguiente aumento de la inteligibilidad y de la sonoridad en la iglesia.

La sonoridad para las dos configuraciones se mantiene, al igual que en el estado actual, alta respecto a los valores considerados como óptimos debido a la energía asociadas a las primeras reflexiones (tablas A2.20 y A2.21).

INTELIGIBILIDAD.

En cada uno de los puntos representativos de la iglesia, y con la ayuda del modelo informático, se evalúa el índice RASTI para cada una de las configuraciones consideradas, con la iglesia ocupada por público sentado en sillas (tabla 2.9). Este índice RASTI se ha corregido con el factor obtenido previamente (tabla 2.5) con el fin de adecuar el índice RASTI de la simulación a la medición realizada.

	1	2	3	4	5	6	7	8
Configuración musical	0.82	0.60	0.55	0.54	0.53	0.47	0.45	0.49
Configuración teatral	0.91	0.72	0.71	0.67	0.63	0.58	0.56	0.58

Tabla 2.9. Valores RASTI estimados teóricamente.

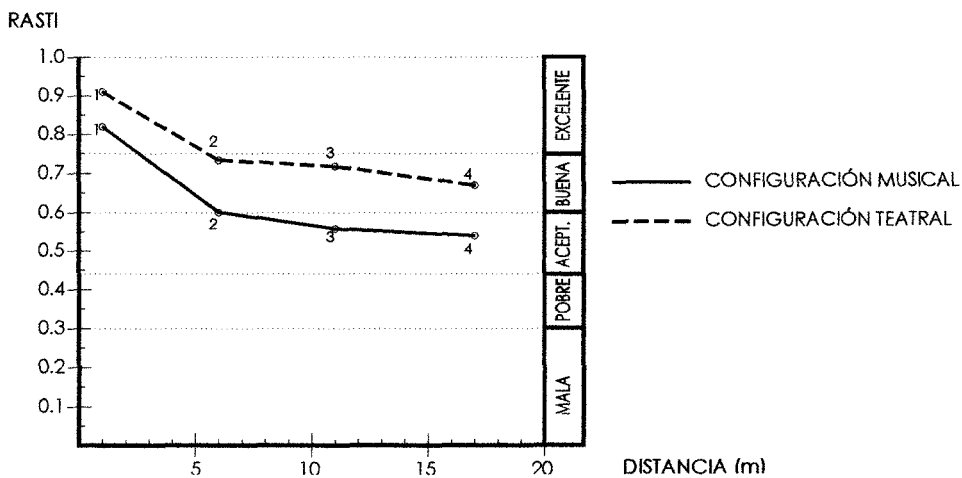


Fig. 2.18. Índice RASTI frente a la distancia, estimado con público. Propuesta.

Para la configuración musical, los valores de inteligibilidad se mantienen en los márgenes obtenidos anteriormente para la simulación del estado actual con público, con una calificación de "aceptable", mientras que para la configuración teatral, existe una mejora de la inteligibilidad que se encuentra cercana a la de calificación de "buena", como se observa en la figura 2.18.

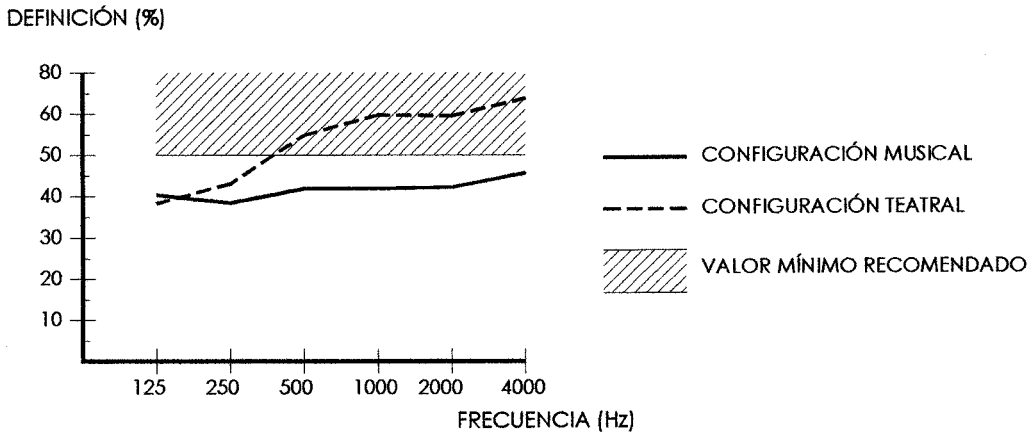


Fig. 2.19. Valores de definición, estimados con público. Propuesta.

La adecuación del índice RASTI a las actividades asociadas al uso de la palabra, se ratifica con los valores estimados de definición, (como se aprecia en la figura 2.19 y los valores en cada punto de la tabla A2.17 del apéndice 2), con valores superiores al valor mínimo estimado del 50% para la configuración teatral, reflejo de la mayor cantidad de energía que se concentra en los primeros 50 ms en la iglesia. Los valores de definición, para la configuración musical, se encuentran cercanos al valor mínimo recomendado).

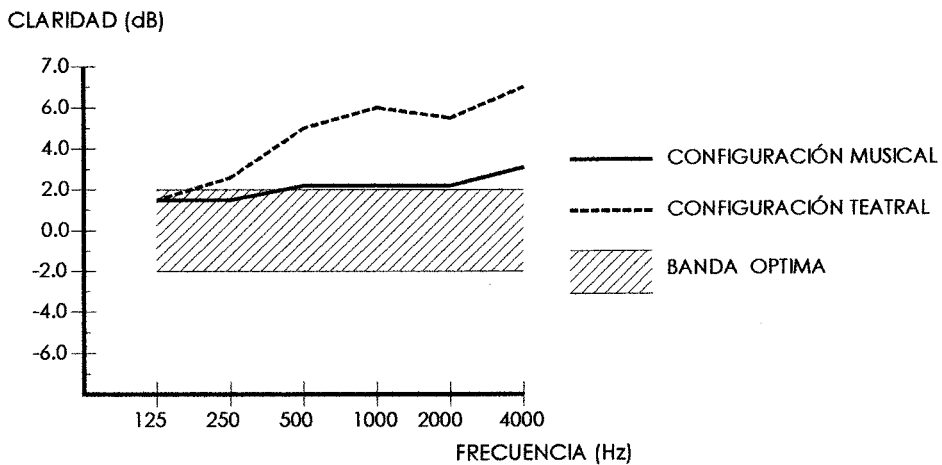


Fig. 2.20. Valores de claridad musical, estimados con público. Propuesta.

Para la claridad musical, los valores en la configuración musical, se encuentran en la zona superior de la banda óptima propuesta por Marshall para salas ocupadas (figura 2.20 y tablas A2.18 del apéndice 2), y con valores para el uso teatral superiores a esta banda óptima debido al menor tiempo de reverberación existente en esta configuración.

OTROS PARÁMETROS.

Volumen		1469 m ³
Nave central.	Longitud	22.69 m
	Ancho	4.45 m
	Altura media	7.35 m
Nave epístola.	Longitud	22.69 m
	Ancho	2.50 m
	Altura media	6.10 m
Nave evangelio.	Longitud	22.69 m
	Ancho	2.55 m
	Altura media	6.90 m

Area de audiencia: 84 m² en nave central y 113 en naves laterales
 Aforo: 128 personas sentadas en nave central.
 Relación volumen/plaza: 11.5 m³/plaza (Rango 5.1-9.1)
 Relación volumen/área de audiencia: 17.5 (Rango 9.2-12.0)
 Relación área de audiencia/plaza: 0.65 (Rango 0.63-0.75)

CONCLUSIONES.

La iglesia, para cada una de las configuraciones establecidas, presenta un tiempo de reverberación adecuado tanto para la interpretación musical como para la audición de la palabra, con curvas tonal adaptadas a las curvas tonales óptimas para los referidos usos. Para la configuración musical, de los valores de los índices de brillo y calidez, se deduce que la sala transmitirá la suavidad, claridad y melosidad de la música.

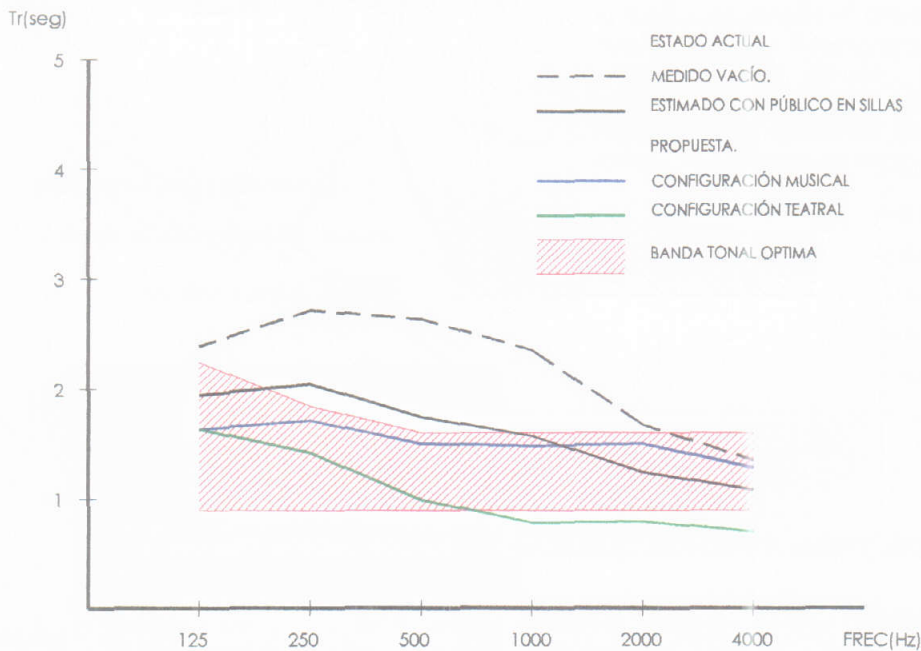


Fig. 2.21. Tiempos de reverberación.

La distribución sonora es homogénea en la iglesia, con una mayor caída del nivel de intensidad sonora en la configuración teatral debido a la mayor absorción sonora, no existiendo zonas de concentración sonora, presentando este espacio una adecuada intimidad acústica y claridad musical. Dado que los valores de sonoridad son ligeramente elevados, el sonido presentará un mayor grado de amplificación y la sensación subjetiva será la de una sala más viva de lo que corresponde por el tiempo de reverberación.

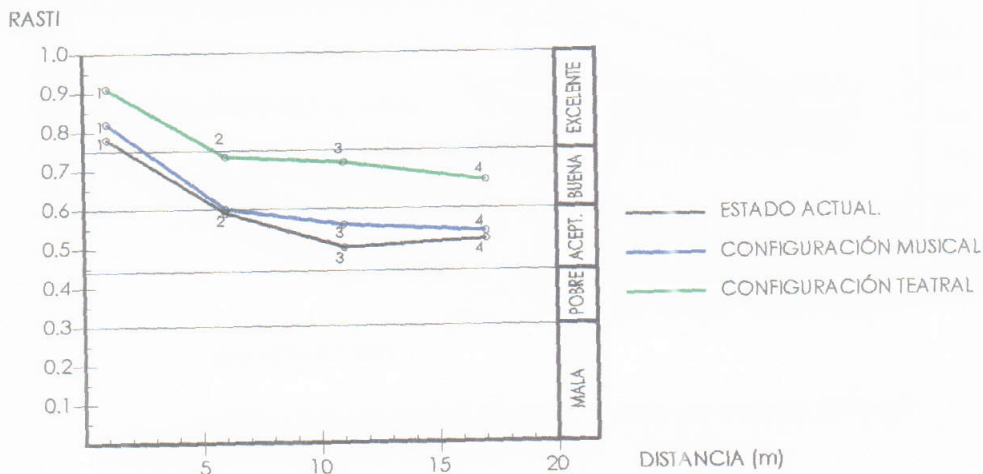


Fig. 2.22. Índice RASTI frente a la distancia, estimado con público.

Los valores del índice RASTI permiten calificar la inteligibilidad como "buena" para la configuración teatral, mientras que para la configuración musical se pueden considerar como "aceptable".

Los valores de definición y claridad ratifican las consideraciones anteriores sobre la inteligibilidad en este espacio. Así pues, se tiene una adecuada definición para la palabra, mientras que para la configuración musical los valores obtenidos están cercanos al valor mínimo recomendado, lo que junto con unos valores del tiempo de reverberación similares a medias y altas frecuencias, favorece la inteligibilidad del texto cantado.

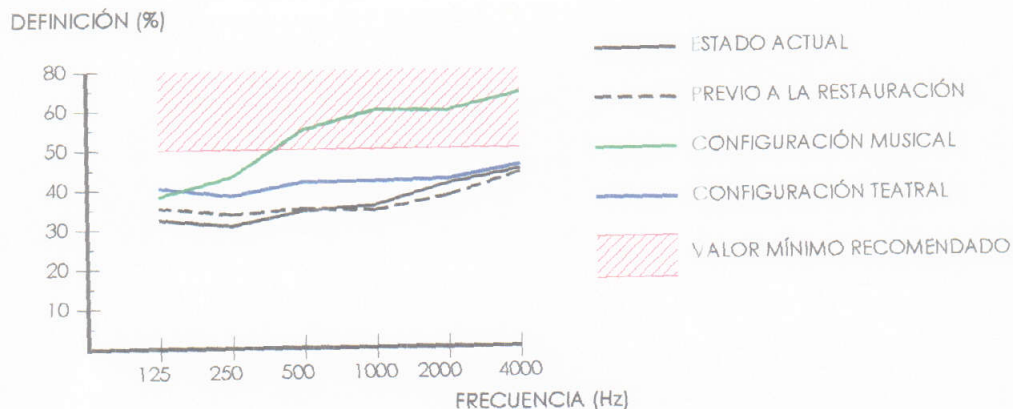


Fig. 2.23. Valores de definición, estimados con público.

Los valores de claridad musical son adecuados, con un adecuado grado de separación entre los diferentes sonidos individuales de la composición musical instrumental.

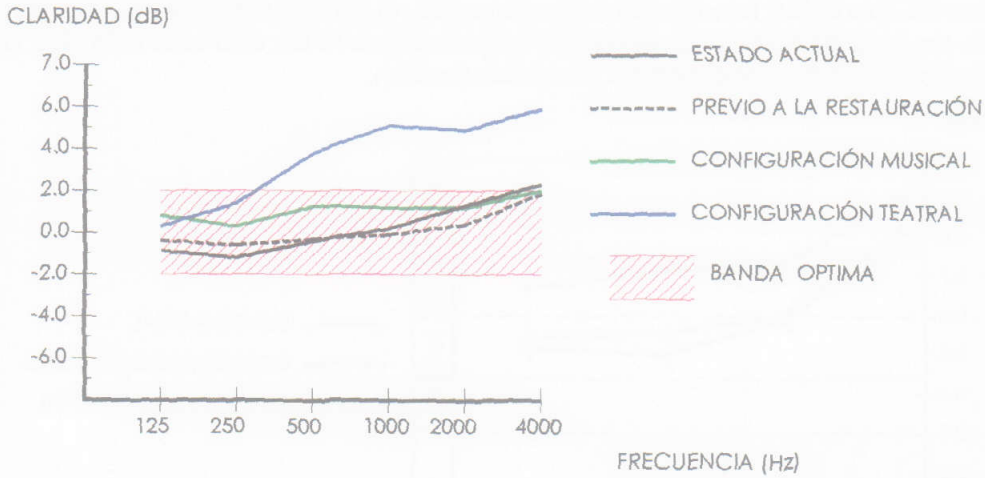


Fig. 2.24. Valores de claridad musical, estimados con público.

En consecuencia, la iglesia presenta unas favorables condiciones acústicas, tanto para su uso musical como para la palabra, para cada una de las configuraciones propuestas. Estas favorables condiciones acústicas, unido a su pequeño tamaño, conllevan que en el aspecto musical, este espacio sería apropiado para la interpretación de música de cámara²⁶, tanto instrumental como con texto cantado, que permitan la audición de las líneas musicales interpretadas.

NOTAS.

¹ BERGAMÍN, J. en *Duendecitos y coplas*, citado por MARTÍ ARIS, C. *Silencios elocuentes*. Edicions UPC, Barcelona 1999, p. 5.

² En los años de la Reconquista, Andalucía es una tierra dura, difícil y despoblada, por lo que el contingente de repobladores cristianos, tras los años de la euforia inmediata a la toma de las ciudades, vuelven a sus regiones de origen, echando por tierra los proyectos repobladores de los monarcas castellanos. PÉREZ CANO, M. M. *Estudio histórico-artístico de la Iglesia de Santa Marina de Aguas Santas de Córdoba*. Universidad de Córdoba y Cajasur, Córdoba 1998, pp. 17-18.

³ VELÁZQUEZ BOSCO en su libro *El Monasterio de Nuestra Señora de la Rábida*. Instituto de Estudios Onubenses. Diputación de Huelva 1975, (Madrid 1914), pp. 125-131, argumenta que las razones que dieron lugar a la arquitectura mudéjar son económicas y cuestiones de rapidez de construcción. Se conseguiría así la adaptación de los edificios musulmanes al culto cristiano con el mínimo coste en la obra, no resultando así extraños al nuevo pueblo que se quería convertir, citado por DUCLÓS BAUTISTA, G. *Carpintería de lo blanco en la arquitectura religiosa de Sevilla*. Diputación de Sevilla, Sevilla 1993, p. 26.

⁴ Se data la iglesia por parte de M. NIETO CUMPLIDO, pues en 1260 se alude a la iglesia, criterio que se refuerza con la existencia de pinturas murales de estilo gótico lineal en el intradós del primer arco del lado del Evangelio. *Corpus Mediaeval Cordubense II (1256-1277)*. Monte de Piedad y Caja de Ahorros de Córdoba, Córdoba 1980, p. 78.

⁵ De la memoria del proyecto de restauración redactada por el arquitecto José María Aranda del Valle.

⁶ Estas obras fueron dirigidas primero por el arquitecto Felix Hernández Jiménez y posteriormente por Eduardo Barceló Torres, dependientes de la Dirección General de Patrimonio Histórico, Archivos y Museos. NIETO CUMPLIDO, M. *ibidem*, p. 78.

⁷ "El proyecto tiene como objeto la creación de un centro de actividades culturales, que permita su uso como museo de la ciudad, con sala de exhibición permanente y otras actividades como exhibiciones temporales, conferencias, representaciones teatrales, audiciones musicales o proyección de películas... El primer objetivo es la restauración del edificio mediante la consolidación y restauración de fábricas pétreas. Interiormente se picarán los enlucidos y revocos y se enfoscarán con mortero similar al existente...La envoltura se completará con la colocación de un falso techo de madera vista, constituido por entablado, en forma de artesa en la nave y ligeramente inclinado en las laterales, que albergará parte de los servicios de electricidad, alumbrado, sonido... Irá colgado mediante pernos ajustables, de una estructura metálica ligera soldada a la estructura metálica de la cubierta". De la memoria del proyecto del arquitecto Aranda del Valle.

⁸ Los fieles asistían a los oficios religiosos de pie, siendo ésta la forma de ocupación tradicional de la iglesia hasta la introducción de los bancos en la iglesia que se realizó por parte del protestantismo, "...el servicio religioso era largo, principalmente por la duración del sermón, y ello condujo a la colocación de asientos para la comunidad" FRANKL, P. *Principios fundamentales de la historia de la arquitectura. El desarrollo de la arquitectura europea: 1420-1900*. Gustavo Gili Arte, Barcelona 1981, p. 232.

⁹ El aumento de volumen supone una variación de los tiempos de reverberación óptimos, pero dado el escaso aumento de volumen, estas variaciones no son sustanciales.

¹⁰ La tradicional cubierta de madera mudéjar presenta un mejor comportamiento a bajas frecuencias frente al falso techo de madera, debido a la menor cámara de aire que presenta y su menor rigidez, mientras que el sistema de entablado del falso techo aumenta la absorción a altas frecuencias, al ser el tamaño de las irregularidades del orden de la longitud de onda a estas frecuencias.

¹¹ En los valores del índice RASTI, tanto para el estado actual como en el estado previo con público, se han incorporado los coeficientes de corrección obtenidos en cada uno de los puntos.

¹² Como punto de medida se tomó el punto 3, en la nave central, con un tiempo de registro de tres minutos.

¹³ "... el pueblo ya no comprende la lengua de la celebración, va perdiendo la vivencia de las realidades más estrictamente cristianas... y, por ello, la vida cristiana va limitando cada vez más sus fronteras al ámbito de la religiosidad puramente natural. Las celebraciones dejan por ello de ser acción del pueblo y se convierten progresivamente en un solemne espectáculo en el que sólo actúan los ministros... Consiguientemente, el lugar de la celebración deja su carácter de *domus ecclesiae* (casa donde se reúne la comunidad) para convertirse en templo cristiano, monumento elevado a la gloria de Dios... estos mismos edificios son testimonio también de una época en la que la participación litúrgica del pueblo era nula, pues el latín alejaba a los fieles de la celebración y la convertía en mero espectáculo". FARNÉS SCHERER, P. *Construir y adaptar las iglesias*. Regina, Barcelona 1989, p. 139.

¹⁴ Frente a la liturgia islámica, donde la música no tiene lugar más allá del simple canto del corán, en la cristiana la música del canto llano, gracias a su efecto emocional, adquiere valor trascendental como elemento de relación con Dios. GODWIN, J. *Armonías del cielo y de la tierra*. Paidós Orientalia, Barcelona 2000, p. 92.

¹⁵ Puede existir algún problema de graves en la sala en el estado actual al estar la cubierta baja, y no existir un espacio adecuado para la propagación de los frentes de onda, pues la altura media de la nave central es de 5.85 m, luego $H_m = 5.85 \text{ m} - 1.22 \text{ m}$ (público) = 4.63 m, siendo λ (63 Hz) = 5.47 m y λ (125 Hz) = 2.76 m.

¹⁶ El trazado de la cubierta se ajustaría a los cánones de proporciones de cartabones, cortes y longitudes de las maderas tradicionales de las cubiertas mudéjar, según Donaire, véase DUCLOS BAUTISTA, G. op. cit., p. 58., figura 2.4.

¹⁷ TUÑÓN ALVAREZ, E. e IGLESIAS PICAZO, P. "Retablo en la iglesia del Colegio Máximo de Alcalá de Henares" en *Arquitectura* nº 255, p. 70.

¹⁸ Actualmente el camarín se destina a oficina y almacén del museo.

¹⁹ Los paneles de madera BF-Gustafs, son comercializados en España por la firma Scandinavian Design. www.scandinaciandesign-sp.com.

²⁰ PÉREZ MIÑANA, J. *Compendio práctico de acústica*. Ed. Labor, Barcelona 1969, p. 208.

²¹ Algunos ejemplos de estas operaciones son la sala del ayuntamiento de Messina para la exposición "Antonello da Messina y el siglo XV siciliano", la exposición "Frank Lloyd Wright" de Milán o "Giacomo Manzó" en la bienal de Venecia de 1964. Véase MARCIANÓ, A.F. *Carlo scarpa*, Gustavo Gili, Barcelona 1985, DAL CO, F. y MAZZARIOL, G. *Carlo Scarpa. Opera completa*. Electa, Milán 1984.

²² Los coeficientes de absorción sonora de una cortina fruncida con una notable cámara de aire tras ella, se han tomado de la medición acústica de la iglesia del convento de San Francisco de Baeza, véase SENDRA J.J. y otros. *El problema de las condiciones acústicas en iglesias: principios y propuestas para la rehabilitación*. IUCC ETSA Sevilla, Sevilla 1997, pp. 119-128, donde se dispuso un cortinaje separando el coro del espacio principal, presentando alta absorción a altas frecuencias y siendo casi transparente a bajas.

²³ Los coeficientes de absorción sonora de la cortina fruncida al 180% y montada a 14 cm de una pared, se han tomado de CARRIÓN ISBERT, A. *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*, Edicions UPC, Barcelona 1998, p. 82. "Al separar la cortina de una pared aumenta la absorción a bajas frecuencias y el alto porcentaje de frucción suaviza la curva de absorción".

²⁴ "El grado de inteligibilidad de la palabra está estrechamente relacionado con la correcta percepción de las altas frecuencias" CARRIÓN ISBERT, A. op. cit., p. 45.

²⁵ BARRON, M. relaciona los efectos subjetivos sobre la música de las reflexiones laterales en función del nivel sonoro de cada reflexión y el retraso respecto al sonido directo, *Auditorium Acoustics and Architectural Design*. E&FN Spon, Londres 1993, p. 37, figura 3.2.

²⁶ "Un concierto de piano de Mozart, con sus rápidos pasajes y la delicada relación entre piano y otras voces orquestales, necesita considerable definición horizontal y vertical, y por lo tanto una sala con escaso tiempo de reverberación y una alta relación entre energía directa y reverberada" BERANEK, L. *Concert and Opera halls. How they sound*. Acoustical Society of America, Nueva York 1996, p. 31.



"Es la música la que enseña sin palabras el justo modo de escuchar. Y de que cuando de palabra sola se trata, sucede así igualmente, que es la música, que puede ser un modo de silencio, la que sostiene la palabra en su medio y en su modo justo, ni más alta ni más baja (siempre preferible un poco baja). Porque la música es, desde un principio, lo que se oye, lo que se ha de oír, y sin ella, la palabra sola, decae adensándose, camino de hacerse piedra, o asciende volatizándose, defraudando. Gracias a la música, la palabra no defrauda".¹



3. IGLESIA DE SANTIAGO. DOS TORRES.

Reseña histórica.

En la comarca de los Pedroches, al norte de la provincia, debido a la peste del siglo XIV, se erigen templos dedicados al mártir San Sebastián, protector de los contagios, situados por lo general a extramuros, siendo utilizados como lazaretos para albergue de los enfermos. Estos modelos arquitectónicos se difundieron durante los siglos XIV a XVI por la comarca gracias a las cañadas ganaderas, por lo que se les denominan "de la mesta", por su relación con las cañadas que se extendieron por Castilla, La Mancha, Extremadura y Norte de Andalucía².

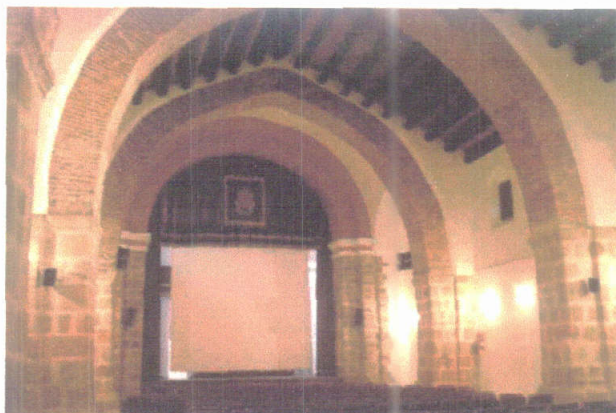
La iglesia de Santiago se inscribe en la tipología característica de los Pedroches, presentando una estructura sencilla y económica, que se reduce a dividir la nave por arcos transversales agudos con cubierta a dos aguas. Esta es una techumbre aparente de par e hilera, cuyos pares o alfaridas apean carreras o correas colocadas a diferentes alturas, que a su vez descansan en el trasdós de los arcos transversales³. De esta forma se aligera la construcción, al disponer unos elementos sustentantes sobre los que descansa la techumbre, mientras que el resto de los muros no tenía que soportar más que su peso propio.

El sentido práctico de los constructores ha tendido siempre a la simplificación, por lo que será la sección transversal la que genera, por repetición y traslación, un espacio lineal, siendo ésta la forma más habitual de la arquitectura para concebir un espacio interior complejo⁴. El esquematismo resultante se soluciona mediante la incorporación de soluciones de límite, como son los ábsides.

La obra es del siglo XV, encontrándose muy deteriorada a finales del siglo XVI debido a la precaria situación económica de la parroquia, que hacía imposible su mantenimiento, siendo en la época barroca cuando se ve sometida a importantes remodelaciones, entre las que destaca la cúpula elíptica del presbiterio en el año 1678⁵.

En el año 1991 se restaura para su adaptación a teatro y cine, siendo redactado el proyecto por la arquitecto Isabel Vera Rodríguez⁶. Desde su inauguración, en el año 1997, acoge actividades culturales de teatro y musicales, principalmente de tipo coral⁷.

Vista hacia la cabecera.



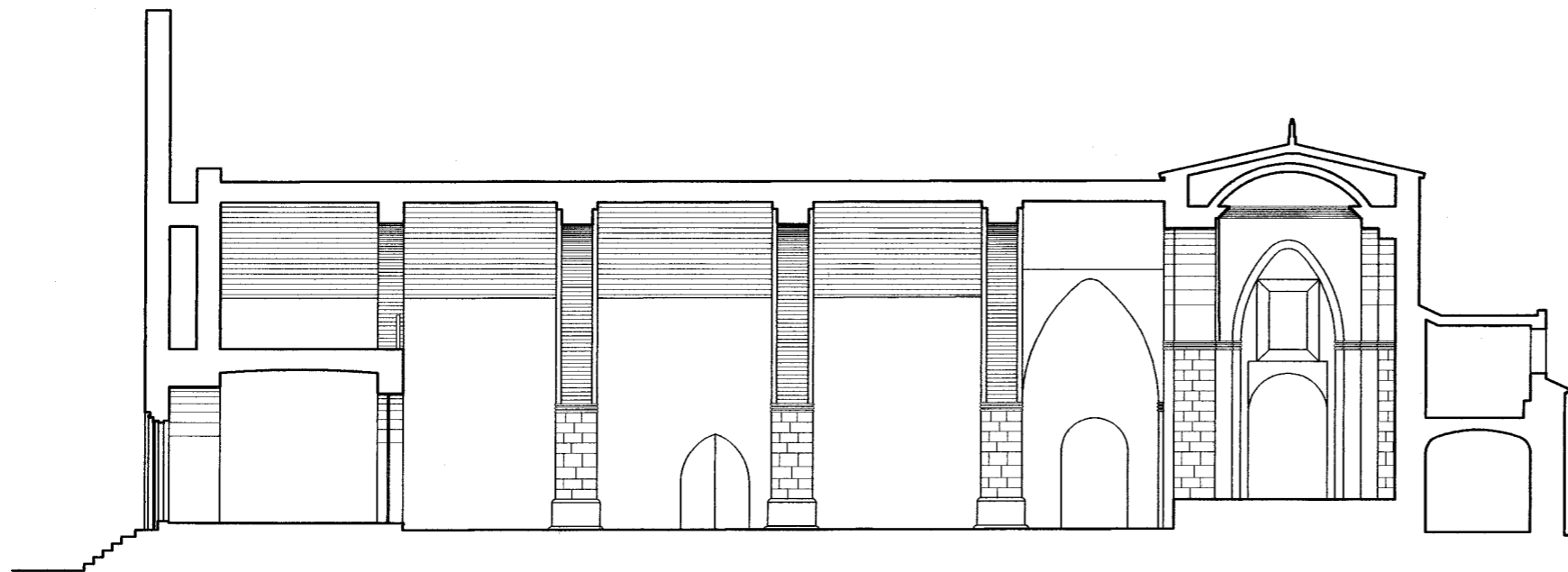
Vista hacia los pies.



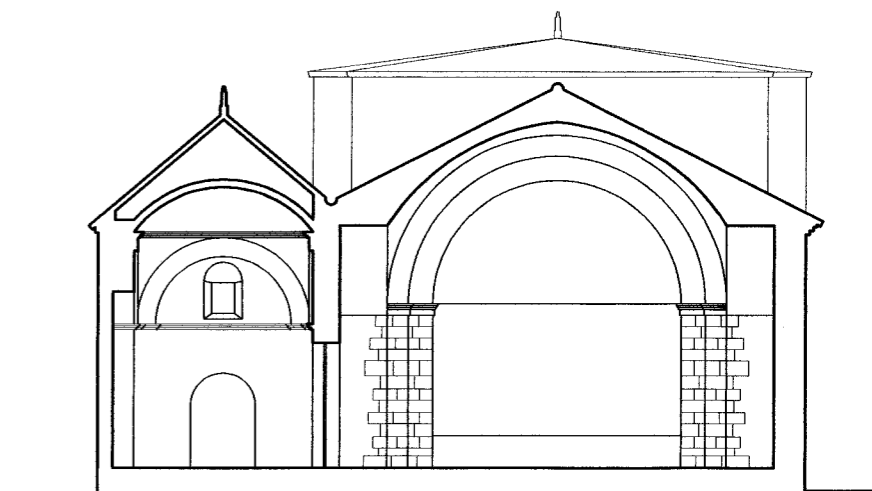
Vista desde el coro.



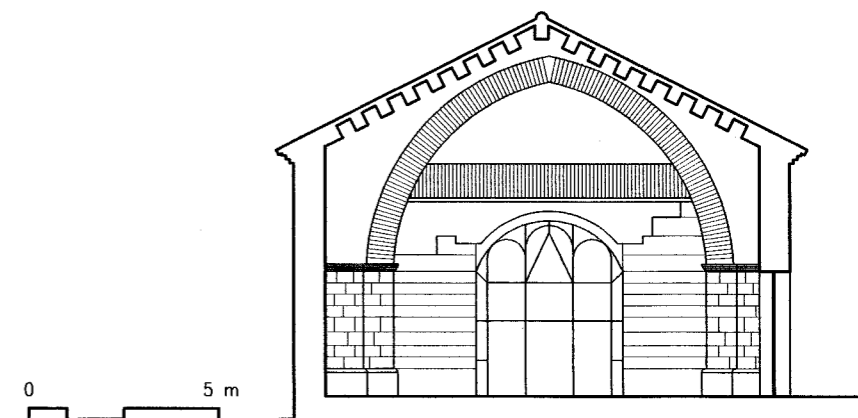
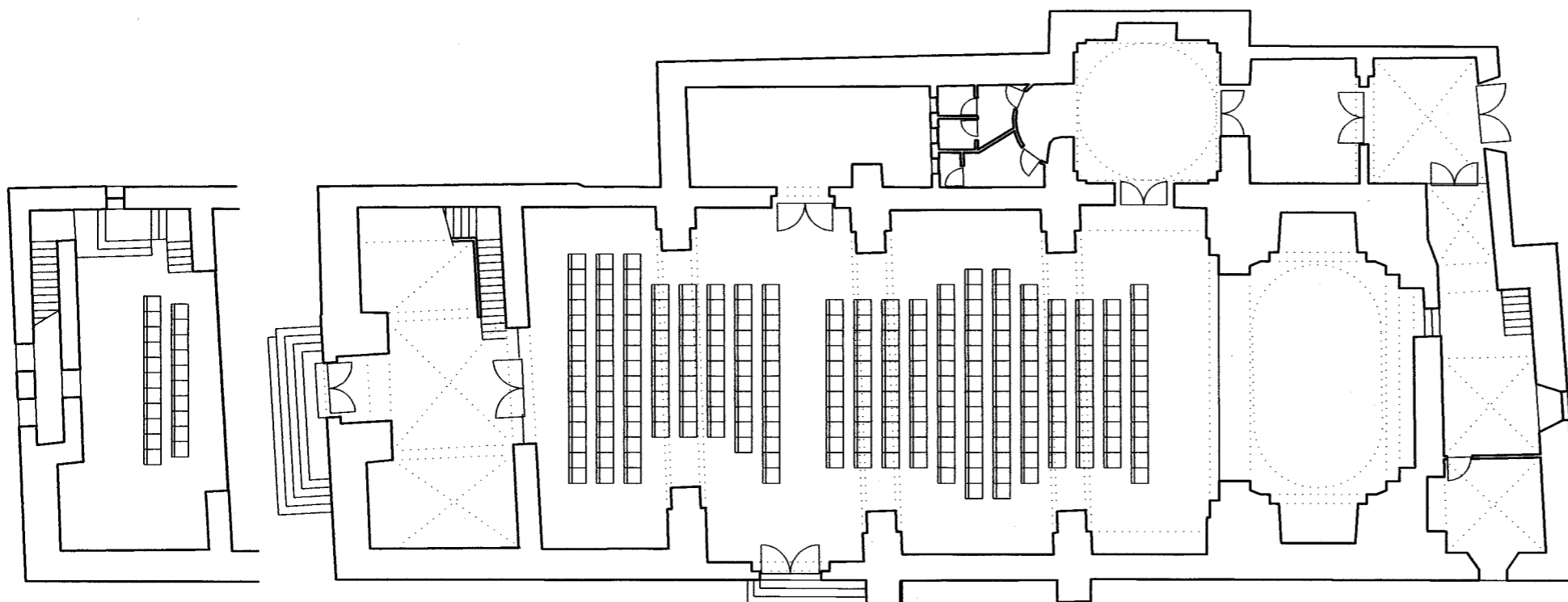
Fig. 3.1. Interior de la iglesia tras la restauración.



SECCIÓN LONGITUDINAL



SECCIÓN TRANSVERSAL HACIA ESCENA.



SECCIÓN TRANSVERSAL HACIA CORO.

Análisis acústico del estado actual.

La medición acústica se realizó con el área de audiencia ocupada por butacas con un bajo porcentaje de superficie tapizada. Se tomaron once puntos de medida: diez en la nave y uno en el coro, a una altura de 1.20 sobre el suelo. La fuente se colocó en el escenario, a una altura de 1.50 m sobre el entarimado de madera.

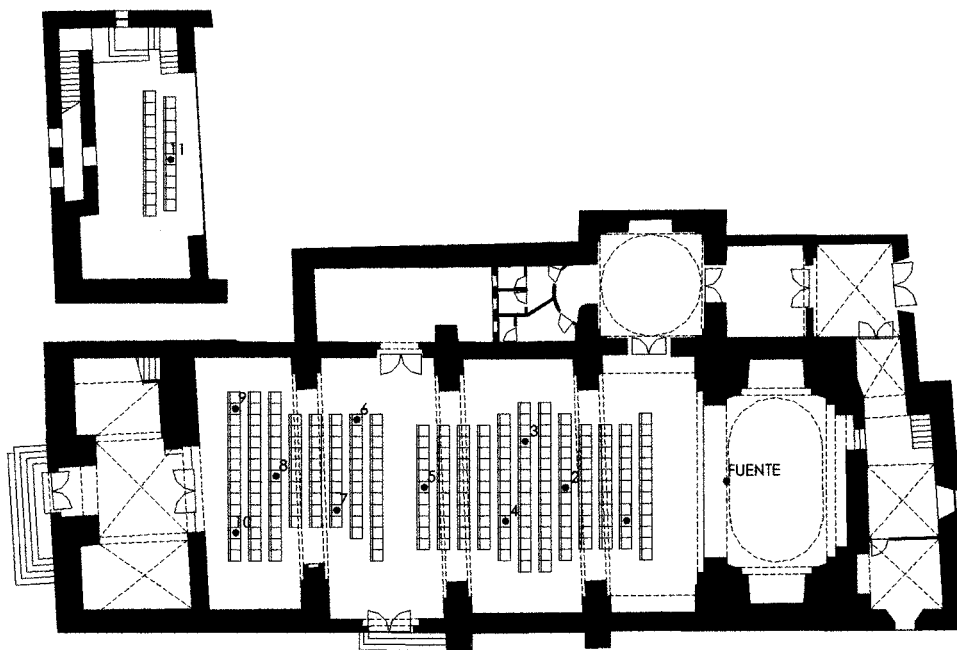


Fig. 3.2. Situación puntos de medida.

El análisis acústico se realiza tanto sobre la configuración actual de la iglesia, como para la configuración anterior a la restauración, en la que no interviene la absorción sonora que proporcionan las butacas, para conocer el comportamiento acústico de este tipo eclesial.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

Se realizaron las detonaciones en el punto señalado como fuente en la figura 3.2, recogiendo la respuesta al impulso en los puntos de medida. A partir de estos datos se obtienen los valores del tiempo de reverberación, para cada punto, en bandas de octava (tabla A3.1 apéndice 3). Con estos valores se ha obtenido el tiempo de reverberación promediado para la iglesia.

A partir de los valores promediados del tiempo de reverberación, se obtiene, mediante simulación informática, un modelo teórico que comprende el volumen completo de la iglesia, no considerándose ningún tipo de acoplamiento acústico.

De esos valores del tiempo de reverberación medidos, se ha podido obtener la absorción sonora de la iglesia para las distintas frecuencias, comprobándose la similitud de los resultados obtenidos con la absorción sonora calculada a partir de los coeficientes de absorción que para los suelos, paredes y techo, ofrecen las fuentes bibliográficas (tabla 3.1).

MATERIAL	SUP. m ²	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Suelo cerámico	25	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07
Butacas vacía ^B	238	0.35	0.45	0.57	0.61	0.59	0.55
Butaca ocupada	189	0.56	0.68	0.79	0.83	0.86	0.86
Revoco de cal	591	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07
Piedra	115	0.02	0.02	0.06	0.08	0.04	0.05
Madera	243	0.16	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
Vidrio	13	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
Ladrillo	158	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07
Cortina	98	0.07	0.31	0.49	0.60	0.66	0.54
Bóveda	97	0.05	0.06	0.07	0.09	0.07	0.08
Entarimado madera	55	0.09	0.09	0.08	0.08	0.10	0.07
Aire (m ³)	2365					0.008	0.021
SUPERFICIE TOTAL	1633						

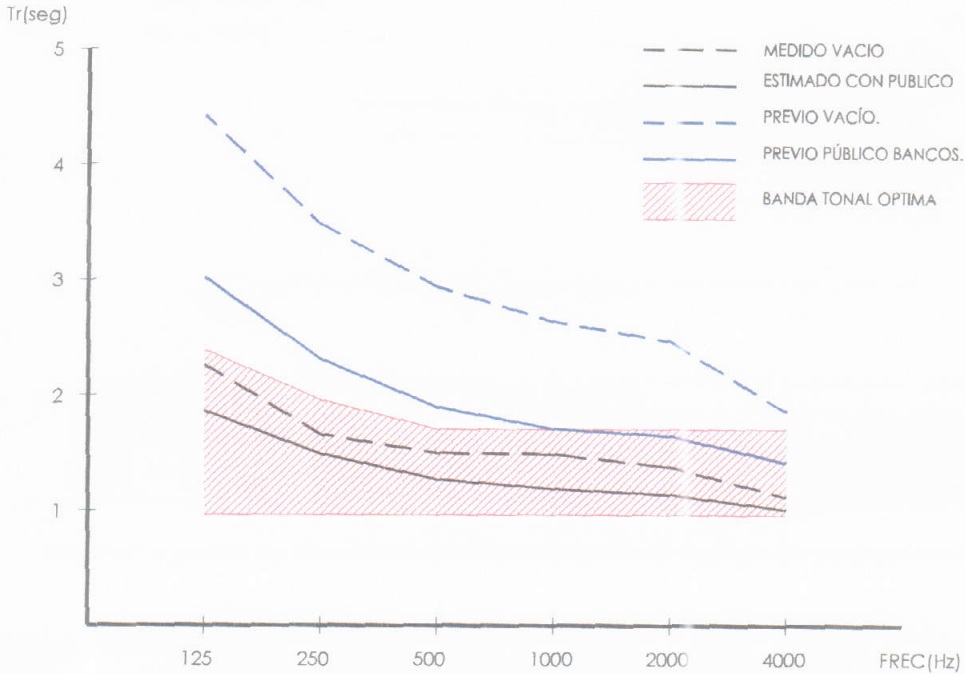
Tabla 3.1. Características absorbentes de los diferentes materiales. Estado actual.

MATERIAL	SUP. m ²	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Suelo cerámico	128	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07
Banco ocupado	189	0.23	0.31	0.41	0.45	0.45	0.40
Revoco de cal	601	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07
Piedra	119	0.02	0.02	0.06	0.08	0.04	0.05
Madera	243	0.16	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
Vidrio	13	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
Ladrillo	165	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07
Cortina	98	0.07	0.31	0.49	0.60	0.66	0.54
Bóveda	97	0.05	0.06	0.07	0.09	0.07	0.08
Aire (m ³)	2413					0.008	0.021
SUPERFICIE TOTAL	1653						

Tabla 3.2. Características absorbentes de los diferentes materiales. Estado previo.

Con la ayuda del modelo informático y el empleo de la fórmula de Sabine, se realiza una predicción teórica de los valores del tiempo de reverberación de la iglesia, con público sentado en butacas en la nave para el estado actual y con

público sentado en bancos para el previo⁹. Estos valores se comparan con los valores óptimos teóricos tanto para la palabra como para la música, representándose en la figura 3.3.



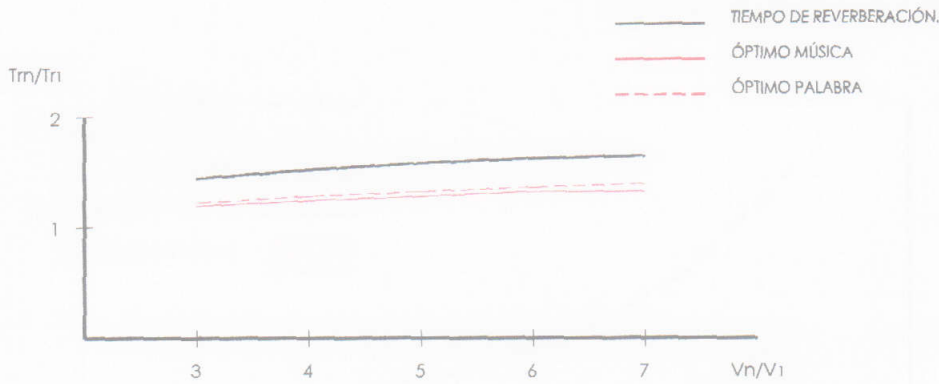
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Medido vacío	2.26	1.66	1.50	1.49	1.38	1.12
Estimado con público	1.86	1.49	1.27	1.19	1.14	1.01
Previo vacío	4.42	3.48	2.94	2.64	2.47	1.86
Previo público en banco	3.02	2.31	1.90	1.71	1.65	1.42
Óptimo música	2.39	1.96	1.71	1.71	1.71	1.71
Óptimo palabra	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96

Fig. 3.3. Tiempos de reverberación medido, estimado y óptimos.

El tiempo de reverberación obtenido de la medición refleja una importante absorción sonora a todas las frecuencias, debido a la presencia de las butacas, valor que aumenta en la hipótesis de ocupación con público en la nave, estando la curva tonal dentro de la banda tonal óptima.

En el estado previo, con la iglesia vacía, la curva tonal refleja la falta de absorción sonora al eliminar las butacas. No obstante, en la hipótesis de ocupación con público sentado en bancos, la curva tonal está cercana a la curva tonal óptima para la música, con valores algo elevados para las bajas frecuencias.

Dado el gran número de iglesias existentes en la comarca con este tipo arquitectónico, y con el objetivo de poder extrapolar estos valores, se analiza la influencia del número de tramos de la nave en el tiempo de reverberación. Se parte de un tramo de iguales proporciones al de la iglesia de Santiago, con un coeficiente de absorción sonora medio, y se comparan los incrementos del tiempo de reverberación, al aumentar el número de tramos, con los óptimos calculados según el volumen en cada caso, tanto para el uso musical como para la palabra¹⁰. El estudio se realiza para iglesias con un número de tramos comprendido entre 3 y 7 (figura 3.4).



	Tr_3 / Tr_1	Tr_4 / Tr_1	Tr_5 / Tr_1	Tr_6 / Tr_1	Tr_7 / Tr_1
Incremento Tr	1.44	1.52	1.58	1.62	1.64
Incremento Tr óptimo música	1.19	1.24	1.28	1.32	1.34
Incremento Tr óptimo palabra	1.22	1.28	1.32	1.36	1.39

Fig. 3.4. Incremento del tiempo de reverberación con el número de tramos y óptimos.

El crecimiento en el tiempo de reverberación es algo superior a los considerados como óptimos, pero la relación entre ambos crecimientos es prácticamente constante, por lo que dados los valores obtenidos para esta iglesia en su estado previo, se puede considerar que este tipo eclesial presenta unos valores de reverberación¹¹ cercanos a la curva tonal óptima para la música, independientemente del número de tramos que presente la iglesia.

Los valores de los índices de calidez y brillo, en el estado actual (tabla 2.3), se encuentran dentro de los valores recomendados, por lo que existe una adecuada respuesta tanto a bajas como a altas frecuencias. Estos valores presentan un pequeño desequilibrio para el estado previo.

	BR	Br
Estimado con público	1.36	0.87
Previo con público	1.47	0.84
Valores recomendados	1.1÷1.45	>0.87

Tabla 3.3. Valores de calidez y brillo con la iglesia ocupada con público.

DISTRIBUCIÓN SONORA.

El estudio de la distribución sonora se ha realizado a partir de la emisión con una fuente sonora omnidireccional y una potencia de emisión de 111 dB, obteniéndose los valores de nivel de presión sonora que se reflejan en la figura 3.5 y la tabla A3.2 (apéndice 3).

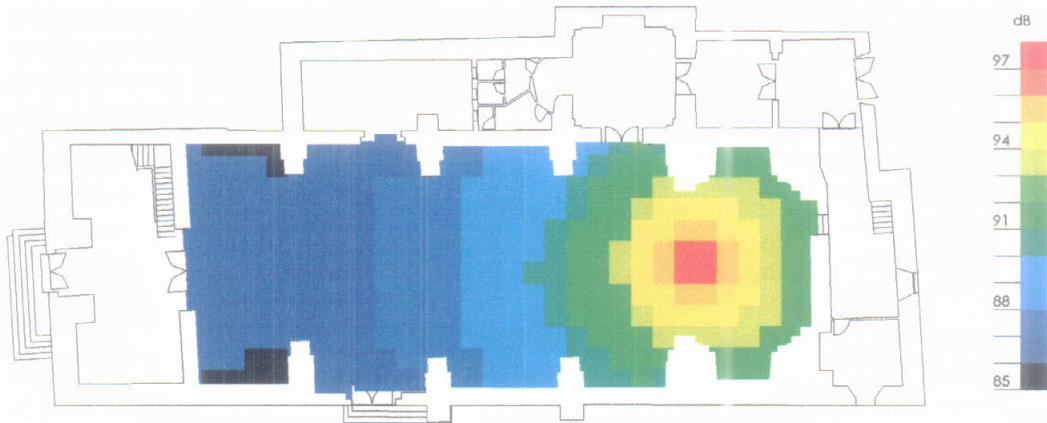


Fig. 3.5. Mapa de distribución sonora medido, estado actual. Iglesia vacía.

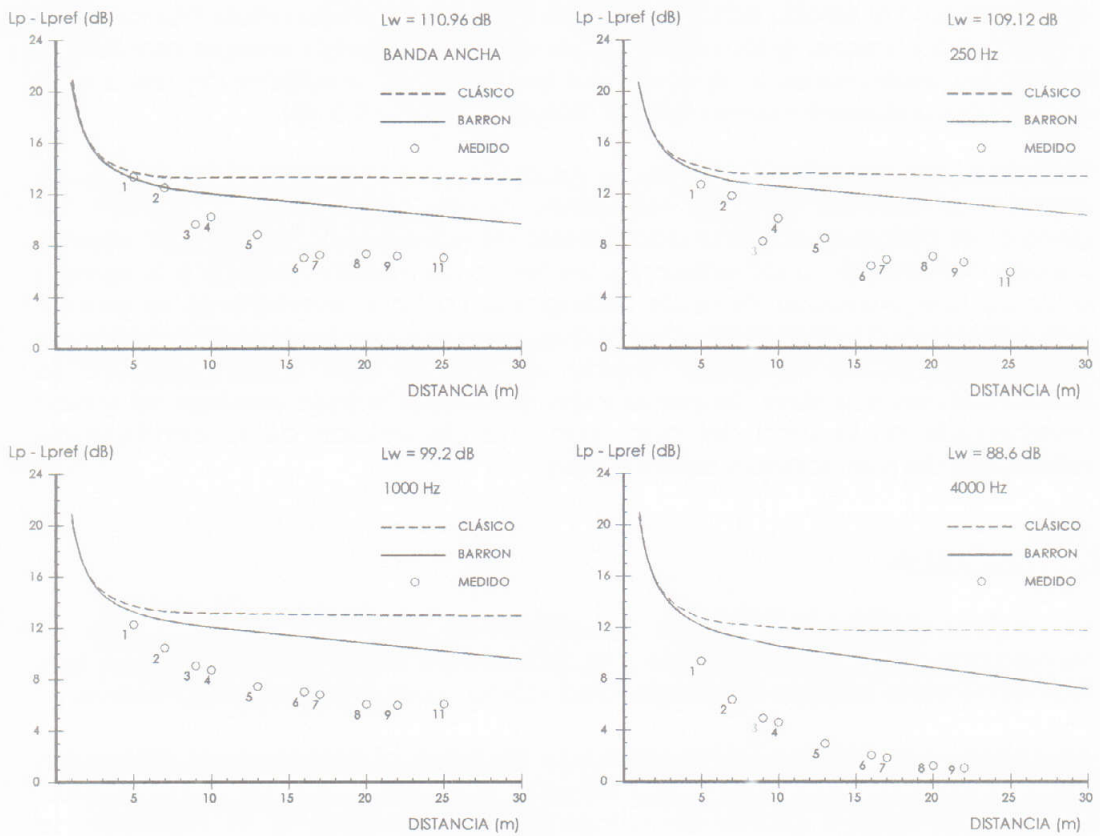


Fig. 3.6. Comportamiento del campo acústico frente a la distancia.

Para analizar el grado de difusión sonora en la iglesia, se han representado los niveles sonoros medidos respecto al nivel de referencia, en función de la distancia, y se han comparado con los valores previstos por el modelo clásico y el modelo de Barron (fig. 3.6) tanto para la banda ancha como para las bajas, medias y altas frecuencias.

Los niveles sonoros medidos se mantienen por debajo incluso de los previstos por el modelo de Barron, principalmente en los puntos más alejados de la fuente, debido a una falta de difusión del sonido, como se aprecia también en las

variaciones existentes entre el tiempo de reverberación medido en diferentes puntos (tabla A3.1 del apéndice 3). La geometría simple de la iglesia junto con la concentración de la absorción sonora en el plano de las butacas no favorecen la difusión sonora¹². Se observa una atenuación del nivel global de 3.8 dB cada 10 m, con una caída respecto a los niveles previstos por el modelo clásico de 7 dB en el fondo de la nave. Estas importantes caídas de nivel sonoro se hacen más acusadas para las altas frecuencias, al presentar una mayor absorción sonora y funcionar independientemente cada tramo entre los arcos, efecto que no se aprecia a bajas frecuencias debido a la difracción del sonido.

El análisis de la distribución sonora, se complementa con un estudio teórico mediante el empleo del modelo informático. Los valores de distribución sonora obtenidos mediante la simulación son semejantes a los obtenidos de la medición, lo que asegura la adecuación del modelo (tabla A3.2 y tabla A3.5).

La iglesia presenta unos niveles de sonoridad algo elevados, con valores medios de 9.3 dB para el estado actual, y de 13.3 dB para el estado previo (tablas A3.12 y A3.13). Estos valores están relacionados con una excesiva energía asociada a reflexiones especulares, lo que supone un grado de amplificación del sonido superior al considerado como óptimo (valores entre 4 y 5.5 dB).

El análisis de las reflexiones que se producen en la iglesia nos muestra un importante nivel de primeras reflexiones (figura A3.3 del apéndice 3)¹³. En general, se distingue un destacado número de reflexiones laterales, pero apenas si existe contribución a las reflexiones del techo de madera, debido a la sombra acústica que provocan los arcos diafragmas. La cola reverberante es escasa, con reflexiones desde el fondo de la nave, pero con una importante pérdida de nivel sonoro frente al sonido directo, que hace que estas reflexiones se encuentren en el umbral de percepción. Existe una bajada sensible del sonido reverberante en la zona del coro, con una disminución de la cantidad de reflexiones, de nivel sonoro y de sonoridad.

INTELIGIBILIDAD.

Los índices RASTI obtenidos en los diferentes puntos, tras la medición, se representan en la figura 3.7, frente a la distancia de cada punto a la fuente. Esos índices permiten calificar la inteligibilidad como "aceptable" en toda la nave.

Así mismo, se determina la inteligibilidad mediante el programa de simulación informática CATT-Acoustic, obteniendo un valor del índice RASTI en cada punto. Para comprobar el grado de adaptación del modelo a la medición se comparan los valores del índice RASTI en los diferentes puntos (tabla 3.4). La escasa diferencia entre los valores del índice RASTI medidos y simulados, tienen su origen principalmente en pequeñas variaciones obtenidas en la caída del nivel sonoro. Por lo tanto, se opta por introducir un factor de corrección, con el fin de adecuar el índice RASTI obtenido en las distintas simulaciones a la medición realizada.

	1	2	4	5	6	8	9	11
Medido	0.57	0.56	0.49	0.48	0.49	0.44	0.48	0.51
Simulación actual. Vacío	0.57	0.51	0.47	0.46	0.44	0.46	0.44	0.45
Factor de corrección.	1.00	1.09	1.04	1.04	1.11	0.95	1.09	1.13

Tabla 3.4. Valores RASTI medidos y estimados teóricamente. Iglesia vacía.

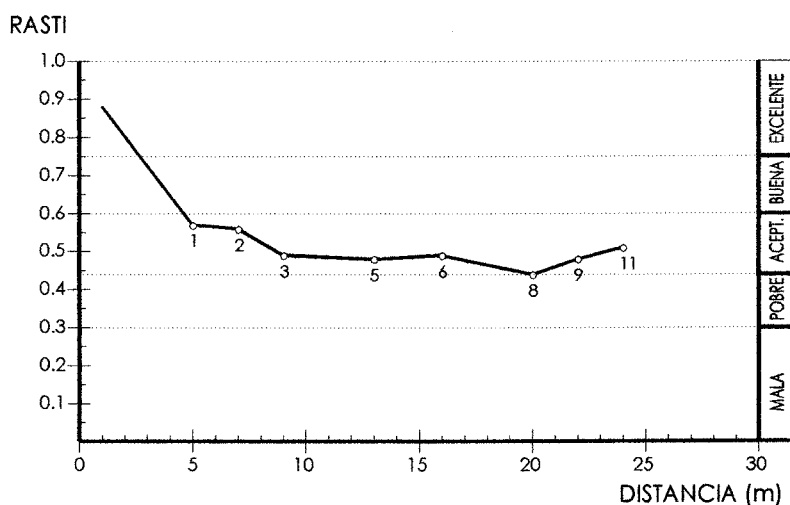


Fig. 3.7. Índice RASTI frente a la distancia. Medido vacío.

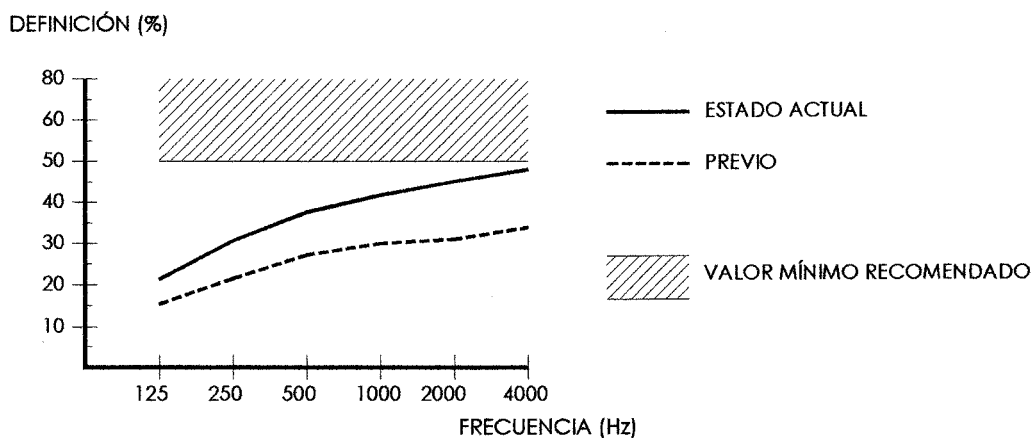


Fig. 3.8. Valor de definición. Estimado con público.

Al ocuparse con público la iglesia, el índice RASTI mejora aunque se sigue manteniendo la inteligibilidad con la calificación de "aceptable", tanto para el estado actual como para el estado previo¹⁴.

	1	2	4	5	6	8	9	11
Estimado actual con público	0.59	0.59	0.54	0.56	0.53	0.48	0.51	0.56
Estado previo con público	0.53	0.51	0.47	0.45	0.43	0.40	0.42	0.39

Tabla 3.5. Valores RASTI estado actual y previo. Iglesia ocupada.

En el estado previo, los valores estimados de definición muestran unos valores inferiores al mínimo recomendado de 50%, lo que supone que la iglesia presentaba una inadecuada inteligibilidad para la palabra (figura 3.8). En el estado actual, los valores de definición se acercan al valor mínimo recomendado sólo para las altas frecuencias.

En cambio, los valores de claridad musical se encuentran dentro del margen óptimo recomendado para una adecuada audición musical (figura 3.9), tanto para la hipótesis de estado actual como en la de previo, existiendo un sonido con falta de claridad, para las bajas frecuencias, en el estado previo.

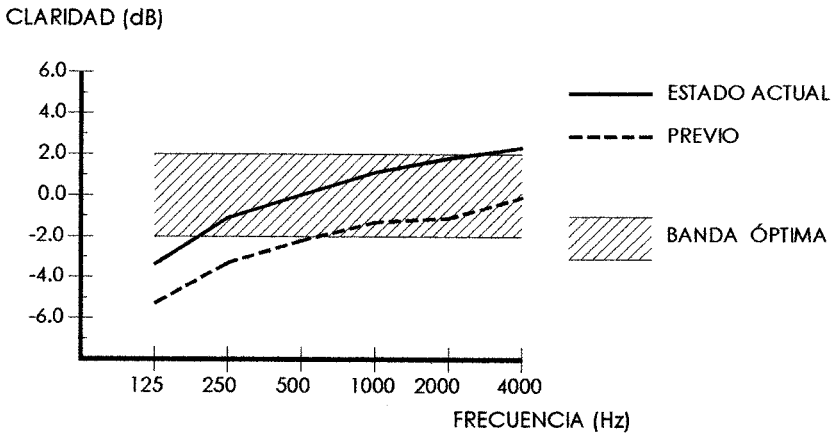


Fig. 3.9. Valor de claridad musical. Estimado con público.

RUIDO DE FONDO.

La medición efectuada del nivel de ruido de fondo en la iglesia se presenta en la tabla A3.4 del apéndice 3. El valor obtenido para el nivel sonoro continuo equivalente ($L_{eq} = 33.1$ dBA) resulta inferior al máximo admitido para iglesias de 40 dBA. Para valorar el ruido en el interior de la iglesia, se ha comparado el espectro medido con las curvas NR, correspondiéndole un índice NR de 37, valor que es superior al margen recomendado entre 25 y 35. Este valor es debido a los niveles de altas frecuencias¹⁵, ya que para el resto de octavas de frecuencia el nivel es muy inferior (figura 3.10).

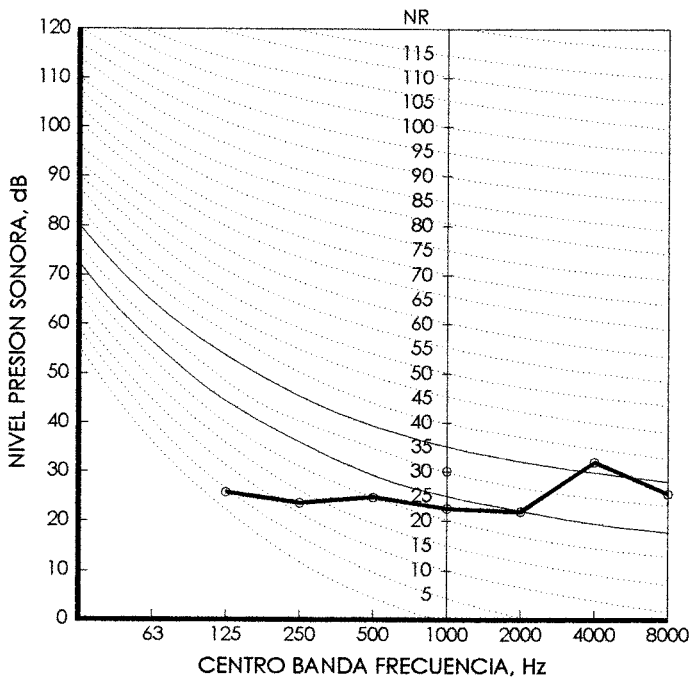


Fig. 3.10. Ruido de fondo.

OTROS PARÁMETROS.

	Estado actual	Estado previo.
Volumen	2365 m ²	2413 m ²
Longitud	33.71 m	33.71 m
Ancho	11.18 m.	11.18 m.
Altura media	8.05 m.	8.05 m.

Area de audiencia: 189 m² en nave y 49 en coro.

Aforo: 245 personas sentadas en nave y 21 en el coro.

Relación volumen/plaza: 8.89 en el estado actual y 9.84 en el estado previo. (Rango 5.1-9.1)

Relación volumen/área de audiencia: 9.93 en el estado actual y 12.76 en el estado previo. (Rango 9.2-12.0)

Relación área de audiencia/plaza: 0.89 en el estado actual y 0.77 en el estado previo (Rango 0.63-0.75)

CONCLUSIONES.

Los valores del tiempo de reverberación en el estado actual, con butacas ocupadas en la nave, se sitúan en la banda óptima, con una curva tonal más cercana a la curva tonal óptima para la palabra que a la musical, principalmente a medias y bajas frecuencias. Existe, una adecuada respuesta tanto a sonidos graves como medios y agudos, con un buen grado de compromiso, apto para un uso polifuncional de la sala.

En la hipótesis de estado previo con público sentado en bancos, los valores del tiempo de reverberación son más elevados, adaptándose a la curva tonal óptima para la música para medias y altas frecuencias, siendo algo elevados para los sonidos graves. Se detecta cierta falta de riqueza de armónicos, lo que restará calidad a las actuaciones musicales.

La distribución del nivel sonoro en la iglesia no es uniforme, con una importante caída del nivel sonoro respecto a la distancia, superior a la propuesta por el modelo de Barron, efecto que se acusa más para las altas frecuencias, al funcionar de forma independiente cada tramo de la nave.

Resulta destacable una cierta pérdida de la calidad sonora debido a un exceso de sonoridad, que se hace más patente en el estado previo, producto del exceso de energía asociada a reflexiones especulares, por lo que se aprecia un grado de amplificación del sonido en la iglesia algo elevado. Estos valores un poco elevados de sonoridad pueden ser adecuados para la música, pero no para la palabra.

Existe una adecuada impresión espacial, con valores de ITDG inferiores a 20 ms, lo que produce una sensación de sonido envolvente.

La inteligibilidad, a partir de los valores del índice RASTI, se puede calificar como "aceptable", ofreciendo unos valores adecuados para el uso musical, que se confirman con los valores de claridad; mientras que se muestra insuficiente para la palabra, como reflejan los bajos valores de definición, a excepción de las altas frecuencias en el estado actual.

Los datos de ruido de fondo se consideran admisibles, gracias a la situación de la iglesia, aislada de vías de circulación.

En cuanto a las relaciones entre las dimensiones y el aforo de la iglesia, los índices están dentro de los considerados como óptimos, dado el pequeño volumen que presenta la iglesia y sus adecuadas proporciones¹⁶.

A partir de estos datos, se concluye que las condiciones acústicas de la iglesia en el estado actual son aceptables para el uso tanto musical como de la palabra, dentro de una solución de compromiso¹⁷, mientras que, en el estado previo, se pueden considerar como aceptables para la música, siendo inadecuadas para la palabra.

Las medidas correctoras acústicas a emplear en este espacio deberán centrarse en la incorporación de un sistema de acústica variable, que permita una diferenciación entre el tiempo de reverberación para el uso musical y para la palabra, mejorando así las condiciones para la audición musical (en la actualidad el sonido es algo "seco") y corrigiendo las condiciones acústicas para la palabra.

El principal problema a resolver en esta iglesia es la mejora de la distribución sonora, haciendo más uniforme el campo sonoro, sobre todo en los puntos del fondo de la iglesia, por lo que resulta necesario aumentar las reflexiones sobre estos puntos.

Propuesta de intervención.

El objetivo de que la iglesia sea apta para uso polifuncional, es decir, sus condiciones acústicas sean idóneas tanto para el uso de la palabra como el musical, aconseja disminuir la absorción sonora en su estado actual, para aumentar así el tiempo de reverberación en la configuración musical.

La necesaria mejora de la distribución sonora, supone aumentar las primeras reflexiones, principalmente en el fondo de la nave, para conseguir un campo sonoro más uniforme que el existente en la actualidad, mediante el diseño de superficies reflectoras con una adecuada orientación, siguiendo los principios de la acústica geométrica. Estos reflectores se pueden ubicar en la parte superior o en los laterales de la iglesia.

Para disminuir la absorción sonora y aumentar el tiempo de reverberación en la configuración musical, se plantea disponer en el coro butacas móviles sobre guías, que se pliegan en esta configuración¹⁸, utilizando este espacio como una cavidad reverberante acoplada a la sala¹⁹, así como recoger el cortinaje existente en la actualidad en la escena (arcos de fondo, laterales y embocadura), y disponer paneles de madera.



Fig. 3.11. Centro cultural San Marcos de Toledo.
I. Mendaro Corsini.

El aumento de nivel sonoro en el fondo de la nave se consigue mediante reflexiones laterales que provienen de unos reflectores verticales suspendidos, convenientemente dispuestos, de manera que hagan converger las reflexiones hacia los puntos más alejados de la fuente sonora²⁰. Estas luminarias-paneles se configuran como una piel translúcida de vidrio, que dejan entrever los fondos, entendiéndose como un elemento funcional, que resuelve las necesidades mediante el mecanismo de repetición y rotación²¹.

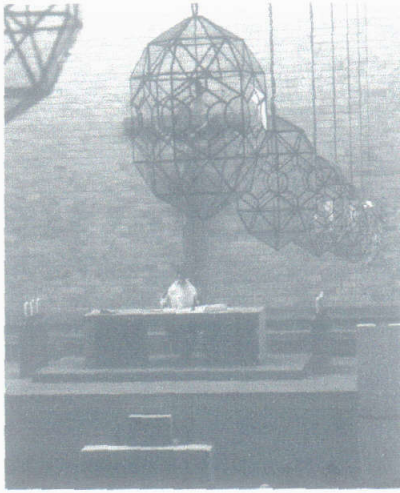


Fig. 3.12. Iglesia Stella Maris.
J.M. García de Paredes.



Fig. 3.13. Dibujo propuesta.

Para el uso de la iglesia para actividades asociadas a la palabra (configuración teatral), convendría disminuir los valores del tiempo de reverberación para adaptarlos a los valores óptimos. Para ello se despliegan las butacas del coro, los cortinajes laterales de la escena y se incorpora, en la pared de fondo de la nave, un cortinaje de algodón fruncido que aumenta la absorción sonora a medias y bajas frecuencias.

Para conseguir aumentar la absorción sonora se plantea la solución realizada por Desarnaulds en la sala polivalente de St. Cergue en Suiza, mediante el empleo de paneles QRD, que permiten disminuir el tiempo de reverberación a la vez que supone una mejora del campo difuso, con una disminución de la pérdida de nivel sonoro con la distancia, que a bajas frecuencias se debe a un efecto de absorción, y que a medias y altas frecuencias se debe a la difusión²².

Se incorporan paneles de plexiglass *omnifusor*²³, paneles QRD en dos dimensiones, formando parte de cada uno de los reflectores verticales (véase plano 3.4).

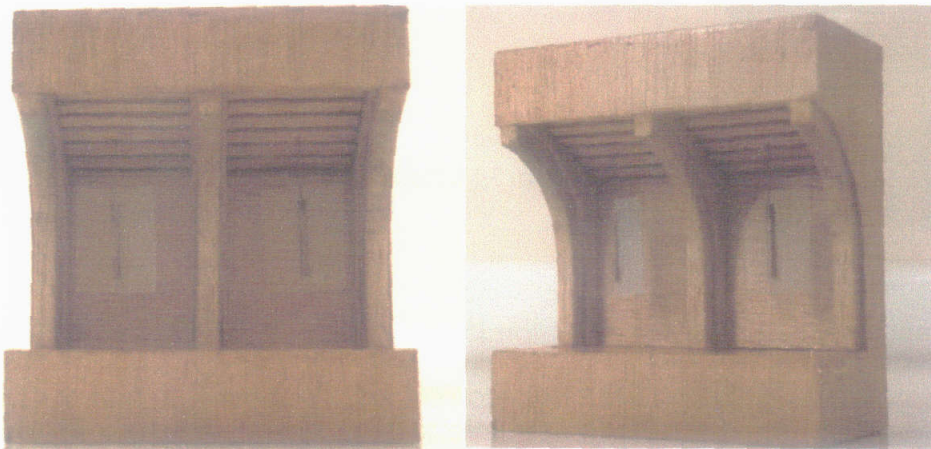
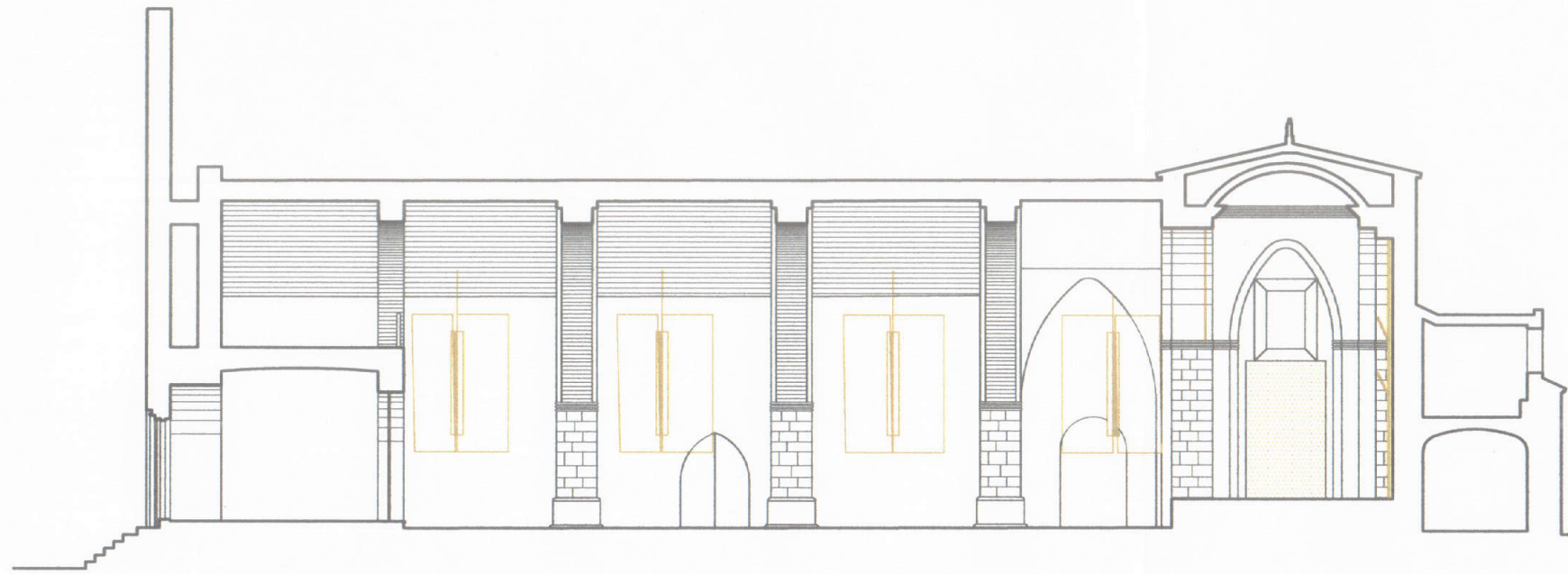
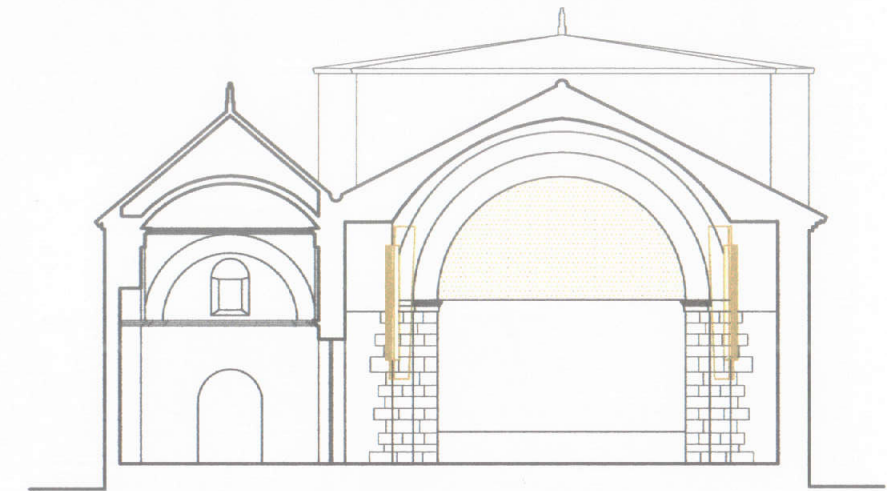


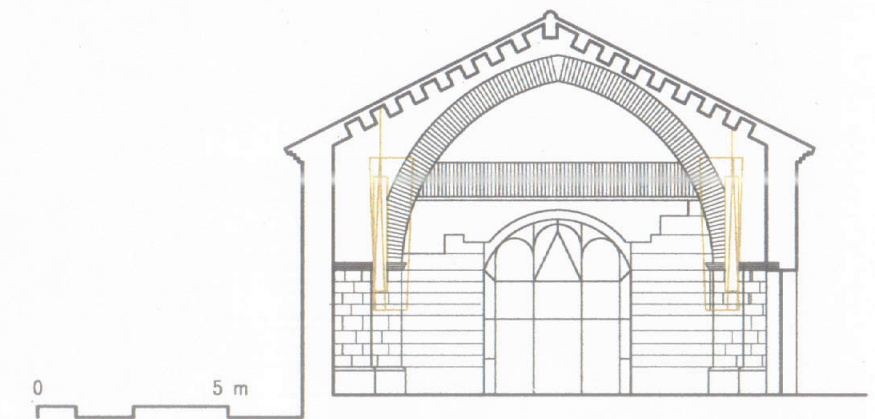
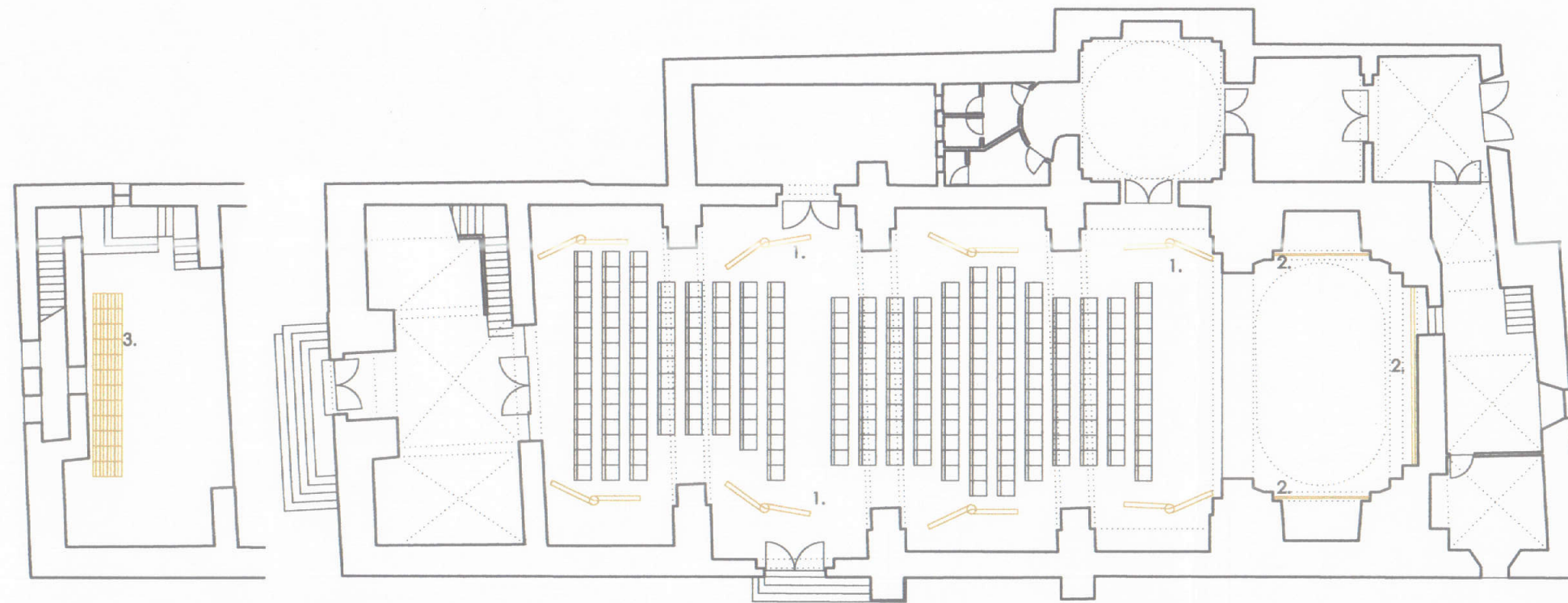
Fig. 3.14. Maqueta propuesta.



SECCIÓN LONGITUDINAL



SECCIÓN TRANSVERSAL HACIA ESCENA.

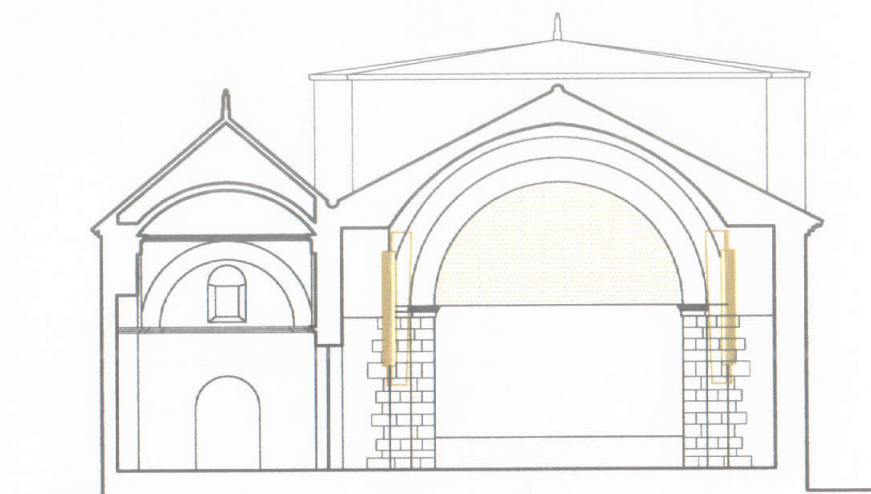


SECCIÓN TRANSVERSAL HACIA CORO.

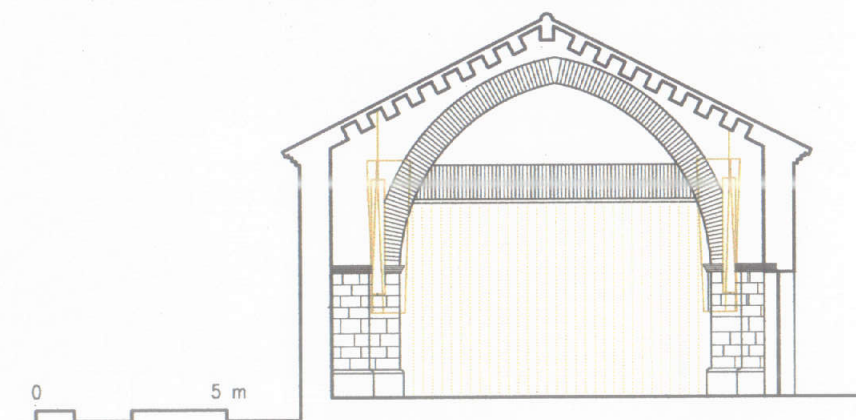
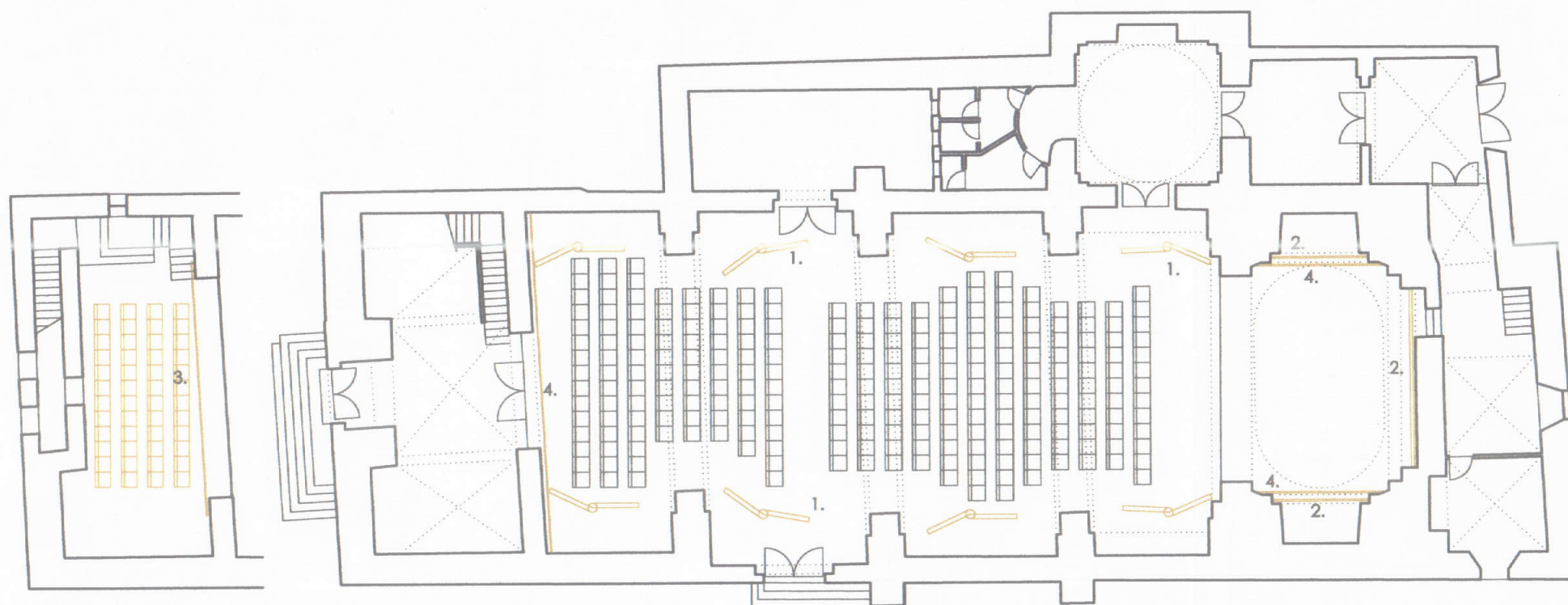
1. Panel reflector con vidrio stadip 4+4 . 2. Panel de madera barnizada de 15 mm montado a 5 cm de la pared. 3. Sillas móviles con guía plegadas.



SECCIÓN LONGITUDINAL



SECCIÓN TRANSVERSAL HACIA ESCENA.

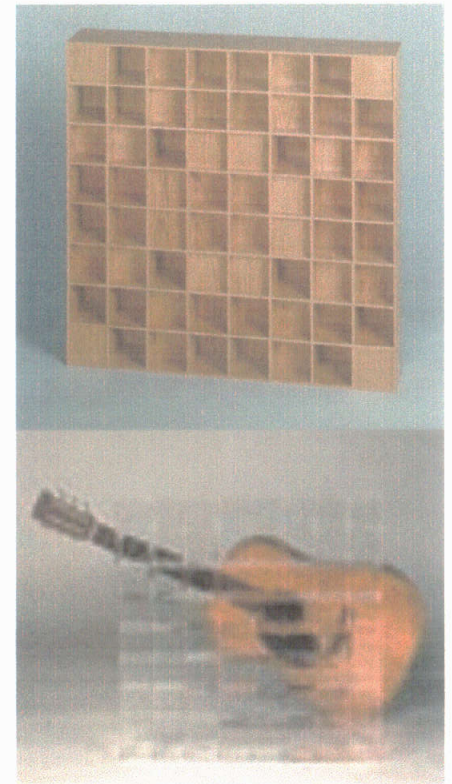


SECCIÓN TRANSVERSAL HACIA CORO.

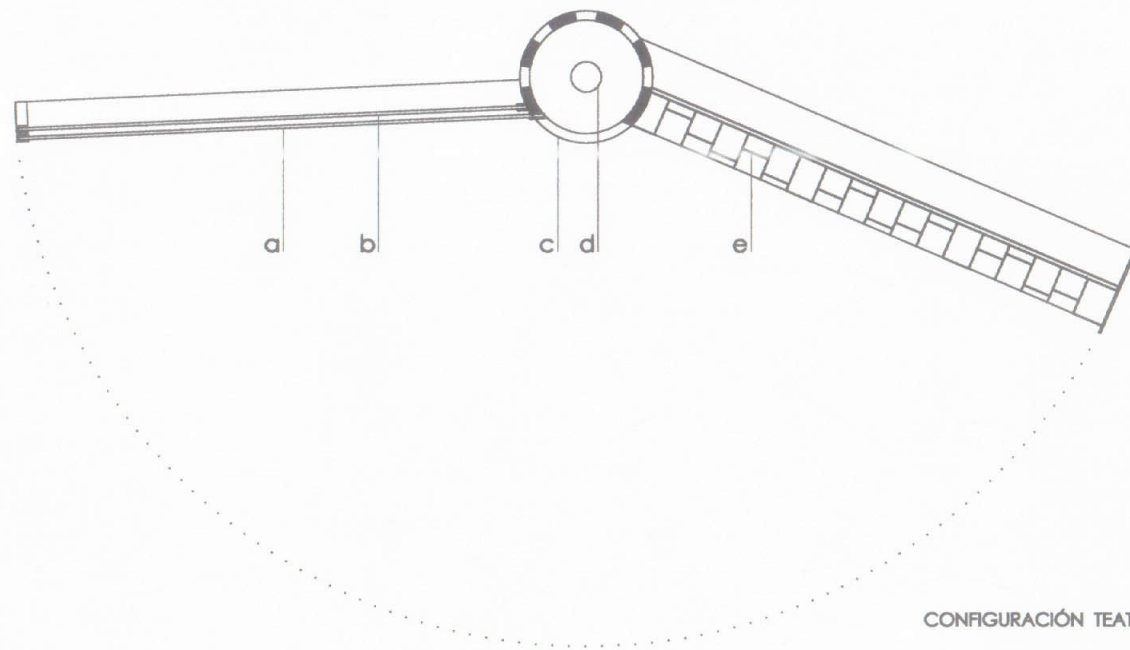
1. Panel reflector con vidrio stadip 4+4 y panel QRD . 2. Panel de madera barnizada de 15 mm montado a 5 cm de la pared. 3. Butacas móviles sobre guías desplegadas. 4. Cortina de algodón 620 g/m² fruncida al 150%.

- a. Panel de vidrio stadip 4+4 pivotante.
- b. Panel de vidrio stadip 4+4.
- c. Tubo acero oxidado y barnizado con ranuras de iluminación.
- d. Lámpara fluorescente.
- e. Panel "omnifusor" en plexiglass.

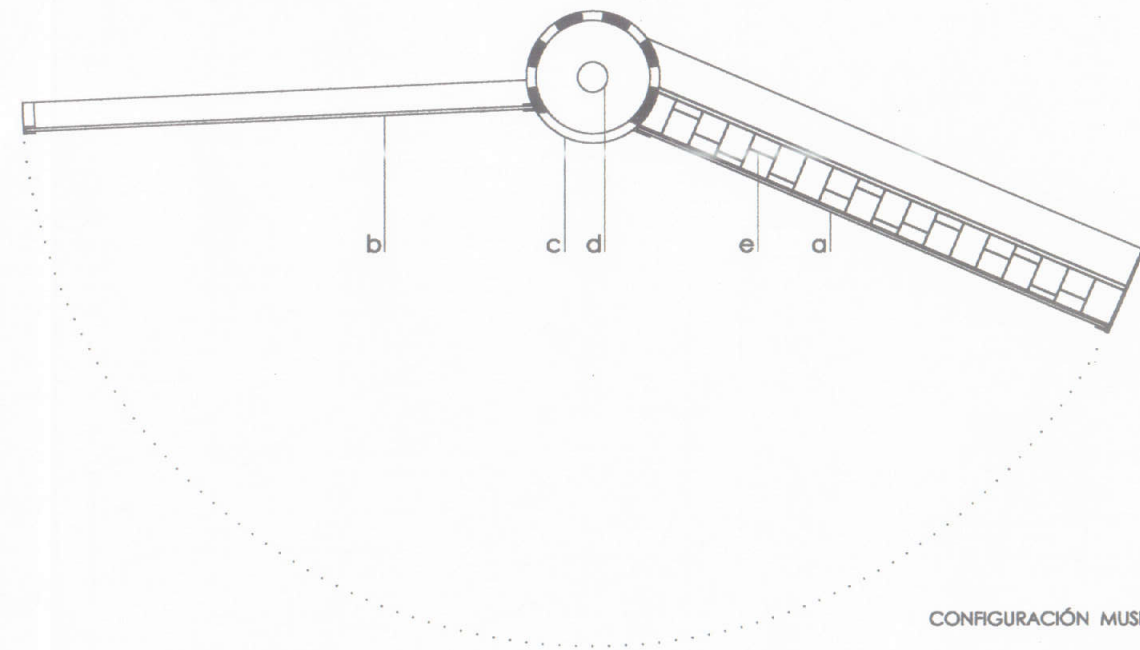
0 5 cm



Panel omnifusor



CONFIGURACIÓN TEATRAL



CONFIGURACIÓN MUSICAL

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

El cálculo del tiempo de reverberación de la propuesta de intervención se realiza utilizando el modelo informático, y aplicando la fórmula de Sabine, tanto para la configuración musical como para la teatral, considerando los coeficientes de absorción de los materiales de las tablas 3.6 y 3.7 respectivamente.

MATERIAL	SUP. m ²	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Suelo cerámico	80	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07
Butaca plegada	6	0.35	0.45	0.57	0.61	0.59	0.55
Butaca ocupada	189	0.56	0.68	0.79	0.83	0.86	0.86
Revoco de cal	591	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07
Piedra	115	0.02	0.02	0.06	0.08	0.04	0.05
Madera	243	0.16	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
Vidrio	13	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
Ladrillo	158	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07
Madera 15 mm cámara	98	0.10	0.11	0.10	0.08	0.08	0.11
Bóveda	97	0.05	0.06	0.07	0.09	0.07	0.08
Entarimado madera	55	0.09	0.09	0.08	0.08	0.10	0.07
Panel de cristal	111	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
Aire (m ³)	2365					0.008	0.021
SUPERFICIE TOTAL	1756						

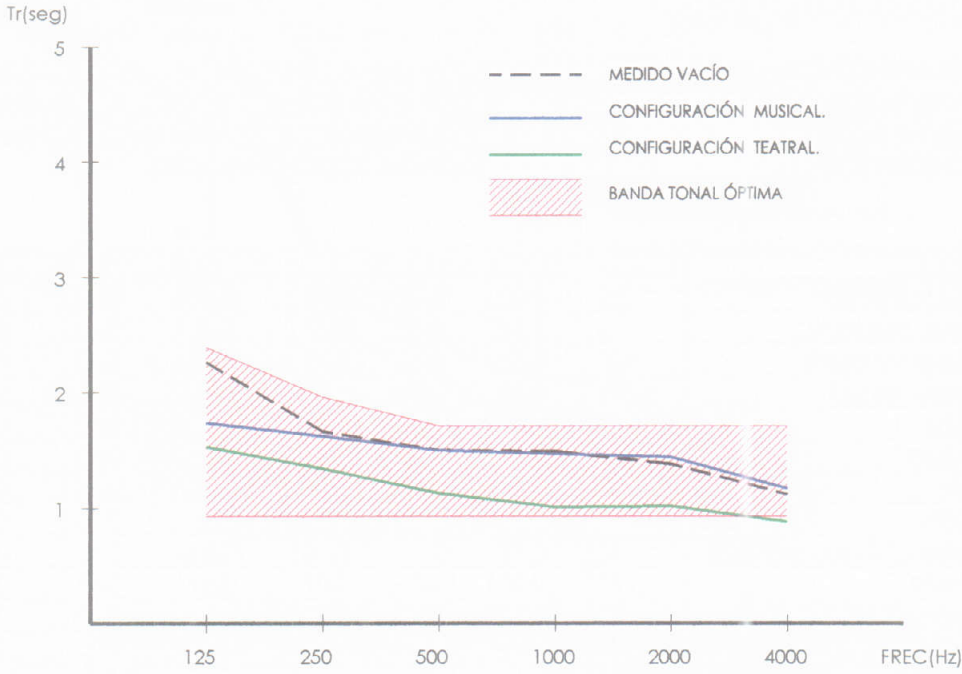
Tabla 3.6. Características absorbentes de los diferentes materiales. Configuración musical.

MATERIAL	SUP. m ²	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Suelo cerámico	25	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07
Butacas vacías	49	0.35	0.45	0.57	0.61	0.59	0.55
Butaca ocupada	189	0.56	0.68	0.79	0.83	0.86	0.86
Revoco de cal	579	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07
Piedra	115	0.02	0.02	0.06	0.08	0.04	0.05
Madera	243	0.16	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
Ladrillo	158	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07
Madera 15 mm cámara	64	0.10	0.11	0.10	0.08	0.08	0.11
Bóveda	97	0.05	0.06	0.07	0.09	0.07	0.08
Entarimado madera	55	0.09	0.09	0.08	0.08	0.10	0.07
Panel omnifusor	56	0.30	0.21	0.28	0.53	0.21	0.36
Panel de cristal	56	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
Cortina algodón fruncida	70	0.14	0.35	0.55	0.72	0.70	0.85
Aire (m ³)	2365					0.008	0.021
SUPERFICIE TOTAL	1815						

Tabla 3.7. Características absorbentes de los diferentes materiales. Configuración teatral.

La disminución de la absorción sonora, para la configuración musical, hace que la curva tonal con público en butacas sea similar a la medida para medias y altas frecuencias, con valores del tiempo de reverberación algo inferiores a los valores considerados como óptimos.

El aumento de la absorción sonora, hace que la curva tonal para la configuración teatral se adapte a la curva tonal óptima para la palabra, principalmente para los sonidos agudos.



	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Medido vacío	2.26	1.66	1.50	1.49	1.38	1.12
Configuración musical. Público	1.72	1.62	1.51	1.47	1.44	1.17
Configuración teatral. Público.	1.53	1.34	1.13	1.01	1.02	0.88
Óptimo música	2.39	1.96	1.71	1.71	1.71	1.71
Óptimo palabra	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93

Fig. 3.15. Tiempos de reverberación estimados y óptimos. Propuesta.

La previsión de los valores de los índices de brillantez y calidez, para la configuración musical y teatral, se encuentra dentro de los valores recomendados (tabla 3.8).

	BR	Br
Configuración musical	1.12	0.87
Configuración teatral	1.38	0.88
Valores recomendados	1.1÷1.45	>0.87

Tabla 3.8. Valores de calidez y brillo con público en butacos.

DISTRIBUCIÓN SONORA.

Se analiza la distribución sonora en la iglesia, mediante la simulación informática, para las dos configuraciones consideradas, manteniendo la potencia de emisión de la fuente establecida en la medición in situ.

Tanto para la configuración teatral como musical, se produce una disminución sensible de la caída de nivel sonoro con la distancia, respecto a lo que sucede en el estado actual (figura 3.16). Esto es especialmente significativo para el uso musical, con un atenuación del nivel sonoro de tan solo 3 dB por cada 10 m.

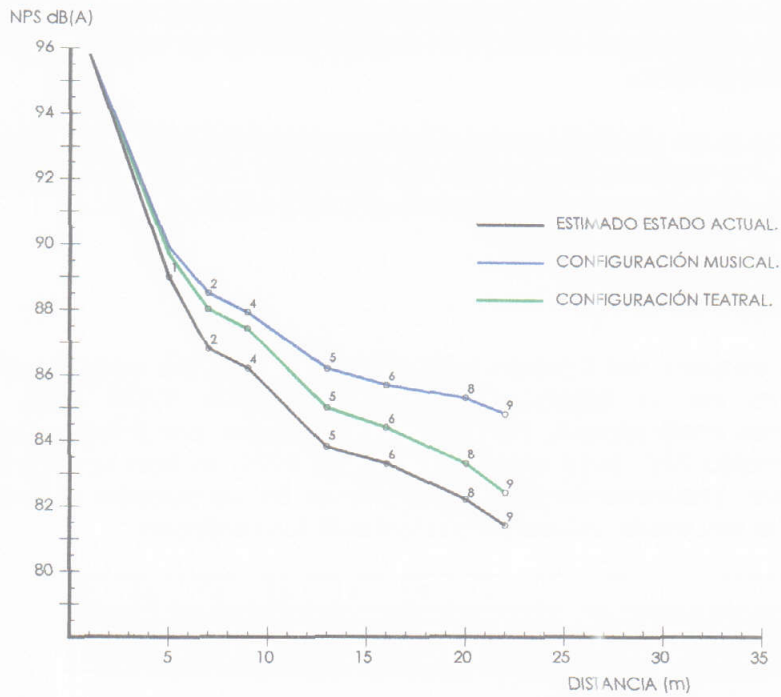


Fig. 3.16. Nivel de presión sonora respecto a la distancia. Iglesia ocupada.

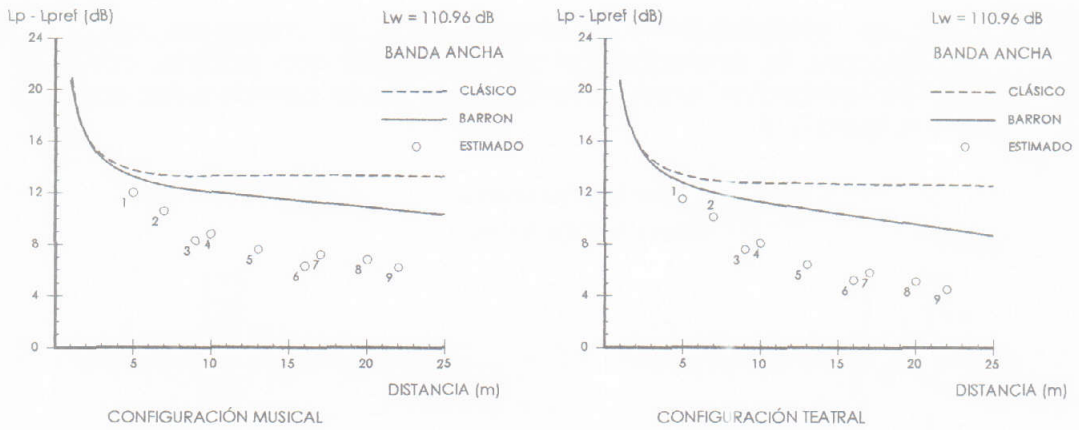


Fig. 3.17. Comportamiento del campo acústico frente a la distancia. Banda ancha.

Para analizar el grado de difusión sonora en la iglesia, se han representado los niveles sonoros medidos respecto al nivel de referencia, en función de la distancia, y se han comparado con los valores previstos por el modelo clásico y el modelo de Barron (fig. 3.17). Al igual que en el estado actual, los niveles sonoros estimados se mantienen por debajo de los previstos por el modelo de Barron. No obstante existe una mayor difusión del sonido en la configuración musical, fruto de la menor caída de nivel sonoro.

El estudio teórico de las reflexiones (véase ecogramas y cuadro resumen de reflexiones, figuras A3.5, A3.6 y tabla A3.22 del apéndice 3) muestra, en las dos configuraciones consideradas, un aumento del número de reflexiones en los puntos más alejados de la fuente, junto con un aumento del nivel sonoro asociado a estas reflexiones. La cola reverberante se mantiene como en el estado actual, con un ligero aumento de nivel sonoro, pero teniendo en cuenta

que esta cola reverberante viene determinada por efectos de eco flotante, los niveles sonoros reales serán inferiores a los obtenidos de los ecogramas debido a la absorción del público.

Igual que sucede en el estado actual, la sonoridad para las dos configuraciones se mantiene alta respecto a los valores considerados como óptimos, debido a la energía asociadas a las primeras reflexiones (tablas A3.20 y A3.21).

INTELIGIBILIDAD.

Mediante el empleo del modelo informático, para cada uno de los puntos representativos de la iglesia, se evalúa el índice RASTI para las dos configuraciones consideradas, con la iglesia ocupada por público sentado en las butacas (tabla 3.8). Estos valores del índice RASTI se han corregido con el factor obtenido previamente (tabla 3.4), con el fin de adaptar el índice RASTI obtenido de la simulación informática a la medición realizada.

	1	2	4	5	6	8	9
Configuración musical	0.49	0.49	0.48	0.47	0.48	0.45	0.49
Configuración teatral	0.54	0.54	0.53	0.51	0.51	0.50	0.51

Tabla 3.8. Valores RASTI estimados teóricamente. Propuesta.

Los valores de inteligibilidad se mantienen en los márgenes obtenidos anteriormente para la simulación del estado actual con público, con una calificación de "aceptable" para las dos configuraciones consideradas, como se observa en la figura 3.18.

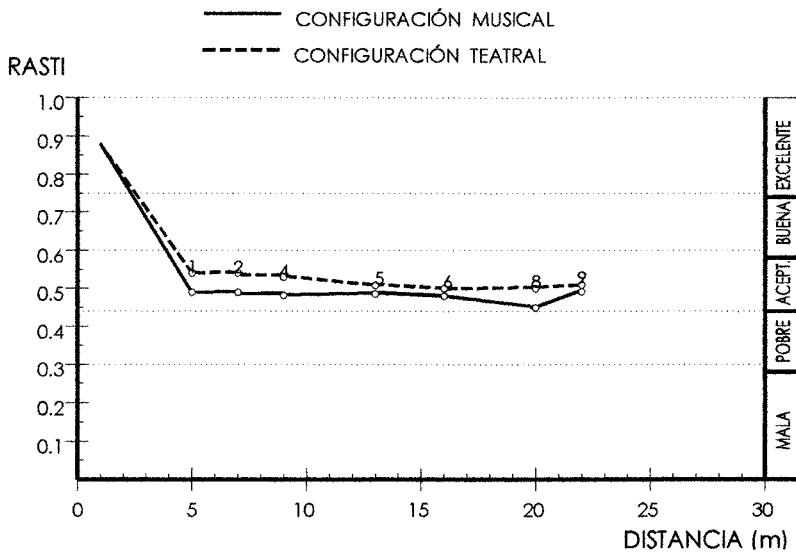


Fig. 3.18. Índice RASTI frente a la distancia, estimado con público. Propuesta.

Los valores del índice RASTI no son los más apropiados para las actividades asociadas al uso de la palabra, lo que se corrobora con los valores estimados de la definición, (como se aprecia en la figura 3.19 y del análisis de los valores en cada punto de la tabla A3.17 del apéndice 3), con valores inferiores al valor mínimo estimado del 50%.

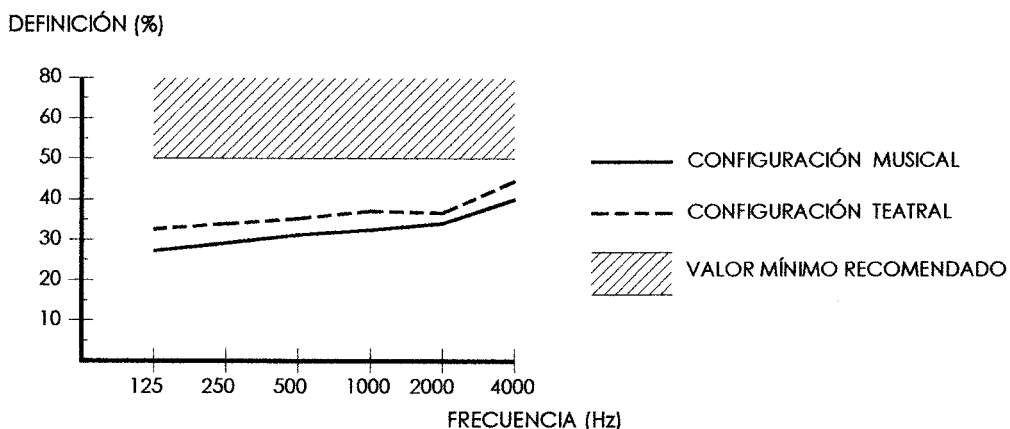


Fig. 3.19. Valor de definición, estimados con público. Propuesta.

Para la claridad musical, los valores en esa configuración, se encuentran dentro de la banda considerada como óptima cuando la sala está ocupada (figura 3.20 y tabla A3.18 del apéndice 3).

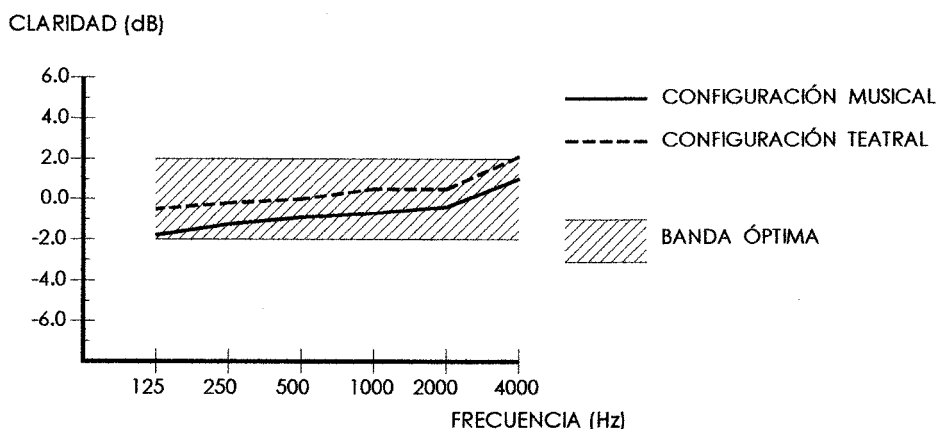


Fig. 3.20. Valor de claridad musical, estimados con público. Propuesta.

OTROS PARÁMETROS.

	Configuración musical.	Configuración teatral.
Volumen	2365 m ²	2365 m ²
Longitud	33.71 m	33.71 m
Ancho	11.18 m.	11.18 m.
Altura media	8.05 m.	8.05 m.

Area de audiencia: 189 m² en nave.

Aforo: 245 personas sentadas en butacas.

Relación volumen/plaza: 9.65. (Rango 5.1-9.1).

Relación volumen/área de audiencia: 12.51. (Rango 9.2-12.0).

Relación área de audiencia/plaza: 0.77 (Rango 0.63-0.75).

CONCLUSIONES.

La iglesia, para cada de las configuraciones establecidas, presenta un tiempo de reverberación adecuado tanto para la interpretación musical como para la audición de la palabra, con curvas tonales adaptadas a las curvas tonales óptimas para los referidos usos. Para la configuración musical, de los valores de los índices de brillo y calidez, se deduce que la sala transmitirá la suavidad, claridad y melosidad de la música.

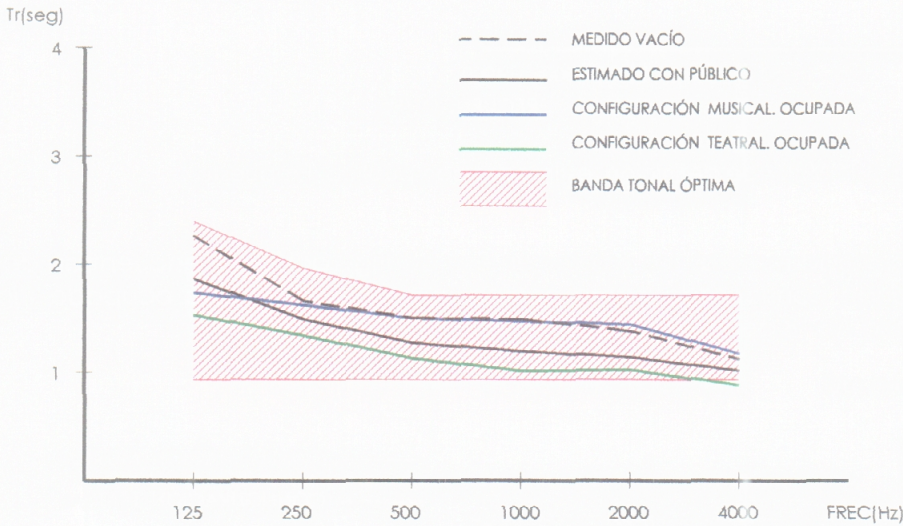


Fig. 3.21. Tiempos de reverberación.

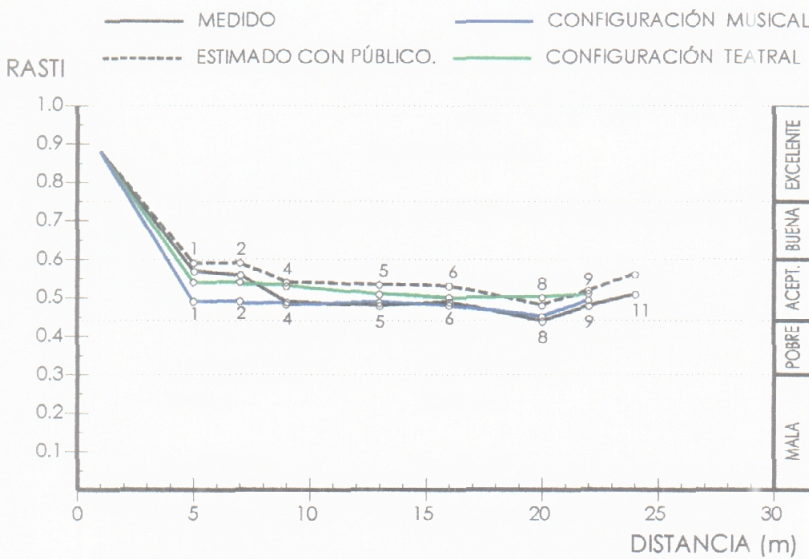


Fig. 3.22. Índice RASTI frente a la distancia, estimado con público.

La distribución sonora es homogénea en la iglesia, con una disminución de la caída del nivel de intensidad sonora, respecto al estado actual, no existiendo zonas de concentración sonora, presentando este espacio una adecuada intimidad acústica y claridad musical. Los valores de sonoridad son ligeramente elevados, por lo que el sonido presentará un mayor grado de amplificación y la sensación subjetiva será la de una sala más viva de lo que corresponde por el tiempo de reverberación.

Los valores del índice RASTI permiten calificar la inteligibilidad como "aceptable" para la configuración teatral. No obstante, los valores de definición son algo inferiores al valor mínimo recomendado, por lo que, para la utilización de la iglesia para actividades asociadas al uso de la palabra, será necesario que el orador eleve ligeramente la voz al dirigirse a la audiencia para conseguir un aumento de la inteligibilidad, o bien, naturalmente, hacer uso de una instalación de apoyo electroacústico.

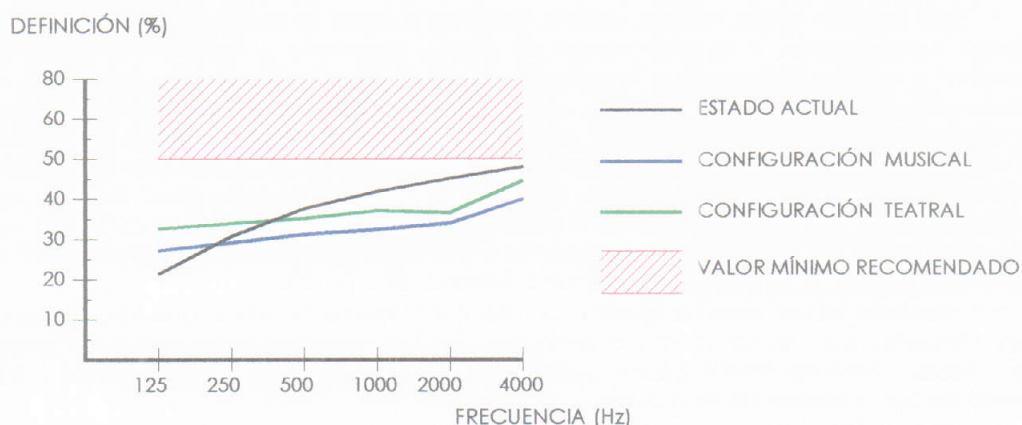


Fig. 3.23. Valores de definición, estimados con público.

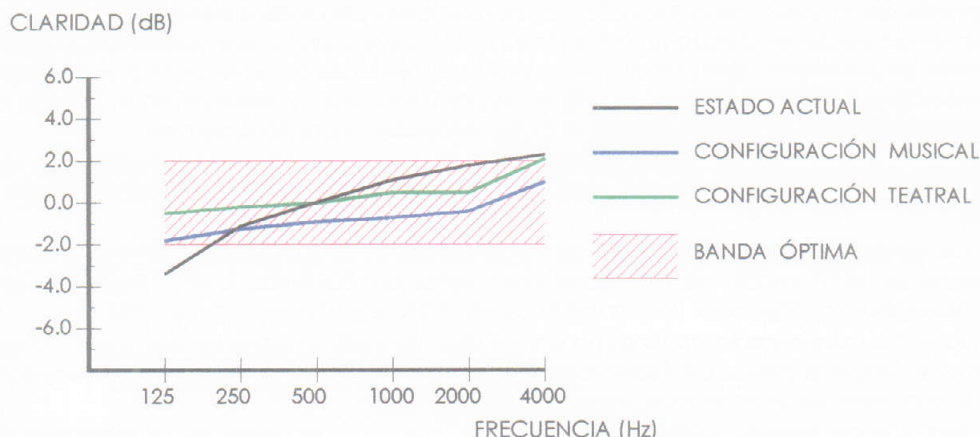


Fig. 3.24. Valores de claridad musical, estimados con público.

Los valores de claridad musical se encuentran dentro de la banda óptima, lo que supone un adecuado grado de separación entre los diferentes sonidos individuales de la composición musical instrumental.

En consecuencia, la iglesia presenta unas favorables condiciones acústicas, tanto para su uso musical como para la palabra, de acuerdo a cada una de las configuraciones propuestas. Estas favorables condiciones acústicas, unido a su adecuado tamaño, conllevan, que en el aspecto musical, este espacio sería apropiado para la interpretación de música de cámara y coral polifónica²⁴, que permita la audición de las líneas musicales interpretadas.

NOTAS.

¹ ZAMBRANO, M. *Claros del bosque*. Seix Barral, Barcelona 1993, p. 97.

² MÁRQUEZ TRIGUERO, E. *Iglesias medievales del valle de los Pedroches*. Publicaciones grupo empresas PRASA, Córdoba 1995, p. 21.

³ "Esta cubierta mixta, era un sistema intermedio entre la madera, de construcción rápida y económica, y la abovedada de sillería, argamasa o ladrillo, más lenta de construir y costosa. Aumentaba la estabilidad de la primera el apearla de trecho en trecho con arcos perpiaños de fábrica, lo que permitía reducir el volumen de la madera y la escuadría de las piezas empleadas. Aumenta la impresión de profundidad de la nave, al mismo tiempo que le da un aspecto más robusto y monumental que si estuviera cubierta por una armadura de madera seguida, sin solución de continuidad. Razones que explican su difusión en el tiempo y en el espacio" TORRES BALBÁS L. "Naves cubiertas con armaduras de madera sobre arcos perpiaños a partir del siglo XIII". *Obra dispersa III. Nº 10* Archivo Español de Arte. Instituto de España, Madrid 1985, p. 173.

⁴ El resultado es una serie de iglesias con distintos números de vanos, que van desde las más pequeñas de 3 vanos, como la Ermita de San Sebastián de Pedroche, a las iglesias de 7 vanos, como las Ermitas de San Sebastián en Hinojosa del Duque y Pozoblanco, o la Ermita de Santa Marina de Pedroche.

⁵ ORTIZ JUÁREZ, D y otros. *Catálogo artístico y monumental de la provincia de Córdoba. Tomo II*. Diputación de Córdoba, Córdoba 1985, pp. 128-129.

⁶ Las obras de restauración son promovidas por la Consejería de Obras públicas y Transportes de la Junta de Andalucía. Las actuaciones principales consisten en demoler anteriores actuaciones desafortunadas (falso techo de escayola que cubría la iglesia y el tabicado de sotocoro), ejecutando de nuevo la cubierta de la nave central y presbiterio con estructura portante de madera, vigas, rollizos y tablazón, y reponiendo el pavimento con gres rústico. El presbiterio se adecua como escenario y pantalla de cine.

⁷ Recoge la tradición, en los pueblos de los Pedroches, de corales polifónicas que interpretan la música tradicional de la zona, así como los villancicos de las misas de la Virgen.

⁸ Los valores de los coeficientes de absorción de las butacas, tanto vacía como ocupada, se han tomado de los valores propuestos por BERANEK, L. en "Audience and chair absorption in large halls: II" *Journal Acoustical Society of America*, 45, 1996.

⁹ No se ha considerado en ninguna de las dos hipótesis, ocupación del coro, ya que en la actualidad a pesar de tener instaladas butacas, no existe uso de este espacio, debido a problemas visuales y de accesibilidad.

¹⁰ Se parte del trabajo realizado por SENDRA SALAS, J.J. al respecto, *La corrección del tiempo de reverberación en la rehabilitación o reforma de iglesias*. Cuaderno III. Construcciones arquitectónicas, Universidad de Sevilla 1995, pp. 52-58. Se ha considerado como volumen de referencia, un volumen de un tramo de dimensiones 5.5 x 11.2 x 8.0 m, que presenta un tiempo de reverberación óptimo para la música de 1.34 s y de 0.73 s para la palabra.

¹¹ En las iglesias que se encuentran abiertas al culto, el ajuar litúrgico supone un aumento de la absorción sonora, lo que produce en general un mayor ajuste de la curva tonal a la óptima para la música.

¹² La difusión sonora aumenta si se distribuye irregularmente el material absorbente en la sala. Si toda la absorción se concentra en una única superficie no se favorece la difusión. KNUDSEN, V.O. y HARRIS, C.M. *Acoustical Designing in Architecture*. Acoustical Society of America, Nueva York 1988, p. 133.

¹³ Las reflexiones, en el estado previo, presentan una estructura similar, sin variaciones significativas.

¹⁴ En los valores del índice RASTI, tanto para el estado actual como el previo con público, se han incorporado los coeficientes de corrección obtenidos en cada punto.

¹⁵ Estos valores, principalmente a 4000 Hz pueden ser causados por el sistema de iluminación, ya que para el resto de frecuencias existen bajos niveles de ruido de fondo. Estos bajos niveles se deben a que la iglesia se encuentra aislada del exterior por otros

espacios, y sólo existe una puerta que da acceso directo a una calle que, dada su escasa anchura, presenta un nivel de tráfico prácticamente nulo.

¹⁶ La nave presenta unas proporciones medias del orden de las proporciones clásicas del doble cubo.

¹⁷ "Una solución de compromiso es más efectiva para salas más bien pequeñas, ya que la inteligibilidad de la palabra siempre es menos conflictiva y la existencia de tiempos de reverberación relativamente cortos para la música es más tolerable". CARRIÓN ISBERT, A. op.cit., p. 333.

¹⁸ El sistema de sillas móviles sobre guías se encuentra comercializado por la empresa Figueras International Seating SA, con su modelo Mini-Space, sistema Mutamut.

¹⁹ Para hacer efectivo este acoplamiento deben cumplirse dos condiciones: que la superficie abierta a la sala sea mayor del 40% de la superficie en la que se ubica y que el espacio sea reverberante. No obstante, la modificación del tiempo de reverberación suele ser pequeña, ya que la cantidad de energía transferida entre ambos espacios es limitada. CARRIÓN ISBERT, A. op. cit., p. 317.

²⁰ Las reflexiones laterales primarias se consideran beneficiosas tanto para la palabra como para la música. BARRON, M. *Auditorium Acoustics and Architectural Design*. E&FN Spon, Londres 1993, p. 344.

²¹ El empleo de elementos singulares, como farolas poliédricas reflectoras y difusoras, ha sido utilizado por el arquitecto José María García de Paredes con gran belleza, tanto en la iglesia de Stella Maris de Málaga como en el auditorio Manuel de Falla de Granada.

²² La introducción de 40 paneles, construidos como difusores de Schroeder (QRD), de 94x94x38 cm, colgados a 7.3 m de una sala de 20 m de profundidad, 13 de anchura y de 6.5 a 13 m de altura (volumen de 3300 m³), proporcionan una adecuada difusión temporal y espacial (a medias y altas frecuencias) con una notable absorción a bajas frecuencias, ajustando los valores de campo difuso a los propuestos por Barron, con un aumento de la inteligibilidad para la palabra: valores medios del índice RASTI de 0.58 con la sala ocupada. DESARNAULDS, V. y MONAY, G. "Utilisation des diffuseurs de Schröder dans les salles polyvalentes a plafond haut" en *Proceedings.11th Int. FASE symposium*, Valencia 1994, pp. 135-138.

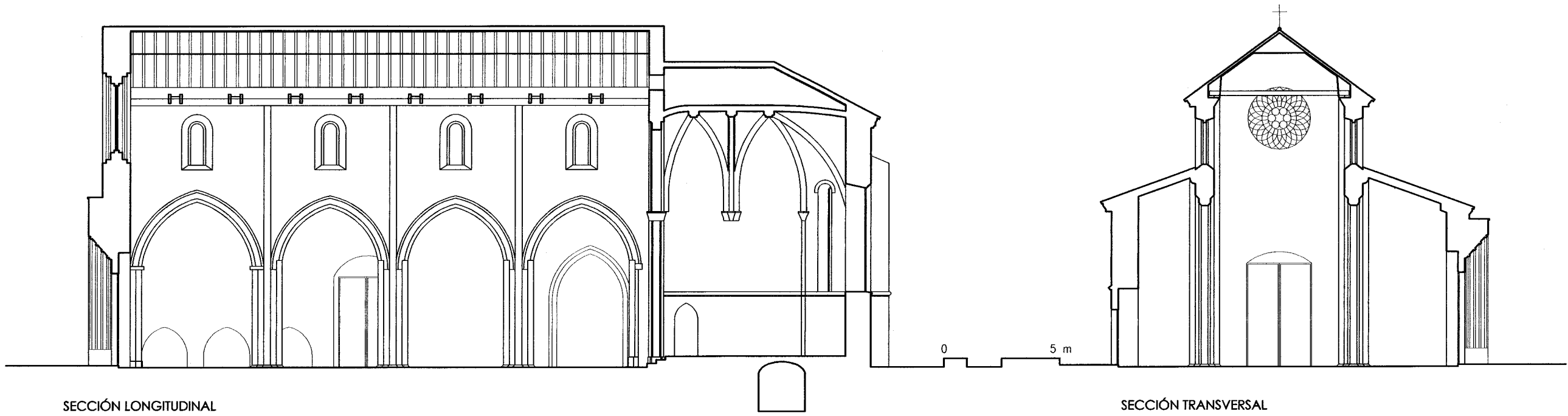
²³ Los paneles de plexiglass "Omnifusor", fabricados por RPG difusor systems, son difusores QRD en dos dimensiones que proporcionan una difusión hemisférica.

²⁴ La acción del canto, en vez de la palabra, incrementa la inteligibilidad, ya que el canto explota la frecuencia selectiva del oído humano, al permitir la recepción simultánea sin interferencias de sonidos de diferentes frecuencias. Así sílabas cantadas consecutivamente, a diferentes tonos, se escuchan simultáneamente debido a la reverberación, pero pueden ser inteligibles si el oído resuelve su separación de frecuencias. Este es el fundamento del estilo silábico del canto gregoriano. LUBMAN, D. "Notes on Conflicting Acoustical Requirements for Speech&Music in Worship Spaces,& the Uses of Electronics for their Reconciliation" en *Acoustics of Worship Spaces*. ASA, Nueva York 1985, p. xi.



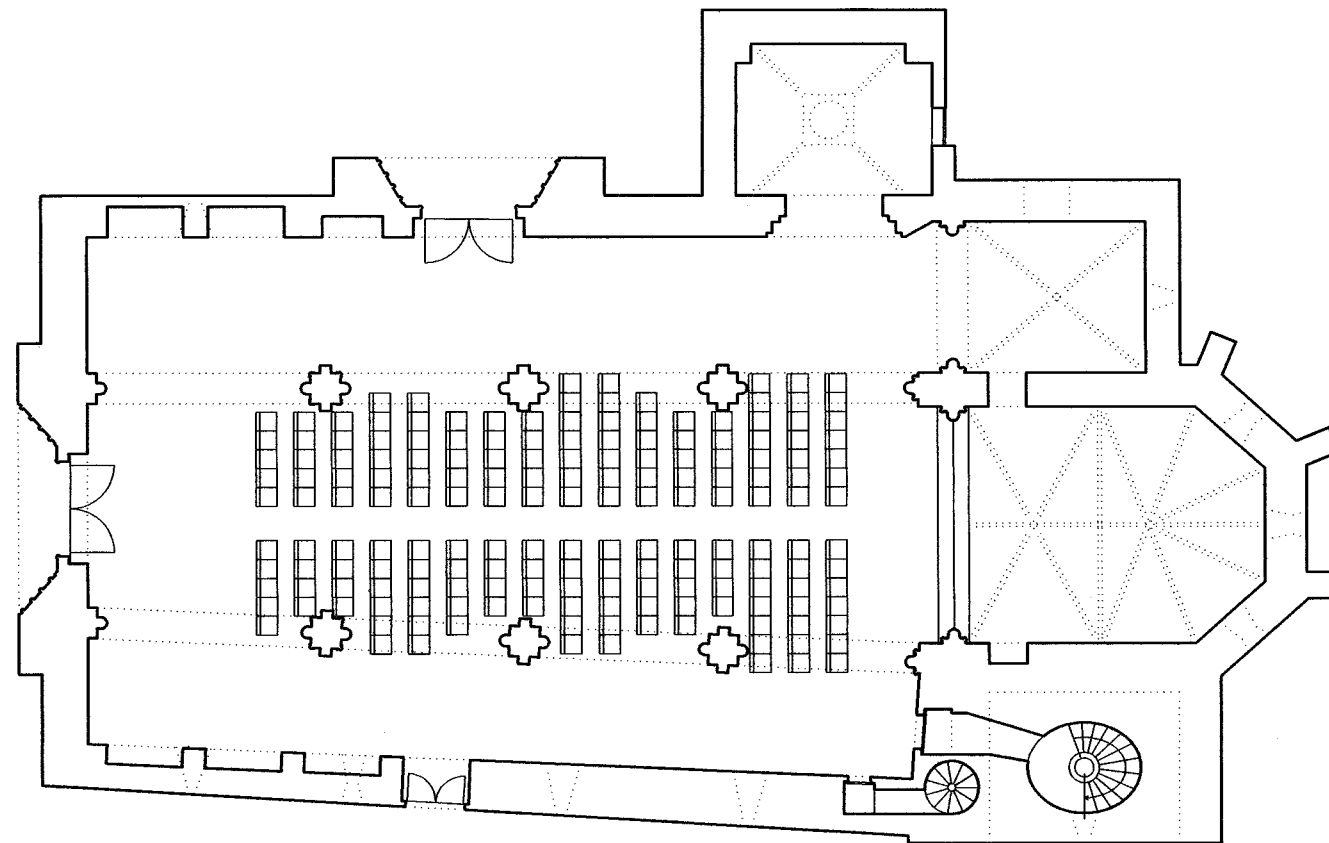
"... y entonces da de sí dándose a oír y no a ver, dando a oír su música anterior a toda música compuesta de la que es inspiración y fundamento... Pues que ha de ser por la música, que en el inimaginable corazón del tiempo viene a quedarse todo lo que ha pasado, todo lo que pasa sin poder acabar de pasar, lo que no tuvo sustancia alguna, mas sí un cierto ser o avidez de haberla... Parece sea el sentir del tiempo mismo el que se derrama musicalmente sobre el sentir de quien lo escucha padeciéndolo. Una música que viene a darse en el modo de la oración".¹

**4. IGLESIA DE SANTA MARÍA
MAGDALENA. CÓRDOBA.**



SECCIÓN LONGITUDINAL

SECCIÓN TRANSVERSAL



IGLESIA DE SANTA. MARIA MAGDALENA. CÓRDOBA.
ESTADO ACTUAL.

Reseña histórica.

La reorganización de las formas administrativas, civiles y religiosas establecidas por Fernando III, tras la conquista de Córdoba, mediante la demarcación de la ciudad en collaciones, respeta en gran parte la división musulmana precedente y tiene su manifestación más palpable en la fundación de pequeñas parroquias².

Intereses de estrategia política y, sobre todo, económicos hicieron decantarse a la monarquía por la erección de feligresías con su correspondiente iglesia, en lugar de construir grandes catedrales como en el norte peninsular, sin las novedades arquitectónicas que se esperarían para la época³, ubicándose en puntos neurálgicos del trazado viario de la ciudad o en los emplazamientos previamente ocupados por mezquitas.

Este es el origen de los primeros templos cordobeses, que se construirán a lo largo del último tercio del siglo XIII y se alargarán incluso en el primero de la siguiente centuria, pues la fundación de una feligresía no implicaba la inmediata construcción de la iglesia, extendida en el tiempo por motivos económicos⁴. La liturgia cristiana satisfacía mientras tanto sus necesidades en mezquitas consagradas y adaptadas al culto.

Se erigen pequeñas iglesias fáciles de identificar por sus similitudes, pero difícilmente definibles en cuanto a estilo. Son iglesias góticas en su concepción formal, pero con elementos salidos del arte hispano-musulmán local y de la transición del románico al gótico castellano que le dan a todas un aire arcaico, robusto y sencillo, hasta el punto de poder hablarse de un "modelo cordobés"⁵.

Así, todas las parroquias presentan una planta de tres naves separadas por pilares, la central siempre más ancha, casi el doble de las laterales, las cuales desembocan en tres ábsides poligonales al interior. Carecen de crucero, aunque sí tienen tres accesos, por los pies del templo y en los muros norte y sur. El sistema de cubierta comparte la tradición local musulmana del alfarje con la técnica gótica de bóvedas de nervios en las cabeceras. La nave central se cubre con armadura atirantada de par y nudillo, mientras que en las laterales se opta por techumbres más sencillas de una sola vertiente. Los muros se construyen con sillares a soga y tizón, dentro de la tradición califal⁶.

La iglesia de la Magdalena, según Nieto Cumplido⁷, gestó el modelo de las parroquias cordobesas, "un modelo sencillo con un claro mensaje cristiano". Existen dudas acerca de la fecha de su construcción, datándose entre final del siglo XIII y principios del XIV, siendo la que presenta mayores signos de antigüedad⁸, por su carácter exento, sin cementerio parroquial adosado (empleado en los antiguos patios de las mezquitas), por lo que se puede considerar su planteamiento "a fundamentis".

La iglesia presenta una planta rectangular dividida en tres naves sin crucero, la central más alta y ancha que las laterales, con techumbre de madera de par y nudillo, y las laterales de colgadizo y triple cabecera abovedada. Presenta cuatro vanos de arcos apuntados y doblados apoyados sobre pilares prismáticos, un ábside poligonal cubierto por bóveda de nervaduras y un hermoso rosetón en el hastial principal. Los muros son de piedra caliza, con muros interiores de las naves laterales realizados con sillarejos irregulares, con acusadas llagas de mortero. En el gótico no era común el revestimiento de superficies interiores, pero sería posible la existencia de una fina capa de mortero para enrasar la llaga⁹. En la nave del evangelio se aprecia un volumen cuadrangular que corresponde a la antigua capilla de la Virgen de los Dolores, fundada en 1413 por Alfón de Armentía.

Al igual que el resto de iglesias fernandinas, durante los siglos XVII y el XVIII sufrió reformas, de manera que su arquitectura se vio considerablemente alterada, ya que se hicieron bóvedas de arista, para lo cual se rozaron los capiteles, además de otros tipos de obras poco afortunadas que desvirtuaban la obra medieval¹⁰.

A finales del siglo XIX la iglesia pierde su carácter de parroquia y es despojada del revestimiento que se le puso a fines del siglo XVII, quedando en pie dos canceles, correspondientes a las entradas laterales, y la tribuna del órgano¹¹, sobre la puerta principal, que se cubrió con una pequeña sillería de coro¹².



Fig. 4.1. Interior de la iglesia antes del incendio de 1990.

La iglesia se cerró al culto antes de la Guerra Civil, mostrando avanzada ruina, abriéndose al culto esporádicamente entre los años 1943 y 1956. En 1960 comenzaron trabajos de restauración que quedaron interrumpidos por motivos económicos. En el año 1982 la iglesia es declarada monumento nacional¹³, pero no continúan las obras de restauración, agravándose su situación debido al incendio de 1990 que destruyó la nave central. En 1991 se redacta el proyecto de restauración por parte del arquitecto Clemente Lara de la Peña¹⁴, reabriéndose el templo para su uso cultural en abril de 1999.

Desde esta fecha la iglesia presenta una importante programación musical, con conciertos que van desde música bajomedieval, canto gregoriano y música sefardí, hasta conciertos de cámara, con diferentes agrupaciones de conjuntos formados por dúos, tríos y cuartetos¹⁵.



Fig. 4.2. Interior de la iglesia en la actualidad.



Fig. 4.3. Interior de la iglesia durante la celebración de un concierto.

Análisis acústico del estado actual.

La medición acústica, se efectuó con la nave central ocupada por sillas de plástico sobre moqueta, existiendo una carencia total de cualquier tipo de decoración en la iglesia. Se tomaron once puntos de medida, seis en la nave central, cuatro en las laterales y uno en la antigua capilla de la Virgen de los Dolores, a una altura de 1.20 sobre el suelo. La fuente se colocó en el primer tercio del presbiterio a una altura de 1.50 m sobre el suelo.

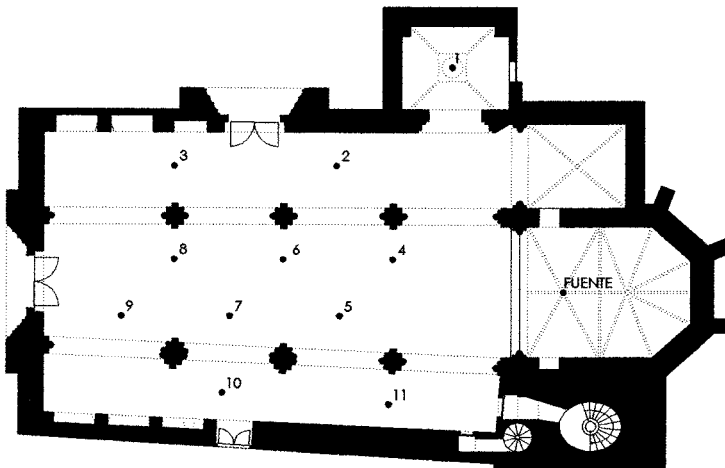


Fig. 4.4. Situación puntos de medida.

Con el objetivo de conocer el comportamiento acústico de este tipo eclesial, el análisis acústico se realiza tanto sobre la configuración actual de la iglesia, como para la configuración previa, en su estado medieval, con parte del ajuar litúrgico que presentó la iglesia cuando se encontraba abierta al culto.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

El disparo como señal impulsiva se produce en el punto señalado como fuente en la figura 4.4, obteniéndose la respuesta del recinto al impulso en los puntos de medida. A partir de estos datos se obtienen los valores del tiempo de reverberación para cada punto en bandas de octava (tabla A4.1 apéndice 4), así como el tiempo de reverberación promediado para la iglesia.

Partiendo de los valores promediados del tiempo de reverberación, se obtiene, mediante simulación informática, un modelo teórico que comprende el volumen completo de la iglesia, no considerándose ningún tipo de acoplamiento acústico, dadas las relaciones entre la profundidad del espacio acoplado y la altura de las aberturas del mismos con el volumen principal¹⁶.

La absorción sonora, a las distintas frecuencias, se deduce de los valores del tiempo de reverberación medido en la iglesia, computándose la absorción sonora de suelo, paredes y techo, a partir de los coeficientes de absorción de las diferentes superficies, tomados de las fuentes bibliográficas (tabla 4.1), a excepción de la superficie ocupada por las sillas de plástico sobre moqueta. La diferencia de absorción sonora necesaria hasta alcanzar los valores de la medición será la que proporcionen las sillas, obteniéndose de este modo su coeficiente de absorción, dada la ausencia de valores fiables de la misma en las fuentes bibliográficas.

MATERIAL	SUP. m²	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Mármol	351	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
Silla plástico vacía	162	0.09	0.09	0.09	0.14	0.27	0.27
Silla ocupada	162	0.24	0.32	0.51	0.60	0.59	0.56
Piedra	1429	0.02	0.02	0.03	0.05	0.05	0.07
Madera	28	0.16	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
Vidrio	29	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
Cubierta de madera	303	0.33	0.28	0.25	0.20	0.20	0.21
Aire (m ³)	3785					0.008	0.021
SUPERFICIE TOTAL	2302						

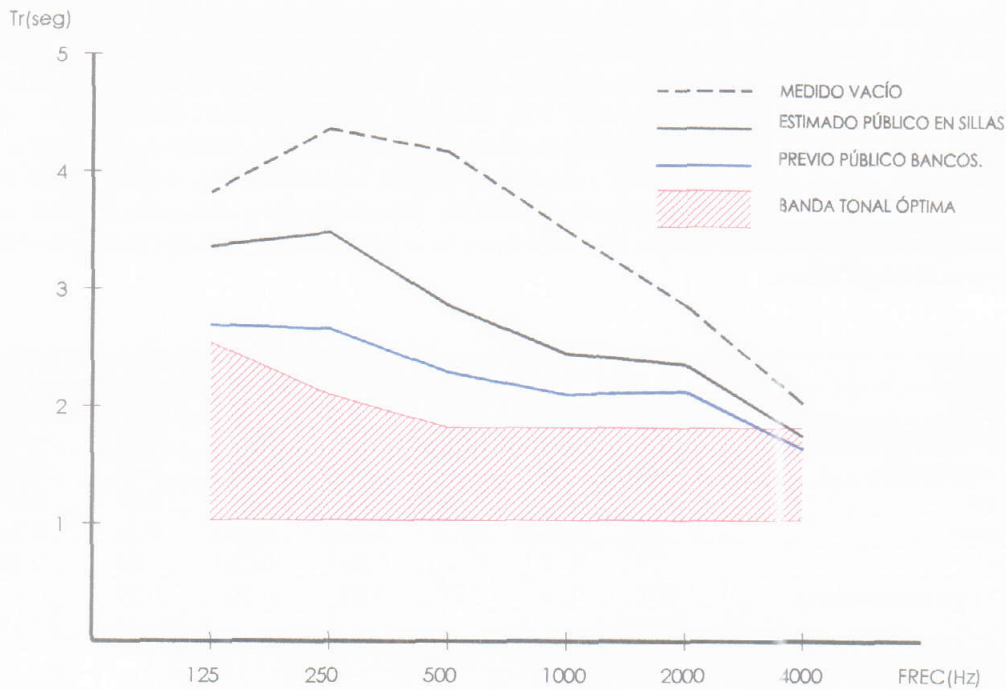
Tabla 4.1. Características absorbentes de los diferentes materiales. Estado actual.

MATERIAL	SUP. m²	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Suelo de ladrillo	351	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.07
Banco iglesia vacío	162	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.10
Banco iglesia ocupado	162	0.23	0.31	0.40	0.45	0.45	0.40
Piedra	1049	0.02	0.02	0.03	0.05	0.05	0.07
Madera	311	0.16	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
Vidrio	29	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
Cubierta de madera	303	0.33	0.28	0.25	0.20	0.20	0.21
Cuadros retablos	97	0.05	0.12	0.35	0.45	0.38	0.36
Aire (m ³)	3785					0.008	0.021
SUPERFICIE TOTAL	2302						

Tabla 4.2. Características absorbentes de los diferentes materiales. Estado previo.

Utilizando el modelo informático obtenido, y mediante el empleo de la fórmula de Sabine, se realiza una predicción teórica de los valores del tiempo de reverberación de la iglesia, con público sentado en sillas en la nave central, así como una estimación del tiempo de reverberación en el estado previo con público sentado en bancos en la nave central¹⁷. Los valores obtenidos de las dos hipótesis se comparan con los valores óptimos teóricos tanto para la palabra como para la música (figura 4.5).

El tiempo de reverberación obtenido de la medición, con la iglesia vacía, refleja unos elevados valores a todas las bandas de octava, con una notable absorción sonora a bajas frecuencias (banda de 125 Hz) debido a la absorción que proporciona el techo de madera, al comportarse como un absorbente de tipo "membrana". La gran desnudez que presenta este espacio, tras su restauración, es la responsable de estos valores del tiempo de reverberación tan altos. Estos valores disminuyen cuando el público ocupa las sillas, pero continúan siendo valores elevados respecto a la curva tonal óptima.



	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Medido vacío	3.82	4.36	4.17	3.50	2.87	2.03
Estimado con público	3.36	3.45	2.86	2.45	2.36	1.75
Previo público en banco	2.69	2.66	2.29	2.10	2.13	1.64
Óptimo música	2.54	2.10	1.82	1.82	1.82	1.82
Óptimo palabra	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03

Fig. 4.5. Tiempos de reverberación medido, estimado y óptimos (segundos).

En el estado previo, el ajuar litúrgico aumenta la absorción sonora. No obstante, incluso cuando la iglesia se ocupa con público sentado en bancos en la nave central, la curva tonal es algo superior a la curva tonal óptima para la música¹⁸.

Los valores del índice de calidez, tanto en el estado actual como en el previo (tabla 4.3), se encuentran dentro de los valores recomendados, pero los valores de brillo son insuficientes, con valores inferiores a los recomendados, situación que se hace más acusada en el estado actual.

	BR	Br
Estimado con público	1.28	0.77
Previo con público	1.21	0.85
Valores recomendados	1.1÷1.45	>0.87

Tabla 4.3. Valores de calidez y brillo con la iglesia ocupada con público.

DISTRIBUCIÓN SONORA.

Las medidas de distribución sonora, se ha realizado a partir de la emisión con una fuente sonora omnidireccional y una potencia de emisión ajustada a 105 dB, obteniéndose los valores de nivel de presión sonora en cada punto que se reflejan en la figura 4.6 y la tabla A4.2 del apéndice 4.

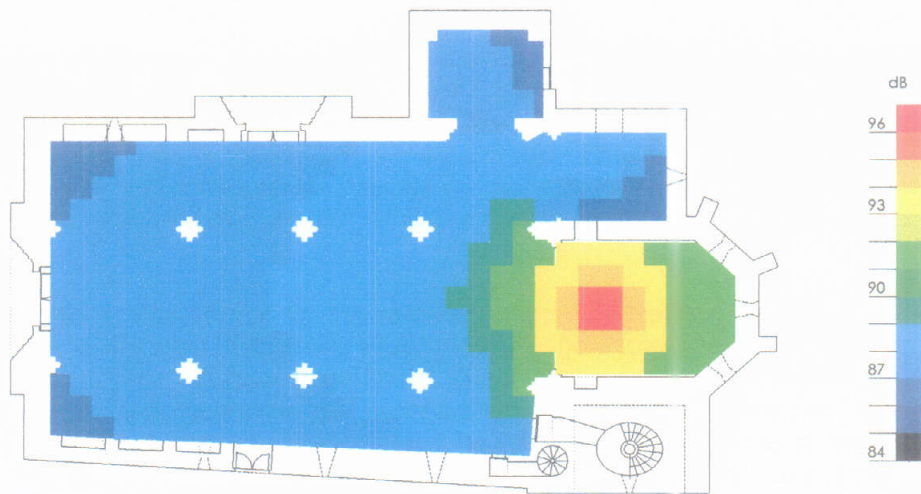


Fig. 4.6. Mapa de distribución sonora estado actual medido. Iglesia vacía.

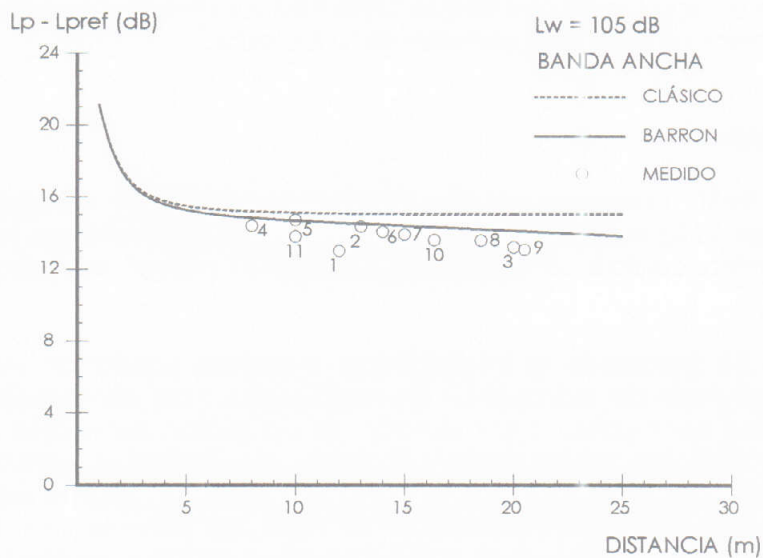


Fig. 4.7. Comportamiento del campo acústico frente a la distancia. Banda ancha.

Para estudiar el carácter difuso del campo acústico en la iglesia, se comparan los niveles sonoros medidos respecto al nivel de referencia, en función de la distancia, con los valores previstos por el modelo clásico y el modelo de Barron (figura 4.7).

Los niveles sonoros medidos se mantienen ligeramente por debajo de los previstos por el modelo de Barron, con una escasa variación del nivel reverberado frente a la distancia, resultado una campo sonoro muy homogéneo y uniforme, fruto de un espacio muy reverberante¹⁹, a lo que hay que añadir la difusión que produce la cubierta de madera y la superficie ocupada por las sillas²⁰. Se observa una atenuación del nivel global en el fondo de la nave de 1.9 dB respecto al nivel previsto por el modelo clásico.

El análisis de la distribución sonora se complementa con un estudio teórico mediante el empleo del modelo informático. Los valores de distribución sonora obtenidos mediante la aplicación de ese modelo son semejantes a los obtenidos de la medición, lo que asegura la adecuación del modelo (tabla A4.2 y tabla A4.5 del apéndice 4).

La iglesia presenta unos niveles de sonoridad algo elevados, con valores medios de 12.6 dB para el estado actual, y de 9.7 dB para el estado previo (tablas A4.12 y A4.13 del apéndice 4). Estos valores están relacionados con un alto nivel de campo reverberante producto de los elevados valores del tiempo de reverberación medidos, lo que supone un grado de amplificación del sonido superior al considerado por Beranek como óptimo (valores comprendidos entre 4 y 5.5 dB).

El análisis de las reflexiones que se producen en la iglesia nos muestra un importante nivel de primeras reflexiones (figura A4.3 del apéndice 4)²¹. En general, se distingue un destacado número de reflexiones en el techo de la nave central, que proporcionan la difusión existente en este espacio, así como reflexiones desde el presbiterio, que amplifican el sonido, y desde las paredes de las naves laterales. La cola reverberante es escasa, con reflexiones desde el fondo de la nave que presentan una significativa pérdida de nivel sonoro frente al sonido directo, que hace que estas reflexiones se encuentren en el límite del umbral de percepción. En puntos del fondo de la sala el nivel sonoro de la cola reverberante es algo superior, lo que se podría traducir en un acusado grado de enmascaramiento del sonido y generar cierto malestar.

INTELIGIBILIDAD.

Los índices RASTI obtenidos en los diferentes puntos, tras la medición, se representan en la figura 4.8, frente a la distancia de cada punto a la fuente. Esos índices permiten calificar la inteligibilidad como "pobre" en toda la nave central.

Además, se ha calculado la inteligibilidad mediante simulación informática, obteniendo el valor del índice RASTI en cada punto. Para comprobar el grado de adaptación del modelo a la medición, se comparan los valores del índice RASTI en los diferentes puntos (tabla 4.4). Existe una diferencia entre los valores medidos y los simulados, por lo tanto, para ajustar los valores de la simulación a los obtenidos en la medición acústica, se opta por introducir un factor de corrección que lo utilizaremos para obtener el índice RASTI en la iglesia ocupada, también mediante simulación informática.

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Medido	0.28	0.29	0.38	0.36	0.37	0.33	0.31	0.34	0.28	0.42
Simulación actual. Vacío	0.27	0.30	0.33	0.31	0.29	0.29	0.28	0.30	0.29	0.38
Factor de corrección.	1.03	0.97	1.15	1.16	1.27	1.14	1.10	1.13	0.96	1.10

Tabla 4.4. Valores RASTI medidos y estimados teóricamente. Iglesia vacía.

Al ocuparse con público la iglesia, el índice RASTI no experimenta apenas mejoría, manteniéndose la inteligibilidad con la calificación de "pobre"; mientras que en el denominado estado previo, se puede calificar como "aceptable" para los puntos de la nave central.

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Estimado actual con público	0.34	0.30	0.44	0.39	0.41	0.40	0.36	0.39	0.31	0.47
Estado previo con público	0.38	0.35	0.45	0.46	0.46	0.43	0.39	0.43	0.36	0.53

Tabla 4.5. Valores RASTI estado actual y previo. Iglesia ocupada.

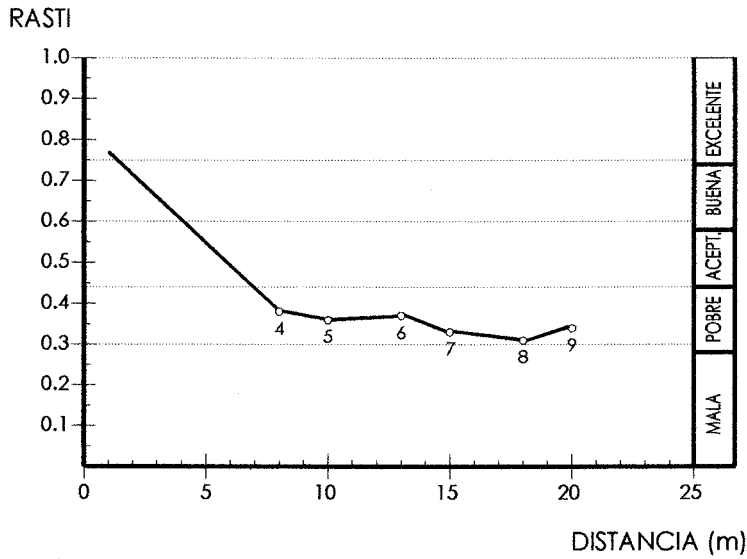


Fig. 4.8. Índice RASTI frente a la distancia. Medido vacío.

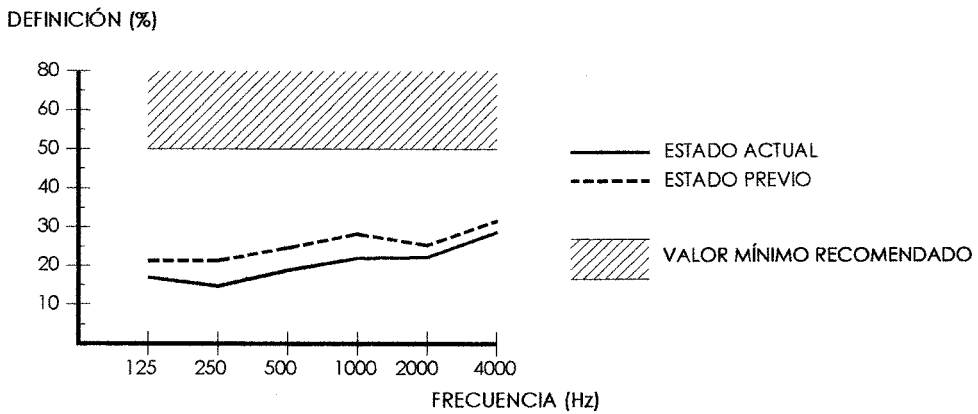


Fig. 4.9. Valor de definición. Estimado con público.

Los valores estimados de la definición son muy inferiores a los considerados como mínimos recomendados, tanto para la hipótesis de estado actual como la de estado previo, lo cual era previsible dados los elevados valores obtenidos del tiempo de reverberación (figura 4.9).

En cambio, para el estado previo, los valores de claridad musical se encuentran dentro del margen óptimo recomendado para una adecuada audición musical (valores algo inferiores para bajas frecuencias, figura 4.10). Para la hipótesis de estado actual, los valores de claridad, al igual que los de definición, son inferiores a los valores considerados como óptimos.

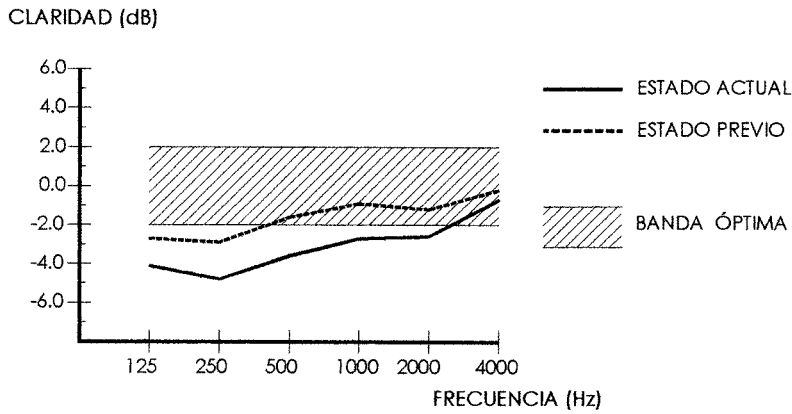


Fig. 4.10. Valor de claridad musical. Estimado con público.

RUIDO DE FONDO.

La medición efectuada del nivel de ruido de fondo en la iglesia se presenta en la tabla A4.4 del apéndice 4. El valor obtenido para el nivel sonoro continuo equivalente ($L_{eq} = 43.8$ dBA) resulta superior al máximo admitido para iglesias: 40 dBA. Para valorar el ruido en el interior de la iglesia, se ha comparado el espectro medido con las curvas NR, correspondiéndole un índice NR de 38, valor que es superior al margen recomendado entre 25 y 35. Estos valores se deben al deficiente aislamiento acústico que proporcionan las carpinterías vidriadas²² y puertas de comunicación con el exterior.

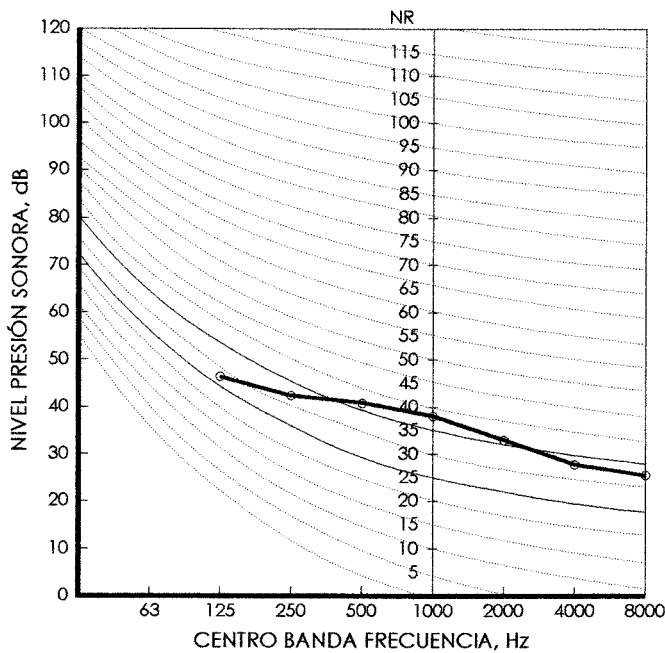


Fig. 4.11. Ruido de fondo.

OTROS PARÁMETROS.

Volumen		3785 m ³
Presbiterio.	Longitud	8.58 m
	Ancho	6.25 m
	Altura	10.64 m
Nave central.	Longitud	22.40 m
	Ancho	6.00 m
	Altura	13.63 m
Nave epístola.	Longitud	22.40 m
	Ancho	3.00 m
	Altura	7.70 m
Nave evangelio.	Longitud	22.40 m
	Ancho	3.60 m
	Altura	7.70 m

Area de audiencia: 162 m² en nave central.

Aforo: 180 personas sentadas en sillas.

Relación volumen/plaza: 21.02. (Rango 5.1-9.1)

Relación volumen/área de audiencia: 23.36. (Rango 9.2-12.0)

Relación área de audiencia/plaza: 0.90 (Rango 0.63-0.75)

CONCLUSIONES.

En la hipótesis de ocupación de la nave central con público sentado en sillas, la iglesia presenta unos elevados valores del tiempo de reverberación, muy distantes de los valores considerados como óptimos. Las causas de estos valores se encuentran en el carácter reflectante de la mayor parte de los paramentos, unido a una elevada relación volumen/plaza. Además, del valor del índice de brillo se desprende que el sonido será poco "limpio y claro" debido a la carencia de armónicos, lo que le resta riqueza a las actuaciones musicales.

En el estado previo, con la iglesia provista de parte de su ajuar litúrgico, existe un aumento de la absorción sonora, obteniéndose una curva tonal cercana a la óptima para la música, junto con una respuesta más adecuada tanto a bajas como a altas frecuencias, según se deduce de los valores de brillo y calidez.

La distribución del nivel sonoro en la iglesia es uniforme, con un campo reverberado homogéneo y con una escasa caída del nivel sonoro respecto a la distancia, que se ajusta a la propuesta por el modelo de Barron, por lo que este espacio presenta una adecuada difusión sonora y un sonido envolvente.

Existe una pérdida de la calidad sonora debido a un exceso de sonoridad, producto de la elevada reverberación, por lo que se aprecia un grado de amplificación del sonido en la iglesia algo elevado.

La inteligibilidad, a partir de los valores del índice RASTI, se puede calificar como "pobre" en el estado actual y como "aceptable" en el estado previo, ofreciendo unos valores inadecuados para la palabra, que se confirman con los bajos valores de definición.

Los valores de claridad musical, en el estado actual, también son inferiores a los considerados como óptimos, por lo no se apreciará adecuadamente la separación entre los diferentes sonidos integrantes de la composición musical.

Los valores de ruido de fondo son excesivamente altos, debido a un deficiente aislamiento acústico de las carpinterías exteriores, dada la falta de hermeticidad y las holguras que presentan las carpinterías, tanto en el vidrio como en la madera, con los cerramientos de piedra.

A partir de estos datos, se concluye que las condiciones acústicas de la iglesia en el estado actual son inadecuadas, tanto para el uso musical como de la palabra, debido principalmente a la falta de absorción sonora. La elevada reverberación existente hace inapropiado el uso de la iglesia para conciertos de cámara, en los que existe la necesidad de oír las líneas melódicas interpretadas y en los que la armonía entre los instrumentos debe ser audible.

Las medidas correctoras acústicas a emplear en este espacio deberán centrarse, por lo tanto, en un aumento de la absorción sonora, que permita reducir drásticamente los valores del tiempo de reverberación, adaptándolo al óptimo para la música, con un equilibrio de los componentes tonales y una correcta relación armónica. Igualmente, será necesario el tratamiento de los huecos al exterior que permita reducir el ruido de fondo existente en la actualidad.

En el estado previo, se puede considerar que existían unas condiciones acústicas más aceptables para el uso musical de la iglesia, con valores del tiempo de reverberación algo superiores a los óptimos, siendo inadecuados para la palabra.

La construcción de los templos románicos y góticos llevó a la aparición de formas musicales de melismas, motetes polifónicos y construcciones basadas en el contrapunto, que se ajustaban a iglesias donde no era posible conseguir principios armónicos. En cualquier caso, las expresiones musicales de la época eran muy diferentes del gusto moderno, ya que se detecta una sonoridad aguda, de cierto matiz oriental, con canto nasal o en falsete²³. Los instrumentos acompañan a la voz, pero éstos no formaban grupos homogéneos, sino que se buscaba el mayor contraste posible entre sonoridad y colorido, todo dentro de la tradición de la época de la individualidad de las partes contrapuntísticas y de los textos²⁴.

Propuesta de intervención.

El proyecto de restauración del año 1991 interviene en la iglesia hasta dejarla, aparentemente, en su estado original, con una limpieza total de cualquier tipo de ornamentación, manteniendo la esencia del espacio eclesial. Esta solución, como se ha visto, plantea problemas acústico funcionales, por lo que se hace necesario recuperar la absorción sonora que presentaba la iglesia en su estado previo a la restauración, cuando estaba destinada al culto, proporcionada por los altares, retablos, esculturas, tapices, cuadros, etc.

Los principales problemas acústicos detectados en la iglesia son un elevado tiempo de reverberación, que va unido a un desequilibrio de los componentes tonales, junto con un exceso de ruido de fondo, debido a un inadecuado aislamiento de los huecos al exterior.

La reducción del tiempo de reverberación puede conseguirse mediante una reducción del volumen de la iglesia y un aumento de la absorción sonora, principalmente a bajas y medias frecuencias. El empleo de resonadores múltiples de cavidad proporciona absorción sonora especialmente para los sonidos graves, que son los más difíciles de conseguir en estos espacios. Si se dispone aislante tras el panel, se consigue un aumento de la absorción sonora que además se hace poco selectiva. La incorporación de tratamientos porosos, tejidos o tapices²⁵, proporciona absorción sonora a medias y altas frecuencias, pudiéndose obtener una mayor absorción a bajas frecuencias si se dispone una cámara de aire tras el material poroso.

Teniendo en cuenta los elevados tiempos de reverberación que presenta este espacio, es necesario emplear materiales con elevados coeficientes de absorción sonora, para evitar un tratamiento que sea excesivamente extensivo a las superficies interiores de la iglesia. Además la disposición de los materiales absorbentes, no debe disminuir las primeras reflexiones y debe mantener el adecuado grado de difusión sonora existente en el interior de la iglesia.

La propuesta de intervención se basa en un planteamiento que introduce estructuras y lenguajes nuevos, con materiales y diseños sencillos, piezas insertadas al modo de mobiliario, dentro de una voluntad explícita de no restar protagonismo a aquello que es esencial.

La importante absorción sonora necesaria para adaptar el tiempo de reverberación a los valores óptimos para la música, conlleva una notable reducción del nivel sonoro²⁶. Por ello la primera opción, que presenta la ventaja de no afectar a la variación del nivel sonoro²⁷, será disminuir el volumen de la iglesia mediante un paño de vidrio que desvincule la capilla de la Virgen de los

Dolores del volumen principal. Además se propone disponer dos cancelos en la puerta de la nave central y en la del evangelio, para reforzar el aislamiento acústico de las puertas de acceso principales a la iglesia. Estos cancelos se formalizan con un cuerpo superior formado por un resonador múltiple²⁸ y otro inferior de vidrio de 8 mm. El empleo del resonador múltiple supone un aumento de la absorción sonora que es significativo a bajas frecuencias.

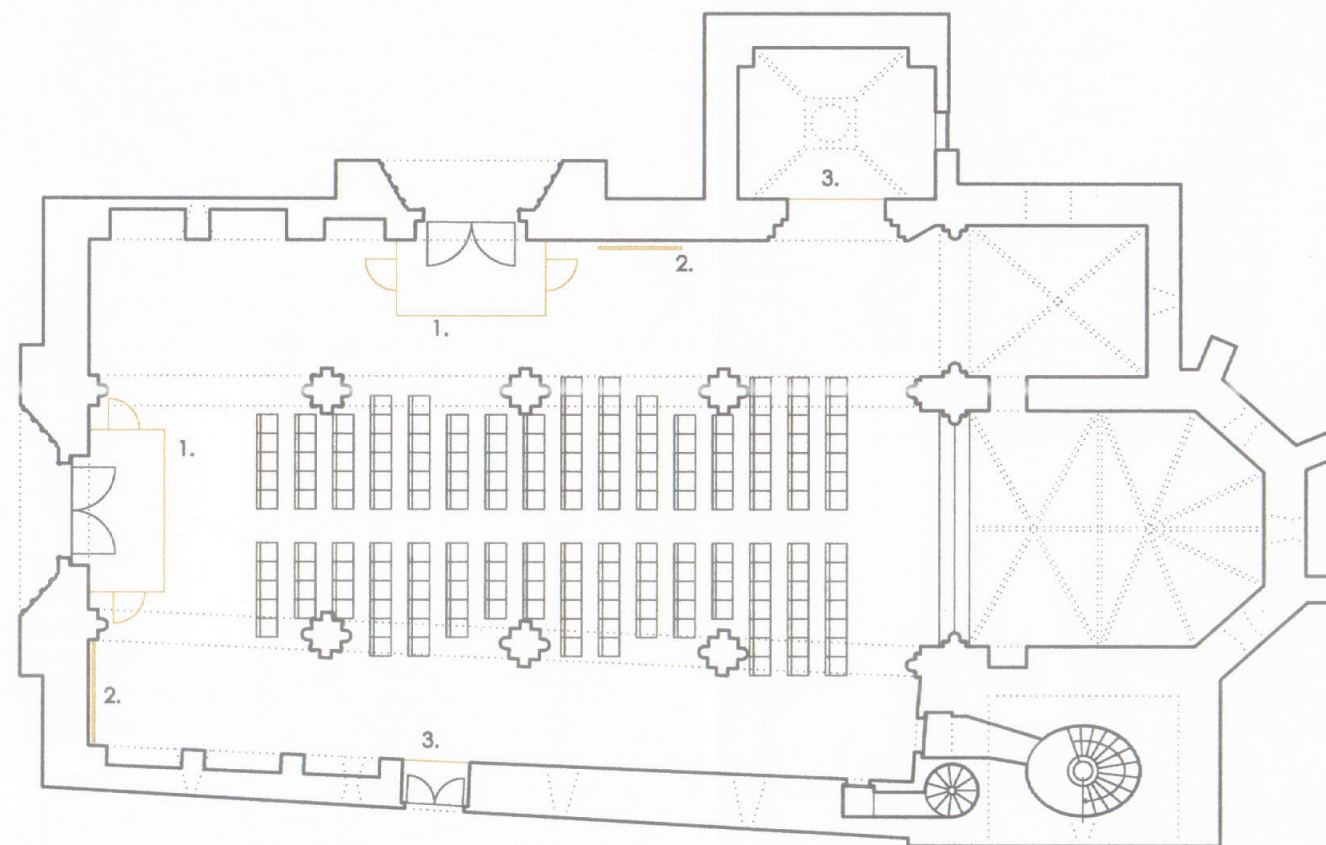
La reducción de volumen no es importante respecto al volumen total, por lo que será necesario aumentar la absorción sonora con elementos dispuestos de manera que no perjudiquen las primeras reflexiones necesarias. Siguiendo la tradición de las iglesias y catedrales góticas en las que se solían disponer tapices y paños de lana en las paredes, se plantea disponer unas bandas de paneles de lana de roca de 30 mm de espesor separados 5 cm de la pared²⁹, que se ubican horizontalmente en la nave central bajo los ventanales³⁰ y en los fondos de las naves laterales³¹.



Fig. 4.12. Tapiz de la Creación. Catedral de Gerona.

Para conseguir reducir los elevados niveles de ruido en el interior de la iglesia, será necesario tratar los huecos acristalados, disponiendo una carpintería que se acople a la piedra, de modo que se garantice el correcto sellado de los encuentros.

Se mantiene la disposición del área de audiencia con público en la nave central sentado en sillas, por ser ésta la disposición tradicional de ocupación de las iglesias de planta basilical, utilizando las naves laterales para la circulación.



1. Cancel formado por vidrio stadip 4+4 y resonador formado por panel de 17 mm con perforaciones de 8 mm en un 5%, cámara de 100 mm y lana de roca de 60 mm.
 2.. Panel de lana de roca de 30 mm de espesor y 46 kg/m³ densidad separado 5 cm de la pared. 3. Cerramiento de vidrio de 10 mm.

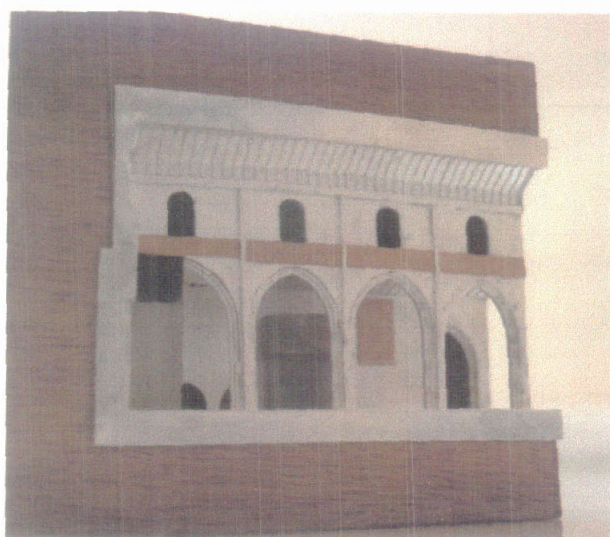
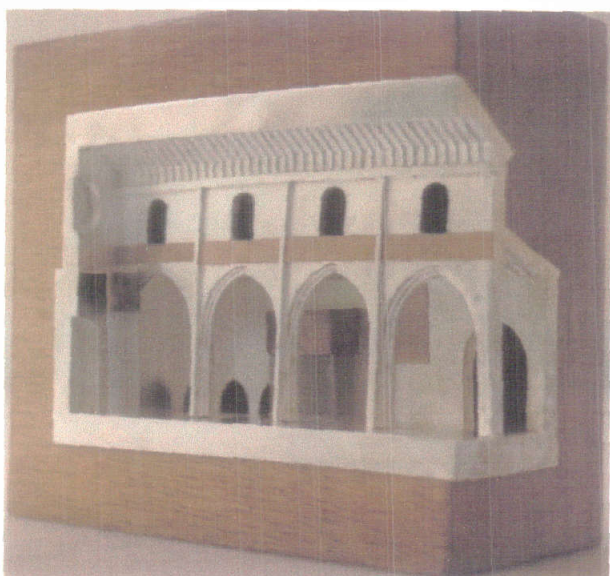
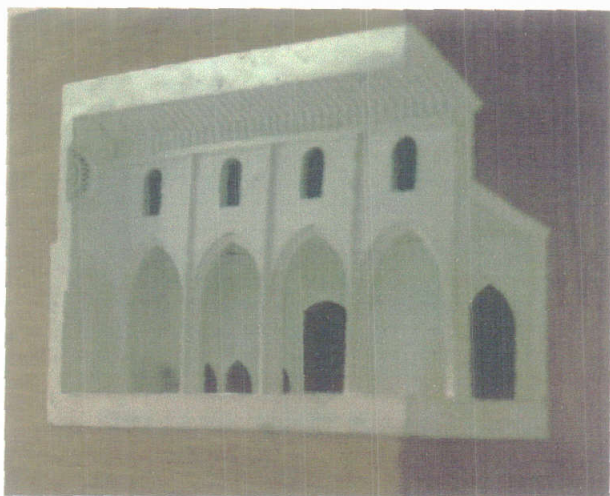


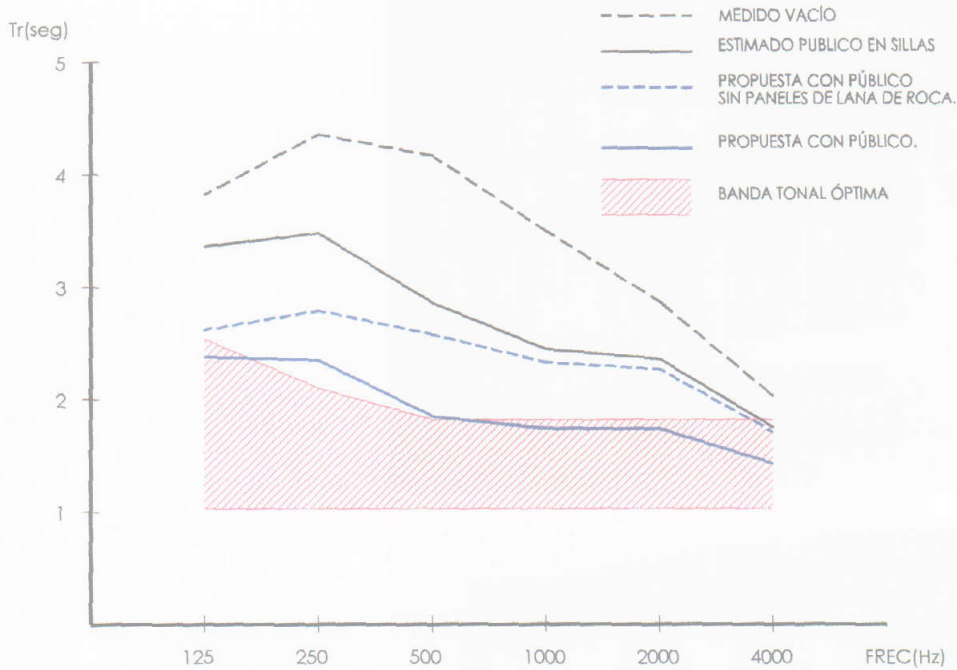
Fig. 4.13. Maqueta de la propuesta.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

El cálculo del tiempo de reverberación de la propuesta de intervención, aplicando la fórmula de Sabine, se realiza considerando los coeficientes de absorción de los materiales de la tabla 4.6.

MATERIAL	SUP. m ²	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Mármol	319	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
Silla ocupada	151	0.24	0.32	0.51	0.60	0.59	0.56
Piedra	1272	0.02	0.02	0.03	0.05	0.05	0.07
Madera	28	0.16	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
Vidrio	142	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
Cubierta de madera	303	0.33	0.28	0.25	0.20	0.20	0.21
Panel lana de roca	92	0.25	0.42	0.95	0.92	0.84	0.84
Resonador múltiple	30	0.80	0.94	0.46	0.27	0.13	0.09
Aire (m ³)	3506					0.008	0.021
SUPERFICIE TOTAL	2337						

Tabla 4.6. Características absorbentes de los diferentes materiales. Propuesta.



	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Medido vacío	3.82	4.36	4.17	3.50	2.87	2.03
Estimado con público	3.36	3.45	2.86	2.45	2.36	1.75
Propuesta con público. Sin paneles de lana de roca.	2.62	2.79	2.58	2.33	2.27	1.72
Propuesta con público	2.38	2.35	1.85	1.74	1.74	1.40
Óptimo música	2.53	2.08	1.81	1.81	1.81	1.81
Óptimo palabra	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02

Fig. 4.14. Tiempos de reverberación estimados y óptimos . Propuesta.

Las medidas adoptadas: disminución del volumen de la iglesia, incorporación de cancelas y disposición de paneles de lana de roca, conduce a que la curva tonal de la misma se ajuste sensiblemente a la óptima para la música.

La previsión de los valores de los índices de brillantez y calidez, para la propuesta, se encuentra dentro de los valores recomendados (tabla 4.7). La ausencia de los paneles de lana de roca repercutirá en una ausencia de brillo.

	BR	Br
Propuesta. Sin paneles de lana de roca	1.10	0.81
Propuesta	1.31	0.87
Valores recomendados	1.1÷1.45	>0.87

Tabla 4.7. Valores de calidez y brillo con público en sillas.

DISTRIBUCIÓN SONORA.

Se analiza la distribución sonora en la iglesia, mediante la simulación informática para la propuesta de intervención, manteniendo la potencia de emisión de la fuente establecida en la medición acústica. La distribución sonora es similar al estado actual, aunque el aumento de la absorción sonora en la propuesta supone una disminución del nivel de presión sonora y una atenuación del sonido de 2.6 dB por cada 10 m.

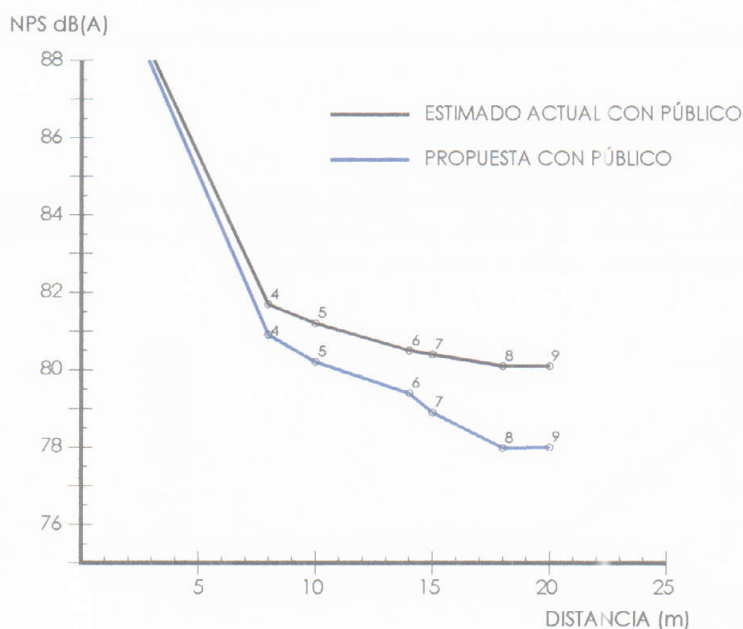


Fig. 4.15. Nivel de presión sonora respecto a la distancia. Propuesta.

Se ha representando, para la propuesta, los niveles de presión sonora global estimados en función de la distancia a la fuente, y se han comparado con los valores previstos por el modelo clásico y el modelo de Barron (fig. 4.16). En las proximidades de la fuente, los niveles sonoros estimados son semejantes a los previstos por el modelo clásico, debido a un efecto de concentración sonora causada por un aumento de reflexiones. En el resto de puntos, los niveles sonoros estimados se ajustan a los previstos por el modelo de Barron, lo que supone una adecuada difusión del sonido.

El estudio teórico de las reflexiones (véase ecogramas y cuadro resumen de reflexiones, figura A4.5 y tabla A4.18 del apéndice 4) muestra una distribución de reflexiones similar al estado actual. La cola reverberante se mantiene, con una

diferencia respecto al nivel sonoro del sonido directo de 15 a 20 dB, pero teniendo en cuenta que esta cola reverberante viene determinada por efectos de eco flotante, los niveles sonoros reales serán inferiores a los obtenidos de los ecogramas debido a la absorción del público, por lo que apenas será audible.

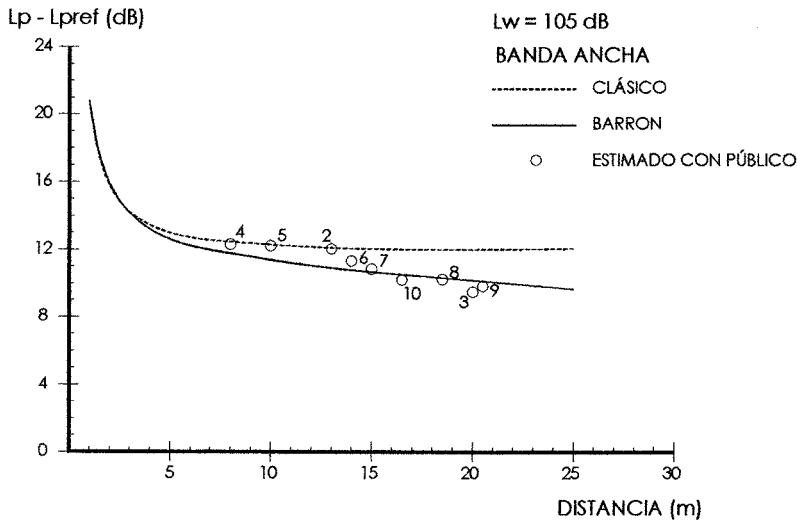
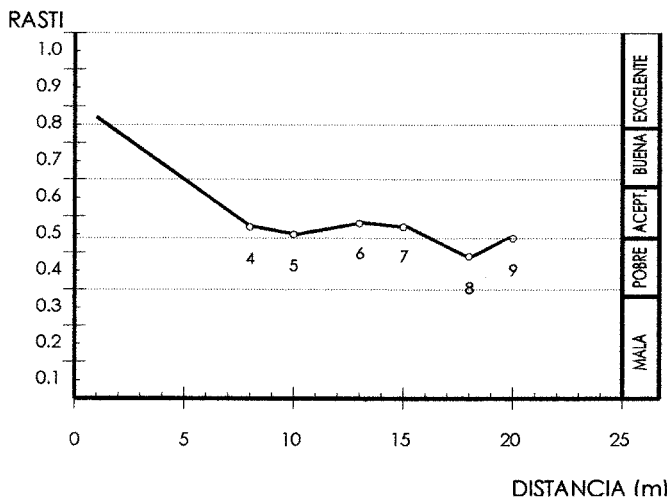


Fig. 4.16. Comportamiento del campo acústico frente a la distancia. Banda ancha.

INTELIGIBILIDAD.

Mediante el empleo del modelo informático, para cada uno de los puntos representativos de la iglesia, se evalúa el índice RASTI para la propuesta, con la nave central ocupada por público sentado en sillas.



	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Propuesta	0.42	0.35	0.47	0.45	0.48	0.47	0.39	0.44	0.36	0.52

Fig. 4.17. Índice RASTI frente a la distancia, estimado con público. Propuesta.

Los valores obtenidos del índice RASTI se han corregido con el factor obtenido previamente (tabla 4.4), con el fin de adaptar el índice RASTI obtenido de la simulación informática a la medición realizada. Los valores obtenidos permiten calificar la inteligibilidad como "aceptable", como se observa en la figura 4.17.

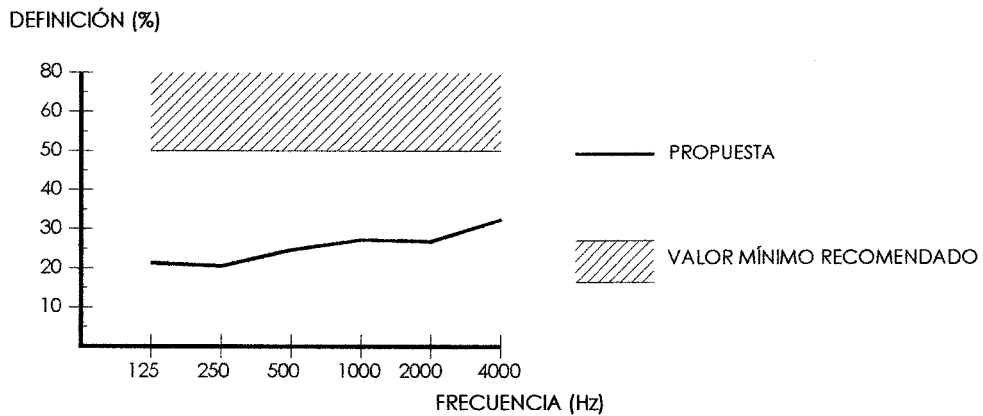


Fig. 4.18. Valor de definición, estimado con público. Propuesta.

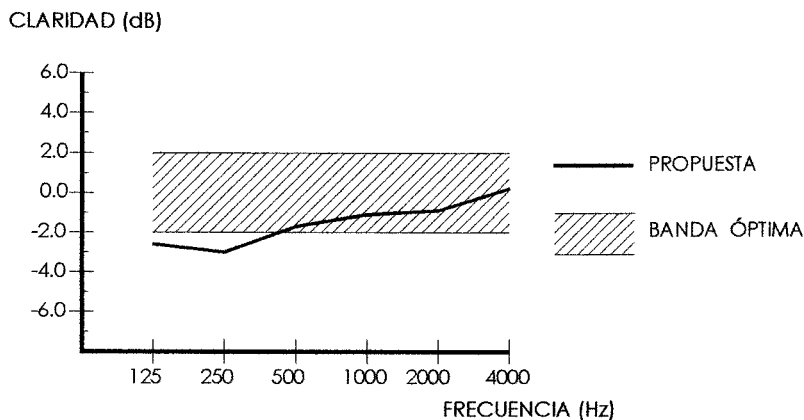


Fig. 4.19. Valor de claridad musical, estimado con público. Propuesta.

En función de los tiempos de reverberación obtenidos en la propuesta, los valores del índice RASTI no son apropiados para las actividades asociadas al uso de la palabra, como se aprecia con los resultados estimados de definición, (figura 4.18 y tabla A4.15 del apéndice 4), que son muy inferiores al valor mínimo estimado del 50%.

Para la claridad musical, los valores obtenidos se encuentran dentro de la banda considerada como óptima para salas ocupadas (figura 4.19 y tabla A4.16 del apéndice 4), con valores sensiblemente inferiores para los sonidos graves, debido a la menor absorción sonora existente a estas frecuencias.

OTROS PARÁMETROS.

Volumen		3506 m ³
Presbiterio.	Longitud	8.58 m
	Ancho	6.25 m
	Altura	10.64 m
Nave central.	Longitud	22.40 m
	Ancho	6.00 m
	Altura	13.63 m
Nave epístola.	Longitud	22.40 m
	Ancho	3.00 m
	Altura	7.70 m

Nave evangelio. Longitud	22.40 m
Ancho	3.60 m
Altura	7.70 m

Area de audiencia: 151 m² en nave central.
 Aforo: 180 personas sentadas en sillas.
 Relación volumen/plaza: 19.4. (Rango 5.1-9.1)
 Relación volumen/área de audiencia: 23.2. (Rango 9.2-12.0)
 Relación área de audiencia/plaza: 0.83 (Rango 0.63-0.75)

CONCLUSIONES.

La propuesta presenta un tiempo de reverberación adecuado para la interpretación musical, con una curva tonal adaptada a la curva tonal óptima para la música. De los valores obtenidos de los índices de brillo y calidez, se deduce que el sonido será cálido, rico y brillante.

La distribución sonora es homogénea en la iglesia, con una ligera disminución del nivel de presión sonora en el fondo de la iglesia³², no existiendo zonas de concentración sonora. El espacio ofrece una adecuada intimidad acústica y claridad musical sin perder el sentido de reverberación, como se deduce de los valores algo altos de sonoridad, que hace que el sonido tenga un mayor grado de amplificación y, por lo tanto, la sensación de estar en una sala más viva.

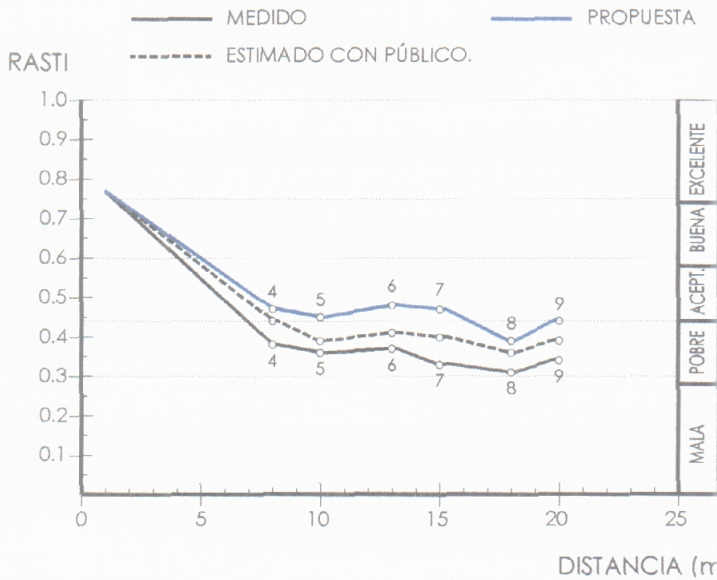


Fig. 4.20. Índice RASTI frente a la distancia, estimado con público.

Los valores del índice RASTI permiten calificar la inteligibilidad como "aceptable" en la propuesta. No obstante, los valores de definición son muy inferiores al valor mínimo recomendado, por lo que para la utilización de la iglesia para actividades asociadas al uso de la palabra, será necesario el apoyo de un sistema electroacústico.

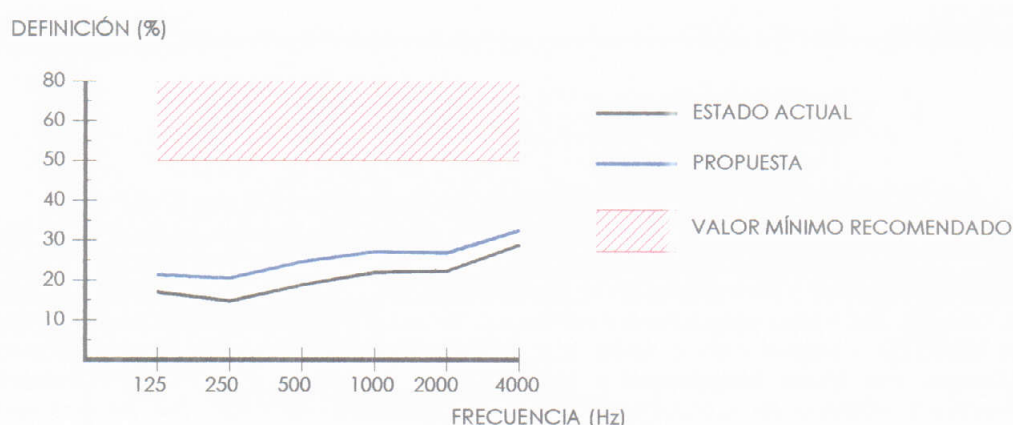


Fig. 4.21. Valores de definición, estimado con público.

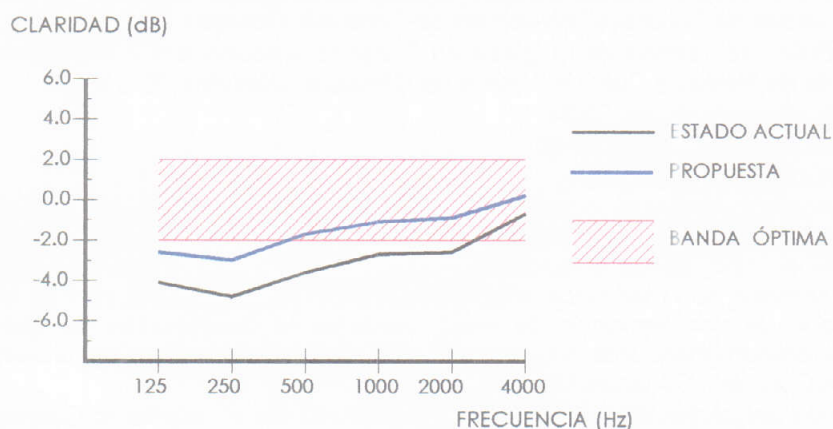


Fig. 4.22. Valores de claridad musical, estimado con público.

Los valores de claridad musical se encuentran dentro de la banda óptima, lo que permite percibir el detalle de la música y la separación entre los diferentes sonidos individuales de la composición musical.

En consecuencia, la iglesia presenta unas favorables condiciones acústicas para su uso musical, lo que, unido a su reducido tamaño, cualifican este espacio para la interpretación de música de cámara y recitales de solos. La variación de absorción sonora que produce la presencia o ausencia de los paneles de lana de roca, junto con el diferente grado de ocupación, permite adaptar la acústica de este espacio a todo tipo de obras musicales. Así, sin el empleo de los paneles, la iglesia presentaría unos tiempos de reverberación apropiados para la interpretación de cantos gregorianos o música medieval³³, formas musicales compuestas para espacios con un mayor tiempo de reverberación.

NOTAS.

¹ ZAMBRANO, M. *Claros del bosque*. Seix Barral, Barcelona 1993, pp. 47-48

² Fernando III, reconquista Córdoba en 1236 y establece catorce collaciones: siete en la Medina (Sta. María, S. Juan, Omnium Sanctorum, S. Nicolás, S. Miguel, S. Salvador y Sto. Domingo de Silos) y otras tantas en la Ajerquía (S. Nicolás, S. Pedro, S. Andrés, Sta. Marina, S. Lorenzo, Sta. María Magdalena y Santiago). En la actualidad sólo existen en la Medina la iglesia de S. Miguel y en la Ajerquía la de S. Pedro, parte de S. Andrés, Sta. Marina, S. Lorenzo, Sta. María Magdalena y Santiago. JORDANO BARBUDO, M.A. *Arquitectura medieval cristiana en Córdoba. (Desde la Reconquista al inicio del Renacimiento)*. Universidad de Córdoba, Córdoba 1996, p. 23.

³ YARZA LUACES, J. *Baja Edad Media. Los siglos del gótico*. Sílex, Madrid 1992, p.13, citado por PÉREZ CANO, M.M. *Estudio histórico-artístico de la iglesia Parroquial de Santa María de Aguas Santas de Córdoba*. Universidad de Córdoba, Córdoba 1998., p. 33.

⁴ NIETO CUMPLIDO, M. *Historia de la iglesia en Córdoba. Reconquista y Restauración (1140-1326)*. Monte de Piedad y Caja de Ahorros de Córdoba, Córdoba 1991, p. 297.

⁵ PÉREZ CANO, M.M. op. cit. pp. 33-34.

⁶ PÉREZ CANO, M.M. ibídem., pp. 34-35

⁷ NIETO CUMPLIDO, M. op. cit. p. 371.

⁸ Existen contradicciones sobre la posible fecha de construcción de la iglesia. Así el académico Miguel Muñoz Vázquez a partir del Archivo de la Universidad de Clérigos de Córdoba, lo data en 1241 siendo el único templo cristiano construido por Fernando III, pues el resto de templos son mezquitas adaptadas al culto cristiano hasta que en 1260 bajo el pontificado de don Fernando de Mesa comienza la construcción de nuevos templos sobre las referidas mezquitas. AA.VV. *La Mezquita de Córdoba, empeño universal*. Ayuntamiento de Córdoba, Córdoba 1973, p. 50.

⁹ De la memoria del proyecto de restauración redactado por el arquitecto Clemente Lara de la Peña.

¹⁰ "En su interior nada queda de su primitiva arquitectura; los muros están embadurnados por la cal y las cornizas por un azul de malísimo gusto, así como á su antiguo artesonado, lo ocultó una bóveda moderna que nada de particular presenta a la vista... El altar mayor, más bien parece una urna que un retablo; se reduce a una gran cenefa de talla dorada, alrededor del camarín, en cuyo centro y sobre el manifestador o tabernáculo, se ve una gallarda escultura de la Magdalena penitente..." RAMÍREZ DE ARELLANO Y GUTIÉRREZ, T. *Paseos por Córdoba*. Librería Luque, Córdoba 1973, pp. 19-20.

¹¹ ORTÍ BELMONTE, M.A. *Córdoba monumental artística e histórica*. Diputación provincial de Córdoba, Córdoba 1968, p. 248.

¹² VARO, A, "Arte y liturgia en pleno centro" en *Córdoba*, 15/agosto/1995, p. 95.

¹³ La iglesia es declarada monumento histórico-artístico con fecha 17/02/1982, según R.D. 1181/82.

¹⁴ El proyecto de restauración surge de un convenio de colaboración firmado por la Consejería de Cultura, el Obispado el Cabildo Catedral y Cajasur, con el fin de restaurar el templo y destinarlo a usos culturales, con un presupuesto de 1.050.000 euros. El proyecto plantea devolver al edificio su antigua fisonomía, bajo el principio básico de consolidación, precisando en determinados momentos la restitución de piezas, restituyendo la cubierta con madera de pino Soria, solería de mármol y estucado planchado liso y revoco de pasta de cal en paramentos verticales.

¹⁵ El resto de iglesias fernandinas, actualmente abiertas al culto, son marco de actuaciones musicales de tipo religioso, dentro del ciclo "Música en las iglesias fernandinas".

¹⁶ Cuando la profundidad del espacio acoplado no sobrepasa dos veces la altura de la abertura de comunicación con el espacio principal, se considera el volumen correspondiente a los dos espacios: principal y acoplado. KNUDSEN V.O. y HARRIS, C.M. *Acoustical Designing in Architecture*. Acoustical Society of America, Nueva York 1988, p. 177.

¹⁷ La estimación del tiempo de reverberación en la hipótesis del estado anterior a la restauración, cuando la iglesia estaba abierta al culto es orientativa, y se ha considerado el ajuar litúrgico común que existe en otras iglesias fernandinas.

¹⁸ La realidad sería posiblemente una curva tonal más adaptada a la curva tonal óptima para la música, ya que en aquella época "... las iglesias estaban literalmente recubiertas de pequeños retablos y altares para satisfacer la oración privada o común de los fieles, práctica religiosa cotidiana, enraizada, más frecuente que en nuestros días". PÉREZ CANO M.M. op. cit., p. 120.

¹⁹ "Es una característica de los espacios muy reverberantes que todas las voces, estén cercanas o lejanas, tiendan a escucharse con igual potencia." LUBMAN, D. "Notes on Conflicting Acoustical Requirements for Speech & Music in Worship Spaces, & the Uses of Electronics for their Reconciliation" en *Acoustics of Worship Spaces*. ASA, Nueva York 1985, p. x.

²⁰ "La superficie que siempre presenta un alto grado de difusión es la superficie ocupada por las sillas (vacías u ocupadas)." CARRIÓN ISBERT, A. *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. UPC, Barcelona 1998, p. 124.

²¹ Las reflexiones, en el estado previo, presentan una estructura similar, sin variaciones significativas.

²² El acristalamiento dispuesto en los ventanales de las naves y en los arcosolios se reduce a un vidrio que se une a la piedra en cuatro puntos de fijación, dejando unas ranuras laterales en todo su perímetro, constituyendo una auténtica "ventana abierta" al ruido exterior.

²³ "A través de la pintura y escultura del siglo XV (que sintió la preocupación del realismo minucioso en materia de detalles) se esclarece este punto. Aparecen facciones contraídas, producto de un estridente colorido de tono, ejecutado en tensión y preferentemente nasal. Esto parece haber sido el ruidoso y penetrante sonido que hacía disfrutar en el medievo. Si los solistas querían ser escuchados en los grandes templos, tenían que hacer un esfuerzo". ROBERTSON, A. y STEVENS, D. (Dirección). *Historia general de la música*, Tomo II. Ediciones Istmo, Madrid 1979, p. 90.

²⁴ LANG, P.H. *La música en la civilización occidental*. Editorial universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires 1963, pp. 127-128. En la época medieval no era necesaria la inteligibilidad de la palabra, pues la liturgia era en latín y el fin de los cantos era el enriquecimiento de la liturgia. "El antiguo compositor medieval jamás había intentado reproducir el acento y la entonación del habla humana cuando musicaba un texto. Las palabras eran simplemente tantas sílabas que debían encajar dentro de una música que seguía sus propias leyes de construcción. Si la lógica musical lo exigía, terminaba una sección, a mitad de una palabra, con una cadencia concluyente, e incluso partía otra por la mitad, con un largo silencio" ROBERTSON, A. y STEVENS, D., op. cit., p. 22.

²⁵ "La decoración de los muros con tapices y paños de lana era practicada en la Edad Media. CHOISY, A. *Historie de la architecture (tomo II)*. Ed. Inter-livres, Paris 1991. Citado por SENDRA SALAS, J.J. y NAVARRO CASAS, J. *La evolución de las condiciones acústicas en las iglesias: del Paleocristiano al Tardobarroco*. IUCC ETSA Sevilla., Sevilla 1997, p. 250.

²⁶ "...la intensidad sonora debe mantenerse, teniendo en cuenta que un cuarteto de cuerda produce sólo una centésima parte del nivel sonoro de una orquesta." BARRON, M. *Auditorium Acoustics and Architectural Design*. E&FN Spon, Londres 1993, p. 195.

²⁷ El nivel sonoro no depende del volumen ni de la forma de la sala, depende de la potencia de emisión y de la absorción de la sala, a mayor absorción el nivel sonoro disminuye. KNUDSEN, V.O. y HARRIS, C.M. op.cit., pp. 125-126.

²⁸ Resonador múltiple formado por un panel de madera de 17 mm con perforaciones de 8 mm de diámetro en un 5% de la superficie, y cámara de 10 cm rellena con 6 cm de lana de roca adosada al panel.

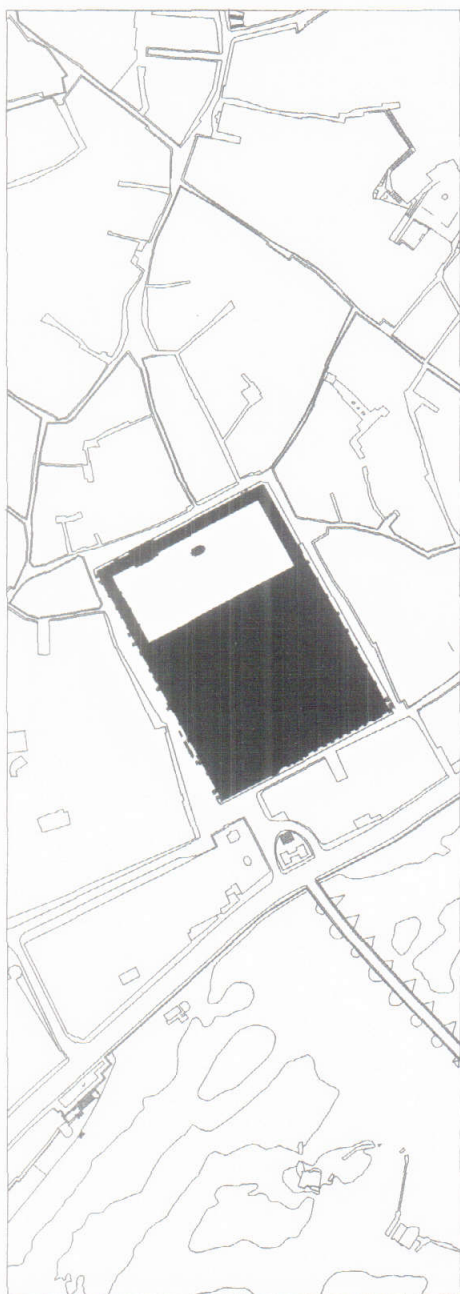
²⁹ Estos paneles de lana de roca de 30 mm y una densidad de 46 kg/m³, a 50 mm de la pared, suponen una importante absorción sonora a todas las frecuencias, sin necesidad de disponer un material muy grueso, gracias a la separación de la pared, lo que proporciona la máxima absorción para aquella frecuencia en la que esa separación sea igual a $\lambda/4$. CARRIÓN ISBERT, A. op. cit., p. 81.

³⁰ Según NIETO CUMPLIDO, existían en la iglesia unos tapices que se disponían en bandas horizontales de la nave central.

³¹ Los paneles de lana de roca se protegen con un velo acústicamente transparente de diferentes colores, que recoja la tradición del color en las iglesias medievales. "Los colores de las vestiduras, como los paramentos del altar, deberían volver a encontrar toda la variedad de la tradición de la Edad Media. El carácter penitencial de la cuaresma quedaba subrayado por el gris, color que revestía el altar y los oficiantes. Las grandes fiestas eran un festival de colores renovados sin cesar. El blanco para las fiestas del Señor y de las vírgenes, el azul para el de la Madre de Dios, el rojo para los mártires y todos los domingos después del Pentecostés, el amarillo para los confesores, el violeta para la Septuagésima y el adviento, el rosa para las semanas del *Gaudate* y de *Laetare*, y el verde para después de Epifanía". BOUYER, L. *Arquitectura y liturgia*. Grafite ediciones, Bilbao 2000, p. 107.

³² La pérdida de nivel de presión sonora con la distancia se hará más evidente en aquellos conciertos en los que intervengan instrumentos de cuerda que presentan un menor nivel de potencia sonora, mientras que con los metales apenas si será perceptible.

³³ Formas musicales lejanas a las formas armónicas, melodiosas y de sonoridades homogéneas de la música desde el Barroco. FUBINI, E. *La estética musical del siglo XVIII hasta nuestros días*. Barral editores, Barcelona 1971, p. 13.



"En la fresca penumbra, el obispo y los sacerdotes entonaban sus himnos demasiado imponentes, sinuosos y enfáticos... Desentendido de ellos, me palpitaba el corazón, temeroso ante rincones sombríos, sobrecogido como un niño por extrañas presencias, que nada tenían que ver con las genuflexiones y las engoladas antífonas de la pompa cristiana, atraído y asustado por los ecos de los pasos no advertidos, de voces sin origen preciso que susurraban bajo los cánticos"¹.

**5. CAPILLA DE VILLAVICIOSA.
MEZQUITA-CATEDRAL DE CÓRDOBA.**

Reseña histórica.

La mezquita tras la conquista de Córdoba en 1236, fue consagrada al culto cristiano, ubicándose la capilla mayor bajo el lucernario de al-Hakam II², tapando las arcadas entrecruzadas del costado oriental del lucernario que se convierte en presbiterio, estableciendo un foco cristiano dentro de un espacio islámico prácticamente inalterado.

En 1489, el obispo Manrique inicia la transformación cristiana de la mezquita de Córdoba y emprende obras más importantes, que buscan enmascarar la estructura musulmana y dar al edificio una apariencia más cristiana. El espacio islámico, que señala una orientación definida por la situación del mihrab, era espacialmente inadecuado para el culto cristiano, que siguiendo la tradición de las basílicas siempre ha sido un espacio perspectivo, fugado y convergente en un punto, por lo que se decide abrir una nave longitudinal dentro de la trama espacial islámica.

Una vez decidido insertar una pequeña catedral gótica en el espacio islámico, se procedió a desmontar parte de las naves; se orientó la nueva capilla hacia el este, aprovechando como presbiterio el lucernario de al-Hakam II, y se creó una nave única de cuatro tramos con arcos fajones apuntados de piedra coincidentes con las arquerías islámicas, sustituyendo cada arco gótico a tres arcos islámicos. Se eligió el límite entre las mezquitas de Abderraman II y al-Hakam II, soportando el empuje de los arcos la alquibla de Abderraman II en un lateral, siendo necesario colocar contrafuertes sólo en el otro lateral, por lo que los arcos formeros son de medio punto en un lado y de herradura en el otro, en una operación de economía y eficacia. El espacio se eleva sensiblemente frente al islámico y se abrieron huecos de luz superiores, con las características ventanas ojivales góticas, cubriéndose con armadura de madera³ dividida en casetones cuadrados y rehundidos⁴, con tejado a dos aguas. A los pies se cierra la nave con tres arcadas islámicas sobre las que se abrió un rosetón con vidrieras, manteniendo la primera nave de la mezquita, que hace de nártex de la catedral.

El nuevo espacio es una nave de planteamientos góticos que se inserta sin notoriedad en el tejido de la mezquita, que se excava y se recrece sobre ésta⁵; conformando un ámbito abierto, diáfano y permeable visualmente, de límites virtuales, que respeta de una forma sutil una de las ideas principales de la

mezquita: la valoración del espacio continuo e indiferenciado mediante múltiples ejes de visualización⁶. Además, apoyándose en la imagen escenográfica del lucernario de al-Hakam II, define un esquema de basilica, en el que según Antón Capitel "una vez configurados la cabecera y los pies del nuevo espacio, con gran precisión, la definición de basilica no necesita los cierres laterales para existir como espacio arquitectónico concreto, incorporando las naves adyacentes como indefinida extensión del semi-virtual templo"⁷ y haciendo compatibles dos concepciones espaciales aparentemente opuestas, pero no por el camino de la indiferencia, sino al contrario, mediante una nueva articulación espacial, matizando cada lugar sin que desaparezca su permanente ambigüedad⁸.

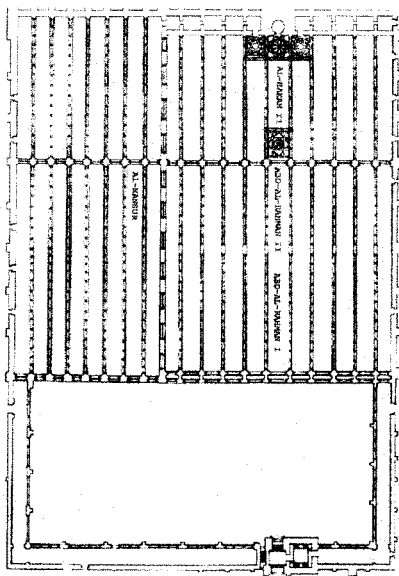


Fig. 5.1. Planta mezzquita siglo XIII.

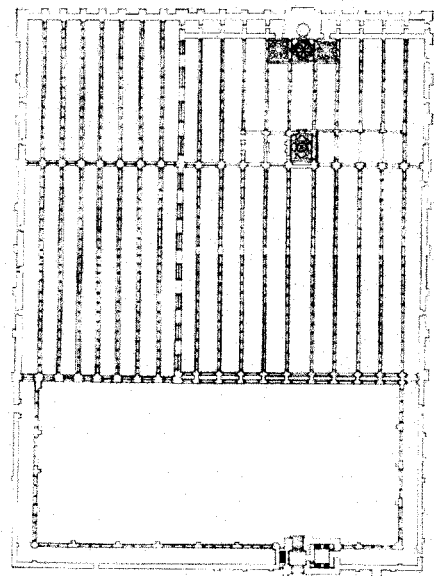


Fig. 5.2. Planta mezzquita-catedral siglo XV.

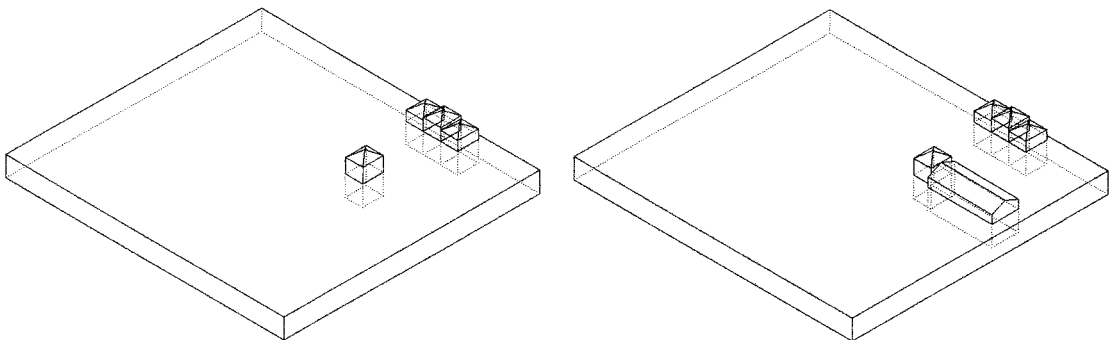
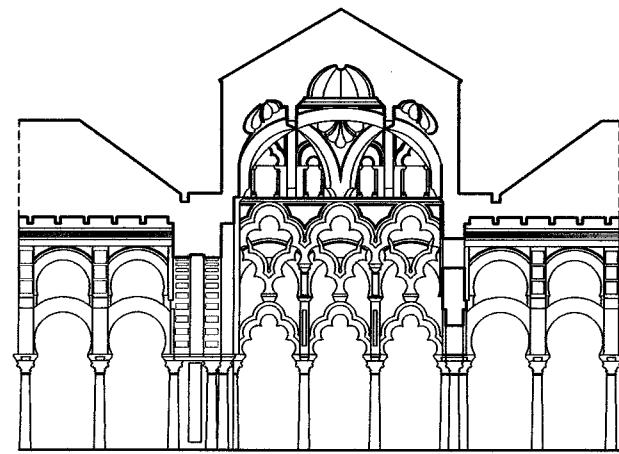


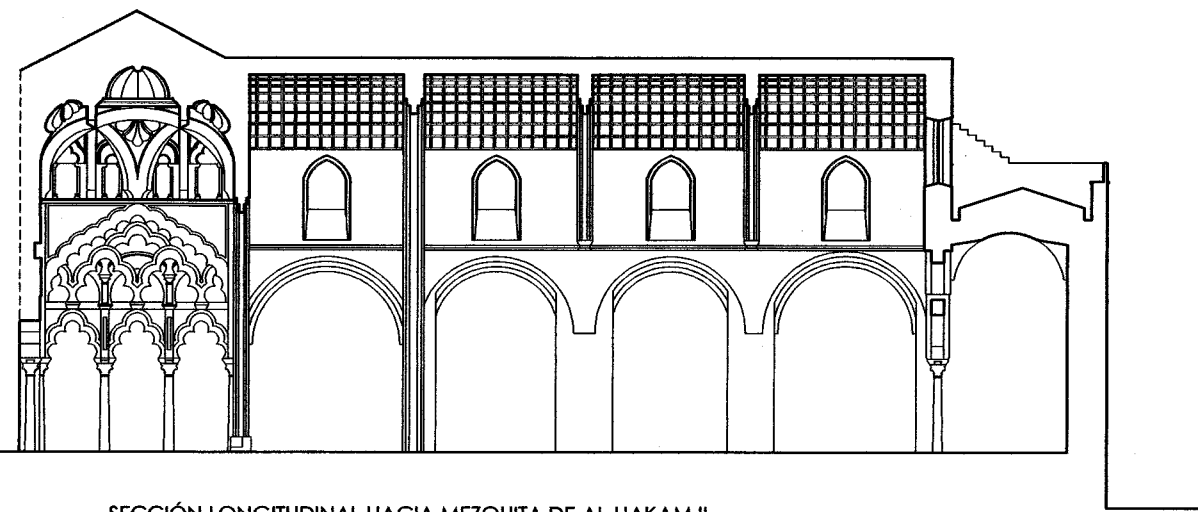
Fig. 5.3. Esquema volumétrico de la mezzquita y de la inserción de la catedral gótica.

Hay tres fechas fundamentales para la historia de este espacio, que marcan a la vez los distintos usos que ha tenido⁹:

- Desde 1236 a 1607. Fue la capilla mayor de la Catedral, donde tuvieron lugar el rezo de las horas canónicas, la misa conventual diaria y las ceremonias pontificales, lugar por lo tanto de desarrollo de las capillas musicales¹⁰ a las que



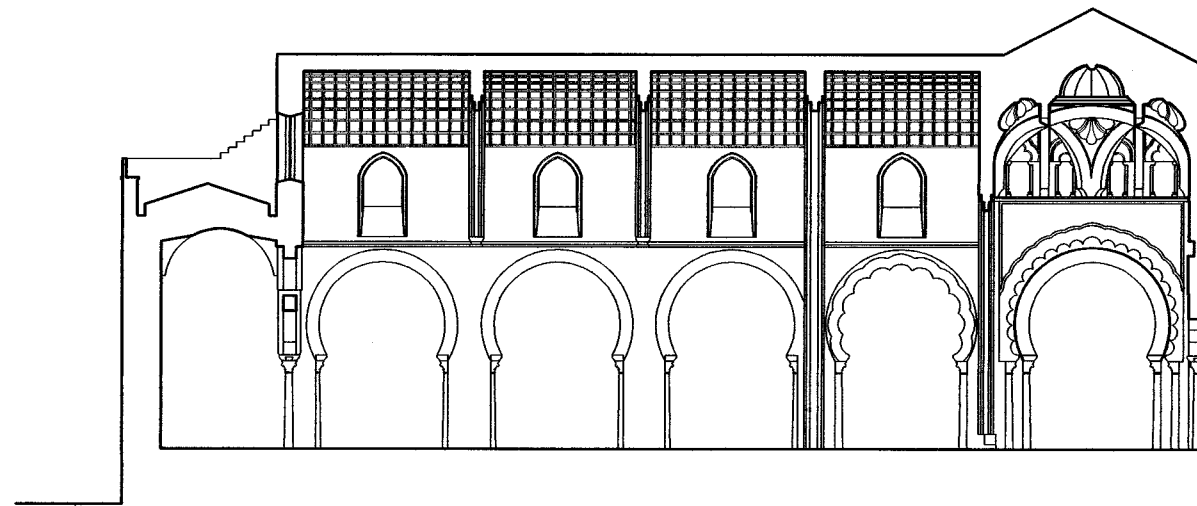
SECCIÓN EJE VILLAVICIOSA



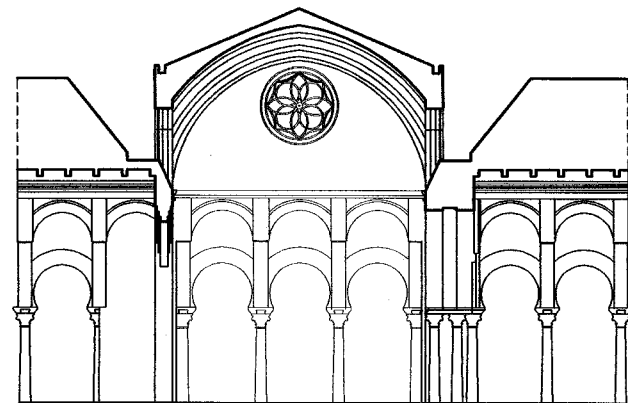
SECCIÓN LONGITUDINAL HACIA MEZQUITA DE AL-HAKAM II



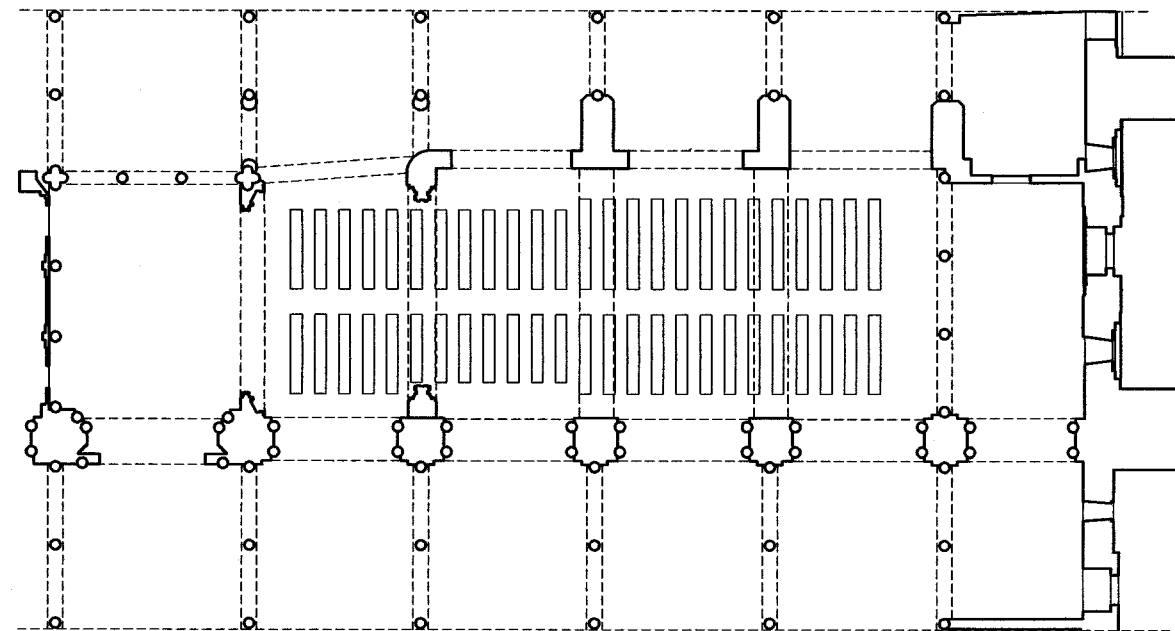
SECCIÓN HACIA CAPILLA VILLAVICIOSA



SECCIÓN LONGITUDINAL HACIA MEZQUITA DE ABDERRAMAN II



SECCIÓN HACIA NARTEX



se les unen a mediados del siglo XVI la capilla de ministriles¹¹. En esta época, el presbiterio se encontraba cerrado en tres de sus lados y existía un pequeño coro sobre la sillería¹² con unos órganos grandes y otros pequeños¹³. Al presbiterio se accedía desde el coro de canónigos por una escalinata de tres gradas¹⁴.

▪ De 1607 a 1879. Abandonado el lugar por la construcción del crucero de la nueva catedral, quedará como capilla de Nuestra Señora de Villaviciosa. Se dota de un nuevo ajuar y en el siglo XVIII se decide colocar un retablo¹⁵ de madera tallada para la citada imagen de gran devoción popular, además de la construcción de una bóveda churrigueresca que oculta la de al-Hakam II. En la planta de 1879 (figura 5.4) de M. López Sánchez y F. Pérez Barquero se observa la disposición de este espacio previo a su desmantelación¹⁶. En este espacio, desde el traslado del coro al crucero, todos los años se montaba ante el presbiterio el Monumento del Jueves Santo, trazado por Hernán Ruiz¹⁷.

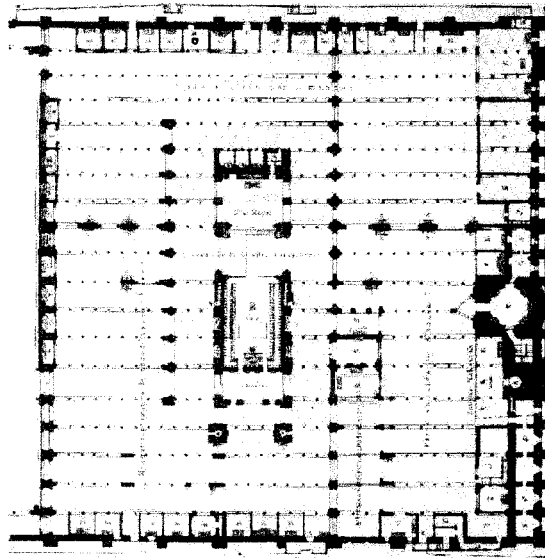


Fig. 5.4. Planta de la mezquita-catedral de 1879 según López Sánchez y Pérez Barquero.

▪ Desde 1879 hasta nuestros días. Desmantelado en 1879 de su ajuar religioso, derribada la bóveda barroca, y tras el desmonte de la reja y púlpitos del presbiterio, este espacio pierde todo su contenido cristiano. En 1902, se procederá a una restauración por parte de Velázquez Bosco consistente en una reconstrucción total de los muros a partir de los restos existentes tras desmontar el retablo. El resultado de todas estas operaciones de limpieza será un nuevo espacio, bello y singular que será uno de esos lugares calificado por Chueca Goitia como "monumento en su fría asepsia arqueológica" en el que hasta la aplicación de las reformas del Concilio Vaticano II se continuó instalando el Monumento del Jueves Santo, única celebración litúrgica que permaneció y donde tienen lugar actualmente esporádicos actos culturales (conciertos, conferencias...), debido al marcado carácter secundario con el que se valora este espacio frente al crucero de la catedral.

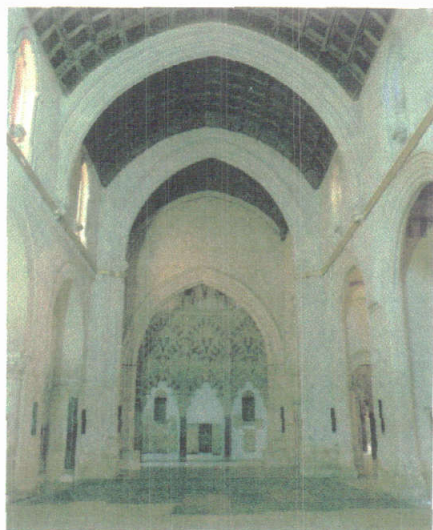


Fig. 5.5. Vista hacia la capilla de Villaviciosa.

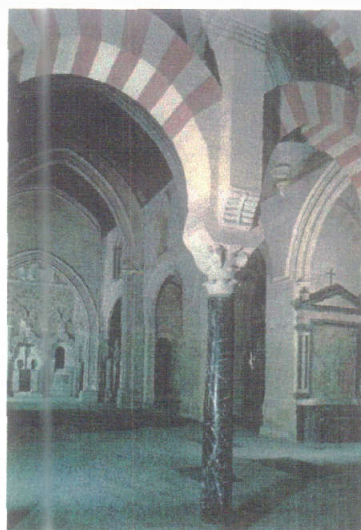


Fig. 5.6. Vista desde el nártex .

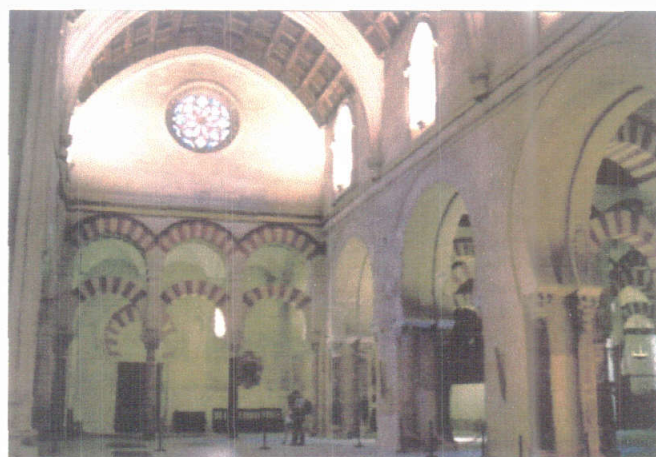


Fig. 5.7. Arcos de herradura de comunicación con la mezquita de Abderraman II.

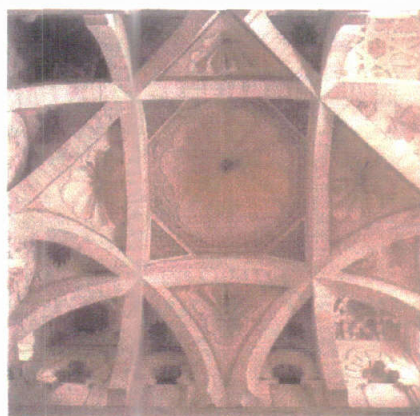
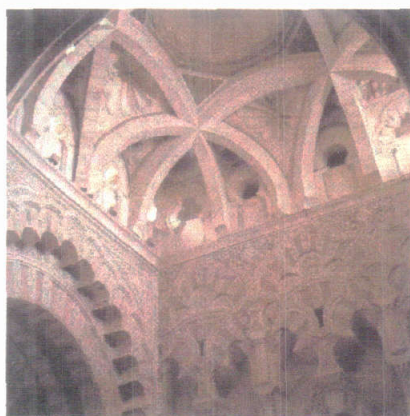


Fig. 5.8. Bóveda de la capilla de Villaviciosa.

Análisis acústico del estado actual.

La medición acústica se efectuó sin ningún tipo de mobiliario, con suelo y paredes desnudos, lo cual ayuda a enfatizar la acústica del recinto, al carecer de la absorción adicional de mobiliario y audiencia. Por motivos de compatibilidad con la actividad propia de este monumento, la medición tuvo lugar a partir de las 22 horas, aspecto éste que ha de ser tenido en cuenta a la hora valorar los bajos niveles de ruido de fondo obtenidos.

Se tomaron 12 puntos de medida en la sala, 8 de ellos en la iglesia catedral del siglo XV y 4 en las naves musulmanas contiguas, a una altura de 1.20 m. sobre el suelo. La fuente sonora se situó en el eje vertical de la cúpula de la capilla de Villaviciosa, a una altura de 1.50 m. sobre el suelo.

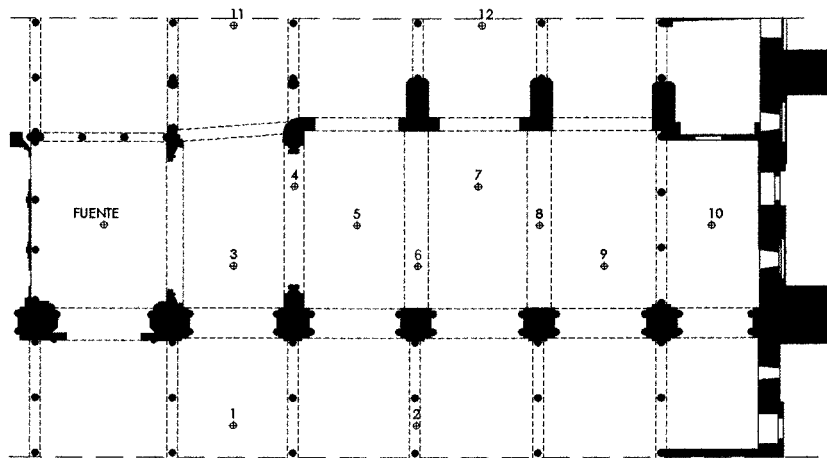


Fig. 5.9. Situación puntos de medida.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

La medición efectuada del tiempo de reverberación utiliza el método del impulso integrado. En la tabla A5.1 del apéndice 5 se presentan los valores obtenidos para los puntos indicados en las distintas bandas de octava de frecuencia. A partir de ellos se han obtenido los tiempos de reverberación promediados para todo el recinto, así como los relativos sólo a la nave gótica o únicamente de las naves musulmanas (tabla 5.1).

PUNTOS	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Promedio	3.72	3.76	3.71	3.25	2.76	1.87
Promedio nave gótica	3.61	3.70	3.67	3.20	2.73	1.83
Promedio nave musulmana	3.92	3.88	3.80	3.36	2.82	1.95

Tabla 5.1. Tiempos de reverberación medidos promediados.

A partir de los valores promediados del tiempo de reverberación para la nave gótica, se obtiene, mediante simulación informática, un modelo teórico. Un primer análisis consiste en considerar la nave gótica como un volumen único¹⁸, inserto en el volumen de la mezquita-catedral que se considera un espacio acoplado al primero¹⁹. Se computa la absorción de suelo, techo y paredes en la nave gótica, a partir de los coeficientes de absorción de estas superficies tomados de las fuentes bibliográficas. Calculada dicha absorción, para las frecuencias de octava, se constata, como no podría ser de otro modo, que es menor de la que corresponde a los tiempos de reverberación medidos²⁰, ya que la superficie de separación entre el volumen principal y el acoplado (aperturas de la catedral con las naves musulmanas adyacentes, mediante los arcos ojivales y de herradura), actúan como unas superficies virtuales que proporcionan una absorción sonora adicional²¹. Una vez conocida esta absorción resulta sencillo obtener los coeficientes de absorción de estas superficies de separación. Los valores obtenidos se expresan en la tabla 5.2

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Superficie virtual	0.29	0.29	0.21	0.24	0.32	0.34

Tabla 5.2. Coeficientes de absorción de superficie virtual.

Este valor se puede considerar razonable comparado con los valores obtenidos por Shankland & Shankland de $\alpha=0.38$ en San Pablo Extramuros de Roma²². La permeabilidad física entre los dos volúmenes, la posición de la fuente frente al espacio acoplado y la mayor reverberación de la mezquita, hacen que el sonido abandone la nave gótica y regrese a ésta, tras haber sido atenuada su intensidad en las naves de la mezquita, más rápidamente de lo que cabría esperar, por lo que estos espacios están menos acoplados que los casos de las basílicas romanas.

MATERIAL	SUP. m ²	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Público en sillas	267	0.24	0.32	0.51	0.60	0.59	0.56
Mármol	388	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
Revoco de cal	132	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07
Vidrio	34	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
Madera	5	0.16	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
Piedra arenisca	1016	0.02	0.02	0.06	0.08	0.04	0.05
Superficie virtual	447	0.29	0.29	0.21	0.24	0.32	0.34
Bóveda	60	0.05	0.06	0.07	0.09	0.07	0.08
Cubierta madera	277	0.16	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
Aire (m ³)	4750					0.008	0.021
SUPERFICIE TOTAL	2359						

Tabla 5.3. Características absorbentes de los diferentes materiales.

A partir del modelo informático, mediante la fórmula de Sabine, se realiza una predicción teórica de los valores del tiempo de reverberación, considerando una ocupación plena en la nave, con público sentado en sillas, que se comparan con los valores de los tiempos de reverberación óptimos teóricos tanto para la palabra como para la música (figura 5.10). Los valores de los coeficientes de absorción utilizados en dicho cálculo se expresan en la tabla 5.3.

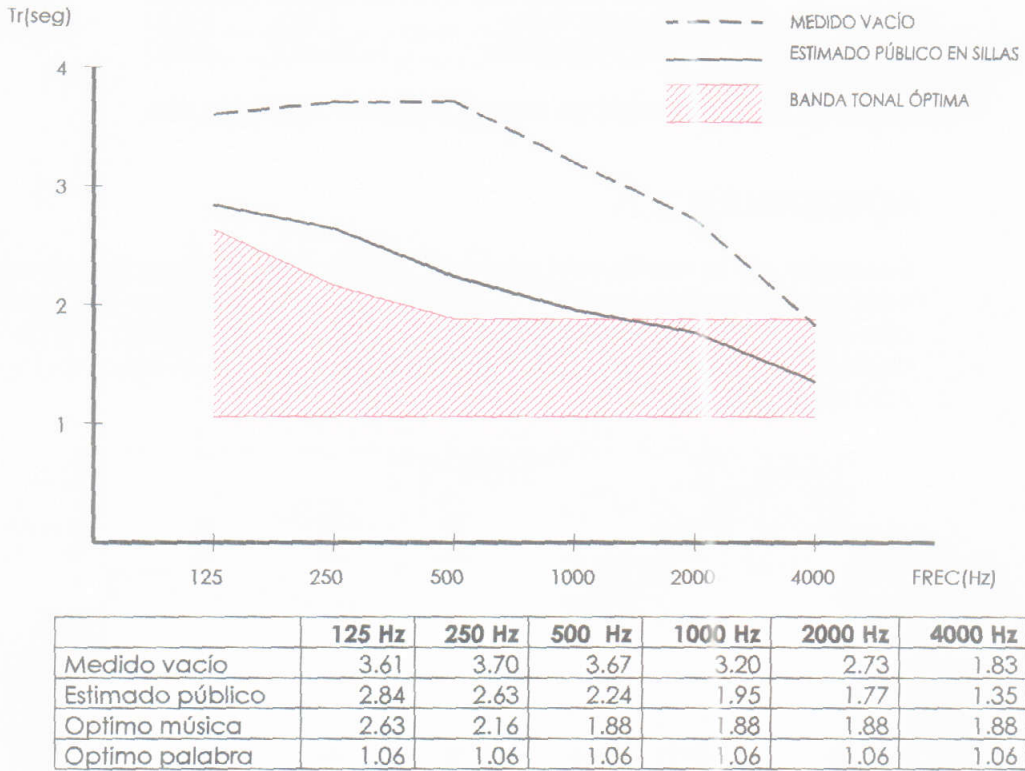


Fig. 5.10. Tiempos de reverberación medido, estimado y óptimos.

Cuando el recinto está vacía de público, los tiempos de reverberación a todas las frecuencias son altos respecto a la banda tonal óptima, a pesar de la importante contribución que a la absorción sonora proporcionan las aperturas de comunicación con la mezquita, a todas las frecuencias. La casi total ausencia de cualquier tipo de decoración en el interior de este espacio, así como su gran volumen, son las principales causas de este comportamiento. No obstante, resultan significativos los relativamente bajos tiempos de reverberación de las bajas frecuencias, debido principalmente al techo de madera de la nave, y la alta absorción de los sonidos agudos por el importante volumen de aire encerrado en el recinto.

Cuando la nave gótica se llena de público sentado en sillas, se produce un aumento considerable de la absorción sonora del recinto, ajustándose los valores del tiempo de reverberación a los considerados como óptimos para el uso musical, llegando incluso a ser más bajos para los sonidos agudos (figura 5.10).

A partir de los valores obtenidos con público, se han calculado los índices de calidez y brillantez. El índice de calidez obtenido es de 1.30, valor que está dentro de los márgenes recomendados, por lo que este espacio responde adecuadamente a bajas frecuencias. El índice de brillantez calculado, sin embargo, es de 0.74, valor inferior al recomendado para que la sala de la impresión de riqueza de armónicos. Esto es debido a la importante absorción que a altas frecuencias se produce debido a la absorción del aire, dado el volumen de la iglesia, así como a la importancia de los volúmenes acoplados.

	BR	Br
Estimado con público	1.30	0.74
Valores recomendados	1.1÷1.45	>0.87

Tabla 5.4. Valores de calidez y brillo con público en sillas.

DISTRIBUCIÓN SONORA.

El estudio de la distribución sonora en la iglesia se ha realizado a partir de la emisión de una fuente sonora omnidireccional, situada en el eje vertical de la cúpula de la capilla de Villaviciosa. La potencia de emisión fue de 113 dB. Los niveles de presión sonora obtenidos se especifican en la figura 5.11 y en la tabla A5.3 del apéndice 5.

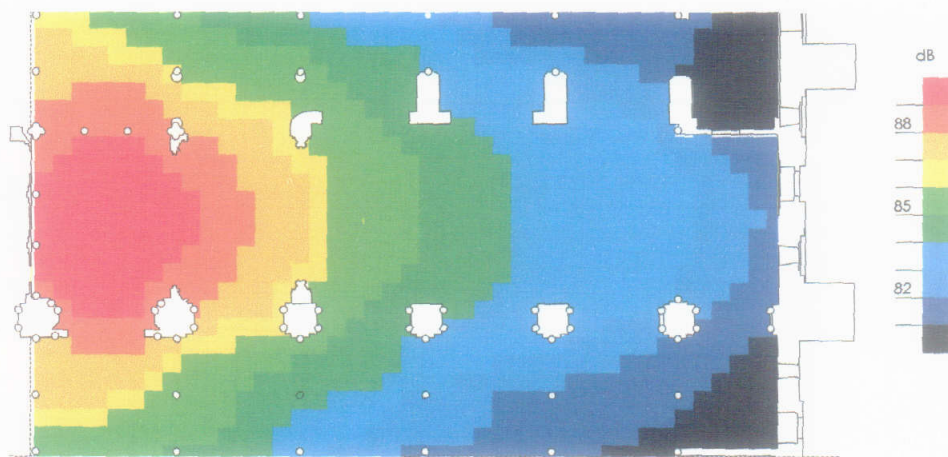


Fig. 5.11. Mapa de distribución sonora. Iglesia Vacía.

Los niveles sonoros obtenidos son similares a los previsibles, dadas las características espaciales, con un adecuado grado de uniformidad del campo sonoro, sin zonas con concentraciones significativas, y con una acusada pérdida de nivel sonoro en las naves laterales frente a la nave central.

Para analizar el grado de difusión sonora en la iglesia, se han representado los incrementos de nivel de presión sonora respecto al valor de referencia frente a la distancia a la fuente, tanto en los puntos de la nave gótica como de las naves laterales, y se han comparado los resultados medidos con los valores que proporciona la aplicación del modelo clásico del campo reverberado y el alternativo propuesto por Barron y Lee (figura 5.12).

Se observa que los valores medidos son inferiores a los previstos por el modelo de Barron, por lo que este espacio se aleja del comportamiento como espacio difuso, debido a la importante absorción que suponen las naves musulmanas y a la falta de primeras reflexiones. Se tiene una atenuación del nivel global de 2 dB cada 10 m, con una caída respecto a los niveles previstos por el modelo clásico de 6.4 dB en el fondo de la nave.

Lp - Lpref (dB)

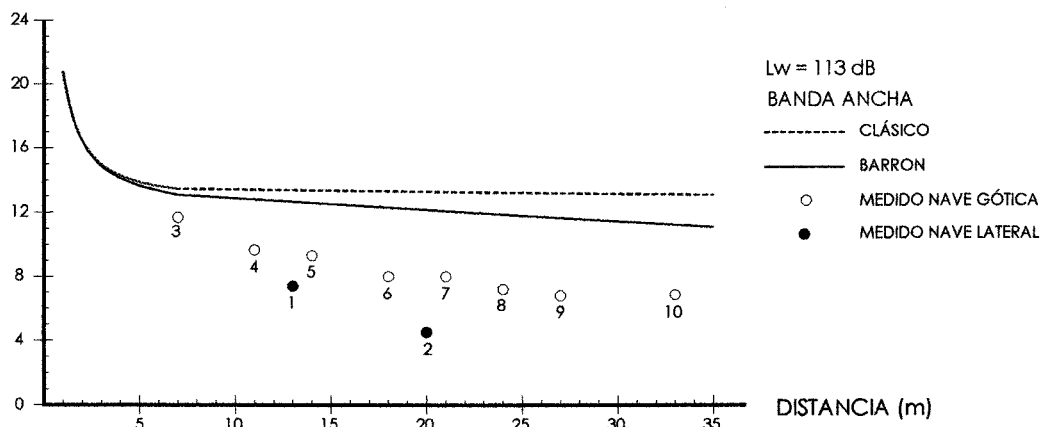


Fig. 5.12. Comportamiento del campo acústico frente a la distancia. Banda ancha.

El análisis de la distribución sonora se completa con un estudio teórico de las reflexiones que se producen en los límites del recinto, efectuado con la ayuda del programa informático de simulación. La construcción del modelo se ha hecho considerando el volumen de la catedral gótica inserto dentro del volumen total de la mezquita. En la figura A5.3 del apéndice 5, se presentan los retardos de las distintas reflexiones, respecto del sonido directo, así como los niveles sonoros que producen cada una de ellas, en los puntos más característicos del recinto, para la banda de octava de 2000 Hz.

En general, se aprecia una escasez de reflexiones laterales y proveniente de la cubierta de madera, aunque el número de esas reflexiones aumenta conforme nos alejamos de la fuente, lo que contribuye a mejorar la inteligibilidad en los receptores más alejados de la fuente sonora.

Las reflexiones más importantes, en cuanto a número, provienen de los rayos que salen de la sala por las aperturas que comunican con la mezquita y que, tras múltiples reflexiones vuelven a la sala, pero con un gran desfase y pérdidas de nivel sonoro: del orden de 15 a 30 dB; así como del eco flotante (pérdida del orden de 14 dB), que constituye una importante cola reverberante²³.

Dadas las dimensiones de este espacio, y la falta de primeras reflexiones, existe una falta de intimidad acústica²⁴ en algunos puntos (tabla 5.5) y la sensación será una falta de espacialidad.

	3	4	5	6	7	8	9
ITDG (ms)	61.4	21.0	21.3	68.9	21.2	21.6	1.90

Tabla 5.5. Valores de ITDG en diferentes puntos .

Mediante el modelo informático se determina el valor de sonoridad, obteniendo valores medios de 4.6 dB (figura 5.13 y tabla A5.9 del apéndice 5), valores que se encuentran dentro de los valores recomendados por Beranek para salas de concierto. Estos valores son menores a los usuales para un espacio eclesial, por lo tanto, la sala presenta un menor grado de amplificación del sonido, debido a las aperturas con la mezquita, que evitan la existencia de la adecuada energía asociada a las primeras reflexiones y de un menor nivel de campo reverberante.

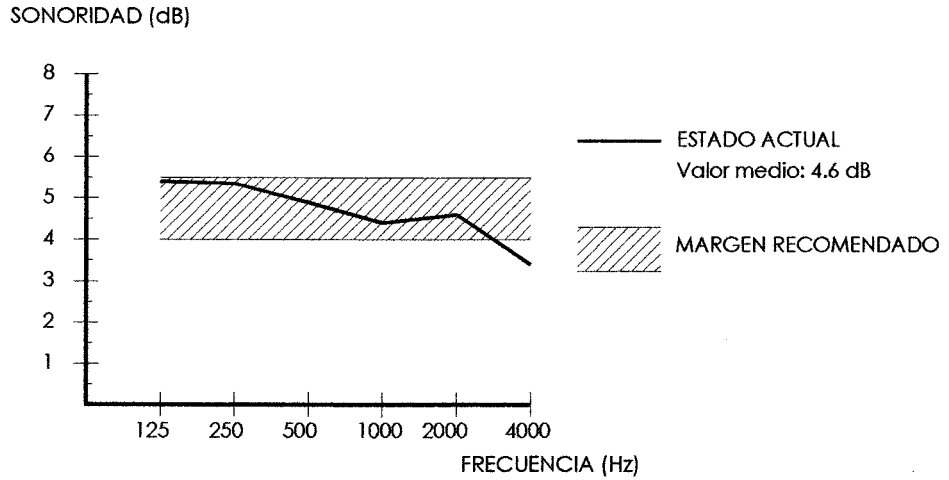


Fig. 5.13. Valor de sonoridad para la iglesia vacía.

INTELIGIBILIDAD.

En la figura 5.14 se han representado los índices RASTI de los puntos de recepción, obtenidos de la medición acústica, valorando la distancia de cada uno de ellos a la fuente. En esa misma gráfica se ha incluido la valoración de la inteligibilidad de acuerdo con el índice RASTI. En la figura 5.15, sobre la planta, se han representado las curvas "iso-RASTI".

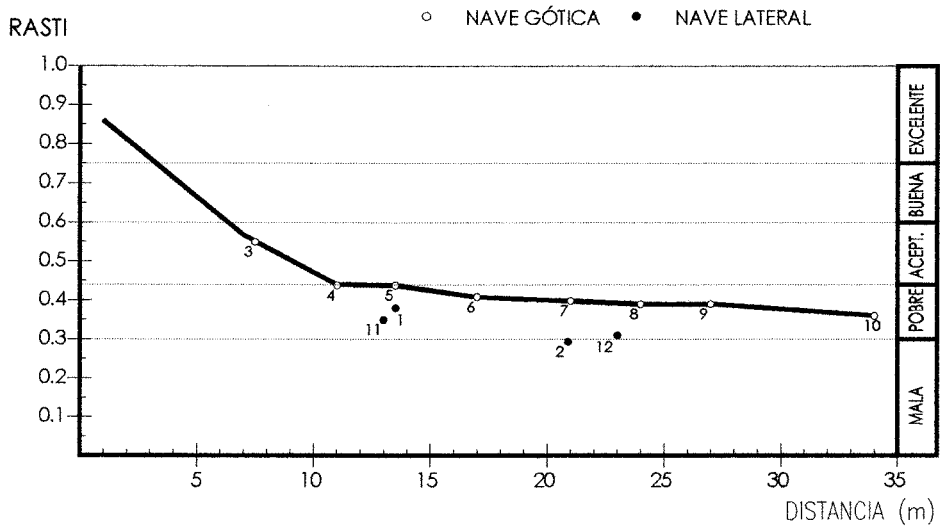


Fig. 5.14. Índice RASTI frente a la distancia. Medido vacío.

En general la inteligibilidad en la iglesia se puede calificar como "pobre", aunque la disminución de este índice con la distancia es mínima, presentando una distribución homogénea del índice RASTI a partir del segundo vano de la nave central (valores entre 0.44 y 0.39)²⁵. A este respecto, conviene recordar que la medición se efectuó con la iglesia vacía.

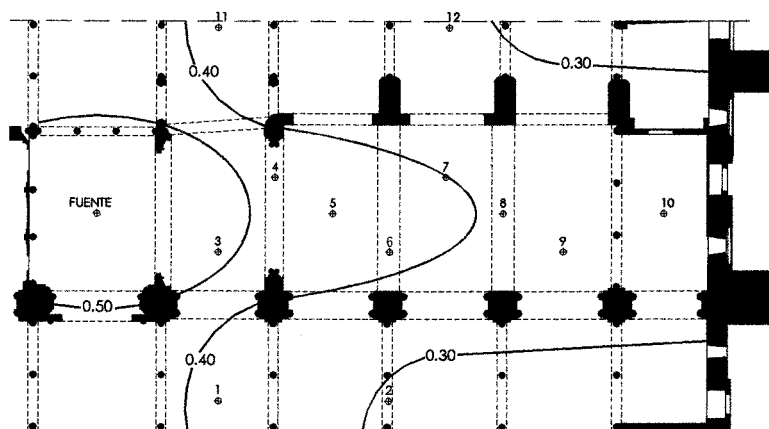


Fig. 5.15. Distribución del índice RASTI. Medido vacío.

En puntos exteriores a la nave gótica, en las naves laterales, existe una disminución importante del índice RASTI, posiblemente por una falta de sonido directo, provocado por las sombras acústicas que producen los soportes intermedios.

Utilizando de nuevo el programa informático de simulación, se ha evaluado la inteligibilidad mediante la obtención de los valores del índice RASTI. Para evaluar el grado de adaptación del modelo a la medición se comparan los valores del índice RASTI en los diferentes puntos (tabla 5.6). Para la iglesia vacía los valores del índice RASTI estimados resultan superiores a los obtenidos en la medición, sobre todo en los puntos más alejados a la fuente. Esto nos ha llevado a obtener un factor de corrección del índice RASTI, con el fin de obtener valores fiables cuando hacemos la estimación de este índice para la iglesia llena de público. La diferencia entre los valores medidos y estimados, puede tener su origen en los efectos de ruido de fondo debido a la cola reverberante, producido por el sonido que retorna a la nave gótica desde las naves laterales, lo que supone una mayor degradación de la señal en la medición frente a la estimación teórica.

	3	4	5	6	7	8	9	10
Medido	0.56	0.44	0.43	0.41	0.40	0.39	0.39	0.36
Simulación actual. Vacío	0.57	0.52	0.48	0.42	0.43	0.43	0.46	0.39
Factor de corrección.	0.98	0.85	0.89	0.98	0.93	0.85	0.85	0.92

Tabla 5.6. Valores RASTI medidos y estimados teóricamente. Iglesia vacía.

Cuando la iglesia se ocupa con público sentado en sillas, existe un ligero aumento de los valores del índice RASTI (tabla 5.7), y se puede considerar, en general, la inteligibilidad como "aceptable".

	3	4	5	6	7	8	9	10
Estimado con público	0.62	0.46	0.46	0.45	0.43	0.43	0.40	0.39

Tabla 5.7. Valores RASTI estimados teóricamente. Iglesia con público en sillas.

Los valores estimados de definición (figura 5.16 y tabla A5.7 del apéndice 5), muestran unos valores inferiores al valor mínimo recomendado, lo que supone una inadecuada inteligibilidad para la palabra, fruto de la escasez de primeras reflexiones y del exceso de sonido reverberante.

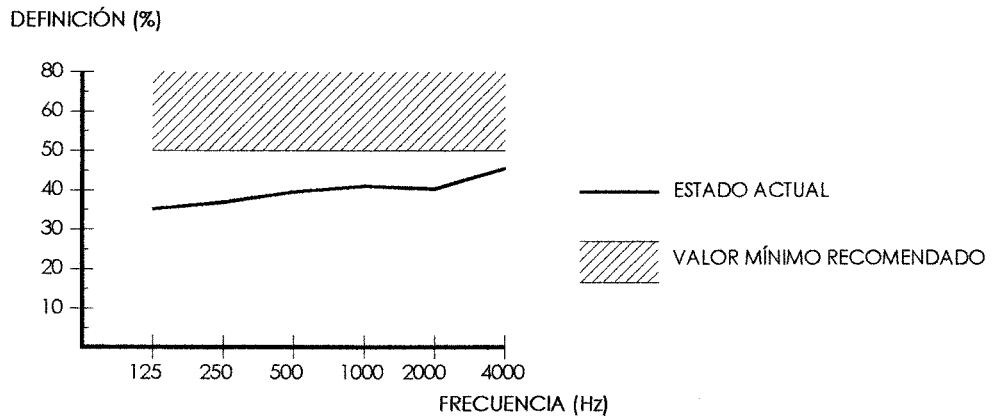


Fig. 5.16. Valor de definición. Estimado con público.

Los valores de claridad musical se encuentran dentro de la banda óptima propuesta por Marshall para salas ocupadas (figura 5.17 y tabla A5.8 del apéndice 5).

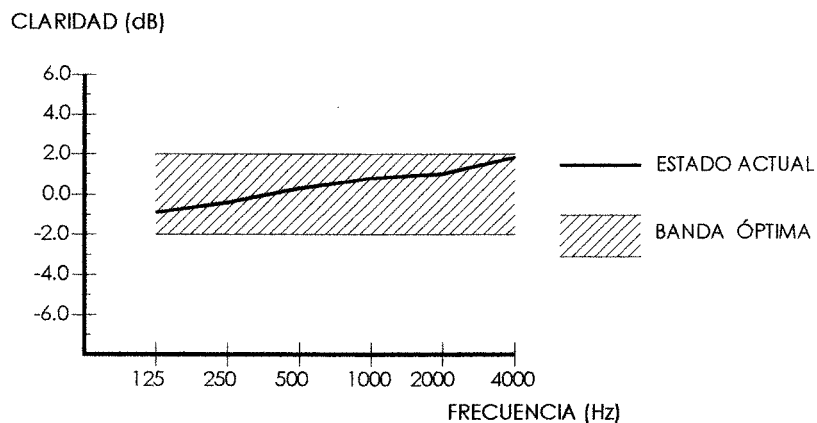


Fig. 5.17. Valor de claridad musical. Estimado con público.

RUIDO DE FONDO.

La medición efectuada del nivel de ruido de fondo en la iglesia se presenta en la tabla A5.4 del apéndice 5^o. El valor obtenido para el nivel sonoro continuo equivalente L_{eq} de 31.2 dBA, resulta sensiblemente inferior al máximo admitido para iglesias de 40 dB(A). Conviene recordar, no obstante, que la medición se efectuó sobre las 23 horas.

OTROS PARÁMETROS.

Volumen: 4750 m³

Longitud capilla Villaviciosa: 7.60 m.

Ancho capilla Villaviciosa: 9.30 m.

Altura capilla Villaviciosa: 15.10 m.

Longitud nave: 26.75 m.

Ancho nave: 9.90 m.

Altura nave: 15.00 m.

Longitud total iglesia: 40.90 m.

Area de audiencia: 267 m².

Aforo: 356 personas sentadas.

Relación volumen/plaza: 13.34. (Rango 5.1-9.1)

Relación volumen/área de audiencia: 17.78 (Rango 9.2-12.0)

Relación área de audiencia/plaza: 0.75 (Rango 0.63-0.75)

CONCLUSIONES.

Se observan unos tiempos de reverberación próximos a los óptimos para la música, a pesar del volumen y la falta de ornamentación, cuando la sala se encuentra ocupada por público sentado en sillas, debido a la importante absorción de las superficies de separación con las naves musulmanas, espacios acoplados a la nave gótica. No obstante, los valores obtenidos son algo elevados a bajas y medias frecuencias. La curva tonal se aleja bastante de la óptima para la palabra. Del valor de brillo se deduce que existe una carencia de sonido rico en armónicos.

La distribución del nivel sonoro dentro de la nave es homogénea, no observándose focalizaciones importantes del sonido. Se aprecia una falta de difusión sonora, con una atenuación del nivel sonoro con la distancia, por lo que se tendrá una sensación subjetiva de sala algo más viva de lo que a priori cabría pensar, dado su tiempo de reverberación.

De los ecogramas se desprende que existe una importante cola reverberante, que proviene del sonido que abandona la nave gótica y vuelve tras diferentes reflexiones en la zona de la mezquita, aunque con una notable pérdida de nivel sonoro, lo que puede dar la sensación de un excesivo ruido de fondo interior. Así mismo, existe falta de intimidad acústica, que junto con los valores de sonoridad son los responsables de la falta de espacialidad y de una adecuada amplificación del sonido. La sala necesita, pues, reflexiones que aumenten esa sonoridad y la impresión espacial²⁷.

En cuanto a la inteligibilidad, el índice RASTI con la iglesia ocupada, permite valorar la inteligibilidad como "aceptable", aunque los valores de definición, inferiores al valor mínimo recomendado de 50%, hacen inadecuada la iglesia para el uso de la palabra. En cuanto a la claridad musical, los valores obtenidos se encuentran dentro de la banda óptima, con valores altos de claridad para las altas frecuencias.

Dado su volumen, existe una elevada relación volumen/plaza, y relación volumen/área de audiencia, algo muy común en la mayor parte de nuestras iglesias y catedrales.

En general, se considera que las condiciones acústicas de este espacio son mejores de lo que cabría pensar a priori, dada sus condiciones geométricas y espaciales, sobre todo para la música; mientras que son más desfavorables para el uso de este espacio para la palabra.

La configuración que presentaba este espacio hasta el siglo XIX, con el presbiterio cerrado en tres de sus lados, que actuaría como amplificador del sonido en las proximidades de la fuente sonora, la disposición del retablo, como elemento difusor, y el "ajuar" litúrgico, que aumentaría la absorción sonora, favorecería una considerable mejora de las cualidades acústicas de este espacio.

La configuración espacial histórica es el resultado de un espacio favorable para la música polifónica, en la que cada melodía se trata de forma independiente, con múltiples combinaciones de voces superpuestas, y por lo tanto con una concepción musical horizontal²⁸, en la que no es necesaria la inteligibilidad del texto²⁹.

Las actuaciones que se acometan, para mejorar las disfunciones acústicas detectadas en este espacio, deben centrarse en el aumento de primeras reflexiones laterales, que mejoren la sonoridad y la impresión espacial, así como mantener el sonido dentro de la nave gótica, evitando que éste se transfiera a las naves musulmanas, controlando de esta forma el sonido reverberante. Así mismo, se intentará aumentar la absorción sonora, principalmente a bajas y medias frecuencias, lo que se traducirá en una disminución del tiempo de reverberación de la iglesia y una mejora de la inteligibilidad.

Propuesta de intervención.

La permeabilidad acústica existente entre la capilla de Villaviciosa y las naves de la mezquita, es la principal causa de los problemas acústicos detectados en este espacio. Esta permeabilidad es la responsable de la falta de primeras reflexiones y de la transferencia de sonido entre ambos espacios, que se traduce en falta de intimidad acústica, de difusión sonora, y en la aparición de un sonido reverberado, que proviene de las naves laterales, que genera una sensación de ruido de fondo interior. Además, convendría disminuir los valores del tiempo de reverberación a bajas y medias frecuencias, consiguiendo un adecuado equilibrio espectral del sonido .

La solución a estos problemas acústicos, pasa por una intervención en los planos de unión entre el espacio gótico y el musulmán, que garantice que se mantenga el sonido en el primer espacio y controle la cesión de energía al espacio acoplado. No obstante, debe mantenerse ese acoplamiento acústico, pues éste es en parte responsable de los relativamente bajos valores del tiempo de reverberación que presenta este espacio.

Se ha de buscar una solución de compromiso, de forma que el espacio cristiano mantenga sus características de espacio abierto, diáfano y permeable, puesto que estos valores son los que responden a la maestría de su inserción, y a una adecuada lectura del espacio islámico, ya que mantiene la valoración de éste como un espacio continuo e indeferenciado.

Además la propuesta de intervención debe ser rigurosa y parecer que no ha existido intervención arquitectónica, lo cual parece más honesto con la historia, dado el carácter emblemático del edificio. Por ello se buscará rescatar y redimensionar valores preexistentes, establecer nuevas referencias que permitan una lectura de la estructura y concepción de este espacio, construyendo un nuevo orden, dentro de una atmósfera de contención y valoración de las texturas, colores y materiales empleados, todo ello enmarcado en el pensamiento de Eugenio D'Ors, "Todo lo que no es tradición, es plagio".

La intervención se plantea sobre tres elementos: presbiterio, planos de separación de la nave gótica con las musulmanas y fondo de la nave, en la separación con el nártex.

En el presbiterio se dispone un entarimado, a modo de escena, que eleve el plano en el que se sitúa la fuente, a una altura aproximada de 0.85 m, de forma que se mejore la visibilidad desde la nave, y por lo tanto el sonido directo no sea obstruido por los espectadores que se encuentran delante. Además, la capilla de Villaviciosa se delimita lateralmente mediante paños de vidrio hasta una

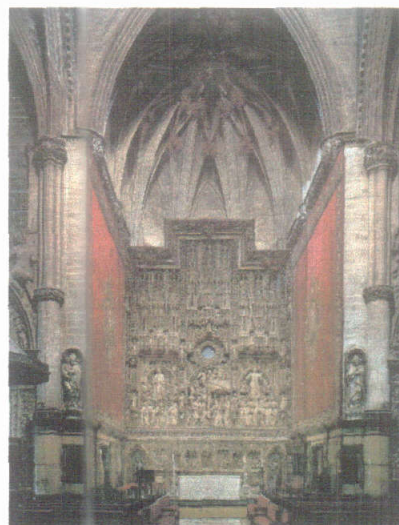
altura de 2.65 m, solución con precedente en el cerramiento que existió hasta el siglo XIX. Estos cerramientos laterales de vidrio, además, producirán reflexiones cortas, dada su proximidad a la fuente sonora, con un cierto grado de difusión sonora, por tratarse de membranas, lo que reforzará adecuadamente el sonido directo, ayudando a aumentar la inteligibilidad y claridad en la nave gótica.

En la nave se propone una intervención de borde, con muros o límites que se transforman, acotando el espacio gótico por cortinas laterales, que se descuelgan desde los ventanales hasta una altura de 2.25 m en los cuatro vanos de la nave gótica, de forma que no se interfiera la diafanidad horizontal anteriormente descrita y se refuerce el carácter basilical de este espacio, entendiéndose estos cortinajes más como un fondo que como barrera drástica.

Esta solución ha sido utilizada anteriormente en este espacio, existiendo unas cortinas de seda de Damasco, con forro interior pesado, que se colocaban en las celebraciones del Jueves Santo, hasta las reformas del Concilio Vaticano II del año 1965. Esta utilización está arraigada en la tradición; así las primeras basílicas cristianas, presentaban unos cortinajes que cerraban los intercolumnios y creaban unos espacios diferenciados entre la nave principal y las naves laterales³⁰.



Catedral de Tarazona.

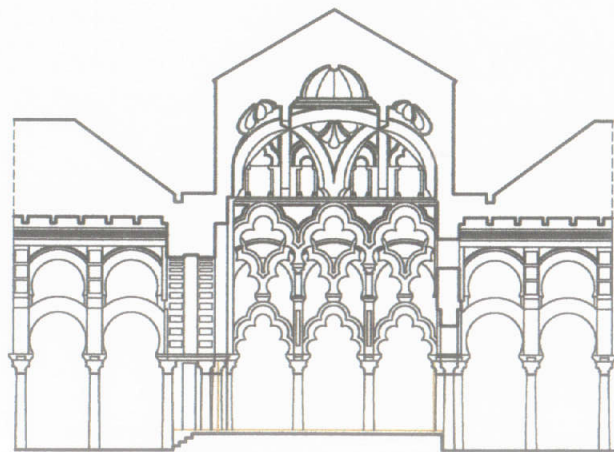


Seo de Zaragoza.

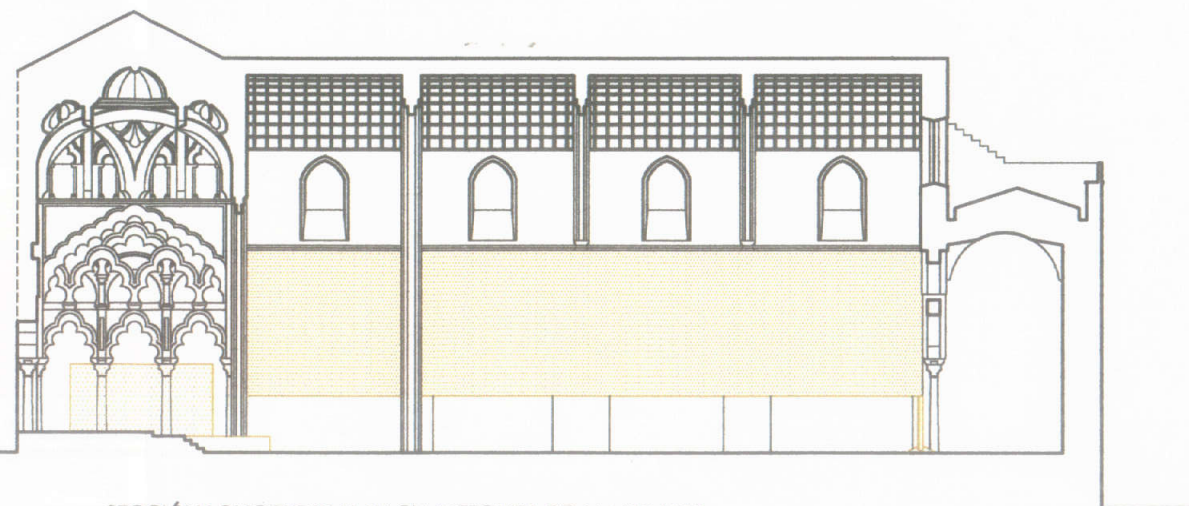
Fig. 5.18. Disposición lateral de cortinajes

Desde un punto de vista acústico, estos elementos desmontables ayudarán a mantener el sonido dentro de la nave gótica, evitando excitar las naves musulmanas y, por lo tanto, controlando el sonido de la cola reverberante.

En el fondo de la nave, se dispone un panel de madera con una altura de 2.25 m, que acote espacialmente la nave, impidiendo un acceso directo a ésta desde el exterior³¹. Este panel de madera formado por un panel de madera perforada y lana de vidrio en la cámara, actúa como un resonador múltiple selectivo, que presenta la máxima absorción para los sonidos graves. La disposición de listones de madera, le proporcionan características de un paramento difusor, que permite reflexiones de fondo de carácter también difuso, evitando la formación de posibles ecos (plano 5.3).



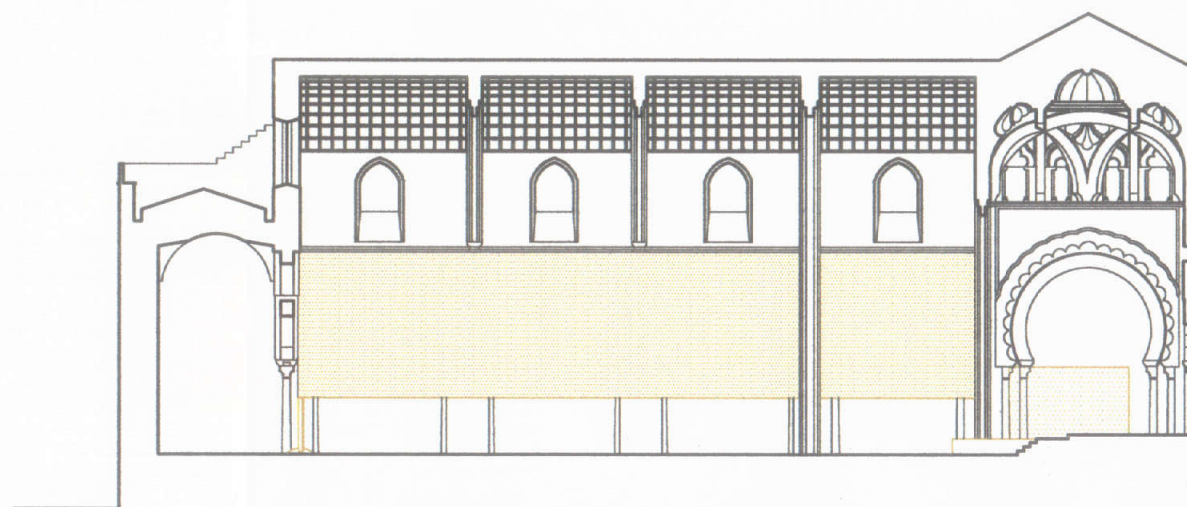
SECCIÓN EJE VILLAVICIOSA



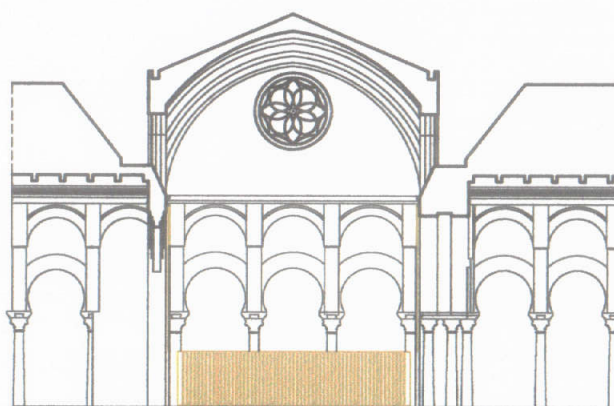
SECCIÓN LONGITUDINAL HACIA MEZQUITA DE AL-HAKAM II



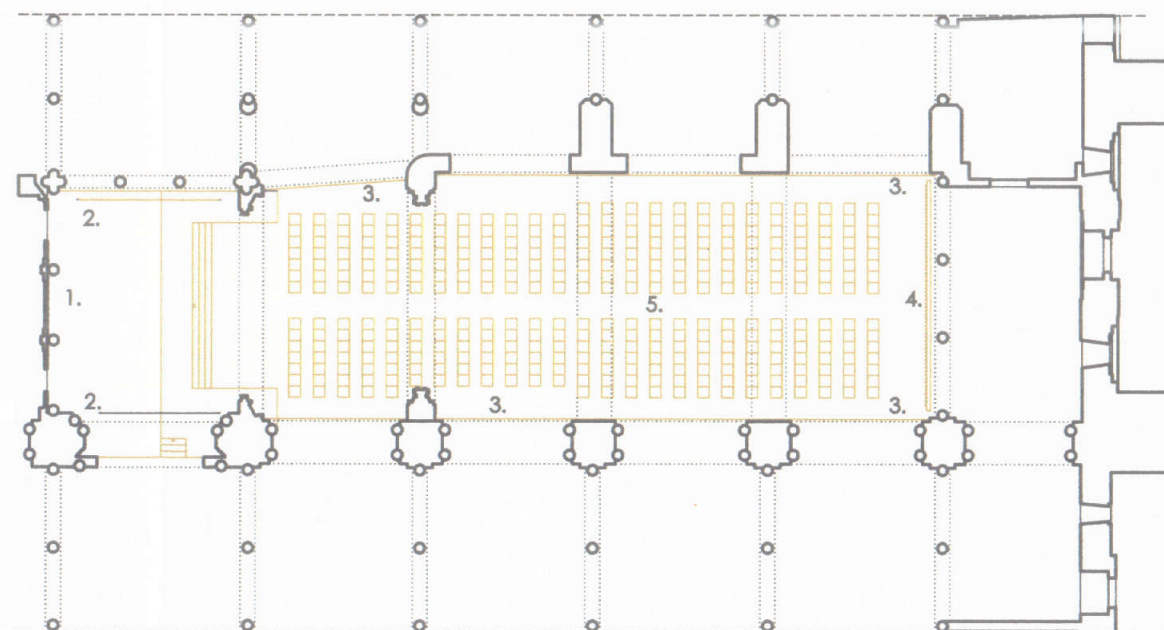
SECCIÓN HACIA CAPILLA VILLAVICIOSA



SECCIÓN LONGITUDINAL HACIA MEZQUITA DE ABDERRAMAN II



SECCIÓN HACIA NARTEX



1. Entarimado de madera. 2. Panel de vidrio. 3. Cortinas desplegadas. 4. Panel madera difusor-absorbente. 5. Sillas de madera.



Fig. 5.19. Vista del presbiterio desde la nave y desde el lateral de la capilla de Villaviciosa

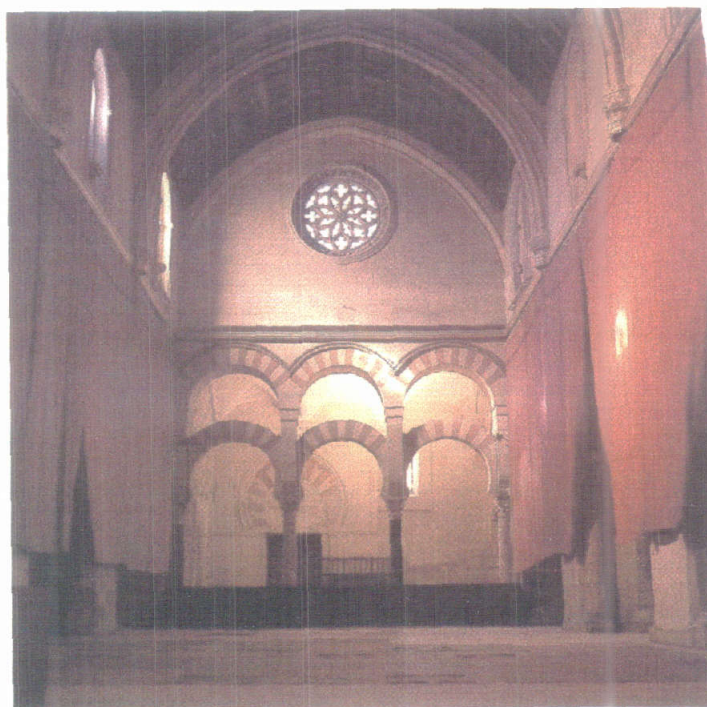


Fig. 5.20. Vista de la nave con el cortinaje lateral.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

La previsión de los tiempos de reverberación de acuerdo con la propuesta de intervención se ha efectuado utilizando la fórmula de Sabine. En la tabla 5.8 se expresan los coeficientes de absorción de las distintas superficies, revestimientos y mobiliario. Se ha mantenido la hipótesis de ocupación con público sentado en sillas en la nave gótica.

Resulta de difícil valoración el coeficiente de absorción de las cortinas en los arcos laterales de separación con la mezquita³², por lo que se ha estimado a partir de las mediciones efectuadas en la iglesia-teatro del Carmen de Vélez-Málaga³³.

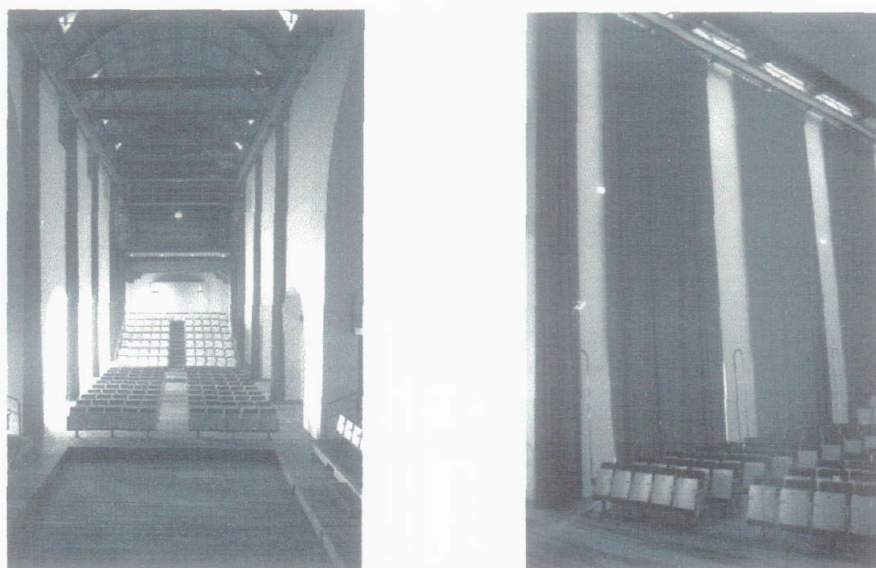
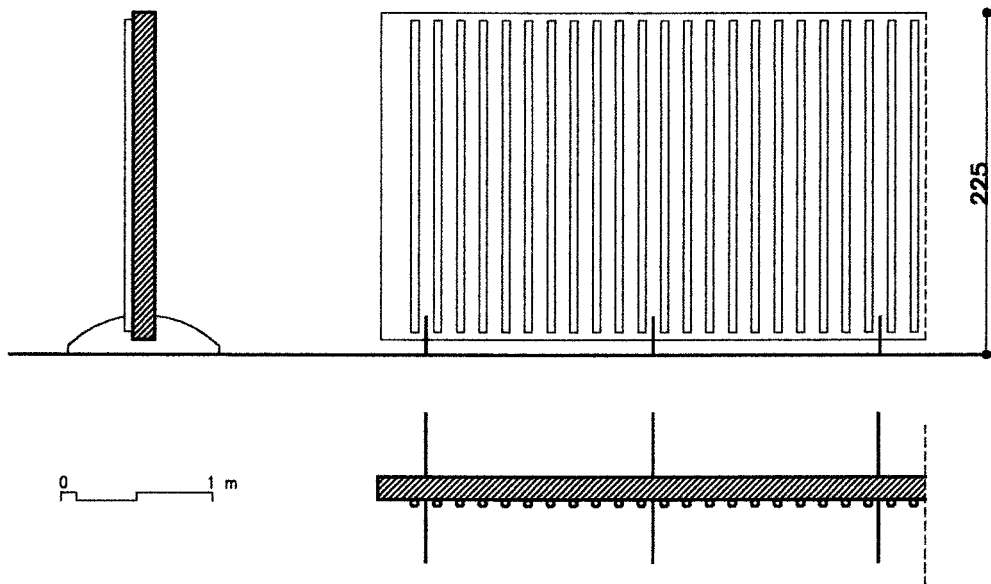


Figura 5.21. Iglesia-teatro del Carmen de Vélez-Málaga. A. González Cordón.

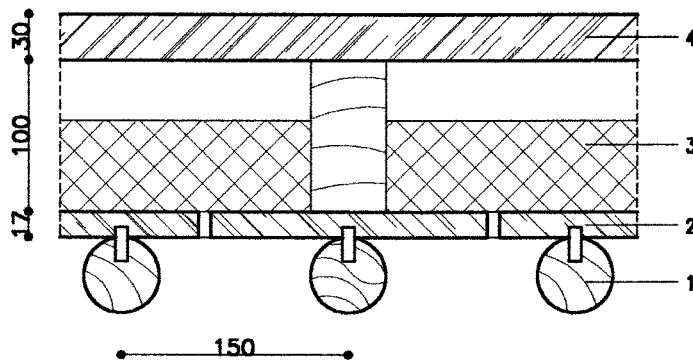
MATERIAL	SUP. m ²	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Público en sillas	267	0.24	0.32	0.51	0.60	0.59	0.56
Mármol	318	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
Entarimado madera	70	0.09	0.09	0.08	0.09	0.10	0.07
Revoco de cal	132	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07
Vidrio	82	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
Madera	5	0.16	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
Piedra arenisca	879	0.02	0.02	0.06	0.08	0.04	0.05
Superficie virtual	241	0.29	0.29	0.21	0.24	0.32	0.34
Cortinas	137	0.05	0.12	0.35	0.45	0.38	0.36
Cortinas en arcos	206	0.57	0.56	0.62	0.55	0.52	0.65
Bóveda	60	0.05	0.06	0.07	0.09	0.07	0.08
Cubierta madera	277	0.16	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
Panel de madera ³⁴	22	0.80	0.94	0.46	0.27	0.13	0.09
Aire (m ³)	4700					0.008	0.021
SUPERFICIE TOTAL	2381						

Tabla 5.8. Características absorbentes de los diferentes materiales.

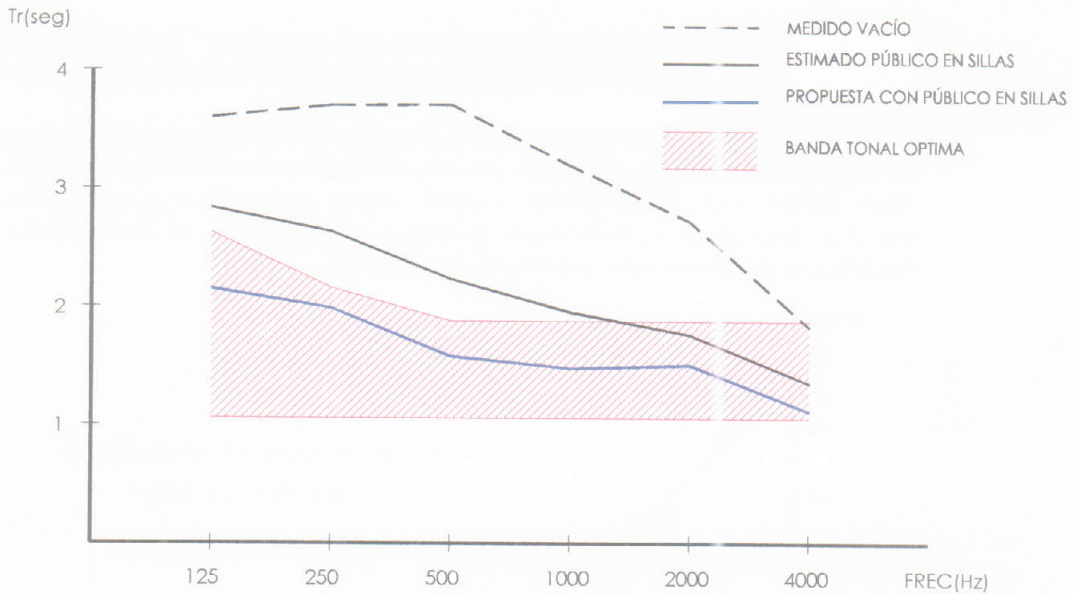


PLANTA, ALZADO Y SECCION DEL PANEL Escala 1:50. (cotas en cm.)

1. Listón de madera $\varnothing 50$ mm. fijado con clavijas de 8 mm.
2. Panel de madera 17 mm. espesor con perforaciones $\varnothing 8$ mm. en un 5%.
3. Lana de vidrio de 60 mm. de espesor.
4. Panel de madera 30 mm. de espesor.



DETALLE SECCIÓN HORIZONTAL Escala 1:5. (cotas en mm.)



	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Medido vacío	3.61	3.70	3.67	3.20	2.73	1.83
Estimado público	2.84	2.63	2.24	1.95	1.77	1.35
Propuesta público	2.16	1.99	1.58	1.48	1.51	1.12
Óptimo música	2.63	2.16	1.88	1.88	1.88	1.88
Óptimo palabra	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06

Figura 5.22. Tiempos de reverberación medido, estimado y óptimos.

Los tiempos de reverberación obtenidos a partir de esos coeficientes de absorción se recogen en la figura 5.22, así como una comparación con los tiempos de reverberación óptimos propuestos por Beranek para la palabra y la música.

La curva tonal de la propuesta con público, se ajusta a los valores óptimos del tiempo de reverberación para la música a bajas frecuencias, y se encaja dentro de la zona central de la banda óptima (palabra-música) para los sonidos medios y agudos especialmente a estos últimos por la absorción que proporciona el aire, dado su gran volumen. En consecuencia, podemos afirmar que la iglesia llena de público, así corregida, tendrá en general unos valores del tiempo de reverberación adecuados para el uso musical.

La previsión que se hace de los índices de calidez y brillantez en la propuesta (tabla 5.9) supone una mejora, respecto al estado actual, del índice de brillantez, manteniéndose el de calidez, por lo que existe una mejora en el balance tonal.

	BR	Br
Estimado con público	1.35	0.86
Valores recomendados	1.1÷1.45	>0.87

Tabla 5.9. Valores de calidez y brillo. Propuesta con público en sillas.

DISTRIBUCIÓN SONORA.

Mediante el programa informático, se analiza la distribución sonora, manteniendo la potencia de emisión establecida en la medición in situ.

Los valores de presión sonora en la propuesta son parejos a los obtenidos en el estado actual (figura 5.21) no produciéndose una disminución de la caída del nivel sonoro con la distancia, como cabría esperar al aumentar la absorción sonora, debido al aumento de primeras reflexiones y la disminución del sonido retardado que proviene de las naves laterales.

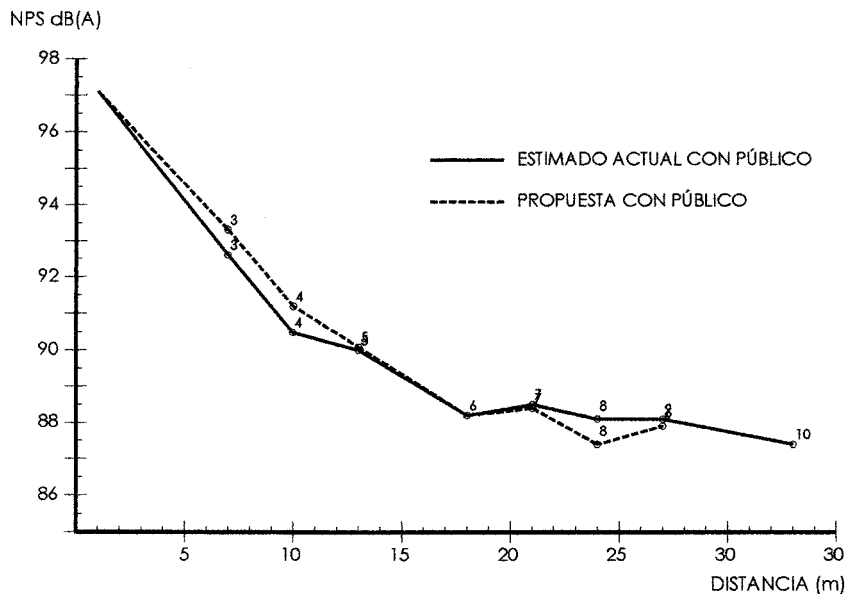


Fig. 5.23. Nivel de presión sonora respecto a la distancia.

Se han representando los niveles de presión sonora global estimados en función de la distancia a la fuente, y se han comparado con los valores previstos por el modelo clásico y de Barron (fig. 5.24). Los niveles sonoros estimados se acercan a los previstos por el modelo de Barron. El aumento de primeras reflexiones y la disminución del sonido reverberante retardado procedente de las naves laterales favorecen la mejora de distribución sonora y el aumento de la difusión.

Se realiza un estudio teórico de las reflexiones que se producen en la iglesia, su intensidad y desfase respecto del sonido directo (figura A5.5 del apéndice 5). Del análisis de los ecogramas se desprende que existe una importante mejora en la distribución sonora, ya que al acotar lateralmente el presbiterio con los paneles de vidrio, y la nave con las cortinas en los arcos laterales, se logra reducir sensiblemente la penetración del sonido en las naves musulmanas, y en consecuencia, la excitación sonora de estos espacios. Esto contribuirá a disminuir claramente el número de reflexiones tardías y a reforzar las primeras reflexiones cortas, principalmente producidas en los paneles de vidrio, dada su proximidad a la fuente sonora, lo cual se traducirá, entre otras cosas, en un aumento de la impresión espacial de la sala y de la intimidad acústica, aspectos positivos para el uso musical, al mismo tiempo que se repercutirá favorablemente en la mejora de la inteligibilidad y claridad en la iglesia³⁵.

La cola reverberante que tiene su origen en las reflexiones del sonido en el panel de madera del fondo, no constituye un problema relevante, ya que este panel tiene un carácter difusor, alejado, por lo tanto, del comportamiento como reflector de tipo especular tratado por el mencionado programa informático.

Los valores de sonoridad (tabla A5.12 del apéndice 5) presentan un valor medio de 4.7 dB, similar al obtenido en el estado actual.

$L_p - L_{pref}$ (dB)

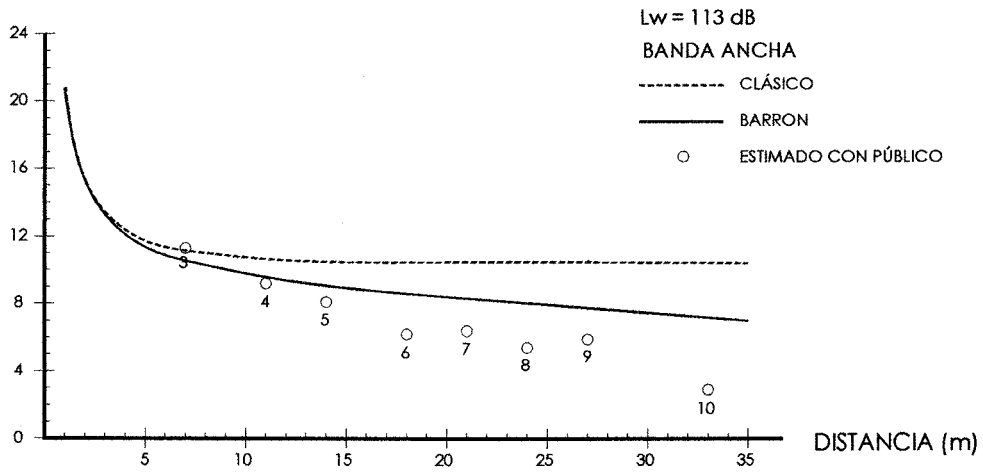
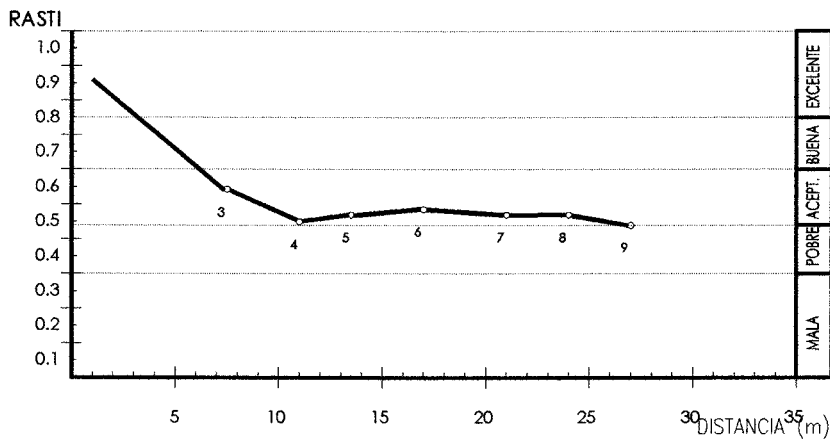


Fig. 5.24. Comportamiento estimado del campo acústico frente a la distancia. Propuesta.

INTELIGIBILIDAD

Utilizando el programa informático de simulación, se ha evaluado la inteligibilidad de la sala con público, a partir del índice RASTI.



	3	4	5	6	7	8	9
Propuesta con público	0.54	0.45	0.47	0.47	0.47	0.44	0.45

Fig. 5.25. Índice RASTI frente a la distancia. Propuesta.

Como ya se ha mencionado en el apartado correspondiente a la inteligibilidad del estado actual, se ha obtenido a partir de los resultados de la medición un factor corrector que se aplica a los valores de predicción del índice RASTI para hacer éste más fiable. Todos esos valores para diversos puntos representativos de la nave, se expresan en la figura 5.25. Los valores de inteligibilidad permiten calificar ésta como "aceptable".

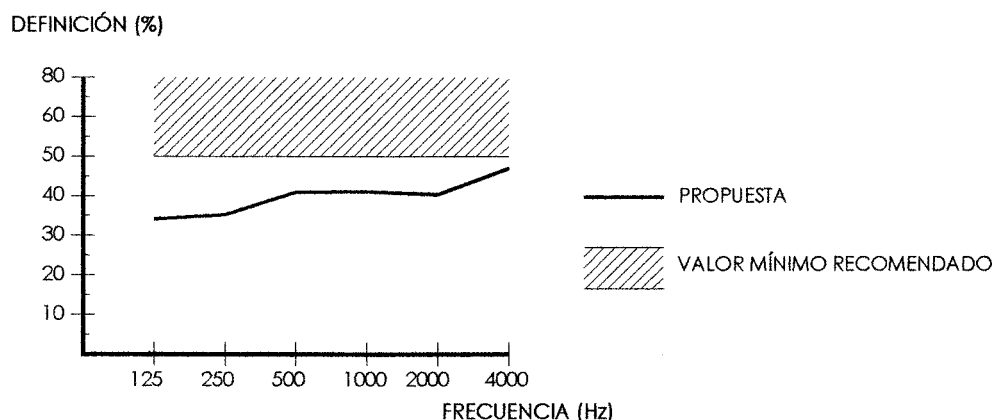


Fig. 5.26. Valor de definición, estimado con público. Propuesta.

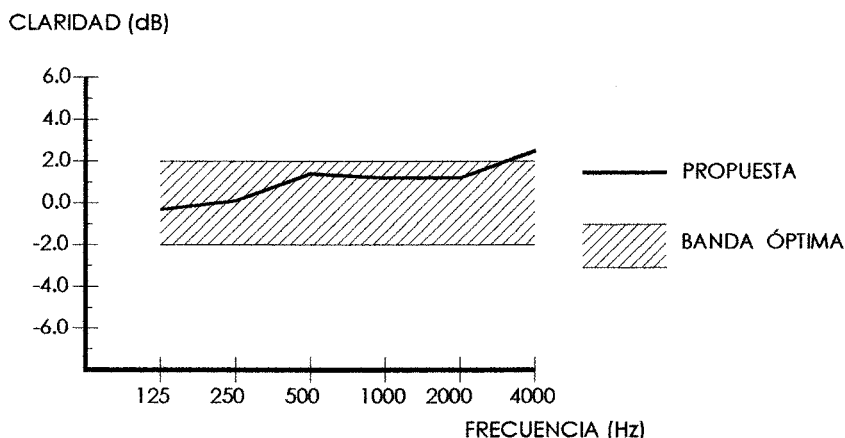


Fig. 5.27. Valor de claridad musical, estimado con público. Propuesta.

Los valores del índice RASTI obtenidos no son los más apropiados para actividades asociadas al uso de la palabra, lo que queda confirmado con los valores estimados de definición (figura 5.26 y valores en cada punto en la tabla A.5.10 del apéndice 5), con valores inferiores al valor mínimo recomendado del 50%.

Para la claridad musical, los valores se encuentran dentro de la banda considerada como óptima, cuando la sala está ocupada (figura 5.27 y tabla A.5.11 del apéndice 5), con valores algo superiores para altas frecuencias, debido a la mayor absorción sonora existente a estas frecuencias.

OTROS PARÁMETROS.

Volumen: 4700 m³

Longitud capilla Villaviciosa: 7.60 m.

Ancho capilla Villaviciosa: 9.30 m.

Altura capilla Villaviciosa: 14.25 m.

Longitud nave: 26.75 m.

Ancho nave: 9.90 m.

Altura nave: 15.00 m.

Longitud total iglesia: 40.90 m.

Area de audiencia: 267 m².

Aforo: 356 personas sentadas.

Relación volumen/plaza: 13.34. (Rango 5.1-9.1)

Relación volumen/área de audiencia: 17.78 (Rango 9.2-12.0)

Relación área de audiencia/plaza: 0.75 (Rango 0.63-0.75)

CONCLUSIONES

La capilla de Villaviciosa, presenta una adecuada reverberación para la música, mientras que los tiempos de reverberación resultan un poco altos para la palabra, principalmente a bajas y medias frecuencias. La calidez es adecuada, por lo que podrá ser percibida la "suavidad" de la música, al igual que la brillantez, que garantizará la riqueza de armónicos a las audiciones musicales.

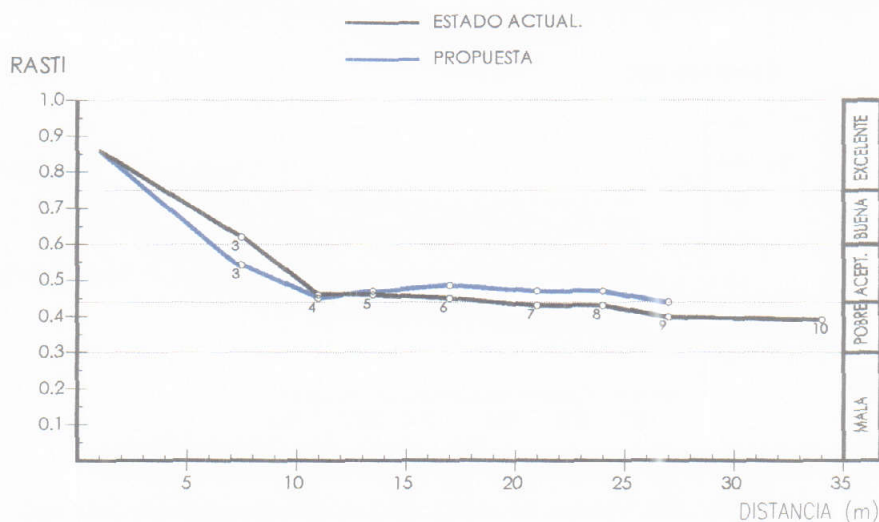


Fig. 5.28. Índice RASTI frente a la distancia, estimado con público.

La distribución sonora en la iglesia es homogénea. Los paños de vidrio refuerzan la capacidad amplificadora del presbiterio, aumentando las primeras reflexiones y, sobre todo junto con los cortinajes, imposibilitando que parte de la energía sonora se pierda en las naves musulmanas y retorne a la nave gótica posteriormente, eliminándose prácticamente la cola reverberante que provenía de la zona de la mezquita, susceptible de generar una sensación de ruido de fondo en el espacio gótico. Estas soluciones mejoran la difusión sonora y la intimidad espacial, no existiendo una disminución del nivel sonoro, a pesar de aumentar la absorción sonora.

No obstante, la potencia de emisión debe controlarse, para que ésta no sea excesiva, puesto que las naves musulmanas son más reverberantes que la nave gótica y, por tanto se puede producir una amplificación del sonido no deseable proveniente de estos espacios adyacentes.

Los valores del índice RASTI permiten calificar la inteligibilidad como "aceptable", pero los valores obtenidos de definición son inferiores al valor mínimo recomendado, por lo que para la utilización de este espacio para actividades asociadas al uso de la palabra, será necesario que el orador eleve sensiblemente la voz al dirigirse a la audiencia, de forma que este aumento de nivel sonoro suponga un aumento de la inteligibilidad.

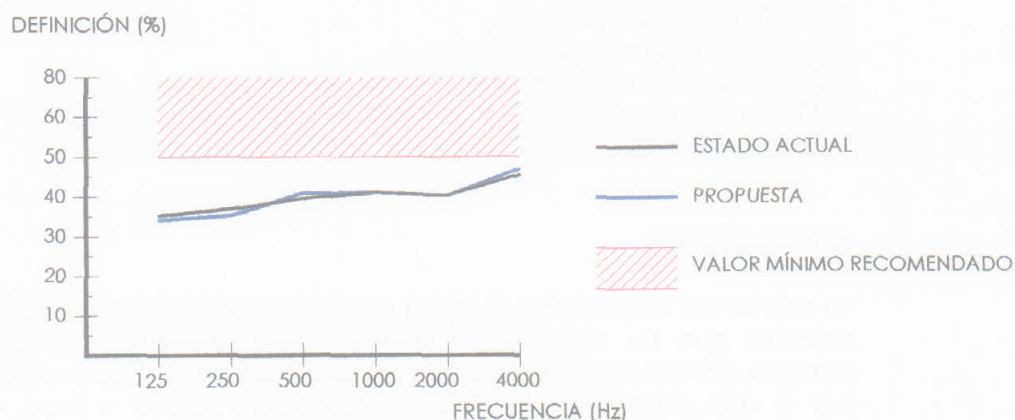


Fig. 5.29. Valores de definición, estimados con público.

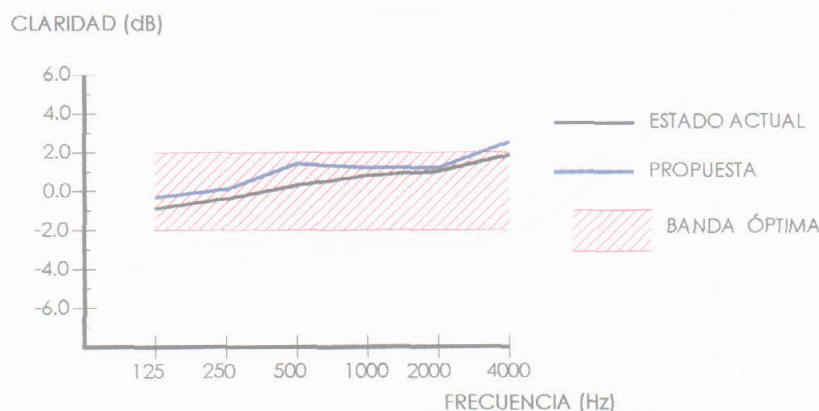


Fig. 5.30. Valores de claridad musical, estimados con público.

Los valores de claridad musical se encuentran dentro de la banda óptima, por lo que se percibirá adecuadamente la separación entre los diferentes sonidos individuales de la composición musical.

En resumen, este espacio, presenta unas características acústicas, que lo hacen apropiado para la interpretación musical, principalmente de música clásica, (Haydn, Mozart, Beethoven...), formas musicales en las que predomine la estructura frente al detalle, en donde se busque un equilibrio entre claridad y reverberación.

Se considera también adecuado este espacio para la interpretación de cierta música de cámara, en la que no se exija un exceso de detalle³⁶, y permita oírse de forma correcta las líneas musicales interpretadas.

La utilización de cortinajes laterales, además del grado de ocupación, constituyen mecanismos de absorción variable que permiten adaptar la acústica de la iglesia al tipo de obra musical específica, de manera que sus tiempos de reverberación a las distintas frecuencias estén lo más próximos a los óptimos de acuerdo a ese uso.

NOTAS.

¹ GALA, A. *El manuscrito carmesí*. Planeta, Barcelona 1990, p. 235.

² La elección del lugar se debió fundamentar, según NIETO CUMPLIDO, M. en que se hallaba bajo una cúpula que proporcionaba luz y preeminencia a la celebración (visible al menos por tres costados) y por la orientación litúrgica de la celebración cristiana, siendo una ocupación con el mínimo gasto posible. *La Catedral de Córdoba*. Cajasur, Córdoba 1998, p. 450.

³ "Esta techumbre es la única de este tipo existente en Córdoba, siendo la cubierta más frecuente en esta época las bóvedas estrelladas; por tal motivo, es una excepción y su construcción pudo estar condicionada por la cubrición de las naves musulmanas con techumbre de madera". JORDANO BARBUDO, M.T. *Arquitectura medieval cristiana en Córdoba*. Universidad de Córdoba, Córdoba 1996, p. 200.

⁴ "En su tiempo debió ser de gran vistosidad esta techumbre, pues dichos casetones se hallaban policromados en distintos colores dispuestos alternativamente y, además, estaban decorados con motivos vegetales". *Ibidem*.

⁵ JIMÉNEZ MARTIN, A. "La Mezquita de Córdoba" *Cuadernos Historia 16*, Madrid 1995, p. 22.

⁶ CHUECA GOITIA, F. explica las relaciones existentes entre arquitectura y teología en el espacio musulmán, niega la forma completa y establece la discontinuidad como característica espacial; la mezquita se llena de pantallas diáfanos, verdaderos filtros visuales, que eliminan la sensación de continuidad y el punto de fuga, sólo existe el fondo plano de la quibla, sutilmente velado y escondido. *Invariantes castizos de la arquitectura española. Invariantes en la arquitectura hispanoamericana. Manifiesto de la Alhambra*. Dossat, Madrid 1981, pp. 57 y ss.

⁷ CAPITEL, A. *Metamorfosis de monumentos y teorías de la restauración*. Alianza Forma, Madrid 1988, p. 76.

⁸ *Ibidem* p. 62.

⁹ NIETO CUMPLIDO, M. op. cit., pp. 449-456.

¹⁰ El desarrollo en el siglo XVI de la música religiosa va asociado a las catedrales, surgiendo de forma plena la polifonía. "Los niños cantaban las partes agudas de la música eclesiástica, e indudablemente en motetes, en tanto que las partes graves parece haber sido ejecutadas con frecuencia por instrumentos" ROBERTSON, A. y STEVENS, D. (Dirección). *Historia general de la música*, Tomo I. Ediciones Istmo, Madrid 1979, p. 433.

¹¹ Las capillas de ministriles estaban formadas por un grupo de instrumentos de viento, que venían a formar un cuarteto de las mismas características que el vocal y que solían reforzar la voz, llegando incluso a suplirla. La mejora acústica de esta incorporación se recoge en el acuerdo de 26 de julio de 1553 en la catedral de Sevilla que dice: "... que la sancta iglesia fuese servida con todo género de música onesta, como son los menestres, porque siendo tan insigne y grande el templo, como lo es, tiene mucha necesidad de la dicha música por su sonoridad..." RUBIO, S. *Historia de la música española. Desde el "ars nova" hasta 1600*. Alianza Editorial, Madrid 1983, p. 16.

¹² "Los coros en esta época no suelen ser muy grandes, de unas 10 personas, que cantaban cerca del facistol, con instrumentos que apoyaban la polifonía vocal" ROBERTSON, A. y STEVENS, D. (Dirección). *Historia general de la música*, Tomo II. Ediciones Istmo, Madrid 1979, p. 91.

¹³ El órgano aparece como fruto de la incipiente emancipación de la música instrumental, ya que es el primer instrumento enteramente "cromático" y por lo tanto polifónico y armónico.

¹⁴ Una vez decidido en 1607 el traslado al nuevo crucero, se mudan las sillas corales y se quitan las paredes y rejas que cerraban el coro, pero no las del presbiterio. NIETO CUMPLIDO, M. op. cit., pp. 453.

¹⁵ Actualmente en el asilo de Jesús Crucificado.

¹⁶ NIETO CUMPLIDO, M. y LUCA DE TENA Y ALVEAR, C. *La Mezquita de Córdoba: planos y dibujos*. C.O.A.A.Occ. Córdoba 1991, p. 26. Además en esta obra, se pueden consultar las plantas de Salazar y Góngora de 1741, Ponz de 1791 y Villanueva-Arnal de 1804, en donde se observa el cerramiento del presbiterio de forma invariante.

¹⁷ La mitad de este monumento se encuentra como retablo mayor en la iglesia parroquial del Salvador en Peñarroya-Pueblonuevo desde 1991.

¹⁸ El volumen considerado está formado por la capilla de Villaviciosa, la nave gótica y parte de la primera nave de la mezquita que forma los pies de la nave gótica a modo de nártex.

¹⁹ KUTTRUFF, H. establece que se deberán considerar efectos de acoplamiento si el área de la superficie de acoplamiento es sustancialmente más pequeña, que el área total de las paredes del volumen acoplado. *Room Acoustics*. Applied Science, Londres 1991.

²⁰ Las fórmulas de reverberación no consideran los espacios acoplados, a menos que las razones de decaimiento sonoro sean semejantes. KNUDSEN, V.O. y HARRIS, C.M. *Acoustical Designing in Architecture*. Acoustical Society of America, Nueva York 1988, p. 144.

²¹ La absorción sonora adicional será la necesaria hasta alcanzar los valores de absorción sonora obtenidos para el recinto a partir de los tiempos de reverberación medidos.

²² En esta basílica la nave principal y las dos laterales están separadas por una gran fila de columnas de granito. El grado de permeabilidad es mayor que en San Pedro, Santa María la Mayor y San Juan de Letrán de Roma, en donde el coeficiente de absorción obtenido es de $\alpha=0.56$. Además las paredes laterales son superficies lisas sin capillas ni otras superficies absorbentes, no existiendo ningún tipo de decoración escultórica en los muros. Esto hace que el sonido que va de la nave a las naves laterales retorne a la nave central rápidamente. "Acoustics of St. Peter's and patriarchal basilicas in Rome" *Journal of the Acoustical Society of America* N° 50 (2), 1971, pp. 390-392.

²³ Dado el bajo nivel del ruido de fondo de la iglesia, éste estará constituido básicamente por la cola reverberante. "El sonido reverberante se puede interpretar como un ruido inherente a un recinto cerrado". CARRIÓN ISBERT, A. *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. U.P.C., Barcelona 1998, p. 203.

²⁴ La intimidad acústica es una impresión subjetiva que viene determinada por el indicador ITDG (Initial Time Delay Gap) o retardo de la primera reflexión representativa respecto al sonido directo, y es un parámetro de valoración de la calidad musical principalmente. Beranek asocia la intimidad acústica con la sensación que tiene el oyente de escuchar en un espacio de dimensiones más reducidas que las dimensiones de la sala, recomendando un valor <20 ms. indicando que valores superiores a 35 ms suponen una reducción significativa de la calidad acústica. Citado por CARRIÓN ISBERT, op. cit., p. 228.

²⁵ La variación del índice RASTI con la distancia en la nave principal está en una relación logarítmica, en la que en los puntos cercanos a la fuente decrece bruscamente propia de un régimen de campo directo y con un pendiente menor a mayores distancias, característica de un campo reverberado.

²⁶ La medición del ruido de fondo sólo se efectuó con el sonómetro integrador, por lo que se carecen de datos sobre el espectro del ruido de fondo y no se pueden establecer correlación con las curva NR.

²⁷ En un espacio con volúmenes acoplados, la sala fuente pierde viveza y transfiere parte de la energía a la sala acoplada, prolongando así la extinción en la sala receptora y por lo tanto su tiempo de reverberación. JOUHANEAU, J. *Acoustique des salles et sonorisation*. Technique & documentation, Paris 1997, p. 169.

²⁸ MARTÍN MORENO, A. *Historia de la música andaluza*. Biblioteca de la cultura andaluza, Granada 1985, p. 189.

²⁹ "La profusión de textos ininteligibles por su simultaneidad nos muestra que la voluntad expresiva de la polifonía no estaba en el sentido de los textos, sino que, absorba por el gran negocio que era la gestación del sentido armónico, su voluntad de expresión tenía un carácter específico, musical, netamente sonoro, cuyos polos consistieron en la plenitud del sonido, en el instrumento ofrecido por el conjunto vocal y la afirmación de las relaciones tonales. Un instrumento así, formado por las voces humanas, exigía cierta articulación en la emisión de los sonidos, la cual se conseguía de antemano con la palabra que el texto suministraba. Véase que la palabra estaba entendida como articulación de voz; lo que ella expresaba apenas si tenía importancia". SALAZAR, A. *Conceptos fundamentales en la historia de la música*. Alianza Música, Madrid 1997, p. 106.

³⁰ La existencia de estas cortinas queda reflejada en el *Liber Pontificalis* donde se recogen la lista de donaciones imperiales, papales y de otras procedencias a las iglesias, refiriéndose a accesorios de iluminación y, desde el siglo V, a juegos de cortinajes, evidentemente destinados a los intercolumnios de la nave central. KRAUTHEIMER, R. *Arquitectura paleocristiana y bizantina*. Manuales de arte Catedral, Madrid 1996, p. 198 y en la nota 3 del capítulo 7, p. 551.

³¹ El acceso a la mezquita-catedral para la celebración de actos culturales, tanto en la capilla de Villaviciosa como en el crucero, se realiza por la puerta del Espíritu Santo, que accede directamente al nártex que antecede a la nave gótica de la capilla de Villaviciosa.

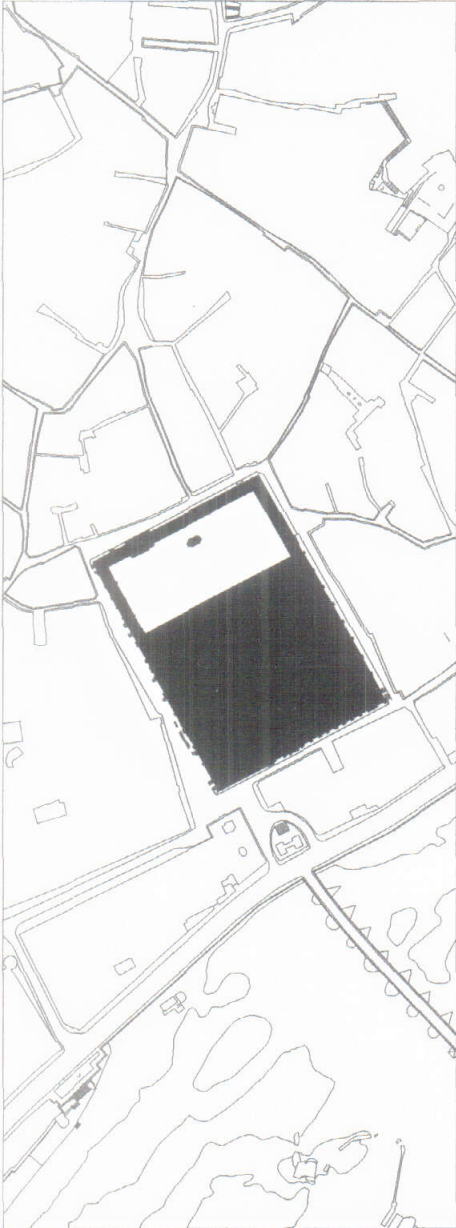
³² Las cortinas presentarán una mayor absorción a graves al tener aire tras ella, teniendo un comportamiento mixto como material poroso y elástico, ya que "las cámaras de aire son medios elásticos que contribuyen a mejorar, con su acción como tales, las condiciones absorbentes de los materiales que las forman... El terciopelo, como cualquier tejido, es poroso, pero si además se deja una cámara de aire tras él, existirá un principio de elasticidad tanto más sensible cuanto mayor sea la cámara, que afectará a la absorción de los sonidos graves, como corresponde a un panel elástico" PÉREZ MIÑANA, J. *Compendio práctico de acústica*, Ed. Labor, Barcelona 1969, p. 228.

³³ De la medición acústica de la Iglesia-Teatro del Carmen de Vélez-Málaga, véase SENDRA SALAS J.J. y otros. *El problema de las condiciones acústicas en iglesias: principios y propuestas para la rehabilitación*. IUCC ETSA Sevilla, Sevilla 1997, pp. 129-139, se deduce que la disposición de cortinas delante de los huecos de los arcos, supone un aumento de absorción, frente a la absorción virtual de este hueco antes de colocar la cortina. Dado el gran volumen de aire que existe tras los arcos en la mezquita, no se puede determinar con exactitud si el comportamiento será el mismo y su coeficiente de absorción sonora, por lo que se ha optado por el valor conocido obtenido de la medición de la Iglesia-Teatro del Carmen.

³⁴ Este elemento está formado por un panel de madera de 17 mm de espesor con perforaciones de 8 mm de diámetro y un porcentaje de perforaciones del 5%, separado 100 mm del panel de fondo rígido y provisto de una lana de vidrio de 60 mm en contacto con el panel, que presenta listones de madera de diámetro 50 mm fijados al tablero con clavijas de 8 mm. y separados entre sí 20 mm. Funciona como un resonador múltiple y los listones de madera favorecen la difusión del sonido. Los coeficientes de absorción se han tomado de las mediciones de CARRIÓN ISBERT, A. op. cit., p. 102.

³⁵ "Para una buena inteligibilidad se necesita una elevada fracción de energía inicial y escasa energía tardía. El valor de las primeras reflexiones se pueden cuantificar aproximadamente: una reflexión incrementa el valor de inteligibilidad por 1.4, 3 reflexiones importantes por 2. Si la reflexión proviene de una superficie directamente al público, no sólo se incrementa la energía inicial, sino que se reduce el sonido tardío, haciendo que sea doblemente eficaz". BARRON, M. *Auditorium Acoustics and Architectural Design*. E&FN Spon, Londres 1993, p. 223.

³⁶ "Una composición como *Las cuatro estaciones de Vivaldi*, presenta en ocasiones 16 notas diferentes en un segundo (en cada línea melódica)" FERNÁNDEZ DE GÁNDARA, G y LORENTE, M. *Acústica musical*. ICCMU, Madrid 1998, p. 160, por lo que se necesita de una brillantez y claridad que no ofrece este espacio.



" En ningún sitio suena tan espléndidamente una fuga de Bach como en el órgano de una catedral española, ¡incluso aunque no esté bien tocada! Pero en más de una iglesia he oído magníficas y espléndidas interpretaciones al órgano, especialmente en Córdoba, que es el último sitio donde esperaba oír a Johann Sebastian Bach... Es fácil perderse por completo en el bosque de piedra y no saber hacia dónde girar. Acaso sea en este momento cuando oímos el órgano y dirigimos nuestros pasos hacia el sonido distante, que se pierde en el dédalo que forman los arcos de herradura... Me encantaría escuchar los conciertos de Haendel, que son tan teatrales, pura música de teatro, en este escenario..."¹

**6. CATEDRAL DE SANTA MARIA
DE LA ASUNCIÓN. CÓRDOBA.**

Reseña histórica.

Las especiales circunstancias político-religiosas que se dieron en España a finales del siglo XV, obligaron al Cabildo a tomar una decisión contundente sobre la forma de ocupar la mezquita². Se optó por realizar una reforma total del espacio islámico, según palabras de Laguna Paúl se convertirá el recinto "en católico, cerrado y sagrado", accediéndose a él por sólo dos puertas³.

La decisión de acometer las obras se debió al obispo Alonso Manrique. El 22 de julio de 1521 el prelado comunicó al Cabildo Catedral su deseo de construir una nueva capilla mayor y coro. Tras las oportunas consultas y debates⁴, se emprenden los trabajos el 7 de septiembre de 1523, sobre las trazas de Hernán Ruiz el viejo, bajo el lenguaje formal del Renacimiento, anulando los esquemas goticistas.

El obispo había llegado a la ciudad, con un tipo de catedral gótica preestablecido, ya consagrado en Europa, en la que la liturgia ocupaba el lugar céntrico del templo, basado en un altar mayor, entre coro y coro⁵. Se decide edificar en el centro de la mezquita una capilla mayor y un coro en forma de cruz latina inscrita en un rectángulo, mientras que el papel de las naves y el deambulatorio lo jugará el espacio primitivo de la mezquita.

La formación gótico humanista de Hernán Ruiz brota continuamente. Así la catedral se inserta en la mezquita bajo un esquema que surge de la reflexión matemática desarrollada sobre la métrica gótica⁶. Para respetar lo antiguo, en un gesto de absoluta modernidad, optó por desmontar las naves musulmanas para volver a montarlas incorporándolas a la nueva obra como naves laterales. Es aquí donde reside la verdadera originalidad y el sentido moderno del planteamiento de la Catedral que lo hace un edificio único en el mundo.

La obra renacentista se inserta con gran maestría en una arquitectura islámica, a priori incompatible, mediante una gran sensibilidad, al labrar un templo diáfano y permeable⁷, donde la ocupación por parte del Crucero es de una traza y una superficie mínima, oponiéndose así a la dilatada, casi infinita, extensión de la planta árabe, desarrollándose por el contrario en vertical, a través de una transición de altura desde la escala humana del templo árabe a la grandiosidad de la catedral⁸. El marco cristiano es claramente perceptible, aunque en el proyecto de Hernán Ruiz no se plantea una disputa entre islam y cristianismo, sino, más bien, Edad Media y Renacimiento, como apunta Nieto Cumplido⁹.

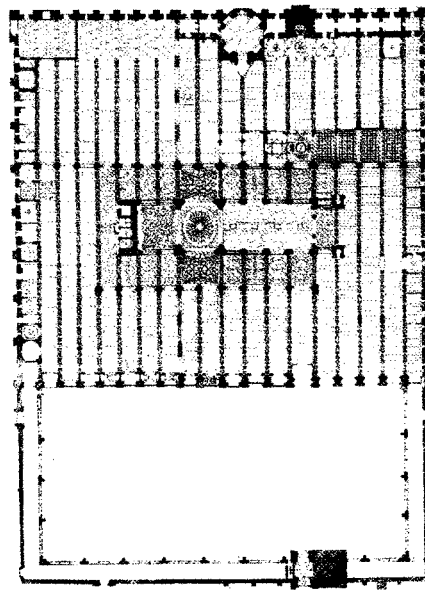


Fig. 6.1. Planta de la mezquita-catedral. Córdoba.

Posteriormente la obra continúa con Hernán Ruiz el Joven y su hijo Hernán Ruiz III, terminándose el crucero con la bóveda oval de Juan de Ochoa, así como la bóveda del coro de cañón rebajado, finalizándose las obras en 1607; en una construcción en la que, según Chueca Goitia, "se advierte el suceder de los estilos por capas o estratos; es un corte en el terreno histórico, encontrando un gótico-mudéjar de sabor andaluz en la parte inferior de la construcción, luego un estrato plateresco a la altura de los ventanales y finalmente una cúpula herreriana"¹⁰.

Tras la construcción del Crucero-Catedral, y para la transformación completa de la Mezquita, quedaba aún una doble operación, realizada a lo largo del tiempo: la dotación del conjunto de elementos que componen la totalidad de una Catedral, además de la iglesia mayor propiamente dicha, y dar solución a la iluminación de las naves. La introducción de la luz será una nueva variante de la antigua Mezquita, porque es ahora cuando se impone, de una forma efectista la diferencia entre la liturgia islámica y la cristiana¹¹. El crucero resultante es un inmenso espacio para la luz¹².

Ya en época barroca se completa la catedral con todo su ornamento. Así en 1618, se ejecutará el retablo del Altar Mayor, siendo realizado por el arquitecto jesuita Alonso Matías, que lo ejecuta de mármol, con un fuerte sentido arquitectónico. En 1747 se decide la realización de la sillería del coro, obra de Pedro Duque Cornejo, que se sitúa a los dos lados de la nave central, en dos hileras, cubierto todo el conjunto con una rica labor de talla. En 1754 se construye el coro alto o tribuna de música, con un saliente cóncavo profusamente decorado que sirve de tornavoz. En 1777 se ejecutaron los dos púlpitos: el de la epístola y el del evangelio, similares en materia, composición y decoración al coro; además de la sustitución de los antiguos órganos por los actuales.

El concepto de conservación del patrimonio arquitectónico del siglo XIX, basado en la consideración de éste como testimonio cultural del pasado, llevará en 1882 a la declaración de la mezquita-catedral como monumento histórico artístico.



Fig. 6.2. Vista desde la tribuna sobre el coro.

Fig. 6.3. Vista desde el brazo del crucero.



Fig. 6.4. Vista del coro desde el Altar Mayor.

Este marco arquitectónico es de especial importancia desde el punto de vista de la música religiosa, música que se desarrolla a través de las capillas musicales, ya que "la iglesia era el lugar de concierto por excelencia; el culto divino el acicate que más estimulaba la creación musical"¹³. Se abandonan las sonoridades de agudo contraste góticas y se impone una sonoridad homogénea, surgiendo como consecuencia del movimiento humanista una nueva concepción del ambiente litúrgico¹⁴.

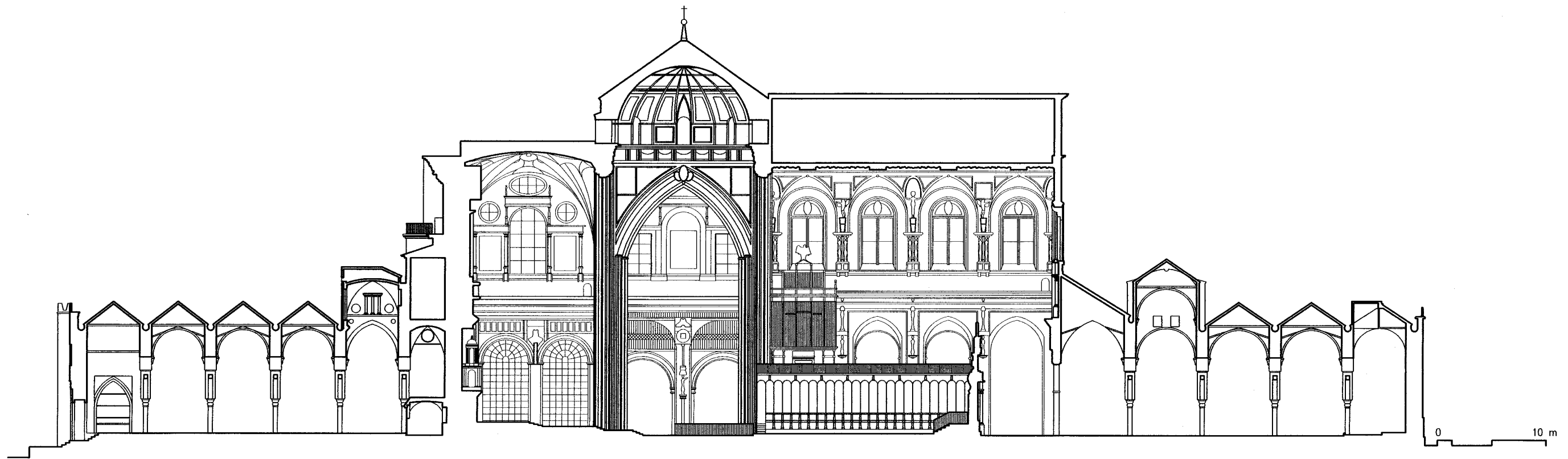
Las reformas del Concilio de Trento insisten en la necesidad de adecuar la música a la inteligibilidad del texto¹⁵, lo que supone la prohibición del estilo contrapuntístico en el uso litúrgico. Una de las formas de conseguir una mayor inteligibilidad es mediante el aumento del volumen del sonido, que en grandes espacios se obtiene mediante obras policorales y acompañamiento musical. Así en el siglo XVIII se generalizan estas obras, en la que varios coros se distribuyen por el templo¹⁶. En grandes espacios como la catedral, estas prácticas musicales ofrecían dificultades técnicas importantes, ocasionando a veces problemas de disonancias e incluso de ecos¹⁷.

Además, en el siglo XVIII se experimenta un auge de la música instrumental, y por lo tanto de la música de órgano, que permite transmitir la armonía objetiva de la música de la época, a la vez que sirve para sostener el canto litúrgico. La sustitución de parte de los coros por grupos instrumentales fue una práctica que se introdujo a finales de siglo en la catedral de la mano del maestro Jaime Balius, incorporando los instrumentos propios de este siglo: violines, flautas, oboes...

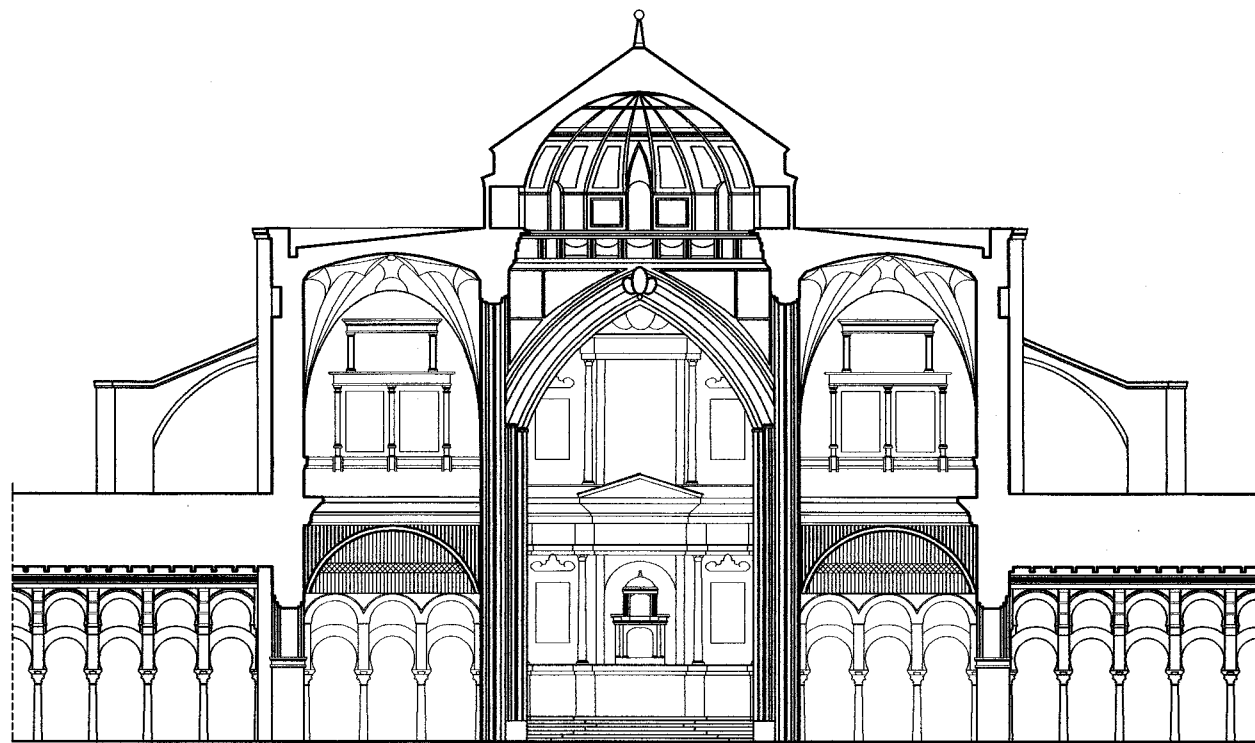


Fig. 6.5. Concierto en la Catedral de Córdoba.

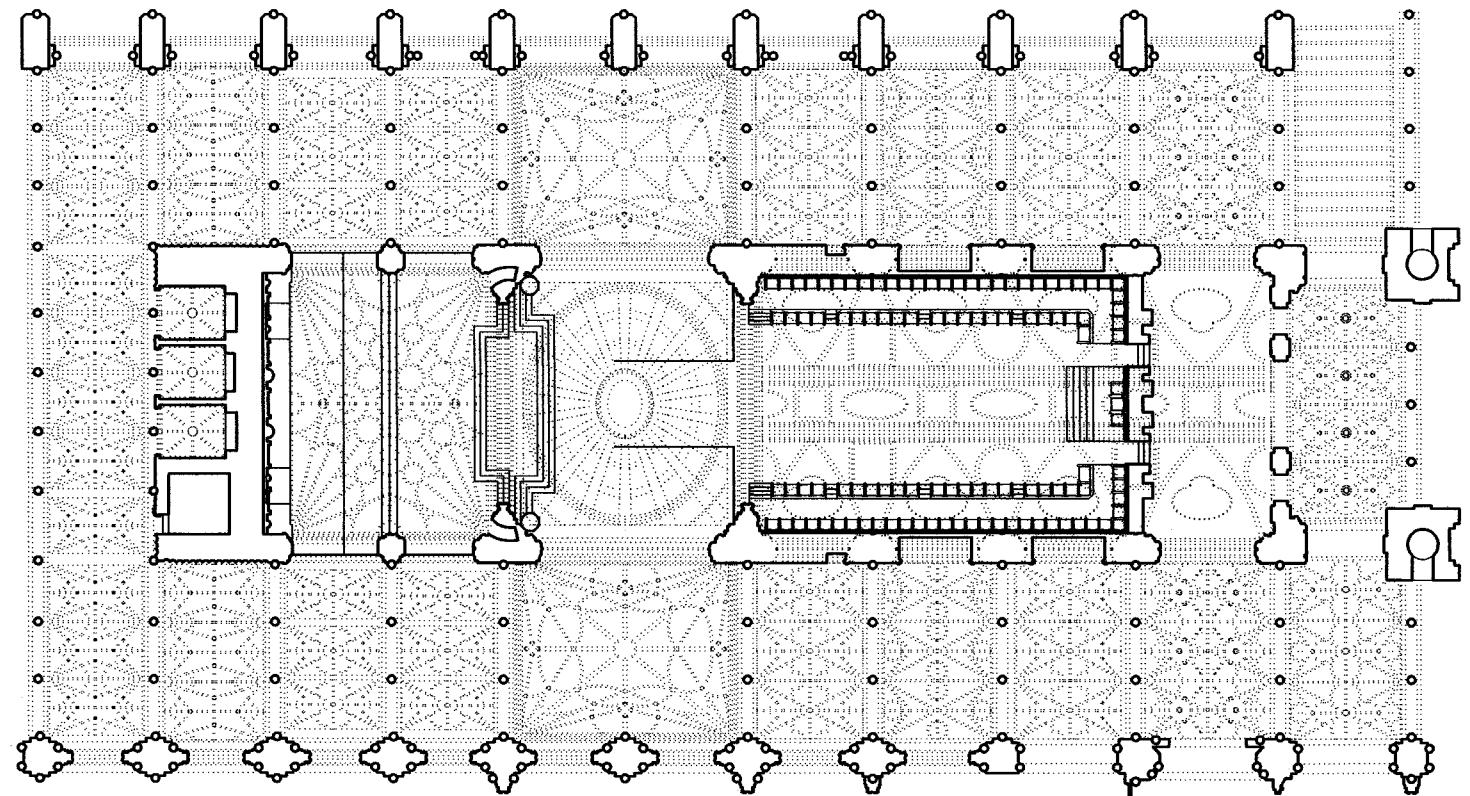
En la actualidad la catedral compagina su uso litúrgico con el cultural, representándose en el altar mayor obras de carácter religioso: conciertos o representaciones teatrales¹⁸.



SECCIÓN LONGITUDINAL



SECCIÓN TRANSVERSAL HACIA ALTAR MAYOR



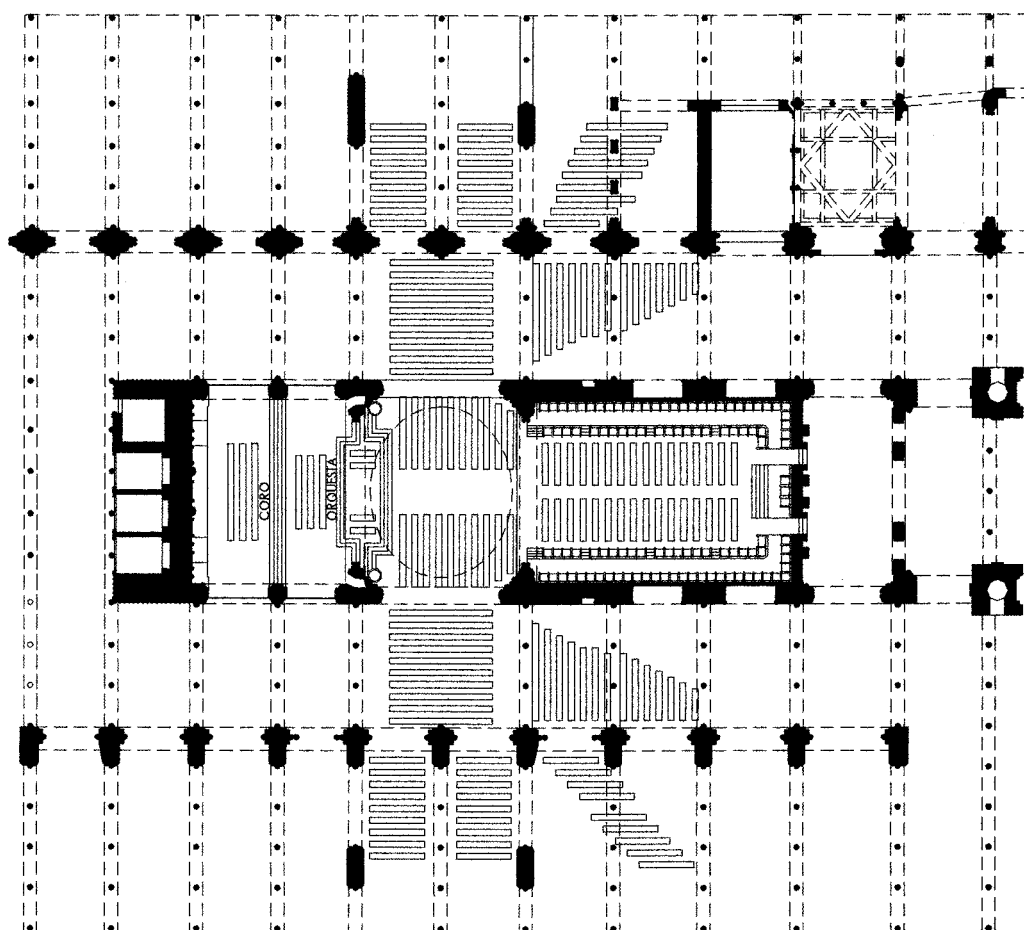


Fig. 6.6. Disposición habitual del público en la catedral en los conciertos.

Análisis acústico del estado actual.

La medición acústica se efectuó con la catedral cerrada a cualquier tipo de actividad, con bancos en el crucero, bajo la zona de la cúpula y en el coro, alrededor de las 20 horas, aspecto importante para la valoración de los bajos niveles de ruido de fondo.

Se realizaron las medidas en 20 puntos de la iglesia, 9 de ellos en el Crucero Catedral¹⁹ y 11 de ellos en las naves laterales y en las naves musulmanas contiguas, a una altura de 1.20 m del suelo. La fuente sonora se situó en el altar mayor, tras el altar, a una altura de 1.50 m sobre el suelo.

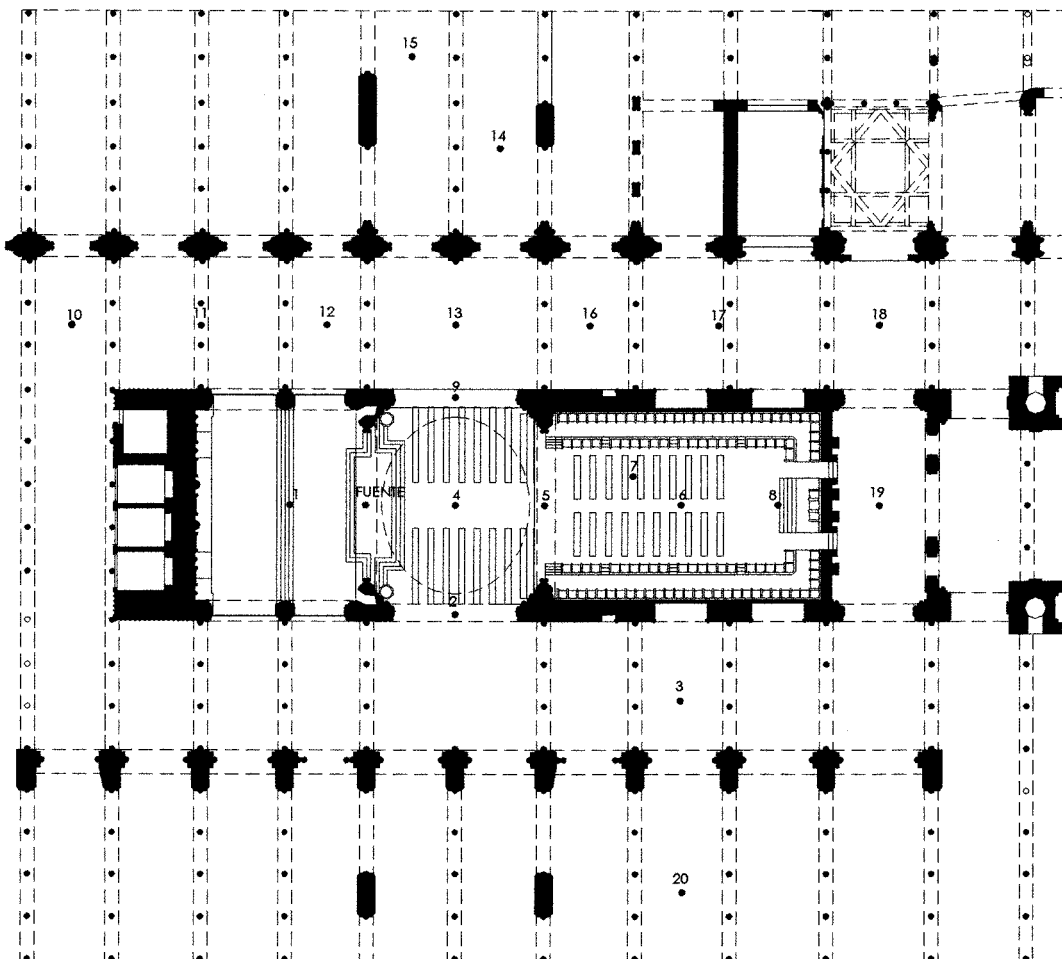


Fig. 6.7. Situación de puntos en la medición.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

Los resultados de la medición del tiempo de reverberación, a partir de la detonación para el registro de la respuesta impulsiva en cada punto, para cada banda de octava, se presentan en la tabla A6.1 (apéndice 6). A partir de estos valores, se han obtenido los tiempos de reverberación promediados para todo el recinto, así como los relativos únicamente al crucero catedral y los correspondientes a las naves laterales (tabla 6.1).

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Promedio	5.06	4.62	4.30	3.77	3.00	1.96
Promedio crucero ²⁰	4.33	4.07	3.91	3.40	2.66	1.67
Promedio naves laterales ²¹	5.27	4.91	4.62	3.98	3.17	2.06

Tabla 6.1. Tiempos de reverberación medidos promediados.

El tiempo de reverberación medido en los puntos bajo la cúpula y en el coro es homogéneo (oscilaciones del 5 al 10%), siendo algo más elevado en los brazos del crucero (oscilaciones del 10 al 15%), mientras que en los puntos situados en las naves laterales, el tiempo de reverberación es del orden de un 20% superior al tiempo de reverberación en los puntos del coro, elevándose éste de forma considerable en puntos situados en las naves musulmanas. Esto supone una difusión uniforme del sonido en la zona de la cúpula, coro y crucero, con una disminución de ésta en las naves laterales, que son más reverberantes, actuando éstas como espacios acoplados al espacio principal.

Así pues, tomando como base los valores promediados del tiempo de reverberación para el crucero, se construye, mediante simulación informática, un modelo teórico. Un primer análisis consiste en considerar la iglesia formada por el altar mayor, crucero y coro como un volumen único, inserto dentro del volumen de la mezquita catedral, que se considera un espacio acoplado al primero.

Se computa la absorción sonora proporcionada por el suelo, techo y paredes, a partir de los coeficientes de absorción de las diferentes superficies, tomados de las fuentes bibliográficas. Una vez calculada la absorción sonora, para las diferentes frecuencias de octava, se comprueba que ésta es inferior a la obtenida de los correspondientes tiempos de reverberación medidos. Se considera la absorción sonora adicional que proporcionan las superficies virtuales de las aperturas de la catedral con las naves laterales, con un coeficiente de absorción $\alpha=0.99^{22}$, y se comprueba que la absorción sonora obtenida continúa siendo algo inferior a la obtenida tras la medición, con una mayor diferencia a altas frecuencias, por lo que se ajusta el coeficiente de absorción de las paredes y techos de piedra, profusamente decorados, que pueden ser los causantes de la absorción sonora necesaria²³ hasta alcanzar los valores de absorción obtenidos a partir del tiempo de reverberación medido. Los valores obtenidos se expresan en la tabla 6.2.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Superficie virtual	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
Piedra decorada	0.05	0.07	0.03	0.04	0.08	0.15

Tabla 6.2. Coeficientes de absorción calculados.

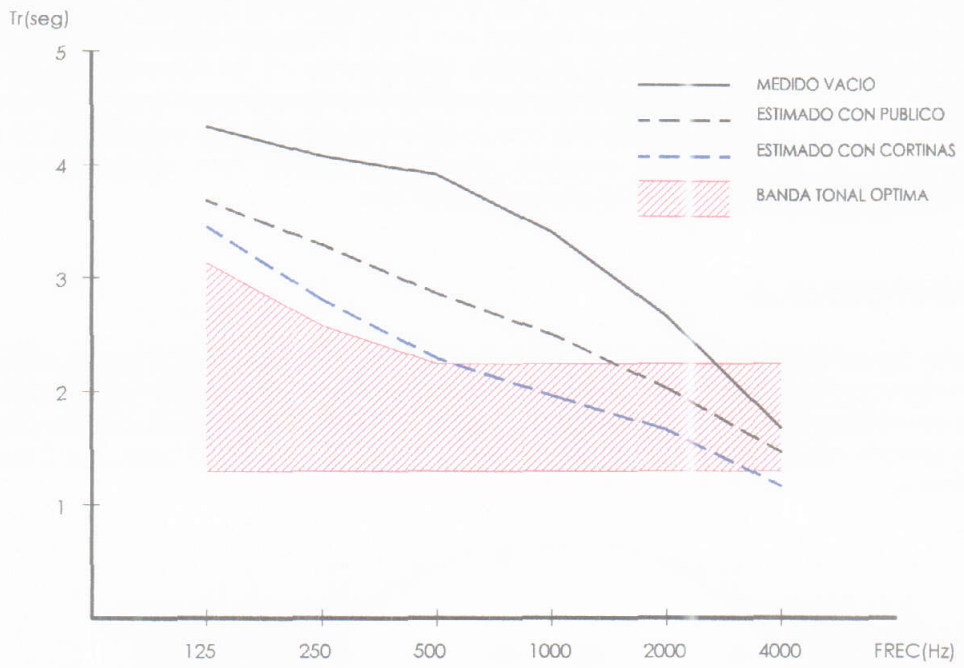
A partir de este modelo, mediante la fórmula de Sabine²⁴, se realiza una predicción teórica de los valores del tiempo de reverberación, considerando una ocupación plena en el crucero, con público sentado en sillas, así como en las sillas del coro (ocupación habitual en los conciertos, figura 6.5) y una ocupación del altar mayor por parte de la orquesta²⁵, que se comparan con los valores de los tiempos de reverberación óptimos teóricos, tanto para la palabra como para la música. Los valores de los coeficientes de absorción utilizados para dicho cálculo se expresan en la tabla 6.3.

MATERIAL	SUP. (m ²)	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Público en sillas	671	0.24	0.32	0.51	0.60	0.59	0.56
Bancos madera vacíos	393	0.09	0.14	0.16	0.16	0.15	0.13
Público en bancos	213	0.23	0.25	0.31	0.35	0.37	0.35
Orquesta	95	0.60	0.74	0.88	0.96	0.93	0.85
Mármol	261	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
Moqueta	198	0.09	0.08	0.21	0.26	0.27	0.37
Vidrio	431	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
Madera	671	0.16	0.16	0.13	0.13	0.22	0.25
Piedra arenisca	2077	0.02	0.02	0.06	0.08	0.04	0.05
Tapices-cuadros	283	0.05	0.12	0.35	0.46	0.38	0.36
Superficie virtual	404	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
Piedra decorada	2181	0.05	0.07	0.03	0.04	0.08	0.15
Bóveda	498	0.05	0.06	0.07	0.09	0.07	0.08
Aire (m ³)	22114					0.008	0.021
SUPERFICIE TOTAL	7616						

Tabla 6.3. Características absorbentes de los diferentes materiales.

La curva tonal resultante de la medición tiene la forma típica de tiempos altos a bajas frecuencias y un decrecimiento considerable de los valores del tiempo de reverberación en las altas frecuencias, debido a la notable absorción sonora producida por el aire. No obstante, el tiempo de reverberación obtenido es bajo teniendo en cuenta el importante volumen de la iglesia, debido a la absorción que proporciona el acoplamiento de la mezquita con la catedral y a la abundante decoración existente, que actúa como elemento difusor, aumentando las reflexiones e incrementando la absorción sonora²⁶.

Cuando el crucero se ocupa con público sentado en sillas y se dispone la orquesta en el altar mayor, se produce un aumento de la absorción sonora en la catedral, aproximándose los valores del tiempo de reverberación a bajas y medias frecuencias a la curva tonal óptima para el uso musical, e incluso los valores obtenidos en la estimación son inferiores a esos óptimos para los sonidos agudos (figura 6.8). Desde la época barroca, la catedral en las grandes celebraciones religiosas, se decoraba con colgaduras de terciopelo fruncido (desde la cornisa hasta una altura aproximada de 2 metros del suelo) que se disponían en los laterales del altar mayor y en los brazos del crucero²⁷, aumentando consiguientemente la absorción sonora y obteniendo una curva tonal adaptada a la óptima para la música a bajas y medias frecuencias²⁸.



	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Medido vacío	4.33	4.07	3.91	3.39	2.66	1.67
Estimado público	3.68	3.29	2.86	2.50	2.05	1.43
Estimado cortinas	3.45	2.81	2.29	1.96	1.66	1.16
Óptimo música	3.15	2.58	2.24	2.24	2.24	2.24
Óptimo palabra	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28

Fig. 6.8. Tiempos de reverberación medido, estimado y óptimos.

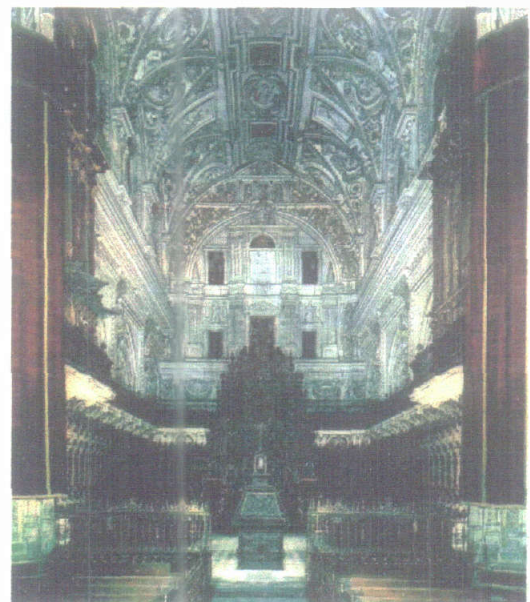


Fig. 6.9. Vistas de la catedral con la decoración de cortinas.

El índice de calidez obtenido es de 1.30, valor ligeramente superior al margen recomendado por Beranek (valores entre 1.1 y 1.25), lo que puede suponer una cierta falta de riqueza del sonido a bajas frecuencias. El índice de brillantez presenta un valor de 0.64, muy por debajo del límite recomendado por Beranek, de 0.87, para que el espacio presente una adecuada riqueza de armónicos. Este valor tan bajo se debe a la notable absorción sonora que existe a altas frecuencias, principalmente por la absorción del aire.

DISTRIBUCIÓN SONORA.

El estudio de la distribución sonora en la catedral se ha realizado a partir de la emisión de una fuente omnidireccional, con una potencia de emisión de 116 dB, situada en el altar mayor a una altura de 1.50 m del suelo. Los valores de nivel de presión sonora obtenidos se especifican en la figura 6.10 y en la tabla A6.2 del apéndice 6.

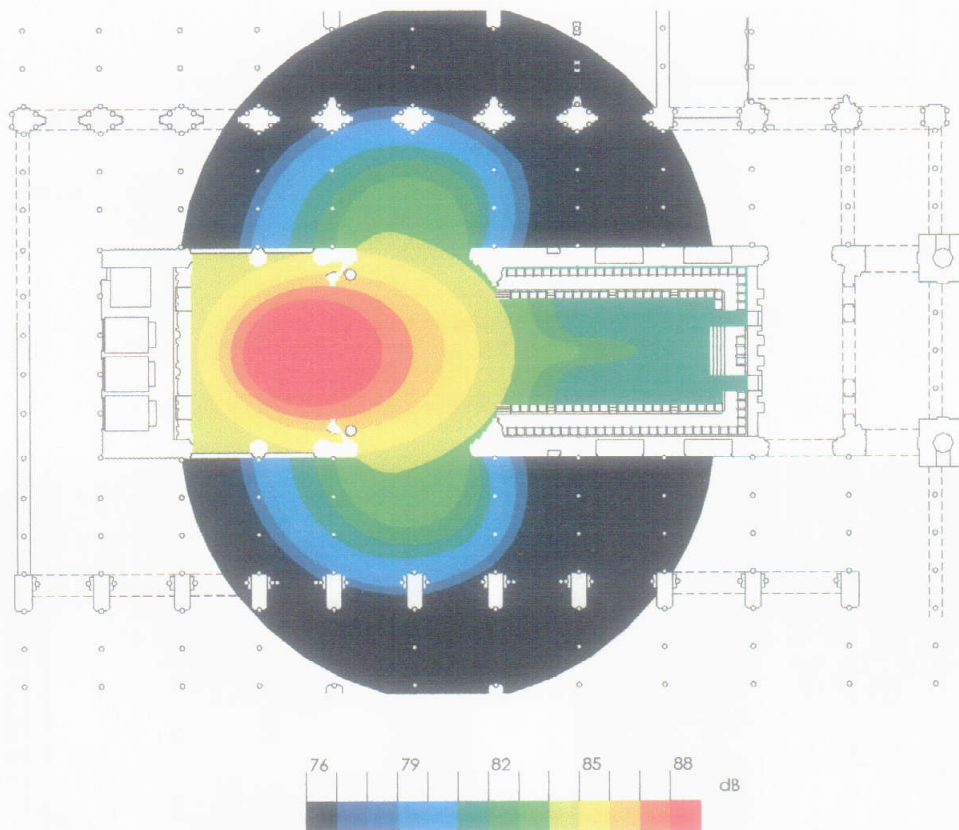


Fig. 6.10. Mapa de distribución sonora. Medición. Iglesia vacía.

Los niveles de presión sonora obtenidos en la medición, en los diferentes puntos, presentan un cierto grado de uniformidad, sin zonas de concentraciones sonoras indeseables, y con una notoria pérdida del nivel sonoro en las naves laterales frente al coro y brazos del crucero.

Para estudiar el carácter difuso del campo acústico dentro de la catedral, se han representado los niveles de presión sonora medidos, tras corregirlos respecto al nivel de referencia, frente a la distancia para puntos de la nave central, así

como en las laterales, comparándose estos valores respecto a los proporcionados por la aplicación del modelo clásico del campo reverberado y el modelo de Barron y Lee (Figura 6.11). Los valores obtenidos están ligeramente por debajo de los valores previstos por el modelo de Barron y Lee, lo que supone una mayor atenuación del campo reverberado, alejándose del comportamiento difuso, debido a las grandes dimensiones de este espacio. En los puntos de las naves laterales existe una caída del nivel sonoro mayor, debido a la importante absorción sonora que presenta este espacio acoplado. Existe una atenuación del campo reverberado de 1.18 dB cada 10 m en el crucero, que aumenta hasta 4 dB en las naves laterales.

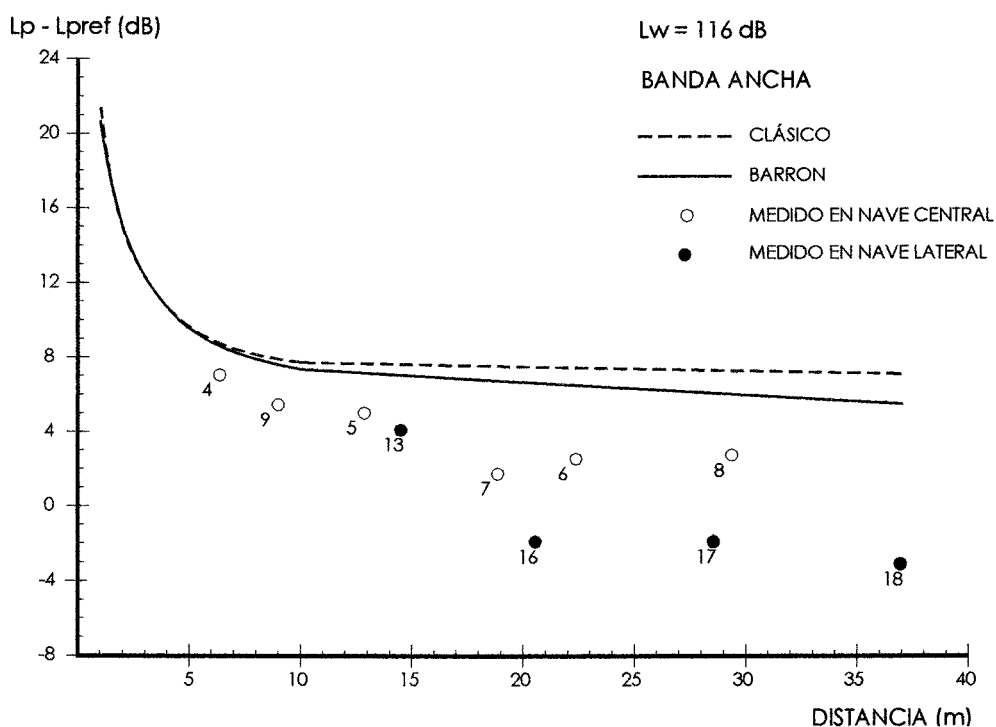


Fig. 6.11. Comportamiento del campo acústico frente a la distancia. Banda ancha.

Se completa el análisis de distribución sonora con el estudio teórico, mediante simulación informática, de tres hipótesis diferentes de ubicación de la fuente sonora, que se corresponden con tres usos diferentes que ha presentando este espacio:

- Fuente en el altar mayor, situación adoptada en la actualidad para la celebración de conciertos (punto fuente de la figura 6.7).
- Fuente en el coro, delante del trono episcopal, posición actual de la misa diaria y situación en la que históricamente se utilizó este espacio para el canto del coro catedralicio (punto 8 a una altura de 1.50 m).
- Simulación de las obras policorales, mediante la situación de tres fuentes de emisión²⁹: una situada en el altar mayor, y una en cada lado de la sillería del coro, (a la altura del punto 6).

Previamente, se ha evaluado el grado de adaptación del modelo a la medición, comparando los valores de nivel de presión sonora obtenidos con la fuente en el altar mayor y la iglesia vacía, con los resultados obtenidos de la medición acústica (tablas A6.2 y A6.5 del apéndice 6).

En cada una de las hipótesis, la emisión se ha realizado con una fuente sonora omnidireccional y una potencia total de emisión de 116 dB, considerando ocupada la iglesia con público sentado en sillas. Los valores de nivel de presión sonora obtenidos para cada hipótesis se especifican en las tablas A6.6 a A6.8 del apéndice 6. El modelo informático considerado en la simulación ha sido el volumen formado por el crucero catedral insertado dentro del volumen total de la mezquita (figura A6.2 del apéndice 6).

Los niveles de presión sonora obtenidos, para cada hipótesis, difieren sustancialmente, como se aprecia en la Figura 6.12, existiendo una mayor atenuación con la distancia cuando la fuente se sitúa en el altar mayor, frente a la hipótesis de fuente en el coro, debido a la falta de reflexiones que refuercen el sonido directo. En el caso de varias fuentes sonoras simultáneas, el nivel sonoro es muy homogéneo en todos los puntos, como era previsible dada la situación de las fuentes.

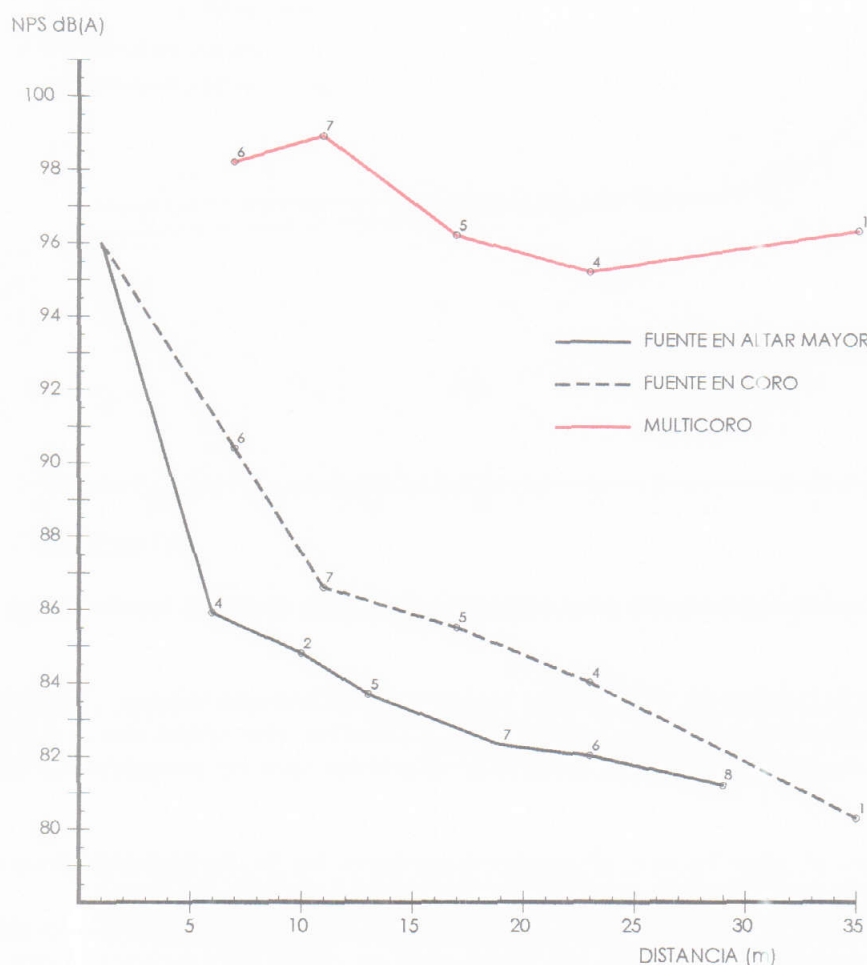


Fig. 6.12. Nivel de presión sonora respecto a la distancia

Esta diferencia de nivel sonoro se ratifica al analizar los ecogramas obtenidos para los puntos representativos, en la banda de octava de 2000 Hz. Con la fuente en el altar mayor (figura A6.2 del apéndice 6), se observa escasez de primeras reflexiones beneficiosas en puntos de los brazos del crucero y bajo la cúpula, aumentando sin embargo éstas en los puntos situados en el coro, debido a las reflexiones generadas por la sillería y su tornavoz³⁰, lo que favorece la mejora de la inteligibilidad en los puntos más alejados de la fuente sonora³¹.

Se detecta una importante cola reverberante, generada por reflexiones que provienen de la bóveda del altar mayor (afecta principalmente a los puntos del entorno de la cúpula), de la cúpula (se aprecia en los puntos de encuentro de ésta con los brazos del crucero y la nave), de la bóveda del coro, y de reflexiones de eco aflautado entre el retablo y el trono episcopal³², manifestándose con pérdidas de nivel sonoro respecto al sonido directo del orden de 13 a 24 dB, pudiéndose generar una cierta sensación de molestia.

Apenas si existen rayos que salen del crucero por las aperturas que comunican a éste con la mezquita y que, tras reflexiones vuelven al crucero, lo que corrobora el coeficiente de absorción sonora considerado para la superficie de separación entre los espacios acoplados: $\alpha=0.99$.

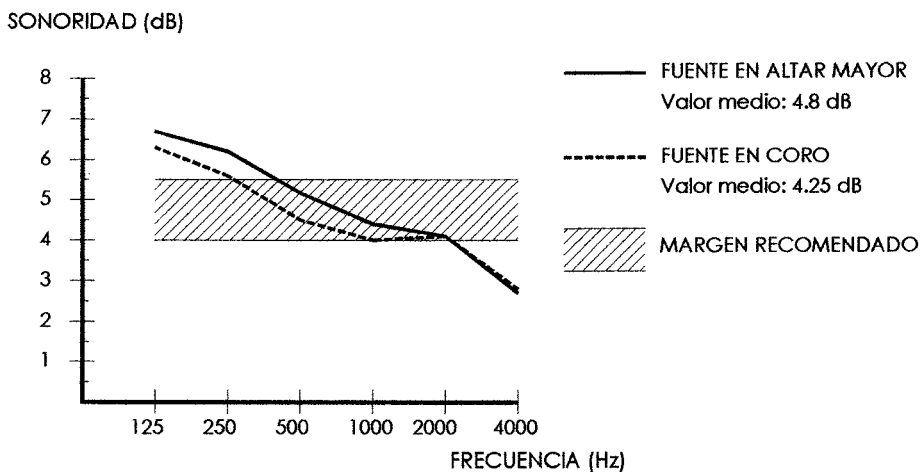


Fig. 6.13. Valores de sonoridad. Iglesia vacía.

En cualquiera de las hipótesis de posición de la fuente adoptadas, el sonido, a pesar de no presentar primeras reflexiones, presenta unos valores de sonoridad dentro del margen recomendado por Beranek, principalmente para medias frecuencias.

Del análisis de los ecogramas para la fuente situada en el coro, figura A6.3 del apéndice 6, se desprende un comportamiento sonoro del espacio completamente distinto del analizado con la fuente sonora situada en el altar mayor. El número de primeras reflexiones aumenta de forma muy significativa, debido a las reflexiones que se generan en la sillería del coro y su tornavoz, disminuyendo sustancialmente la cola reverberante, que presenta pérdidas de nivel sonoro respecto del sonido directo cercanas a los 20 dB, por lo que se encuentran en el umbral de percepción.

Debido a las importantes dimensiones de este espacio, y a la falta de primeras reflexiones, cuando la fuente sonora se sitúa en el altar mayor el sonido será más "apagado", lo que conlleva que éste se perciba con una falta de intimidad acústica en algunos puntos (tabla 6.4).

	2	4	5	6	8	13
ITDG (ms) fuente altar mayor	26	82	121	6	5	28
ITDG (ms) fuente coro	14	6	7	1		65
ITDG (ms) multicoro	15	5	5	3	7	28

Tabla 6.4. Valores de ITDG en diferentes puntos .

INTELIGIBILIDAD.

Para conocer el grado de distribución del índice RASTI en la catedral, en la figura 6.14, sobre la planta del crucero, se han representando las curvas iso-RASTI correspondiente a la medición acústica.

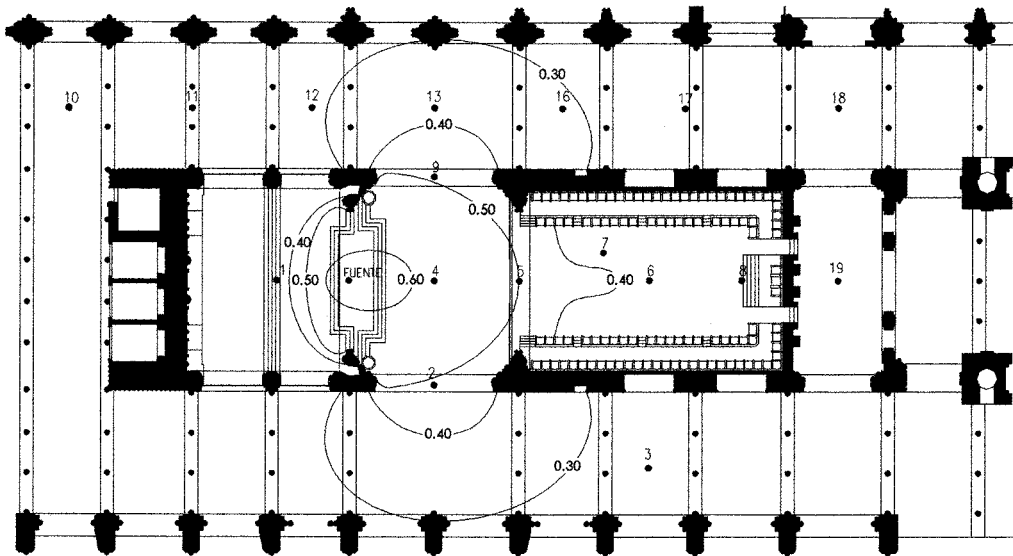


Fig. 6.14. Distribución del Índice RASTI medido. Iglesia vacía.

A partir del modelo utilizado anteriormente, se evalúa la inteligibilidad mediante el programa de simulación informática CATT-Acoustic, obteniendo el valor del índice RASTI en cada punto. Para estimar el grado de adaptación del modelo a la medición se comparan los valores del índice RASTI en los diferentes puntos (tabla 6.5). La diferencia entre los valores del índice RASTI en la medida y los simulados puede ser debido al desconocimiento de los niveles de presión sonora del ruido de fondo. Por lo tanto, se opta por introducir un factor de corrección, con el fin de adecuar el índice RASTI obtenido en las distintas simulaciones a la medición realizada.

	1	2	4	5	6	7	8	13
Medido	0.43	0.50	0.57	0.50	0.36	0.33	0.37	0.38
Simulación actual. Vacío	0.49	0.48	0.50	0.37	0.39	0.32	0.41	0.44
Factor de corrección.	0.87	1.04	1.14	1.35	0.92	1.03	0.90	0.86

Tabla 6.5. RASTI medido y estimado teóricamente. Fuente en altar mayor. Iglesia vacía.

En la figura 6.15 se han representado los índices RASTI de los puntos más representativos de recepción, tanto en el eje del crucero como en la nave lateral, considerándose la distancia de cada punto a la fuente sonora, así como la valoración de la inteligibilidad respecto al índice RASTI, de la medición efectuada.

En la inteligibilidad de la catedral cabe considerar varias zonas. Se puede calificar la inteligibilidad como "aceptable" en la zona central del crucero, bajo la cúpula, mientras que en los brazos del crucero y en el coro la inteligibilidad se sería "pobre", y en los puntos de las naves laterales se puede calificar la inteligibilidad como "pobre-mala"³³. La variación del índice RASTI con la

distancia, se adapta a una relación logarítmica en el crucero, mientras que en las naves laterales esta relación es más lineal, propia de un campo reverberado.

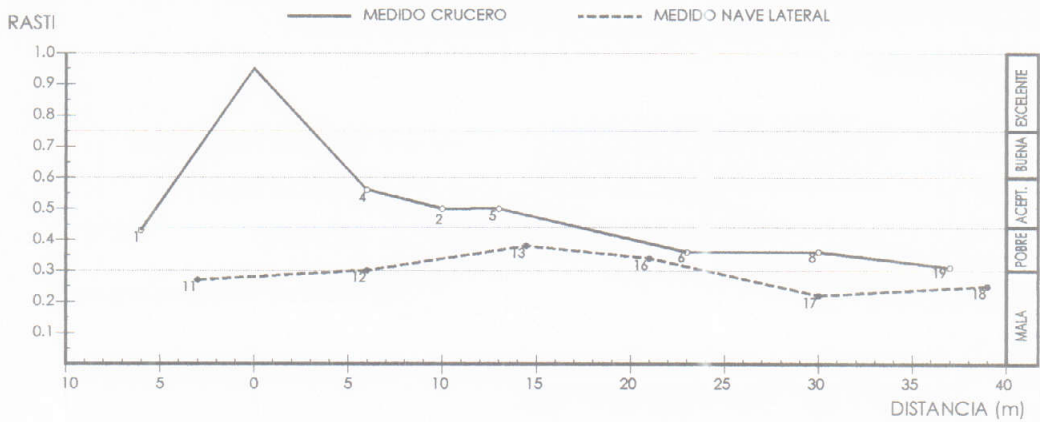
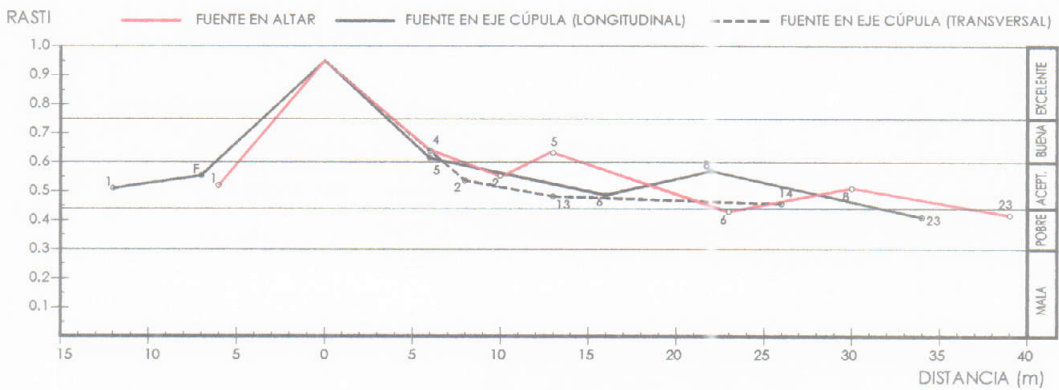


Fig. 6.15. Índice RASTI frente a la distancia. Medido. Fuente en altar mayor



	1	2	4	5	6	7	13
Estimado con público. Fuente en altar	0.46	0.56	0.61	0.57	0.43	0.39	0.44
Estimado con público. Fuente en coro.	0.42	0.45	0.49	0.49	0.61	0.54	0.34
Estimado con público. Multicoro.	0.49	0.44	0.46	0.50	0.55	0.58	0.37

Fig. 6.16. Índice RASTI frente a la distancia. Estimados con público.

Los valores de EDT (tabla A6.3 del apéndice 6) muestran unos valores algo superiores al tiempo de reverberación medido³⁴, lo que significa que el valor del índice RASTI en estos puntos es algo inferior al que deberían tener para ese tiempo de reverberación, posiblemente debido a la falta de reflexiones que se aprecian en este espacio. Este fenómeno se agudiza en las naves laterales, en las que el valor de EDT es muy superior al del tiempo de reverberación medido.

Al estudiar el índice RASTI con público sentado en sillas, para las hipótesis de fuente en el altar y en el coro, existe una mejora generalizada de la inteligibilidad, pudiéndose calificar como "aceptable". Cuando el sonido proviene de varios coros, el valor del índice RASTI es más constante frente a la distancia, calificándose la inteligibilidad como "aceptable" (figura 6.16).

Los valores obtenidos del índice RASTI se corresponden con los valores estimados de definición y claridad musical. La definición, para las tres hipótesis, es similar,

siendo inferior al valor recomendado para frecuencias de octava inferiores a 1000 Hz, debido a los altos tiempos de reverberación a estas frecuencias. Los valores en general decrecen sensiblemente con la distancia a la fuente, como se aprecia en las tablas A6.12 y A6.13 del apéndice 6.

DEFINICIÓN (%)

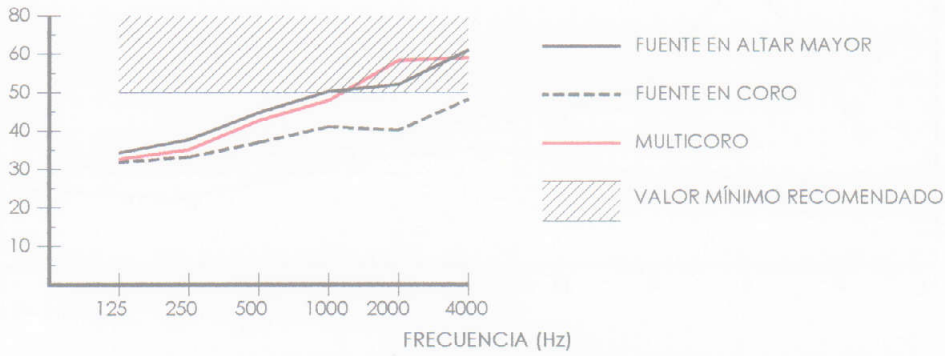


Fig. 6.17. Valor de definición, estimado con público.

CLARIDAD (dB)

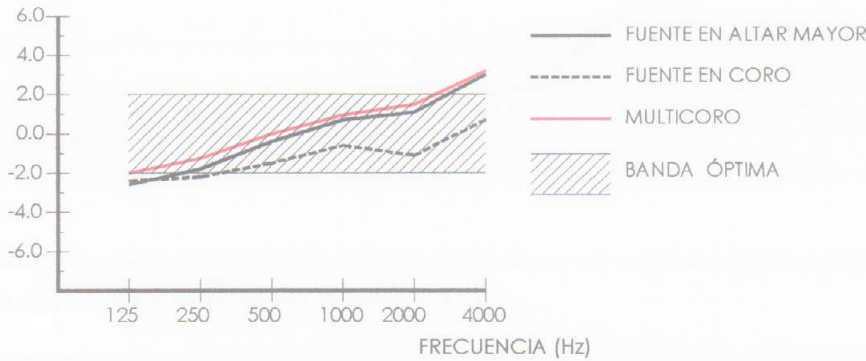


Fig. 6.18. Valor de claridad musical, estimado con público

La claridad musical se encuentra dentro de los valores considerados como óptimos para las diferentes hipótesis, con valores superiores a altas frecuencias, debido a la importante absorción sonora existente a estas frecuencias (Figura 6.18).

RUIDO DE FONDO (dBA).

La medición efectuada del nivel de ruido de fondo de la catedral, se presenta en la tabla A6.4 del apéndice 6, con un valor para el nivel sonoro continuo equivalente, L_{eq} , de 31.9 dB, valor inferior al máximo admitido en iglesias de 40 dBA.

OTROS PARÁMETROS.

Volumen: 22114 m³
 Longitud total: 44.90 m.

Longitud coro: 20.00 m.

Ancho coro: 13.40 m.

Altura coro: 24.90 m.

Longitud crucero: 35.55 m.

Ancho crucero: 11.20 m.

Altura crucero: 24.90 m.

Altura cúpula: 34.35 m.

Longitud altar mayor: 13.70 m.

Ancho altar mayor: 14.30 m.

Altura altar mayor: 24.80 m.

Area de audiencia: 671.00 m².

Aforo: 1174 personas sentadas.

Relación volumen/plaza: 18.83. (Rango 5.1-9.1)

Relación volumen/área de audiencia: 32.95 (Rango 9.2-12.0)

Relación área de audiencia/plaza: 0.57 (Rango 0.63-0.75)

CONCLUSIONES.

El tiempo de reverberación obtenido, tras la medición acústica, se puede considerar bajo, teniendo en cuenta el considerable volumen del espacio, con una importante absorción sonora a bajas frecuencias, debido a la absorción que proporcionan las superficies de separación con los espacios acoplados y a la sillería de madera del coro, y una notable absorción sonora a altas frecuencias, debido principalmente a la absorción del aire y a la copiosa decoración. Estos valores del tiempo de reverberación disminuyen cuando el crucero se ocupa con público sentado en sillas. Así mismo resulta significativo el incremento de absorción sonora cuando se modifican efímeramente las características absorbentes al colgar los cortinajes en las celebraciones litúrgicas, acercándose en este caso la curva tonal a la curva tonal óptima para la música.

Existe una acusada diferencia de absorción sonora entre las altas y las bajas frecuencias. La elevada absorción a altas frecuencias no favorece a la audición verbal, ya que dichas frecuencias son fundamentales para la inteligibilidad de la palabra³⁵, además de restar claridad y riqueza en armónicos al sonido. A bajas frecuencias, sin embargo, puede ser necesario aumentar la calidez sonora.

La distribución del nivel sonoro es uniforme dentro del crucero, con una clara pérdida de nivel sonoro en las naves laterales. Se aprecia falta de difusión sonora con valores de nivel sonoro inferiores a los propuestos por el modelo de Barron, lo que se traduce en una sensación subjetiva de mayor viveza en la sala de la que le corresponde por su tiempo de reverberación.

Del análisis de los ecogramas se infiere una importante falta de intimidad acústica³⁶ bajo la cúpula y en los brazos del crucero, debido a la escasez de primeras reflexiones, restando calidad musical a este espacio, junto con una significativa cola reverberante, que proviene principalmente de los techos (bóveda del altar mayor, cúpula y bóveda del coro). Esta cola, si bien no llega a ocasionar eco, debido a la pérdida de nivel sonoro, si supone una molestia sonora y una merma de la inteligibilidad, a pesar del carácter difuso presente a altas frecuencias. A pesar de esto, no se detectan problemas de localización de

la fuente sonora, dada la simetría espacial, existiendo una correcta direccionalidad³⁷ en el espacio.

La inteligibilidad, con la iglesia ocupada, se puede calificar de "aceptable", con valores estimados teóricamente del índice RASTI superiores a 0.50 en el crucero, mientras que en el coro y en las naves laterales se califica como "aceptable-pobre". Estos niveles del índice RASTI son algo inferiores a los que debería presentar este espacio teniendo en cuenta el tiempo de reverberación, debido principalmente a estar la audiencia en la zona de campo reverberado, donde existe escasez de primeras reflexiones, y a los fuertes retardos de reflexiones, provenientes principalmente de la bóveda del altar mayor y de la cúpula. Existe una falta de definición para frecuencias inferiores a 1000 Hz, presentando en general unas condiciones de inteligibilidad poco apropiadas para el uso de la palabra. No obstante, se detectan unos valores de claridad musical que se pueden considerar adecuados.

En las naves laterales del crucero y en las naves musulmanas, las condiciones acústicas sufren un grave deterioro, existiendo una clara merma de la calidad acústica, tanto en su tiempo de reverberación y distribución sonora, como en la inteligibilidad, por lo que la actual ocupación de estos espacios en los conciertos (figura 6.6) es claramente inadecuada³⁸.

El ruido de fondo es bajo, gracias a la situación de la catedral, inserta en mitad de la mezquita, y con vías de circulación que presentan un tráfico restringido.

En cuanto a las relaciones entre las dimensiones y el aforo de la iglesia, los índices están muy alejados de los considerados como óptimos, dado el considerable volumen que presenta este espacio.

La modificación de la fuente sonora, situándose históricamente en el coro para el canto de la Misa, produce un claro beneficio en las condiciones acústicas en el coro y bajo la cúpula, al presentar una mejora de la inteligibilidad, unos niveles de presión sonora más homogéneos, con menor pérdida de nivel sonoro con la distancia, y una adecuada intimidad acústica³⁹.

El empleo en el siglo XVIII de la policoralidad, consigue homogeneizar acústicamente el espacio, a la vez que produce un efecto de estereofonía que logra impresionar al oyente, dentro de una actitud típicamente barroca, consiguiendo un importante equilibrio sonoro.

La disposición de los dos órganos en el centro del ámbito espacial de la iglesia, además de una razón estética, supone "llenar" con sonido de igual manera todos los espacios⁴⁰, con una alta presencia sonora, lo que hacía innecesario una gran potencia sonora (alta presión de aire)⁴¹.

Por lo tanto, el espacio definido por el crucero-catedral, presenta unas condiciones aceptables para su uso musical, existiendo un adecuado equilibrio entre tiempo de reverberación y claridad⁴², pero se considera claramente inadecuado para el uso de la palabra.

La corrección acústica sobre la catedral, para este uso, debería actuar de forma prioritaria sobre el tiempo de reverberación⁴³, aumentando la absorción sonora principalmente a bajas y medias frecuencias, para adaptar la curva tonal a la óptima para la música, a la vez que se corregirían los desfases existentes entre

absorción sonora a bajas y altas frecuencias, que provocan un desequilibrio del sonido y una pérdida de inteligibilidad de los fragmentos cantados.

La mejora de la calidad sonora de la audición musical necesita un aumento de las primeras reflexiones, favoreciendo la intimidad acústica, mejorando la claridad y homogeneizando el nivel sonoro en la iglesia. Para un ITDG de 20 ms la diferencia entre las reflexiones y el sonido directo ha de ser de 6.8 m, por lo que se pueden dibujar las elipses de ITDG óptimo, en las que se han de disponer los planos que permitan generar las primeras reflexiones necesarias para reforzar la intimidad acústica (figura 6.19).

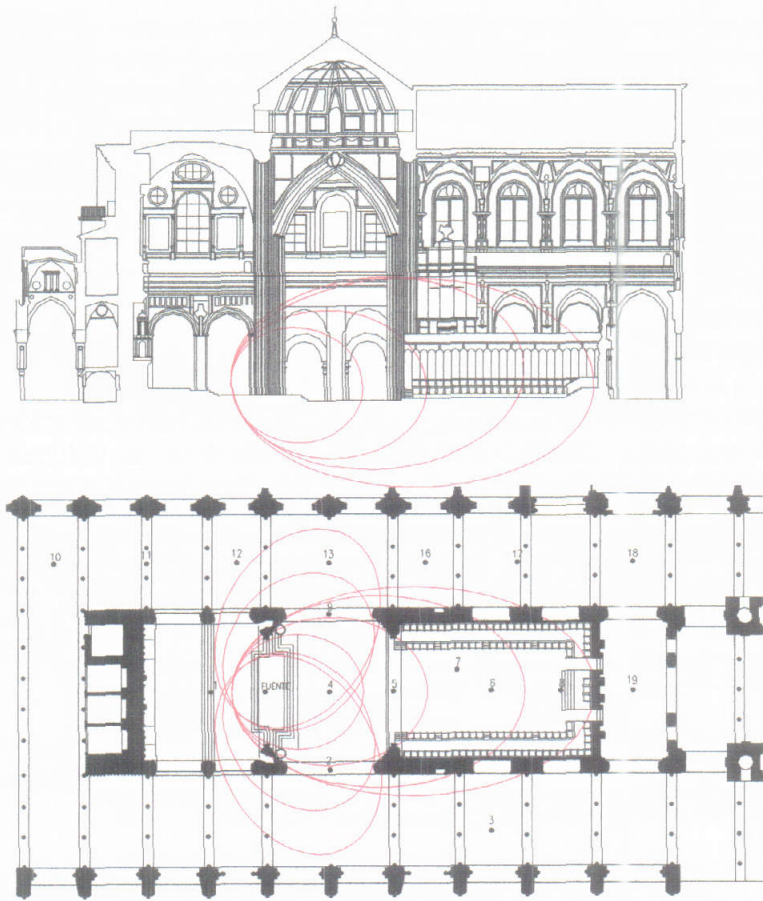


Fig. 6.19. Elipses de intimidad óptima (ITDG =20 ms).

Propuesta de intervención.

En grandes espacios, es una prioridad el actuar sobre el tiempo de reverberación, por lo que éste se debería ajustar a la curva tonal para la música, corrigiendo en lo posible los desfases existentes entre la absorción sonora a bajas y altas frecuencias (se estima una diferencia de 2.25 s con la sala ocupada). Este desequilibrio sonoro es el responsable de la pérdida de inteligibilidad del texto cantado.

El segundo problema detectado, en este espacio, es la falta de intimidad acústica bajo la cúpula y en los brazos del crucero, debido a la escasez de primeras reflexiones sobre estas zonas, que además favorecerán la claridad musical y homogeneizarán el nivel sonoro en la iglesia.

La primera consideración sería actuar sobre el tiempo de reverberación, por lo que se establecen como operaciones básicas el disminuir el volumen de la iglesia y aumentar la absorción sonora. Este aumento de absorción sonora debe proporcionarse a bajas y medias frecuencias, y se puede conseguir con un tratamiento selectivo mediante el empleo de resonadores (efectivos a bajas frecuencias). No se considera adecuado a priori el empleo de tratamientos porosos, ya que su efectividad sería a medias y altas frecuencias, pudiendo aumentar los desequilibrios tonales actuales. La disminución del volumen, así como el aumento del aforo, favorecerán el ajuste de la curva tonal.

Para paliar los problemas de falta de intimidad, será necesario disponer planos reflectores en las zonas determinadas por las elipses de intimidad acústica (figura 6.19) que garanticen las adecuadas primeras reflexiones.

La intervención ha de cuidar de dejar aparente la cualidad del espacio inicial, con un respeto escrupuloso, incorporando elementos puntuales que se integren en el conjunto, ya que en edificios de gran calidad arquitectónica, el grado de autonomía de la propuesta debe ser menor, "El edificio es el maestro" según Grassi.

La disposición de gradas y tribunas ha sido un mecanismo utilizado históricamente⁴⁴ para aumentar el aforo de las iglesias, así como para disminuir el tiempo de reverberación de éstas. Esta solución se generalizó como forma de transformación de las iglesias cristianas a la liturgia protestante⁴⁵. Estos mecanismos se pueden emplear como instalaciones provisionales para la celebración de determinados acontecimientos, como en la Abadía de Westminster durante la conmemoración del centenario del nacimiento de Haendel en 1784⁴⁶, o en San Pedro de Roma durante la celebración del Concilio Vaticano II, o pueden formalizarse como anfiteatros-coros, como se ha utilizado por ejemplo en la iglesia Stella Maris de García de Paredes⁴⁷.

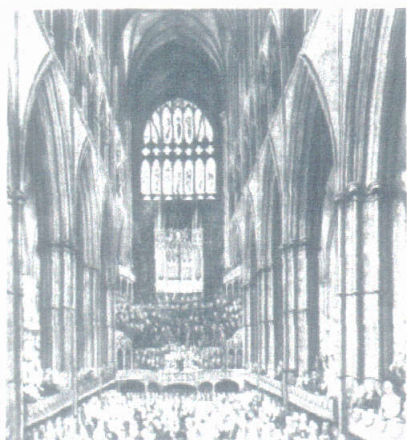


Fig. 6.20. Abadía de Westminster en el centenario de Haendel.



Fig. 6.21. Basílica de San Pedro durante la celebración del Concilio Vaticano II.

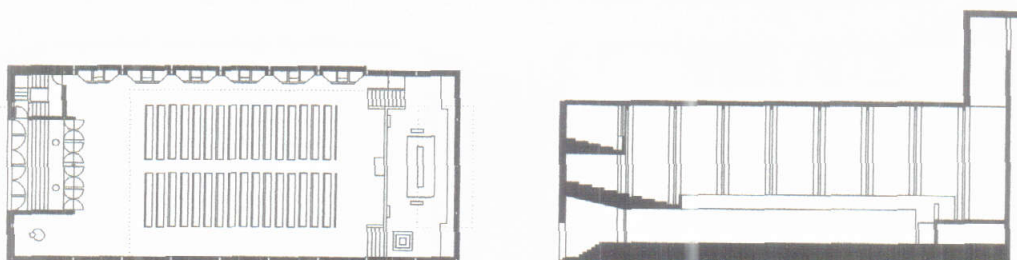


Fig. 6.22. Iglesia Stella Maris. Málaga. José María de Paredes.

Para actuar sobre el volumen de la iglesia, se propone disponer, de manera provisional para la celebración de actos culturales, en el trancoro dos niveles de gradas o anfiteatros, que suponen una escasa disminución del volumen (843 m^3), pero que principalmente presentan la ventaja de proporcionar un aumento de absorción sonora, a la vez que produce un aumento del aforo⁴⁸.

Los niveles a los que se han dispuesto los anfiteatros, se establecen para obtener una adecuada visibilidad y permitir el acceso desde el primer nivel a la galería existente sobre el coro. Se propone un acceso central desde el trancoro con dos zonas de público a ambos lados, eludiendo la mayor altura del trono episcopal que imposibilita la visión del altar mayor. En el segundo nivel, la altura se fija a partir de la altura del trono episcopal, asegurando que exista una relación adecuada entre la altura de la embocadura y la profundidad del anfiteatro, de forma que se garantice un adecuado nivel de sonido reverberante en el primer anfiteatro⁴⁹. El antepecho de este segundo nivel se conforma con paneles difusores⁵⁰, que distribuyen sonido difuso sobre la audiencia situada en la nave del coro.

La disposición del primer nivel de anfiteatro posibilita el acceso a la galería sobre el coro, y permite su utilización por parte del público, como palco de un teatro, aumentando el aforo y la absorción sonora.

Para aumentar la absorción sonora necesaria para ajustar la curva tonal a la óptima para la música, principalmente a bajas frecuencias, se disponen unas cajas de madera de 1.20 m de altura en las cornisas del altar mayor, brazos del crucero y nave del coro, que funcionan como resonadores múltiples⁵¹ y que con su carácter continuo recuerdan a los antiguos triforios de las iglesias⁵².

La segunda consideración sería aumentar el número de primeras reflexiones y eliminar en lo posible reflexiones tardías, con lo que se intentará paliar el problema de falta de intimidad acústica detectado. Las posibles soluciones⁵³, en función de las elipses de intimidad acústica, son la disposición, dada la gran altura del altar mayor, de un panel colgado a modo de baldaquino. Las reflexiones deben provenir principalmente de un elemento colgado, debido a la anchura de los brazos del crucero en relación con la apertura del altar mayor, no pudiendo existir reflexiones laterales desde dicho brazo del crucero⁵⁴, puesto que las reflexiones laterales sólo se podrían obtener de pequeños paneles situados en el altar mayor que imposibilitarían una adecuada situación de la orquesta.

La disposición de un baldaquino, que cubre el altar, ha sido un viejo recurso arquitectónico en situaciones en las que se deseaba cualificar o bien significar una parte del espacio.



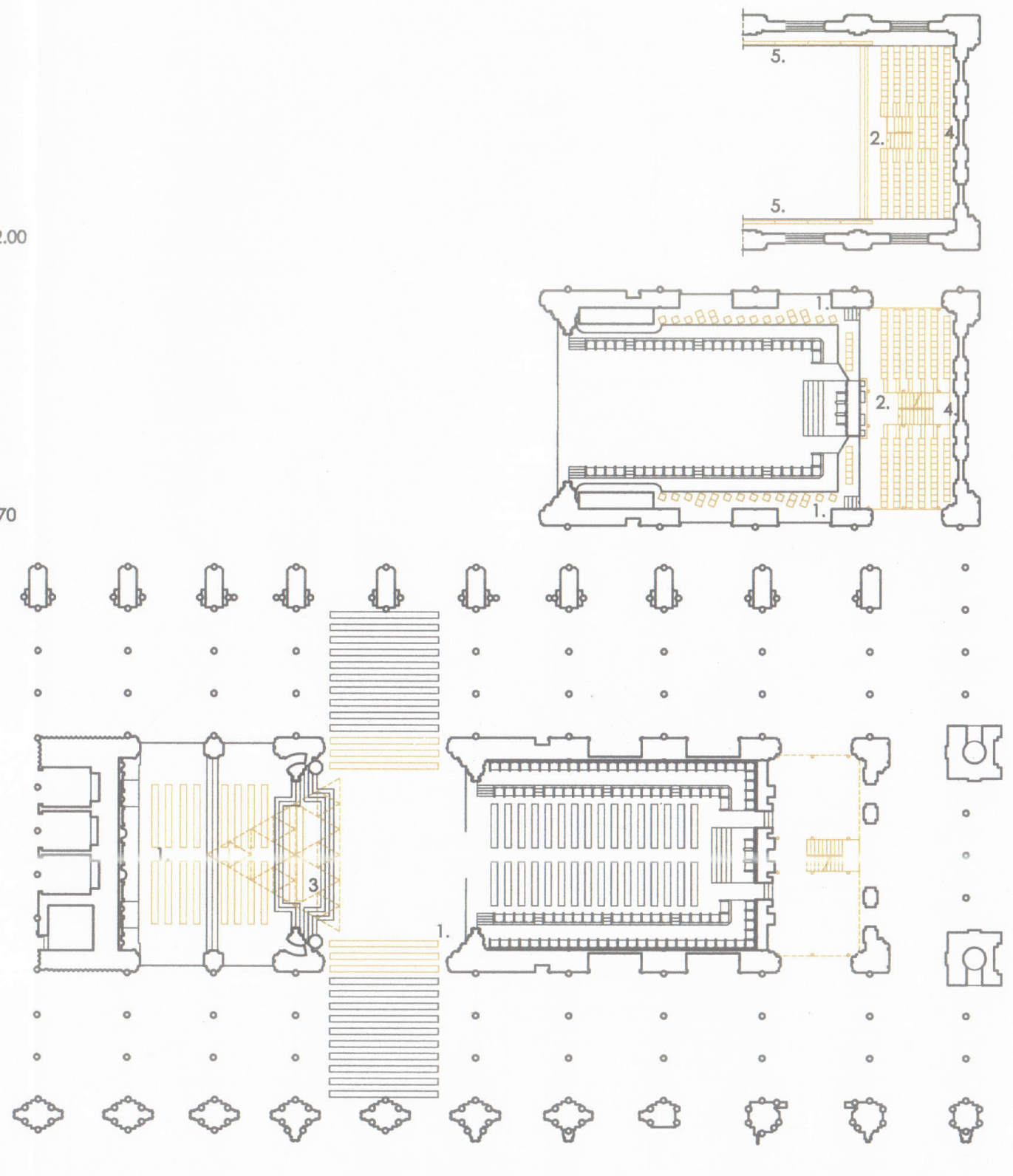
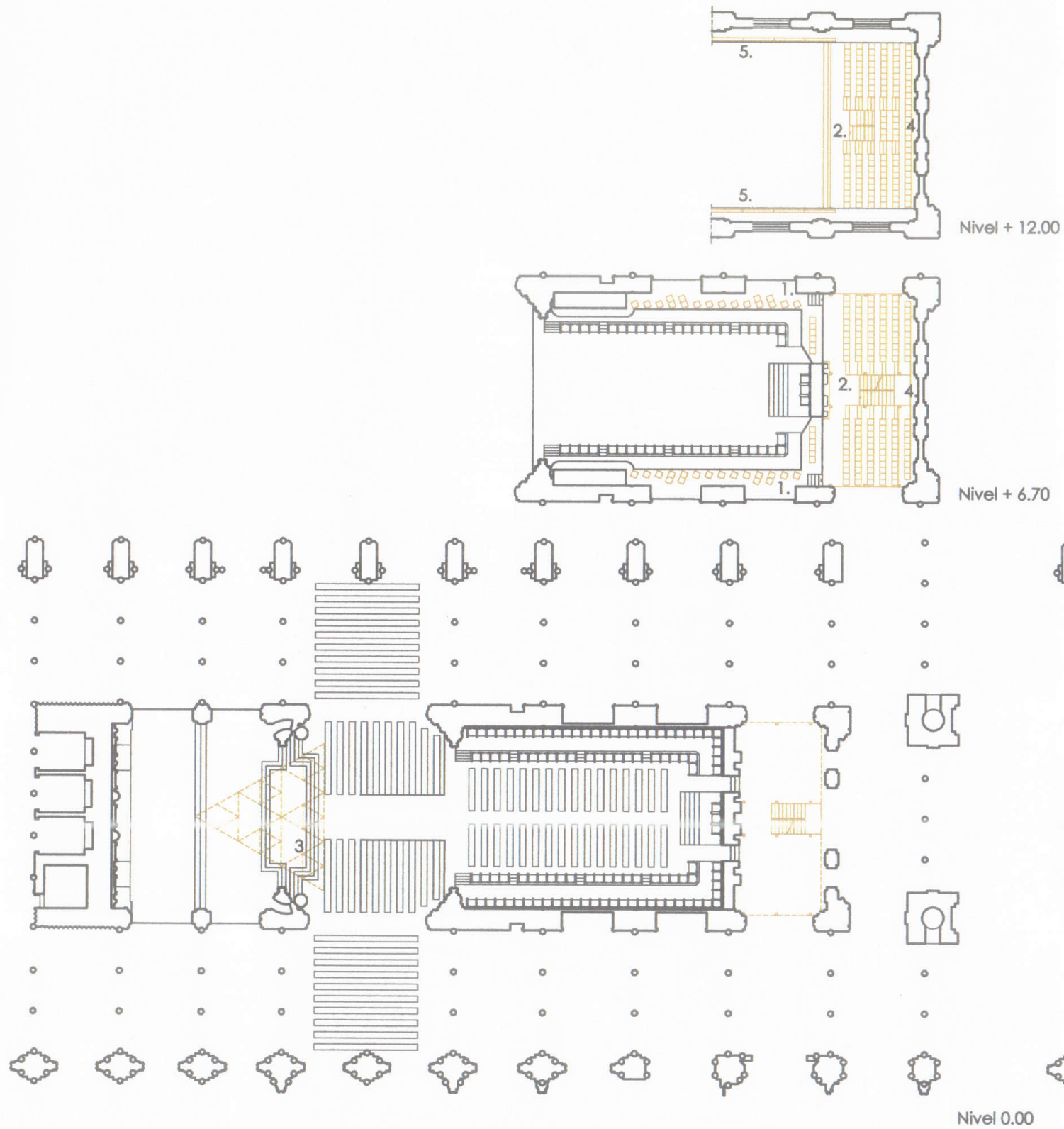
Fig. 6.23. Baldaquino Catedral de Santiago de Compostela. Domingo de Andrade.



Fig. 6.24. Baldaquino Catedral de Palma de Mallorca. A. Gaudí.

Se opta por disponer una malla triangular, gran vela, a modo de baldaquino, abierto de forma que permite una transparencia visual⁵⁵, conformándose mediante paneles triangulares no planos de madera contrachapada de 1 a 1.5 cm de espesor, de tal forma que se asegure que dos vértices están a la misma cota, suspendidos por cables de acero. Moviendo ligeramente la altura de los vértices de los triángulos, la malla se fractura y se descompone en caras, consiguiendo en cada pieza una singularidad de orientación, para proporcionar energía primaria a la audiencia, y que las reflexiones lleguen poco después del sonido directo, confiriéndole las características de una sala de tipo rectangular⁵⁶.

Se opta por utilizar muchos elementos de pequeño tamaño, en planos con diferentes orientaciones, siguiendo las investigaciones de Rindel⁵⁷, que proporcionen las reflexiones deseadas tanto a los puntos bajo la cúpula como en los brazos del crucero⁵⁸.



HIPÓTESIS DE OCUPACIÓN CON FUENTE EN ALTAR MAYOR.

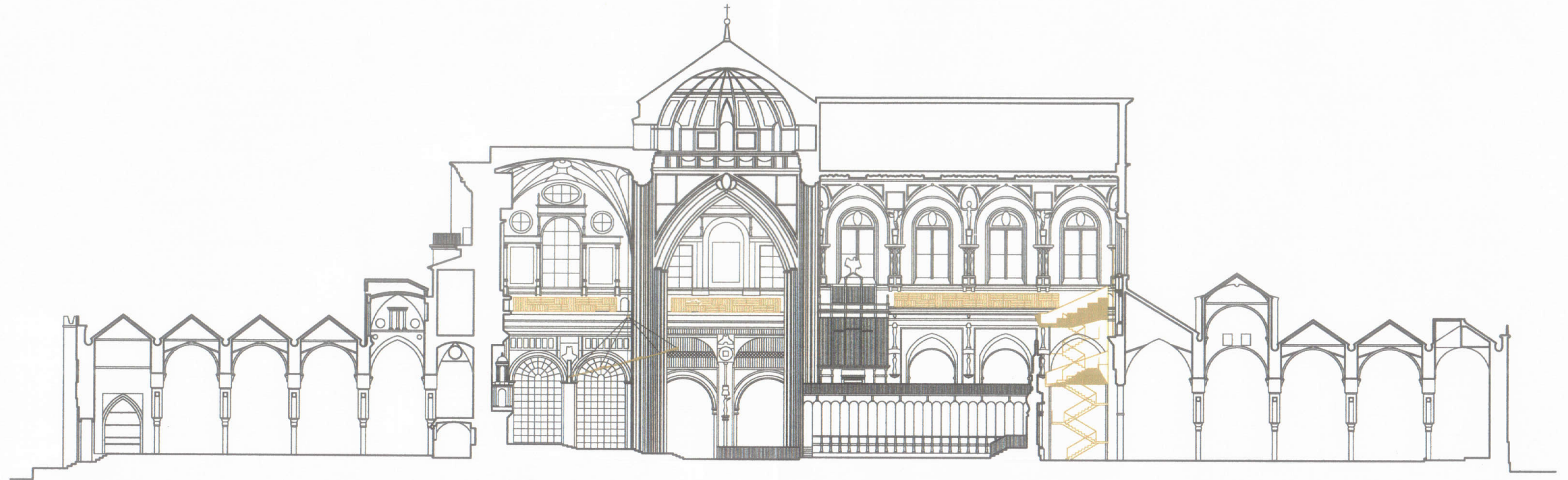


HIPÓTESIS DE OCUPACIÓN CON FUENTE EN EJE DE CÚPULA.

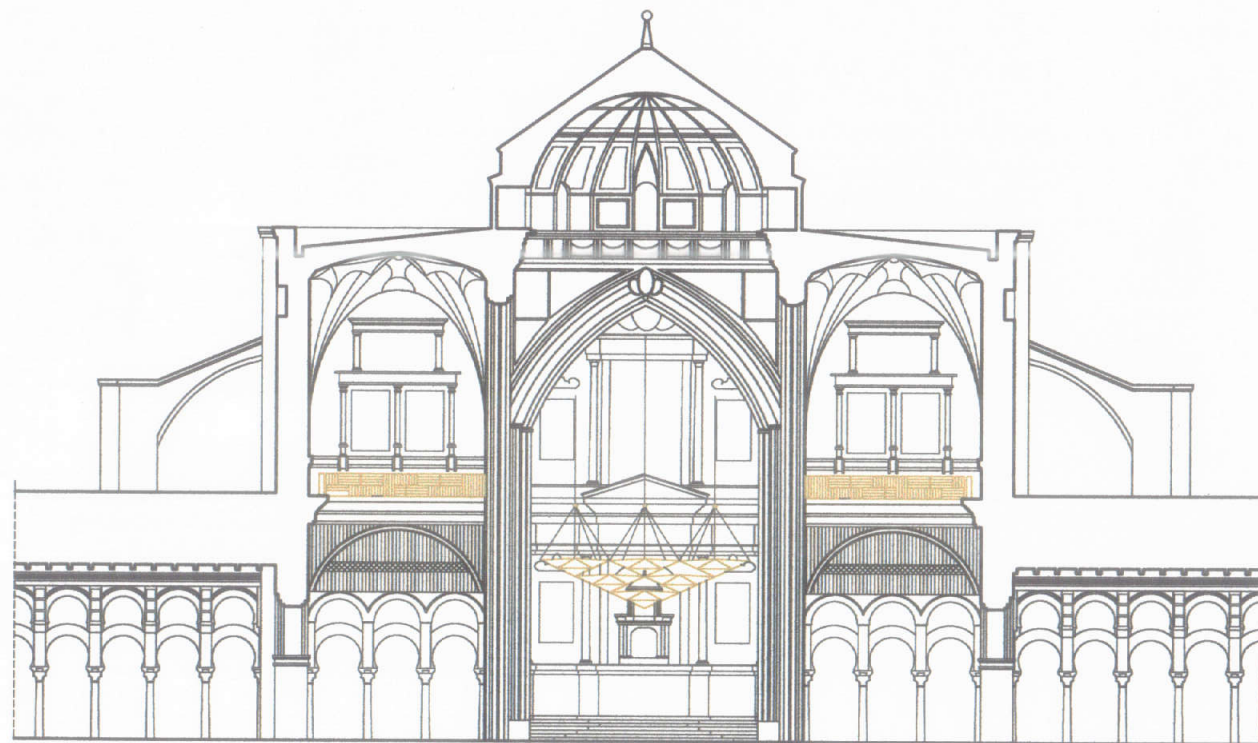
1. Sillas de madera. 2. Anfiteatro con gradas telescópicas. 3. Baldaquino formado por paneles triangulares de madera de abedul de 1.5 mm colgados por cables de acero. 4. Cortina terciopelo fruncida 180% separada 20 cm de la pared. 5. Resonador múltiple formado por panel de 17 mm perforado con taladros \varnothing 8 mm en un porcentaje 5%, cámara de 100 mm con lana de vidrio de 60 mm y fondo formado por bastidor madera rígido.

CATEDRAL DE SANTA MARÍA DE LA ASUNCIÓN. CÓRDOBA.
PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.

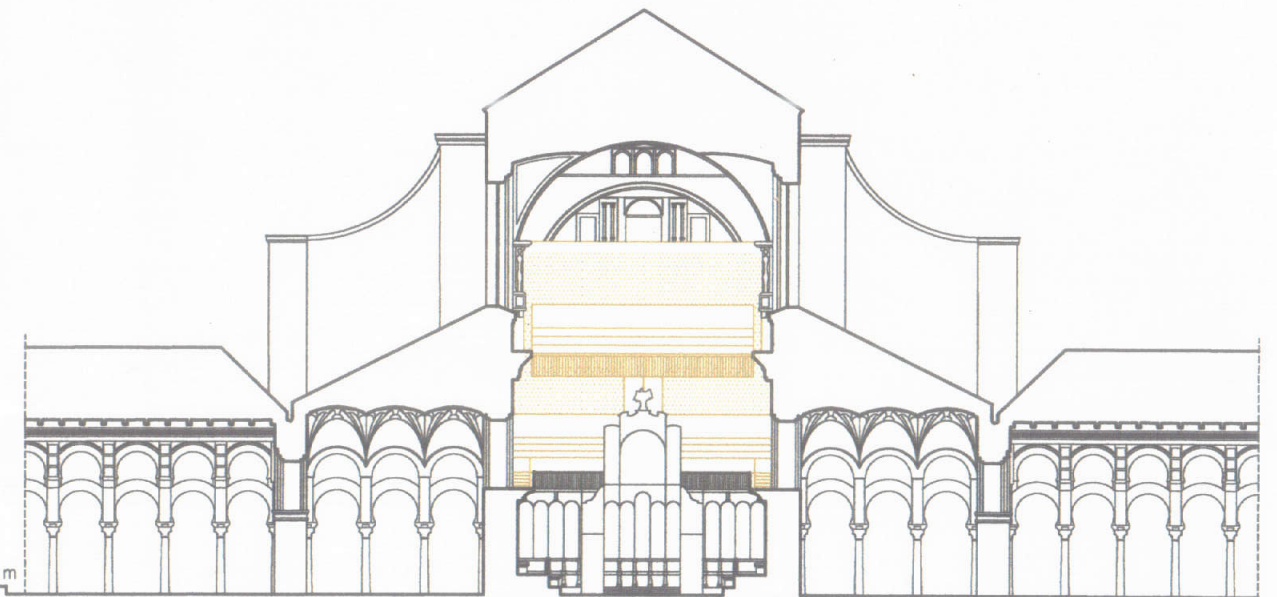
6.2
PLANO



SECCIÓN LONGITUDINAL



SECCIÓN TRANSVERSAL HACIA ALTAR MAYOR



SECCIÓN TRANSVERSAL HACIA CORO

CATEDRAL DE SANTA MARÍA DE LA ASUNCIÓN. CÓRDOBA.
PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.

6.3
PLANO

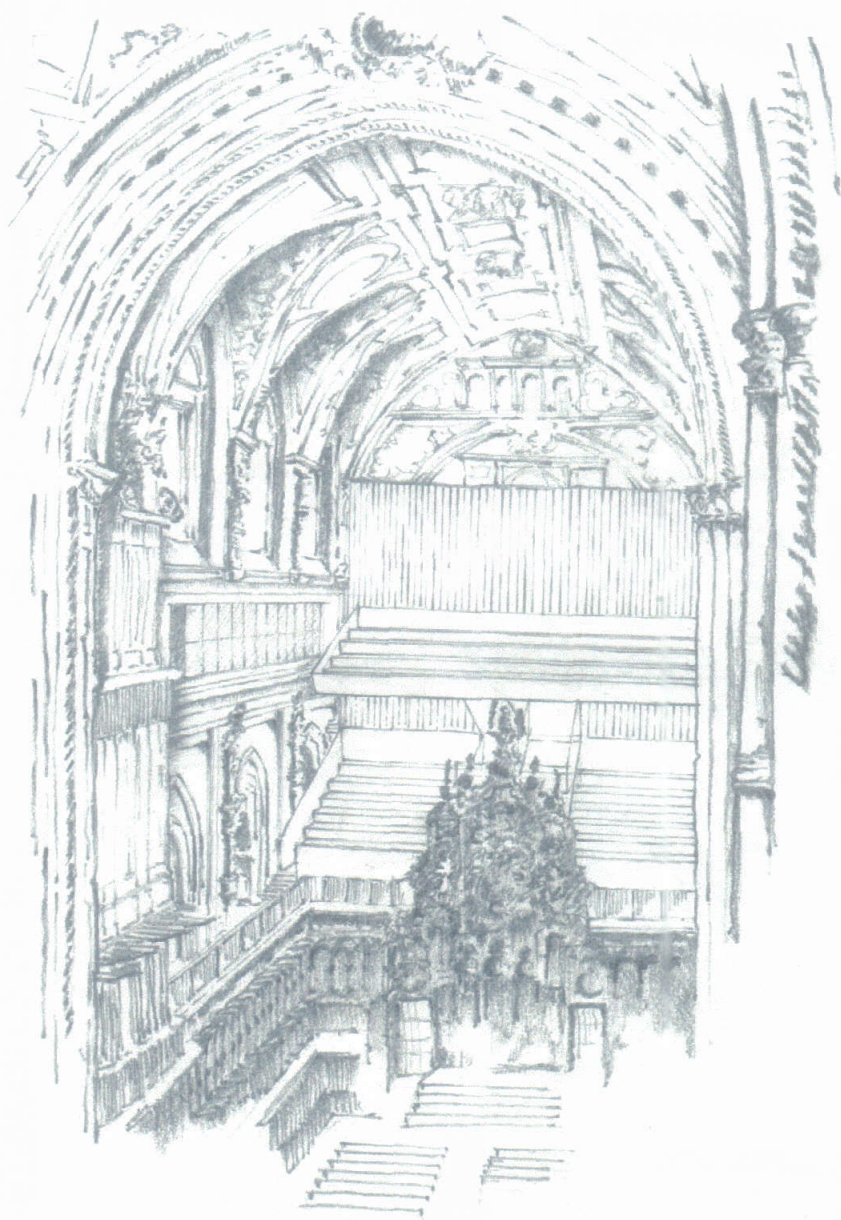


Fig. 6.25. Vista del coro tras la intervención.

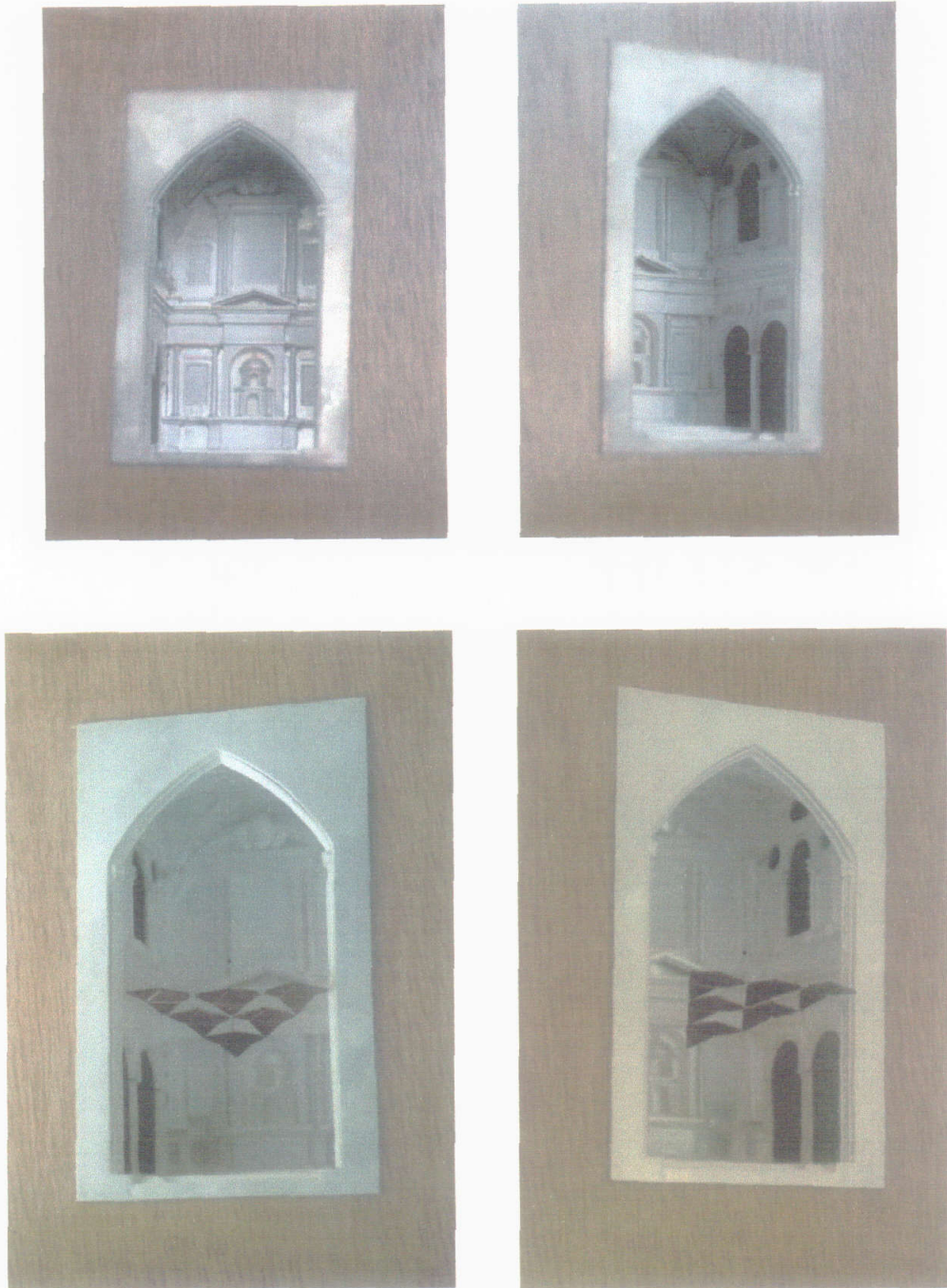


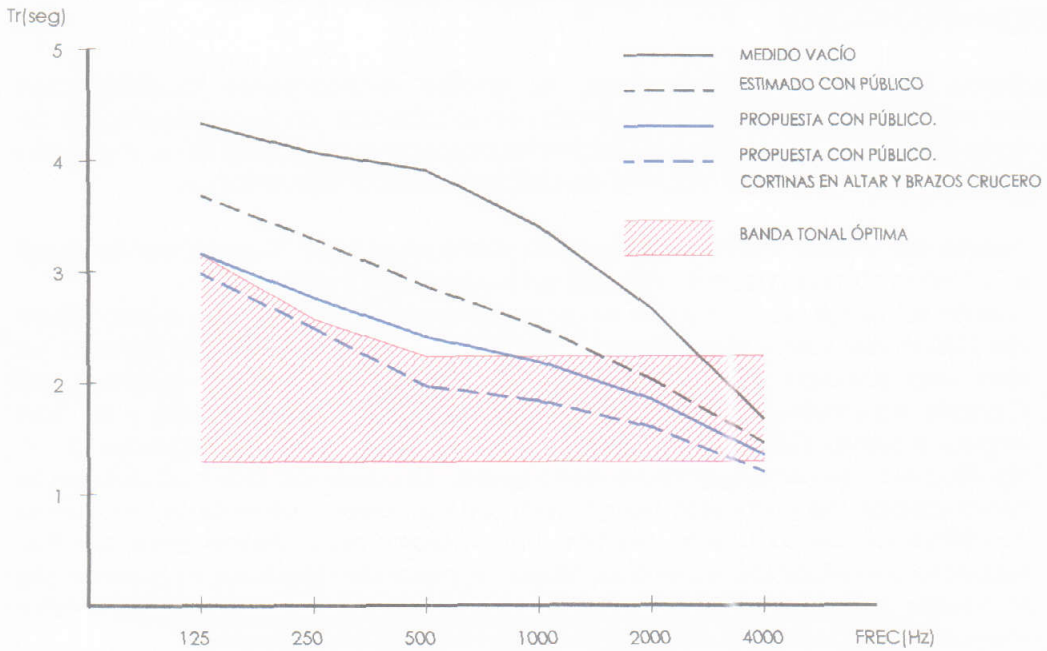
Fig. 6.26. Maqueta del altar mayor con baldaquino.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

A partir del modelo informático, siguiendo la metodología utilizada en el análisis del estado actual y con el empleo de la fórmula de Sabine, se realiza el cálculo del tiempo de reverberación de la propuesta de intervención.

MATERIAL	SUP. (m ²)	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Público en sillas	907	0.24	0.32	0.51	0.60	0.59	0.56
Orquesta	95	0.60	0.74	0.88	0.96	0.93	0.85
Mármol	146	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
Moqueta	198	0.09	0.08	0.21	0.26	0.27	0.37
Vidrio	431	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
Madera coro	671	0.16	0.16	0.13	0.13	0.22	0.25
Piedra arenisca	1929	0.02	0.02	0.06	0.08	0.04	0.05
Tapices-cuadros	283	0.05	0.12	0.35	0.46	0.38	0.36
Superficie virtual	342	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
Piedra decorada	1906	0.05	0.07	0.03	0.04	0.08	0.15
Bóveda	498	0.05	0.06	0.07	0.09	0.07	0.08
Cortina pesada fruncida	101	0.17	0.32	0.62	0.60	0.60	0.67
Baldaqino madera	74	0.16	0.16	0.13	0.10	0.06	0.06
Resonador múltiple	135	0.80	0.94	0.46	0.27	0.13	0.09
Panel flutterfree	20	0.23	0.24	0.35	0.23	0.20	0.20
Aire (m ³)	21271					0.008	0.021
SUPERFICIE TOTAL	7581						

Tabla 6.6. Características absorbentes de los diferentes materiales.



	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Medido vacío	4.33	4.07	3.91	3.39	2.66	1.67
Estimado público	3.68	3.29	2.86	2.50	2.05	1.43
Propuesta público	3.16	2.76	2.41	2.18	1.85	1.35
Propuesta cortinas	2.98	2.49	1.97	1.84	1.60	1.20
Óptimo música	3.15	2.58	2.24	2.24	2.24	2.24
Óptimo palabra	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28

Fig. 6.27. Tiempos de reverberación medido, estimado, propuesta y óptimos.

Los valores del tiempo de reverberación obtenidos, para cada octava de frecuencia, suponen una mejora, principalmente a bajas frecuencias, adaptándose a la curva tonal óptima para la música a bajas y medias frecuencias. Al igual que sucede en el estado actual, se seguirá produciendo una mayor absorción sonora para las altas frecuencias.

La incorporación de cortinajes de terciopelo en los laterales del altar mayor y brazos de crucero, habitual en las grandes celebraciones, supone un aumento de absorción sonora, que produce unos valores de tiempo de reverberación inferiores a los óptimos para la música, considerándose inapropiado su uso⁵⁹, ya que el tiempo de reverberación debe estar cercano al óptimo en función del tipo de música, pero no debe ser menor⁶⁰ (figura 6.8).

En relación con los valores de los índices de brillantez y calidez, existe una ligera mejora, pero el sonido continúa presentando problemas a altas frecuencias, no siendo un sonido "limpio y claro" debido a no presentar una adecuada riqueza en armónicos.

	BR	Br
Propuesta	1.28	0.69
Propuesta con cortinas	1.43	0.73
Valores recomendados	1.1÷1.25	>0.87

Tabla 6.7. Valores de calidez y brillo con público en sillas.

DISTRIBUCIÓN SONORA.

Mediante la simulación informática, se analiza teóricamente la distribución sonora para la propuesta de intervención en la catedral, sin la consideración de los cortinajes. La fuente emite con la misma potencia sonora que en la medición acústica. Se proponen dos hipótesis de ubicación de la fuente sonora:

- Fuente en el altar mayor, en el punto marcado como "fuente" en la figura 6.7, misma situación que la utilizada en la medición in situ.
- Fuente en el eje de la cúpula, en el punto marcado como "4", a una altura de 2.00 m del suelo. El desplazamiento del altar hacia el eje del crucero ha sido una solución utilizada en grandes catedrales tras las reformas del Concilio Vaticano II, como por ejemplo en Notre-Dame de París y en San Miguel y Santa Gudula de Bruselas. Esta situación puede proporcionar un significativo aumento del aforo de la iglesia, al poder ocupar con público la prolongación de los brazos del crucero en las naves musulmanas, ya que la modificación de la fuente permite una mejora visual desde estos puntos, respecto a la situación en el altar mayor. A pesar de desplazar la posición de la fuente sonora, se mantiene la disposición del baldaquino en el altar mayor⁶¹ para garantizar reflexiones sobre el área de la orquesta.

Los valores de presión sonora, respecto a la distancia a la fuente, obtenidos para la hipótesis de fuente en el altar mayor, son similares a los obtenidos en la simulación del estado actual con público. Cuando la fuente se sitúa en el eje de la cúpula, la distancia a todos los puntos es menor, lo que supone un aumento del nivel sonoro, para los puntos situados en el eje longitudinal de la catedral, mientras que existe una importante caída del nivel sonoro (6.4 dB cada 10 m) para los puntos situados en el eje transversal, brazos del crucero y prolongación de éstos en las naves musulmanas, que se debe a la falta de reflexiones laterales

y a un posible efecto secundario de la cúpula, al acoplarse al espacio de los brazos del crucero⁶².

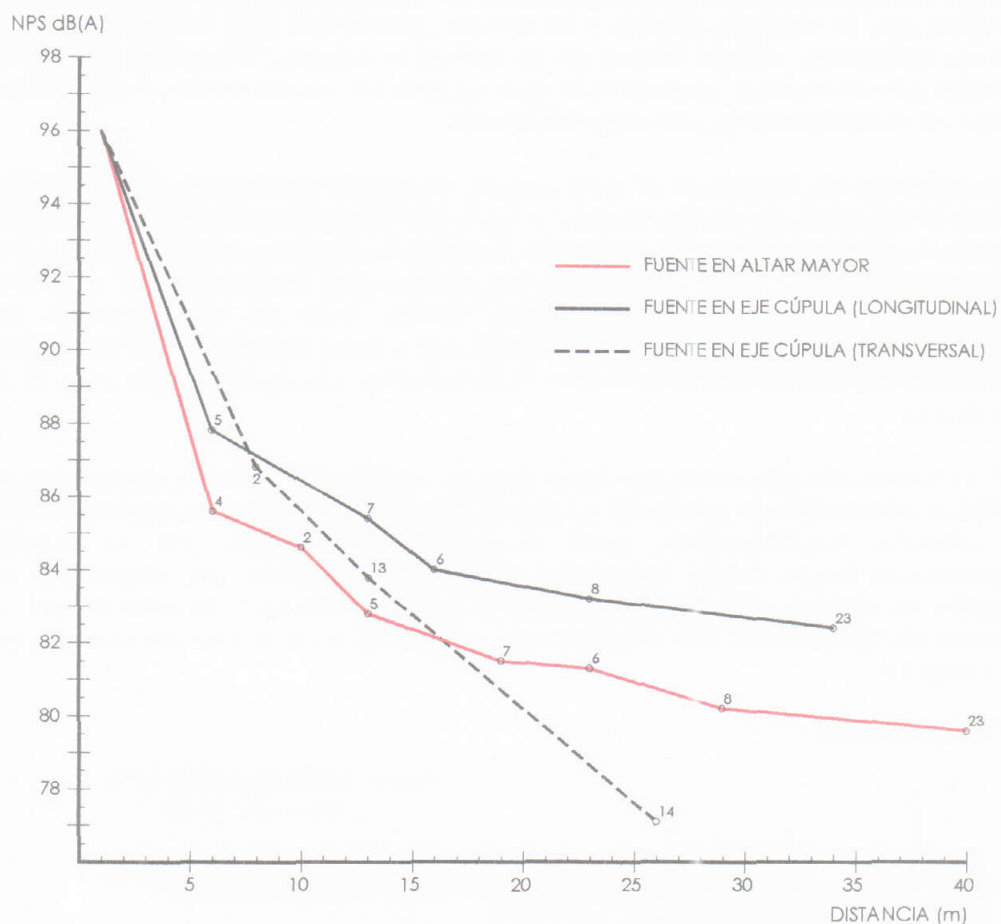


Fig. 6.28. Nivel de presión sonora respecto a la distancia. Propuesta.

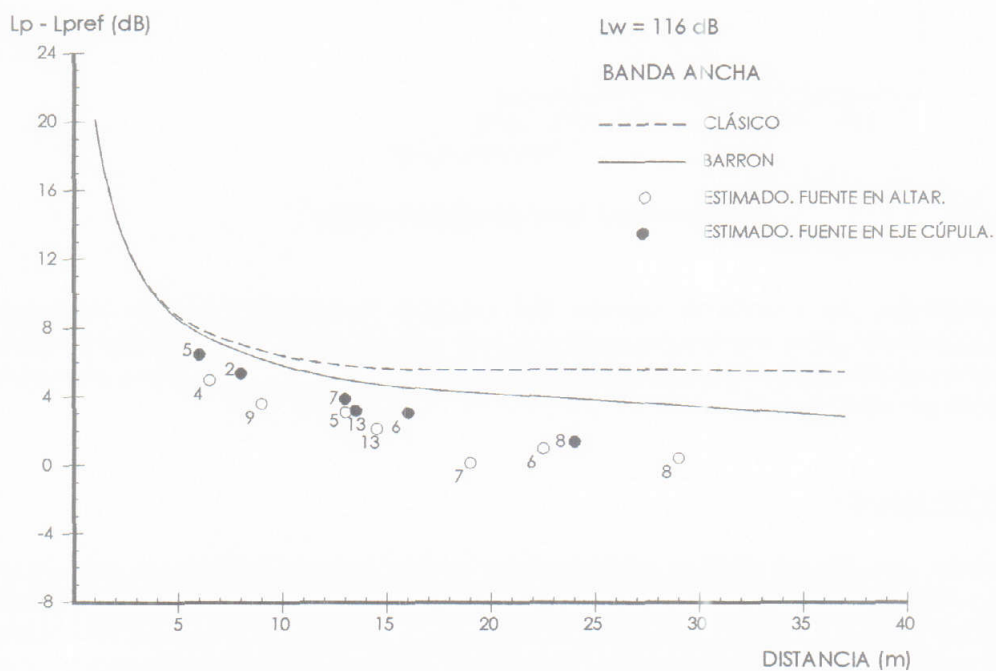


Fig. 6.29. Comportamiento estimado del campo acústico frente a la distancia.

Se han representando, los niveles de presión sonora global estimados en función de la distancia a la fuente, tanto para la hipótesis de fuente en el altar como para la fuente en el eje de la cúpula, y se han comparado con los valores previstos por el modelo clásico y el modelo de Barron (fig. 6.28). Los niveles sonoros estimados, con la fuente en el eje de la cúpula, se ajustan más a los previstos por el modelo de Barron, lo que supone un aumento de la difusión del sonido, al incrementar las primeras reflexiones.

En la hipótesis de fuente en el altar mayor, el estudio teórico de las reflexiones (véase ecogramas de las figuras A6.7 y A6.8, así como resumen de reflexiones en la tabla A6.25 del apéndice 6), muestra un sensible aumento de reflexiones y una mejora de la intimidad acústica en los brazos del crucero, junto con una disminución generalizada de reflexiones tardías, fruto de la disposición del baldaquino, que incorpora primeras reflexiones y evita reflexiones tardías desde la bóveda del altar mayor, y una cola reverberante que se sitúa en el umbral de percepción.

Con la fuente situada en el eje de la cúpula, existe un aumento de reflexiones tardías procedentes de la cúpula y bóvedas de los brazos del crucero. La cúpula no provoca focalizaciones, pero ocasiona la aparición de un sonido reverberante tardío desde la cúpula, que puede generar una sensación de molestia en el altar mayor y brazos del crucero. En la zona del altar mayor se pueden dar problemas, por el efecto de sombra que producen los cuerpos de los músicos⁶³.

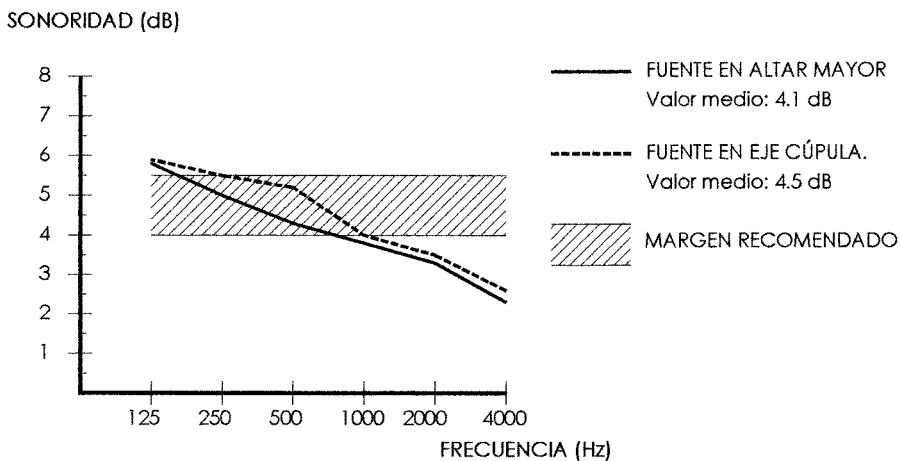


Fig. 6.30. Valores de sonoridad. Propuesta iglesia vacía.

La sonoridad se mantiene dentro del margen recomendado por Beranek, principalmente para medias frecuencias, con valores algo más elevados cuando la fuente se sitúa en el eje de la cúpula, que hace que el sonido suene algo más potente en este espacio.

INTELIGIBILIDAD

En cada uno de los puntos considerados como representativos, se evalúa el índice RASTI teóricamente, para cada una de las hipótesis consideradas, con la catedral ocupada. Este índice se ha corregido con el factor obtenido previamente en la tabla 6.5, para adecuar el índice RASTI de la simulación a la medición realizada.

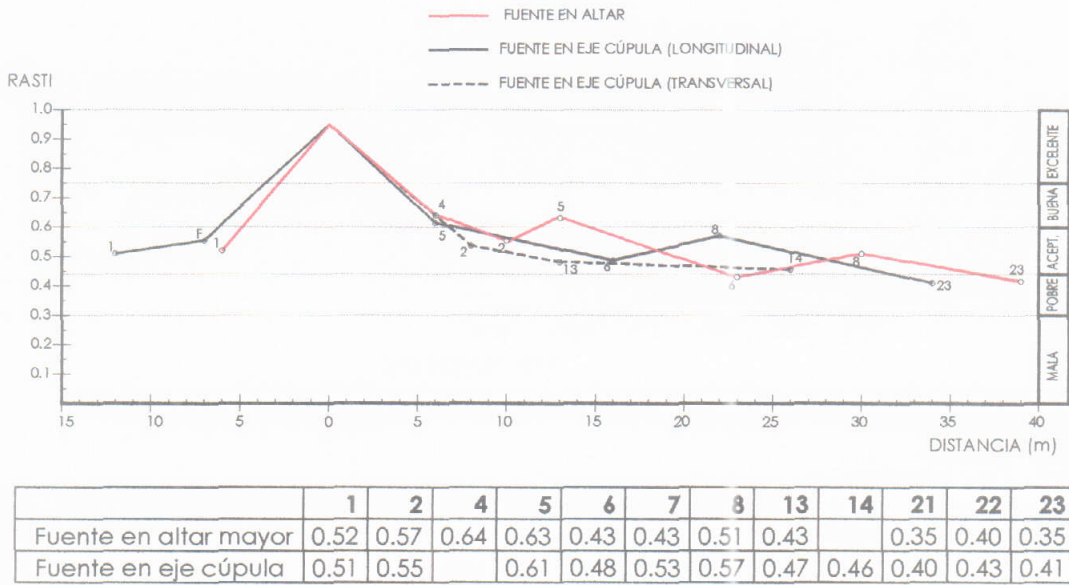


Fig. 6.31. Índice RASTI frente a la distancia estimado con público. Propuesta.

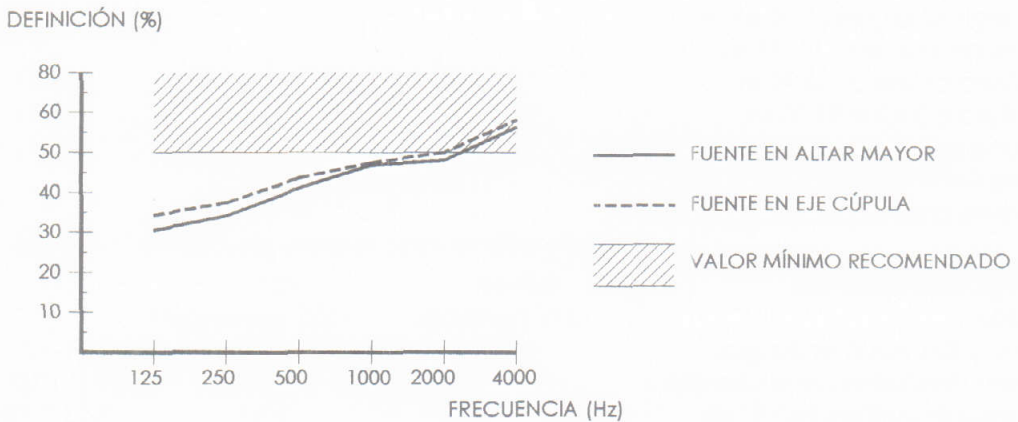


Fig. 6.32. Valor de definición, estimados con público. Propuesta.

Tal y como se observa en la figura 6.31, los valores de inteligibilidad de la palabra obtenidos se pueden calificar como "aceptables", para las diferentes hipótesis de situación de la fuente sonora. Sin embargo, los valores de definición son inferiores al mínimo recomendado para las bajas frecuencias, mientras que son apropiados para altas frecuencias, debido a la mayor absorción sonora a estas frecuencias (figura 6.32). Los puntos situados en los anfiteatros, debido principalmente a su mayor distancia de la fuente, presentan unos valores de definición inferiores a los obtenidos en el resto de la sala (tablas A6.19 y A6.20 del apéndice 6).

Los valores de la claridad musical, que son similares en las dos hipótesis consideradas, se pueden considerarse adecuados (figura 6.33) ya que se encuentran en la banda considerada como óptima, salvo para las altas frecuencias en las que el sonido es excesivamente claro, debido al exceso de absorción sonora del aire.

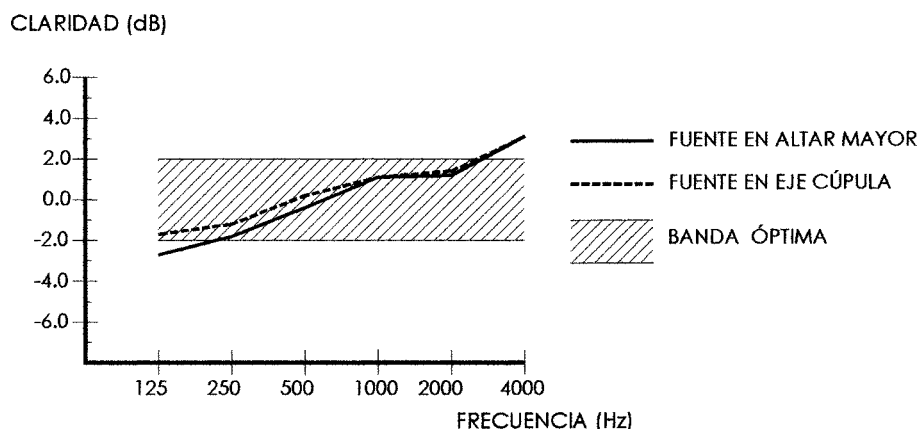


Fig. 6.33. Valor de claridad musical, estimados con público. Propuesta.

OTROS PARÁMETROS.

Volumen: 21271 m³
 Longitud total: 44.90 m.
 Longitud coro: 20.00 m.
 Ancho coro: 13.40 m.
 Altura coro: 24.90 m.
 Longitud crucero: 35.55 m.
 Ancho crucero: 11.20 m.
 Altura crucero: 24.90 m.
 Altura cúpula: 34.35 m.
 Longitud altar mayor: 13.70 m.
 Ancho altar mayor: 14.30 m.
 Altura altar mayor: 24.80 m.

	Fuente altar mayor	Fuente eje cúpula	Rango
Area de audiencia:	907 m ²	907 m ²	
Aforo:	1479 personas	1527 personas ⁶⁴	
Relación volumen/plaza:	14.38	13.92	5.1-9.1
Volumen/área de audiencia:	23.45	23.45	9.2-12.0
Área de audiencia/plaza:	0.61	0.59	0.63-0.75

CONCLUSIONES.

La catedral presenta una mejora del tiempo de reverberación, con una curva tonal adecuada para el uso musical, presentando problemas a altas frecuencias como consecuencia de la existencia de una mayor absorción sonora debida principalmente al aire⁶⁵. Esta absorción sonora es la responsable de que se produzca un desequilibrio hacia las bajas frecuencias, por lo que la sensación subjetiva será la de una sala algo "oscura", con falta de brillo.

La distribución sonora es homogénea, con un equilibrio sonoro entre las diferentes zonas de la catedral, y una mejora de la intimidad acústica, fruto de la incorporación del baldaquino que aumenta las primeras reflexiones en los puntos situados bajo la cúpula y en los brazos del crucero. Dada la escasez general de primeras reflexiones, adquiere especial importancia la ubicación de la fuente sonora, de manera que, en función de ésta puede llegarse a producir un acercamiento entre la fuente y los diferentes puntos. Esta aproximación entre emisor y receptor, junto con el incremento de primeras reflexiones, se traduce en notables mejoras de los niveles de presión sonora (figura 6.34).

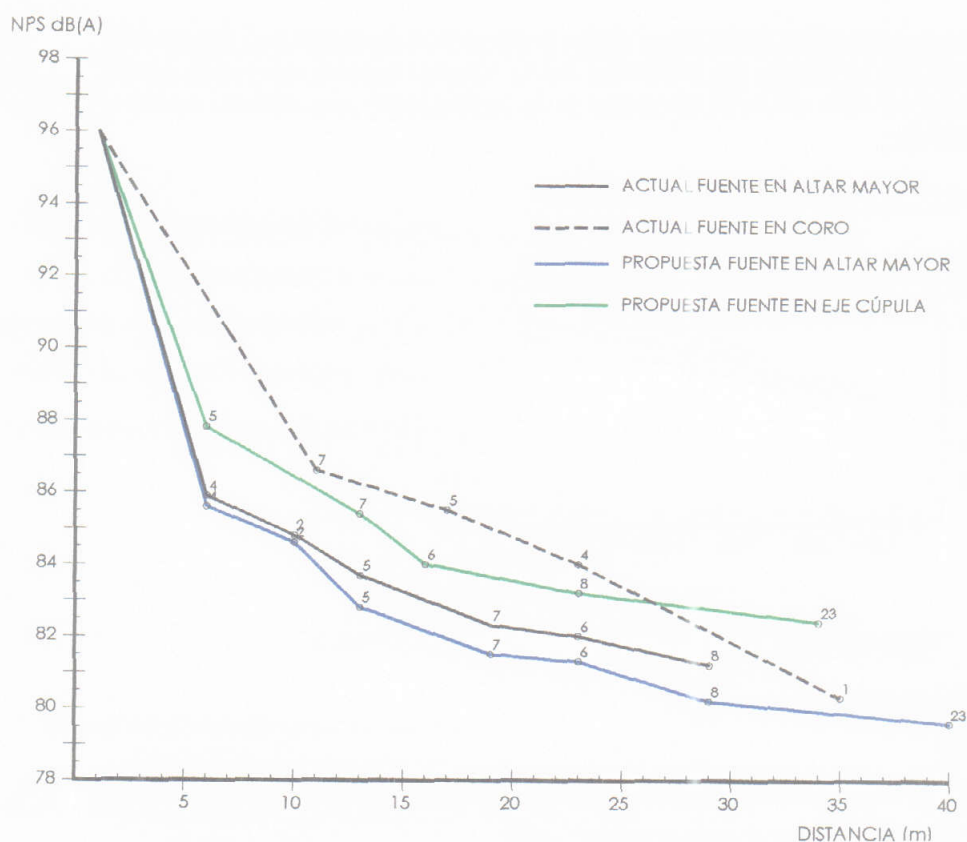


Fig. 6.34. Nivel de presión sonora respecto a la distancia. Iglesia ocupada.

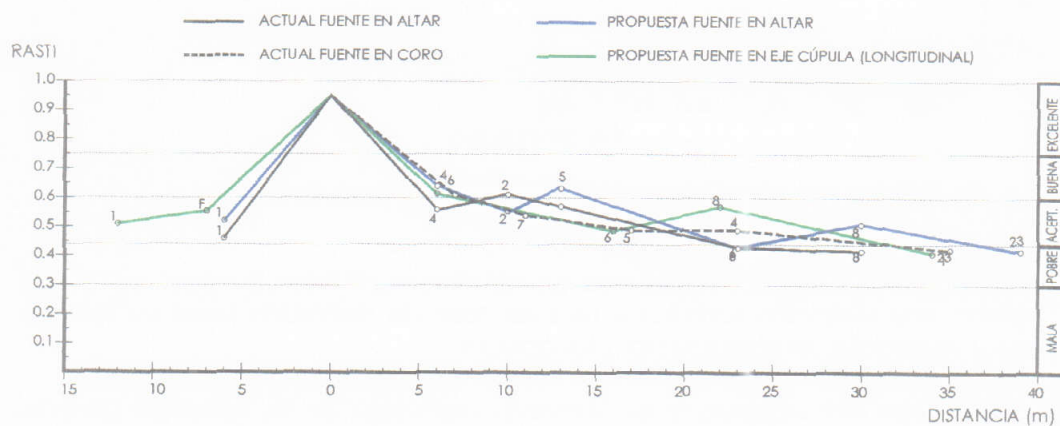


Fig. 6.35. Índice RASTI frente a la distancia.

La calidad sonora decrece rápidamente con la distancia en la zona trasera de la catedral, debido a la longitud de la nave del coro y a la altura de la cúpula y bóvedas⁶⁶. Los instrumentos de viento acusan este problema, y los de cuerda pierden fuerza y vibrato; sólo los metales y la percusión soportan estas condiciones sin merma aparente⁶⁷.

La sonoridad se encuentra dentro del margen recomendado para una sala de conciertos, siendo algo inferior para las altas frecuencias, por lo que el sonido tenderá a sonar algo "seco" a estas frecuencias.

Los valores del índice RASTI permiten calificar la inteligibilidad como "aceptable", para las dos hipótesis de situación de la fuente sonora, con una sensible mejora del índice RASTI de 0.04 respecto a la estimación del estado actual ocupado con público.

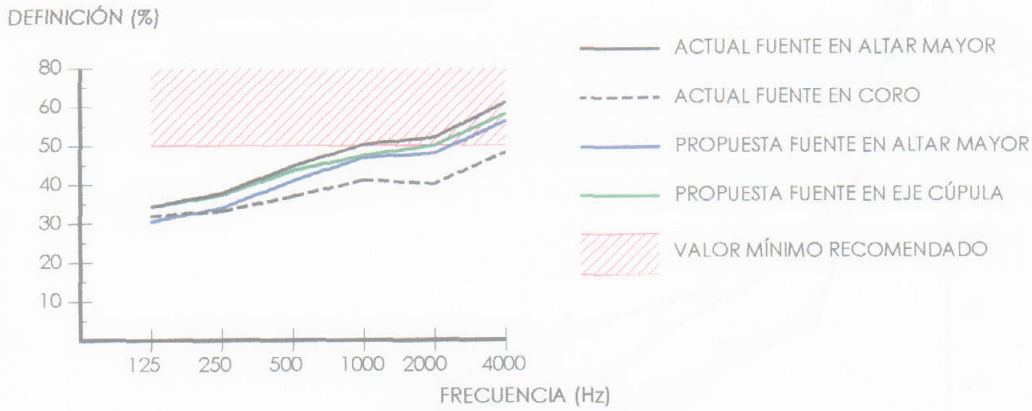


Fig. 6.36. Valores de definición, estimados con público

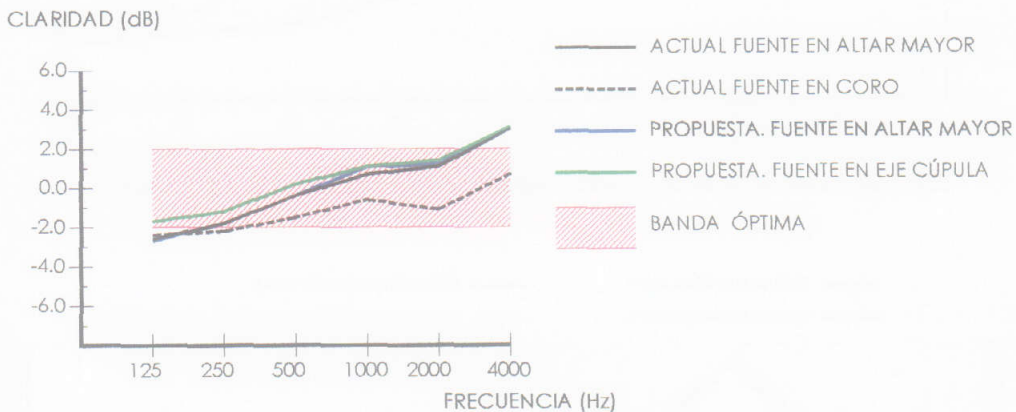
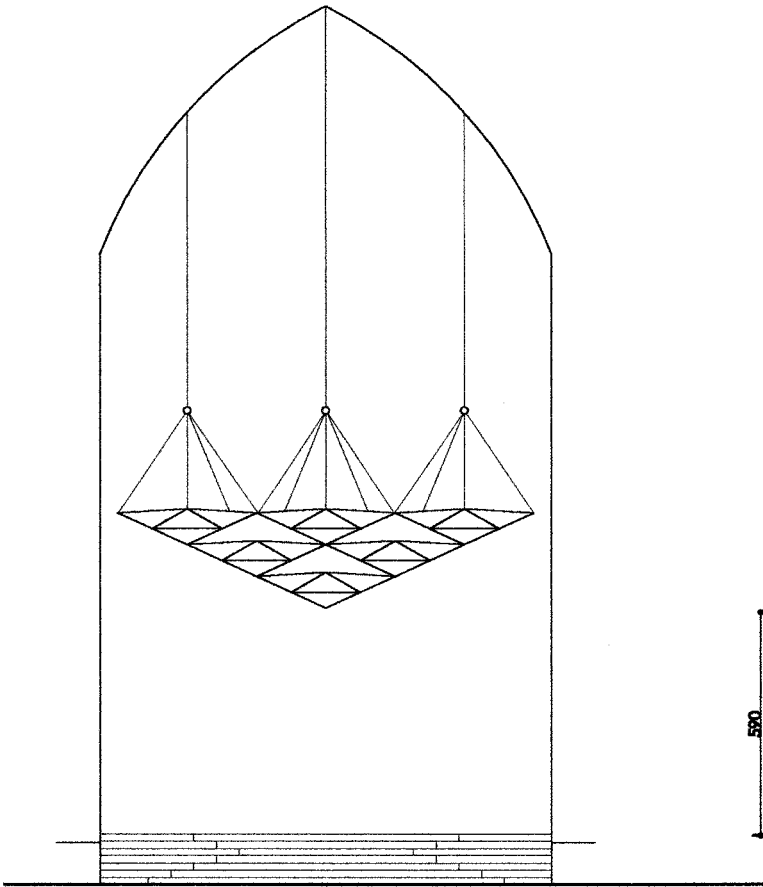


Fig. 6.37. Valores de claridad musical, estimados con público.

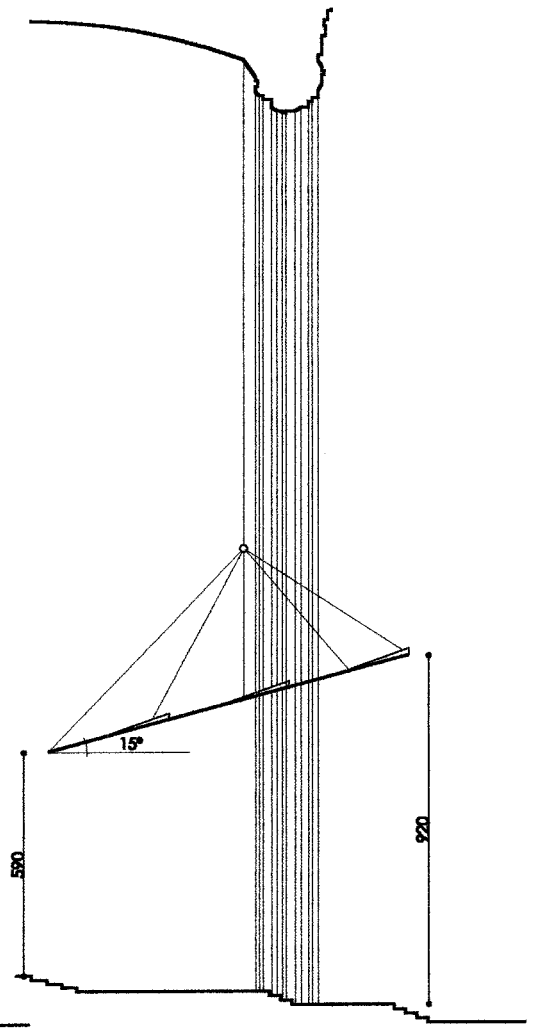
Los valores de definición, al igual que los valores de claridad musical, apenas si presentan una variación sustancial: una escasez de definición para los sonidos graves y un exceso de claridad para los agudos.

La disminución del volumen y el aumento del aforo en la catedral permite acercar la relación volumen/plaza al rango recomendable, existiendo dificultades para un posible aumento del aforo sin que esto suponga un detrimento de las condiciones acústicas en los nuevos puntos⁶⁸. Así por ejemplo, con la fuente ubicada en el eje de la cúpula, los puntos situados en la prolongación de los brazos del crucero presentan una importante caída de nivel sonoro, con unas deficientes condiciones acústicas, características de un espacio reverberante como son las naves musulmanas.

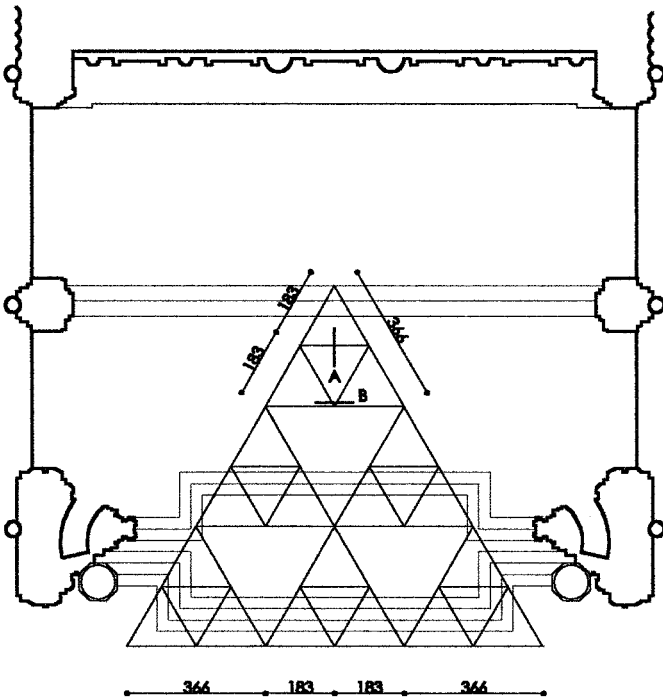
En consecuencia, en la propuesta de intervención, para las dos posiciones de la fuente, se producen unas correctas condiciones acústicas para la interpretación musical de obras sacras barrocas y música romántica. No obstante, para paliar los problemas causados por la absorción sonora a altas frecuencias, la interpretación musical debería incrementar la intensidad a estas frecuencias, para compensar el decaimiento de color del tono en el grupo orquestal.



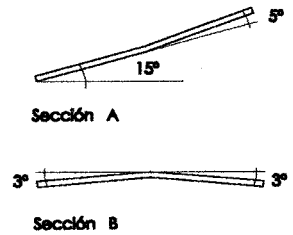
ALZADO



SECCIÓN LONGITUDINAL

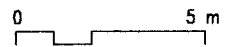
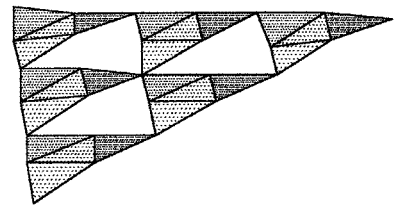


PLANTA



Sección A

Sección B



Detallando aún más, la ubicación de la fuente en el altar mayor se considera más apropiada para la interpretación de obras sacras de coro y orquesta, caracterizadas por un importante nivel de emisión sonora.

La posición de la fuente en el eje de la cúpula estaría más acorde con aquellas obras en las que no exista texto cantado, ya que las características direccionales de la voz no se adaptan correctamente a la situación de la fuente rodeada de público, y con un menor tamaño de orquesta, lo cual redundará en niveles sonoros, en general, menores, por lo que será necesario disminuir la distancia entre la fuente y el espectador.

NOTAS.

¹ SACHEVERELL SITWELL "Pájaro de Fuego" *Cupid and the Jacaranda*. Londres, Macmillan & Co., 1952. Citado en FMR nº 2, Barcelona 1990, pp. 46-48.

² "La cristianización del reino de Granada, los problemas norteafricanos y el paulatino reforzamiento de la latinidad hacían cada vez más enojoso soportar el continuo testimonio del poder musulmán que eran las naves de la mezquita". VILLAR MOVELLÁN, A. "La arquitectura del quinientos" en *Córdoba y su provincia tomo III*, Ediciones Gever S.L., Sevilla 1986, p. 211.

³ DABRIO GONZÁLEZ M.T. y RAYA RAYA M.A. "El arrebató humanista" en *Córdoba Capital. Tomo II Arte*. Caja Provincial de Ahorros de Córdoba, Córdoba 1994, p. 42.

⁴ NIETO CUMPLIDO, M. relata la historia y desarrollo de la construcción y las reticencias y críticas a su construcción; en abril de 1523 el consejo de la ciudad se alarma "el dean e cabildo de la yglesia desta çibdad an començado a derribar la obra de la yglesia mayor della...por manera queste templo está edeficado es único en el mundo"; en un pregón de mayo se argumenta que "la obra que se desdase es de calidad que no se podrá boluer a fazer en la bondad y perfeçion questá fecha" y en carta de 1637 a Felipe II se comenta "... no quisieran se vuiera alterado la fabrica primera y que la Capilla, Crucero i Coro nuevos se vieran fabricado en la gran area o plaça deste templo tan espacioso" en *La Catedral de Córdoba*. Cajasur, Córdoba 1998, pp. 499-521.

⁵ Alonso Manrique pedía que "fuera en compás y en medio de la iglesia". NIETO CUMPLIDO, M. op. cit., p. 526.

⁶ "En el planteamiento se aplica la proporción sexquiáltera (establecer un rectángulo formado por dos cuadrados) la mitad de éste será el ancho de la nave central y la mitad de ésta, el de las laterales. La altura se calcula sumando las anchuras del templo y de la nave mayor y dividiendo por dos el resultado. La nave central ocupará el ancho de cinco tramos originales, desarrollándose en total a lo largo de nueve de ellas. El crucero a su vez ocupa dos naves, y al ser distinta dimensión que sus cinco tramos, deberá de realizarse una cúpula elíptica. Con ligeras variaciones impuestas por las características de la obra musulmana, éstas son las proporciones, cuya planta es un rectángulo de 75 x 37.5 metros. Para organizar las naves laterales seleccionó un modulo de tres arcos, tres tramos de las naves islámicas". VILLAR MOVELLÁN, A., op. cit., p. 213.

⁷ Para DE LA HOZ, R., la incrustación del coro supuso un grave desacuerdo, pues de las tres posiciones posibles: en el presbiterio alrededor del altar, a la manera original de León, al fondo de la nave central como se hiciera en El Escorial, o injertado en medio de ésta como en Sevilla, sólo la última exigía la construcción de un ámbito cerrado en el centro del templo, generándose una insalvable barrera opaca que atenta contra la permeabilidad visual, siendo responsable de la aniquilación espacial de la propia Catedral. Prólogo de *La Catedral de Córdoba*. Cajasur, Córdoba 1998, p. 16.

⁸ CAPITEL, A., *Metamorfosis de monumentos y teorías de la restauración*. Alianza Forma, Madrid 1988, p. 62.

⁹ NIETO CUMPLIDO, op. cit., p. 530.

¹⁰ Visión simplificadora de CHUECA GOITIA, pero concisa que cita NIETO CUMPLIDO, M., op. cit., p. 531.

¹¹ El islam y el cristianismo "... son religiones del Libro, pero mientras que en el culto islámico sólo había un jefe de la oración que se sabía de memoria el Corán, en el culto catedralicio eran muchas las misas que se decían y mucho el tiempo que los canónigos, racioneros y capellanes pasaban en el coro con el canto de las Horas. La luz era mucho más necesaria para el culto cristiano que para el islámico" NIETO CUMPLIDO, M., op. cit., p. 527.

¹² "El proyecto del crucero tratará de ahorrar gastos en luz artificial (velas o aceite) a la vez que de ofrecer con sus amplios y numerosos ventanales (hoy cerrados en gran número) la posibilidad de una lectura correcta y natural de los textos litúrgicos y de los textos musicales. Por eso, el obispo Reinoso pedirá que los cristales sean blancos y sin colores". *Ibidem*, p. 527.

¹³ RUBIO, S. *Historia de la música española. Desde el "ars nova" hasta 1600*. Alianza Editorial, Madrid 1983, p. 63.

¹⁴ "La grandeza del templo, la majestuosidad del coro, con sus sillas repletas de clero; la riqueza del retablo; la fastuosidad de los ornamentos sagrados; el número de los oficiantes, presididos por el obispo; la nave abarrotada de fieles, constituían un espectáculo deslumbrante, que exigía el complemento de una música de ninguna manera inferior". RUBIO, S. op. cit., p. 64.

¹⁵ Por decretos promulgados por el Concilio de Trento en forma sinóptica el 17 de septiembre de 1562, el Concilio reafirmaba la tradición de la Iglesia respecto al lugar que la música debía ocupar en las celebraciones litúrgicas. "Todas las cosas deben ser ordenadas de tal modo que la Misa, ya se celebre con o sin acompañamiento de canto, pueda llegar fácilmente a los oídos y a los corazones de cuantos la escuchan, de manera que todas sus parte se ejecuten clara y adecuadamente... El canto debe estar dispuesto no para dar vana satisfacción al oído, sino de manera que las palabras sean claramente entendidas por todos" REESE, G. *La música en el Renacimiento*, 1959, p. 449 cit. en ROBERTSON, A. y STEVENS, D. (dirección). *Historia general de la música*, Tomo II. Ediciones Istmo, Madrid 1979, p. 260.

¹⁶ En la catedral de Córdoba actúa como maestro Agustín Contreras desde 1706 a 1751, del que se conservan gran cantidad de obras, con la particularidad de que en muchas de ellas hay valiosísimas indicaciones sobre la ubicación de los coros en las obras policorales. "Su *Miserere* a siete coros con instrumentos, de 1706, indica la disposición estereofónica de los coros: 1º al facistol, bajo tenor, triple y contralto; púlpito, el tenor de 2º coro; en la capilla mayor el tercer coro; altar cuarto coro, triple, contralto, tenor y bajo; en las sillas altas, quinto coro; en las sillas 1º y 2º coro de bajoncillos... Otra disposición, ligeramente distinta, propone para sus obras a 5 coros, como los *Misereres*, en los que el coro primero, se ha de colocar en las sillas del evangelio; el segundo en las de la epístola; el tercero en el altar mayor; el cuarto en el coro, y el quinto en el coro. Para otro *Miserere* a cinco coros dispone que los coros se coloquen en el órgano viejo, en las sillas del evangelio, en las de la epístola, en el altar mayor y en el coro". MARTÍN MORENO, A. *Historia de la música andaluza*. Biblioteca de la cultura andaluza, Granada 1985, p. 262.

¹⁷ Estas posibles disonancias hacen que algunos maestro de capilla, como Ripa y Arquimbau (de la catedral de Sevilla a finales del siglo XVIII y principios del XIX), insistan en que la orquesta se coloque "delante del facistol en el coro (...) y de ningún modo en el órgano como hasta aquí se ha practicado, por no causar la música el efecto que tiene en sí, y casi no poderse variar de música; además (de estar) muy expuesto a que tanto la orquesta como el primer coro padezcan desorden o pierdan el compás por la grande distancia que se advierte desde el coro al órgano para la dirección de él(...) y para que vayan con igualdad los dos coros con la orquesta y el órgano" MARTÍN MORENO, A. op. cit., p. 230. Estos problemas quedaban resueltos como describe el violinista francés Maugars en 1639: "... El maestro compositor marcaba el compás principal a la cabeza del primer coro, acompañado por las mejores voces. En cada uno de los coros había un hombre cuyo cometido era tener la mirada fija en la batuta del maestro principal a fin de conformar el compás de su coro al de aquélla. Así todos lo coros cantaban al mismo compás, sin arrastrar el movimiento". LANG, P.H. *La música en la civilización occidental*. Editorial universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires 1963, p. 287.

¹⁸ Los conciertos se encuadran dentro de la música sacra, con obras sinfónico-corales, como el *Magnificat en re mayor* y el *Oratorio de Navidad* de J.S. Bach, el *Requiem KV 626* de Mozart o el *Gloria RV 589* de Vivaldi. Con motivo de la celebración del año jubilar, también se representó en el altar mayor *El gran teatro del mundo*, el auto sacramental de Calderón de la Barca.

¹⁹ Entendido el crucero catedral como el espacio formado por el altar mayor, brazos del crucero y coro, que configuran una planta de cruz latina, frente a las naves laterales que hacen de girolas rectas.

²⁰ El promedio corresponde a los puntos del crucero catedral, puntos 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 13.

²¹ El promedio corresponde a los puntos de la nave del crucero y de la nave musulmana sur, puntos 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18.

²² Se ha considerado el coeficiente de absorción de la superficie virtual $\alpha=0.99$, ya que la dirección con la que el sonido penetra en el espacio acoplado, unido al gran volumen de éste, hace difícil que el sonido retorne al espacio principal, y por lo tanto existe un fuerte acoplamiento de estos espacios. Este valor se puede considerar razonable comparado con los obtenidos por SHANKLAND & SHANKLAND en San Pedro de Roma, en los que por la composición arquitectónica del templo y la disposición de la fuente se obtienen unos valores de $\alpha=0.67$ en la rotonda y de $\alpha=0.56$ en las naves laterales. "Acoustics of St. Peter's and patriarchal basilicas in Rome" *Journal of the Acoustical Society of America* N° 50 (2), 1971, pp. 390-392.

²³ Dada la importante superficie de piedra decorada existente, se calcula el coeficiente de absorción sonora a las diferentes frecuencias de octava de estas superficies, como la absorción necesaria hasta alcanzar los valores de absorción sonora obtenidos a partir de los tiempos de reverberación medidos.

²⁴ La repercusión de superficies muy absorbentes, superficies virtuales de separación con la mezquita, es del orden del 5%, por lo que se puede mantener las hipótesis de campo difuso y utilizar la fórmula de Sabine para el cálculo del tiempo de reverberación (la absorción media es de 0.14).

²⁵ La ocupación de la escena tiene una gran importancia, ya que, aunque en la orquesta los músicos se sientan separados cerca del doble de la distancia que la audiencia, representan cerca del doble de absorción. CREMER, L. y MÜLLER, H. *Principles and Applications of Room Acoustics. Vol 1.* Applied Science Publishers, Londres 1982, p. 408.

²⁶ En grandes espacios, el tiempo de reverberación será corto en función de dos condicionantes: de la existencia de espacios acoplados y de la cantidad de sonido difuso proporcionado por la decoración y la ornamentación. SHANKLAND & SHANKLAND, op. cit. p. 395.

²⁷ En el barroco el empleo de arquitecturas y decoraciones efímeras en las iglesias, pretendía resaltar las celebraciones litúrgicas, dentro de un ámbito puramente sensorial, ayudando a soportar el programa figurativo de la exaltación, y convirtiendo la liturgia en un espectáculo esencialmente visual y sonoro, que cautivará los sentidos. SOTO CABA, V. "El barroco efímero" *Cuadernos de Arte Español* n° 75, Historia 16, Barcelona 1992, pp. 20-23. En relación con la ornamentación de las iglesias españolas para las grandes celebraciones, festivas o luctuosas en los siglos XVII y XVIII, véase DÁVILA FERNÁNDEZ, M.P., *Los sermones y el arte*, Universidad de Valladolid, 1980.

²⁸ La mayor absorción de sonidos agudos desequilibra el sonido hacia las bajas frecuencias por lo que, a pesar de reducir el tiempo de reverberación, hace perder inteligibilidad a los textos cantados. FERNÁNDEZ DE LA GÁNDARA, G. y LORENTE, M. *Acústica musical.* Instituto Complutense de Ciencias Musicales, Madrid 1998, p. 160.

²⁹ Se ha considerado que las tres fuentes emiten con la misma potencia y de forma simultánea, siendo la potencia total igual a la potencia de emisión en la medición, no existiendo desfase entre ellas, situación que correspondería a obras polifónicas, que presentan una única línea melódica.

³⁰ La sillería del coro, con su tornavoz, favorece las reflexiones en los puntos de la nave del coro. Al ser ésta de madera, y profusamente decorada, generará un sonido difuso, especialmente a altas frecuencias.

³¹ "Las reflexiones en puntos cercanos a la fuente suelen ser más escasas y con un nivel muy por debajo del sonido directo, mientras que en puntos más alejados, suelen aparecer las reflexiones con un nivel sonoro más cercano al sonido directo(...)debido a que la diferencia entre las distancias entre el sonido directo y el sonido reflejado son pequeñas. En general nuestros oídos no son capaces de apreciar estas diferencias que se desprenden de los ecograma." BARRON, M. *Auditorium Acoustics and Architectural Design.* E&FN Spon, Londres 1993, p 18.

³² Al ser éste un elemento de madera muy decorado, se disminuirán los efectos de "flutter echo", y la curva energía-tiempo presentará una importante reducción de su amplitud, por lo que los valores en decibelios de pérdida de nivel sonoro respecto al directo serán superiores a los obtenidos mediante la simulación informática.

³³ La ocupación de la iglesia por público aumenta la absorción y, por lo tanto, aumenta el índice RASTI en la zona del crucero y el coro. No obstante, en las naves laterales, debido a las sombras acústicas, no se detecta una mejora sensible.

³⁴ El valor de EDT es un valor calculado a partir del índice RASTI, no es un valor medido en la iglesia, y correspondería al tiempo de reverberación para ese valor RASTI de inteligibilidad.

³⁵ Con motivo de la representación del Oratorio de Navidad de J.S. Bach, la crítica recoge que "...desde su primera intervención, al coro de ópera se le escuchó un sonido brioso, más compacto que en otras ocasiones en las que ha interpretado música barroca; sin embargo, en el registro agudo sus voces presentan aún problemas técnicos para cantar lo que a menudo se chilla". PALOMEQUE, F. "Adiós al año Bach" en *El Día de Córdoba*, 18 de diciembre de 2000, p. 49.

³⁶ La falta de primeras reflexiones en grandes salas lleva a un sonido más apagado, que suele ser percibido como una falta de intimidad. BARRON, M. op. cit., p. 32. Además, el grado de impresión espacial aumenta con el nivel sonoro, por lo que es casi inaudible en la interpretaciones de *pianissimo* pero acusado en los pasajes de *fortissimo*, ibidem p. 50.

³⁷ En una iglesia la sensación de envolvimiento es diferente de la existente en una sala de conciertos, debido al elevado nivel de sonido reverberado que permanece en la iglesia, que hace difícil valorar subjetivamente la sensación de envolvimiento, por lo que se propone para juzgar la misma sensación subjetiva el concepto de direccionalidad, impresión de que el sonido proviene de la fuente sonora y que no define la impresión espacial dada por el campo reverberado, sino que determina la importancia del sonido directo en la experiencia sensitiva. CARVALHO, A. "Relations between subjective and objective acoustical measures in churches" *132nd Acoustical Society of America Meeting*, Honolulu 1996, p. 5.

³⁸ El aforo actual, en un concierto, oscila alrededor de las 3000 personas, de las cuales sólo una tercera parte, sentadas en el crucero y coro, presentan una adecuada visión del altar mayor, por lo que el resto de la audiencia está en zonas con problemas visuales y, por lo tanto, sin sonido directo, con las deficiencias acústicas que esto conlleva.

³⁹ En la actualidad la misa diaria de la catedral se oficia desde el trono episcopal, proporcionando una mayor intimidad a la celebración litúrgica.

⁴⁰ "...la búsqueda del equilibrio sonoro preocupaba a los organeros de la época, que intentaban compaginar la perfección acústica con la adecuada presencia visual de estas máquinas." TEJEDOR FERNÁNDEZ, L. *La arquitectura de los órganos. Órganos barrocos de Sevilla*. COAAOcc demarcación de Sevilla, Sevilla 1995, p. 42.

⁴¹ Existe una tradición centroeuropea en las grandes catedrales, de disponer el órgano en el lateral de la nave principal, en una posición centrada, colgado a modo de "nido de pájaro", como puede verse en Bruselas, Chartres, Colonia o Estrasburgo.

⁴² Una de las principales preocupaciones en grandes salas de conciertos, durante los últimos 40 años, ha sido la de compaginar una alta claridad y reverberación. BARRON, M. op. cit., p. 190.

⁴³ "En grandes espacios, el tiempo de reverberación es el primer objetivo a conseguir". BARRON, M. op. cit., p. 358.

⁴⁴ La catedral de Orleansville, variante de catedral constantina situada al norte de África, es posible que tuviera en las naves laterales unas tribunas que se añadieron en el siglo IV. KRAUTHEIMER, R. *Arquitectura paleocristina y bizantina*. Ed. Cátedra, Madrid 1981, p. 49.

⁴⁵ La disposición de gradas y tribunas, unido a la colocación de tapices y cortinajes, fue la solución adoptada en la *Thomaskirche* de Leipzig en la época de Bach, convirtiendo la iglesia en un marco acústico ideal para la interpretación de música religiosa. KEIBS, L. VON y KUHL, W. "Zur der Akustik der Thomaskirche in Leipzig" *Acústica*, nº 9, 1959, pp. 365-370, citado por SENDRA SALAS, J.J. y NAVARRO CASAS, J. *La evolución de las condiciones acústicas en las iglesias: del Paleocristiano al Tardobarroco*. IUCC ETSa Sevilla, Sevilla 1997, p. 64-67.

⁴⁶ Ibídem p. 25.

⁴⁷ A pesar del tratamiento interior austero y carente de decoración, la iglesia, con un volumen de 4300 m³ y un aforo de 400 personas, tiene un tiempo de reverberación de

1.63 s con la iglesia llena y de 2.48 s cuando se encuentra vacía. AA.VV. *García de Paredes*. Documentos de arquitectura nº 22. Colegio Oficial de Arquitectos de Almería, p. 20.

⁴⁸ Otra opción que se ha estudiado ha sido la de disminuir el volumen existente, colocando un cortinaje vertical en el trascoro, lo que supone una disminución de volumen de 1750 m³, y unos tiempos de reverberación sensiblemente inferiores a los obtenidos con los dos niveles de anfiteatros. No obstante la opción adoptada presenta la ventaja de aumentar el número de espectadores, necesario para las actuaciones musicales.

⁴⁹ La dimensión de la altura de la embocadura es similar a la profundidad del anfiteatro, como recomienda BARRON para el uso musical, para conseguir un adecuado nivel de sonido reverberante. op. cit., p. 52.

⁵⁰ Se incorporan paneles de madera "flutterfree" fabricados por RPG difusor systems, difusores QRD con el perfil correspondiente a la secuencia de residuos cuadráticos del número siete. Los paneles se montan verticales, de forma que proporcionen difusión en el plano horizontal.

⁵¹ Estos resonadores están formados por paneles de madera perforados de 17 mm de espesor con taladros de diámetro 8 mm, cámara de 100 mm con lana de vidrio de 60 mm en contacto con el panel y un porcentaje de perforaciones del 5%. Estos elementos presentan su frecuencia de resonancia, y por lo tanto su máxima absorción, a 250 Hz, es decir en la banda de bajas frecuencias, donde se hace más necesaria la absorción. Los valores de absorción se han tomado de CARRIÓN ISBERT, A. op. cit., p. 102.

⁵² La situación de estos elementos ayuda a mitigar el efecto reverberante cercano al techo, que se presume se debe a un campo sonoro reverberante de dos dimensiones que se genera cerca de los techos altos de las iglesias según CARVALHO, A. "The use of Sabine and Eyring reverberations equations to churches" *129th Acoustical Society of America Meeting*, Washington 1995, p. 10.

⁵³ "Los experimentos subjetivos realizados por DAMASKE, P. "Subjektive Untersuchungen von Schallfeldern". *Acustica*, 19, 1967, pp. 199-213, demostraron que el sonido que proviene de cuatro direcciones repartidas es adecuado para proporcionar una sensación de que el sonido proviene de casi todas las direcciones. Este experimento particular se relaciona con el sonido reverberante tardío. Las consecuencias en el diseño son que las superficies que deberían reflejar sonido son los laterales y la superior, antes de que sea necesario lograr una distribución espacial uniforme." Citado por BARRON, op. cit., p. 89.

⁵⁴ BERANEK fue el primero en proponer la sustitución de las reflexiones laterales de las salas clásicas por reflexiones generadas sólo de reflectores suspendidos. A pesar del escaso éxito obtenido en la Philharmonic Hall de Nueva York, debido a problemas formales, continúa sus investigaciones y junto a SCHULTZ, T. "Sound recent experience in the design and testing of concert halls with suspended array panels". *Akustische Beihefte*, 1, 1965, pp. 307-316 "Se dio cuenta de que el sonido a bajos se atenúa al pasar a través de la audiencia, pero, en la mayoría de las salas, esto no se traduce en una falta de calidez. Ellos concluyen y confirman que sólo se necesita energía a bajas frecuencias en el sonido reverberante tardío. Del otro lado, sus experiencias con reflectores colgados han demostrado que sólo las medias y altas frecuencias están relacionadas con el sentido de intimidad y claridad. En términos de diseño esto es muy atractivo, ya que permite utilizar pequeños reflectores. Por lo tanto, los paneles grandes son inadecuados ya que privan al campo reverberado de sonidos a bajas frecuencias." BARRON op. cit. p 104. El carácter espectral de las primeras reflexiones debe ser parejo al sonido directo. Este es el defecto básico de los paneles suspendidos del techo para producir primeras reflexiones, pues son ineficaces para la distribución sonora a bajas frecuencias. SHANKLAND, R.S. "Development of architectural acoustics" *American Scientist*, Marzo-Abril 1972, p. 205. Pero de los estudios de Beranek se deduce que el oído no necesita las bajas frecuencias en las primeras reflexiones.

⁵⁵ Dada la escasa superficie del panel respecto al altar mayor, no existe la posibilidad de aparición de un espacio acoplado al principal sobre el reflector que inhibiría una reverberación en toda la sala. Este inconveniente apareció en la Philharmonic Hall de Nueva York, en el que el porcentaje de apertura era menor al 50%. CREMER, L., MÜLLER, H. y SCHULTZ, T.J., *Principles and Applications of Room Acoustics*. Vol 1. Applied Science Publishers, Londres 1982, p. 112 sugieren una apertura mínima del 70%. Al contrario, las bajas frecuencias pasan por el techo hacia la zona superior del altar mayor y, dado que

se encuentra ampliamente comunicado con el crucero, estas ondas a bajas frecuencias retornan al público.

⁵⁶ Se siguen las directrices del diseño realizado en la sala Tanglewood, Serge Koussevitzky Music Shed de Lenox, Massachusetts, en la que se dispone un techo de paneles triangulares no planos, con una apertura del 50% del área de escena. Se demuestra la efectividad de este dosel, ya que solventa los problemas acústicos detectados de alta reverberación y falta de reflexiones, que ocasionaba un ambiente acústico algo turbio, mediante adecuados valores de reverberación y de reflexiones, y un valor de calidez acústica $BR = 1.45$, por lo que las reflexiones laterales no son necesarias para crear una adecuada sensación de espacialidad, sino que ésta se pueden obtener con este dosel. BERANEK, L. *Concert and opera halls. How they sound*. Acoustical Society of America, Nueva York 1996, pp. 111-116.

⁵⁷ "Con un grado de perforación del 50%, es posible reflejar las bajas frecuencias con un conjunto de elementos de una superficie de unos 1.5 m², con una adecuada colocación. Se produce una cobertura uniforme y poca coloración tonal, especialmente si se les da una forma ligeramente convexa". RINDEL, J. "Attenuation of sound reflections due to diffraction" *Nordic Acoustical Meeting*, Aalborg, Dinamarca 1986, citado por CARRIÓN ISBERT, A. op. cit., p. 286.

⁵⁸ Estos elementos poseen una estructura totalmente modular, de fácil y rápida instalación, con una inclinación entre 10° y 15°, con ello se conseguirá generar primeras reflexiones útiles para los músicos y también para la zona anterior del público. Las superficies interiores serán de materiales muy reflectantes (paneles de madera de abedul o similar), de unos 10 a 15 mm de espesor y una densidad del orden de 20 kg/m², convenientemente ignifugados con una barniz retardador de la llama. La estructura deberá ser lo más rígida posible, ya que permite evitar la absorción diafragmática a bajas frecuencias, característica del uso de paneles excesivamente ligeros que se comportan como resonadores de membrana. CARRIÓN ISBERT, A. op. cit., pp. 287-291.

⁵⁹ La utilización de los cortinajes en el altar mayor y crucero (534 m²) presenta una menor absorción a graves que la obtenida de los resonadores múltiples dispuestos en las cornisas. Además, los resonadores se distribuyen por toda la iglesia, presenta una menor diferencia de absorción entre los graves y agudos, con unos valores de brillo y calidez más cercanos a los considerados como óptimos, por lo que se ha optado por su incorporación en la propuesta, frente al empleo de las cortinas.

⁶⁰ BERANEK, L. op. cit. p. 416.

⁶¹ La situación de la orquesta rodeada de público sigue el modelo formalizado por Cremer en la Filarmónica de Berlín, en el año 1986. En este tipo de salas de terrazas trapezoidales, existen unas adecuadas reflexiones laterales, pero se detecta una falta de comunicación entre los músicos, por lo que se hace necesario colocar reflectores sobre la orquesta.

⁶² Según los estudios de ANDERSON, J.S. y BRATOS-ANDERSON, M. en la catedral de San Pablo de Londres, " En la apreciación musical, la cúpula del crucero, no tiene un primer efecto, no siendo normalmente percibidos ecos desde esta superficie. La cúpula es, sin embargo, responsable de efectos secundarios, al existir un acoplamiento acústico entre el coro y el espacio bajo la cúpula, y este acoplamiento es el responsable del decaimiento sonora más rápido que existe en el coro... La mejor posición para la audiencia es en la intersección entre la cúpula y la nave" "St. Paul's Cathedral, as an concert hall" en *6º congreso internacional sobre sonido y vibraciones* 5/8 junio 1999, Technical university of Denmark.Lyngby. s/n.

⁶³ "Para la mayor parte del público, estas pequeñas imperfecciones acústicas se ven claramente compensadas por la posibilidad de observar de cerca la cara y los movimientos del director" CARRIÓN ISBERT, A. op. cit., p. 285.

⁶⁴ No se ha contabilizado el público que se podría sentar en la prolongación de los brazos del crucero. El aumento de aforo que existe en la hipótesis de fuente en el eje de la cúpula, se debe a que el público se dispone con mayor concentración en el altar mayor que en la zona bajo la cúpula. Este aumento de aforo no repercute en el tiempo de reverberación al ser el área de audiencia la misma. "Según verificaron Kosten y Beranek la absorción de las sillas aumenta en proporción directa a la superficie que ocupan, casi con total independencia del número de las misma existente en dicha

superficie. Esta afirmación es válida siempre y cuando el espacio ocupado por cada silla oscile entre 0.45 y 0.79 m²" citado por CARRIÓN ISBERT, A. op. cit., p. 109.

⁶⁵ Existe un desequilibrio del orden del 20% entre medias y altas frecuencias en salas calificadas como excelentes por Beranek, como por ejemplo la Musikvereinsaal de Viena (15000 m³). JOUHANEAU, J. *Acoustique des salles et sonorisation*. Technique & Documentation, Paris 1997, p. 217.

⁶⁶ La pérdida de nivel sonoro es más sensible a bajas que a altas frecuencias. Sin embargo, somos más sensibles al cambio de timbre que al nivel sonoro. Por esto, es deseable en grandes salas aumentar la reverberación a bajas frecuencias. Esto se hace evidente en grandes iglesias, en las que los tubos del órgano a bajas son menos poderosos que a altas frecuencias. CREMER, L., MÜLLER, H. y SCHULTZ, T.J. op. cit., p. 460.

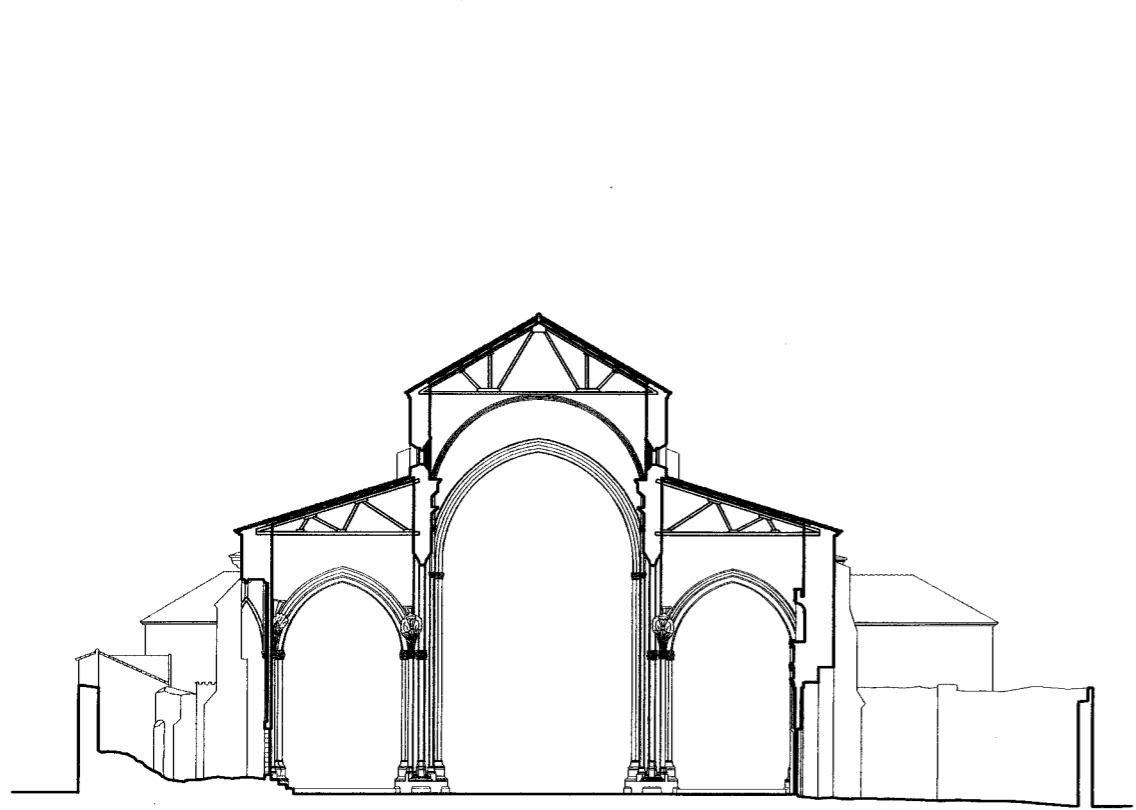
⁶⁷ CARVALHO, P. "Liturgy, sound and acoustics: Why a church is not a concert hall?" *Sound & Video Contractor*, vol 13, nº 1 Jan. 1995 p. 71. El nivel de potencia sonora de un instrumento de metal es 10 dB más elevado del correspondiente a los de viento, y éste es a su vez, del orden de 3 dB superior al asociado a los instrumentos de cuerda. CARRIÓN ISBERT, A. op. cit. p. 281.

⁶⁸ Existen dificultades para conseguir unas adecuadas condiciones acústicas en aquellas salas de concierto con un aforo superior a los 1500 espectadores, debido no tanto a conseguir un adecuado tiempo de reverberación, sino a poder proporcionar en todos los puntos primeras reflexiones y un apropiado nivel sonoro. BARRON, M. op. cit. p. 190.

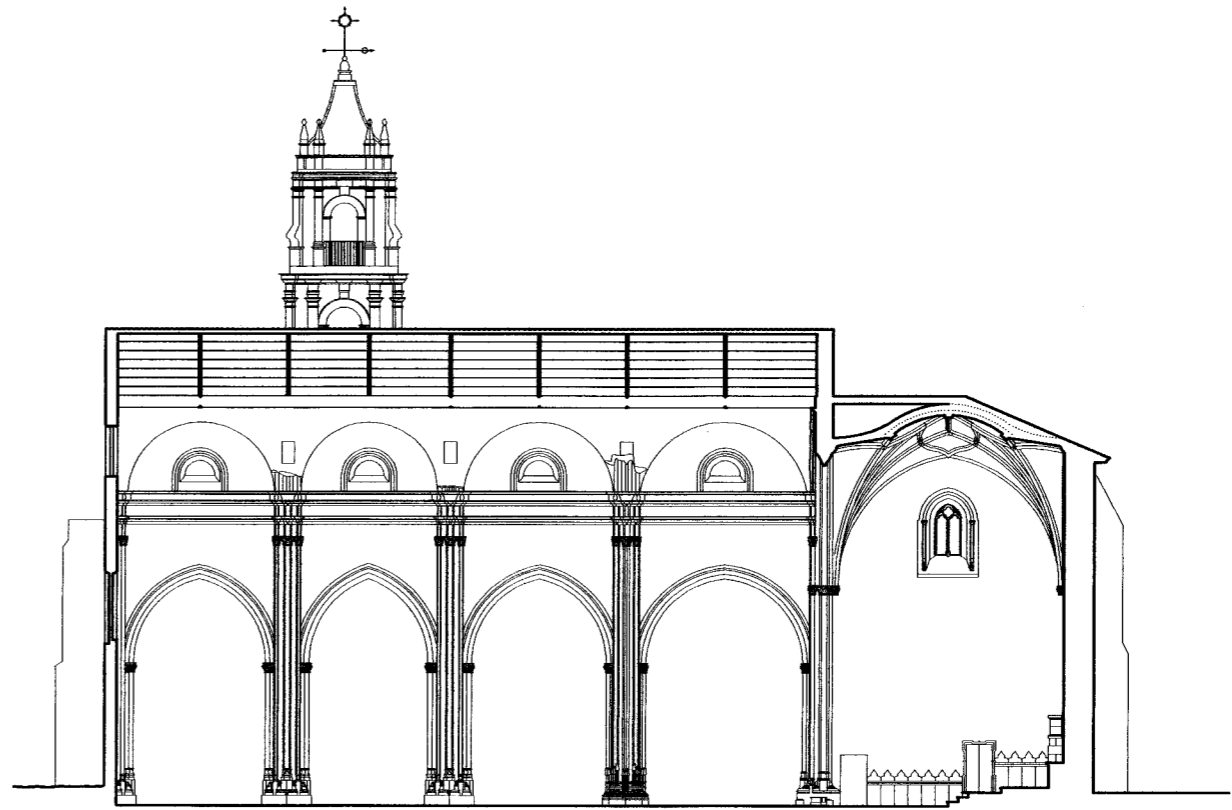


"Calló, por fin la música de la extraña liturgia. Toda música cesa – pensé– para abrir sitio a la música callada. Preferí aquel silencio, aquel desvanecerse las figuras humanas y sus modestos frenesíes religiosos. La religión aquí es sólo la ausencia y el silencio".¹

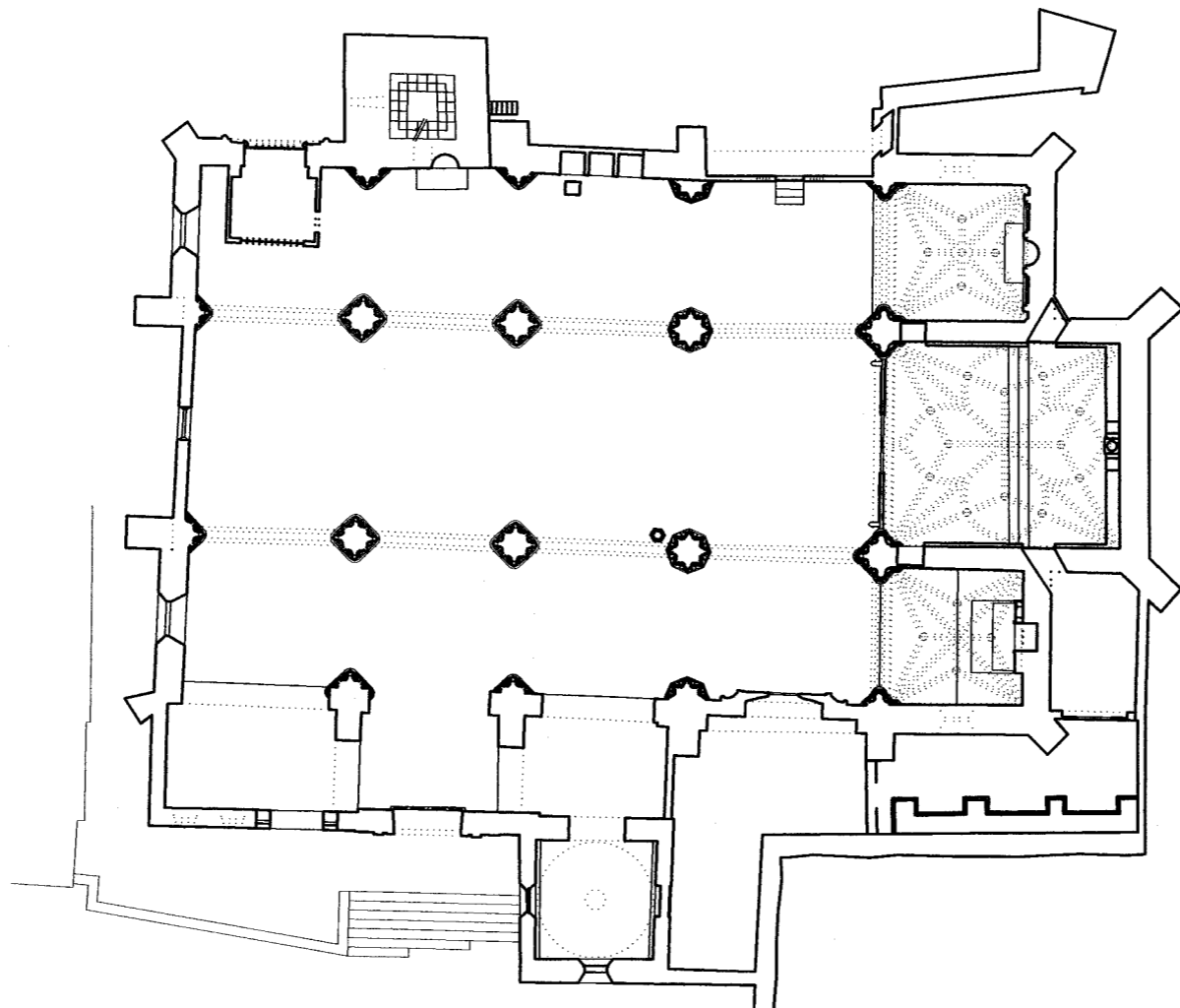
**7. IGLESIA DE SANTA
MARIA LA MAYOR. BAENA.**



SECCIÓN TRANSVERSAL.



SECCIÓN LONGITUDINAL NAVE CENTRAL



IGLESIA DE SANTA MARÍA LA MAYOR. BAENA.
ESTADO TRAS RESTAURACIÓN DE GÓMEZ LUENGO. (1975).

7.1
PLANO

Reseña histórica.

La iglesia se ubica en el punto más alto de la ciudad, emplazada sobre la antigua mezquita mayor, que se consagra en los primeros días de la reconquista de Baena en 1240, no quedando actualmente nada de la antigua mezquita ni de las fábricas reformadas. La nueva construcción en estilo gótico, comenzaría en torno a 1525², con un templo de tres naves con cabecera plana tripartita y sin crucero, naves de cuatro tramos y arcos ojivales, que responde al trazado típico de las iglesias cordobesas de la época, ejecutada probablemente por Hernán Ruíz³. La capilla mayor, de planta rectangular, se separa por arco triunfal apuntado y se cubre con bóveda de crucería, cerrándose con una bella reja de 1526 que abarca todo el frente y en los extremos se remata con dos púlpitos metálicos.

A las naves se le adosan una serie de capillas, algunas de ellas hoy desaparecidas, como la de Santa Ana de la que sólo queda la portada plateresca, en la nave de la epístola⁴. A los pies de la nave central presentaba un importante volumen que correspondía al coro bajo y al órgano, que fue eliminado⁵.

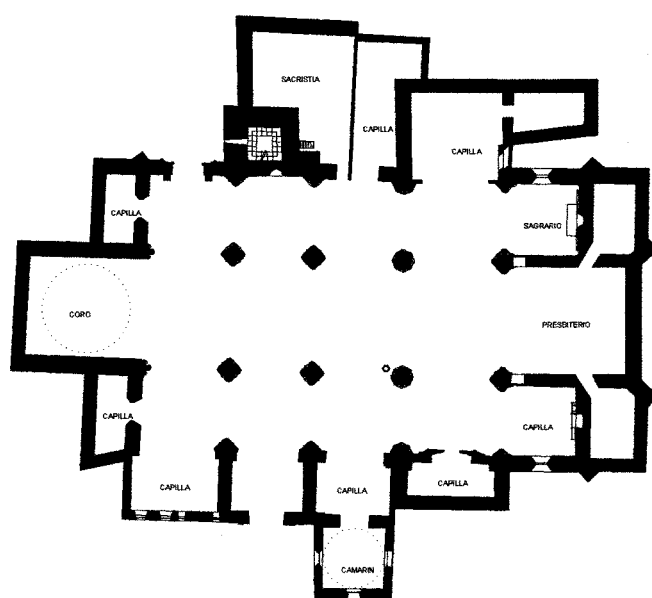


Fig. 7.1. Planta de la iglesia de Santa María la Mayor anterior a 1936.

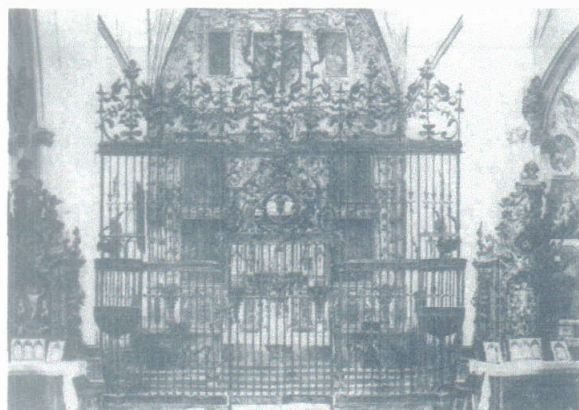


Fig. 7.2. Presbiterio antes de 1936.



Fig. 7.3. Coro después de 1936.

Un terremoto en el año 1681 quebrantó las bóvedas principales, por lo que tuvieron que ser demolidas y reedificadas, perdiendo su carácter ojival, y reedificándose con bóvedas de aristas en yeso, separadas por arcos moldurados⁶.

Durante la guerra civil, la iglesia fue incendiada, perdiendo las cubiertas y casi todos sus enseres, permaneciendo abandonada durante muchos años. Entre los años 1970 y 1975⁷, ante el estado de destrucción de ciertas partes de la iglesia, se realizan obras de restauración por el arquitecto José Antonio Gómez Luengo⁸, desapareciendo los restos del coro bajo, arco de entrada a éste y capillas, levantando un muro a los pies de la iglesia, y ejecutando la cubierta con estructura metálica (plano 1).

A partir de esta fecha, la iglesia se destina a uso religioso de forma esporádica, y ocasionalmente se han realizado algún acto cultural.

En el año 1999, se redacta por el arquitecto Jerónimo Sanz Cabrera un proyecto de restauración⁹, en el que se propone una reordenación volumétrica del templo, dotando a la iglesia exteriormente de nuevos cerramientos donde históricamente han existido las capillas y el coro. En el interior, las principales actuaciones se centran en la disposición de bóvedas de madera en la nave central y en las naves laterales, así como la clarificación espacialmente de las tres naves¹⁰.

El uso previsto para la iglesia es el religioso, aunque, dado el carácter emblemático que posee dentro de la población, podrá ser usada para actividades de tipo cultural.



Fig. 7.4. Presbiterio después de 1975.



Fig. 7.5. Nave lateral y cerramiento del coro después de 1975.

Análisis acústico del estado actual.

En la actualidad la iglesia está siendo restaurada, por lo que no ha sido posible realizar ningún tipo de medición acústica sobre este espacio. Así pues, el análisis acústico se realiza mediante estimaciones teóricas con modelos informáticos, a partir de dos configuraciones espaciales de la iglesia: la anterior a la guerra civil, sin considerar el ajuar litúrgico por carecer de suficientes datos (año 1936) que nos informará sobre el comportamiento acústico que ha presentado este templo a lo largo de su historia; y la configuración espacial del proyecto de restauración del arquitecto Jerónimo Sanz Cabrera, que se está llevando a cabo en la actualidad (año 1999). Esta última configuración ha sido considerada como punto de partida para la posterior propuesta de intervención.

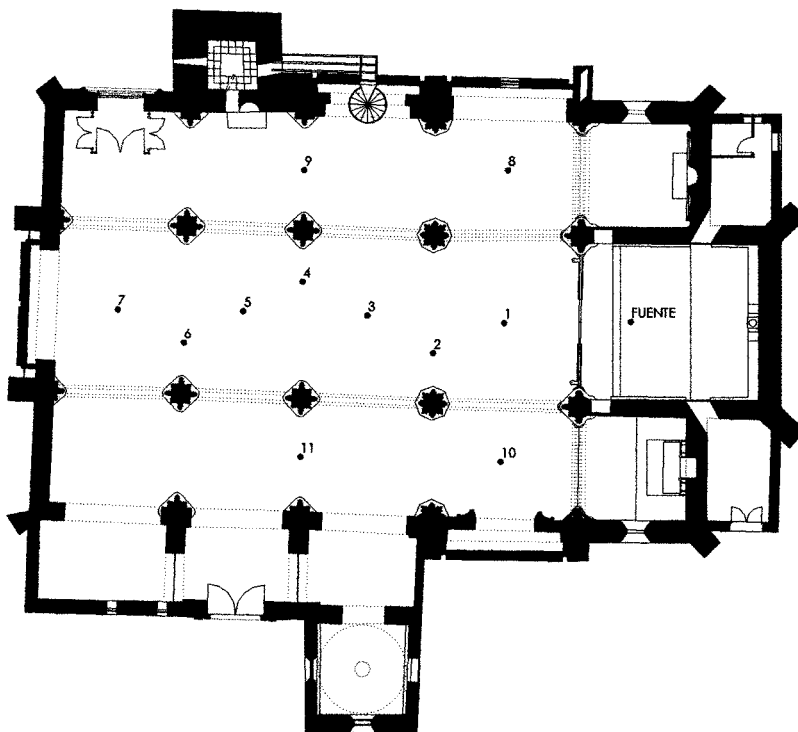


Fig. 7.6. Situación de los puntos para la simulación sobre la planta del año 1999.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

Se plantea el estudio de un modelo teórico, mediante simulación informática realizado con el programa CATT-Acoustic, de las dos configuraciones espaciales anteriormente descritas, tanto para la hipótesis de iglesia vacía como para la hipótesis de ocupación con público en bancos situados en la nave central, que ha sido la disposición tradicional en esta iglesia. En la configuración correspondiente al estado de la iglesia anterior al año 1936, se han considerado los volúmenes correspondientes al coro y a la capilla desaparecida de la nave del evangelio, así como la capilla de Santa Ana en la nave de la epístola, obteniendo un volumen de 10036 m³ (el volumen del camarín se ha considerado como un espacio acoplado al principal). En la configuración correspondiente al proyecto de 1999, se han eliminado los volúmenes de estos espacios desaparecidos, lo que supone una disminución del volumen, que se estima ahora en 9179 m³.

Los valores de los coeficientes de absorción adoptados en el cálculo del tiempo de reverberación, para cada una de las configuraciones espaciales, se expresan en las tablas 7.1 y 7.2.

MATERIAL	SUP. m ²	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Mármol	655	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Bancos de iglesia vacíos	237	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.10
Público bancos de iglesia	237	0.23	0.31	0.40	0.45	0.45	0.40
Revoco de cal	2124	0.05	0.06	0.07	0.09	0.07	0.08
Piedra	686	0.02	0.02	0.06	0.08	0.04	0.05
Madera	327	0.16	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
Vidrio	18	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
Plano virtual. Camarín	23	0.15	0.20	0.25	0.25	0.30	0.30
Cubierta de madera	98	0.30	0.25	0.20	0.17	0.13	0.10
Bóveda	673	0.05	0.06	0.07	0.09	0.07	0.08
Aire (m ³)	10036					0.008	0.021
SUPERFICIE TOTAL	4841						

Tabla 7.1. Características absorbentes de los diferentes materiales. Año 1936.

MATERIAL	SUP. m ²	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Mármol	583	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Bancos de iglesia vacíos	237	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.10
Público bancos de iglesia	237	0.23	0.31	0.40	0.45	0.45	0.40
Revoco de cal	1995	0.05	0.06	0.07	0.09	0.07	0.08
Piedra	638	0.02	0.02	0.06	0.08	0.04	0.05
Madera	122	0.16	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
Vidrio	18	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
Plano virtual. Camarín.	23	0.15	0.20	0.25	0.25	0.30	0.30
Cubierta de madera	98	0.30	0.25	0.20	0.17	0.13	0.10
Bóveda de madera	602	0.65	0.50	0.35	0.25	0.15	0.15
Hormigón	126	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Aire (m ³)	9179					0.008	0.021
SUPERFICIE TOTAL	4442						

Tabla 7.2. Características absorbentes de los diferentes materiales. Año 1999.

En la configuración de 1999, las bóvedas tradicionales que desaparecieron, se sustituyen por bóvedas de madera que se ejecutan con madera laminada, rastreles y correas de madera de 12x10 cm de escuadría, con apertura entre listones de 1.4 cm (fig. 7.7), con una importante cámara de aire y aislamiento proyectado bajo la cubierta actual.

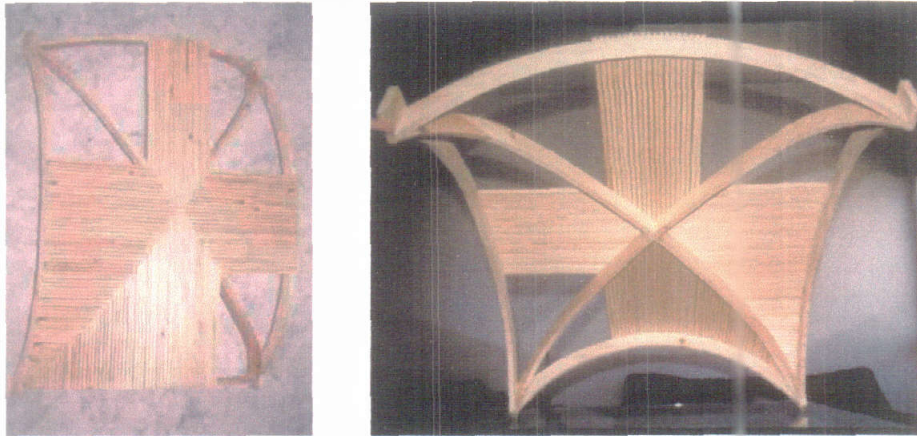
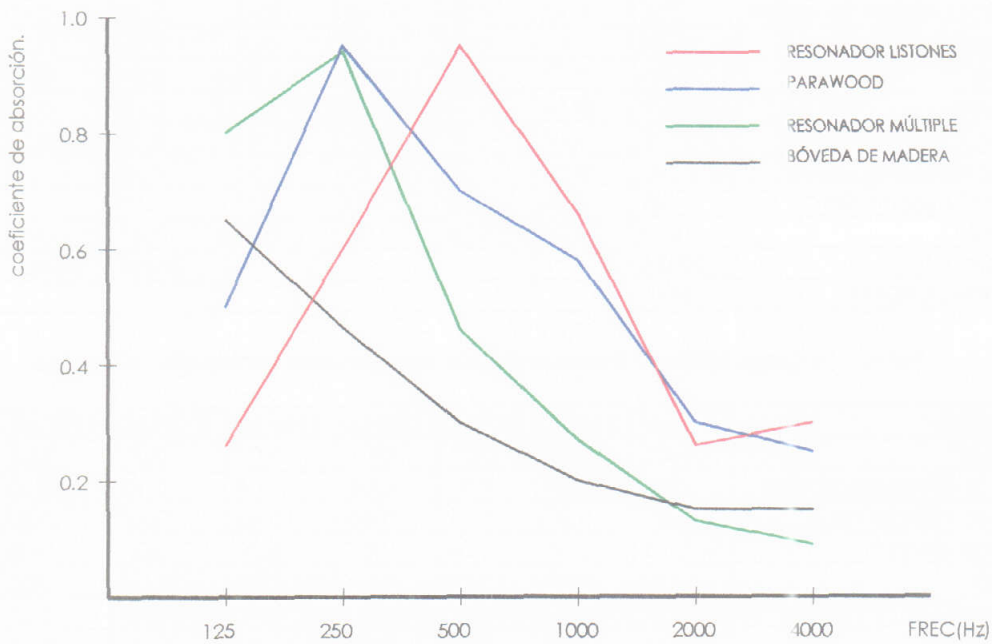


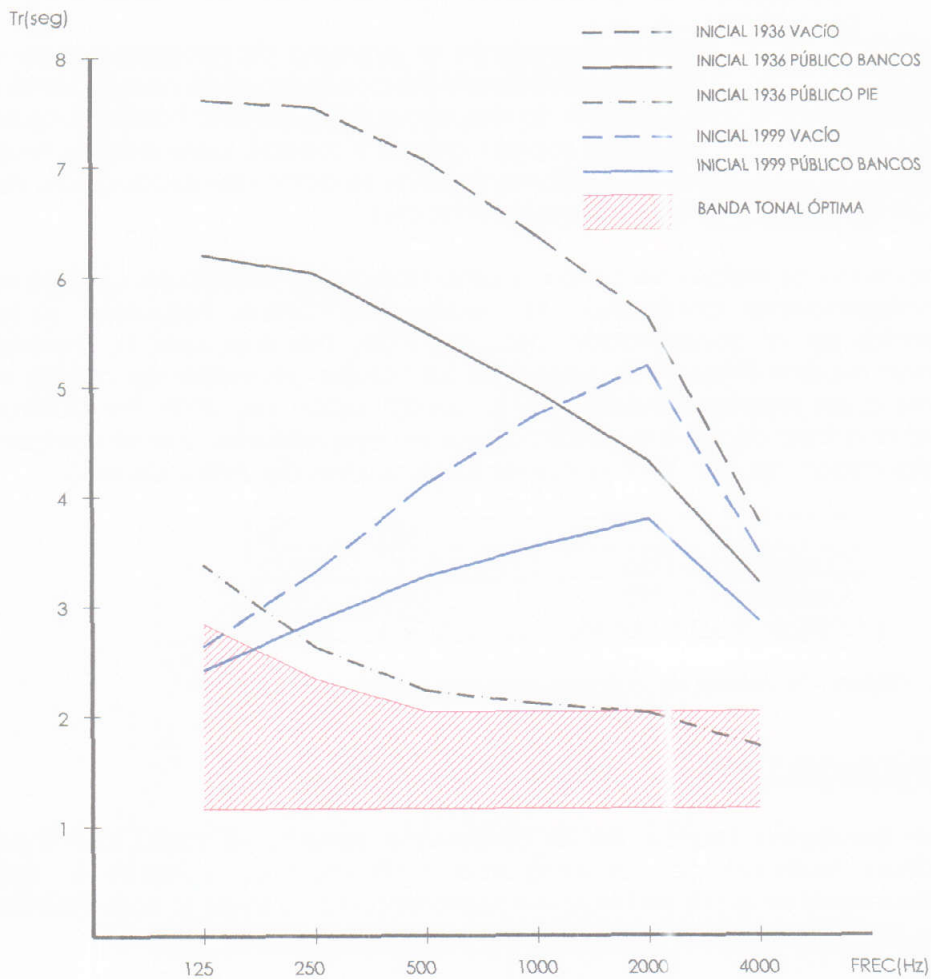
Fig. 7.7. Maqueta de la bóveda de madera.



MATERIAL	F ₀	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Resonador listones 12 mm espesor, 14% apertura, separados 50 mm de pared con lana de roca de 45 mm	500	0.26	0.60	0.95	0.66	0.26	0.30
Panel Parawood: paneles metálicos de 84x19 mm separados 16 mm con cámara de 300 mm y aislante de 20 mm.	250	0.50	0.95	0.70	0.58	0.30	0.30
Resonador madera 17 mm perforaciones ϕ 8 mm, 5% perforación, separado 100 mm pared con lana vidrio 60 mm.	250	0.80	0.94	0.46	0.27	0.13	0.09
Bóveda de madera	40	0.65	0.50	0.35	0.25	0.15	0.15

Fig. 7.8. Coeficientes de absorción para asimilación de bóvedas de madera.

Estas bóvedas se podrían asimilar a un resonador múltiple de listones, para el que es difícil determinar teóricamente el valor de su coeficiente de absorción. Para su estimación, se calcula la frecuencia de resonancia, obteniéndose un valor de 40 Hz¹¹. Dada la configuración geométrica, se considera que la curva de absorción es poco selectiva, debido a la inclinación de la cámara de aire y a la variación de la apertura entre listones por la curvatura de la bóveda. Así pues, para la estimación de los coeficientes de absorción que figuran en la tabla 7.2, se ha actuado por asimilación con otras soluciones constructivas similares, a partir del valor del coeficiente de absorción máximo obtenido para la frecuencia de resonancia, teniendo en cuenta la caída previsible que se produce de la curva de absorción en cuanto nos alejamos de dicha frecuencia¹² (figura 7.8).



	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Inicial 1936 vacío	7.61	7.54	7.06	6.37	5.63	3.76
Inicial 1936 público bancos	6.20	6.03	5.49	4.95	4.32	3.21
Inicial 1936 público pie	3.38	2.63	2.23	2.11	2.03	1.72
Inicial 1999 vacío	2.64	3.31	4.11	4.74	5.18	3.48
Inicial 1999 público bancos	2.42	2.86	3.27	3.55	3.79	2.86
Óptimo música	2.85	2.34	2.04	2.04	2.04	2.04
Óptimo palabra	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15

Fig. 7.9. Tiempos de reverberación medido, estimado y óptimos.

A partir de estas consideraciones previas, se obtienen los diferentes valores de los tiempos de reverberación, que se representan en la figura 7.9.

El tiempo de reverberación obtenido para la configuración espacial anterior al año 1936, cuando está vacía la iglesia, presenta unos valores muy elevados respecto a la banda tonal óptima, sufriendo una disminución que es claramente insuficiente cuando la nave central se ocupa con público sentado en bancos. La curva tonal presenta la forma característica de este tipo de espacios, con valores altos a graves que disminuyen para los sonidos agudos, clara muestra de la desnudez del espacio, el carácter reflectante de los paramentos y un volumen importante. Para el caso más favorable de ocupación, con público de pie que ocupa tanto la nave central como las laterales, la iglesia presenta un tiempo de reverberación adecuado para la interpretación de música sacra¹³.

La modificación espacial que representa el proyecto de restauración del año 1999, supone una drástica modificación de las condiciones de reverberación de este espacio, ya que las bóvedas de madera introducen una notable absorción sonora, principalmente para los sonidos graves y medios, pero ésta es todavía escasa para obtener unas condiciones de reverberación apropiadas para el uso de la iglesia como lugar de audiciones musicales.

Los valores de los índices de calidez y brillo (tabla 7.3), difieren en cada una de las configuraciones analizadas. Así, existe una buena respuesta a bajas frecuencias en la configuración del año 1936, mientras que la importante absorción a bajas frecuencias hace que los valores del índice de calidez sean inferiores a los recomendados para la configuración de 1999. Por contra, se observa una falta de riqueza de armónicos en este espacio, que se corrigen en la configuración del año 1999, al aumentar los valores del índice de brillo.

	BR	Br
Configuración 1936	1.17	0.72
Configuración 1999	0.77	0.97
Valores recomendados	1.1÷1.25	>0.87

Tabla 7.3. Valores de calidez y brillo con público en bancos.

DISTRIBUCIÓN SONORA.

Para la simulación teórica de la distribución sonora, se parte del modelo informático realizado con el programa CATT-Acoustic, situando la fuente omnidireccional en el primer tercio del presbiterio, a 6.70 m de la pared de fondo y a una altura 1.50 m con una potencia de emisión de 108.8 dB.

Los resultados de nivel de presión sonora presentan unos valores homogéneos para las dos configuraciones consideradas, como se puede observar en la figura 7.11 y las tablas A7.1 y A7.2 del apéndice 7, con escasa variación entre ambas, presentando la configuración correspondiente al año 1999 unos niveles sonoros sensiblemente más bajos debido a la mayor absorción sonora. No se aprecian zonas de concentración sonora, como se desprende de la figura 7.10, aunque hay un menor nivel de presión sonora en la nave de la epístola que en la del evangelio, debido a la falta de reflexiones laterales por la nave adosada a la primera.

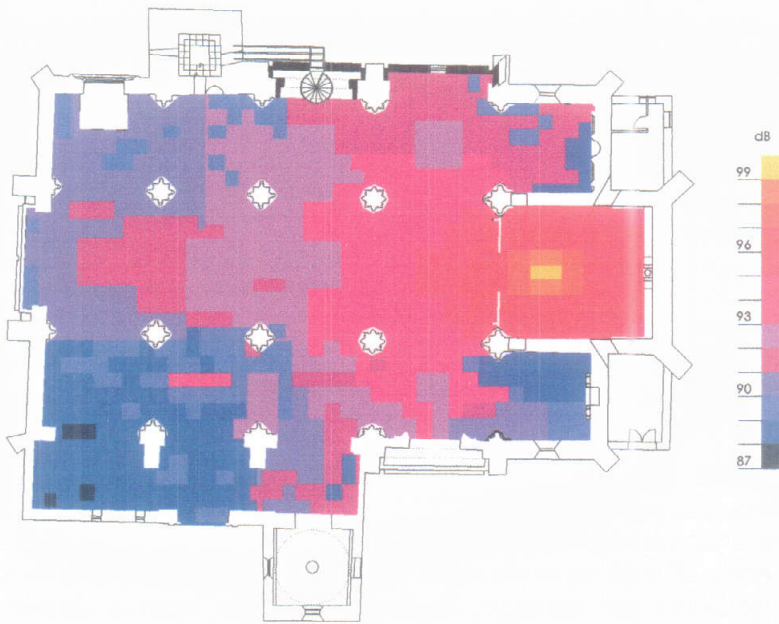


Fig. 7.10. Mapa de distribución sonora teórico para la iglesia ocupada. Año 1999

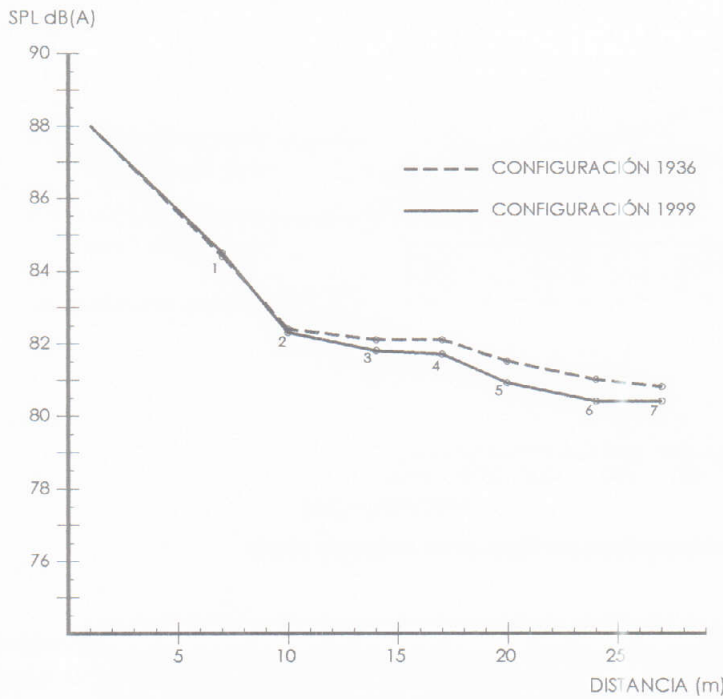


Fig. 7.11. Nivel de presión sonora respecto a la distancia. Estimado con público en bancos.

Dentro del estudio teórico, el análisis de las reflexiones que se producen en los límites del recinto, nos proporciona un mayor número de datos sobre el comportamiento del espacio. En los ecogramas de las figuras A7.4 y A7.5, se muestran el retardo de cada reflexión respecto al sonido directo, así como los niveles sonoros que produce cada reflexión para los diferentes puntos característicos de este espacio, en la banda de octava de 2000 Hz.

Las reflexiones, en ambas configuraciones espaciales, presentan una estructura similar, sin variaciones significativas. En general, se distingue un ligero aumento de

las reflexiones con la distancia del punto a la fuente, y un decrecimiento de éstas en las naves laterales. Se aprecia una falta de reflexiones laterales, así como tres superficies o zonas que generan reflexiones significativas en los diferentes puntos del espacio central:

- Las paredes del presbiterio, que proporcionan primeras reflexiones, con un número mayor de éstas en los puntos más cercanos a la fuente.
- Reflexiones desde las bóvedas, que no producen focalizaciones en el plano de audiencia dada la relación existente entre el radio de curvatura de la bóveda y su altura¹⁴.
- Efecto de la pared de fondo de la nave central, que genera una cola reverberante, cercana en algunos casos al eco, que se agudiza en los puntos más cercanos a la fuente.

Así mismo, el análisis de los ecogramas, permite apreciar la falta de cierta intimidad acústica, ya que los valores obtenidos del indicador ITDG (Initial Time Delay Gap), o retardo de la primera reflexión representativa respecto del sonido directo, oscilan entre 20 y 40 ms en la nave central, lo que supone una reducción de la calidad acústica del espacio, puesto que estos valores deberían ser inferiores a 20 ms, para presentar una adecuada calidad musical. Subjetivamente, se traducirá en una sensación sonora de estar en un espacio mayor.

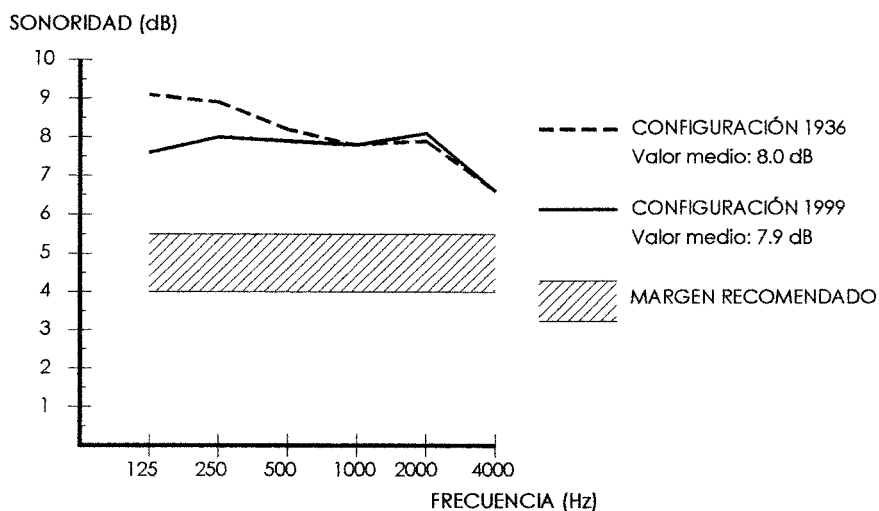
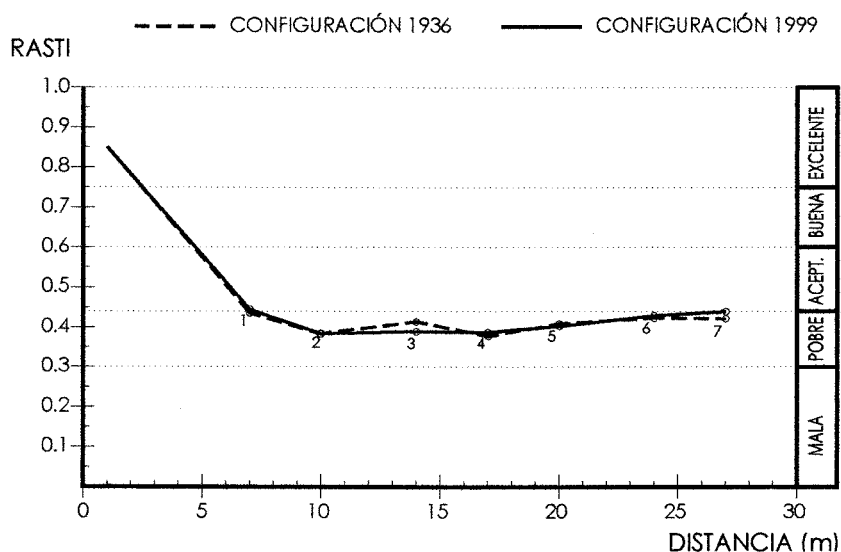


Fig. 7.12. Valores de sonoridad para la iglesia vacía.

El valor de la sonoridad con la iglesia vacía y para cada frecuencia (véase valores en cada punto y frecuencia en las tablas A7.7 y A7.8 del apéndice 7) se representa en la figura 7.12, teniendo, para las dos hipótesis consideradas, un valor medio superior al margen recomendado de 4 a 5.5 dB, lo que supone que el grado de amplificación de la sala es superior al considerado como óptimo, debido a los elevados valores del tiempo de reverberación que presenta la iglesia en cualquiera de estas dos configuraciones.

INTELIGIBILIDAD.

Se evalúa la inteligibilidad mediante el programa de simulación informática, obteniendo el valor del índice RASTI, para las dos configuraciones espaciales y con la hipótesis de iglesia ocupada con público en bancos en la nave central.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Configuración 1936.	43.8	38.2	41.4	37.9	40.9	42.4	42.2	38.8	41.9	43.2	43.6
Configuración 1999.	44.4	38.4	38.9	38.7	40.3	42.1	44.1	41.8	38.5	43.8	44.0

Fig. 7.13. Índice RASTI frente a la distancia. Estimado con público.

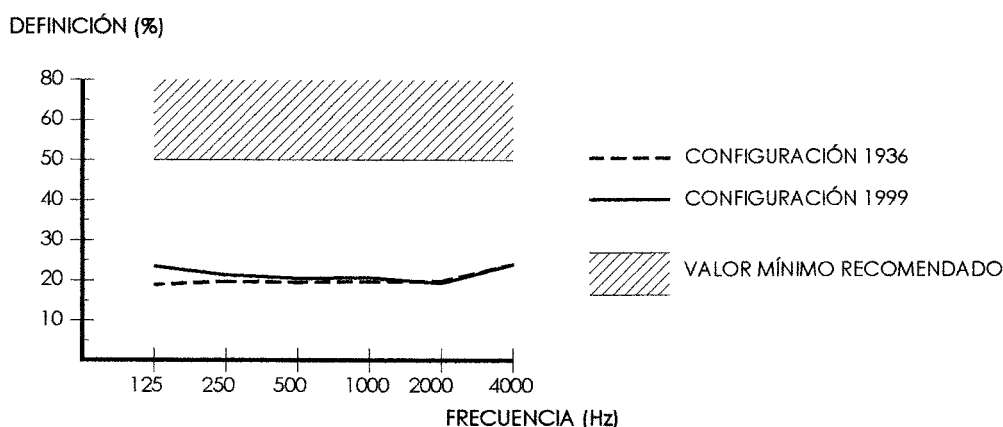


Fig. 7.14. Valor de definición. Estimado con público.

La ocupación de la iglesia, con público en bancos en la nave central, supone una pequeña variación de la inteligibilidad en ambas configuraciones, que se puede calificar como "pobre", presentando una distribución homogénea de dicho valor en los puntos de la nave central, como se aprecia en la figura 7.13 en la que se representa el valor del índice RASTI en cada punto frente a la distancia a la fuente, junto con la valoración de la inteligibilidad en función de dicho índice.

Estos bajos valores del índice RASTI se ratifican con los valores estimados de definición, con valores inferiores al mínimo estimado del 50%, lo que supone una inadecuada inteligibilidad para la palabra (figura 7.14).

Del mismo modo, los valores de claridad musical son inferiores a los recomendados para una adecuada audición musical (figura 7.15)

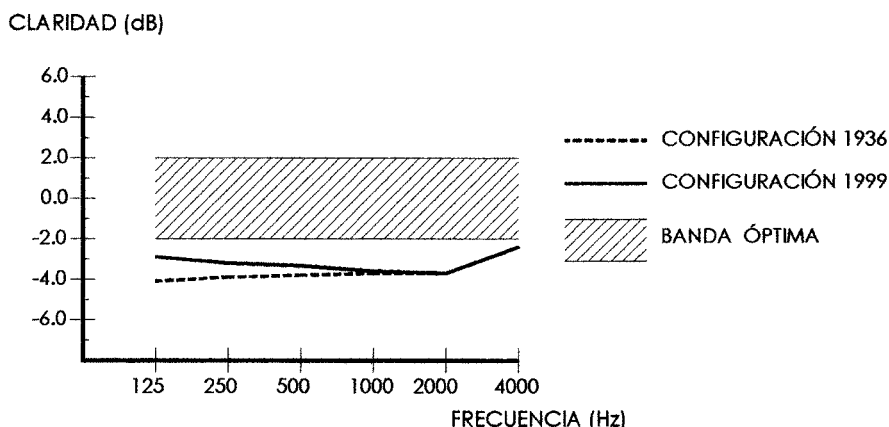


Fig. 7.15. Valor de claridad musical. Estimado con público.

OTROS PARÁMETROS.

		Configuración 1936	Configuración 1999
Volumen		10036 m ³	9179 m ³
Presbiterio.	Longitud	9.40 m	9.40 m
	Ancho	8.25 m	8.25 m
	Altura	15.50 m	15.50 m
Nave central.	Longitud	28.00 m	28.00 m
	Ancho	7.60 m	7.60 m
	Altura	12.10 m	12.10 m
Nave epístola.	Longitud	27.50 m	27.50 m
	Ancho	5.60 m	5.60 m
	Altura	10.00 m	10.00 m
Nave evangelio.	Longitud	27.20 m	27.20 m
	Ancho	5.53 m	5.53 m
	Altura	10.60 m	10.60 m
Coro.	Longitud	9.00 m.	1.60 m
	Ancho	7.60 m	5.70 m
	Altura	12.10 m	12.10 m

Area de audiencia: 237 m² en nave central y 303 en naves laterales

Aforo: 235 personas sentadas en nave central.

Relación volumen/plaza: 42.70 en la configuración 1936 y 39.05 en la de 1999. (Rango 5.1-9.1)

Relación volumen/área de audiencia: 42.34 en la configuración 1936 y 38.72 en la de 1999. (Rango 9.2-12.0)

Relación área de audiencia/plaza: 0.99 (Rango 0.63-0.75)

CONCLUSIONES.

El tiempo de reverberación que ha presentado esta iglesia a lo largo de su historia en sus distintas configuraciones, es muy alto respecto a la curva tonal óptima, tanto para la palabra como para la música, debido a su importante volumen y al carácter reflectante de la mayoría de sus paramentos. Sólo con una ocupación masiva de público de pie en sus naves¹⁵, existe un incremento de absorción sonora que proporciona unas adecuadas condiciones acústicas de este espacio para la audición musical.

La modificación espacial que se introduce con el proyecto de restauración de 1999, supone un notable aumento de absorción a bajas frecuencias, pero el tiempo de reverberación es todavía alto para las medias y altas frecuencias, por lo que se deberá aumentar la absorción sonora a estas frecuencias.

La distribución del nivel sonoro es uniforme, apreciándose en los ecogramas la importancia de las primeras reflexiones del presbiterio y de las bóvedas, así como reflexiones del fondo de la nave central, que generan una importante cola reverberante con los consiguientes problemas de sensación de eco. En general, se aprecia una falta de primeras reflexiones laterales.

Existe, una pérdida de la calidad sonora debido a un exceso de sonoridad, producto de los altos tiempos de reverberación y a la falta de intimidad acústica que se acusa en este espacio, por falta de primeras reflexiones en los primeros 20 ms, lo que provoca la sensación de estar en un espacio de mayores dimensiones.

La inteligibilidad no es la adecuada, calificándose como "pobre", siendo inaceptables los valores de definición para ambas configuraciones; así mismo, la claridad musical es insuficiente, debido principalmente a la excesiva reverberación.

En cuanto a las relaciones entre las dimensiones y el aforo de la iglesia, los índices están, como era de esperar, muy por encima de los valores recomendados.

A partir de estos datos, se concluye que las condiciones acústicas de la iglesia, en las dos configuraciones consideradas, son muy deficientes, tanto para música como para la palabra, debido principalmente a sus proporciones y materiales.

La configuración histórica de la iglesia, hasta su desaparición en 1936, presentaría una mayor absorción sonora, debido a la incorporación del ajuar litúrgico, con lo que este espacio, con un importante grado de ocupación propio de las solemnidades religiosas del momento, responde a los requerimientos de la música sacra del siglo XVI, que mantiene la costumbre del canto llano y a la nueva forma musical de final del XVI de la monodia acompañada¹⁶.

En este tipo de espacios eclesiales, la incorporación de los bancos, así como el enriquecimiento de la misa y oficios con elementos polifónicos, con un mayor esplendor del sonido musical, "oscurecería" el sonido¹⁷, por lo que se hizo necesario un crecimiento de los cuerpos instrumental y coral para proporcionar mayor volumen al sonido, y poder así cubrir las deficiencias sonoras de estos espacios. La disposición de un importante coro en el fondo de la nave principal, favorecía estas necesidades, unido a la elevación de la fuente respecto a la audiencia.

Las medidas correctoras a emplear en este espacio deberán centrarse, desde el punto de vista acústico, en la mejora de la calidad sonora mediante el aumento de primeras reflexiones que suponga una mejora de la intimidad acústica, el aumento de la absorción sonora y la disminución de la relación volumen/plaza lo que supondrá, además, una disminución del tiempo de reverberación en la iglesia.

Propuesta de intervención.

Como punto de partida de la propuesta de intervención, se parte de la configuración espacial de la iglesia resultante del proyecto de restauración del arquitecto Jerónimo Sanz Cabrera, que se está ejecutando en la actualidad, y el uso principalmente litúrgico previsto, que se verá compaginado puntualmente con actividades culturales.

Los principales problemas acústicos detectados en la iglesia son su elevado tiempo de reverberación, principalmente a medias y altas frecuencias, aspecto contradictorio a priori, ya que en estos espacios suele haber una escasa absorción sonora a bajas frecuencias, pero la incorporación de las bóvedas de madera¹⁸, proporciona una importante absorción a estas frecuencias. Estas diferencias en la distribución tonal, son las responsables de los bajos valores de calidez.

Así mismo se deberá mejorar la distribución sonora, mediante el aumento de primeras reflexiones, que favorecerá la inteligibilidad, la claridad y la intimidad acústica, junto con una reducción de la actual cola reverberante, que puede provocar cierta sensación de eco.



Fig. 7.16. Iglesia de Santa Cruz. Medina de Rioseco. Valladolid. J.I. Linazasoro.

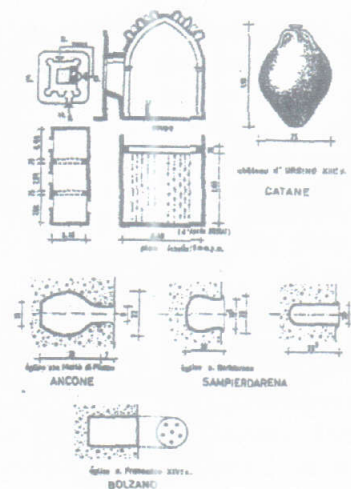


Fig. 7.17. Vasos resonadores.

La reducción del tiempo de reverberación puede conseguirse mediante una reducción del volumen de la iglesia y un aumento de la absorción sonora principalmente a medias y altas frecuencias. Este aumento de absorción puede obtenerse mediante un aumento del aforo y la colocación de tapices y cortinajes, como se empleó en la Thomaskirche de Leipzig¹⁹, así como mediante el empleo de resonadores, solución empleada en iglesias de Suecia e Italia²⁰ mediante vasijas absorbentes.

Dado el estado de deterioro con el que ha llegado la iglesia hasta nuestros días y el posterior uso litúrgico previsto, se propone devolver a la iglesia su condición arquitectónica, recuperando su espacio interior y la posibilidad de ser usado adecuadamente, entendiendo la intervención como crónica de los avatares y los daños sufridos por el templo a lo largo de su historia. Por lo tanto, se plantea una propuesta que habla más que de las huellas, del vestigio, que sin contener el pasado, mantiene un instante repleto de informaciones que permiten leer, de otra manera, las estructuras formales de este espacio²¹.

Se propone como primera medida la disposición de un cerramiento de vidrio templado de 10 mm, en los arcos que separan la nave sur adosada a la nave de la epístola, disminuye sensiblemente el volumen de la iglesia, favoreciendo además las reflexiones laterales en el fondo de la nave y proporcionando sonido difuso. Esta desvinculación material de la nave sur, proporciona además una lectura espacial clara de la estructura base de iglesia de tres naves.

El necesario aumento de absorción sonora, se consigue mediante diferentes mecanismos:

- Frente a la tradicional disposición de bancos en el área de audiencia, se propone sustituir éstos por sillas ligeras, que favorecen la utilización polifuncional del espacio, y suponen un aumento de absorción sonora a medias y altas frecuencias.

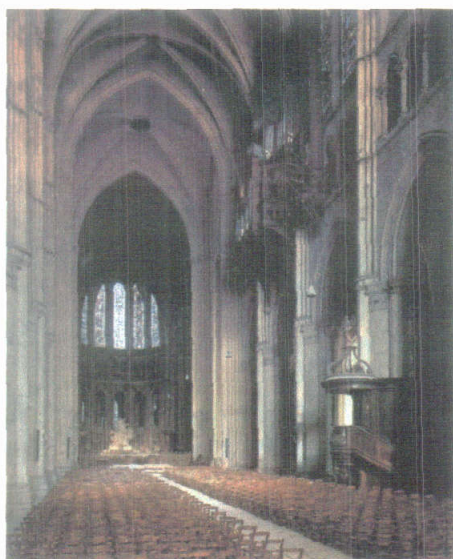


Fig. 7.18. Catedral de Chartres.



Fig. 7.19. Iglesia de Sta. María. Marco de Canaveses. A. Siza.

- Recuperación de un elemento difusor en el lugar del tradicional retablo, mediante un frente de madera, resonador de membrana, que ayude a la difusión del sonido desde el presbiterio.
- Aumento de la absorción sonora mediante el empleo de resonadores. Así, en las embocaduras de los cuerpos desaparecidos (capillas y coro) se dispone una celosía de listones de madera forrados de cobre. Estos elementos funcionan como un resonador de listones, aumentando la absorción principalmente a medias frecuencias y garantizando una absorción sonora en el fondo de la nave, de forma que se reduzca considerablemente el nivel sonoro de la cola reverberante. Estas celosías formalizan un cierre a modo de cesta calada y que gracias a la luz natural filtrada tras las celosías, proporciona la profundidad que en su día tuvieron estos cuerpos desaparecidos.
- La colocación de una moqueta sobre el suelo de las naves laterales, a la vez que proporciona absorción sonora, sobre todo a altas frecuencias, elimina el posible ruido de fondo de las pisadas.

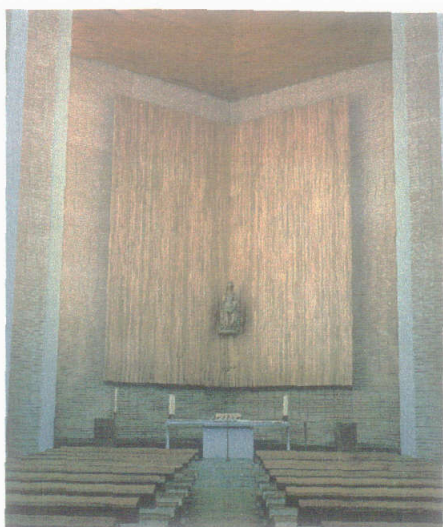
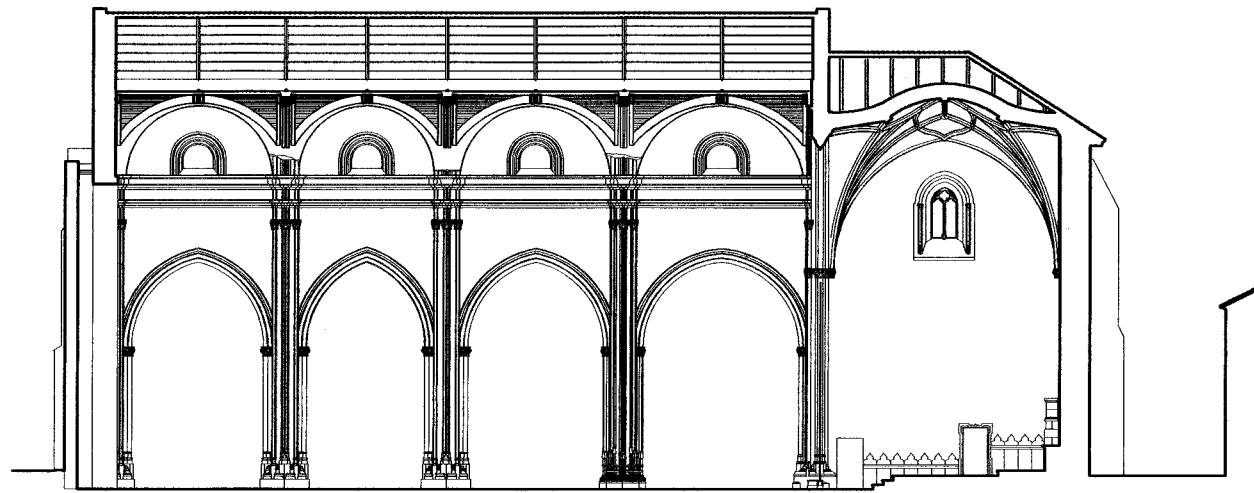


Fig. 7.20. Iglesia Colegio mayor Aquinas.
R. De la Hoz y J.M. García de Paredes.

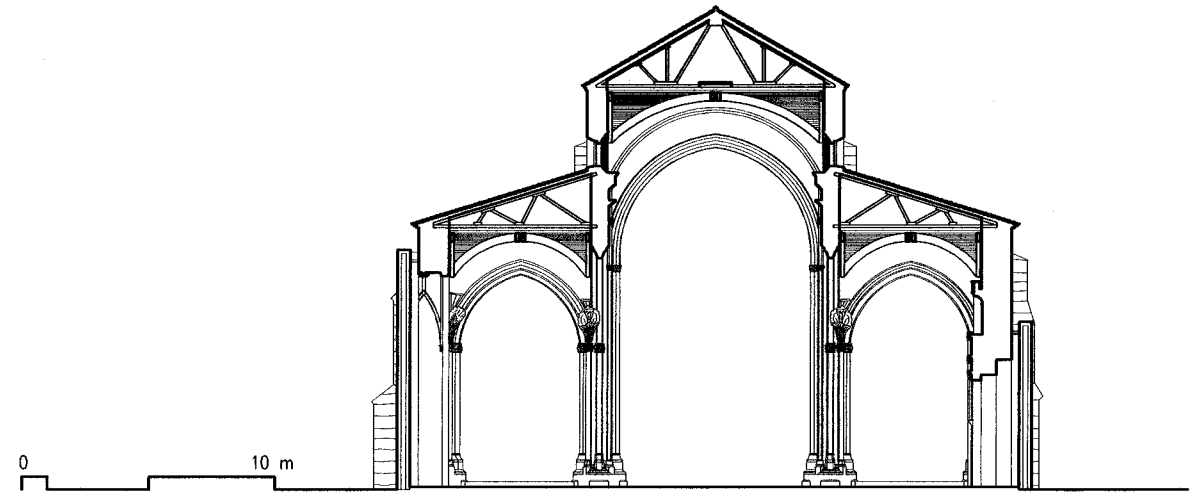


Fig. 7.21. Altar en la Catedral de Gerona.

La actual reja de separación del altar mayor de la nave principal, imposibilita el uso litúrgico por motivos visuales y acústicos, habiéndose eliminado en la mayor parte de las iglesias tras el Concilio Vaticano II²², por lo que se estudia la ubicación del altar en el centro del primer vano de la nave central (la fuente se dispone en el eje de este vano a una altura de 1.50), disposición utilizada en las iglesias en las que la reja se ha mantenido por motivos artísticos, lo que conlleva la posibilidad de utilización del primer vano de las naves laterales por parte del público.



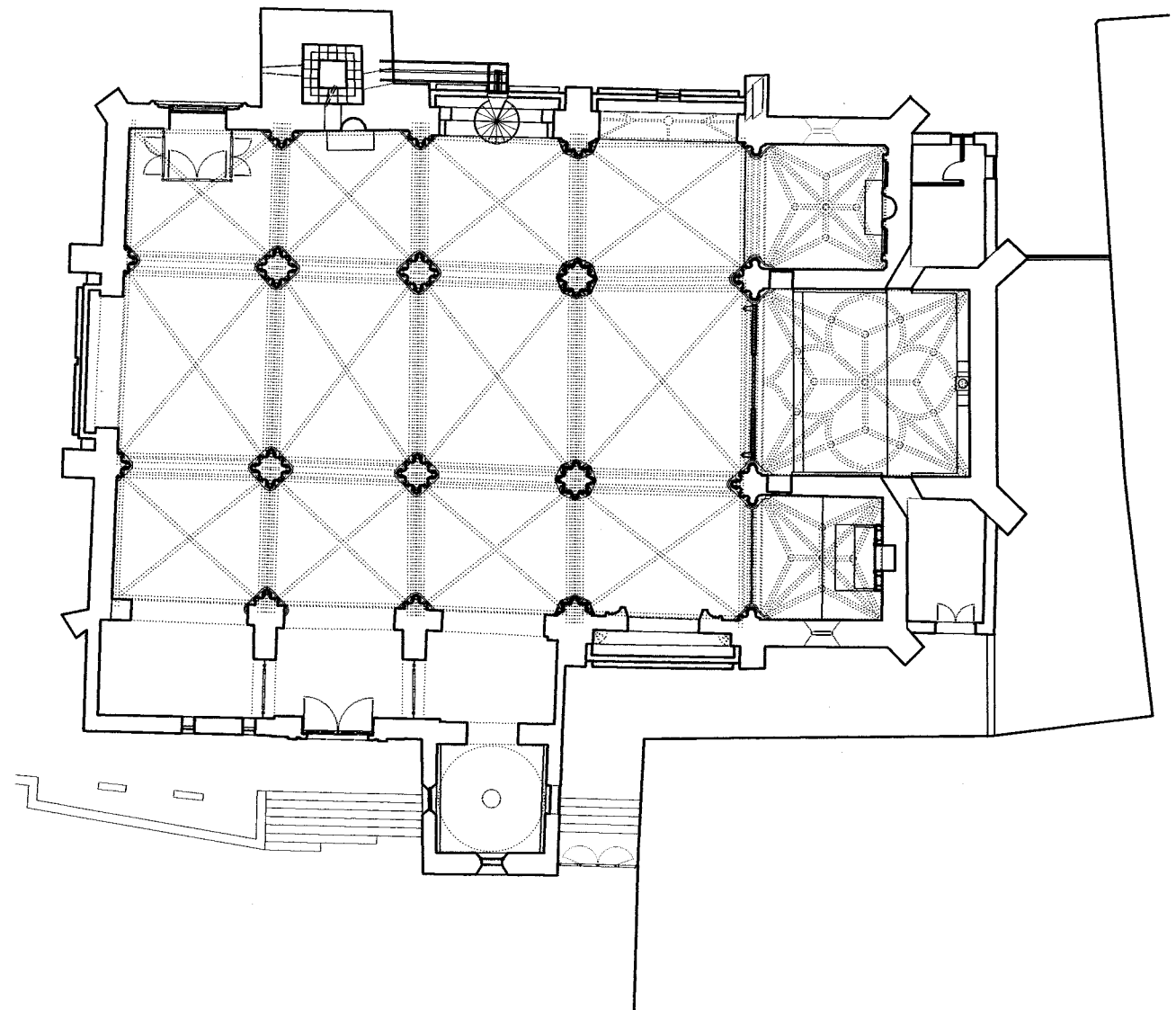
SECCIÓN LONGITUDINAL NAVE CENTRAL

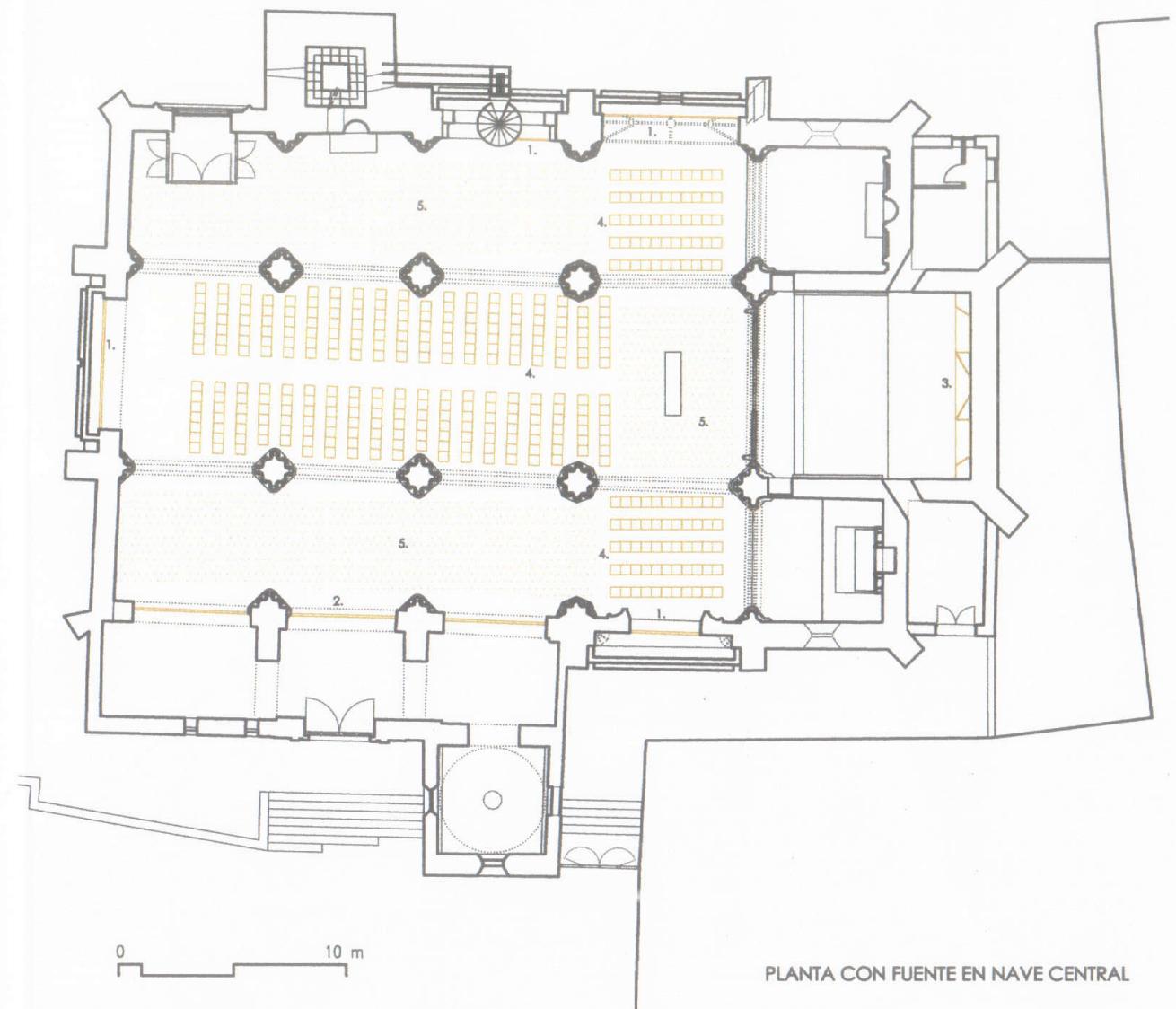
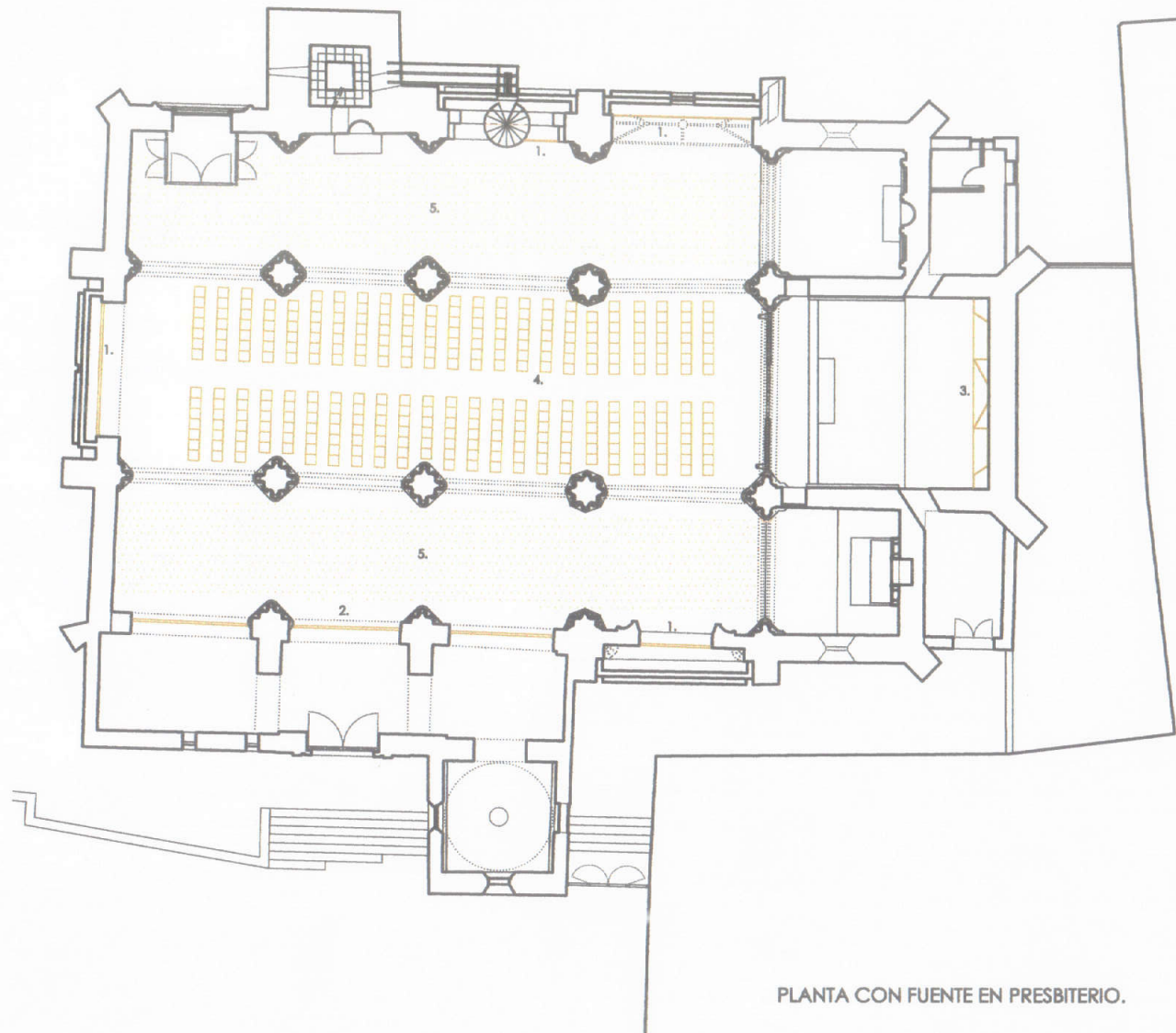


SECCIÓN TRANSVERSAL

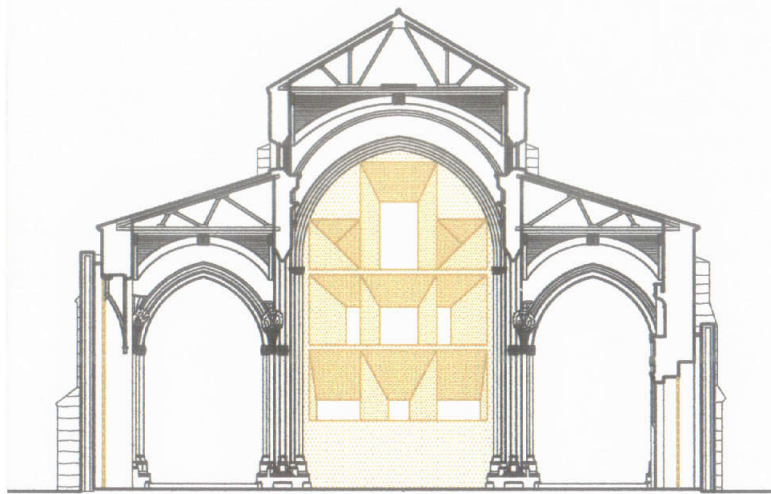


SECCIÓN LONGITUDINAL NAVE EVANGELIO

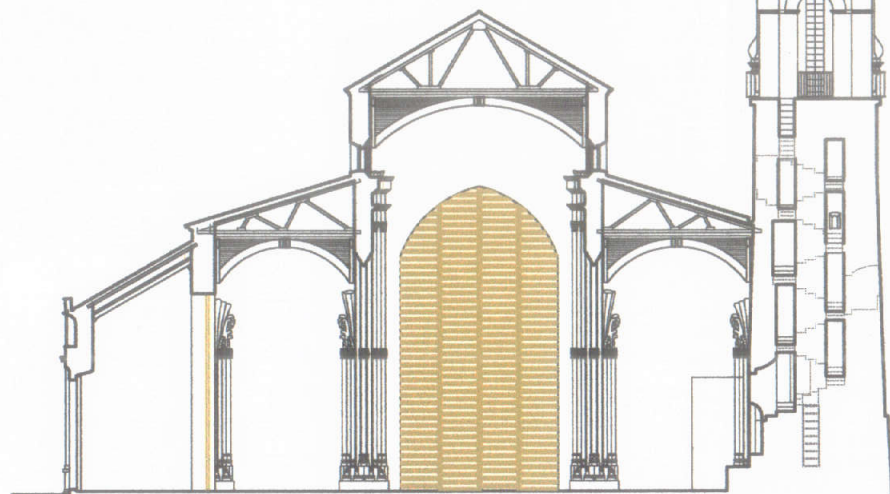




1. Resonador de listones formado por escuadrías de madera 15x10 forradas de cobre, perforado al 50%. 2. Cerramiento de vidrio templado de 10 mm.
 3. Retablo resonador de membrana formado por madera 3 mm y cámara de aire de 4 mm con tapices. 4. Sillas de madera. 5. Alfombra.



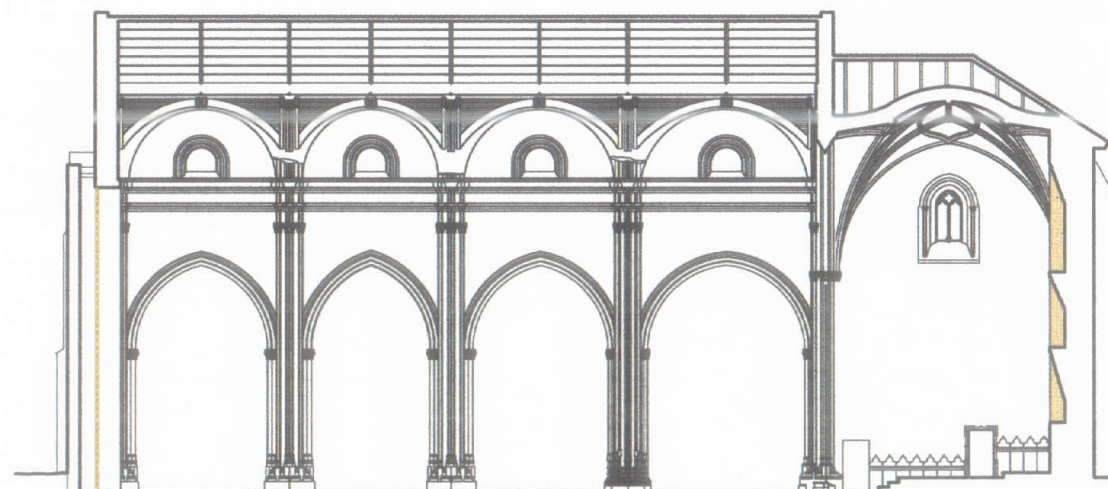
SECCIÓN TRANSVERSAL HACIA PRESBITERIO.



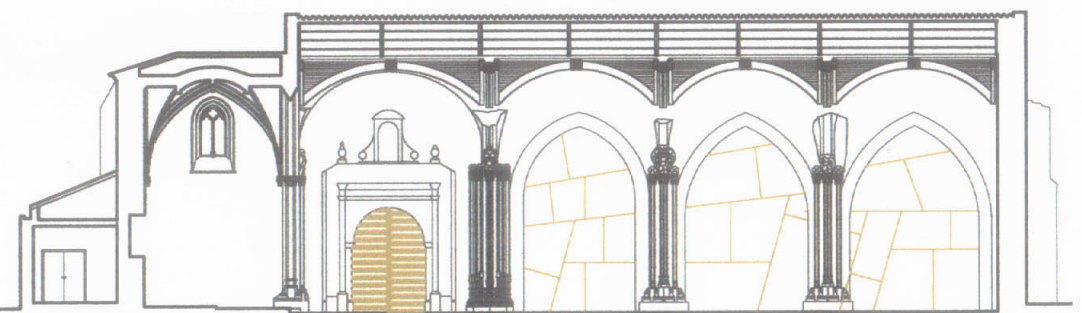
SECCIÓN TRANSVERSAL HACIA CORO.



SECCIÓN LONGITUDINAL NAVE EVANGELIO.



SECCIÓN LONGITUDINAL NAVE CENTRAL.



SECCIÓN LONGITUDINAL NAVE EPÍSTOLA.

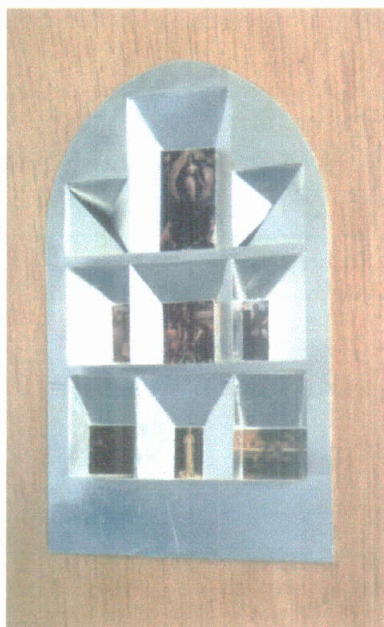


Fig. 7.22. Propuesta de retablo en el presbiterio.



Fig. 7.23. Vista de la propuesta hacia los pies de la iglesia.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

A partir del modelo informático, y el empleo de la fórmula de Sabine, se realiza el cálculo del tiempo de reverberación de la propuesta de intervención, introduciendo la nueva configuración espacial y los coeficientes de absorción de los materiales de la tabla 7.4.

MATERIAL	SUP. m ²	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Mármol	336	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Público en sillas	229	0.24	0.32	0.51	0.60	0.59	0.56
Sillas vacías	229	0.15	0.19	0.22	0.39	0.38	0.30
Revoco de cal	1579	0.05	0.06	0.07	0.09	0.07	0.08
Piedra	561	0.02	0.02	0.06	0.08	0.04	0.05
Madera	41	0.16	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
Vidrio	114	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
Resonador membrana en retablo.	116	0.30	0.35	0.20	0.20	0.15	0.10
Resonador listones en capillas y coro.	149	0.25	0.45	0.90	0.98	0.70	0.67
Bóveda de madera	602	0.55	0.45	0.30	0.20	0.15	0.15
Cuadros retablo.	15	0.05	0.12	0.35	0.45	0.38	0.36
Alfombra	235	0.10	0.20	0.25	0.35	0.30	0.30
Aire (m ³)	7871					0.008	0.021
SUPERFICIE TOTAL	3977						

Tabla 7.4. Características absorbentes de los diferentes materiales. Propuesta

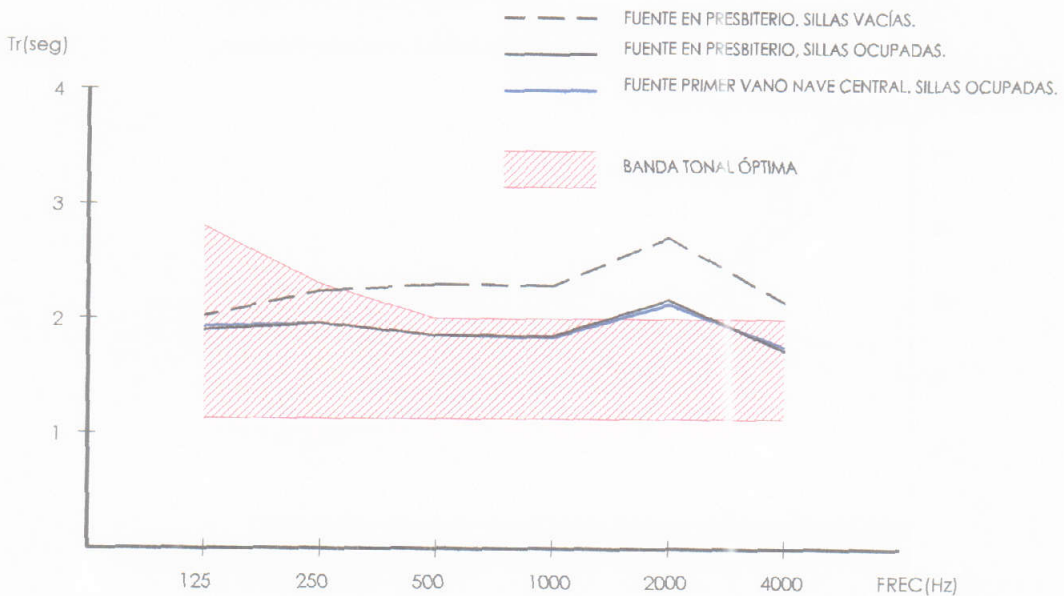
Se estudia la propuesta de intervención para tres disposiciones de la fuente sonora, que se distribuyen en el eje de la nave central:

- Fuente situada en el presbiterio. El público se sitúa sentado en sillas en la nave central, y se disponen alfombras en las naves laterales y presbiterio.
- Fuente situada en el eje del primer vano de la nave central. El público se dispone en sillas en el resto de la nave central y en los primeros vanos de las naves laterales, con una disposición a modo de crucero. El resto de naves laterales y la zona del altar se cubren con alfombras.
- Fuente situada en el último vano de la nave central, cercano a la disposición del antiguo coro. Esta ubicación de la fuente se plantea como complemento de alguna de las anteriores posiciones de la fuente, para su posible utilización por un coro.

La reducción del volumen de la iglesia, junto con el aumento de la absorción sonora debido a los resonadores tanto de membrana como de listones, supone una disminución del tiempo de reverberación, como se observa en la primera curva de la figura 7.24, (no se ha considerado ocupación de público ni disposición de las alfombras en las naves laterales). El tiempo de reverberación obtenido es superior al óptimo para la música para las medias y altas frecuencias.

La ocupación de las sillas por parte de la audiencia, junto con la colocación de alfombras en las naves laterales, proporcionan la absorción sonora necesaria para adaptar el tiempo de reverberación de la iglesia a la curva tonal óptima para la música, con valores algo inferiores para bajas frecuencias debido a la absorción sonora proporcionada por las bóvedas de madera. Se observa, que la

distinta situación de la fuente no influye en los valores de los tiempos de reverberación, ya que la absorción sonora es similar en todos los casos.



	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Fuente en presbiterio. Sillas vacías	2.02	2.24	2.30	2.29	2.71	2.15
Fuente en presbiterio. Público en sillas.	1.90	1.98	1.88	1.86	2.17	1.77
Fuente en primer vano nave central. Público en sillas	1.93	1.96	1.86	1.84	2.14	1.76
Óptimo música	2.80	2.30	2.00	2.00	2.00	2.00
Óptimo palabra	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13

Fig. 7.24. Tiempos de reverberación estimados y óptimos.

Respecto a la previsión de los valores de los índices de brillantez y calidez, existe una mejora de estos valores respecto al estado inicial, al aumentar la absorción sonora, obteniendo unos valores prácticamente dentro de los márgenes recomendados por Beranek (tabla 7.5) tanto para el índice de calidez como para el de brillo.

	BR	Br
Propuesta	1.04	0.95
Valores recomendados	1.1±1.25	>0.87

Tabla 7.5. Valores de calidez y brillo con público en bancos

DISTRIBUCIÓN SONORA.

El análisis de distribución sonora en la iglesia se realiza a partir del estudio teórico, mediante la simulación informática con el programa CATT-Acoustic, con la fuente sonora colocada en las posiciones anteriormente descritas, siendo la potencia de emisión en todas las hipótesis de 108.8 dB.

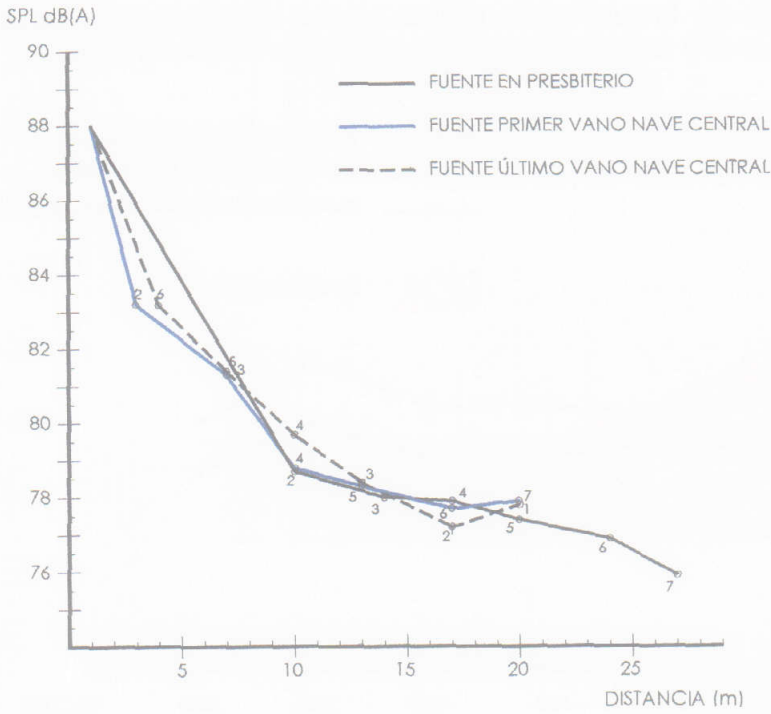


Fig. 7.25. Nivel de presión sonora respecto a la distancia. Propuesta.

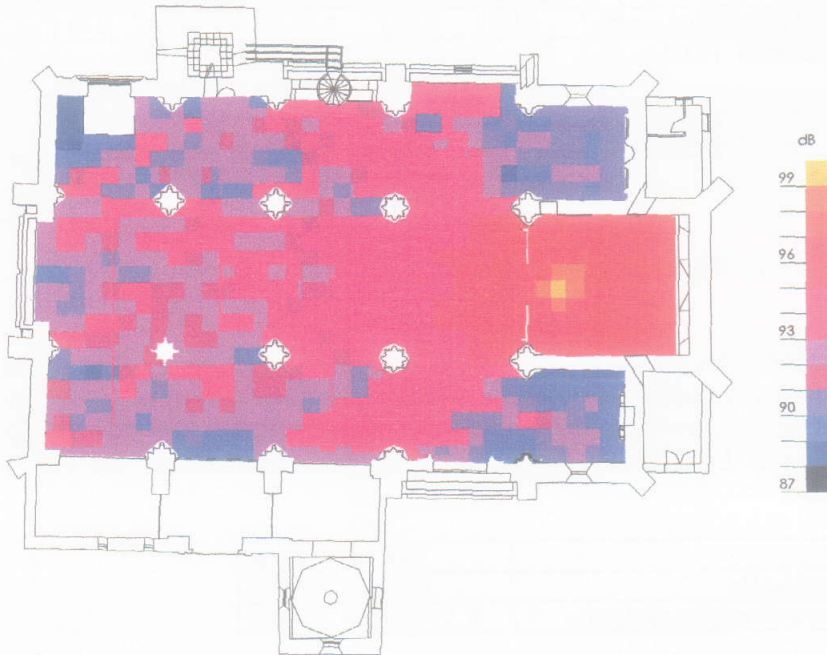


Fig. 7.26. Mapa distribución sonora, iglesia ocupada. Propuesta con fuente en presbiterio.

Los valores de niveles de presión sonora, respecto a la distancia a la fuente, obtenidos en las tres disposiciones de la fuente son semejantes, como se aprecia en la figura 7.25 (véase valores en las tablas A7.9 a A7.11 del apéndice 7), con una atenuación del nivel sonoro de unos 5 dB por cada 10 m.

No se detectan zonas de concentración sonora (figura 7.26), con una distribución homogénea en ambas naves laterales al cerrarse lateralmente la nave de la epístola, recuperándose la simetría espacial desde el punto de vista acústico²³, la uniformidad, por lo tanto, parece acusada.

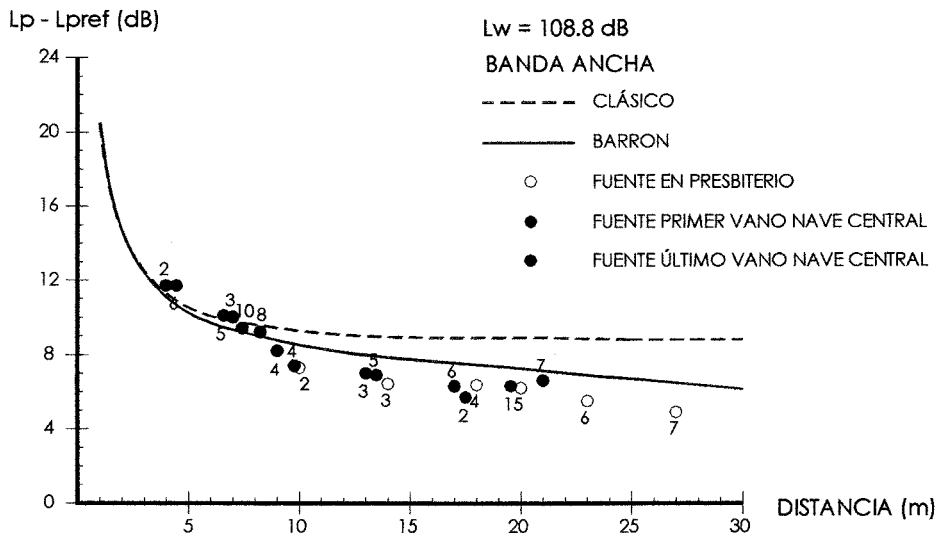


Fig.7.27. Comportamiento del campo acústico frente a la distancia. Banda ancha.

Se han representando, para cada hipótesis de posición de los baffles, los niveles de presión sonora global estimados en función de la distancia a la fuente, y se han comparado con los valores previstos por el modelo clásico y el modelo de Barron (fig. 7.27). En las proximidades de la fuente, los niveles sonoros estimados son semejantes a los previstos por el modelo clásico, debido a un efecto de concentración sonora. En el resto de puntos, los niveles sonoros estimados son sensiblemente inferiores a los estimados por el modelo de Barron, con escasa variación de la difusión del sonido en función de la posición de la fuente sonora.

Completa el estudio teórico el análisis de las reflexiones obtenido a partir de los ecogramas en los puntos representativos de este espacio. En la hipótesis con la fuente en el presbiterio se observa (véase ecogramas y cuadro resumen de reflexiones A7.21 del apéndice 7) un aumento de las reflexiones en el presbiterio debido a la incorporación del retablo-resonador, pues, al ser un elemento difusor, mejorará la distribución sonora, así como una disminución del número y nivel sonoro de las reflexiones en el fondo del antiguo coro al incorporar el resonador de listones. Los valores de intimidad acústica son algo inferiores a los obtenidos en el estado inicial correspondiente al proyecto de 1999, principalmente en los puntos más alejados de la fuente sonora (tabla A7.24 apéndice 7).

En la hipótesis con la fuente en el primer vano de la nave central, existe un aumento general en el número de primeras reflexiones, sobre todo en los puntos más lejanos de la fuente, por lo que existirá un aumento de la sonoridad, que equilibra la pérdida de intensidad sufrida por la distancia. Las reflexiones más importantes son las que provienen de las bóvedas de maderas y las reflexiones laterales producidas en los machones de separación de las naves y en las paredes de las naves laterales, al existir un mayor ángulo de abertura de la onda respecto de la posición en el altar mayor, con una disminución de la cola reverberante. La sensación de intimidad aumenta, al disminuir el ITDG a valores inferiores a 20 ms, salvo en algunos puntos cercanos a la fuente, en donde se

pueden compensar estos valores, al existir un alto componente de sonido directo.

Con la fuente situada en el último vano de la nave central, existe en general un importante nivel de primeras reflexiones laterales, y una mayor intimidad acústica.

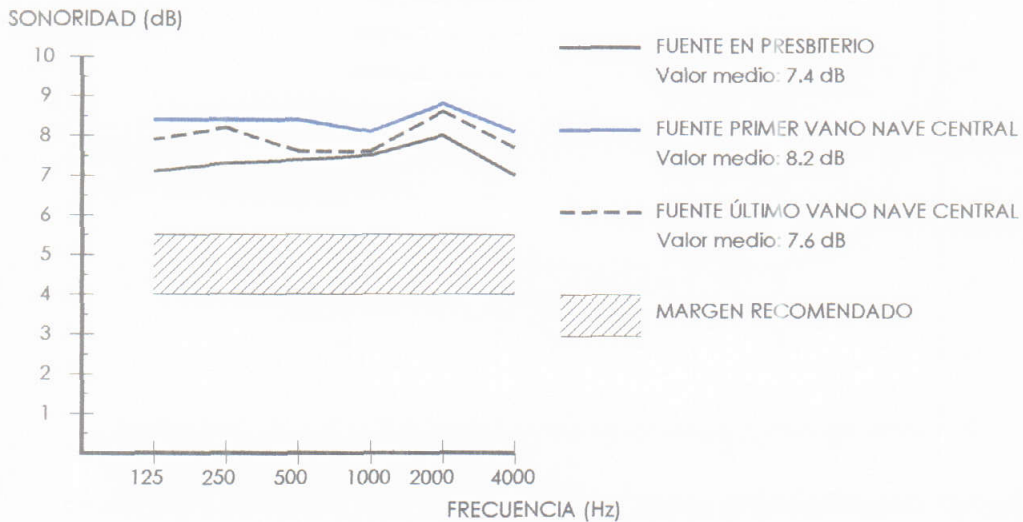


Fig. 7.28. Valores de sonoridad, iglesia ocupada. Propuesta.

La sonoridad aumenta con la fuente en el primer vano de la nave central, pues la audiencia se encuentra más cercana a ésta, lo que supone una mejora de la inteligibilidad. Para las otras dos situaciones de la fuente, se aprecia una ligera disminución de la sonoridad respecto a los valores obtenidos en el estado previo, debido al aumento de la absorción sonora y a la disminución del volumen de la iglesia, aunque no se alcanza, en ningún caso, el margen recomendado.

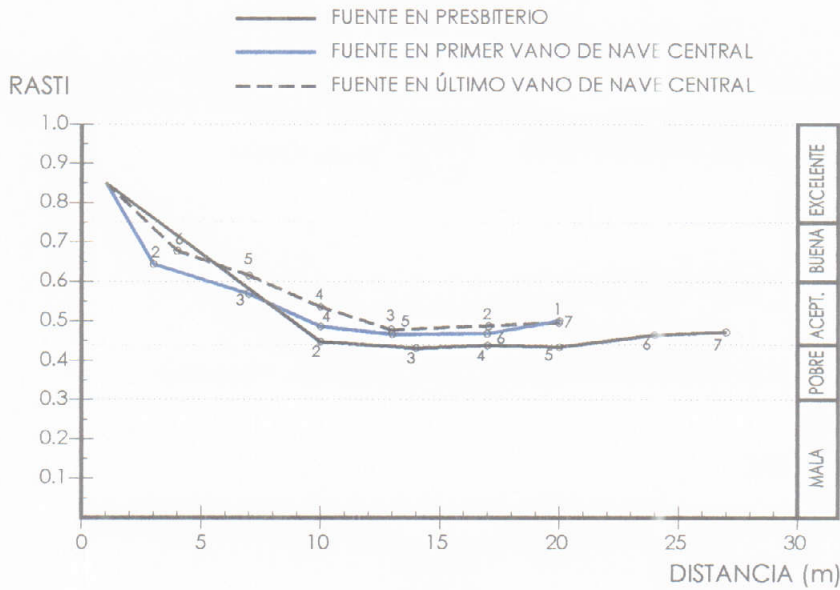
INTELIGIBILIDAD.

En cada uno de los puntos representativos de la iglesia, y mediante el modelo informático, se evalúa el índice RASTI para cada hipótesis de disposición de la fuente sonora, con la iglesia ocupada por público sentado en bancos.

En las tres hipótesis consideradas se puede calificar la inteligibilidad como "aceptable", mejorando en los puntos más cercanos a la fuente (hasta una distancia de 7 m) donde se puede calificar ésta como "buena".

La hipótesis de fuente en el último vano de la nave central, supone una sensible mejora de la inteligibilidad, como se aprecia en la figura 7.29, respecto a las otras situaciones de la fuente, debido al aumento de primeras reflexiones laterales.

Esta apreciable mejora del índice RASTI, respecto de las configuraciones de 1936 y 1999, se confirma con los valores estimados de la definición, (figura 7.30 y tablas A7.12 a A7.14 del apéndice 7), aunque para la fuente situada en el presbiterio los valores son muy inferiores al valor mínimo estimado del 50%. Sin embargo, para las hipótesis de fuente en la nave central, en el primer y último vano, los valores medios están cercanos a ese valor mínimo estimado.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Fuente en presbiterio	50.6	44.7	43.1	43.8	43.4	46.5	47.3	48.3	42.9	49.8	44.2
Fuente en primer vano nave		64.4	56.9	48.1	46.6	46.8	50.8	63.3	46.6	59.4	45.6
Fuente en último vano nave	49.6	47.0	47.7	53.6	61.5	67.7		43.1	49.0	48.6	47.1

Fig. 7.29. Índice RASTI frente a la distancia, estimado con público. Propuesta.

DEFINICIÓN (%)

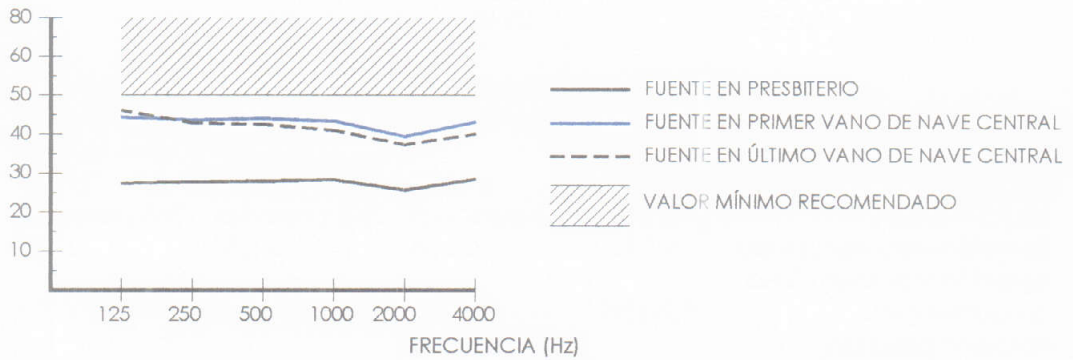


Fig. 7.30. Valor de definición, estimados con público. Propuesta.

Para la claridad musical, los valores, en las hipótesis consideradas, se encuentran dentro de la banda óptima propuesta por Marshall para salas ocupadas, como se aprecia en la figura 7.31.

CLARIDAD (dB)

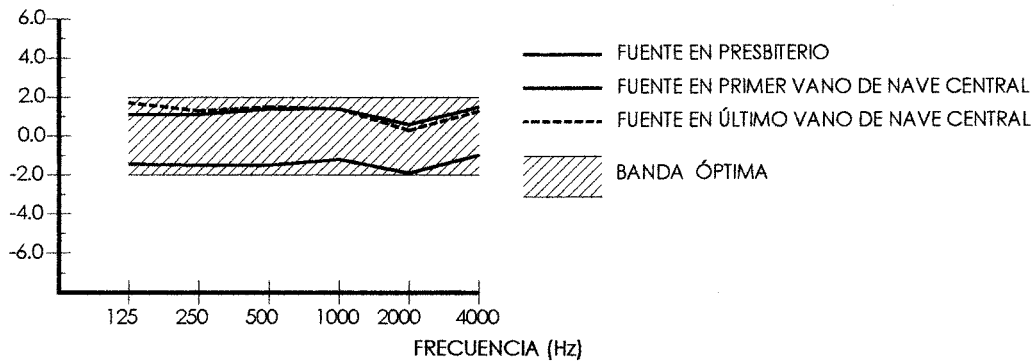


Fig. 7.31. Valor de claridad musical, estimados con público. Propuesta.

OTROS PARÁMETROS.

Volumen		7871 m ³
Presbiterio.	Longitud	9.40 m
	Ancho	8.25 m
	Altura	15.50 m
Nave central.	Longitud	28.00 m
	Ancho	7.60 m
	Altura	12.10 m
Nave epístola.	Longitud	27.50 m
	Ancho	5.60 m
	Altura	10.00 m
Nave evangelio.	Longitud	27.20 m
	Ancho	5.53 m
	Altura	10.60 m

	Rango	Fuente en presbiterio	Fuente en primer vano nave central	Fuente en último vano nave central
Area de audiencia		237 m ²	252 m ²	252 m ²
Aforo		314 personas	368 personas	368 personas
Relación volumen/plaza	5.1-9.1	25.06	21.38	21.38
Relación volumen/área de audiencia	9.2-12.0	33.27	31.23	31.23
Relación área de audiencia/plaza	0.63-0.75	0.75	0.68	0.68

CONCLUSIONES.

A pesar del elevado tiempo de reverberación estimado en el estado inicial, con público, en la configuración de la iglesia hasta el año 1936, el aumento de la absorción sonora mediante la introducción principalmente de resonadores de listones (bóvedas de madera y celosías en cuerpos perdidos), junto con la modificación del volumen de la iglesia (reducción del volumen inicial de 10036 m³ a un volumen de 7871 m³ en la propuesta de intervención), permiten reducir los valores del tiempo de reverberación, de forma que la curva tonal se adapta a la óptima para la música, aunque con valores inferiores para las frecuencias graves. No obstante, el tiempo de reverberación es alto para el uso de la palabra.

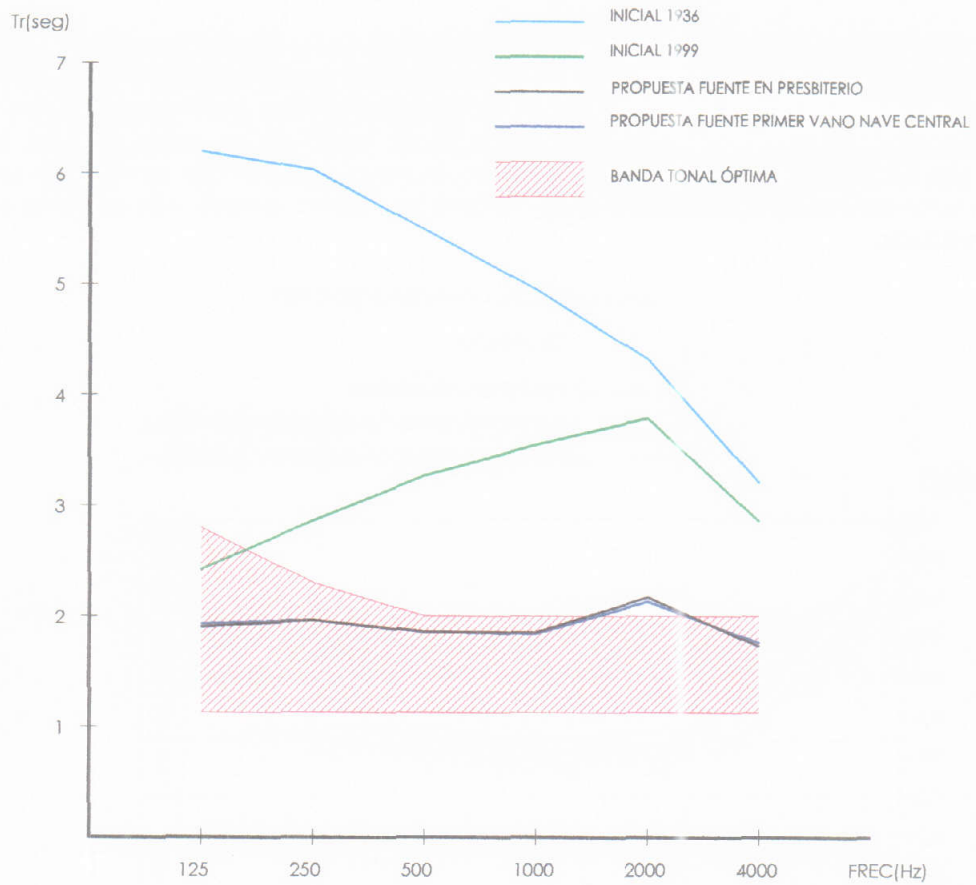


Fig. 7.32. Tiempos de reverberación.

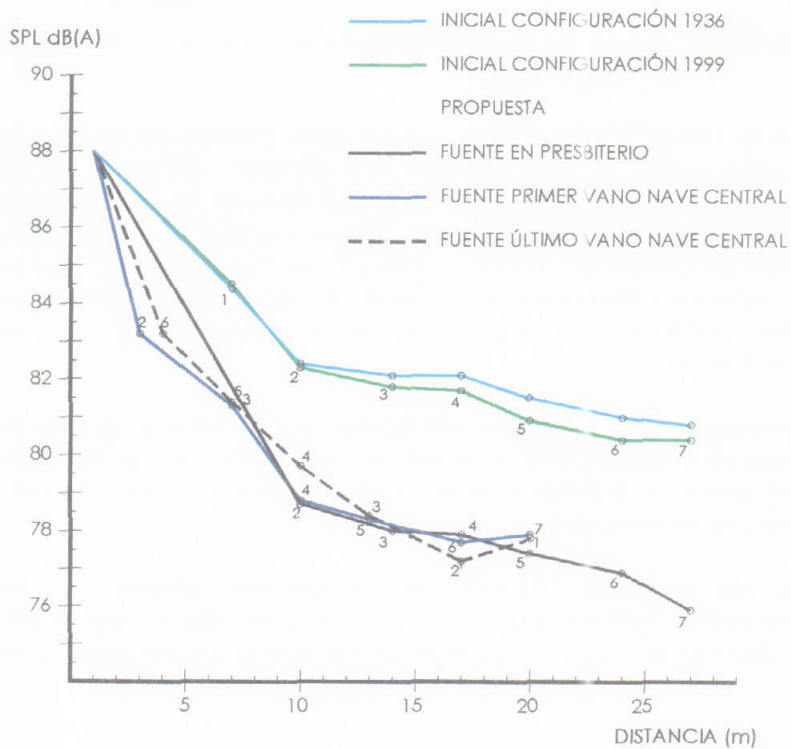


Fig. 7.33. Nivel de presión sonora respecto a la distancia. Propuesta.

La distribución sonora es uniforme en toda la iglesia, con una disminución general del nivel sonoro al aumentar la absorción sonora, recuperándose la simetría espacial desde el punto de vista acústico, no apreciándose problemas de eco ni focalizaciones. Al disponer el altar en el primer vano de la nave central, se reducen los valores de intimidad acústica, aunque el valor de sonoridad sea superior al estimado como óptimo, por lo que la música sonará más potente en este espacio.

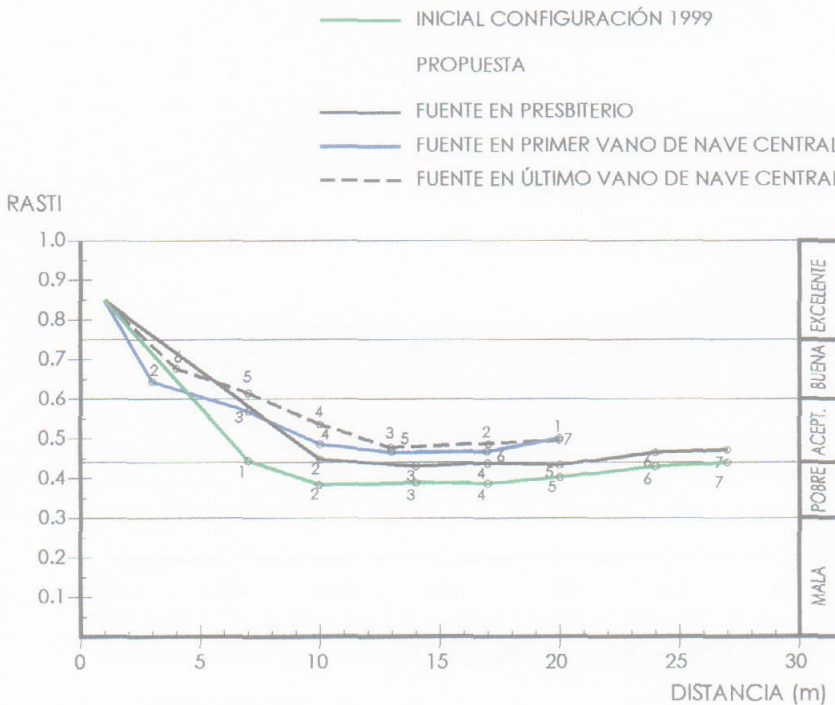


Fig. 7.34. Índice RASTI frente a la distancia, estimado con público.

En cuanto a la inteligibilidad, existe una sensible mejora del índice RASTI en la propuesta, que puede ser calificado en general como "aceptable". No obstante, se observa que cuando la fuente se sitúa en la nave central, a pesar de presentar el mismo tiempo de reverberación, como la distancia del oyente a la fuente ha disminuido en mayor cantidad de puntos, y han aumentado el número de primeras reflexiones, se obtiene un mayor índice RASTI, con valores que permiten calificar la inteligibilidad como "buena" en los puntos más cercanos a la fuente.

Estas consideraciones se pueden extrapolar a los valores de definición. Así cuando la fuente se sitúa tanto en el primer vano como en el último vano de la nave central, existe un notable aumento de la definición, con valores cercanos al valor mínimo recomendado.

Los valores de claridad musical, se encuentran dentro de los valores considerados como óptimos para las tres posiciones de la fuente sonora, con una mayor claridad en las dos hipótesis en las que la fuente se sitúa en la nave central.

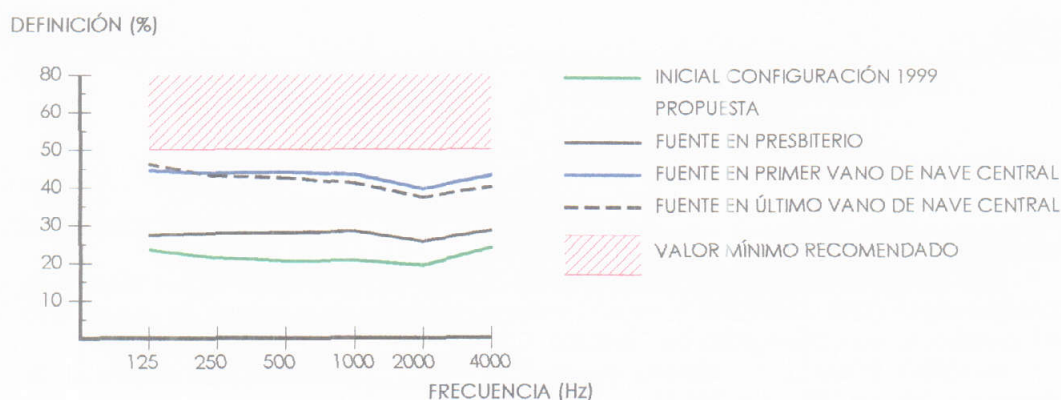


Fig. 7.35. Valores de definición, estimados con público.

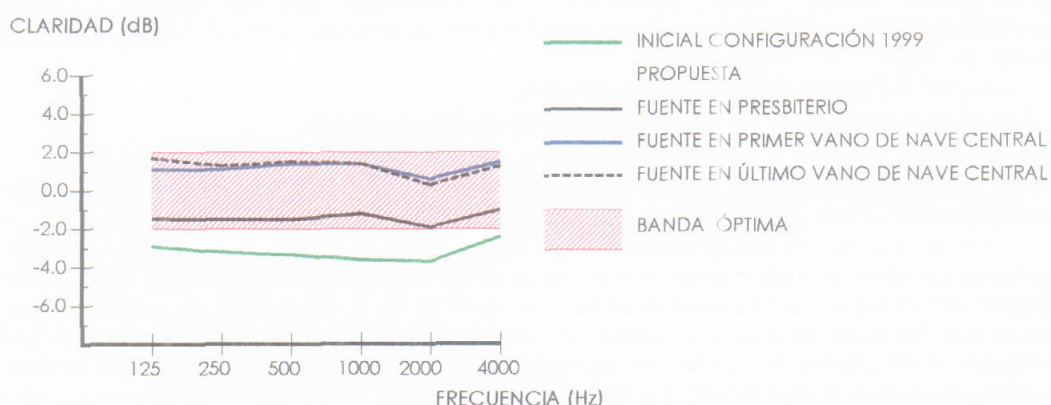


Fig. 7.36. Valores de claridad musical, estimados con público.

A partir de estas consideraciones, se puede concluir que la posición del altar en el eje del primer vano de la nave central, supone una mejora de las condiciones acústicas de la iglesia, permitiendo utilizar el presbiterio para el coro durante la celebración de los oficios religiosos o bien para las actuaciones musicales. No obstante, cuando el uso precise de una mayor definición, el coro debería situarse en el fondo de la nave central, donde la inteligibilidad es mayor²⁴.

En estas condiciones, este espacio posee unas condiciones favorables para emplear la acústica natural en actuaciones musicales²⁵, dentro de un repertorio de música sacra barroca, con obras corales, así como música romántica, que se adaptan a las características acústicas de la iglesia. Para el uso de la palabra, existen unas condiciones que se pueden considerar "aceptables" en los puntos cercanos a la fuente, debiéndose utilizar un sistema electroacústico de apoyo, mediante altavoces direccionales en la nave central.

NOTAS.

¹ GALA, A. *El manuscrito carmesí*. Planeta, Barcelona 1990, p 236

² MÁRQUEZ CRUZ, F. (coordinador). *Los pueblos de Córdoba*, Tomo I. Caja Provincial de Ahorros de y Monte de Piedad de Córdoba, Córdoba 1992, p. 148.

³ La obra se encuentra emparentada estilísticamente con el crucero de la Catedral de Córdoba según ORTIZ JUÁREZ, D. y otros. *Catálogo artístico y monumental de la provincia de Córdoba*. Tomo I. Diputación de Córdoba, Córdoba 1981, p. 168.

⁴ VALVERDE PERALES, F. *Historia de la villa de Baena*. Diputación provincial de Córdoba, Córdoba 1982, pp. 298-310.

⁵ "Junto con el coro ha desaparecido también el bello arco renacentista que le daba entrada y que estaba adornado con esculturas florentinas de mármol, obras de extraordinaria belleza, que quedaron muy resentidas por el fuego y que, inexplicablemente se han ido perdiendo después por abandono" ORTIZ JUÁREZ, D. y otros, op. cit., p. 168.

⁶ VALVERDE PERALES, F., op. cit., pp. 291-298.

⁷ En el año 1971, la iglesia es declarada monumento nacional.

⁸ ORTIZ JUÁREZ y otros, op. cit., pp. 167-169.

⁹ Surge de un convenio de colaboración entre el Ayuntamiento de Baena, Cajasur, la Consejería de Cultura y el Obispado, con un presupuesto de 995.000 euros.

¹⁰ "En el exterior la intervención se ha centrado en dotar al edificio de nuevos cerramientos donde históricamente han existido las capillas y el coro. Para ello se ha utilizado el concepto de muro exento intercalado entre los contrafuertes de la iglesia... La separación física de los muros se cierra con elementos translúcidos, que se potenciarán mediante la luz cenital matizada... En el interior la propuesta se ha centrado en habilitar arquitectónicamente el espacio, para lo que la presencia dimensional y perceptiva del gótico y la presencia material y física de los restos barrocos, se pretenden armonizar con la nueva intervención: bóvedas de madera. Se ha elegido la madera al ser un material diferenciado de los materiales existentes del gótico (piedra) y del barroco (yeso). Se han recuperado las bóvedas de aristas por ser éstas, la última referencia formal que el templo tuvo en su esplendor barroco... Las bóvedas se ejecutan con madera laminada, rastreles y correas de madera... Además se pretende clarificar espacialmente las tres naves, ya que el cuerpo adosado a la nave de la epístola crea cierta confusión sobre la consideración de otra nave, por lo que se intercalan elementos que delimiten y cierren los cuerpos existentes". Extraído de la memoria del proyecto redactado por Sanz Cabrera.

¹¹ Se calcula la frecuencia de resonancia mediante la fórmula:

$$F_0 \text{ (Hz)} = 5002 \sqrt{\frac{r}{Dd(r+w)}} \quad \text{siendo } r = \text{separación entre listones, } D = \text{espesor listones,}$$

d = cámara de aire y w = anchura del listón (valores en centímetros).

¹² Se estima un valor de absorción máxima cercano a la unidad a la frecuencia de resonancia f_0 , ya que el aumento del cuello supone un mayor rozamiento, con amortiguación del sonido incidente. Los materiales considerados para asimilar la curva de decaimiento de absorción sonora han sido resonadores de listones y múltiple (CARRIÓN ISBERT, A. *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Edicions U.P.C. Barcelona 1998, pp. 102 y 108) y el panel Parawood de la empresa Daihem Panel AB, comercializado en España por Scandinavian Desing. La absorción a las distintas frecuencias se homogeneiza al existir una frecuencia de resonancia baja y ser poco selectiva la absorción sonora de la bóveda de listones de madera.

¹³ La curva tonal obtenida se acopla prácticamente a la curva tonal óptima para la música reflejada en la figura 7.9, ya que ésta se ha calculado para un volumen de 9179 m³, mientras que los valores obtenidos, para la configuración espacial anterior al año 1936 con ocupación de público de pie, están calculados con un volumen de 10036 m³, por lo que el acople será superior al reflejado en la gráfica.

¹⁴ Al presentar las bóvedas un radio de curvatura inferior a la mitad de la altura de la nave central, las concentraciones pueden producirse por encima del plano de

audiencia. CREMER, L., MÜLLER, H. y SCHULTZ, T.J. *Principles and Applications of Room Acoustics. Vol 1. Applied Science Publishers, Londres 1982, pp. 82-88.*

¹⁵ La introducción de los bancos en la iglesia se realizó por parte del protestantismo, "...el servicio religioso era largo, principalmente por la duración del sermón, y ello condujo a la colocación de asientos para la comunidad" FRANKL, P. *Principios fundamentales de la historia de la arquitectura. El desarrollo de la arquitectura europea: 1420-1900.* Gustavo Gili Arte, Barcelona 1981, p. 232.

¹⁶ "Surge así a finales del siglo XVI, la monodia acompañada, caracterizada por el empleo de una sola melodía con acompañamiento muy simple, al objeto de que el texto se pueda entender sin problemas. En la música a varias voces, éstas se ordenan de manera que cada una de ellas cante al mismo tiempo las mismas sílabas (con el objeto de que el texto sea inteligible) con lo que surge la homofonía o concepción vertical de la música. Esto da lugar al concepto nuevo de acorde (varios sonidos simultáneos ordenados según un criterio preestablecido)" MARTÍN MORENO, A. *Historia de la música andaluza.* Biblioteca de la cultura andaluza, Granada 1985, p. 189.

¹⁷ Estos cambios favorecieron que los fieles fueron a la iglesia a escuchar música y no para orar. Un pasaje de Erasmo lo expone: "Hemos introducido dentro de nuestros templos una clase de música laboriosa y teatral, un griterío tumultuoso de voces diversas como jamás se oyó, creo, en el teatro de los griegos y los romanos. Todo se acentúa con trompetas, clarines, caramillos y laudes, y las voces humanas rivalizan con tales instrumentos... las gentes acuden al templo como si fuesen a un teatro, para que les embelesen los oídos; y para estos menesteres se contrata a virtuosos del órgano, pagándoles salarios descomunales, y a bandadas de muchachos que consumen todo su tiempo en aprender estas cosas, sin dedicar ni una sola hora a estudios más serios" ROBERTSON, A. y STEVENS, D. (Dirección). *Historia general de la música, Tomo II.* Ediciones Istmo, Madrid 1979, p. 175.

¹⁸ La recuperación de las bóvedas desaparecidas mediante bóvedas de madera, ha sido un recurso compositivo utilizado para reproducir el espacio original, como por ejemplo en la iglesia de Santa Cruz, en Medina de Rioseco de Valladolid por el arquitecto J.I. Linazasoro en 1988.

¹⁹ SENDRA SALAS, J.J. y NAVARRO CASAS, J. *La evolución de las condiciones acústicas en las iglesias: del Paleocristiano al Tardobarroco.* IUCC ETSA Sevilla, Sevilla 1997, p. 64-67.

²⁰ "Hay evidencias que los resonadores fueron usados en iglesias construidas en Suecia hace unos mil años. Estaban hechos con vasos de arcilla de diferentes tamaños y algunas se rellenaban de ceniza para mejorar las características de absorción" KNUDSEN, V.O. y HARRIS, C.M. *Acoustical Designing in Architecture.* A.S.A. Nueva York 1988, p. 106. La frecuencia de resonancia aumenta con la disminución del volumen interior del vaso, por lo que serían efectivos principalmente a medias y altas frecuencias. La variación de la frecuencia se obtiene también rellenando con cenizas o áridos estos vasos. DAUMAL DOMÈNECH, F. *Arquitectura acústica 2. Disseny.* Edicions UPC., Barcelona 2001, p. 170.

²¹ Véase MORALES SÁNCHEZ, J.. "La construcción del olvido. Memoria, historia, proyecto" en *Arquitectura y Patrimonio. Cuaderno IV.* Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, Jerez. 1994, pp. 45-63.

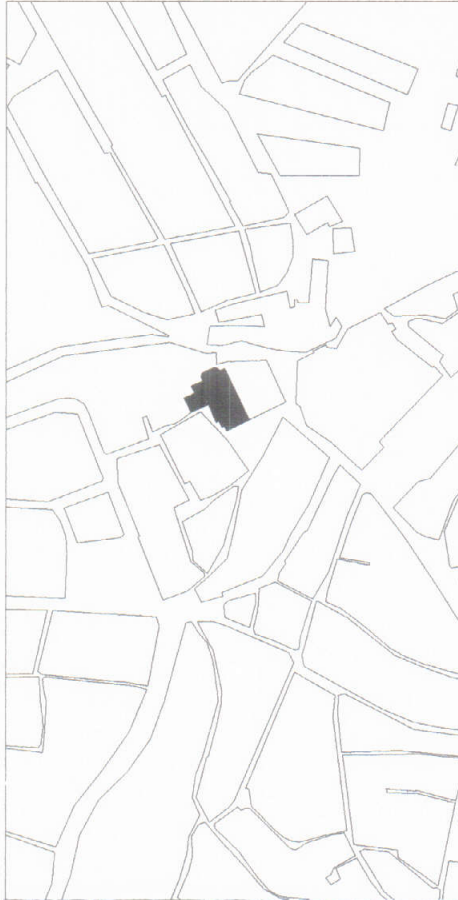
²² Tras el Concilio Vaticano II, se produce una importante reforma litúrgica que revaloriza la palabra, con un uso abundante de lecturas bíblicas y el empleo de la lengua del pueblo, lo que ha influido de forma decisiva en la recuperación del significado de la palabra en el interior de la liturgia. Esto supone una adecuada disposición del altar y los fieles. FARNÉS SCHERER, P. en su libro *Construir y adaptar las iglesias.* Regina, Barcelona 1989, establece las pautas postconciliares a seguir: " Necesidad de que el altar aparezca cercano a la asamblea convocada a participar en él, y por ello, la urgencia de suprimir comulgatorios, rejas y gradas no necesarias funcionalmente" p. 43, "Resulta incompatible con la naturaleza misma del altar cristiano, interponer cualquier clase de separación física entre éste y la asamblea" p. 49.

²³ Se ha de buscar una correspondencia visual entre el diseño arquitectónico y la acústica. La tradición de las iglesias góticas, en función del efecto espacial, es la de presentar un espacio acústicamente simétrico. DAUMAL DOMÈNECH, F. *Arquitectura acústica 1. Poètica.* Edicions UPC, Barcelona 1998, p. 40.

²⁴ "La mejor situación para el órgano y el coro es tras el altar, de cara a la audiencia... en cualquier caso debe situarse en el eje de la nave" KLEPPER, D. "Considerations for the

Design of Worship Space Acoustics: An Acoustical Consultant's Viewpoint"en *Acoustics of Worship Spaces*.7-10. American Institute of Physics, Nueva York 1985, p.viii.

²⁵ Con la Reforma del Concilio Vaticano II, los fieles deben incorporarse al canto. Este hábito, perdido históricamente, es favorecido por las condiciones acústicas de las iglesias: "La reverberación puede ayudar a los fieles a evitar la sensación de soledad durante los cantos y plegarias" EGAN, D. *Architectural Acoustic*. McGraw Hill, Nueva York 1988, p. 119.



"Ese movimiento que nos guía hacia la música es fusional. Lo que se busca, más que cualquier otro recuerdo es, en el fondo de sí mismo, en la propia raíz, la estabilidad sonora... Una parte del objeto de la música es precisamente sobrellevar la demora; construir tiempo más o menos no frustrante, experimentar la consistencia del tiempo y, poco a poco, infiltrar en éste un antes y un después... una rapidez y una lentitud, llevar las riendas de la frustración, dominar la carencia inmediata y jugar con la impaciencia." ¹



**8. IGLESIA DE SAN PEDRO.
PRIEGO DE CÓRDOBA.**

Reseña histórica.

Desde finales del siglo XVII y durante el siglo XVIII, sobre todo, el sur de Córdoba es escenario de un auténtico desarrollo de las artes, bajo el signo del Barroco, apareciendo dos grandes focos: Lucena y Priego, debido a su numerosa población, su fuerte contingente religioso y su especial riqueza. Su significación deriva de las escuelas que en ellas se formaron; en ambos casos muy relacionadas con la figura del arquitecto Francisco Hurtado Izquierdo.

La arquitectura dieciochesca cordobesa implica a la naturaleza, tanto en la decoración, con las yeserías de tipo vegetal y floral, como en la transformación de la planimetría tradicional, siendo la encargada de dinamizar el espacio².

Como característica de la ornamentación se aprecia una cierta tendencia a localizarla en las partes altas de los muros y en las cubiertas, siendo en ocasiones profusa y estando contenida dentro de unos enmarques delimitados por moldurajes geométricos.

En el último tercio del siglo XVII existe un renacer constructivo en Priego, levantándose el convento de San Pedro, de la orden de los alcantarinos, la primera gran obra barroca³, dedicándose la iglesia en el año 1690. De todo el conjunto sólo ha llegado hasta nuestros días la iglesia⁴.

Iglesia de medianas proporciones que responde a la tipología tradicional de un templo conventual, con planta de cruz latina, cabecera plana y capillas laterales comunicadas entre sí, iglesia económica adaptada a las necesidades del culto. La capilla mayor es diáfana, de manera que el altar se puede dominar perfectamente desde todos los ángulos de la iglesia. En su cabecera, tras el retablo mayor, se localiza un camarín de planta octogonal de rica decoración barroca, con tallas de madera, yeso y pinturas policromadas que se fecha en el siglo XVIII al igual que el retablo del altar mayor⁵ y las yeserías de las naves.

La nave principal y los laterales del crucero se cubren con falsas bóvedas de cañizo y yeso, arcos fajones y lunetos. El crucero se cubre con cúpula semiesférica peraltada y apeada sobre pechinas y arcos de medio punto, decorada con yeserías vegetales⁶. Así mismo las capillas se cubren con bóvedas de cañón. Al pie de la nave se localiza el coro.

A la iglesia se le anexiona, prolongando el brazo del crucero del lado del Evangelio, la actual capilla de Nuestra Señora de la Soledad, con tres cuerpos, encerrando el último el camarín de planta octogonal, desconociéndose la cronología de esta ampliación.

La iglesia presenta un importante ajuar litúrgico con lienzos en presbiterio y lunetos de la nave, retablos en el altar mayor, frentes de los brazos del crucero y testero del brazo derecho, así como en las capillas laterales, y con un órgano situado en el coro.



Fig. 8.1. Interior de la iglesia antes de la restauración.

En 1981 se realizaron obras de sustitución de cubiertas, redactando el proyecto el arquitecto Carlos Luca de Tena y Alvear.

En el año 1989 se redacta un proyecto de restauración⁷ por parte de los arquitectos Clemente Fernández de Córdoba Lubián y Manuel Moreno Cano, cuyo objetivo fue restaurar y adecuar el espacio interior para uso litúrgico⁸ y como sala de conciertos⁹, usos que comparte la iglesia desde su reapertura en el año 1992¹⁰.



Fig. 8.2. Interior de la iglesia tras la restauración de 1992.



Vista desde el sotocoro.



Capilla de Nuestra Señora de la Soledad



Capillas laterales.



Vista del coro.

Fig. 8.3. Interior de la iglesia en su estado actual.

Análisis acústico del estado actual.

La medición acústica se realizó con bancos en el área de audiencia y la iglesia cubierta de todo su ajuar litúrgico. Se tomaron nueve puntos de medida: seis en la nave central y uno en una capilla lateral, otro en la capilla de la Soledad y otro punto en el coro, a una altura de 1.20 sobre el suelo. La fuente se colocó en el altar mayor, a una altura de 1.50 m sobre el suelo.

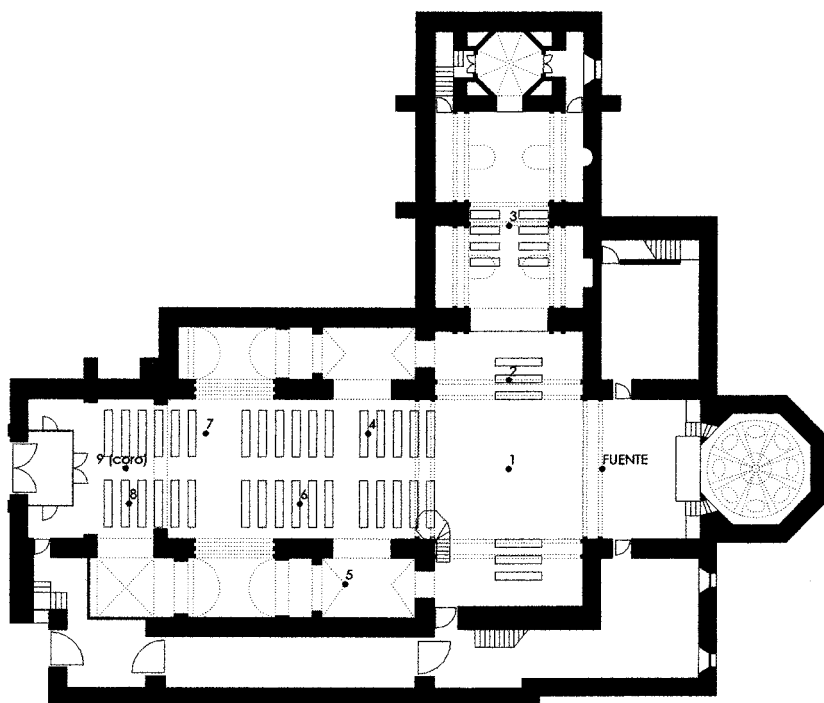


Fig. 8.4. Situación puntos de medida.

El análisis acústico se realiza sobre la configuración actual de la iglesia, ya que no existe modificación volumétrica ni de revestimientos respecto a la configuración anterior a la restauración. Se han planteado, dentro de esta configuración, dos hipótesis de situación de la fuente sonora correspondientes a diferentes usos de este espacio: fuente situada en el altar mayor y fuente situada en el coro (en el punto 9 de la figura 8.4).

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

Se realizaron las detonaciones para el registro de la respuesta impulsiva en el punto señalado como fuente en la figura 8.4, obteniéndose los valores del tiempo de reverberación para los distintos puntos en bandas de octava (tabla A8.1 apéndice 8). A partir de estos valores se han obtenido los tiempos de reverberación promediados para el conjunto de la iglesia y en la nave central (tabla 8.1), con valores similares, salvo a la frecuencia de 125 Hz, en la que existe un mayor diferencia, consecuencia de una mayor absorción a sonidos graves en las capillas laterales y en la capilla de la Soledad¹¹, espacio acoplado al espacio principal.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Promedio	2.71	2.73	2.50	2.30	2.03	1.57
Promedio nave	2.59	2.75	2.48	2.28	2.02	1.58

Tabla 8.1. Tiempos de reverberación promediados (s). Medición.

Mediante la creación de un modelo informático que reproduce el volumen de la iglesia, excepto los volúmenes acoplados correspondientes al camarín y la capilla de la Soledad¹², se calcula el tiempo de reverberación teórico, mediante la fórmula de Sabine, computando la absorción de suelo, techo y paredes, a excepción de la superficie virtual de separación de la capilla de la Soledad. La diferencia de absorción sonora entre el valor medido y el simulado, será la absorción sonora correspondiente a la superficie virtual de separación de la capilla, de la cual se deducen sus correspondientes coeficientes de absorción a las distintas frecuencias de octava (tabla 8.2).

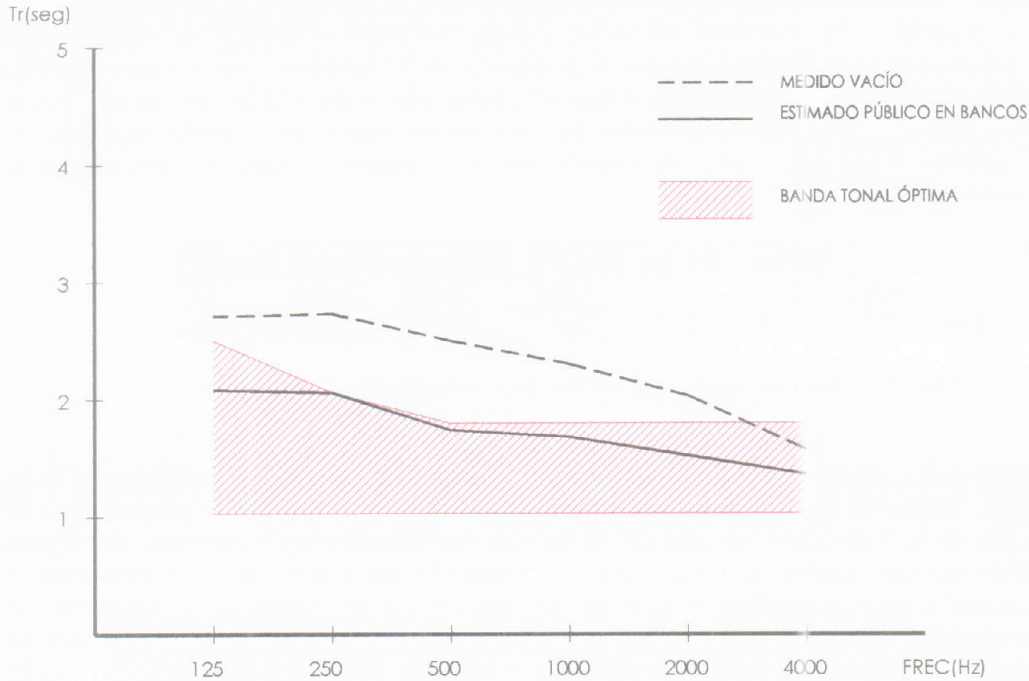
MATERIAL	SUP. M ²	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Mármol	214	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
Público bancos iglesia	206	0.23	0.31	0.40	0.45	0.45	0.40
Bancos iglesia	206	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.10
Revoco de cal	759	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07
Sup. virtual camarín	8	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
Madera	181	0.16	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
Vidrio	22	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
Bóveda	617	0.05	0.06	0.07	0.09	0.07	0.08
Retablos	325	0.33	0.30	0.35	0.38	0.42	0.45
Sup virtual capilla Soledad	19	0.46	0.58	0.68	0.70	0.70	0.72
Aire (m ³)	3747					0.008	0.021
SUPERFICIE TOTAL	2352						

Tabla 8.2. Características absorbentes de los diferentes materiales. Estado actual.

Empleando este modelo y utilizando la fórmula de Sabine, se realiza una predicción teórica de los valores del tiempo de reverberación de la iglesia, con público sentado en bancos en la nave. Estos valores se comparan con los valores óptimos teóricos tanto para la palabra como para la música, representándose en la fig. 8.5.

El tiempo de reverberación obtenido de la medición refleja una notable absorción sonora a bajas frecuencias, debido a la proliferación de retablos, altares y tapices, así como a las capillas laterales que se comportan como difusores para estos sonidos. Asimismo, la decoración de yeserías, las maderas

talladas de los retablos y el órgano son elementos que aumentan la absorción y la difusión sonora a altas frecuencias. Cuando se ocupa la nave con público sentado en bancos, la curva tonal obtenida se adapta a la curva tonal óptima para la música religiosa (figura 8.5).



	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Medido vacío	2.71	2.73	2.50	2.30	2.03	1.57
Estimado con público	2.08	2.06	1.74	1.67	1.52	1.36
Óptimo música	2.55	2.10	1.82	1.82	1.82	1.82
Óptimo palabra	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03

Fig. 8.5. Tiempos de reverberación medido, estimado y óptimos.

Los valores de los índices de calidez y brillo (tabla 8.3), se encuentran dentro de los valores recomendados, por lo que la iglesia presentan una buena respuesta tanto a bajas como a altas frecuencias.

	BR	Br
Estimado con público	1.21	0.93
Valores recomendados	1.1÷1.45	>0.87

Tabla 8.3. Valores de calidez y brillo con público en bancos.

DISTRIBUCIÓN SONORA.

El estudio de la distribución sonora se ha realizado a partir de la emisión con una fuente sonora omnidireccional y una potencia de emisión de 109 dB, obteniéndose los valores de nivel de presión sonora que se reflejan en la figura 8.6 y en la tabla A8.2 del apéndice 8.

A partir de los datos obtenidos, se aprecia un comportamiento uniforme del nivel sonoro en la nave, sin concentraciones debido a la bóveda y cúpula¹³,

destacando la existencia de un mayor nivel sonoro bajo la cúpula (debido a su situación relativa con la fuente), y un decrecimiento del nivel sonoro en la capilla de la Soledad, propio de un espacio acoplado al espacio principal, con una posición lateral, afectada por la direccionalidad de la fuente, y con una importante absorción sonora.

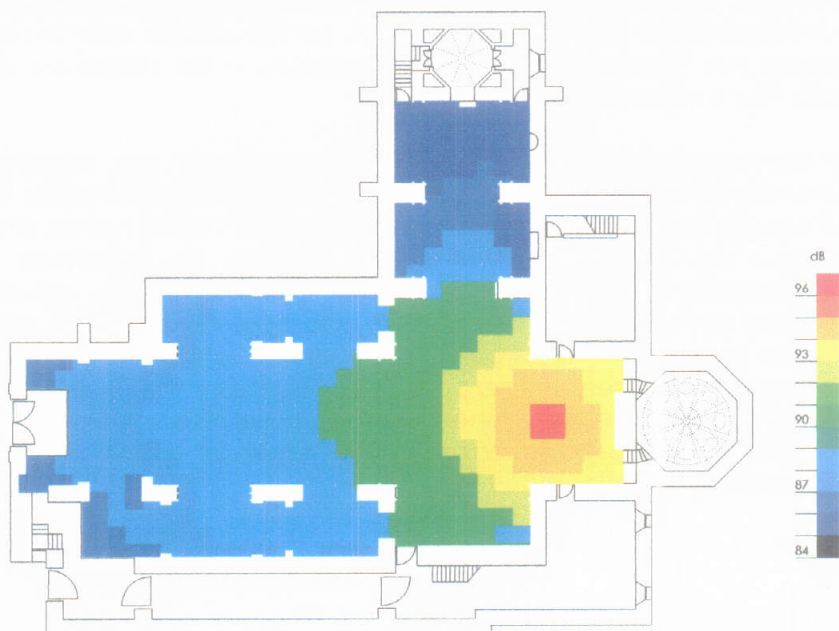


Fig. 8.6. Mapa de distribución sonora, estado actual. Iglesia vacía.

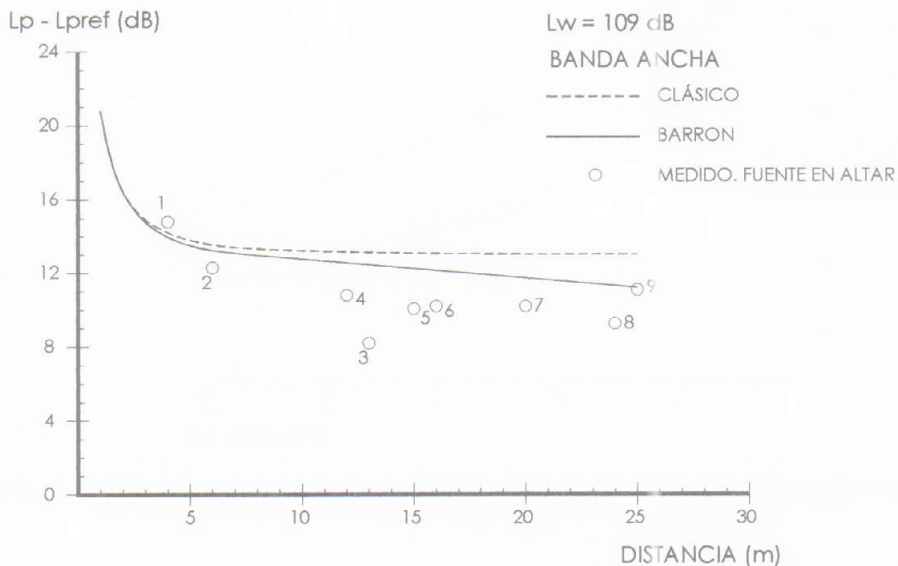


Fig. 8.7. Comportamiento del campo acústico frente a la distancia. Banda ancha.

Para analizar el grado de difusión sonora en la iglesia, se han representado los niveles sonoros medidos respecto al nivel de referencia, en función de la distancia, y se han comparado con los valores previstos por el modelo clásico de campo difuso y el modelo de Barron (fig. 8.7).

Los niveles sonoros medidos son ligeramente inferiores a los previstos por el modelo de Barron en los puntos de la nave, denotando cierta falta de difusión

sonora en la iglesia, respecto al modelo de Barron, a pesar de la difusión que proporcionan las capillas laterales a bajas frecuencias, como a altas frecuencias debido a la decoración y a los bancos.

El análisis de la distribución sonora se completa con un estudio teórico a partir del modelo informático formado por la planta de cruz latina, capillas laterales y capilla de la Soledad (figura A8.2 del apéndice 8), comprobando que los niveles sonoros simulados son ligeramente superiores respecto a los obtenidos en la medición (tabla A8.2 y tabla A8.5).

El análisis de las reflexiones que se producen en la iglesia, nos muestra un importante nivel de primeras reflexiones, tanto para la hipótesis de fuente en el altar como en el coro (figuras A8.3 y A8.4 del apéndice 8). Con la fuente situada en el altar mayor, se distingue un destacado número de reflexiones que provienen del presbiterio para puntos más cercanos a la fuente, así como reflexiones laterales para todos los puntos, con una cola reverberante que es más importante en los puntos más cercanos a la fuente, debido a reflexiones en el fondo de la nave, que presentan una pérdida de nivel sonoro frente al sonido directo entre 15 y 20 dB¹⁴. En el coro, existe un aumento del nivel sonoro debido a las reflexiones que provienen de la bóveda, que refuerzan el sonido en este espacio, aumentando la sonoridad.

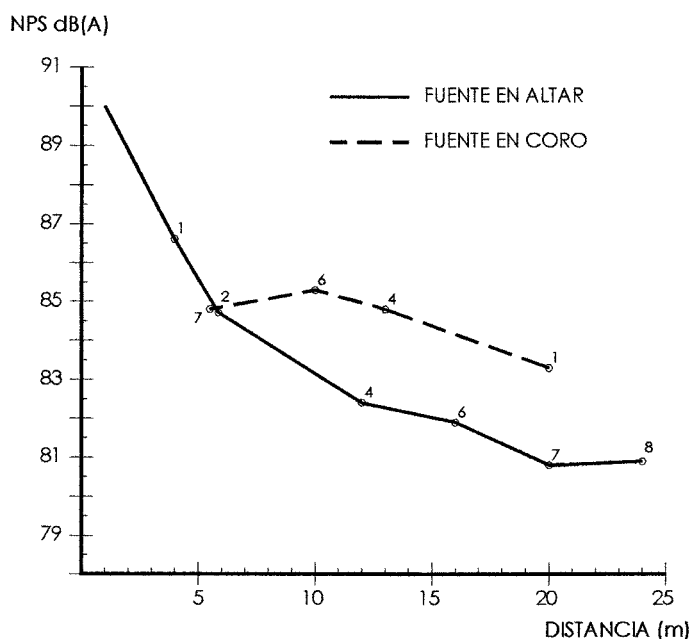


Fig. 8.8. Nivel de presión sonora respecto a la distancia. Estimado con público en bancos.

Cuando la fuente se sitúa en el coro, adquieren mayor importancia las reflexiones en la bóveda de la nave, lo que supone una menor pérdida de nivel sonoro respecto a la distancia a la fuente (figura 8.8), con una cola reverberante generada por reflexiones desde el retablo del altar mayor, con una pérdida de nivel sonoro superior a 20 dB. El público situado bajo el coro, no recibe sonido directo, con unos niveles sonoros más bajos, presentando falta de intimidad acústica y de claridad.

Los niveles sonoros estimados cuando el público ocupa los bancos de la iglesia, presentan unos valores que se mantienen ajustados a los previstos por el modelo de Barron, cuando la fuente se sitúa en el altar, mientras que cuando la fuente

se traslada al coro, los valores de los niveles sonoros son algo superiores a los previstos por el modelo de Barron, debido al aumento de primeras reflexiones, por lo que la atenuación del campo reverberado es menor que cuando la fuente se ubica en el altar y aumenta el grado de impresión espacial¹⁵.

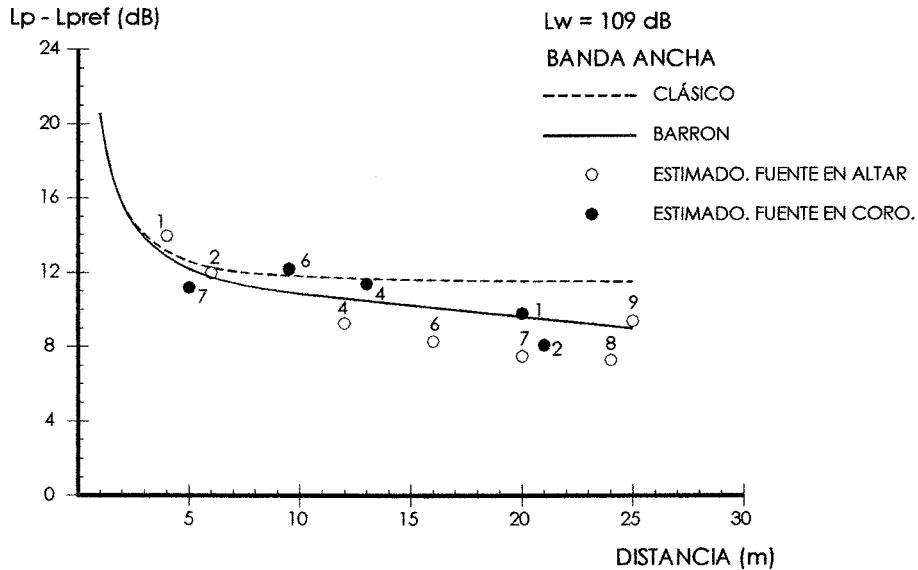


Fig. 8.9. Comportamiento del campo acústico frente a la distancia. Estimado con público.

Posteriormente, se determina el valor de la sonoridad de la iglesia, con valores medios de 11.6 dB, para la hipótesis de fuente en el altar mayor y de 12.2 dB cuando se sitúa en el coro (tablas A8.12 y A8.13 del apéndice 8). La sonoridad presenta unos valores elevados, debido a la energía asociada a las primeras reflexiones y el nivel de campo reverberante, lo que supone un grado de amplificación del sonido superior al considerado como óptimo (valores entre 4 y 5.5 dB).

INTELIGIBILIDAD.

Los índices RASTI obtenidos de la medición in situ, en los diferentes puntos, se representan en la figura 8.10, frente a la distancia de cada punto a la fuente, obteniendo la valoración del índice RASTI, que se puede calificar como "pobre-aceptable" con valores más altos en el crucero e inferiores en la nave¹⁶.

Se evalúa la inteligibilidad mediante el programa de simulación informática CATT-Acoustic, obteniendo el valor del índice RASTI en cada punto. Para estimar el grado de adaptación del modelo a la medición se comparan los valores del índice RASTI en los diferentes puntos (tabla 8.4). Dadas las diferencias existentes en algunos puntos entre los valores del índice RASTI medidos y simulados se opta por introducir un factor de corrección, con el fin de adecuar el índice RASTI obtenido en las distintas simulaciones a la medición realizada.

	1	2	4	6	7	8	9
Medido	0.48	0.45	0.42	0.38	0.37	0.41	0.42
Simulación actual. Vacío	0.45	0.41	0.33	0.32	0.36	0.35	0.36
Factor de corrección.	1.06	1.09	1.27	1.18	1.03	1.17	1.16

Tabla 8.4. Valores RASTI medidos y estimados teóricamente. Iglesia vacía.

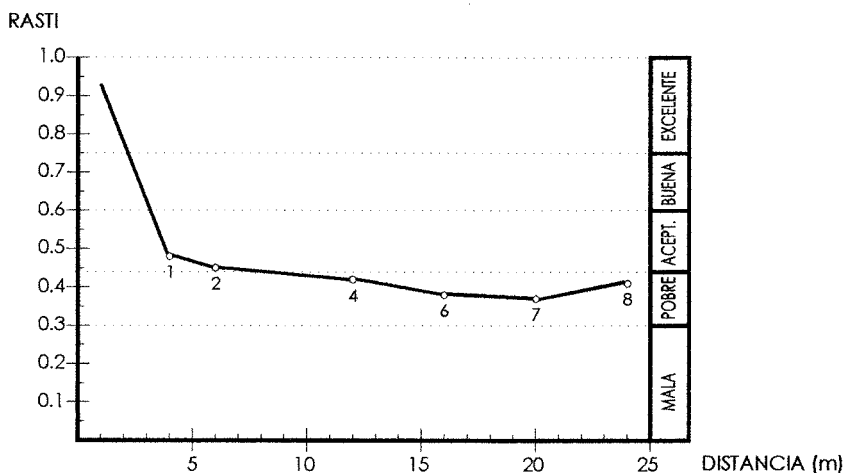
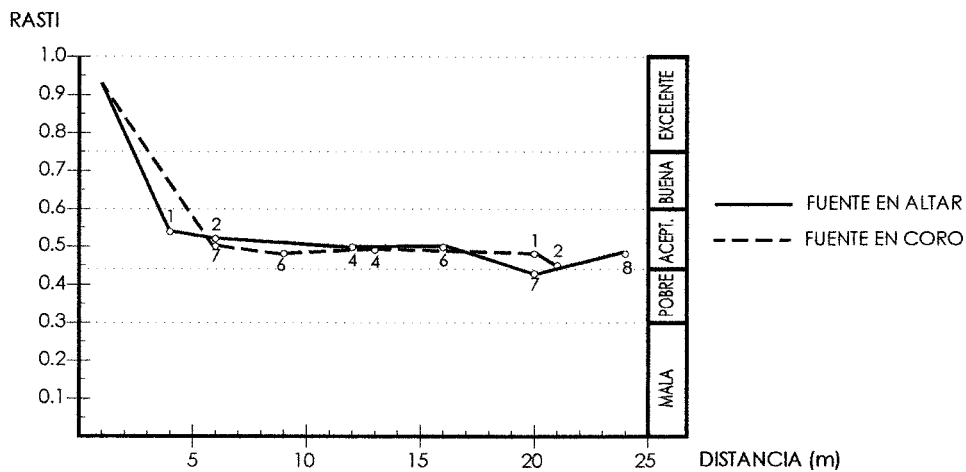


Fig. 8.10. Índice RASTI frente a la distancia. Medido vacío.

Al ocuparse la iglesia con público sentado en bancos, el índice RASTI mejora sensiblemente, calificándose como "aceptable", tanto para la hipótesis de fuente situada en el altar mayor como en el coro¹⁷, presentando para esta segunda hipótesis unos valores más uniformes.



	1	2	4	6	7	8	9
Estimado fuente en altar.	0.54	0.52	0.49	0.48	0.43	0.48	0.50
Estado fuente en coro.	0.48	0.45	0.49	0.48	0.50	0.39	

Fig. 8.11. Valores RASTI estado actual. Iglesia ocupada.

Los valores estimados de definición muestran unos valores inferiores al mínimo recomendado de 50%, lo que supone que la iglesia presenta una inadecuada inteligibilidad para la palabra, indistintamente de la situación de la fuente sonora (figura 8.12).

Sin embargo, los valores de claridad musical se encuentran dentro del margen óptimo recomendado para una adecuada audición musical cuando la fuente se sitúa en el altar mayor, mientras que si la fuente se sitúa en el coro, existe una cierta merma de la claridad musical, al existir unos valores inferiores, sobre todo para los sonidos graves (figura 8.13)¹⁸.

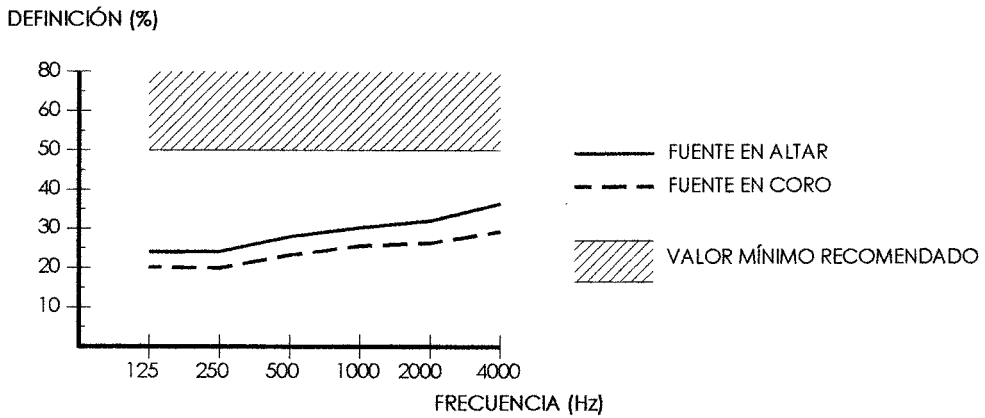


Fig. 8.12. Valor de definición. Estimado con público.

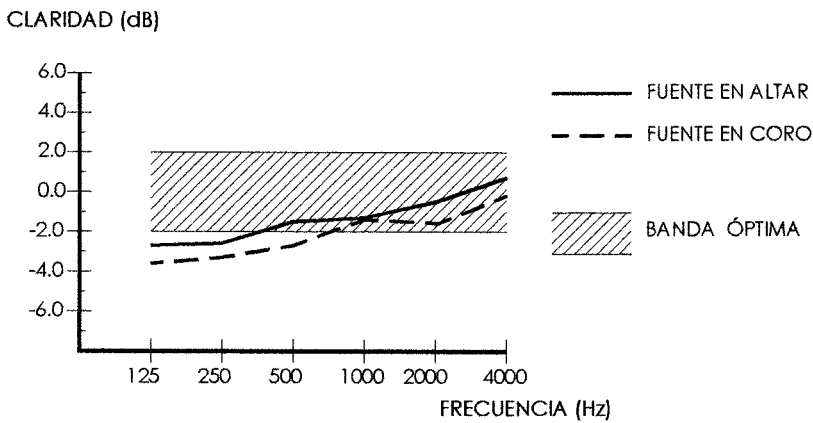


Fig. 8.13. Valor de claridad musical. Estimado con público.

RUIDO DE FONDO.

La medición efectuada del nivel de ruido de fondo en la iglesia se presenta en la tabla A8.4. El valor obtenido para el nivel sonoro continuo equivalente ($L_{eq} = 34$ dBA) resulta inferior al máximo admitido para iglesias, de 40 dBA.

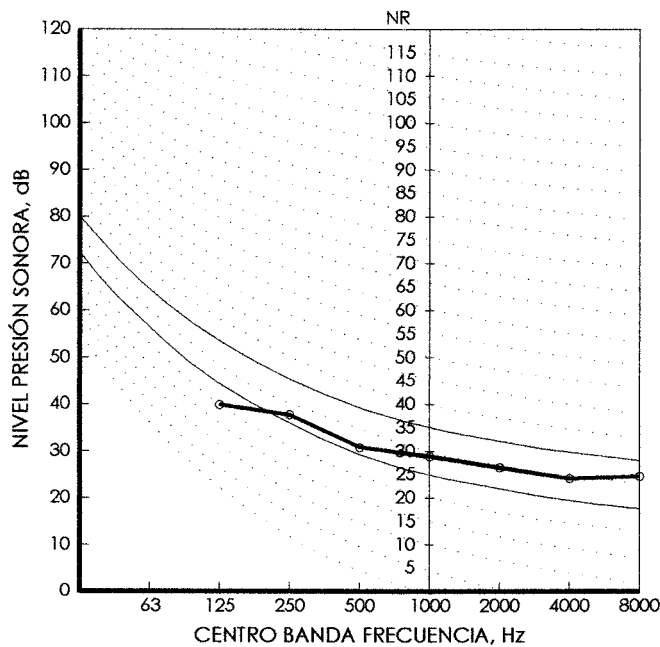


Fig. 8.14. Ruido de fondo.

Para valorar el ruido en el interior de la iglesia, se ha comparado el espectro medido con las curvas NR, correspondiéndole un índice NR de 29, valor que se encuentra dentro del margen recomendado entre 25 y 35 (figura 8.14). La iglesia presenta unos bajos niveles de ruido de fondo, fruto de su situación en una plaza que presenta escaso tráfico y al estar la iglesia situada parcialmente entre medianeras.

OTROS PARÁMETROS.

Volumen		3747 m ³
Longitud total		34.65 m
Altar mayor	Longitud	6.05 m
	Ancho	7.15 m
	Altura	10.59 m
Nave central.	Longitud	20.95 m
	Ancho	7.15 m
	Altura	11.07 m
	Altura coro	6.20 m
Crucero.	Longitud	14.15 m
	Ancho	7.64 m
	Altura	11.07 m
	Altura cúpula	16.55 m
Capilla lateral	Ancho	2.74/3.10 m
	Altura	5.20 m
Capilla Soledad.	Longitud	10.10 m
	Ancho	7.65 m
	Altura	7.50 m

Area de audiencia: 206 m² en nave.

Aforo: 234 personas sentadas en nave bancos.

Relación volumen/plaza: 16.01. (Rango 5.1-9.1)

Relación volumen/área de audiencia: 18.18. (Rango 9.2-12.0)

Relación área de audiencia/plaza: 0.88 (Rango 0.63-0.75)

CONCLUSIONES.

El tiempo de reverberación que presenta esta iglesia se ajusta a la curva tonal óptima para la música, principalmente religiosa, con una curva tonal que muestra un adecuado balance. Eso supone una buena respuesta tanto a sonidos graves como a medios y agudos, por lo que el sonido será cálido, rico y brillante. Sin embargo, los valores del tiempo de reverberación no son adecuados para actividades donde la comprensión de la palabra sea fundamental.

La distribución del nivel sonoro en la iglesia es uniforme, sin concentraciones sonoras debido a la cúpula ni bóvedas. Existe en la iglesia un adecuado grado de difusión del sonido, con unos niveles sonoros algo inferiores a los propuestos por el modelo de Barron, cuando la fuente se sitúa en el altar, y con valores más elevados con la fuente sonora en el coro, por lo que en esta posición el sonido será más envolvente, aumentando el grado de impresión espacial. Además la sonoridad, en ambos casos, es ligeramente superior al valor óptimo, lo que llevará a una sensación subjetiva de sonido más amplificado.

Cuando la fuente se dispone en el altar mayor, se aprecia en los ecogramas la importancia de las primeras reflexiones del presbiterio, que actúa como un amplificador del sonido, así como de las reflexiones laterales que favorecen la impresión espacial.

Cuando la fuente se ubica en el coro existe una "sonoridad trasera" en la iglesia, existiendo una disminución de la pérdida de nivel sonoro respecto a la distancia, debido principalmente a las reflexiones desde la bóveda de la nave. Sin embargo, en los bancos situados bajo el coro, existe una importante pérdida de la calidad sonora, dado el bajo nivel sonoro y la falta de intimidad acústica.

La situación del coro y el órgano es acústicamente adecuada, dada su situación elevada respecto a la audiencia, la proximidad existente entre ellos y la adecuada altura de la bóveda, favoreciéndose la mezcla del sonido que se transmite a la audiencia¹⁹. La disposición en el barroco de los coros altos, a los pies de las iglesias, supone una mejora de las condiciones acústicas y son el lugar adecuado para los profesionales que se hacen cargo de las representaciones musicales en las iglesias²⁰.

La inteligibilidad, a partir de los valores del índice RASTI obtenidos teóricamente, se puede calificar como "aceptable", ofreciendo unos adecuados valores para la música que se ratifican con los valores de claridad, por lo que el grado de separación entre los diferentes sonidos individuales de la composición musical es correcto. Sin embargo, los valores del índice RASTI se muestran insuficientes para la palabra, como se confirma con los bajos valores de definición, debido a una elevada cantidad de sonido reverberado.

A partir de estos datos, la iglesia presenta una acústica más idónea para las representaciones musicales, favoreciéndose la interpretación de música barroca en la que se ornamentan las melodías y se favorece la expresividad de los textos cantados, en donde la armonía es la protagonista, reflejo del espíritu contrarreformista en el que la música religiosa era compuesta para inspirar la contemplación religiosa, insistiendo en la necesidad de adecuar la música a la inteligibilidad del texto²¹.

Sin embargo la iglesia presenta problemas para la transmisión de la voz humana, al no existir una correcta inteligibilidad para la palabra sin acompañamiento musical, debido principalmente a una falta de absorción sonora.

Este espacio es adecuado para la interpretación del instrumento característico del siglo XVII, el violín²², dada su capacidad expresiva, y del siglo XIX, el piano, por sus cualidades de instrumento polifónico, capaz de graduar las intensidades.

Dadas las favorables condiciones acústicas de la iglesia para la interpretación musical, las medidas correctoras a emplear en este espacio, deberán centrarse, en una mejora de las condiciones acústicas para la palabra, aumentando principalmente la absorción sonora y mejorando de esta forma la inteligibilidad, así como un aumento del aforo que suponga una mejora de la relación volumen/plaza.

Propuesta de intervención.

La iglesia presenta actualmente unas aceptables condiciones acústicas para el desarrollo de la actividad musical, pero existen carencias acústicas cuando el uso de la iglesia sea la palabra, debido a un elevado tiempo de reverberación y una inadecuada inteligibilidad.

Se propone mantener las condiciones de absorción sonora que presenta actualmente la iglesia para su uso musical, modificándose únicamente la disposición de los bancos, que se redistribuyen. Dado el posible uso alternativo que puede presentar la iglesia, con disposición de la fuente sonora tanto en el altar mayor como en el coro, se eliminan los bancos situados bajo el coro, por ser una zona con deficiencias acústicas cuando la fuente se sitúa en el coro. La zona bajo la cúpula se ocupa con bancos, disponiendo de esta forma la audiencia en las zonas más cercanas a la fuente, que presentan mejores condiciones acústicas.

Las actuaciones acústicas, para el uso teatral, deben centrarse, principalmente, en conseguir un aumento de la absorción sonora, lo que disminuirá el tiempo de reverberación y favorecerá la inteligibilidad. Este incremento de absorción sonora se podría obtener con un tratamiento poco selectivo, centrado prioritariamente en las bandas de octava de 250 a 2000 Hz, frecuencias en las que las diferencias existentes entre el tiempo de reverberación actual y óptimo para la palabra son mayores.

Dada la decoración y amueblamiento existente en la iglesia, es difícil localizar superficies donde disponer la absorción sonora necesaria, ya que debe mantenerse el importante número de reflexiones existentes en la actualidad²³.

La primera actuación, para aumentar la absorción sonora, es aumentar el aforo de la iglesia, disponiendo bancos en la zona del crucero y pies de la iglesia, hasta el inicio del coro.



Fig. 8.15. Decoración durante la Cuaresma.

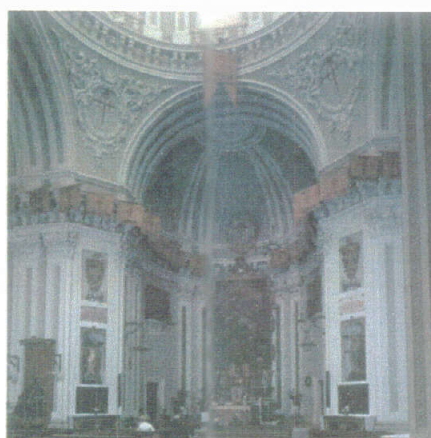


Fig. 8.16. Iglesia del convento de las Comendadoras de Santiago. Madrid.

Se adoptan las siguientes soluciones:

- Incorporación de unos paneles resonadores aluwood²⁴ deslizantes en la parte alta de los arcos de separación de las capillas laterales con la nave central y como mobiliario en la zona baja de separación entre las capillas.
- Disposición, a modo de colgaduras, de telas fruncidas separadas 14 cm de la pared en el fondo de la nave central bajo el coro.
- Instalación en el coro, suspendidos verticalmente de la bóveda, de cilindros acústicos²⁵ recubiertos de tela transparente al sonido, que le proporciona un adecuado acabado visual.

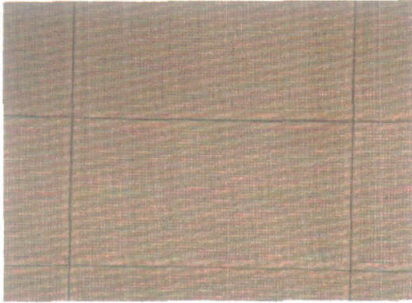


Fig. 8.17. Detalle panel aluwood.



Fig. 8.18. Cilindros absorbentes.

Estos elementos presentan un fácil montaje y desmontaje: los paneles en la zona alta de los arcos de las capillas laterales se deslizan y se ocultan tras los muros; los cortinajes se pueden plegar y los cilindros acústicos se cuelgan de fijaciones dispuestas en la bóveda del coro. La movilidad de estos elementos facilita su colocación y favorece su utilización como sistema de acústica variable.

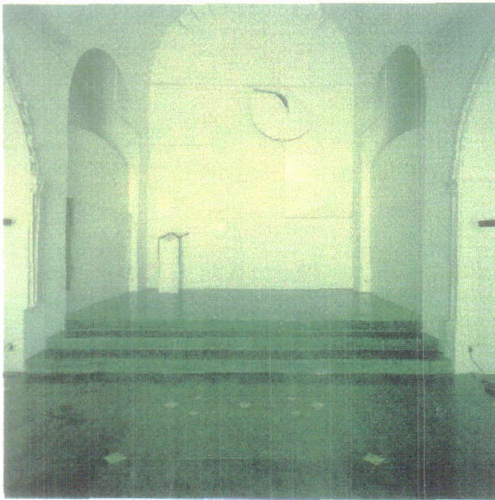
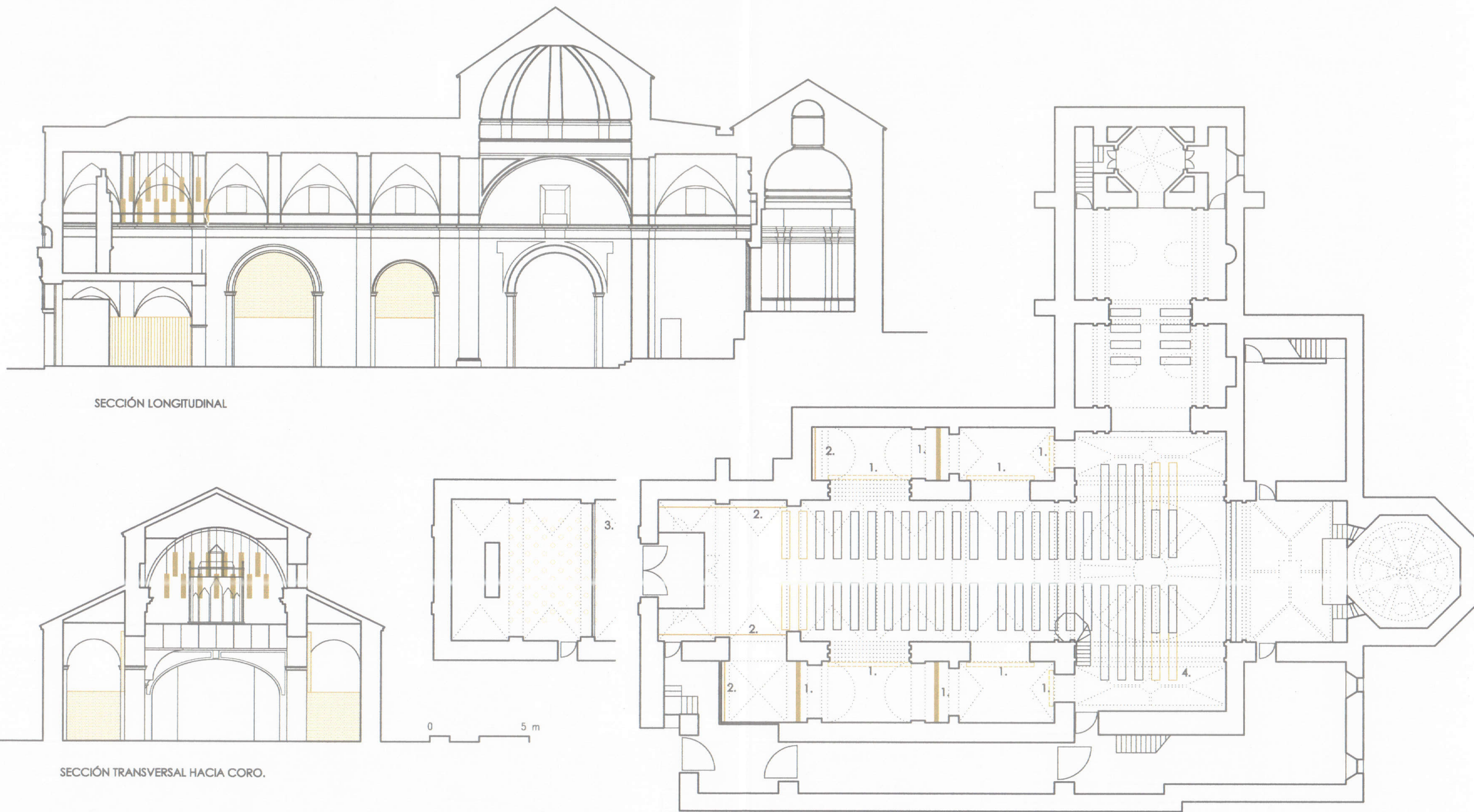


Fig. 8.19. Iglesia de L'Hospitalet. Ibiza. J.A. Martínez Lapeña y E. Torres. Restaurada para uso litúrgico y musical.



Fig. 8.20. Dibujo propuesta teatral



SECCIÓN LONGITUDINAL

SECCIÓN TRANSVERSAL HACIA CORO.

1. Panel aluwood, resonador formado por un panel de chapa perforada con cuadrados de lado 8 mm en un 12%, 200 mm de cámara de aire y 20 mm de lana mineral.

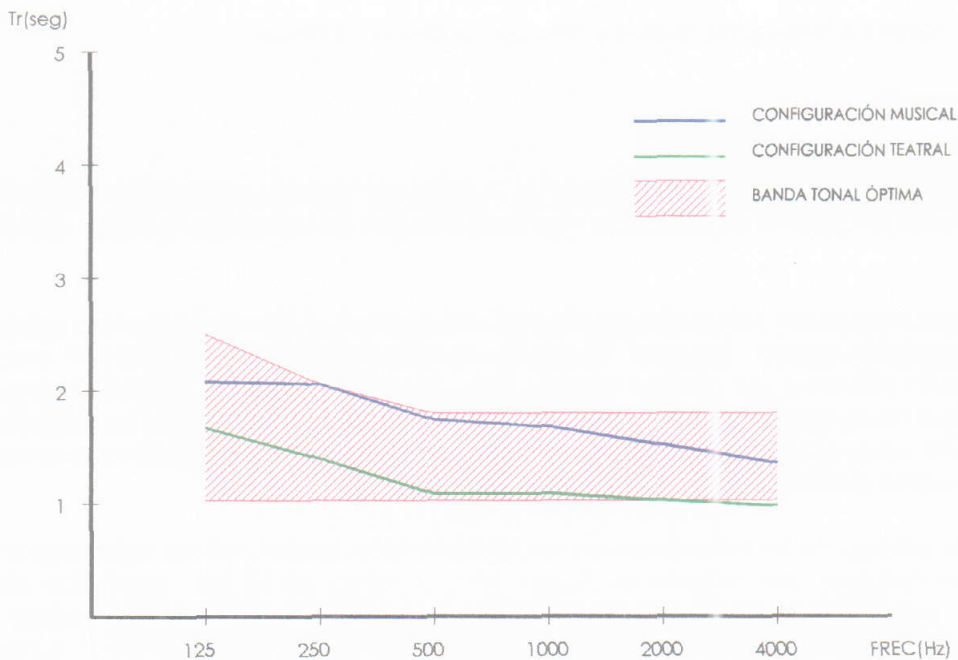
2. Cortina fruncida al 180% separada 14 cm de la pared. 3. Cilindros verticales absorbentes de 120 cm y 22 cm de diámetro de lana de vidrio de 4 cm revestida de tela. 4. Bancos de iglesia.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

A partir del modelo informático, y el empleo de la fórmula de Sabine, se realiza el cálculo del tiempo de reverberación de la propuesta de intervención para la configuración teatral, considerando los coeficientes de absorción de los materiales de la tabla 8.5.

MATERIAL	SUP. M ²	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Mármol	173	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
Público bancos iglesia	230	0.23	0.31	0.40	0.45	0.45	0.40
Bancos iglesia	206	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.10
Revoco de cal	672	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07
Supo. Virtual camarín	8	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
Madera	181	0.16	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
Vidrio	22	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
Bóveda	617	0.05	0.06	0.07	0.09	0.07	0.08
Retablos	325	0.33	0.30	0.35	0.38	0.42	0.45
Sup virtual capilla Soledad	19	0.46	0.58	0.68	0.70	0.70	0.72
Panel aluwood	60	0.40	0.78	0.82	0.72	0.70	0.50
Cilindros absorbentes ²⁶	80	0.32	0.73	0.92	0.91	0.97	0.97
Cortina fruncida ²⁷	87	0.17	0.32	0.62	0.60	0.60	0.67
Aire (m ³)	3747					0.008	0.021
SUPERFICIE TOTAL	2474						

Tabla 8.5. Características absorbentes de los diferentes materiales. Configuración teatral.



	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Configuración musical	2.08	2.06	1.74	1.67	1.52	1.36
Configuración teatral	1.67	1.39	1.09	1.08	1.04	0.98
Óptimo música	2.55	2.10	1.82	1.82	1.82	1.82
Óptimo palabra	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03

Fig. 8.21. Tiempos de reverberación estimados y óptimos. Propuesta.

La redistribución de los bancos, no supone modificación de las características absorbentes de la iglesia, por lo que el tiempo de reverberación en la configuración musical será idéntico al obtenido en la estimación del estado actual con público.

En la configuración teatral, sin embargo, existe un aumento de la absorción sonora, con el fin de adaptar este espacio al uso para la palabra, por lo que el aumento del aforo, la incorporación de los paneles aluwood, los cilindros absorbentes y las cortinas separadas de la pared, permiten obtener una absorción sonora especialmente importante a medias y altas frecuencias.

La curva tonal resultante para la configuración teatral se adapta a la curva tonal óptima para la palabra a medias y altas frecuencias, siendo algo alta para las bajas frecuencias, considerándose no obstante adecuada, dado que la inteligibilidad de la palabra está íntimamente relacionada con una correcta percepción principalmente de las altas frecuencias.

Respecto a la previsión de los valores de los índices de brillantez y calidez, en ambas configuraciones se encuentran dentro de los valores recomendados, lo que refleja un adecuado balance tonal del sonido en el interior de la iglesia.

	BR	Br
Configuración musical	1.21	0.93
Configuración teatral	1.41	0.93
Valores recomendados	1.1÷1.45	>0.87

Tabla 8.6. Valores de calidez y brillo con público en bancos.

DISTRIBUCIÓN SONORA.

Se analiza la distribución sonora en la iglesia, a partir del estudio teórico mediante la simulación informática, manteniendo la potencia de emisión de la fuente.

Los valores de presión sonora respecto a la distancia a la fuente obtenidos para la configuración teatral, dado el aumento de absorción sonora, presentan una disminución del nivel de presión sonora, con una atenuación del nivel sonoro, que al final de la iglesia es de 4.8 dB respecto al modelo clásico, pero los valores de presión sonora se mantienen, no obstante, cercanos a los valores previstos por el modelo de Barron,

El estudio teórico de las reflexiones en la configuración teatral (véase ecogramas y cuadro resumen de reflexiones figura A8.6 y tabla A8.18 del apéndice 8) muestra una distribución similar a la obtenida en el estado actual, con primeras reflexiones en un retardo de 60 ms y reflexiones más tardías, debido a efectos de eco aflautado entre el fondo y el presbiterio, con una diferencia respecto al nivel sonoro del sonido directo entre 15 y 20 dB, por lo que no se generarán molestias sonoras.

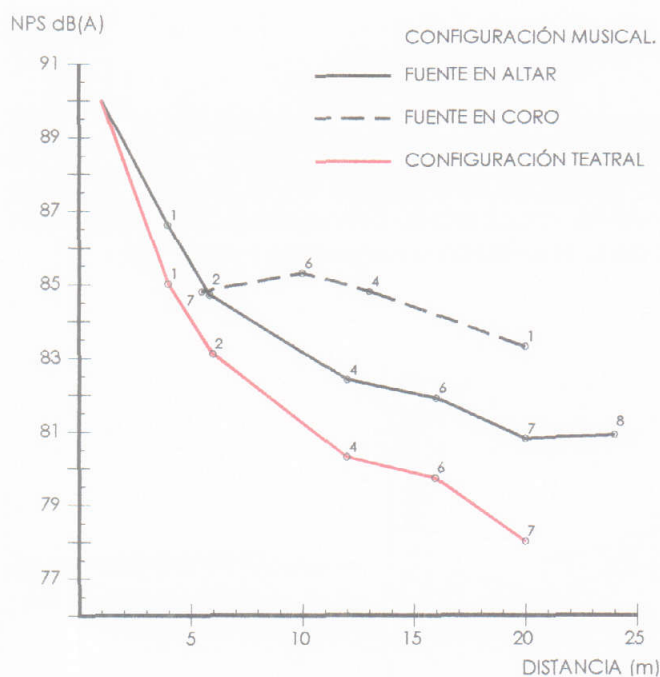


Fig. 8.22. Nivel de presión sonora respecto a la distancia. Propuesta, iglesia ocupada.

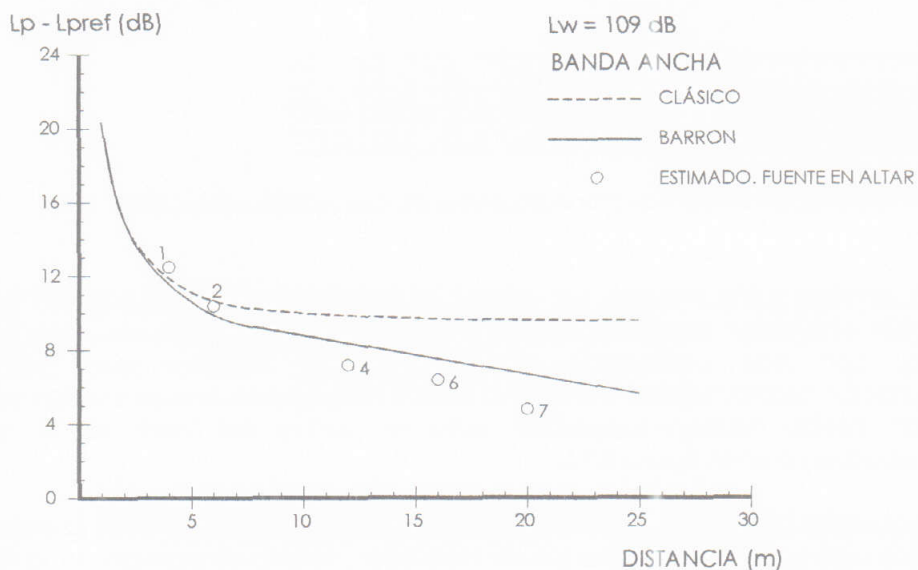
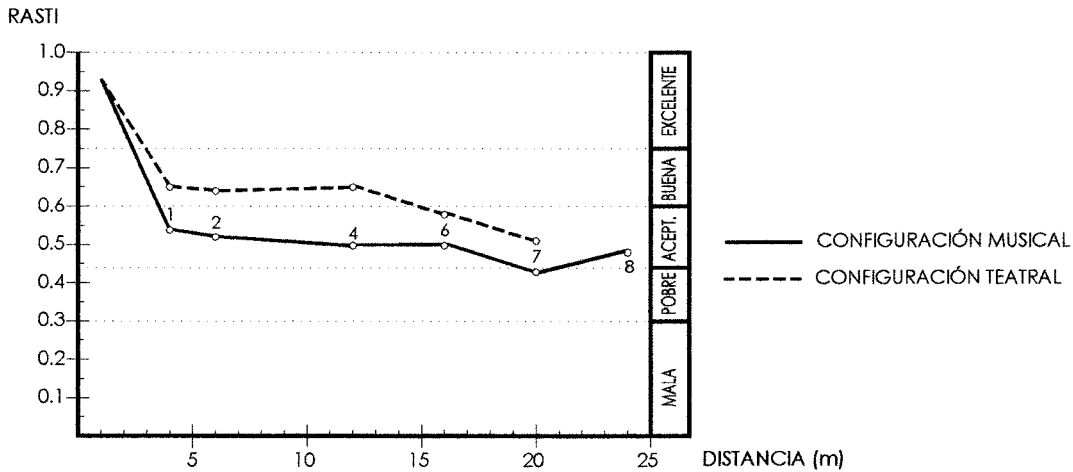


Fig. 8.23. Comportamiento del campo acústico frente a la distancia. Configuración teatral con público.

La sonoridad de la iglesia disminuye para la configuración teatral, valor medio de 9.3 dB, con una descenso de sus valores, que se hace más acusado en los puntos más alejados de la fuente. Aún así, siguen siendo algo altos respecto a los valores considerados como óptimos, debido a la energía asociada a las primeras reflexiones (tabla A8.17 del apéndice 8).

INTELIGIBILIDAD.

En cada uno de los puntos representativos de la iglesia, y con la ayuda del modelo informático, se evalúa el índice RASTI, con la iglesia ocupada por público sentado en bancos y la fuente sonora situada en el altar mayor. Este índice RASTI se ha corregido con el factor obtenido previamente (tabla 8.4), con el fin de adecuar el índice RASTI de la simulación a la medición realizada.



	1	2	4	6	7
Configuración musical	0.54	0.52	0.49	0.48	0.43
Configuración teatral	0.65	0.64	0.65	0.58	0.51

Fig. 8.24. Índice RASTI frente a la distancia, estimado con público. Propuesta.

Para la configuración musical, los valores de inteligibilidad se mantienen en los márgenes obtenidos anteriormente para la simulación del estado actual con público, con una calificación de "aceptable", mientras que para la configuración teatral, existe una mejora de la inteligibilidad que se califica como "buena", siendo "buena-aceptable" para los puntos del fondo de la nave, como se observa en la figura 8.24.

La adecuación del índice RASTI a las actividades asociadas al uso de la palabra, se ratifica con los valores estimados de definición, (como se aprecia en la figura 8.25 y los valores en cada punto de la tabla A8.15), cercanos al valor mínimo estimado del 50%, aunque disminuyen en los puntos más alejados de la fuente. Estos valores obtenidos son adecuados para medias y altas frecuencias, reflejo de la mayor absorción sonora existente a estas frecuencias, y en puntos más próximos a la fuente sonora.

Para la claridad musical, los valores en la configuración musical se encuentra dentro de la banda óptima propuesta por Marshall para salas ocupadas (figura 8.26).

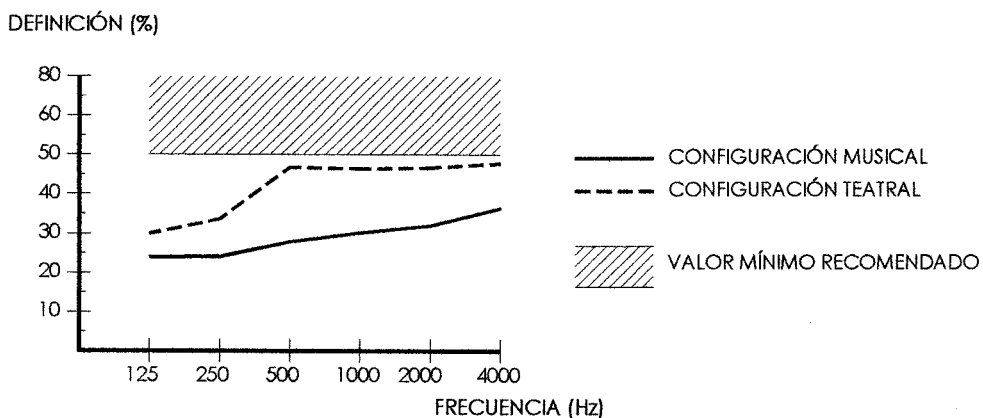


Fig. 8.25. Valores de definición, estimados con público. Propuesta.

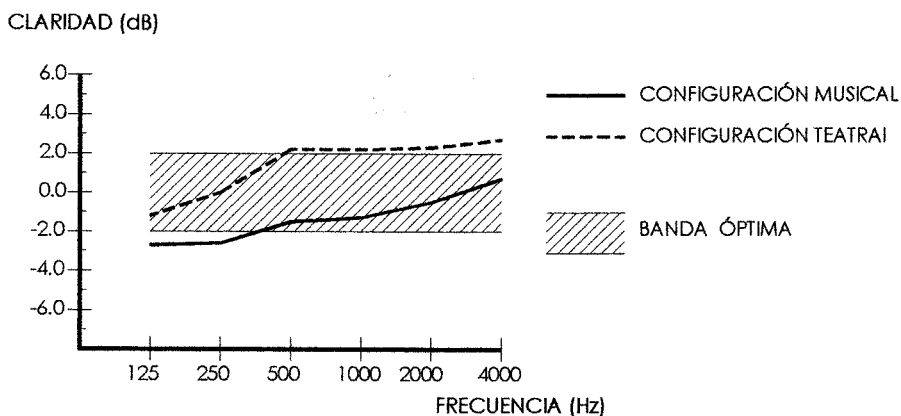


Fig. 8.26. Valores de claridad musical, estimados con público. Propuesta.

OTROS PARÁMETROS.

Volumen		3747 m ³
Longitud total		34.65 m
Altar mayor	Longitud	6.05 m
	Ancho	7.15 m
	Altura	10.59 m
Nave central.	Longitud	20.95 m
	Ancho	7.15 m
	Altura	11.07 m
	Altura coro	6.20 m
Crucero.	Longitud	14.15 m
	Ancho	7.64 m
	Altura	11.07 m
	Altura cúpula	16.55 m
Capilla lateral	Ancho	2.74/3.10 m
	Altura	5.20 m
Capilla Soledad.	Longitud	10.10 m
	Ancho	7.65 m
	Altura	7.50 m

	Config. musical	Config. teatral	Rango óptimo
Area de audiencia	206 m ²	230 m ²	
Aforo	234 personas	274 personas	
Volumen/plaza	16.01 m ³ /plaza	13.6 m ³ /plaza	5.1 - 9.1
Volumen/área audiencia	18.18	16.3	9.2 - 12.0
Área audiencia/plaza	0.88	0.84	0.63 - 0.75

CONCLUSIONES.

La iglesia, para cada una de las configuraciones establecidas, presenta un tiempo de reverberación adecuado, tanto para la interpretación musical como para la audición de la palabra, con curvas tonales que se adaptan a las curvas tonales óptimas para los referidos usos. En la configuración musical, de los valores de los índices de brillo y calidez, se deduce que la sala transmitirá la suavidad, claridad y melosidad requerida por la música.

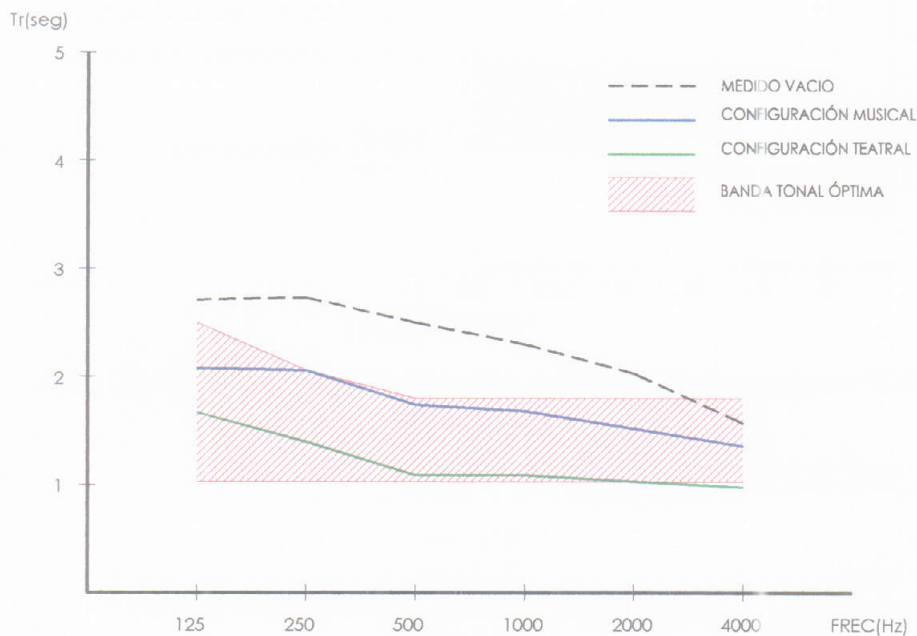


Fig. 8.27. Tiempos de reverberación.

La distribución sonora es homogénea en la iglesia, con un nivel de intensidad sonora más uniforme en la configuración musical, pues el aumento de absorción sonora supone una mayor caída de nivel sonoro en la configuración teatral. No se detectan zonas de concentración sonora, presentando esta iglesia una adecuada intimidad acústica y claridad musical. De los valores de sonoridad, ligeramente elevados, se deduce que el sonido presentará un mayor grado de amplificación y que la sensación subjetiva será la de una sala más viva de lo que le corresponde por el tiempo de reverberación.

Los valores del índice RASTI, cuando la iglesia se ocupa con público sentado en bancos, permiten calificar la inteligibilidad como "buena" para la configuración teatral, mientras que para la configuración musical se pueden considerar como "aceptable".

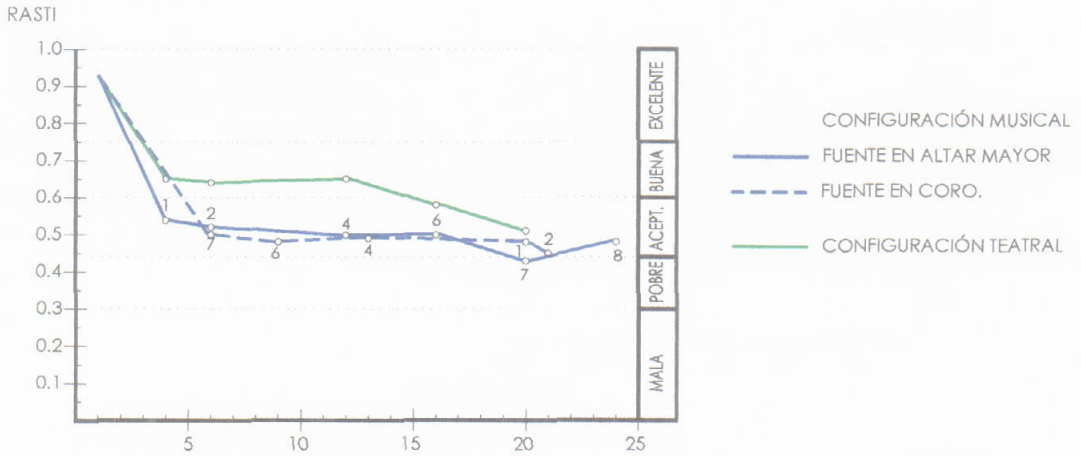


Fig. 8.28. Índice RASTI frente a la distancia, estimado con público.

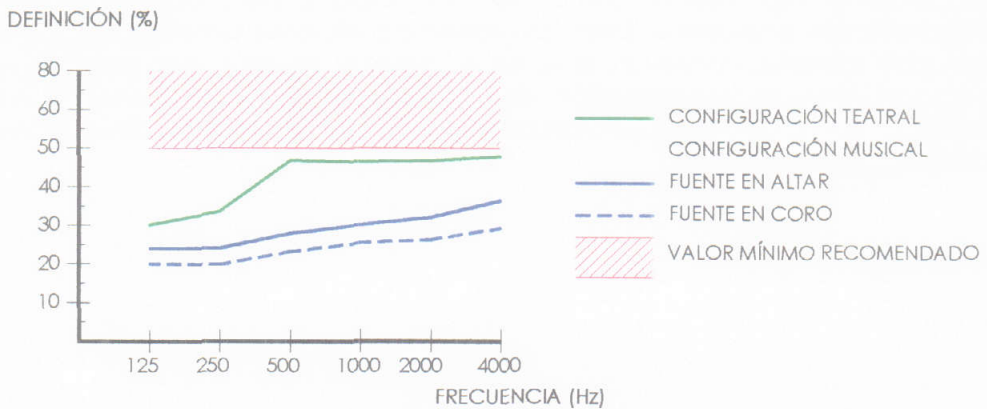


Fig. 8.29. Valores de definición, estimados con público.

En la configuración teatral, la iglesia presenta una adecuada definición para la palabra, con valores ajustados al valor mínimo recomendado para medias y altas frecuencias, mientras que para la configuración musical, los valores son inferiores al valor mínimo, lo que puede dificultar la inteligibilidad del texto cantado.

Los valores de claridad musical se encuentran en la banda óptima (más ajustado en la hipótesis de fuente en el altar que con la fuente en el coro), lo que supone un adecuado grado de separación entre los diferentes sonidos individuales de la composición musical instrumental.

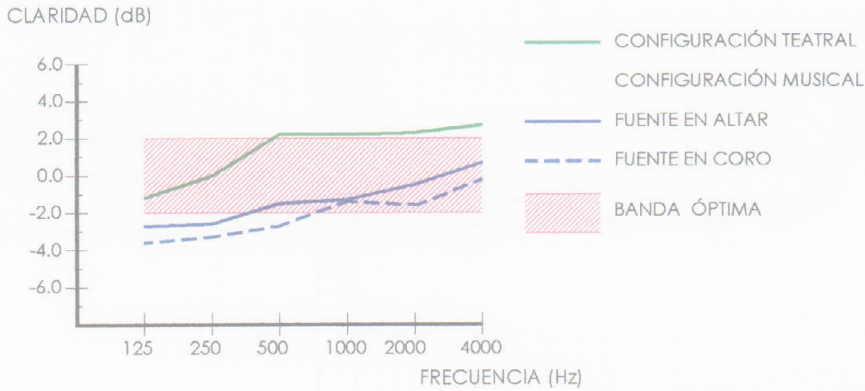
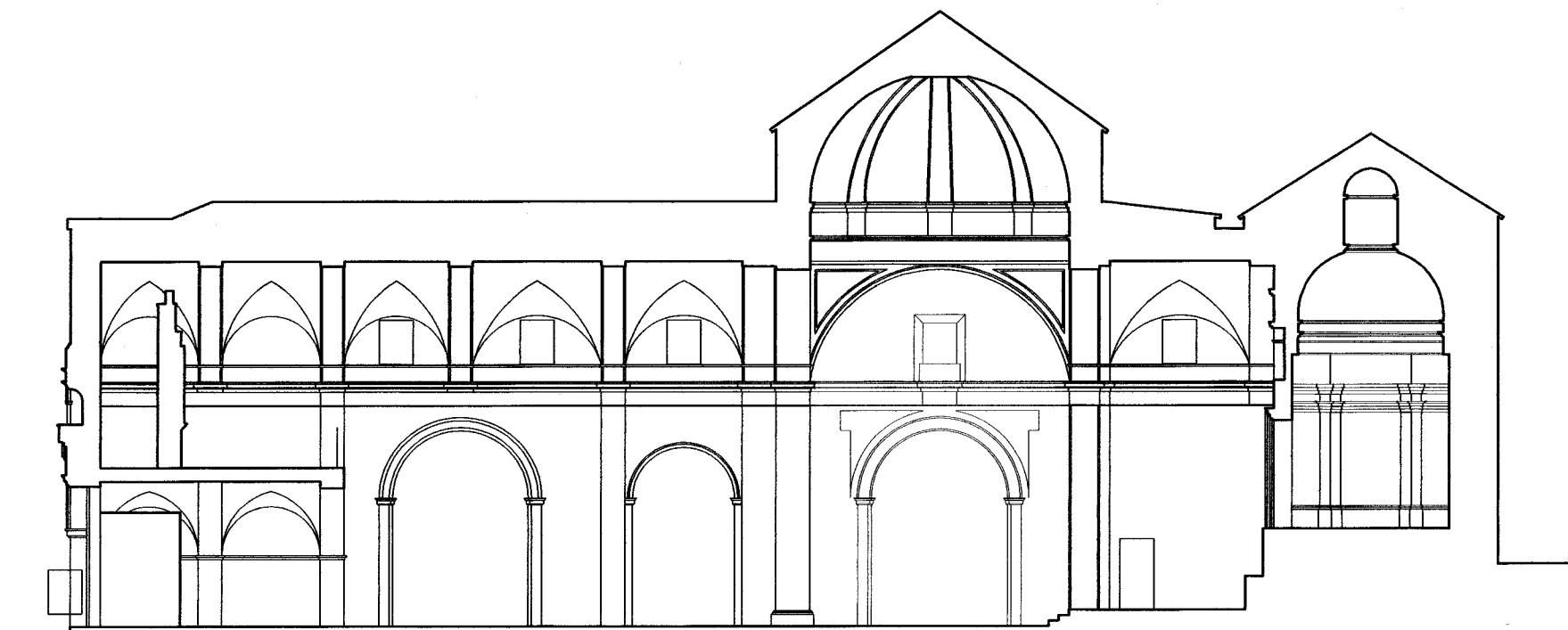
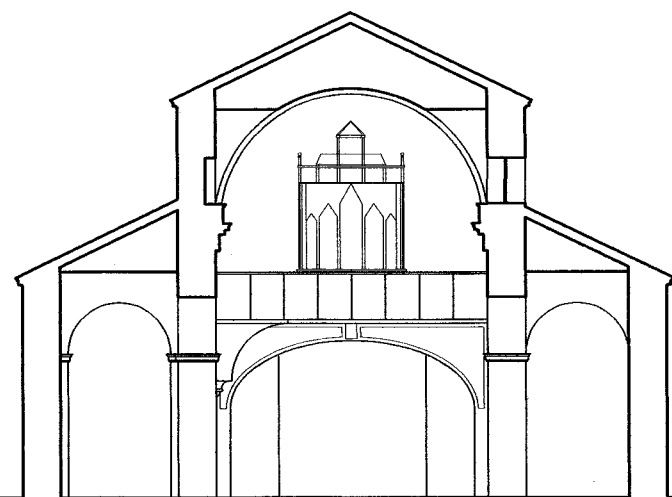


Fig. 8.30. Valores de claridad musical, estimados con público.

En consecuencia, la iglesia presenta unas favorables condiciones acústicas, tanto para su uso musical como para la palabra, para cada una de las configuraciones propuestas. Estas favorables condiciones acústicas, unido a su adecuado tamaño, conllevan que, en el aspecto musical, este espacio sería apropiado para la interpretación de música barroca y de cámara, tanto instrumental como con texto cantado, piezas en las que la armonía es la protagonista.

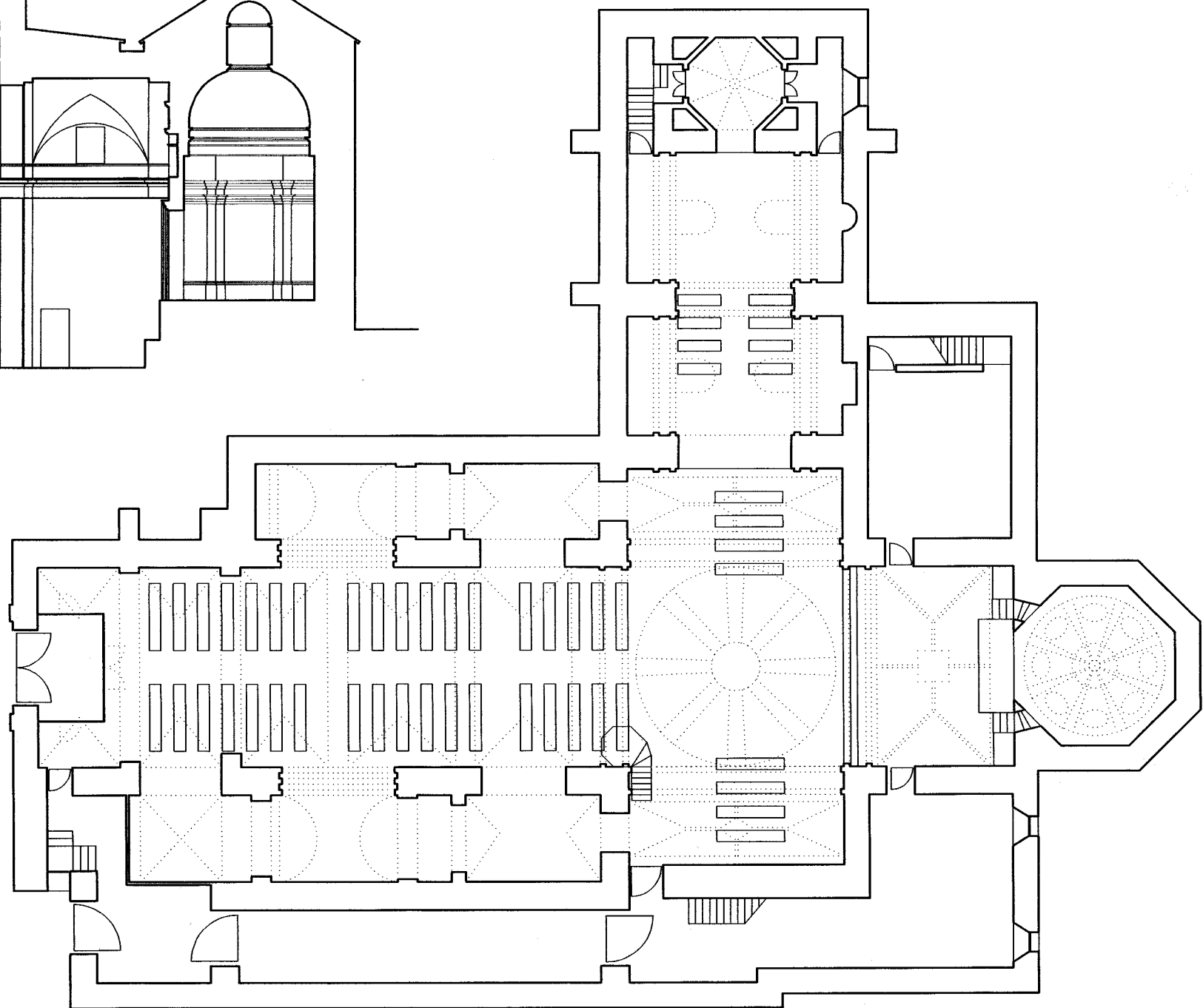


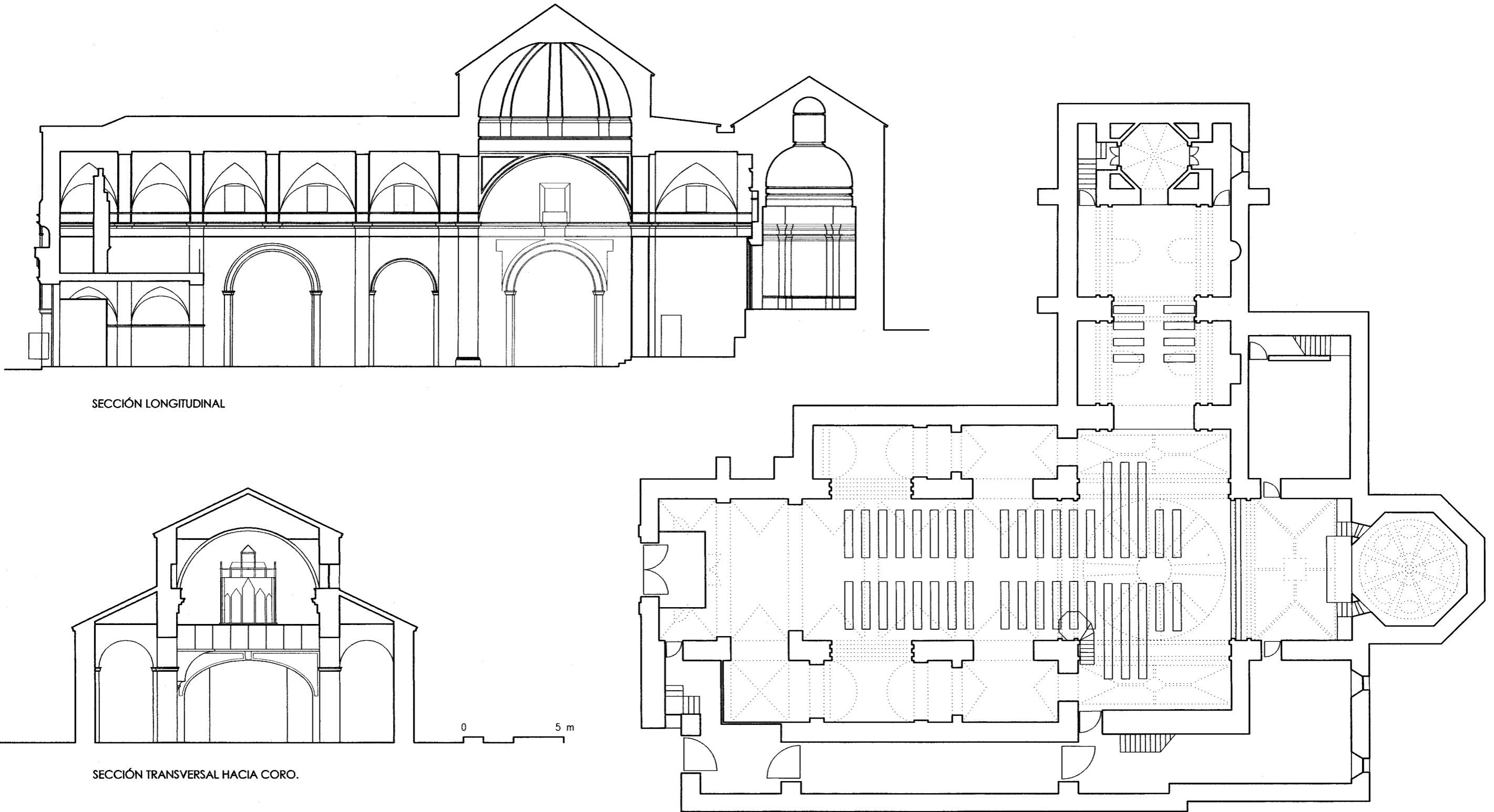
SECCIÓN LONGITUDINAL



SECCIÓN TRANSVERSAL HACIA CORO.

0 5 m





IGLESIA DE SAN PEDRO. PRIEGO DE CÓRDOBA.

PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.

CONFIGURACIÓN MUSICAL.

8.2
PLANO

NOTAS.

¹ QUIGNARD, P. *La lección de música*. Versal, Barcelona 1988, pp. 56-58.

² RIVAS CARMONA, J. *Arquitectura barroca cordobesa*. Monte de Piedad y Caja de Ahorros de Córdoba, Córdoba 1982, p. 115.

³ RIVAS CARMONA, J. op. cit., p. 28.

⁴ GRUPO ARCA. *Guía artística de la provincia de Córdoba*. Universidad de Córdoba, Córdoba 1995, p. 649.

⁵ Los trabajos del retablo fueron encargados en 1696 a Francisco Hurtado Izquierdo, siendo acabado por Jerónimo Sánchez Rueda, que también finaliza en 1739 el camarín. AA.VV. *Restauración integral de la iglesia de San Pedro de Priego de Córdoba*. Junta de Andalucía, Consejería de Cultura. Delegación de Córdoba, Priego 1994, p. 10.

⁶ "La decoración de yeserías en las cornisas de los muros laterales y cúpula del crucero, se desarrolla dentro del estilo prismático de Hurtado Izquierdo, introduciéndose además el elemento vegetal de hojas carnosas con formas ampulosas y recortadas propias del estilo de Jerónimo Sánchez de Rueda." ÁBALOS MUÑOZ, C. *Arquitectura barroca de Priego 1696-1803*. Ayuntamiento de Priego de Córdoba, Baena 1989, p. 41.

⁷ El proyecto es promovido por la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía y la Sociedad Estatal para la ejecución de programas del Quinto Centenario del Descubrimiento de América, con motivo de la celebración de los fastos del centenario del descubrimiento, por estar enterrado en esta iglesia don José Mansó y Velasco, conde de Superunda, virrey del Perú. El presupuesto de obra ha sido de 520.425 euros.

⁸ Las actuaciones realizadas se han centrado en asegurar la consolidación estructural y la eliminación de humedades, la recuperación de la imagen exterior original y el reparar, restaurar y adecuar el espacio interior para su uso, comunicando entre sí las capillas laterales y reparando y adecuando los elementos constructivos y de revestimiento interiores, tales como yeserías, solerías y pinturas. AA.VV. *Restauración integral de la iglesia de San Pedro...* op. cit., pp. 18-24.

⁹ "La iglesia permanece en la actualidad con uso litúrgico y es sede habitual de conciertos, debido a su excelente acústica." AA.VV. *Restauración integral de la iglesia de San Pedro...* op. cit., p. 11.

¹⁰ Entre las principales actuaciones musicales en la iglesia, cabe destacar conciertos de piano a cargo de Rafael Orozco.

¹¹ En las iglesias barrocas, los retablos, altares y capillas laterales suelen producir una mayor absorción a graves de la considerada en el estudio teórico, con valores en ocasiones inferiores a bajas frecuencias que a medias, como se refleja en el cuadro adjunto medido en iglesias vacías, obtenido de los trabajos de LOTTERMOSER, "Nachhallzeiten in Barockkirchen", *Acustica* n° 2 1952 p 109-111, SCHADER, S., SCHUBERT, G., LÜSCHER, E. "Akustische Gesichtspunkte bei der Gestaltung von Sakralräumen" *Detail* 4/81, München 1981, pp. 478-482 y de DESARNAULDS, V. BOSSONEY, S. EGGENSCHWILER, K "Studie zur Raumakustik von Schweizer Kirchen" en *Fortschritte der Akustik DAGA 98*, Zurich 1998, p. 710-711.

	V(m³)	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
St. Laurent. Lausanne	3150	1.9	2.2	2.6	2.4	2.3	2.0
Chêne-Pâquier	1950	2.0	2.3	2.8	2.7	2.4	2.0
La Tour de Peilz	2400	1.8	2.3	2.7	2.4	2.4	2.0
Rolle	1899	2.5	2.8	3.0	2.2	1.8	1.5
S. Marcos de Munich	6000	2.7	3.2	3.5	3.3	3.0	2.0

¹² El camarín y la capilla de la Soledad son ejemplos de espacios acoplados al espacio principal, en los que su profundidad es superior al doble de la altura del hueco de conexión con el espacio principal. La superficie virtual de separación del camarín se ha considerado con un coeficiente $\alpha=0.99$, dada la pequeña abertura respecto al volumen y profusa decoración del espacio interior.

¹³ La fuente y los puntos de medida se encuentran fuera de la esfera formada por la prolongación de la bóveda y la cúpula, lo que supone que estas superficies actúen como

difusoras del sonido. CREMER, L., MÜLLER, H. y SCHULTZ, T.J.. *Principles and Applications of Room Acoustics*. Vol 1. Applied Science Publishers, Londres 1982, p. 82-88.

¹⁴ La cola reverberante proviene principalmente de reflexiones en el cancel de entrada, de madera tallada, por lo que existirán reflexiones difusas, que unido a la pérdida de nivel sonoro respecto al sonido directo, suponen unas reflexiones que se encuentran en el umbral de percepción. Además para distancias entre las superficies mayores de 15 m, el eco aflautado es bajo. KNUDSEN, V.O. y HARRIS, C.M. *Acoustical Designing in Architecture*. Acoustical Society of America, Nueva York 1988, p. 149.

¹⁵ "Cuanto mayor sea el grado de impresión espacial, mejor será la valoración subjetiva de la calidad acústica del recinto" CARRIÓN ISBERT, A. *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Edicions U.P.C., Barcelona 1998, p. 124.

¹⁶ El promedio del índice RASTI medido con la iglesia vacía es de 0.42, valor similar al obtenido en mediciones de iglesias barrocas por diferentes autores. Así, DESARNAULDS, V. y otros, op. cit., obtienen un valor RASTI medio en iglesias centroeuropeas de 0.41 y CARVALHO, A. obtiene un valor medio de 0.46 en iglesias portuguesas en "Relations between rapid speech transmission index (RASTI) and other acoustical and architectural measures in churches" *Applied Acoustics* 58 (1999), pp. 33-49.

¹⁷ En los valores del índice RASTI para las dos situaciones de la fuente se han incorporado los coeficientes de corrección obtenidos en cada punto.

¹⁸ En realidad en la mayor parte de los puntos, los valores de claridad musical son semejantes en las dos hipótesis de situación de la fuente sonora, ya que los valores medios inferiores, para la fuente en el coro, se debe a los bajos valores de claridad existentes en los puntos situados bajo el coro, debido a la falta de sonido directo y la elevada cantidad de energía reverberante tardía, como se desprende del elevado valor de ITDG existente por ejemplo en el punto 8.

¹⁹ "Una buena norma es situar el órgano, el coro y los instrumentos en un radio de unos 6 metros para evitar problemas de decaimiento sonoro... y evitar la situación del coro en techos bajos. Así los techos altos, del orden de 6 a 9 m, son los más adecuados para proporcionar una mezcla de las voces y sus reflexiones, así como dirigir el sonido a la audiencia." KLEPPER, D. "Considerations for the Design of Worship Space Acoustics: An Acoustical Consultant's Viewpoint" en *Acoustics of Worship Spaces*. American Institute of Physics, Nueva York 1985, p. VIII.

²⁰ La unidad de la liturgia se vio amenazada por el extenso aparato musical que se introdujo en el templo. La orquesta, los coros y los solistas exigían una total organización del aspecto musical del oficio divino, y los coros fueron alejados de su lugar junto al altar y llevados al piso superior, el "coro". LANG, P.H. *La música en la civilización occidental*. Editorial universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires 1963, p. 368.

²¹ Por decretos promulgados por el Concilio de Trento en forma sinóptica el 17 de septiembre de 1562, el Concilio reafirmaba la tradición de la Iglesia respecto al lugar que la música debía ocupar en las celebraciones litúrgicas. "Todas las cosas deben ser ordenadas de tal modo que la Misa, ya se celebre con o sin acompañamiento de canto, pueda llegar fácilmente a los oídos y a los corazones de cuantos la escuchan, de manera que todas sus partes se ejecuten clara y adecuadamente... El canto debe estar dispuesto no para dar vana satisfacción al oído, sino de manera que las palabras sean claramente entendidas por todos." ROBERTSON, A. y STEVENS, D. (Dirección). *Historia general de la música, Tomo II*. Ediciones Istmo, Madrid 1979, p. 217.

²² En el violín vienen a reunirse las tres cualidades que el Barroco demanda: agilidad para la ornamentación, capacidad expresiva, esto es, claroscuro para el canto dramático, y potencia de sonido que lo hace destacarse sobre los conjuntos instrumentales; como el drama musical, el violín es un factor característico del Barroco, y aquél tiene en éste a su más adecuado intérprete. SALAZAR, A. *Conceptos fundamentales en la historia de la música*. Alianza editorial, Madrid 1997, p. 121.

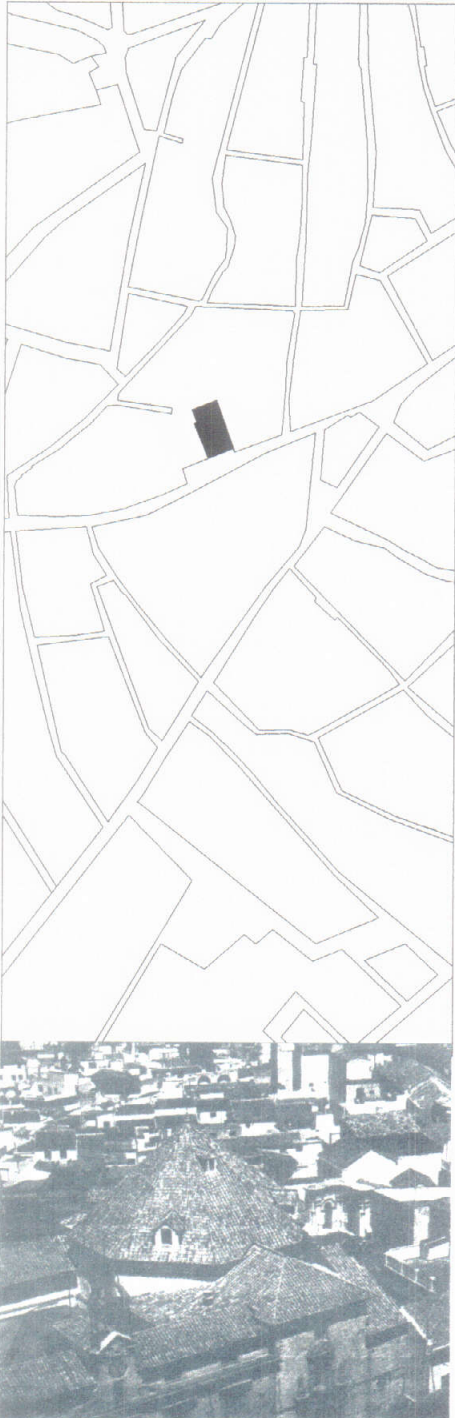
²³ Las primeras reflexiones amplifican el sonido, siendo la necesidad de amplificación mayor para la palabra que para la música, ya que su potencia es menor que la de la música. KNUDSEN, V.O. y HARRIS, C.M. op. cit., p. 154.

²⁴ Los paneles aluwood, distribuidos por la empresa Scandinavian Design, son paneles metálicos perforados con cuadrados de 8 mm de lado en un 12% de la superficie del panel, con 200 mm de cámara de aire y 20 mm de lana mineral.

²⁵ Cilindros con una longitud de 120 cm y 22 cm de diámetro, de lana de vidrio de 4 cm de espesor revestida con material textil permeable al sonido, producido por la empresa Notson.

²⁶ La superficie considerada de cilindros se ha obtenido a partir de las superficies efectivas acústicamente y delimitadoras del conjunto, mediante dos planos horizontales y otro vertical.

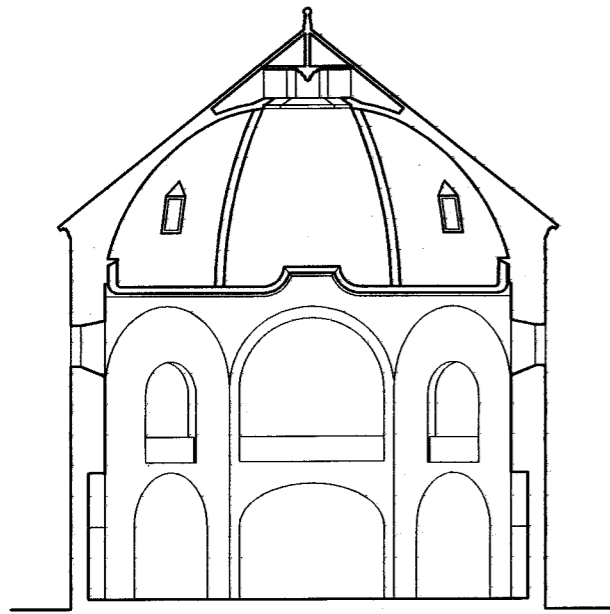
²⁷ Los coeficientes de absorción sonora de la cortina fruncida al 180% y montada a 14 cm de una pared, se han tomado de CARRIÓN ISBERT, A. op. cit., p. 82. "Al separar la cortina de una pared aumenta la absorción a bajas frecuencias y el alto porcentaje de frucción suaviza la curva de absorción".



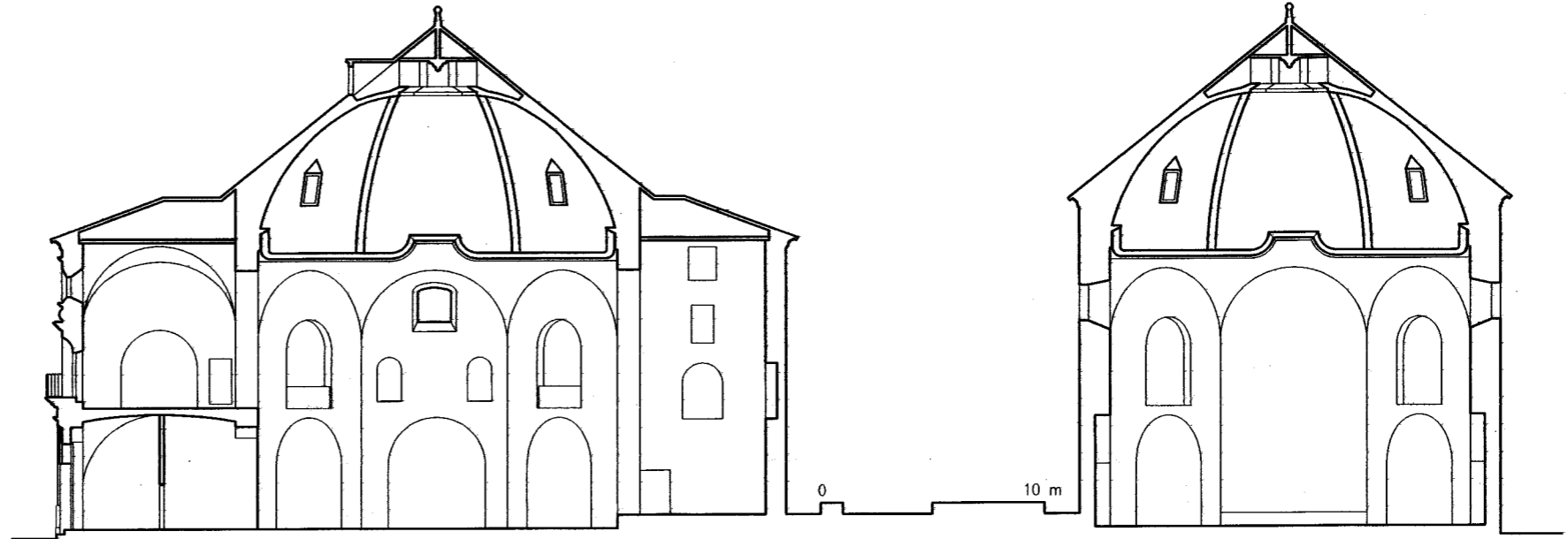
" Traspasa el aire todo
hasta llegar a la más alta esfera,
y oye allí de otro modo
de no percedera
música, que es de todas la primera.

... Y como está compuesta
de números concordantes, luego envía
consonante respuesta;
y entrambas a porfía
mezclan una dulcísima armonía" ¹.

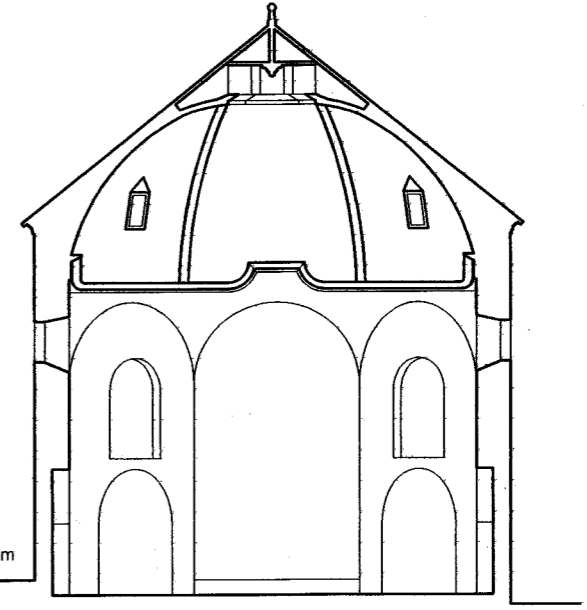
**9. IGLESIA DEL ANTIGUO HOSPITAL
DE SAN JUAN DE DIOS. MONTILLA.**



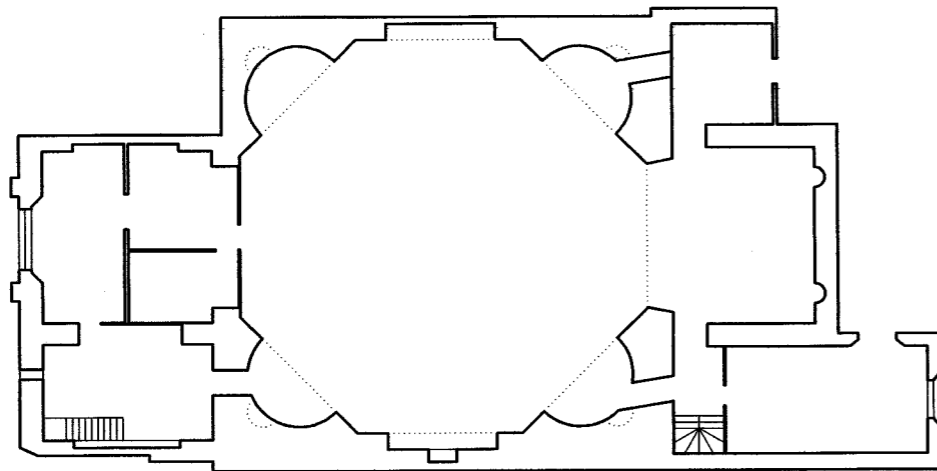
SECCIÓN TRANSVERSAL HACIA EL CORO.



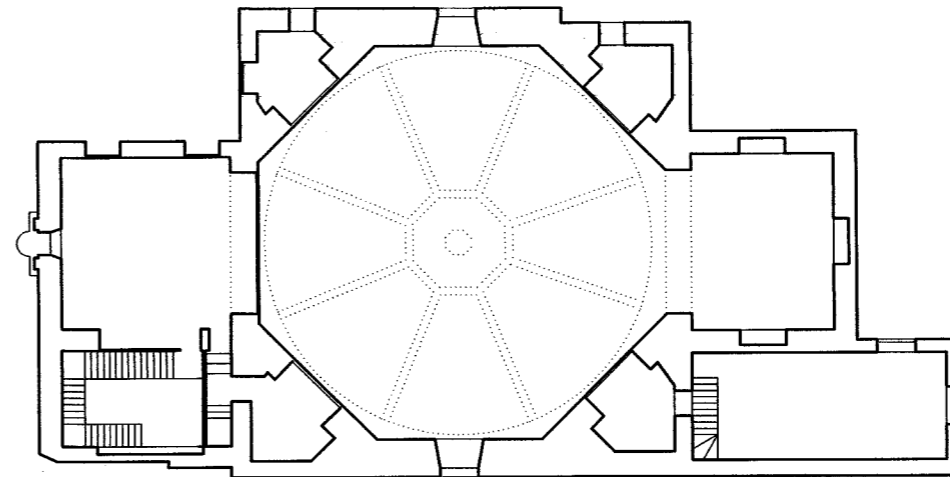
SECCIÓN LONGITUDINAL



SECCIÓN TRANSVERSAL HACIA PRESBITERIO



PLANTA NIVEL ACCESO.



PLANTA NIVEL CORO.

Reseña histórica.

Montilla tuvo a partir del siglo XVI una intensa vida religiosa y cultural. La iglesia y el antiguo hospital de San Juan de Dios datan del siglo XVII, cuando el Consejo de Justicia y Regimiento de la ciudad, junto con el Marqués de Priego, deciden unificar los hospitales existentes en la ciudad en el hospital de los Remedios, encargando su cuidado a los frailes hospitalarios de la orden de San Juan de Dios. En concreto el Consejo y el Marqués acuerdan edificar ese hospital y su iglesia (de tres naves) en 1651, terminándose éste en 1654.

Posteriormente, en el siglo XVIII, se decidió el reformar el conjunto², estando encargado de las obras el fraile Fray Francisco Álvarez, ayudante del arquitecto José de Bada y Navajas (quien edifica el hospital y la basílica de la orden en Granada y en Lucena), comenzando las obras en 1765 y terminándose en 1770. La iglesia se consagra solemnemente en 1771.

Al volver a edificar de nuevo la iglesia, se abandona el esquema previo de iglesia de tres naves, y se opta por un modelo más acorde con el espíritu barroco, según describe Rivas Carmona³, mediante "la asociación de tres organismos, con la sucesión en planta de un cuadrado, un octógono sensiblemente alargado en el sentido longitudinal y un rectángulo. Todo el interés se puso en el octógono, verdadero cuerpo de la iglesia, especialmente vitalizado por sus mayores dimensiones, la cúpula y la abundancia de luz. Los otros organismos son subsidiarios del principal; el de entrada se reduce a ser un simple vestíbulo, a su vez amedrantado por el coro alto, y el de la cabecera o presbiterio a una gran hornacina, la frontal más importante del octógono, en correspondencia con las exedras semicirculares que se abren en los demás lados y sobre ellas unas tribunas de planta triangular abiertas por arco de medio punto".

Tan grandioso edificio y sus originales estructuras resultan impresionantes, sin embargo adolece de nobleza arquitectónica, entre otras razones por la ausencia de un adecuado entramado arquitectónico. En buena medida esta desnudez (salvo las molduras de la cúpula) se amortiguaría con la presencia del ornato litúrgico, del cual no nos ha quedado ningún vestigio (altares, púlpitos y retablos)⁴.

La iglesia presenta como motivo de inspiración la planta elíptica de San Martín de las Angustias de Lucena⁵, en donde pueden verse las hornacinas intactas con su forrado de madera estofada y dorada, los nichos con las imágenes de los santos, las tribunas con balaustres, etc... En cuanto a la decoración que le falta a la iglesia se puede recurrir a la de San Juan de Dios de Cabra⁶, obra muy próxima en lo ornamental.

La vida del templo fue corta, al ser suprimida por el Real Decreto de 25 de julio de 1835. Posteriormente el hospital tuvo diversos usos, destinándose la iglesia al culto anexo a la parroquia de San Francisco Solano hasta entrado el presente siglo. Tras la guerra civil quedó desacralizada, acogiendo diversos usos, entre ellos el de teatro. Sus retablos sirvieron a iglesias de nueva planta⁷.

En el año 1982, por encargo del Ayuntamiento de Montilla, el arquitecto Arturo Ramírez Laguna redacta un proyecto de rehabilitación de la Iglesia de San Juan de Dios como sala de reunión y auditorio (local de espectáculos, sala de plenos, salón de juntas). En el proyecto se proponen obras de adaptación funcional y de acabados (véase apéndice 9) dentro de un lenguaje que intenta recuperar los planteamientos formales del edificio, retomando la ambientación barroca que presumiblemente tuvo la iglesia.

El proyecto no se llevó a cabo debido, entre otros motivos, a dificultades acústicas, habiéndose ejecutado de forma parcial y fraccionada. La transformación espacial de la iglesia que se propone en este proyecto es radical. Las deficiencias acústicas detectadas se consideran debidas a las superficies de las exedras, tribunas y bóveda, por lo que se proponen disponer esculturas en las exedras, colocar cortinajes en las tribunas y un toldo horizontal a la altura del arranque de la bóveda, que impide la visión de ésta.

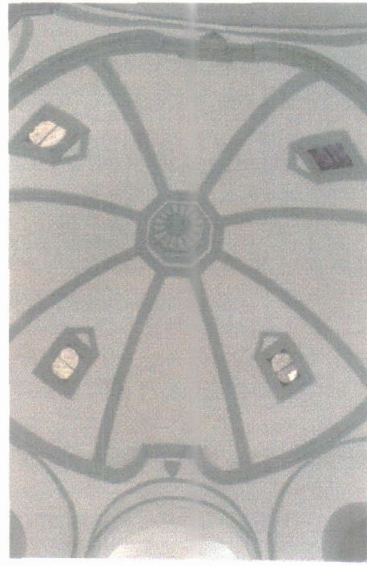


Fig. 9.1. Interior antes de las obras de restauración. Fig. 9.2. Bóveda espacio principal.

En la actualidad este espacio se encuentra muy desvirtuado: el coro se encuentra independizado del cuerpo principal de la iglesia y se destina a oficina municipal; el presbiterio se ha adaptado para su uso como escenario, y se ha dispuesto un toldo fijo en el nivel inferior de las tribunas de la planta alta de forma que se produce una división del espacio del cuerpo octogonal en dos entidades independientes (figuras 9.3 a 9.5). El espacio actual es de una pobreza abrumadora, frente a la claridad y expresividad del espacio primigenio. Este espacio está siendo utilizado como sala para celebración de ciertas actividades culturales (sala de exposiciones, pequeño teatro, cine).



Fig. 9.3. Estado actual del interior. Vista hacia el escenario.



Fig. 9.4. Estado actual del interior. Vista hacia el acceso.

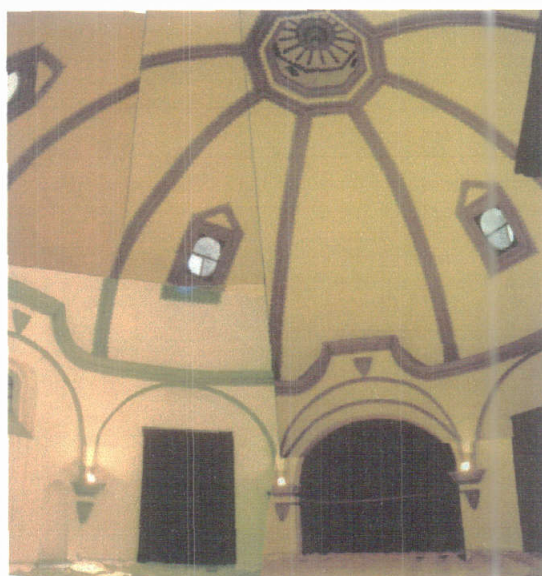
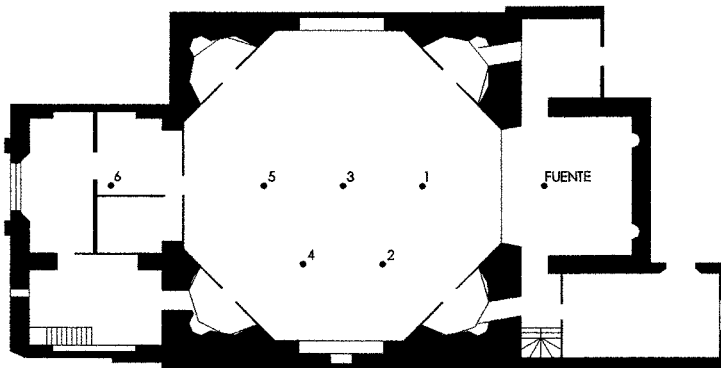


Fig. 9.5. Estado actual del interior. Vista hacia la bóveda.

Análisis acústico del estado actual.

No se ha realizado medición acústica, en esta iglesia, dada la transformación espacial que presenta en la actualidad, que desvirtúa el espacio primigenio. No obstante, existe una medición acústica previa que se realizó cuando se redactó el proyecto de restauración en el año 1982 (véase apéndice 9), que sirve como punto de partida para la adaptación del modelo informático.



El punto 6 se sitúa en el coro.

Fig. 9.6. Situación de los puntos para la simulación informática.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

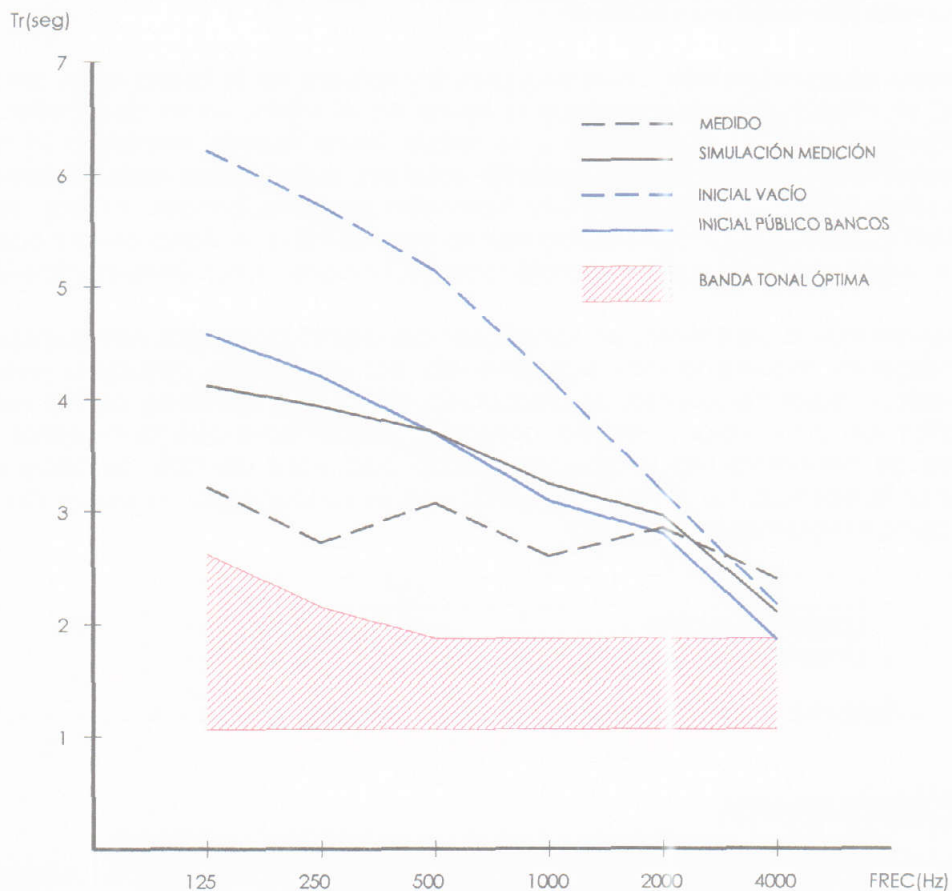
Se plantea el estudio de un modelo teórico, mediante simulación informática, del estado previo, a partir del cual se obtienen unos resultados que se comparan con los obtenidos de la medición realizada in situ, para detectar el grado de adaptación del modelo a las características acústicas del espacio. Se realizan las siguientes hipótesis en esta simulación:

- En las exedras existen huecos abiertos que conectan con otros espacios amplios, por lo que se considera que existe una fuerte absorción y se asemeja a una ventana abierta.
- Existen restos de materiales (maderas, telas, escombros) y puntales, que suponen una cierta absorción frente al suelo de ladrillo, por lo que se ha considerado una quinta parte de la superficie del suelo como si estuviese recubierta de madera.
- No se ha considerado la existencia, durante la medición acústica, de una pared derribada por desconocer su ubicación.
- El volumen considerado ha sido el conformado por el presbiterio, el cuerpo central (al que se adosan las exedras y las tribunas) y el coro alto.

Los valores de los coeficientes de absorción de las diferentes superficies considerados para el cálculo, tomados de las fuentes bibliográficas, se expresan en la tabla 9.1.

MATERIAL	SUP. m ²	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Ladrillo visto. Suelo	383	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07
Madera, restos materiales	44	0.16	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
Público bancos de iglesia	204	0.23	0.25	0.31	0.35	0.37	0.35
Revoco de cal	1195	0.05	0.06	0.07	0.09	0.07	0.08
Vidrio	14	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
Ventana abierta. Exedras	55	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Bóveda	337	0.05	0.06	0.07	0.09	0.07	0.08
Falso techo madera	88	0.30	0.25	0.20	0.17	0.13	0.10
Aire (m ³)	4631					0.008	0.021
SUPERFICIE TOTAL	2116						

Tabla 9.1. Características absorbentes de los diferentes materiales.



	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Medido	3.14	2.72	3.07	2.60	2.85	2.40
Simulación	4.12	3.92	3.70	3.24	2.96	2.10
Inicial vacío	6.21	5.72	5.14	4.19	3.71	2.17
Inicial público bancos	4.58	4.20	3.69	3.09	2.80	1.86
Óptimo música	2.62	2.15	1.87	1.87	1.87	1.87
Óptimo palabra	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06

Fig. 9.7. Tiempos de reverberación medido, estimado y óptimos.

A partir de estas consideraciones, se obtienen los diferentes valores de los tiempos de reverberación, que se representan en la figura 9.7. Los valores obtenidos a partir de la simulación informática que representa al modelo, indican una reverberación más alta que la medida (alrededor de un segundo) para bajas y medias frecuencias, acercándose los valores para altas frecuencias. No obstante, se puede estimar adecuado el modelo, ya que no se ha tenido en cuenta el incremento de absorción sonora debido a la pared derribada y a los restos del suelo. La importante absorción a bajas frecuencias que se aprecia se pueda deber al comportamiento como resonador de las exedras, al comunicar con otros espacios.

Una vez aceptado el modelo teórico, se estudia el comportamiento acústico del espacio considerando que no existe ningún tipo de restos en el suelo ni aberturas que comuniquen con otros locales, en las hipótesis de iglesia vacía de público y con público sentado en bancos de iglesia situados en el cuerpo octogonal (en ambos casos no se ha considerado ningún tipo de ocupación en el coro). Se han estimado estas hipótesis más reales como punto de partida, para una posterior intervención, por evidenciar mejor la problemática acústica que puede presentar este espacio.

El tiempo de reverberación obtenido para la hipótesis de la iglesia en su estado inicial, sin ningún tipo de aberturas ni restos en el suelo, vacío de público, es considerablemente alto respecto a la banda tonal óptima, debido a la total desnudez del espacio y a su importante volumen, mitigándose estas diferencias para altas frecuencias debido a la absorción que proporciona el aire. En la hipótesis de ocupación del espacio central con público sentado en bancos de iglesia, existe una importante absorción sonora, aunque claramente insuficiente.

El valor del índice de calidez, en la hipótesis de recinto ocupado, está dentro de los márgenes recomendados por Beranek, por lo que se considera que la respuesta a bajas frecuencias es adecuada. No ocurre lo mismo con el índice de brillantez, cuyo valor es inferior al recomendado para que la impresión de riqueza de armónicos sea la adecuada. Este bajo valor del brillo se debe a la importante absorción a altas frecuencias que se produce por la absorción del aire, dado el volumen de la iglesia.

	BR	Br
Inicial con público	1.29	0.68
Valores recomendados	1.1÷1.45	>0.87

Tabla 9.2. Valores de calidez y brillo con público en bancos.

DISTRIBUCIÓN SONORA.

La medición de los niveles sonoros en distintos puntos de recepción del recinto, y con tres localizaciones diferentes del emisor (tabla A9.2 del apéndice 9), muestra una escasa variación de los valores.

La falta de medidas en un mayor número de puntos hace imposible la confección de una planta con la distribución sonora, que visualizara la variación del nivel sonoro. Del mismo modo, al no conocer cuál fue la potencia de emisión, no se puede analizar el grado de difusión frente al modelo clásico y de Barron y Lee.

Para la simulación teórica de la distribución sonora, se sitúa la fuente omnidireccional en el eje del presbiterio, a 4.50 m de la pared de fondo y a una altura de 1.50 m con una potencia de emisión de 108.8 dB. Los resultados obtenidos de nivel de presión sonora corroboran los valores de homogeneidad anteriormente descritos, ya que se refleja un nivel prácticamente uniforme de presión sonora en el espacio central, como se aprecia en la figura 9.8.

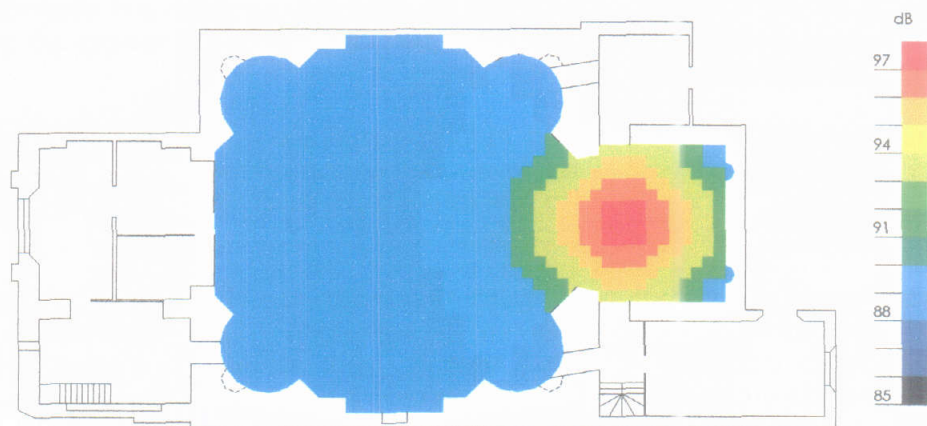


Fig. 9.8. Mapa de distribución sonora teórico para la iglesia ocupada.

La iglesia presenta unos niveles de sonoridad algo elevados, con valores medios de 10.5 dB para el estado inicial (tabla A9.11). Estos valores están relacionados con una excesiva energía asociada a reflexiones especulares, lo que supone un grado de amplificación del sonido superior al considerado como óptimo (valores entre 4 y 5.5 dB).

Dentro del estudio teórico, será el análisis de las reflexiones que se producen en los límites del recinto, el que nos ofrezca un mayor número de datos sobre el comportamiento del espacio. En los ecogramas de la figura A9.7 (apéndice 9), se muestran el retardo de cada reflexión respecto del sonido directo, así como los niveles sonoros que produce cada reflexión para varios puntos característicos de este espacio, en la banda de octava de 2000 Hz.

En general, se distingue un importante número de reflexiones, que decrecen con la distancia del punto a la fuente. Se aprecian tres superficies (o zonas), que generan reflexiones significativas en los diferentes puntos del espacio central:

- Las paredes del presbiterio, que proporcionan primeras reflexiones, con un número mayor de éstas en los puntos más cercanos a la fuente.
- Reflexiones desde las exedras, que dan lugar a reflexiones excesivamente retardadas, y por tanto inconvenientes, para los puntos más cercanos a la fuente, mientras que proporcionan primeras reflexiones más cortas, para los puntos que están más lejanos, lo que contribuye a mejorar la inteligibilidad en estos.
- Efecto de la cúpula, que genera una importante cola reverberante en los puntos situados en la primera mitad del espacio central. Si bien su nivel sonoro no es muy importante respecto del sonido directo (del orden de 15 dB inferior), al ser muchas reflexiones concentradas en un corto espacio de tiempo (28 ms), producirá una cierta sensación de eco. Sin embargo, en los puntos más alejados de la fuente, su efecto disminuye en cantidad a la vez que aumenta la pérdida de nivel sonoro frente al sonido directo, por lo que

los efectos de un posible eco serán menos apreciables. La cúpula no produce focalizaciones en el plano de audiencia, dada la relación existente entre el radio de curvatura de la cúpula y la altura⁸.

Así mismo, el análisis de los ecogramas, permite apreciar una cierta falta de intimidad acústica en el espacio central, por lo que la sensación sonora será la de estar en un espacio mayor. Los valores obtenidos del indicador ITDG, oscilan entre 20 y 26 ms, por lo que aun no superando los 35 ms, suponen una reducción significativa de la calidad acústica, con una pérdida de calidad musical, ya que deberían ser inferiores a 20 ms.

En la simulación informática se coloca la fuente en el eje vertical del coro a una altura del suelo de 1.50 m, con el fin de estudiar el comportamiento del espacio central con la fuente sonora en esta nueva posición, para los diferentes puntos de recepción anteriormente establecidos.

Del análisis de los ecogramas de la figura A9.8 (apéndice 9), se desprende que hay una disminución notable del número de reflexiones, siendo significativa la reducción de la cola reverberante. Además, esas reflexiones (provenientes principalmente de la cúpula y del coro) presentan poca pérdida de nivel sonoro frente al sonido directo.

La intimidad acústica empeora con la emisión desde el coro, debido a la mayor dificultad que existe para que lleguen primeras reflexiones a los puntos de recepción.

INTELIGIBILIDAD.

De los resultados de la medición in situ realizados con la sala vacía, mediante el empleo de pruebas de inteligibilidad subjetivas, se obtiene un índice de inteligibilidad del 62%, lo que equivale a un valor de 0.45 en el índice RASTI⁹, es decir, en el límite entre "aceptable" y "pobre".

Se evalúa así mismo la inteligibilidad mediante el programa de simulación informática, obteniendo el valor del índice RASTI en cada punto, tanto en la simulación de la medición, para confrontar con la medición realizada, como en la configuración inicial, para las hipótesis de iglesia ocupada con público en bancos de iglesia en el cuerpo central, con la fuente situada en el presbiterio, y para la hipótesis de iglesia ocupada con la fuente sonora situada en el coro.

Los resultados obtenidos de la simulación, se exponen en la tabla 9.3. En la hipótesis de simulación de la medición vacío sin público, los valores del índice RASTI son sensiblemente inferiores a los obtenidos en la medición, pero se pueden aceptar como válidos, ya que, en esta estimación, el tiempo de reverberación es superior al medido en la iglesia, por lo que la inteligibilidad se verá mermada.

	1	2	3	4	5	6
Simulación medición. Vacío	0.45	0.40	0.38	0.43	0.42	0.45
Inicial con público en bancos						
Fuente presbiterio	0.44	0.39	0.38	0.42	0.43	0.45
Fuente en coro.	0.29	0.30	0.31	0.28	0.32	0.33

Tabla 9.3. Valores RASTI estimados teóricamente.

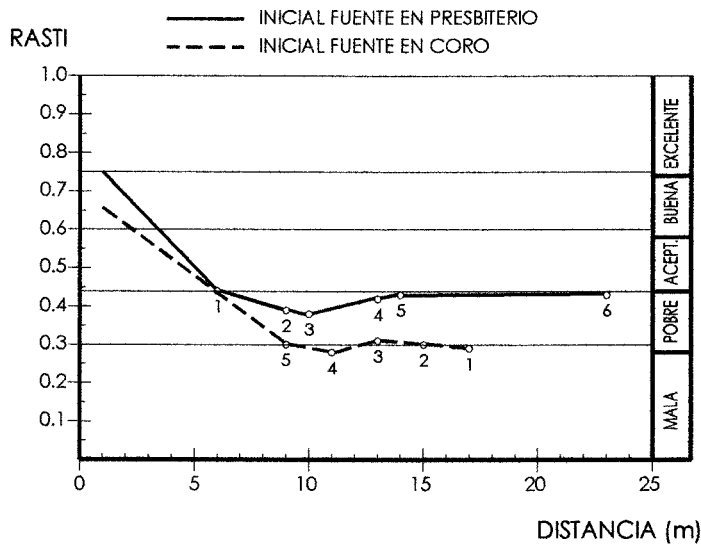


Fig. 9.9. Índice RASTI frente a la distancia. Estimado con público.

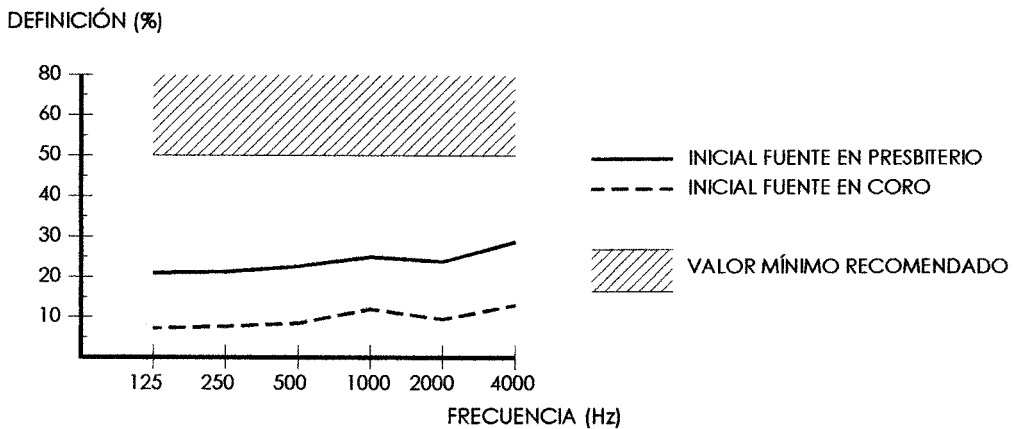


Fig. 9.10. Valor de definición. Estimado con público en bancos.

En la hipótesis de estado inicial, con público sentado en bancos, el valor del índice RASTI se mantiene en los mismos valores, pudiéndose calificar la inteligibilidad de este espacio como "pobre", presentando una distribución homogénea de dicho valor en los puntos del espacio central, como se aprecia en la figura 9.9, donde se representa el valor del índice RASTI en cada punto frente a la distancia a la fuente, junto con la valoración de la inteligibilidad en función de dicho índice.

La situación de la fuente sonora en el coro, supone una merma de los valores del índice RASTI, por lo que la inteligibilidad en el espacio central se puede calificar como "pobre-mala", presentando las mismas características de homogeneidad, anteriormente mencionadas.

Los valores estimados de definición son muy inferiores al valor mínimo recomendado, lo que supone que la iglesia presenta una inadecuada inteligibilidad para la palabra (figura 9.10).

Para la claridad musical, los valores obtenidos son ligeramente inferiores a la banda considerada como óptima, cuando la fuente se sitúa en el presbiterio, pero claramente inferiores a esta banda cuando la fuente se sitúa en el coro.

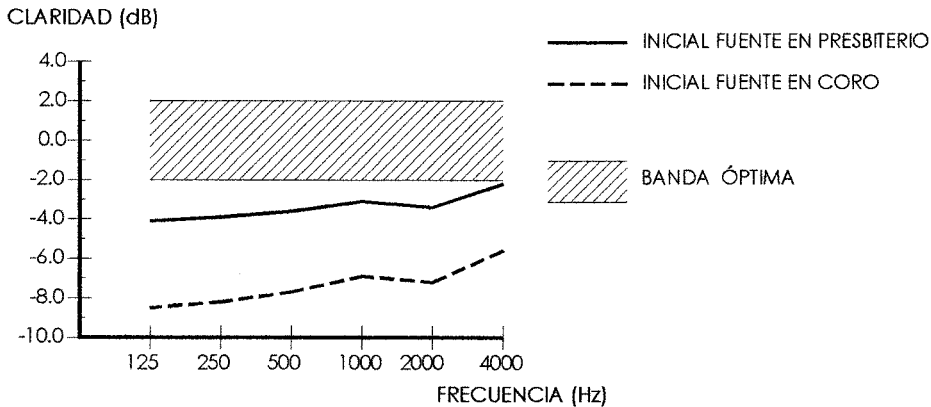


Fig. 9.11. Valor de claridad musical. Estimado con público en bancos.

OTROS PARÁMETROS.

Volumen: 4631 m³

Longitud presbiterio: 6.65 m.

Ancho presbiterio: 7.00 m.

Altura presbiterio : 12.30 m.

Longitud cuerpo central: 15.96 m.

Ancho cuerpo central: 15.58 m.

Altura cúpula: 21.00 m.

Longitud coro: 7.75 m.

Ancho coro: 6.80 m.

Altura coro: 7.40 m.

Area de audiencia: 204 m².

Aforo: 300 personas sentadas en espacio central.

Relación volumen/plaza: 15.43. (Rango 5.1-9.1)

Relación volumen/área de audiencia: 22.70 (Rango 9.2-12.0)

Relación área de audiencia/plaza: 0.68 (Rango 0.63-0.75)

CONCLUSIONES.

En el estado inicial, el tiempo de reverberación es muy alto respecto a la curva tonal óptima, tanto para la palabra como para la música, debido al importante volumen existente, al carácter reflectante de la mayoría de los paramentos y al elevado volumen del espacio.

La distribución del nivel sonoro es uniforme, apreciándose en los ecogramas la importancia de las primeras reflexiones del presbiterio y de las reflexiones no deseadas, provenientes de la cúpula y de las exedras, que generan una importante cola reverberante con los consiguientes problemas de sensación de eco, que se hacen más evidentes en la mitad del espacio central más cercana a la fuente.

Existe, además, una disminución de la calidad sonora debido a la falta de intimidad acústica que se acusa en este espacio, por falta de primeras reflexiones en los primeros 20 ms.

La inteligibilidad no es la adecuada, pudiéndose calificar como "pobre" cuando la fuente sonora se sitúa en el presbiterio y como "pobre-mala" cuando se coloca en el coro.

Los bajos valores de definición hacen que el espacio sea inaceptable si se desea una actividad derivada del uso de la palabra, debido a la excesiva reverberación y a los efectos perjudiciales sobre la inteligibilidad de la cúpula y las exedras.

Para el uso musical, el espacio es más apropiado si la fuente sonora se sitúa en el presbiterio, aunque no se percibirán adecuadamente las diferentes notas emitidas de forma sucesiva. La disposición de la fuente sonora en el coro, no es apropiada para el uso musical, debido a la falta de primeras reflexiones, no favoreciendo la cúpula la necesaria mezcla de las voces.

A partir de estos datos, se concluye que las condiciones acústicas de la iglesia, en las hipótesis consideradas, son muy deficientes, tanto para música como para la palabra, debido a sus proporciones, materiales y forma geométrica del espacio central.

El ornamento litúrgico del que gozó la iglesia (retablo con camarín, altares, imágenes, retablos y revestimiento de madera en las exedras) introduce una significativa absorción sonora, a la vez que un aumento de la difusión del sonido para medias y altas frecuencias, con lo que el tiempo de reverberación disminuiría sensiblemente y aumentaría la inteligibilidad.

La disposición del coro a los pies de la iglesia proporciona una "sonoridad trasera"¹⁰ que no favorece las condiciones acústicas del espacio central, debido principalmente a la cúpula.

Las medidas correctoras a emplear en este espacio deberán centrarse, desde el punto de vista acústico, en la mejora de la calidad sonora mediante la eliminación de los efectos de la cúpula, el aumento de reflexiones cortas que mejoren la intimidad, el aumento de absorción sonora y la disminución de la relación volumen/plaza, lo que supondrá una disminución del tiempo de reverberación¹¹.

Propuesta de intervención.

Las importantes deficiencias acústicas detectadas en la iglesia: escasa calidad sonora debida a los efectos de la cúpula y exedras, escasa intimidad acústica, inteligibilidad y claridad musical, junto con un elevado tiempo de reverberación, son algunos de los motivos por los que no se llevó a cabo la ejecución del proyecto redactado en 1982 por Arturo Ramírez Laguna para adaptar la iglesia a sala de reuniones y espectáculos. Las posteriores actuaciones puntuales, tratan de paliar alguna de estas deficiencias con poca fortuna y falta de coherencia compositiva: eliminación visual de la bóveda, tabicado de exedras y cuerpo del coro.

No obstante, la iglesia sigue manteniendo un uso cultural, lo que hace necesario modificar las características acústicas del espacio, aumentando la absorción sonora para disminuir el tiempo de reverberación y mejorar la inteligibilidad y la claridad musical, así como corrigiendo los efectos negativos de la cúpula y las exedras.

Los elevados tiempo de reverberación hacen necesario incorporar una importante cantidad de absorción sonora, por lo que sería apropiado utilizar materiales con elevados coeficientes de absorción, incorporando un tratamiento con resonadores (efectivo a bajas y medias frecuencias) y un tratamiento absorbente con material poroso (efectivo a medias y altas frecuencias).

Como punto de partida de la propuesta de intervención, se desestima el proyecto de restauración existente sobre este espacio redactado por el arquitecto Arturo Ramírez Laguna, ya que esta actuación se inscribe en una propuesta con un espíritu de ambientación barroca, de marcado carácter figurativo, que está fuera de los criterios de intervención que se marcaron al inicio de este trabajo¹².

El principio básico de la actuación arquitectónica propuesta ha sido el devolver al templo la significación formal y colectiva, perdida en un proceso que empezó a partir de las secuelas lejanas de la guerra civil. Para re-significar el templo se renuncia a recuperar imágenes del pasado y se echa mano de los recursos formales de nuestro tiempo, en una propuesta que se encuadra dentro de una "mirada moderna".

El espacio octogonal es el espacio principal, caracterizado por sus dimensiones, la cúpula y la riqueza de su luz. El resto de espacios se subordinan al principal. La arquitectura esencial se conserva y con ella el espacio que se convierte en el fondo donde disponer nuevos elementos. Este espacio aparece perforado por una serie de huecos (presbiterio-hornacina, exedras semicirculares, tribunas superiores y huecos de acceso y del coro) que adquieren voluntad de protagonismo, al recubrirse con madera, que se superponen a la austeridad espacial, paliando la falta de nobleza arquitectónica o entramado

arquitectónico de la que adolece el espacio, jugando con el concepto barroco de la repetición, como recurso para realzar y contrastar significados y contornos.

Las operaciones de intervención que aúnan los objetivos formales y acústicos resultantes del análisis previo son:

- Reducción del volumen del presbiterio y aumento de las primeras reflexiones mediante la creación de una concha acústica. Las superficies de la concha serán de materiales muy reflectantes (paneles de madera de abedul o similar) de unos 25 mm de espesor y de una densidad del orden de 20 kg/m^2 ¹³, con paredes laterales giradas unos 5° . El techo se dispondrá con una inclinación de $10\text{-}15^\circ$ y a una altura de unos 6.0 m desde el suelo, de forma que corte el arco del presbiterio a media altura, incorporándole irregularidades de diferentes profundidades, distribuidas de forma aleatoria, mediante tiras de madera fuertemente pegadas a la tabla de madera¹⁴. Se dispone un entarimado en el suelo que eleve el plano en el que se sitúa el foco a una altura aproximada de 0.75 m.
- Aumento de la absorción a bajas frecuencias, mediante la disposición en las exedras de resonadores¹⁵. Estos resonadores presentarán diferentes densidades de perforación con el fin de aumentar la banda de absorción. Se opta por un resonador múltiple formado por un panel de madera de 17 mm de espesor, con perforaciones de 8 mm de diámetro separado 100 mm de la pared y con lana de vidrio de 60 mm en contacto con el panel. Los porcentajes de perforación varían entre 5, 12 y 19%¹⁶. En las zonas altas de los huecos de comunicación con presbiterio y coro, se dispondrán superficies difusoras mediante panelados de madera sobre rastreles que proporcionen una adecuada energía difusa.
- Neutralización de las reflexiones de la cúpula, mediante un elemento que no produzca una alteración sensible del espacio interior de la iglesia y que se ubique en el plano de la línea de cornisa, de forma que además de corregir el tiempo de reverberación, principalmente contribuya a mejorar la distribución sonora, al evitar la cola reverberante. Se podría materializar bien mediante la colocación de un toldo extensible¹⁷ o mejor mediante una celosía de baffles¹⁸, solución liviana y versátil que permite su despliegue cuando sea necesario en función del uso de la sala, y constituye un fácil mecanismo para la absorción variable de la sala, enmarcándose dentro del gusto barroco por los elementos ingravidos y suspendidos.



Fig. 9.12. Iglesia del convento de San Francisco. Baeza.

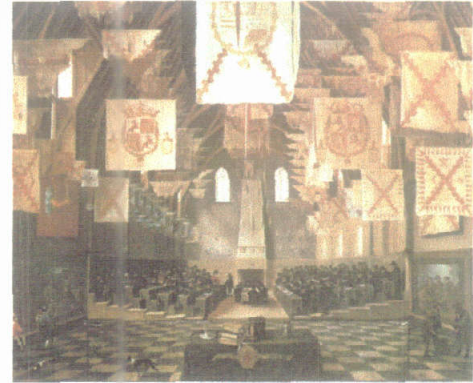


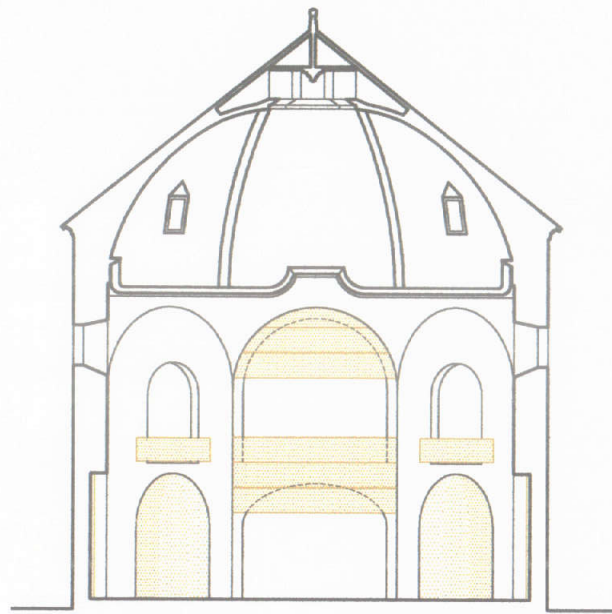
Fig. 9.13 Asamblea de los estados generales de la Haya. D. Van Denle.



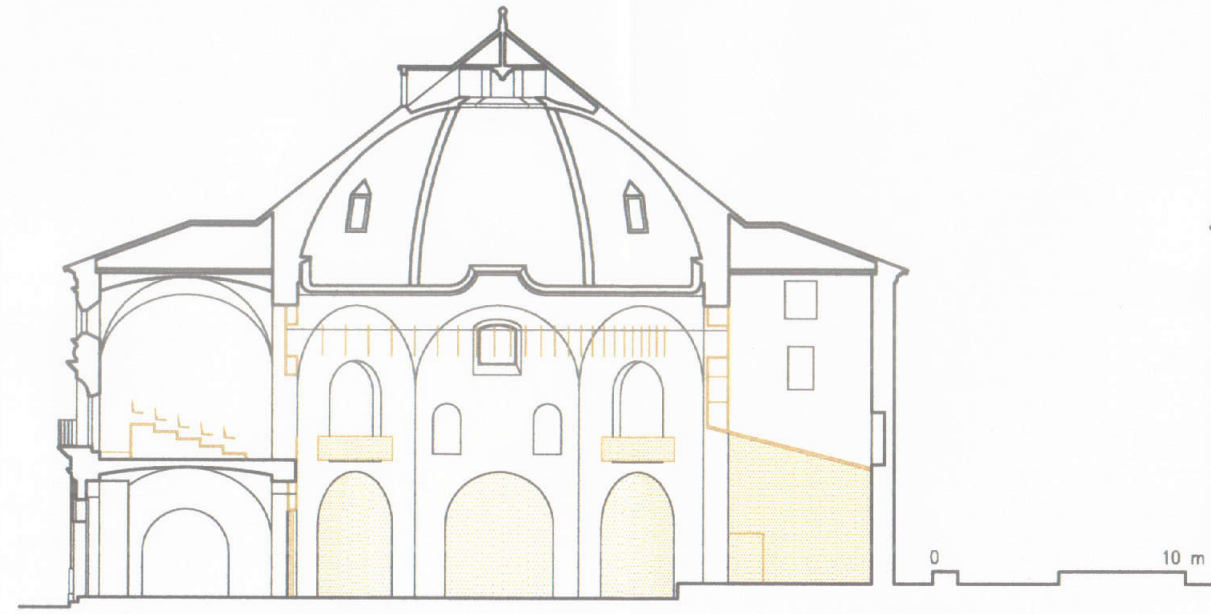
Fig. 9.14. Baffles rectangulares.

Estos baffles, de una altura de 1.20 m, se ocultan en el panelado de madera de los huecos del presbiterio y coro, existiendo una percepción espacial completa cuando no sea necesario disponer estos elementos por motivos acústicos (por ejemplo como sala de exposiciones). La distribución de estos elementos no ha sido uniforme, puesto que uno de sus fines era evitar los efectos perjudiciales de las reflexiones de la cúpula. El criterio de distribución surge a partir de la acústica de rayos, adoptándose como solución una mayor concentración de baffles en la zona más cercana al foco¹⁹.

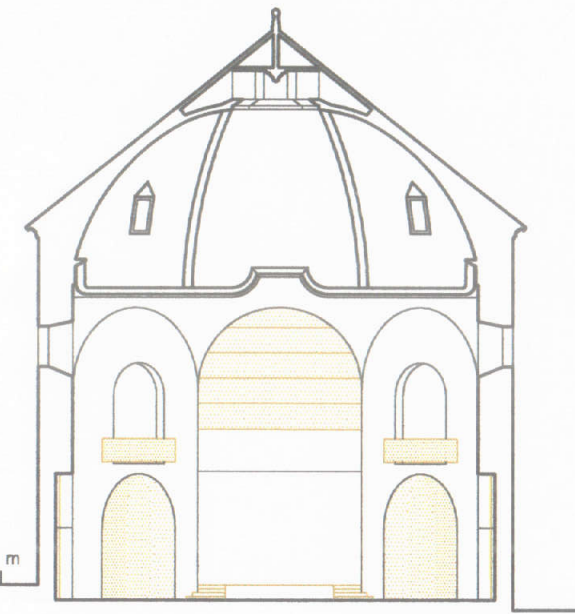
- Disposición de sillas en el cuerpo central y de asientos móviles montados sobre tribunas telescópicas en el coro, de manera que la absorción sea similar indistintamente del grado de ocupación de esta pieza.
- En el acceso al cuerpo principal se situará una cristalera y una cortina delantera, para evitar problemas de eco aflautado.



SECCIÓN TRANSVERSAL HACIA EL CORO.

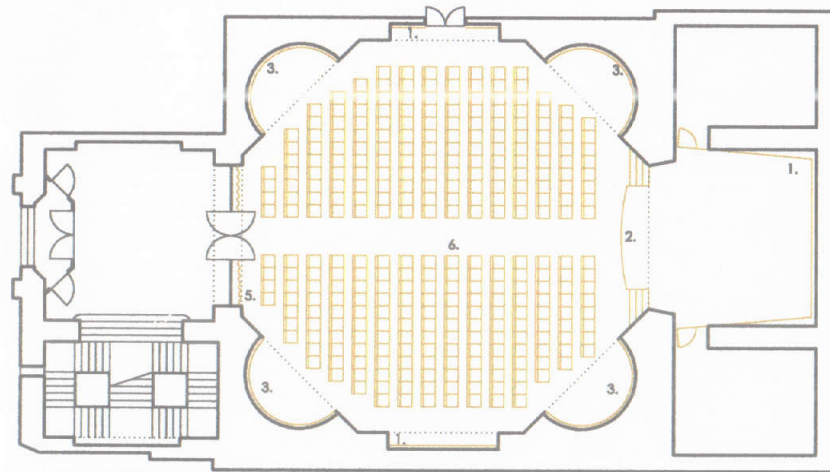


SECCIÓN LONGITUDINAL

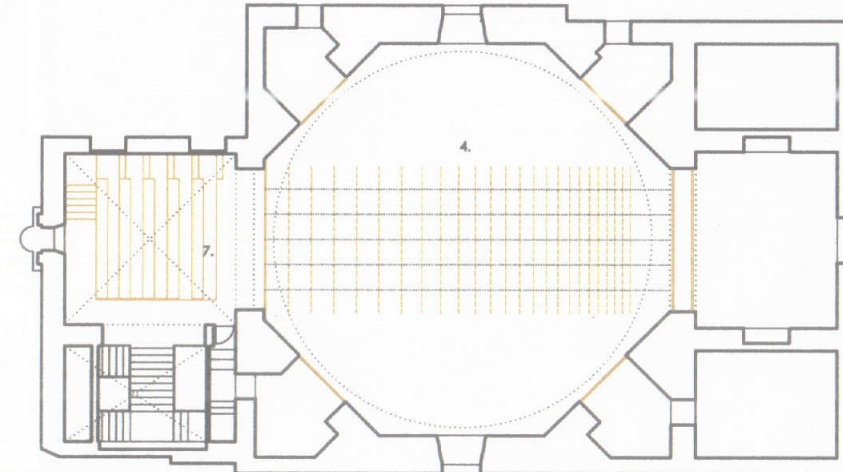


SECCIÓN TRANSVERSAL HACIA PRESBITERIO

1. Panel de madera 25 mm. 2. Entarimado de madera. 3. Resonador panel madera 17 mm con perforaciones de 8 mm separado 100 mm de la pared y lana de vidrio 60 mm en contacto con panel. Perforaciones de 5, 12 y 19%.
 4. Baffles de lana de roca con velo de vidrio blanco. 5. Cortina fruncida delante de vidriera. 6. Sillas. 7. Graderío desplegable con butacas con un porcentaje medio de superficie tapizada.



PLANTA NIVEL ACCESO.



PLANTA NIVEL CORO.

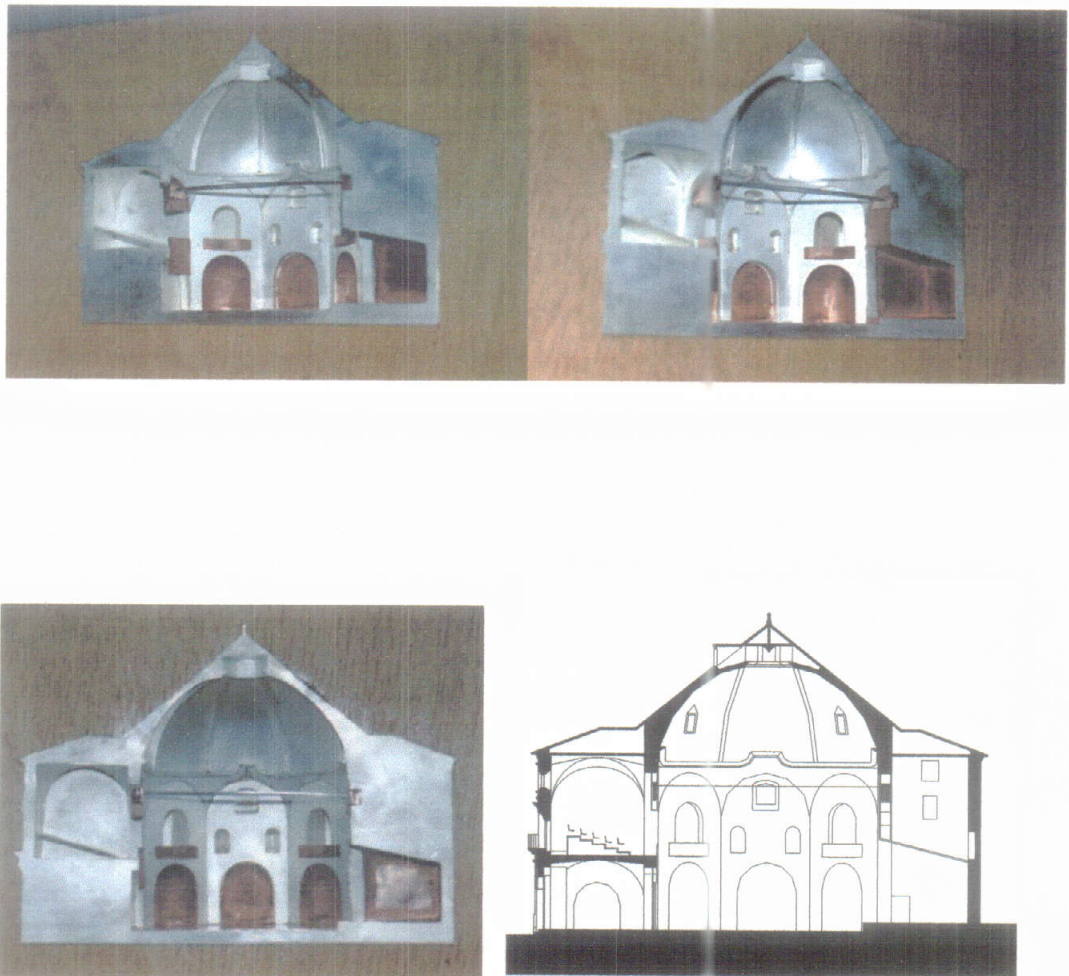


Fig. 9.15. Propuesta de intervención. Hipótesis de baffles recogidos.

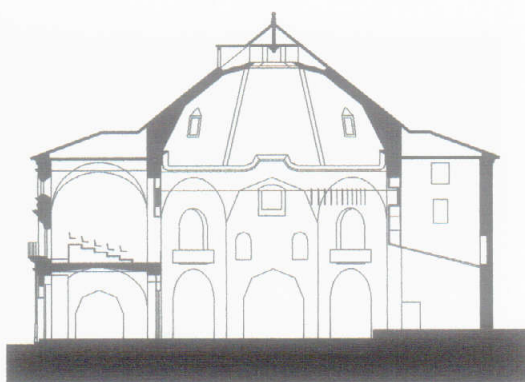
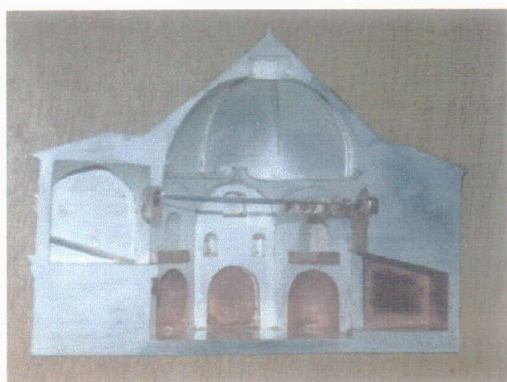
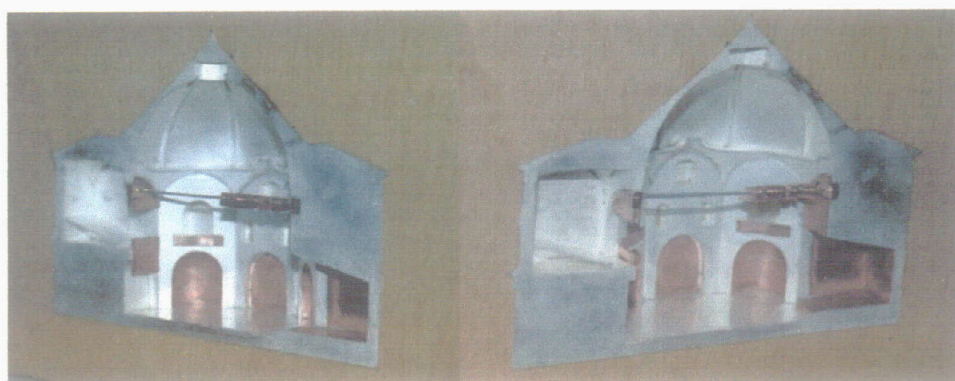


Fig. 9.16. Propuesta de intervención. Hipótesis de baffles desplegados en primer tercio.

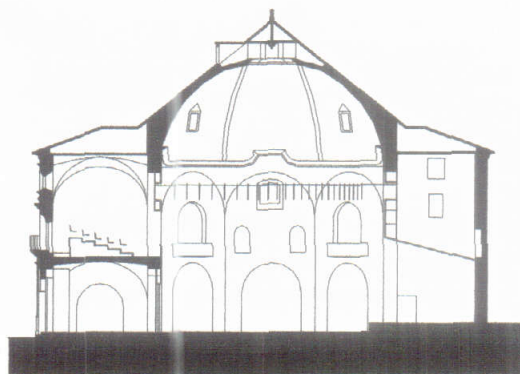
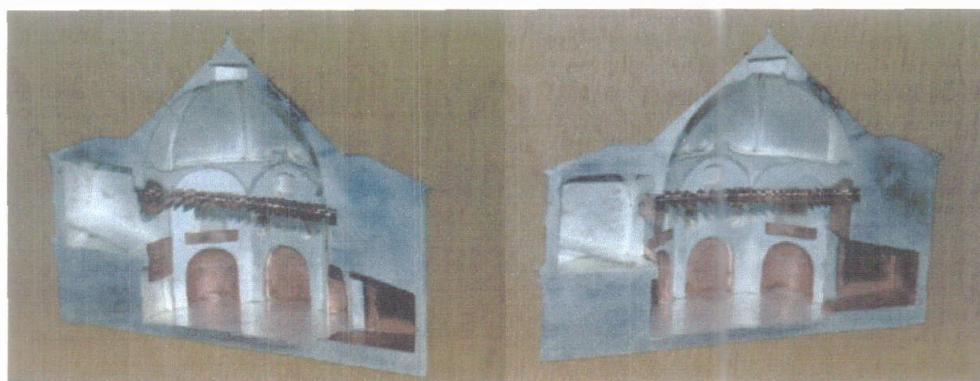


Fig. 9.17. Propuesta de intervención. Hipótesis de baffles desplegados.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

Se calcula el tiempo de reverberación de la propuesta de intervención mediante la fórmula de Sabine utilizando el modelo informático, introduciendo la nueva configuración espacial y los coeficientes de absorción de los materiales de la tabla 9.4.

MATERIAL	m ²	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Ladrillo visto. Suelo	87	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07
Público en sillas	204	0.24	0.32	0.51	0.60	0.59	0.56
Publico en sillas moderadamente tapizadas	51	0.72	0.82	0.91	0.93	0.94	0.87
Sillas moderadamente tapizadas	51	0.44	0.56	0.67	0.74	0.83	0.87
Entarimado de madera	72	0.09	0.09	0.08	0.09	0.10	0.07
Revoco de cal	985	0.05	0.06	0.07	0.09	0.07	0.08
Vidrio	8	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
Madera	49	0.16	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
Madera con cámara aire	149	0.30	0.25	0.20	0.17	0.15	0.10
Resonador múltiple 5% perf.	35	0.80	0.94	0.46	0.27	0.13	0.09
Resonador múltiple 12% perf.	35	0.58	0.87	0.80	0.53	0.42	0.28
Resonador múltiple 19% perf.	35	0.58	0.72	0.90	0.67	0.53	0.47
Baffles ²⁰	161	0.14	0.24	0.68	0.81	0.81	0.81
Cortina peso medio	22	0.07	0.31	0.49	0.81	0.66	0.54
Bóveda	385	0.05	0.06	0.07	0.09	0.07	0.08
Falso techo madera	46	0.30	0.25	0.20	0.17	0.13	0.10
Aire (m ³)	4388					0.008	0.021
SUPERFICIE TOTAL	2324						

Tabla 9.4. Características absorbentes de los diferentes materiales. Propuesta.

En un espacio con un uso previsto tanto para la música como para la palabra, el primer objetivo a cubrir es conseguir el tiempo de reverberación apropiado a cada caso. Para el cálculo del tiempo de reverberación se ha estimado que no existe ocupación en el coro²¹, y que la ocupación del cuerpo central es con público sentado en sillas, considerándose varias hipótesis en relación con los baffles:

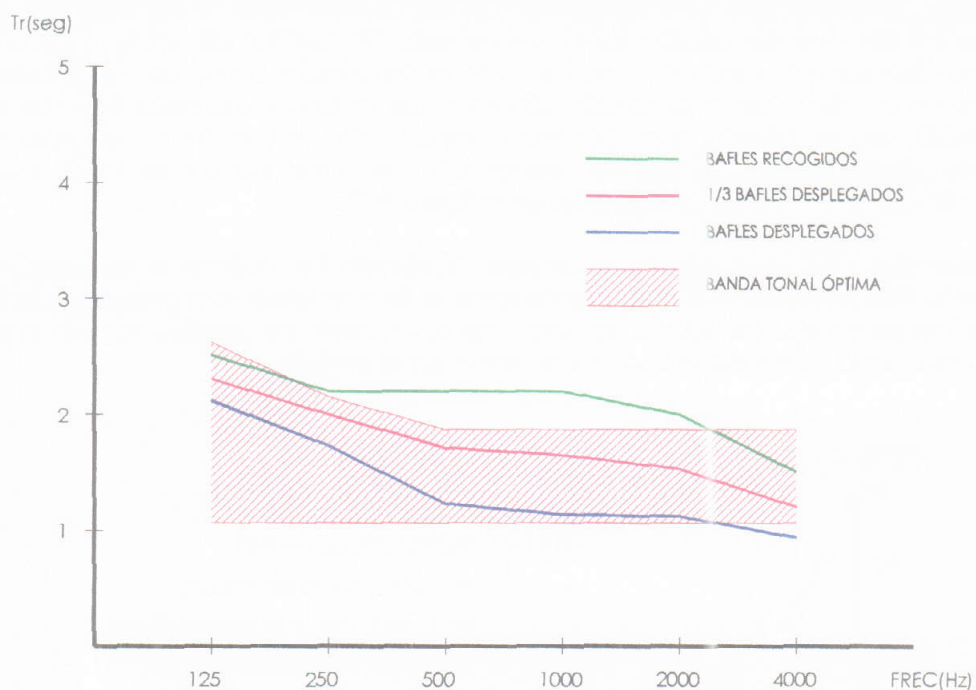
- Baffles ocultos en los panelados de madera de los huecos de presbiterio y coro.
- Baffles en el primer tercio del cuerpo central, desplegados desde el presbiterio.
- Baffles desplegados en toda la longitud del cuerpo central.

En esta primera hipótesis, con los baffles ocultos, la reducción del volumen de la sala, y la disposición de resonadores en las exedras, que introducen un notable aumento de la absorción sonora, principalmente a bajas y medias frecuencias, suponen una importante disminución del tiempo de reverberación respecto al estado inicial, pero este tiempo de reverberación es algo elevado a medias frecuencias, incluso en relación con la curva tonal óptima para la música.

Una primera disposición de baffles en el primer tercio del cuerpo central proporciona una curva tonal algo inferior a la óptima para la música, mientras que el despliegue de todos los baffles supone un aumento de la absorción junto con una mejora de la distribución sonora, ajustándose la curva tonal a la óptima

para la palabra a medias y altas frecuencias²². Se pueden obtener valores intermedios entre ambas curvas tonales en función de la cantidad de baffles que se despliegan.

Así pues, mediante estas diversas configuraciones, en función de la cantidad de baffles que se distribuyan, se puede conseguir un tiempo de reverberación adecuado tanto para los diferentes tipos de música como para la palabra, sin necesidad de adoptar soluciones intermedias de compromiso para ambos usos.



	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Baffles recogidos.	2.51	2.20	2.20	2.22	2.00	1.48
1/3 baffles desplegados.	2.35	2.00	1.71	1.65	1.53	1.20
Baffles desplegados.	2.12	1.73	1.23	1.14	1.12	0.95
Óptimo música	2.60	2.14	1.86	1.86	1.86	1.86
Óptimo palabra	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05

Fig. 9.18. Tiempos de reverberación medido, estimado y óptimos.

Respecto a la previsión de los valores de brillantez y calidez, existe una notable mejoría de estos valores respecto al estado inicial, al aumentar la absorción sonora, obteniendo unos valores prácticamente dentro de los márgenes recomendados por Beranek (tabla 9.5) para el índice de calidez, mientras que el índice de brillo es algo inferior al margen recomendado de 0.87, debido a la absorción sonora que introduce el volumen de aire.

	BR	Br
Propuesta sin baffles.	1.06	0.78
Propuesta 1/3 baffles.	1.29	0.81
Propuesta con baffles.	1.64	0.86
Valores recomendados	1.1÷1.45	>0.87

Tabla 9.5. Valores de calidez y brillo en las diferentes hipótesis de baffles.

DISTRIBUCIÓN SONORA.

El análisis de distribución sonora se realiza a partir del estudio teórico mediante la simulación informática, con la fuente sonora situada en el presbiterio, en la misma posición que en el estado inicial, y con la misma potencia de emisión (108.8 dB).

A partir de estas premisas, se obtienen unos valores de nivel de presión sonora semejantes, en cuanto a homogeneidad, al estado previo, pero con una reducción del nivel de presión sonora en el espacio central del orden de 3 dB para la hipótesis más desfavorable, cuando se despliegan todos los baffles, pues implica un aumento de la absorción sonora y, por lo tanto, una reducción de la sonoridad de la iglesia, que continúa siendo alta respecto a los valores considerados como óptimos. La disminución del nivel sonoro se hace más acusada en el coro, como se aprecia en la figura 9.19.

La reducción del nivel sonoro es escasa, teniendo en cuenta el importante aumento de absorción sonora existente entre el estado inicial y la propuesta con baffles desplegados, debido al refuerzo de los niveles de presión sonora que produce la instalación de la concha acústica en el presbiterio.

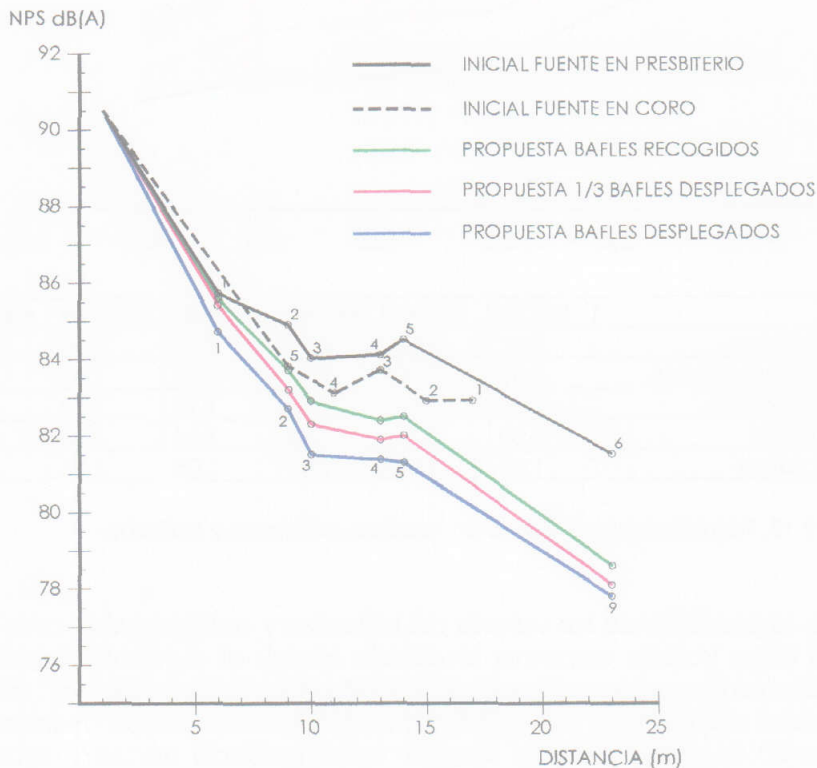


Fig. 9.19. Nivel de presión sonora frente a la distancia..

Se han representando, para cada hipótesis de posición de los baffles, los niveles de presión sonora global estimados en función de la distancia a la fuente, y se han comparado con los valores previstos por el modelo clásico y el modelo de Barron (fig. 9.20). Con los baffles recogidos los niveles sonoros estimados son algo inferiores a los previstos por el modelo de Barron, ajustándose a este modelo cuando los baffles se despliegan. El despliegue de baffles supone una mejora de la distribución sonora, favoreciendo una adecuada difusión del sonido.

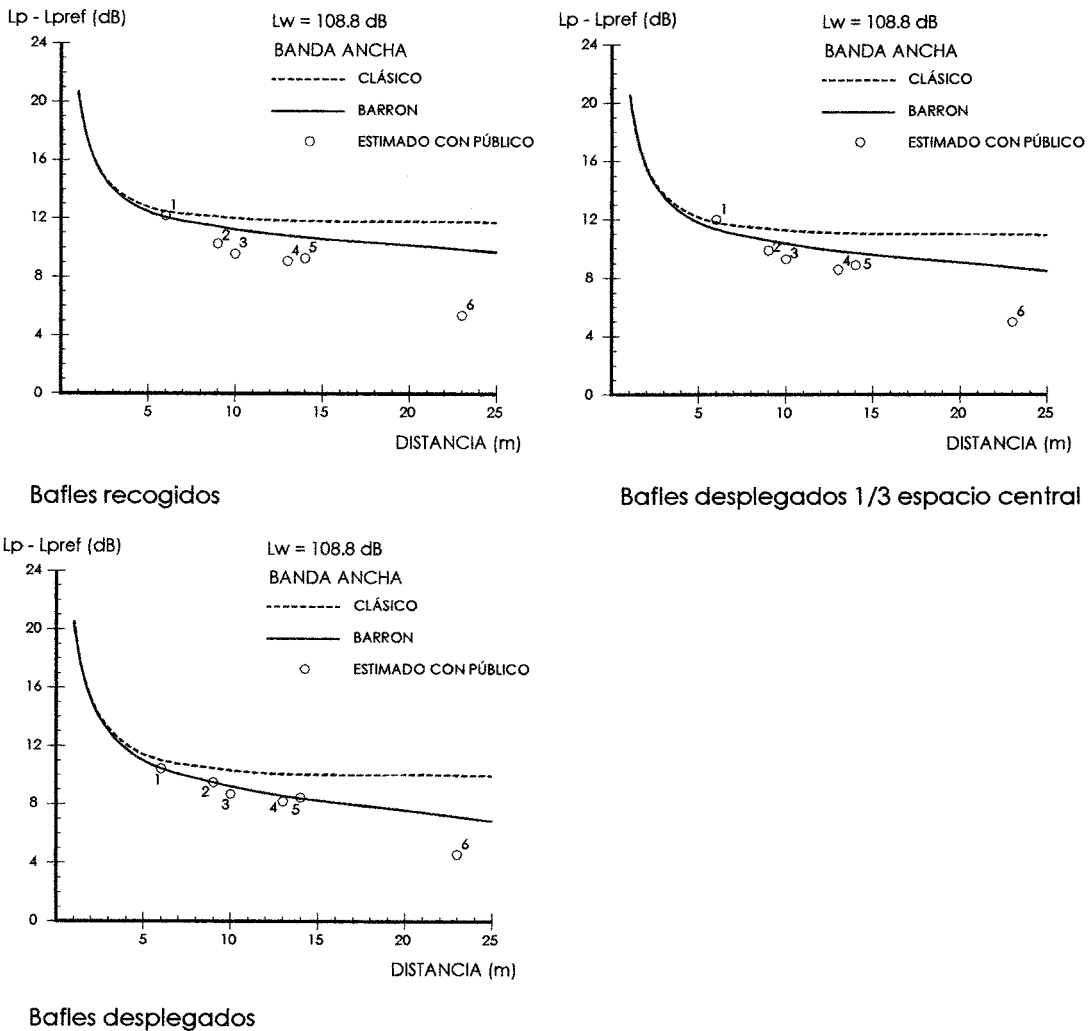


Fig. 9.20. Comportamiento estimado del campo acústico frente a la distancia.

El estudio teórico se completa con el análisis de las reflexiones obtenido a partir de los ecogramas en los puntos representativos de este espacio. En la hipótesis de iglesia con los baffles recogidos, tal y como se puede observar en la figura A9.10 del apéndice 9, se dan reflexiones más cortas que en el estado inicial, al mismo tiempo que unos mayores niveles sonoros, todo ellos gracias a la disposición de la concha acústica. Eso se traduce en un aumento de la intimidad acústica, con valores que oscilan entre 17 y 20 ms, con el consiguiente beneficio en la inteligibilidad de la palabra²³ y la claridad musical. En relación con la cola reverberante, se observa que los efectos negativos de las exedras quedan mitigados, ya que, al ser elementos más absorbentes, la diferencia de niveles existente entre el sonido reflejado y el sonido directo es mayor, con valores superiores a 20 dB.

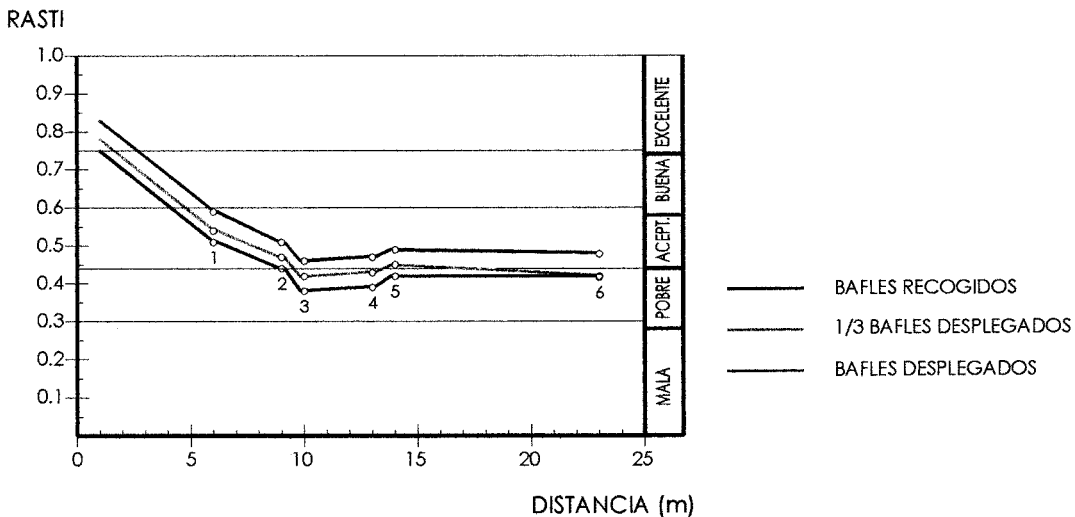
Las reflexiones que provienen de la cúpula presentan un comportamiento diferenciado en función de la hipótesis de baffles considerada (véase figuras A9.10, A9.11 y A9.12 del apéndice 9). Así, en la hipótesis con los baffles recogidos, se detectan los mismos problemas que en el análisis del estado previo, aunque al ser la intensidad de las primeras reflexiones mayor, se mitigarán los efectos de una posible sensación de eco producido por estas reflexiones tardías. Por el contrario, la disposición de los baffles en el primer tercio del cuerpo central anula

parte de la cola reverberante. No obstante, es con la solución de todos los baffles desplegados, cuando se eliminan prácticamente los efectos de sonido retardado que genera la cúpula, especialmente en los puntos más lejanos al foco emisor.

El número de reflexiones en el coro disminuye sustancialmente respecto a los puntos del espacio central, lo que conlleva una disminución del sonido reverberante en este espacio, circunstancia desfavorable para la audición musical, pero que supone un claro aumento de la definición²⁴ respecto al estado inicial, aunque la menor visibilidad y la distancia a la fuente sonora resten alguna efectividad a estos parámetros.

INTELIGIBILIDAD.

En un conjunto de puntos representativos de la sala, y con la ayuda del modelo informático, se evalúa teóricamente, el indicador de la inteligibilidad RASTI para cada hipótesis de distribución de los baffles, con la sala ocupada por público sentado en sillas en el espacio central.



	1	2	3	4	5	6
Baffles recogidos	0.51	0.44	0.38	0.39	0.42	0.42
1/3 baffles desplegados	0.54	0.47	0.42	0.43	0.45	0.42
Baffles desplegados	0.59	0.51	0.46	0.47	0.49	0.48

Fig. 9.21. Índice RASTI frente a la distancia. Propuesta.

La hipótesis de la sala con los baffles ocultos presenta unos valores del índice RASTI que permiten calificar la inteligibilidad como "pobre-aceptable". El despliegue de los baffles supone una mejora de la inteligibilidad que se puede calificar como "aceptable" (figura 9.21) aumentando el índice RASTI al aumentar el número de baffles desplegados.

A pesar de desplegar todos los baffles, los valores de definición son inferiores a los valores mínimos recomendados del 50% (tabla A9.17 del apéndice 9 y figura 9.22).

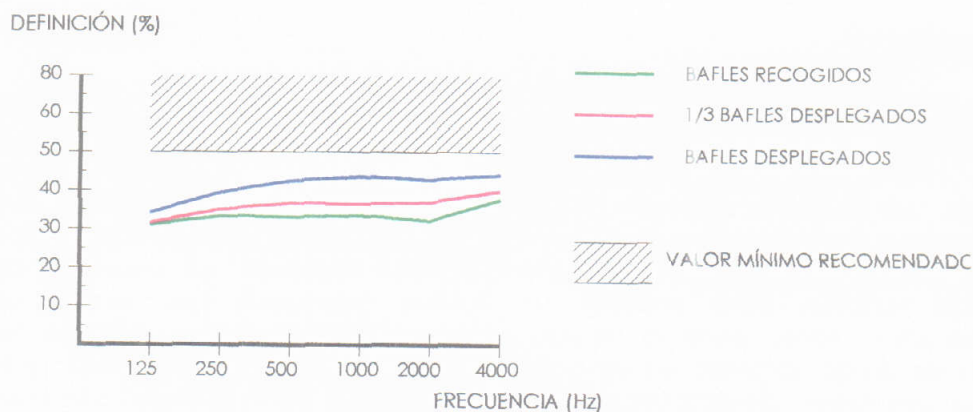


Fig. 9.22. Valor de definición estimado con público. Propuesta.

Contrariamente a lo que sucede en el estado inicial, los valores de claridad musical se encuentran dentro de la banda óptima en todas las hipótesis de disposición de los bafles (tablas A9.18 a A9.20 del apéndice 9 y figura 9.23).

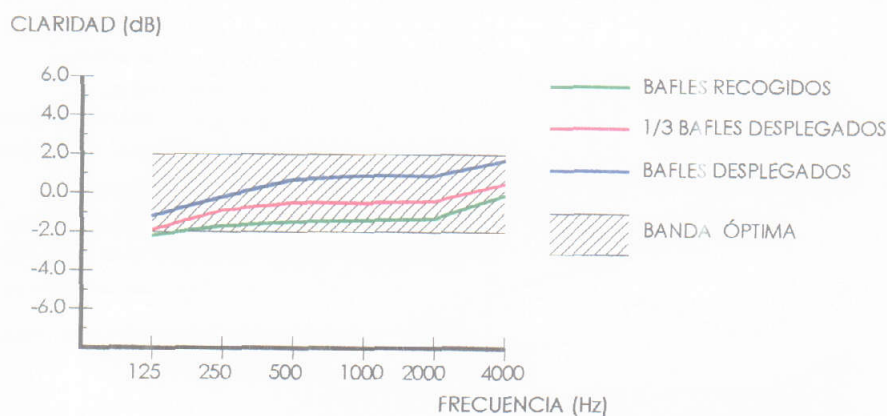


Fig. 9.23. Valor de claridad musical estimado con público. Propuesta.

OTROS PARÁMETROS.

Volumen: 4388 m³
 Longitud presbiterio: 6.65 m.
 Ancho presbiterio: 7.00 m.
 Altura media presbiterio: 5.35 m.
 Longitud cuerpo central: 15.96 m.
 Ancho cuerpo central: 15.58 m.
 Altura bóveda: 21.00 m.
 Longitud coro: 7.75 m.
 Ancho coro: 6.80 m.
 Altura coro: 7.40 m.

Área de audiencia: 204 m² en el espacio central y 40 m² en coro.
 Aforo: 344 personas sentadas en el espacio central y 45 en el coro.
 Relación volumen/plaza: 11.28. (Rango 5.1-9.1)
 Relación volumen/área de audiencia: 17.98 (Rango 9.2-12.0)
 Relación área de audiencia/plaza: 0.63 (Rango 0.63-0.75)

CONCLUSIONES.

La disminución del volumen de la iglesia supone, junto con la incorporación de resonadores en la exedras, un notable aumento de la absorción sonora y, por lo tanto, una significativa reducción en el tiempo de reverberación de este espacio, que se ajusta al tiempo de reverberación óptimo para la música, salvo para las frecuencias medias donde es sensiblemente más alto. La incorporación de diferentes disposiciones de los baffles permite introducir un elemento de acústica variable, para producir un control adecuado del tiempo de reverberación, tanto para la música como para la palabra, evitando las soluciones de compromiso en espacios que se requieren para la palabra y la música, que suelen generar unos valores inadecuados de la inteligibilidad para la palabra y un tiempo de reverberación, no suficientemente alto para la música.

La calidez se puede considerar adecuada, por lo que la iglesia presenta una correcta viveza a las bajas frecuencias. Por contra, la brillantez es algo baja, debido a la absorción de los sonidos agudos que provoca el volumen de aire, lo cual supondrá una pérdida de riqueza de armónicos en las representaciones musicales.

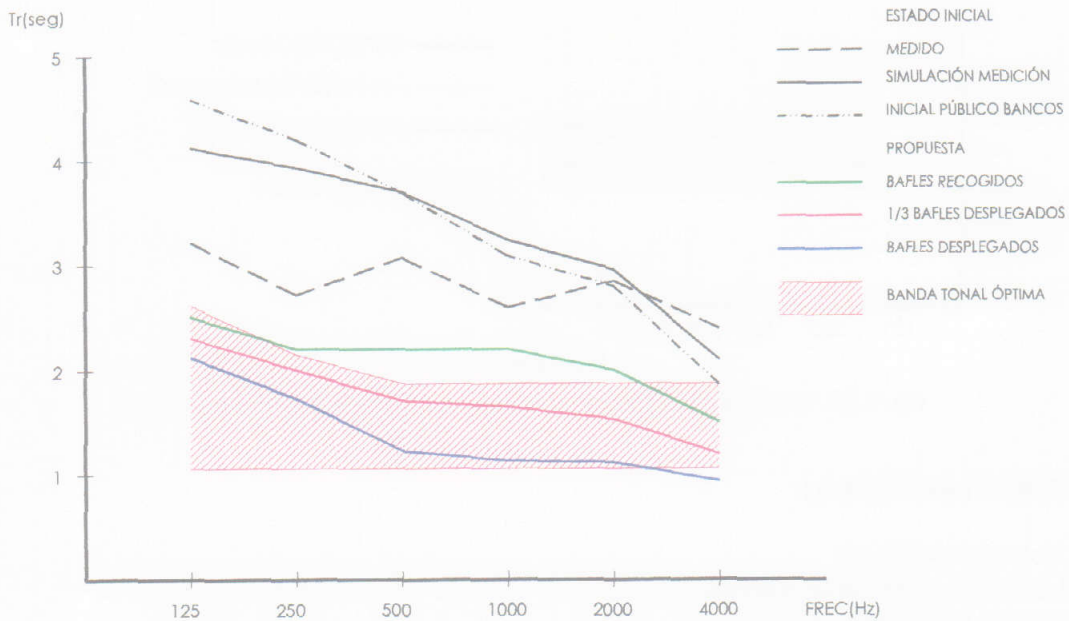


Fig. 9.24. Tiempos de reverberación.

La distribución sonora es homogénea en toda la iglesia, el aumento de absorción supone una disminución de la sonoridad que continúa siendo ligeramente elevada. El aumento de las primeras reflexiones que provienen de la concha acústica dispuesta en el presbiterio, favorece el aumento de la intimidad, la inteligibilidad de la palabra y la claridad musical. Además, la incorporación de los baffles elimina prácticamente los problemas de sonido reverberante que era generado por las diferentes reflexiones en la cúpula.

El coro, dado sus características geométricas, no es un espacio que se pueda considerar adecuado funcionalmente para su ocupación, por motivos visuales, pero es importante su presencia dentro del conjunto, por motivos tipológicos y

acústicos, ya que juega un papel importante como espacio acústicamente complementario, imprescindible para adecuar y entender el espacio central²⁵.

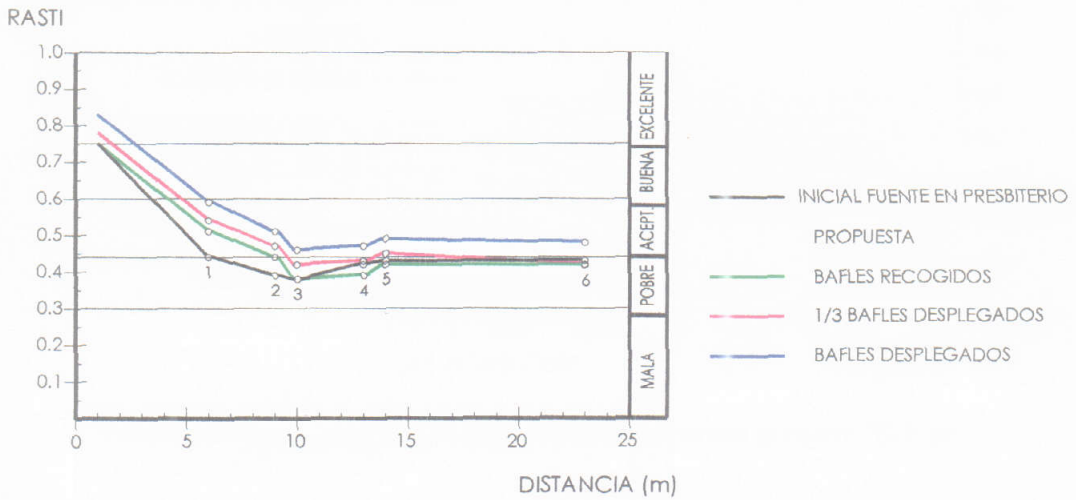


Fig. 9.25. Índice RASTI frente a la distancia. Estimado con público.

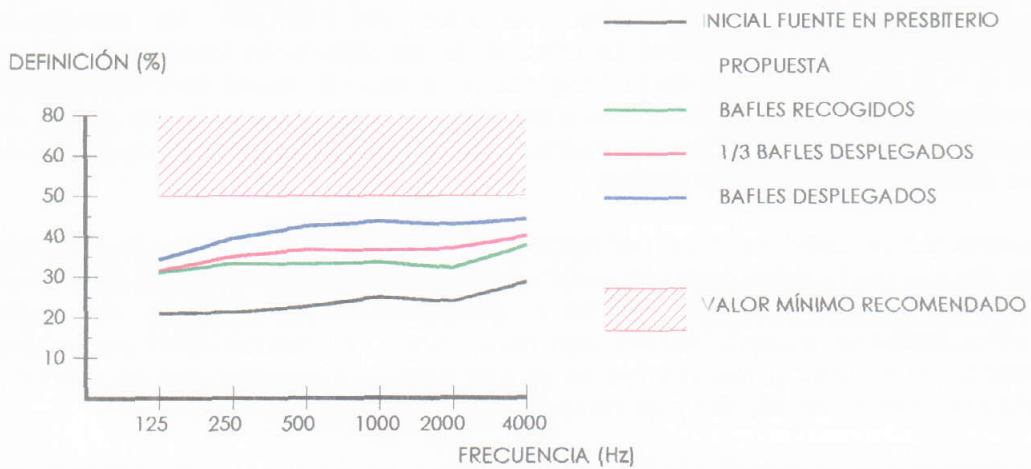


Fig. 9.26. Valor de definición estimado con público.

Los valores obtenidos del índice RASTI permiten calificar la inteligibilidad como "aceptable" cuando se despliega al menos un tercio de los bafles, siendo "aceptable-pobre" cuando los bafles están recogidos. A pesar de ello, los valores de definición son inferiores a los recomendados, por lo que para la utilización de la iglesia para actividades asociadas al uso de la palabra, será necesario que el orador eleve ligeramente la voz al dirigirse a la audiencia para aumentar la inteligibilidad, o bien, disponer de una instalación de apoyo electroacústico.

Los valores de claridad musical se encuentran dentro de la banda considerada óptima, para todas las disposiciones de bafles, lo que supone un adecuado grado de separación entre los diferentes sonidos individuales de la composición musical.

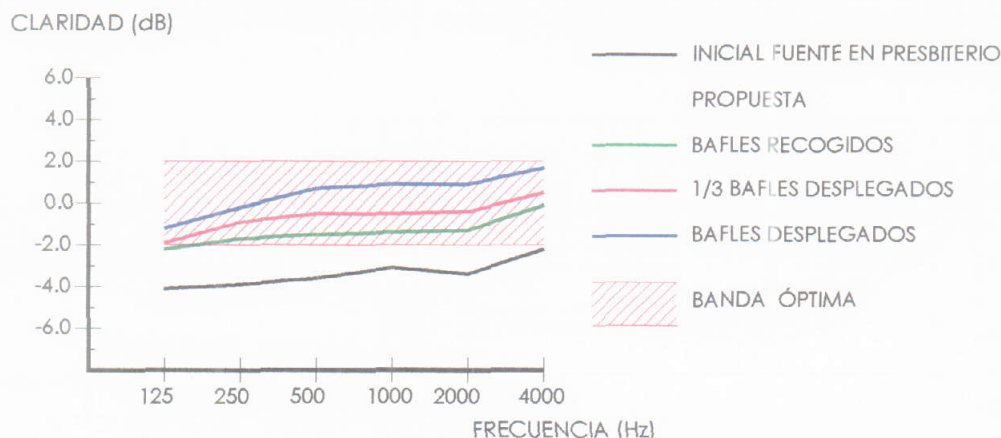


Fig. 9.27. Valor de claridad musical estimado con público.

En resumen, la hipótesis de bafles ocultos se considera adecuada cuando no sea necesario una actividad acústica muy exigente en este espacio, ya que da lugar a tiempos de reverberación algo elevados. No obstante, los principales problemas surgen al mantener los efectos de las reflexiones tardías generadas por la cúpula. Así pues, en esta configuración el espacio reúne unas adecuadas condiciones acústicas para la interpretación de música con un alto grado de reverberación no necesitada de mucha claridad ni definición (música sacra de tipo polifónica y música romántica).

La hipótesis de bafles en el primer tercio del espacio central, origina unos valores del tiempo de reverberación idóneos para la interpretación musical, así como una adecuada distribución sonora y claridad. Por consiguiente, con esta configuración el espacio resulta apropiado para la interpretación de música clásica, en la que la relación entre sonido directo y reverberado es menor y existe un adecuado equilibrio entre reverberación y claridad.

Un aumento en el número de bafles que se desplieguen supone un aumento de la absorción sonora, adecuando de este espacio para la interpretación de música de cámara, gracias al aumento de definición a expensas de la menor reverberación, así como a la homogeneidad del nivel de presión sonora que presenta la iglesia²⁶.

Con la disposición de todos los bafles en el espacio central, la iglesia presenta unas adecuadas condiciones acústicas para su uso como teatro, ya que existe una disminución importante del tiempo de reverberación (principalmente para las frecuencias medias y bajas), junto a un predominio del sonido directo frente al sonido reverberado, lo que supone un aumento de la inteligibilidad. Aunque los valores de definición sean algo inferiores al valor mínimo recomendado, debido al importante volumen y a la alta relación volumen/plaza, se puede considerar adecuado para este tipo de espacio.

NOTAS.

¹ FRAY LUIS DE LEÓN. Oda a Francisco Salinas en *Obras completas*. Tomo II. Editorial Católica, Madrid 1967 p. 747.

² BERNIER LUQUE y otros. *Catálogo artístico y monumental de la provincia de Córdoba*. Tomo VI. Diputación de Córdoba, Córdoba 1993 pp. 272.

³ RIVAS CARMONA, J. *Arquitectura barroca cordobesa*. Monte de Piedad y Caja de Ahorros de Córdoba, Córdoba 1982, pp. 220-221.

⁴ "La distribución de altares y retablos nos ha llegado por la descripción que del templo hace Dámaso Delgado. Un modesto retablo con camarín en el altar mayor con dos imágenes en los laterales del primer cuerpo, estando el altar adosado y realzado con dos escalones más otros dos desde el arco del presbiterio. A dos lados de este arco, dos púlpitos con tornavoz y posiblemente cancel bajo. Cuatro altares en las hornacinas diagonales con nichos para imágenes y toda la exedra forrada de madera estofada y dorada. Dos altares en los nichos de las caras laterales, el de la derecha con altar y el de la izquierda posiblemente reciente. La capilla de entrada disponía de dos altares con retablos a sus lados y en el fondo otro mayor y estaba cerrada de la entrada por una verja de madera". De la descripción del edificio en la memoria del proyecto de restauración de Arturo Ramírez Laguna.

⁵ Parecido diseño se presenta en Santa Maria della Pace de Roma, en la que el cuerpo octogonal es el verdadero cuerpo de la iglesia. Véase ARGAN, G.C. *El concepto del espacio arquitectónico desde el Barroco hasta nuestros días*. Nueva Visión, Buenos Aires 1979, pp. 89-90.

⁶ Esta iglesia fue levantada en 1762, siendo de una sola nave con crucero y ábside cuadrado, que presenta la misma moldura gruesa, los mismos colores, el azulado y el blanco, enriquecido por el oro de los retablos de madera tallada, así como óleos que se disponen por las paredes de la nave. Véase ORTIZ JUÁREZ y otros. *Catálogo artístico y monumental de la provincia de Córdoba*. Tomo II. Diputación de Córdoba, Córdoba 1983, pp. 116-122.

⁷ Extraído de la memoria del proyecto del arquitecto A. Ramírez Laguna.

⁸ Al presentar las cúpula un radio de curvatura inferior a la mitad de la altura de la nave central, las concentraciones sonoras pueden producirse por encima del plano de audiencia. CREMER, L. y MÜLLER, H. *Principles and Applications of Room Acoustics*. Vol 1. Applied Science Publishers, Londres 1982, pp. 82-88.

⁹ Para establecer la relación entre ensayos subjetivos de inteligibilidad y el índice RASTI, véase SENDRA J.J. y otros. *El problema de las condiciones acústicas en iglesias: principios y propuestas para la rehabilitación*. IUCC ETSA Sevilla, Sevilla 1997, figura 11 p. 37.

¹⁰ La disposición de la fuente sonora en la zona trasera supone que el sonido no llega desde el punto focal, sino desde uno secundario, esto podría afectar al sentido de envolvimiento, pero al contrario de lo que sucede en una sala de conciertos, en una iglesia este efecto se atenúa debido a la reverberación. CARVALHO, A. "Liturgy, sound and acoustics: Why a church is not a concert hall?" *Sound & Video Contractor*, vol 13, nº 1, Enero 1995, p. 71.

¹¹ Un tiempo de reverberación corto, suponen además una mejora de la distribución sonora al eliminar problemas de eco. BERANEK, L. *Concert and Opera halls. How they sound*. Acoustical Society of America, Nueva York 1996, p. 25.

¹² Véase en el capítulo 1, el apartado Intervenciones en edificios históricos. Criterios de proyecto.

¹³ CARRIÓN ISBERT, A. *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. U.P.C., Barcelona 1998, p. 291.

¹⁴ Estas pequeñas irregularidades presentan una analogía con los difusores de Schroeder. HAAN, C.H. y FRICKE, F.R. han demostrado que la difusión del sonido es uno de los principales parámetros de la calidad acústica de una sala. Las principales salas tienen pequeñas irregularidades en los frentes de los balcones, en la parte inferior de los muros y en los paneles reflectantes, que difunden el sonido a altas frecuencias de las ondas sonoras de las primeras reflexiones, proporcionando una "pátina" al sonido envolvente.

"Surface diffusivity as a measure of the acoustic quality of concert halls" *Proceedings of the Conference of Australian and New Zealand Architectural Science Association*, Sidney 1993, pp. 81-90, citado por HIDAHA, T. y BERANEK, L. "Objective and subjective evaluations of 23 opera houses in Europe, Japan and America" ". *The Journal of the Acoustical Society of America* vol 107 n°1, January 2000, p. 379.

¹⁵ En su origen estas exedras eran altares que pudieron estar forrados de madera con gran decoración como son por ejemplo en la iglesia de San Martín de las Angustias de Lucena. Véase figura 1.23 del capítulo 1.

¹⁶ Se ha considerado este tipo de resonador por presentar una medición acústica contrastada, que se ha tomado de CARRIÓN ISBERT, A., op. cit., p. 102. La introducción de diferentes diámetros de perforaciones, 3, 5 y 8 mm, de forma aleatoria, ayudaría a que el resonador múltiple fuese menos selectivo.

¹⁷ La solución de disponer un toldo en el arranque de la cúpula se ha desechado, ya que no satisfacía las exigencias acústicas, al presentar un tiempo de reverberación superior al óptimo para la música para las bajas y medias frecuencias. Este toldo sería transparente acústicamente, y presentaría una absorción a bajas frecuencias casi nula. Los coeficientes de absorción sonora de este toldo se obtienen a partir de las mediciones in situ realizadas en la iglesia del convento de San Francisco de Baeza (Jaén), cuya rehabilitación acústica fue realizada por SENDRA, ZAMARREÑO y NAVARRO. Además de dicho estudio acústico se deduce que el volumen, que debe ser estimado en los cálculos, es el volumen total de la iglesia, incluyendo el volumen que queda por encima del toldo hasta la cúpula. Véase *El problema de las condiciones acústicas en las iglesias: Principios y propuestas para la rehabilitación*. I.U.C.C. ETSA Sevilla, Sevilla 1997, pp. 119-128.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
α toldo	0.03	0.10	0.18	0.33	0.34	0.32
T_R con toldo y público.	3.16	2.71	2.10	1.83	1.83	1.77

¹⁸ Baffles compuestos por paneles de lana de roca revestidos, en su cara vista, de un velo de vidrio blanco, insertados en un marco de acero lacado en blanco (Eurobaffles de Eurocoustics, Cristalería Española S.A.). Los datos de absorción sonora de cada baffle se han tomado del catálogo del producto.

¹⁹ Para una buena eficacia de absorción sonora se recomienda repartir un baffle/m², obteniéndose mejores resultados si se aumenta la relación baffle/m².

²⁰ El coeficiente de absorción sonora del baffle, considerado por unidad de superficie, se ha obtenido a partir del coeficiente de absorción de un baffle de dimensiones 1200 x 600 x 50 mm.

²¹ La ocupación de este espacio presenta escasa visibilidad, por lo que no se ha considerado en las hipótesis, aunque de existir esa ocupación, se produciría una sensible mejora en las condiciones acústicas.

²² "La máxima contribución al nivel de la voz se sitúa en la zona de las frecuencias medias, destacando la banda de 500 Hz con 46%. En cambio, la máxima contribución a la inteligibilidad de la palabra está situada a las frecuencias más elevadas (57% sumando la contribución de las bandas de 2000 y 4000 Hz" CARRIÓN ISBERT, A. op. cit., p. 45.

²³ A partir de los trabajos de HAAS para la palabra, se demuestra que el oído usa las primeras reflexiones para localizar la fuente, pero que además éstas contribuyen a la inteligibilidad. "Über den Einfluss eines Einfachechos auf die Hörsamkeit von Sprache" *Acustica* 1 (1951), pp. 49-58, citado por BARRON, M. op. cit. p. 38.

²⁴ "Los incrementos de claridad y definición, justifican la profusión de anfiteatros y balcones con profundidades significativas en los teatros de proscenio construidos en el siglo XIX" CARRIÓN ISBERT, A. op. cit., p. 194. Estos espacios presentan una configuración similar al coro de esta iglesia.

²⁵ En relación con espacios complementarios en el ámbito teatral puede verse el texto de MORALES, J. y GILLES, S. "El espacio del molde" en *Neutra* 5, COAAOcc, Sevilla 2000, pp. 44-49, en el que se estudian estos espacios "en sombra", que caracterizan los espacios escénicos, "que se configuran por resonancia, se formulan merced al eco de unos espacios contra otros, y que de alguna manera ocultan, pero a la vez amplifican los interiores".

²⁶ Para la interpretación de música de cámara, debe favorecerse la audición de las líneas melódicas, a la vez que debe mantenerse la intensidad de la música, teniendo en cuenta que un cuarteto de cuerda produce sólo una centésima parte del nivel sonoro de una orquesta. BARRON, M. op. cit., p. 195.

“Las acciones humanas cumplidas en silencio, aún con la máxima precisión en los gestos que las realizan y en los resultados que procuran, parecen, vistas desde lejos, sorprendidas como un secreto que el espectador descubre atisbando.”¹

La estructura seguida en este trabajo, basada en capítulos autónomos, presenta el atractivo de no tener que crear elementos ni vínculos entre éstos. Sin embargo, el hecho de enlazar los diferentes capítulos permite generar una lectura más global. En una primera aproximación, puede parecer que no se ha establecido ninguna relación entre el material de cada capítulo, pero queríamos presentar nuestro trabajo como variaciones, casi como una reflexión continua que se desarrolla en diferentes lugares. La especificidad del proyecto de rehabilitación de una iglesia conduce casi siempre a soluciones diferentes o diferenciadas. Además en las diferentes propuestas presentadas, se ha intentado evitar ciertos elementos que pueden ser recurrentes, que se pueden trasvasar de un espacio a otro, para obtener un abanico más variado de actuaciones. No obstante, es inevitable constatar la existencia de ciertas referencias, analogías o comparaciones, y la necesidad de una búsqueda de los elementos en común entre las diferentes actuaciones. Por lo tanto, es necesario sintetizar todas las conclusiones parciales obtenidas para ofrecer una visión de conjunto que, mediante un entramado lógico, permita sugerir las formas de algo intangible como es el sonido del espacio eclesial.

Así pues, las conclusiones las podemos dividir en tres apartados:

- Adecuación de la metodología acústica. Se pretende establecer el contraste entre las mediciones acústicas efectuadas in situ y los parámetros acústicos obtenidos mediante el empleo de los modelos informáticos, para determinar la validez de esos modelos en la acústica de iglesias.
- Adaptación de las intervenciones al uso previsto. Constatar, de una forma general, la idoneidad de las actuaciones realizadas en las iglesias a los usos previstos, detectando las principales deficiencias acústicas existentes en estos espacios.
- Instrumentos de intervención acústica en iglesias. No se trata de proponer estrategias, reglas que aseguren una óptima resolución del problema, sino sugerir pautas, relaciones y formas de intervención en estos espacios. Como define Moreno Mansilla "Más allá del valor estético, interesa el hecho de presentar una vía incierta que trata de recuperar la sensación frente a lo real en el tiempo, por encima del valor de la estrategia, pues aquí se vuelve la mirada hacia una realidad que cambia con el tiempo, con la luz, con la textura, con el sonido, con el aire que se hace presente, que se sucede, con el acontecimiento²".

ADECUACIÓN DE LA METODOLOGÍA ACÚSTICA.

Aunque la muestra de iglesias consideradas no es cuantitativamente suficiente para poder establecer un correcto contraste entre la adecuación de los parámetros acústicos obtenidos mediante el empleo de los modelos informáticos, para la hipótesis de estado actual, la medición in situ y los valores considerados como óptimos, es posible establecer una serie de patrones que verifiquen la idoneidad de la metodología utilizada, que debería ser ratificada con una muestra mayor de iglesias de diferentes estilos.

Tiempo de reverberación.

La utilización de la fórmula de Sabine se considera adecuada para la estimación del tiempo de reverberación en iglesias, pero debe tenerse en cuenta la existencia de espacios acoplados³, ya que esta formulación no considera dichos espacios, a menos que las razones de decaimiento sean semejantes⁴.

Existe un comportamiento acústico específico de los espacios acoplados en el espacio eclesial, pero no existe un algoritmo que determine si dos espacios están acoplados. Para conocer si dos espacios se encuentran acústicamente acoplados se recurrirá a la combinación de dos métodos, uno geométrico y otro energético:

- Se pueden considerar efectos de acoplamiento si el área de la superficie virtual de separación entre los espacios acoplados es sustancialmente más pequeña que el área total de las paredes del volumen acoplado⁵. Por lo tanto, uno de los principales parámetros a tener en cuenta será la profundidad del espacio acoplado, así como las dimensiones de la superficie virtual de separación⁶.
- El estudio de las curvas de decaimiento, a partir del método de integración inversa de Schroeder, permite saber si dos espacios se encuentran acoplados, pero en espacios complejos, puede llegar a ser difícil determinar el número de razones de decaimiento existentes. El empleo de la teoría probabilística bayesiana, propuesto por Xiang y Goggans⁷, proporciona un método más eficaz para la evaluación del tiempo de decaimiento en espacios acoplados ya que puede proporcionar una estimación cuantitativa de cuántas razones de decaimiento existen en una función de Schroeder. En general el diferente decaimiento de energía sonora, en cada espacio, depende del área de acoplamiento, la energía sonora y la localización de la fuente sonora y el receptor.

Se constata que las iglesias con espacios acoplados presentan una significativa reducción del tiempo de reverberación, respecto al calculado teóricamente considerando el volumen total de la iglesia.

Los coeficientes de absorción sonora de las superficies virtuales, que separan el volumen principal con estos espacios acoplados, vienen determinados por varios factores:

- La posición relativa del espacio acoplado respecto a la fuente, es decir, depende de la dirección con la que el sonido penetra en el volumen acoplado.

- El volumen del espacio acoplado en relación con el volumen del espacio principal.
- La absorción sonora que presente el espacio acoplado.

La determinación del coeficiente de absorción sonora de la superficie virtual debe realizarse a partir de la medición acústica in situ en cada iglesia, como lo demuestra la variedad de valores obtenidos en función de los factores anteriormente mencionados, con valores a medias frecuencias que varían entre $\alpha = 0.21$, en la capilla de Villaviciosa, $\alpha = 0.68$, en la capilla de la Soledad de Priego y $\alpha = 0.99$, en la catedral de Córdoba⁸.

La formulación del tiempo de reverberación óptimo, tanto para la música como para la palabra, propuesta por Beranek⁹ se considera adecuada, según nuestro criterio, ya que los valores obtenidos responden a criterios generales y se corroboran con apreciaciones obtenidas en algunas de las iglesias estudiadas cuando se destinan a dicho usos.

Distribución sonora.

En general existen ligeras variaciones entre los niveles sonoros medidos y los simulados en los diferentes puntos, con diferencias medias no superiores al 8%.

El análisis del campo acústico, comparando los niveles sonoros en función de la distancia, muestra un comportamiento general alejado del modelo clásico, y más cercano, aunque algo inferior al establecido por la teoría revisada de Barron y Lee (variación máxima de -1.7 dB/10 m respecto al modelo de Barron en la Capilla de Villaviciosa), con una mayor atenuación del nivel sonoro con la distancia, fruto de la menor difusión sonora existente en estos espacios.

La sonoridad es superior al valor establecido por Beranek¹⁰, como cabría esperar de estos espacios reverberantes, dado que el margen de valores que este autor ofrece son fruto de un proceso empírico sobre salas de concierto de volumen superior a 10000 m³, en las que existe una mayor superficie ocupada por el público y un menor campo reverberante. En concreto, los valores obtenidos de la sonoridad son superiores a los 10 dB, con la iglesia vacía, con valores que aumentan al disminuir el volumen de la iglesia, siendo para los grandes volúmenes, cuando los valores de sonoridad se encuentran dentro del entorno establecido por Beranek, debido a la disminución del nivel de sonido reverberante.

Inteligibilidad.

La comparación de los valores del índice RASTI, medido in situ y simulado por ordenador muestran, de forma generalizada, valores medios simulados inferiores (del orden de un 10%), debido a las pequeñas variaciones obtenidas en la caída del nivel sonoro, y a la influencia del sonido reverberante sobre la inteligibilidad¹¹.

Otros parámetros.

Las relaciones obtenidas entre dimensiones de la iglesia y aforo suelen ser superiores a los valores recomendados, como consecuencia de la menor superficie ocupada por la audiencia en relación con otro tipo de salas y el

importante volumen de estos espacios. Se pueden mantener estos valores recomendados como referentes a la hora de afrontar la intervención, pero teniendo en cuenta que se puede obtener una correcta adecuación acústica con valores sensiblemente superiores a los recomendados.

Se puede concluir que las pequeñas dispersiones existentes en algunos parámetros, entre la medición in situ y la simulación informática, obtenida con el programa CATT-Acoustic, se debe a que este programa está más adaptado para teatros y salas de concierto que para iglesias. No obstante, la mayoría de los parámetros acústicos en iglesias pueden ser calculados en la fase de diseño mediante programas informáticos de simulación acústica con pequeñas matizaciones.

ADAPTACIÓN DE LAS PROPUESTAS DE INTERVENCIÓN AL USO PREVISTO.

Estos espacios, sin ocupación de público, suelen presentar un tiempo de reverberación a medias frecuencias superior a 2.5 segundos, lo que se traduce, generalmente, en la necesidad de disminuir el tiempo de reverberación de la iglesia para adaptarlo a los óptimos, en función del uso previsto, y buscar un adecuado equilibrio tonal, que garantice el brillo y la calidez necesaria de la música. No obstante, en la mayor parte de los casos, a pesar de la corrección acústica efectuada, el espacio eclesial mantiene su carácter reverberante, por lo que el público debe acostumbrarse a este tipo de acústica, en la que se debe reconocer y apreciar la diferente sensación de espacialidad de la música¹².

En grandes espacios, la importante absorción sonora debida al aire, a altas frecuencias, es la causante de los bajos valores de brillo, por lo que el sonido en estos espacios carece de una adecuada riqueza en armónicos.

Las grandes dimensiones de estos espacios, y la búsqueda de uniformidad sonora, hacen necesario aumentar los niveles sonoros, principalmente en los puntos más alejados de la fuente donde la atenuación sonora es mayor. Así mismo, deben mejorarse los valores de intimidad acústica y la difusión sonora en la zona de audiencia.

Los valores de claridad musical que presentan estos espacios suelen estar dentro del margen recomendado, excepto para espacios con una elevada reverberación.

Al afrontar una intervención sobre una iglesia para adaptarla principalmente al uso musical, parece subyacer, en un primer momento, el viejo secreto pitagórico de que la música y la arquitectura son una misma cosa, por lo que la permanencia de la arquitectura garantiza la primera. Pero las actuaciones musicales, que las iglesias acogen, se enmarcan dentro del gusto musical actual, marcado por el placer estético. Existe por lo tanto una clara diferencia entre los requerimientos musicales que proporcionaban las iglesias en su época y los exigidos en la actualidad, ya que en otras épocas los valores musicales y la función musical eran distintos, pues cada época construye, espacios adecuados para la música de su tiempo¹³.

Así pues, generalmente los espacios eclesiales son adecuados para la interpretación de música de órgano, litúrgica y coral, sin necesidad de intervención sobre ellos, mientras que con una adecuada corrección acústica, pueden llegar a ser adaptados a las necesidades de la música de cámara, orquestal o sinfónica.

En el caso de utilización del espacio eclesial para uso teatral, el principal objetivo acústico es obtener una óptima inteligibilidad de la palabra y una elevada sonoridad.

La iglesia es un espacio reverberante, poco apto por lo tanto para la palabra que necesita una menor reverberación, siendo necesario incorporar una importante cantidad de absorción sonora. Por ello, resulta difícil obtener un adecuado tiempo de reverberación para la palabra en espacios con un volumen superior a 3000 m³.

Además, se constata que cuando se obtienen unos valores del tiempo de reverberación cercanos a los óptimos para el uso de la palabra, una vez efectuada la corrección acústica, y una inteligibilidad que se puede calificar incluso como "buena", con valores del índice RASTI superiores a 0.60, los valores de definición son inferiores a los recomendados, debido al alto nivel de sonido reverberante, por lo que será necesario aumentar el nivel sonoro en este tipo de espacios para obtener una correcta inteligibilidad.

Tanto para el uso musical como el teatral, debe garantizarse un adecuado nivel de ruido de fondo. Este proviene principalmente del exterior, dada la debilidad de aislamiento acústico de las superficies vidriadas y puertas de acceso, pero también existe una componente interna del ruido de fondo a causa del sonido reverberante, por lo que se deberá actuar de forma adecuada sobre estos elementos.

INSTRUMENTOS DE INTERVENCIÓN ACÚSTICA EN IGLESIAS.

Este apartado es de especial interés en una tesis de estas características, dado su enfoque hacia el campo de la aplicación a la práctica profesional de la rehabilitación arquitectónica. Por ello, y con objeto de servir de guía a otros arquitectos, se presentan estos instrumentos justificados mediante un mínimo resumen del "saber hacer" tradicional de la acústica. Con ello resulta más fácil explicar los distintos instrumentos utilizados y se aporta un esquema de conducta a la hora de intervenir sobre el espacio eclesial.

Las actuaciones arquitectónicas serán de diferente naturaleza en cada elemento de la iglesia. Se ha optado por establecer cuatro grupos de actuaciones.

Actuaciones relacionadas con la ubicación de la fuente sonora.

En general las actuaciones realizadas sobre iglesias, para adaptarlas a usos culturales, mantienen la tradición de la direccionalidad espacial, al disponer la fuente sonora en el eje longitudinal del espacio: presbiterios, coros..., por lo que los espacios son acústicamente simétricos.

La especial atmósfera y esplendor que suelen presentar los presbiterios conlleva el empleo de éstos como escenario de las representaciones musicales y teatrales.

Los presbiterios deberían funcionar como amplificadores del sonido, por lo que las paredes, techo y suelo deben ser reflectantes. Las actuaciones sobre este elemento se pueden agrupar en dos familias:

- Aquéllas que definen un objeto en medio del presbiterio. El centro lo ocupa el objeto, entendido como instrumento escénico. Su empleo surge en grandes espacios, cuando existen escasas reflexiones laterales, y se detecta una falta de intimidad acústica. Así, un baldaquino puede pasar de ser una construcción definida por su simbolismo a definirse por su necesidad; de objeto ornamental a objeto útil. La disposición de un baldaquino en la catedral de Córdoba favorece el aumento de primeras reflexiones, la intimidad acústica y disminuye las reflexiones tardías desde la bóveda del altar mayor.
- Aquéllas que definen un nuevo escenario, a partir de elementos envolventes. En este caso el centro lo ocupa el vacío, el presbiterio se convierte en un escenario rediseñado. La incorporación de panelados de madera, mediante el empleo de resonadores de membrana, recuperando los retablos perdidos, solución empleada en Sta. María de la Mota de Montoro, Santiago de Dos Torres y Sta. María la Mayor de Baena; el cierre lateral con vidrio del presbiterio en la capilla de Villaviciosa o la concha acústica de la iglesia de San Juan de Dios de Montilla, son elementos que, incorporando un adecuado diseño, aumentan tanto las primeras reflexiones como el nivel sonoro y favorecen la difusión del sonido en la nave de la iglesia.

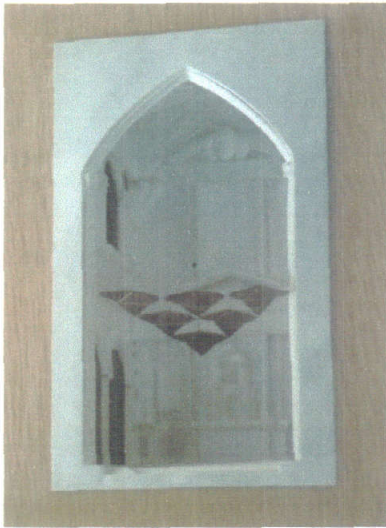


Fig. 10.1. Baldaquino altar mayor.
Catedral de Córdoba.

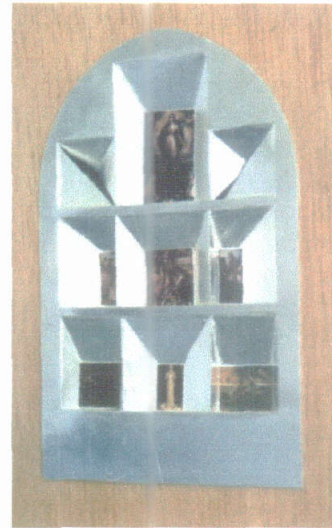


Fig. 10.2. Retablo en el presbiterio de
Sta. María la Mayor. Baena.

Otra opción de disposición de la fuente sonora es en los coros, situados en los pies de las iglesias, que presentan la ventaja de estar elevados sobre la audiencia. Las superficies del coro deben ser igualmente reflectantes, evitando la situación del coro en techos bajos. Los techos del orden de 6 a 9 metros son los más adecuados para proporcionar una mezcla de los sonidos y sus reflexiones y dirigir el sonido adecuadamente a la audiencia¹⁴.

Ha de tenerse en cuenta la capacidad de producción de energía de la fuente sonora, principalmente del grupo instrumental, que debe corresponderse con la capacidad de absorción del espacio, dado el carácter reverberante que suelen presentar las iglesias, ya que el aumento de nivel sonoro de la fuente, no siempre implica una mejora de la inteligibilidad y de la claridad musical.

Actuaciones sobre el área de audiencia.

El área de audiencia es la superficie que tiene mayor influencia sobre el tiempo de reverberación en una iglesia. El carácter polifuncional, así como la continuidad espacial interior, tanto para uso cultural como litúrgico, hacen recomendable el empleo de sillas ligeras, que se puedan quitar con facilidad, frente a las posiciones más estáticas de los tradicionales bancos¹⁵. La absorción sonora del público sentado en sillas aumenta en proporción directa con la superficie que ocupan, independientemente del número de sillas existentes en dicha superficie.

En caso de disponerse butacas fijas o graderíos mecanizados desplegable, se deberían utilizar butacas con al menos un porcentaje medio de superficie tapizada, de forma que la absorción de éstas sea similar a la que producen las personas sentadas, con lo cual no existirá variación de absorción sonora en función del grado de ocupación. La disposición de graderíos o anfiteatros, como el propuesto en la catedral de Córdoba, favorece la disminución del tiempo de reverberación pues supone una disminución volumétrica y un aumento de la absorción sonora.

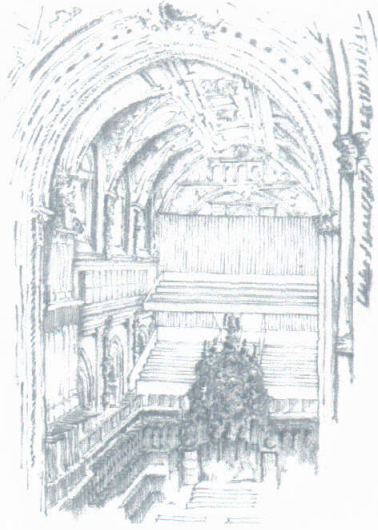


Fig. 10.3. Anfiteatro en la catedral de Córdoba.

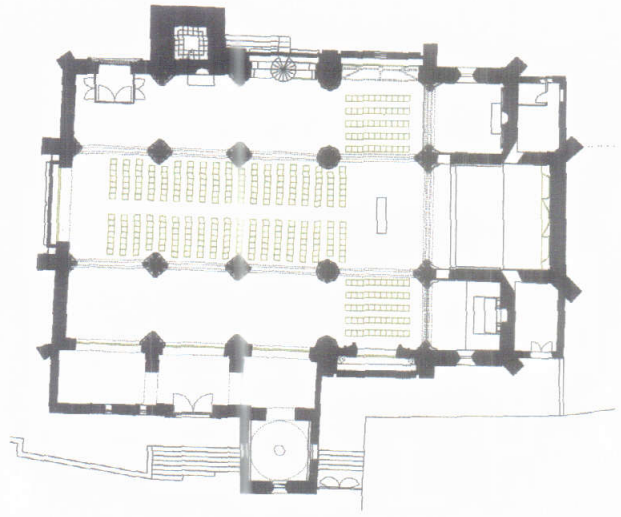


Fig. 10.4. Fuente en primer vano de nave .
Sta. María la Mayor. Baena.

Uno de los principales objetivos debe ser acercar la audiencia a la fuente. Las máximas distancias entre la fuente y la audiencia¹⁶, sin intervención electroacústica, se establecen en 20 m para la palabra y 30 m para la interpretación musical, distancia que se puede ampliar a 40 m en el caso de audiencia dispuesta en coros, galerías, etc... siempre y cuando las paredes y el techo proporcionen primeras reflexiones al público allí sentado.

A mayores distancias suele existir una importante atenuación del nivel sonoro, superior a la propuesta por el modelo de Barron, y una pérdida de sonoridad, inteligibilidad y claridad musical. En iglesias de mayores dimensiones, se puede optar por desplazar la fuente sonora desde el presbiterio al primer vano de la nave o al crucero (catedral de Córdoba y Sta. María la Mayor de Baena), de forma que se garantice una adecuada calidad sonora a toda la audiencia.

La zona de audiencia debe disponerse de modo que se produzca una correcta visibilidad, y que el sonido directo llegue a todos los espectadores, ya que dados los elevados niveles de sonido reverberante, la impresión subjetiva de espacialidad del sonido dependerá de la adecuada localización de la fuente sonora¹⁷.

Actuaciones sobre el contorno: espacios acoplados y complementarios.

En los espacios eclesiales, existe una serie de agrupaciones espaciales que, en ocasiones, genera una cierta complejidad espacial. Así, al volumen principal se le anexionan de espacios secundarios, como pueden ser capillas, camarines, sagrarios, coros y sotocoros, capillas laterales, etc. Acústicamente es de especial importancia la valoración de estos espacios, pues se trata de espacios que se configuran por resonancia, se expresan merced a la amplificación o al intercambio de energía con el espacio principal.

Estos espacios, acústicamente, pueden ser espacios acoplados o anexos al espacio principal, influyendo notablemente en el tiempo de reverberación del volumen principal. Si el espacio es semireverberante actúa como la caja de resonancia de un instrumento, aumentando el nivel sonoro en el espacio principal. En cambio si es reverberante, actúa como un excitador incontrolado.

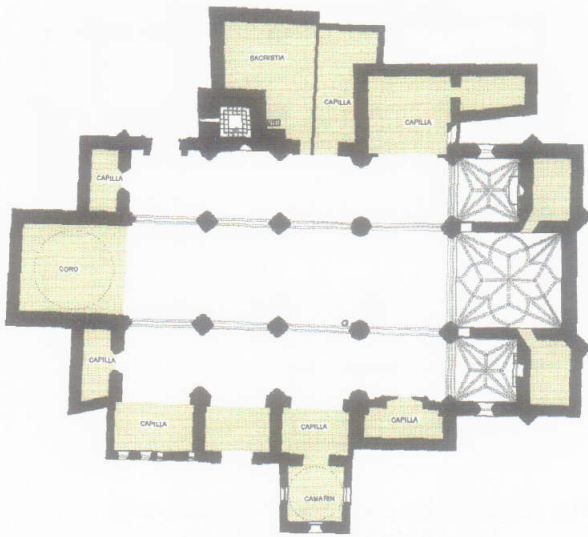


Fig. 10.5. Espacios secundarios en la iglesia de Sta. María la Mayor, Baena (anterior a 1936).



Fig. 10.6. Cilindros absorbentes en el coro de San Pedro. Priego.

La existencia de espacios acoplados al espacio principal y su grado de acoplamiento, junto con la cantidad de sonido difuso, da lugar a un notable aumento de la absorción sonora, especialmente significativo en grandes espacios.

Por el contrario, si los espacios adyacentes se encuentran vinculados acústicamente al volumen principal, existe una transferencia de energía entre éstos y el volumen principal, que puede suponer un aumento del tiempo de reverberación. Es pues necesario acometer el tratamiento de estos espacios, rescatándolos de un segundo plano. Son espacios que se explican desde su complementariedad, de subordinación al espacio principal. En el caso de repercutir desfavorablemente sobre el volumen principal, se pueden realizar diversas operaciones sobre estos espacios:

- Aumento de la absorción sonora en ellos, para disminuir la energía que transfieren al espacio principal y por lo tanto disminuir el tiempo de reverberación global. Así, por ejemplo, se aumenta la absorción sonora en los coros, con el despliegue de butacas tapizadas, en las iglesias de Santiago de Dos Torres y de San Juan de Dios de Montilla, o la disposición de cilindros absorbentes en San Pedro de Priego. En esta última iglesia, se aumenta la absorción sonora en sus capillas laterales incorporando resonadores.
- Segregación volumétrica respecto del espacio principal, que se puede realizar mediante un cerramiento de vidrio, como en la capilla de la Virgen de los Dolores de la iglesia de la Magdalena de Córdoba o de la nave sur de Sta. María la Mayor de Baena, con lo que se disminuye el volumen total de la iglesia y, por lo tanto, el tiempo de reverberación. Esta opción presenta la ventaja de no afectar a la variación del nivel sonoro y, en ocasiones, aumentar las primeras reflexiones.

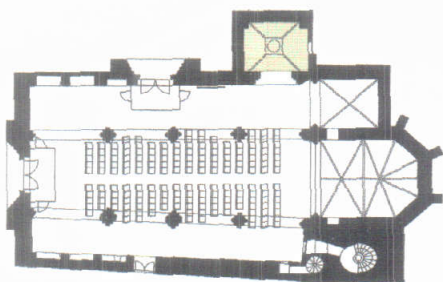


Fig. 10.7. Segregación capilla de los Dolores.
Iglesia de la Magdalena. Córdoba.

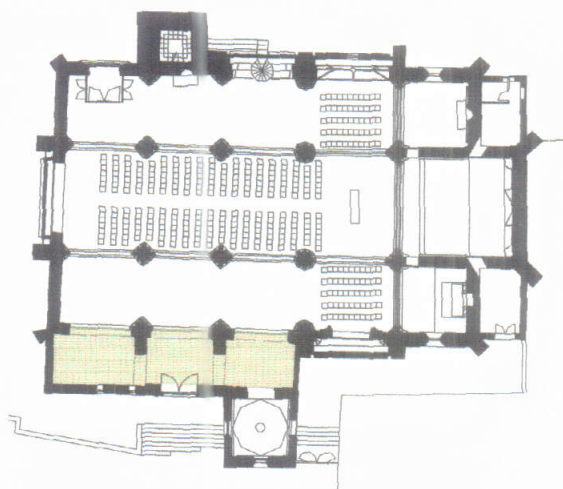


Fig. 10.8. Segregación nave sur.
Sta. María la Mayor. Baena

Actuaciones sobre las superficies límite.

Una vez definida la situación de la fuente, disposición de la audiencia y tratamiento de espacios complementarios, la actuación sobre el resto de las superficies interiores de la iglesia será la que cualifique acústicamente de forma definitiva el espacio.

Cabe hacer mención, cuando se aborde una intervención sobre una iglesia, a la necesidad de recuperar la costumbre de decorar estos espacios. Esta decoración debe partir del interés por las posibilidades estéticas y por el nuevo valor que pueden adquirir materiales corrientes sacados de su contexto habitual.

En el tratamiento de las superficies interiores se han de tener en cuenta varios factores:

- Generación de primeras reflexiones. Reflectores.

Dada la elevada altura de los techos, tanto de la nave como del presbiterio, son las paredes laterales las que suelen proporcionar las primeras reflexiones necesarias. El incremento de primeras reflexiones, principalmente sobre los puntos más alejados de la fuente sonora, se conseguirá mediante el uso de reflectores. La adecuada situación de estos reflectores, que proporcionen un correcto ángulo de incidencia del sonido, se puede obtener mediante la acústica de rayos y la simulación informática.

Estas superficies reflectoras se dispondrán, con una adecuada inclinación, en las partes inferiores de las paredes laterales y en las superficies del fondo de la nave, disposición utilizada en la iglesia de Sta. María de la Mota de Montoro con las vitrinas oblicuas de vidrio. Esta solución, además, favorece la eliminación de problemas de eco aflautado. Otra opción es mediante elementos colgados, a modo de lámparas, de forma que las reflexiones se orienten hacia el público, solución adoptada en la iglesia de Santiago de Dos Torres.

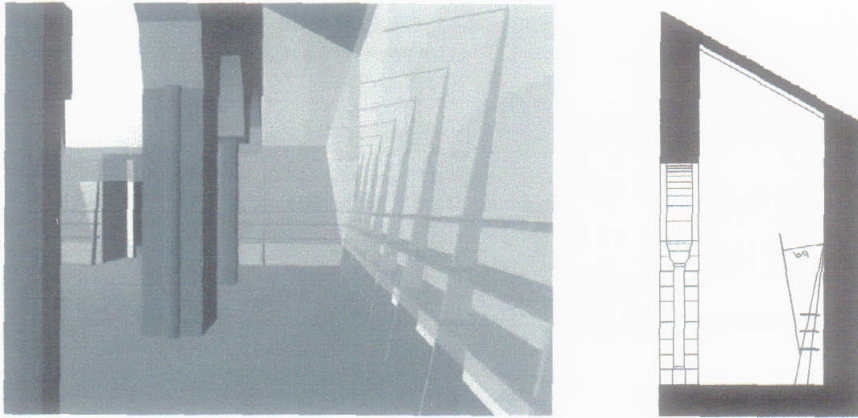


Fig. 10.9. Vitrinas reflectoras. Iglesia de Santa María de la Mota. Montoro.

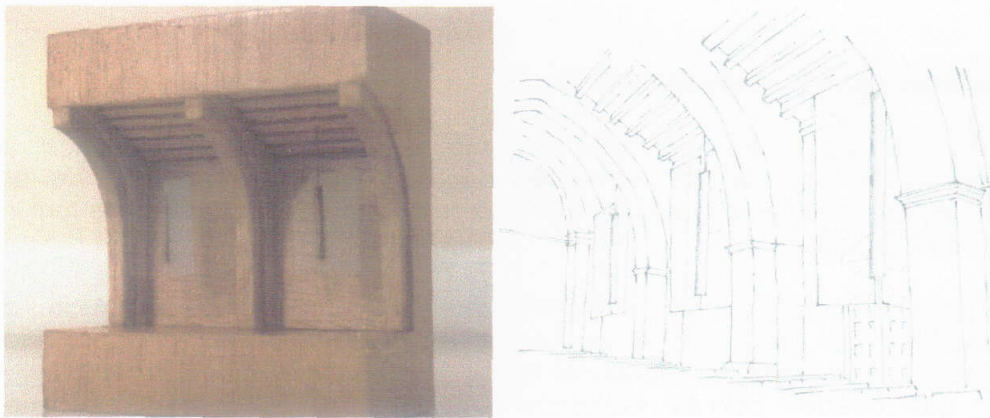


Fig. 10.10. Lámparas reflectoras. Iglesia de Santiago. Dos Torres.

Las reflexiones se pueden obtener mediante varios tipos de reflectores:

- Reflectores planos. La reflexión es especular y pueden generar problemas de coloración o de desplazamiento de la fuente sonora.
- Reflectores curvos. Existe una mayor dispersión del sonido abarcando una mayor zona de cobertura. Su radio de curvatura debe ser mayor de 5 m, ya que, para radios menores, el elemento deja de actuar como un reflector y se comporta más como un difusor del sonido¹⁸.

El empleo de reflectores favorece la intimidad acústica y el aumento del nivel sonoro. Las dimensiones de los reflectores deben ser acordes con la longitud de onda de la frecuencia del sonido incidente. La forma de sujeción es por suspensión, o mediante unas estructuras rígidas. Esto, junto con el material empleado, debe favorecer que no exista pérdida de energía, por lo que resultado adecuado el empleo de vidrios, panelados de madera y metálicos.

■ Elementos absorbentes.

El principal problema de absorción sonora, en los espacios eclesiales, se plantea para las bajas y medias frecuencias, pues, dado el importante volumen de estos espacios, suele existir una notable absorción sonora a altas frecuencias debida al aire.

Con el incremento de la absorción sonora se obtiene un tiempo de reverberación más acorde con el uso previsto en el espacio, así como una prevención de los posibles ecos. En general, es preferible el empleo de tratamientos absorbentes poco selectivos, es decir, con valores de coeficientes de absorción semejantes a todas las frecuencias, de modo que no se modifique sustancialmente el timbre del sonido después de cada reflexión.

Ha de tenerse en cuenta que el coeficiente de absorción sonora disminuye al aumentar el tamaño del material, por lo que es preferible fraccionar la absorción en diferentes superficies, al prevalecer de este modo la incidencia oblicua del sonido. Los materiales absorbentes se han de disponer de forma que no interfieran la generación de primeras reflexiones, teniendo en cuenta, además, que existe una mejora de absorción sonora disponiendo los materiales absorbentes en las proximidades de los ángulos, esquinas y aristas.

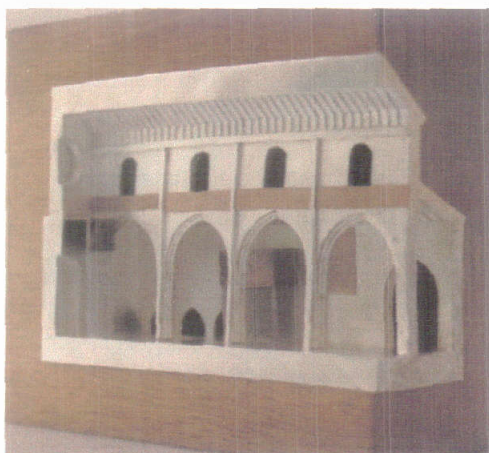


Fig. 10.11. Paneles de lana de roca.
Iglesia de la Magdalena. Córdoba.

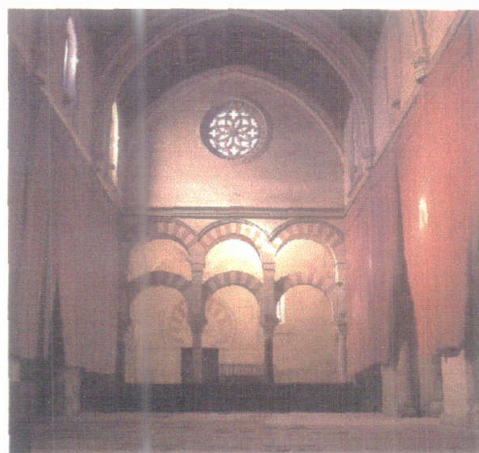


Fig. 10.12. Cortinas en los intercolumnios.
Capilla de Villaviciosa. Córdoba.

Los principales sistemas de absorción sonora son:

- El uso de materiales porosos, fibra de vidrio o lana mineral, detrás de una superficie transparente al sonido, tela o plástico, proporciona una notable absorción a medias y altas frecuencias. Si se monta sobre una cámara de aire (paneles de lana de roca de la iglesia de la Magdalena de Córdoba) existe un incremento de absorción sonora a bajas frecuencias, por lo que es un tratamiento adecuado para estos espacios.

Igual sucede con el empleo de cortinas, que producen absorción a altas frecuencias. El aumento del peso y los pliegues de la tela aumenta la absorción sonora y suaviza la curva de absorción. Si se dispone una cámara de aire tras la cortina, se consigue aumentar la absorción a bajas frecuencias. Este es el método utilizado en el barroco para la ornamentación de las iglesias en las grandes celebraciones. Se pueden disponer en los fondos o laterales de las naves (iglesia de Santiago de Dos Torres, San Pedro de Priego o San Juan de Dios de Montilla), así como en los intercolumnios, separando la nave central de las laterales, como en la capilla de Villaviciosa.

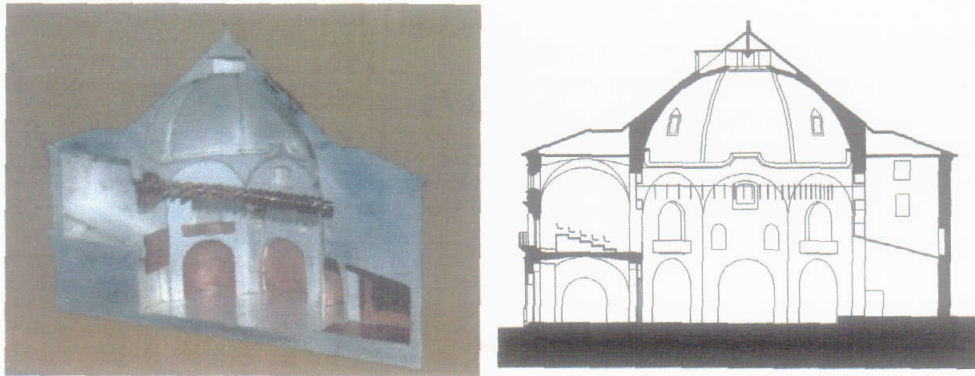


Fig. 10.13. Celosía de baffles lana mineral. Iglesia de San Juan de Dios. Montilla.

El uso de material absorbente suspendido del techo, puede ser de gran utilidad en casos de prevención de focalizaciones (celosías de baffles en la cúpula de San Juan de Dios de Montilla), o para aumentar la absorción de espacios complementarios (cilindros absorbentes en el coro de San Pedro de Priego). Para ello se puede recurrir, como en los ejemplos anteriores, al uso de elementos de lana mineral comprimida, o bien toldos. En este caso debe tenerse en cuenta que los toldos horizontales, en función de su composición, pueden ser acústicamente permeables y, en consecuencia, no producen una segregación del volumen de la zona superior¹⁹.

- La utilización de materiales elásticos, como los resonadores de membranas, permite ajustar la frecuencia a la que se desea una absorción máxima, mediante la adecuada elección del panel, su peso y espesor, además del espesor de la cámara de aire o del espesor del material absorbente de la cámara. La utilización de membranas mejora sensiblemente las condiciones acústicas de las iglesias al aumentar la absorción sonora para los sonidos graves. La dimensión del resonador de membrana ha de ser al menos una cuarta parte de la longitud de onda del sonido incidente²⁰. Los techos de madera y la disposición de panelados de madera en el presbiterio, como analogía de los retablos perdidos, son claros ejemplos de resonadores de membrana.
- Los resonadores múltiples de cavidad (panel de material no poroso y rígido con perforaciones montado a una distancia de un paramento) proporcionan una notable absorción sonora a bajas y medias frecuencias. El grado de absorción sonora aumenta a todas las frecuencias, cuando la cavidad se rellena parcial o totalmente con material absorbente, con una disminución de la frecuencia de resonancia. Si el absorbente se coloca detrás del panel, la absorción es menos selectiva, y se hace más selectiva cuando el absorbente se coloca en la pared rígida.

Para conseguir un comportamiento más parejo, con un material absorbente, se pueden utilizar perforaciones de diferentes dimensiones, variar la distancia del panel a la pared o aumentar el porcentaje de perforación.

Las paneles perforados o ranurados de los resonadores múltiples de cavidad pueden ser de madera, cartón-yeso, chapa metálica²¹ o ladrillo.

Su ubicación es variable, pudiéndose disponer incorporados en cancelas, como en la iglesia de la Magdalena de Córdoba, en cajas de madera,

como las situadas en las cornisas de la catedral de Córdoba, o como paneles móviles, como en los arcos de separación de las capillas laterales de la iglesia de San Pedro de Priego. Es aconsejable su disposición en superficies que puedan generar problemas de distribución sonora. Así, el panel de fondo de la capilla de Villaviciosa reduce el nivel sonoro de la cola reverberante, y su disposición en las exedras de San Juan de Dios de Montilla mitiga los efectos de reflexiones retardadas provocados por estas superficies.

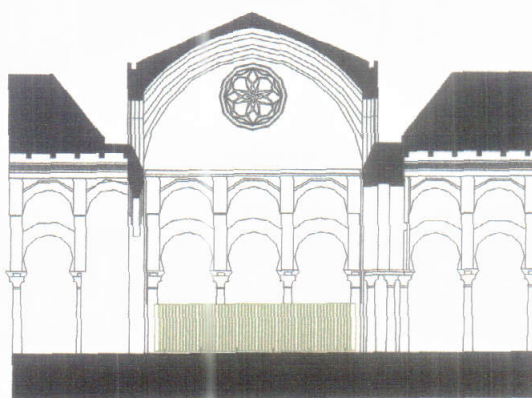
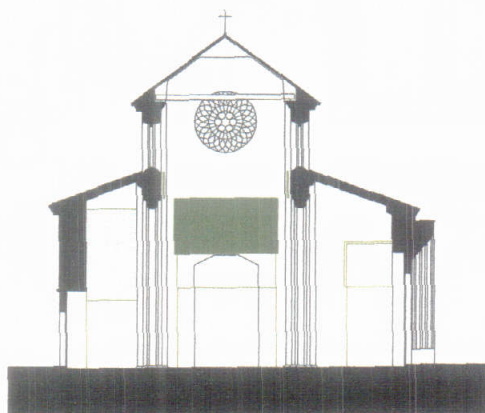


Fig. 10.14. Resonador múltiple en cancel. Iglesia de la Magdalena. Córdoba. Fig. 10.15. Resonador múltiple en fondo de nave. Capilla de Villaviciosa. Córdoba.

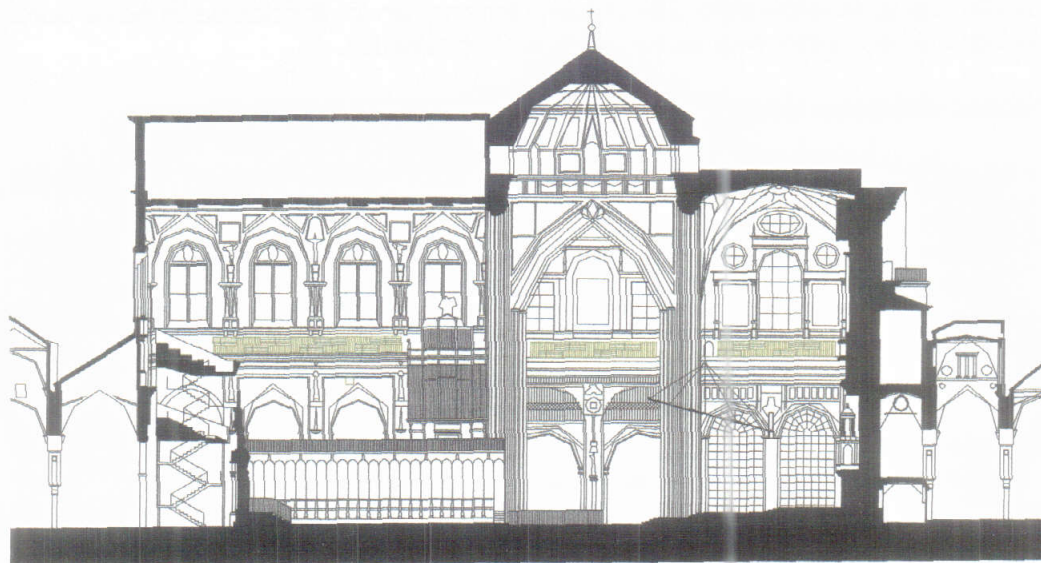


Fig. 10.16. Resonador múltiple situado en las cornisas de la Catedral de Córdoba.

Los resonadores de listones (conjunto de listones montados a una distancia de una pared rígida), presentan un comportamiento similar al resonador múltiple de cavidad a base de paneles: embocaduras de capillas y coro desaparecidos, así como en la bóveda de madera de la iglesia de Sta. María la Mayor de Baena.

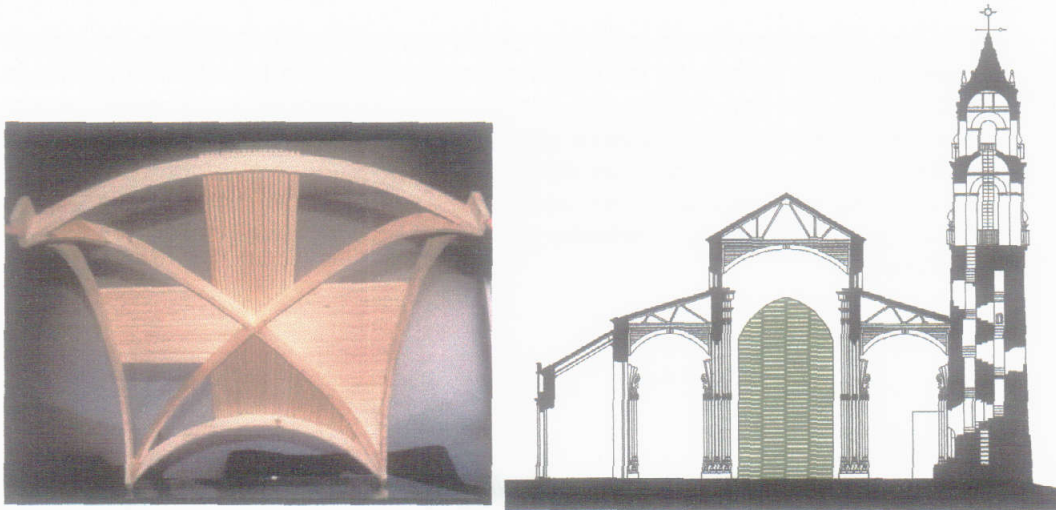


Fig. 10.18. Resonadores de listones: bóveda y embocaduras de capillas. Santa María la Mayor. Baena.

■ Difusión del sonido.

En general es especialmente importante obtener una óptima difusión del sonido cuando el uso requerido sea el musical, siendo irrelevante para el uso teatral. No obstante, en las iglesias es siempre conveniente disponer una adecuada difusión, ya que de esta forma se evita la atenuación del nivel sonoro con la distancia. Además, los elementos difusores evitan el eco y equilibran la reverberación. Se deben disponer en los fondos de la nave para evitar que el sonido retorne con retardos importantes.

Existen diferentes formas de conseguir difusión sonora:

- La existencia de ornamentación, nichos, irregularidades y relieves de las superficies provoca un notable incremento de la difusión²².
- El empleo de materiales absorbentes que se distribuyen por la iglesia, preferiblemente en paneles o bandas, proporcionan una adecuada difusión del sonido y aproximadamente el mismo nivel sonoro en todos los puntos. Así mismo, el empleo de membranas proporciona sonido difuso, para las frecuencias en las que no hay absorción sonora.
- Disposición de reflectores curvos de radio inferior a 5 m, que suelen ser de madera.
- Los difusores de Schroeder o difusores QRD, que pueden ser unidireccionales o bidireccionales. Los primeros presentan ranuras paralelas de igual anchura y distinta profundidad separadas por divisores delgados y rígidos. Si el difusor es vertical crea difusión en el plano horizontal (antepechos del anfiteatro de la catedral de Córdoba), mientras que si la disposición es horizontal, la difusión es vertical. Con los difusores bidireccionales se obtiene una óptima difusión en todas las direcciones (lámparas de la iglesia de Santiago de Dos Torres). Estos elementos, además de mejorar el campo difuso, disminuyen el tiempo de reverberación al aumentar la absorción sonora.

■ Aislamiento sonoro.

El problema de elevados niveles de ruido de fondo en las iglesias proviene por un deficiente aislamiento acústico, principalmente de las superficies vidriadas y puertas de acceso con el exterior. Se recomienda una carpintería que se

acople a la piedra y garantice el correcto sellado de los encuentros, así como la recuperación de los cancelos, que además supone una disminución del volumen de la iglesia. Así mismo, en las iglesia de forma basilical, el uso de alfombras en las naves laterales, no sólo ayuda a aumentar la absorción sonora a medias y altas frecuencias, sino que reduce el ruido de pisadas (iglesia de Sta. María la Mayor de Baena).

Dada la versatilidad de uso que se suele exigir a estos espacios, principalmente cuando el uso es cultural, es conveniente combinar adecuadamente las actuaciones anteriormente descritas.

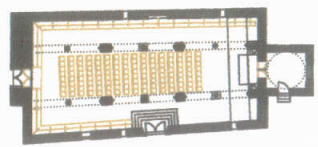
Se puede lograr una adecuada variación del tiempo de reverberación de la iglesia mediante la modificación del área de audiencia y de la absorción sonora de los espacios complementarios, junto con la variación de la absorción adicional que proporciona el tratamiento de las superficies límite.

Así por ejemplo, la modificación de plegado o recogida de las cortinas, el despliegue de materiales porosos, la variación de la apertura de los resonadores de listones o la disposición de diferentes tipos de paneles, ya sean móviles o fácilmente desmontables, se convierten en sencillos mecanismos de absorción variable.

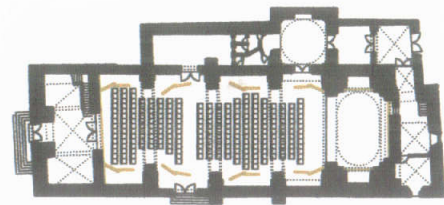
CODA.

Queremos finalizar este viaje sonoro, valorando el espacio eclesial como instrumento sonoro, como marco físico espacial válido para usos culturales, y la actuación sobre éste como permanencia del proyecto arquitectónico. Así, gracias a un adecuado proyecto arquitectónico, se puede intervenir en estos espacios, articulando la corrección acústica con otros problemas formales, estructurales, funcionales, etc..., buscando la adecuada unidad entre los elementos espaciales y los elementos sonoros, evitando la subordinación del diseño a los imperativos acústicos, buscando una unión entre la experiencia visual y sonora y utilizando adecuadamente el recurso de las referencias contemporáneas a los hallazgos del pasado.

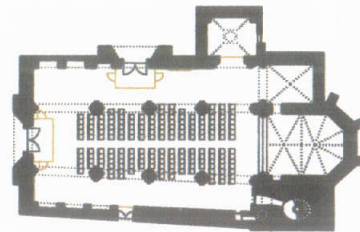
Este trabajo pretende abrir el camino a nuevas interpretaciones y actuaciones sobre el espacio eclesial, ya que la arquitectura abre el juego a otras representaciones.



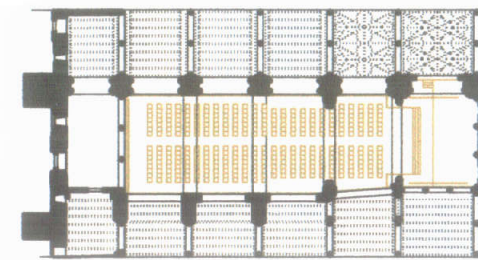
SANTA MARIA DE LA MOTA. MONTORO.



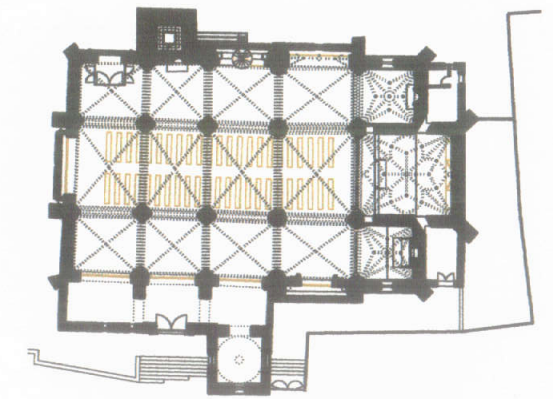
SANTIAGO. DOS TORRES.



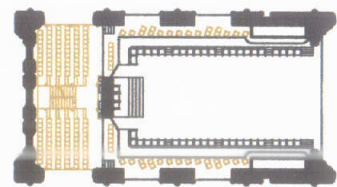
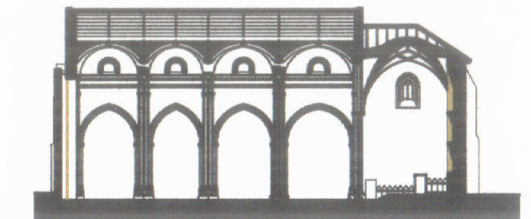
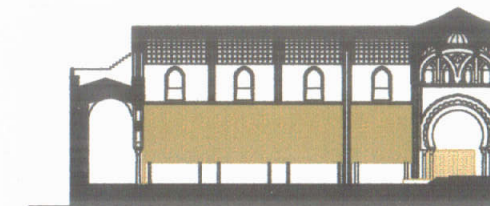
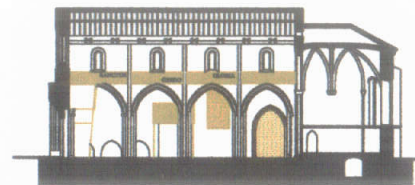
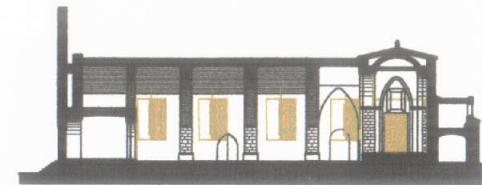
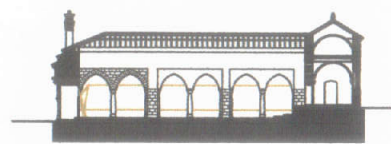
SANTA MARIA MAGDALENA. CORDOBA.



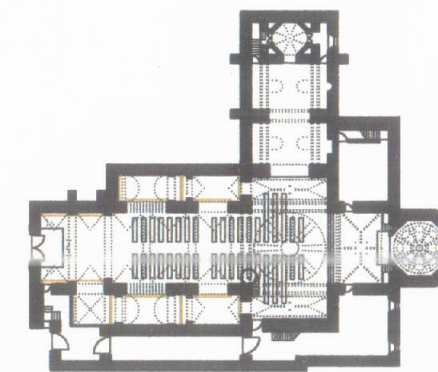
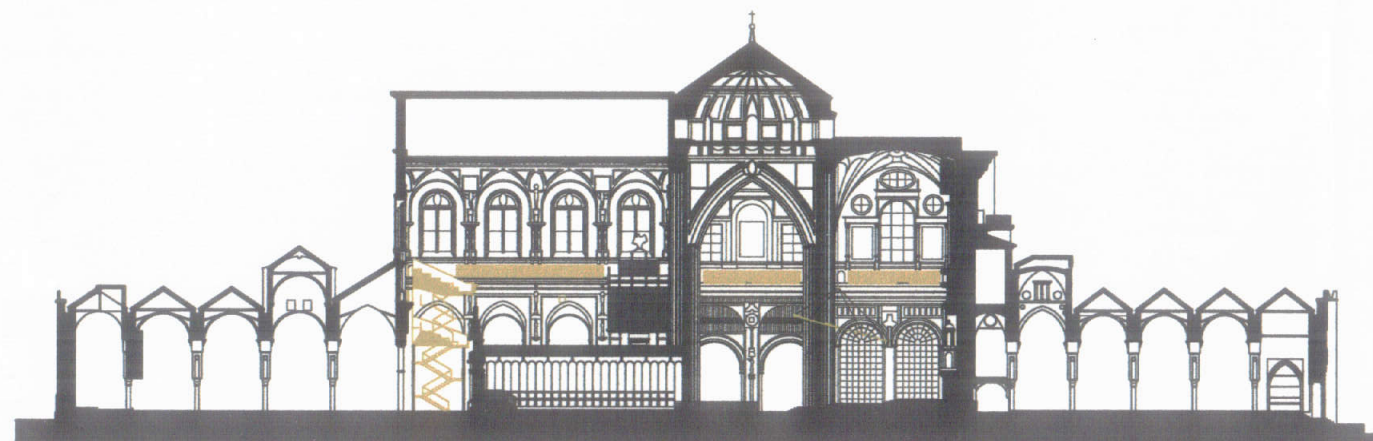
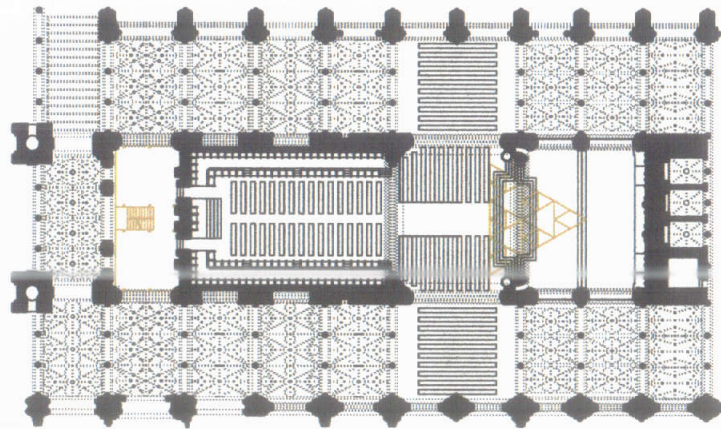
CAPILLA DE VILLAVICIOSA. MEZQUITA-CATEDRAL DE CORDOBA.



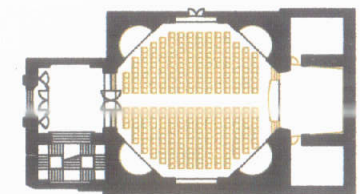
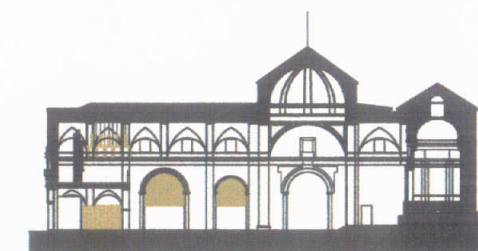
SANTA MARIA LA MAYOR. BAENA.



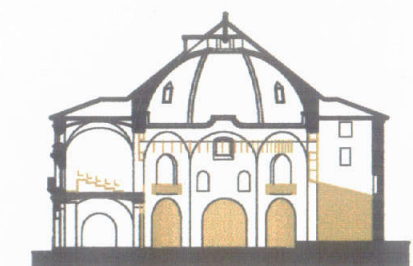
CATEDRAL DE SANTA MARIA DE LA ASUNCION. CORDOBA.



SAN PEDRO. PRIEGO DE CORDOBA.



SAN JUAN DE DIOS. MONTILLA.



NOTAS

¹ ZAMBRANO, M. "Los dos polos del silencio" citado en HERNÁNDEZ PEZZI, C. José María García de Paredes. Colegio de Arquitectos de Málaga, Málaga 1992, p. 154.

² MORENO MANSILLA, L. "Blancas juegan y ganan" en *Arquitectura española contemporánea. 1975/1990*. El Croquis, Madrid 1989, p. 197.

³ Condición confirmada en el estudio sobre 41 iglesias portuguesas de CARVALHO, A. "The use of Sabine and Eyring reverberations equations to churches" en *129th Acoustical Society of America Meeting*, Washington 1995.

⁴ Los espacios acoplados presentan unas condiciones de reverberación distintas al volumen principal, y por lo tanto diferentes curvas de decaimiento de energía sonora. KNUDSEN, V.O. y HARRIS, C.M. *Acoustical Designing in Architecture*. Acoustical Society of America, Nueva York 1988, p. 144.

⁵ KUTTRUF, H. *Room Acoustics*. Elsevier Science Publishers Ltd., Nueva York 1991.

⁶ Existen diferentes relaciones entre las dimensiones de la superficie virtual de separación y la profundidad del espacio acoplado. Así según KNUDSEN, V.O. y HARRIS, C.M. op. cit., p. 177, los espacios con una profundidad superior a dos veces la altura de la apertura con el espacio principal se consideran espacios volumétricamente independientes del espacio principal. Según CARVALHO, A. op. cit., las capillas se considerarán acopladas al volumen principal si la profundidad del volumen acoplado es mayor que 0.6 veces la anchura de la superficie virtual de separación.

⁷ XIANG, N y GOGGANS, P. "Evaluation of decay times in coupled spaces: Bayesian parameter estimation" en *Journal of the Acoustical Society of America* 110(3), September 2001, pp. 1415-1424. Estos autores parten de la teoría de Schroeder, que utiliza un modelo no lineal de regresión, aplicando un modelo lineal de Bayes de variable aleatoria uniforme, obteniendo mediante un proceso de marginalización, unas t-Student multivariadas. Como no se sabe, a priori, cuántas razones de decaimiento existen se toman los valores iniciales de la constante de decaimiento de la función de Schroeder, y mediante el muestreo de Gibbs, pasa la t-Student a un sistema normalizado, incorporando nuevos puntos, con la condición de que éstos sean máximos. El número de modas obtenido corresponderá al número de razones de decaimiento existentes. Este nuevo enfoque abre una nueva vía, de cierta complejidad numérica y de difícil implementación, pero cuya solución analítica será propuesta por los autores en posteriores trabajos.

⁸ Varios autores han tratado de determinar los coeficientes de absorción de las superficies virtuales en iglesias. Así TZEKAKIS, E. "Data on Acoustics of the Byzantine Churches of Thessaloniki" en *Acustica* 43 (1979), pp. 275-279 encuentra que las aperturas tienen un $\alpha = 0.5$ tras mediciones en ocho iglesias ortodoxas; SHANKLAND, R.S. y SHANKLAND H.K. "Acoustics of St. Peter's and patriarchal basilicas in Rome" *Journal of the Acoustical Society of America* Nº 50(2), 1971, pp. 389-396, establecen un valor α entre 0.38 y 0.67 en cuatro basílicas romanas.

⁹ Los valores del tiempo de reverberación para la frecuencia de 500 Hz son:

Música religiosa : $Tr = 0.55 \log V - 0.14$
 Palabra : $Tr = 0.33 \log V - 0.15$

La corrección en función de las frecuencias es:

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Música	1.40	1.15	1.00	1.00	1.00	1.00
Palabra	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

BERANEK, L. *Acoustics*. Acoustical Society of America, Nueva York 1993, pp. 425-426.

¹⁰ BERANEK, L. recomienda que el valor de la sonoridad para la sala vacía, obtenido como promedio de los correspondientes a las bandas de octava centrales de 500 y 1000 Hz esté situado entre $4 \leq G \leq 5.5$ dB. *Concert and Opera halls. How they sound*. Acoustical Society of America, Nueva York 1996, p. 446

¹¹ Se exceptúan los valores obtenidos en la capilla de Villaviciosa, en donde los valores RASTI obtenidos son del orden de un 10% superiores a los medidos, debido a la mayor reverberación de las naves musulmanas respecto al modelo informático.

¹² Hasta los años 90, en España no existe una tradición arquitectónica en relación con salas de concierto, ni una cultura musical acostumbrada a escuchar en recintos reverberantes. La música se ha escuchado en recintos propios para la palabra, con una reverberación seca, de 1 a 1.2 segundos. VERDÚ, M. "Arquitecturas orquestadas. Los auditorios españoles de los noventa" en *Arquitectura Viva*, nº 10, Madrid 1990, p. 6.

¹³ En la Edad Media, las melodías de canto llano y de música polifónica estaban sometidas a las funciones tradicionales de la plegaria, y el canto no existía por sí mismo. El sentido de lo "artístico" estaba ausente y el canto litúrgico tenía por misión alabar a Dios y no complacer a los fieles. Existía una masa sonora disonante. Por el contrario, tras la reforma, los oficios religiosos tienden a degenerar en conciertos y la congregación en audiencia. La música religiosa se transforma desde el poder mágico a la "voluntad de expresión" del artista. . GODWIN, J. *Armonías del cielo y de la tierra*. Paidós, Barcelona 2000, pp. 86-133.

¹⁴ KLEPPER, D. "Considerations for the Design of Worship Space Acoustics:An Acoustical Consultant's Viewpoint"en *Acoustics of Worship Spaces*.American Institute of Physics, Nueva York 1985, p. VIII.

¹⁵ "Si no podemos suprimir completamente los asientos en nuestras iglesias, desde hoy deberíamos considerarlos como accesorios, reduciéndolos a sillas ligeras que se puedan quitar con facilidad". BOUYER, L. *Arquitectura y liturgia*, Grafite ediciones. Bilbao 2000, p. 93.

¹⁶ Se pueden considerar como adecuadas las distancias recomendadas para salas de concierto y teatros por BARRON, M.. *Auditorium Acoustics and Architectural Design*. E&FN Spon Londres 1993, p. 404.

¹⁷ "En una iglesia la sensación de envolvimiento es diferente a la existente en una sala de conciertos. Esa sensación subjetiva, dado el elevado nivel de sonido reverberado, viene determinada por la impresión de que el sonido proviene de la fuente sonora, y que determina la importancia del sonido directo en la experiencia subjetiva". CARVALHO, A. "Relations between subjective and objective acoustical measures in churches" *132nd Acoustical Society of America Meeting*, Honolulu 1996, p. 5.

¹⁸ CARRION ISBERT, A. op. cit., p. 120.

¹⁹ Obtenido a partir de las mediciones acústicas realizadas en la iglesia del convento de San Francisco de Baeza (Jaén). SENDRA SALAS, J.J. y otros. *El problema de las condiciones acústicas en las iglesias: Principios y propuestas para la rehabilitación*. I.U.C.C. E.T.S.A Sevilla, Sevilla 1997, pp. 119-128.

²⁰ DAUMAL DOMÈNECH, F. *Arquitectura acústica 2. Disseny*. Edicions UPC, Barcelona 2001, p. 176.

²¹ Si se dispone chapa metálica, el escaso espesor de ésta hace que el efecto de resonador de cavidad sea escaso. Si se dispone material absorbente en la cámara, existe una notable mejora de la absorción sonora.

²² Si la superficie es irregular, la reflexión es difusa si su longitud de onda es comparable con la dimensión de la irregularidad.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Longitud de onda (m)	2.76	1.38	0.69	0.34	0.17	0.09

BIBLIOGRAFÍA.

AA.VV. *Restauración integral de la Iglesia de San Pedro de Priego de Córdoba. Cuadernos de intervención en el patrimonio histórico, 9.* Junta de Andalucía, Delegación de Cultura de Córdoba, Priego de Córdoba 1994.

AA.VV. *La Mezquita de Córdoba, empeño universal.* Excmo. Ayuntamiento de Córdoba, Córdoba 1973.

AA.VV. *Toda Córdoba.* Escudo de oro S.A., Barcelona 1972.

AA.VV. "Gaudí y Jujol en la Catedral de Palma de Mallorca" en *Arquitectura* nº 244. Colegio oficial de arquitectos de Madrid, Madrid 1983, pp. 38-40.

AA.VV. *García de Paredes. Documentos de arquitectura* nº 22. Colegio oficial de arquitectos de Almería.

AA.VV. *CATT-Acoustic v7.2. User's manual. Room acoustics prediction and desktop auralization.* CATT, Gothenburg (Suecia) 1999.

ABALOS MUÑOZ, C. *Arquitectura barroca de Priego de Córdoba 1696-1803.* Ayuntamiento de Priego de Córdoba, Baena 1989.

ABDELAZEEZ, M.K., HAMMAD, R.N. y MUSTAFA, A. "Acoustics of King Abdullah Mosque" en *Journal of the Acoustical Society of America* nº 90(3), 1991, pp. 1441-1445.

ANDERSON, J. y JACOBSEN, T. "RASTI measurements in St. Paul's Cathedral, London" en *Brüel & Kjaer*, Glostrup.

ANDERSON, J.S. y BRATOS-ANDERSON, M. "St. Paul's Cathedral, as an concert hall" 6º *congreso internacional sobre sonido y vibraciones.* 5/8 junio 1999, Technical university of Denmark, Lyngby. www.rcsu6.dat.dtu.dk.

ARAIZ MARTÍNEZ, A. *Historia de la música religiosa en España.* Labor, Barcelona 1952.

ARAU, H. *ABC de la acústica arquitectónica.* CEAC, Barcelona 1999.

ARGAN, G.C. *El concepto del espacio arquitectónico desde el Barroco hasta nuestros días.* Nueva Visión, Buenos Aires 1979.

AYARRA JARNE, J.E. *Historia de los grandes órganos de coro de la Catedral de Sevilla.* Patronato nacional de museos, Madrid 1974.

AZÚA, F. de. *Diccionario de las artes.* Planeta, Barcelona 1995.
- *La invención de Caín.* Alfaguara, Madrid 1999.

BARAÑANO, K. de. "Geometría y tacto. La escultura de Chillida 1948-1998" en *Chillida 1948-1998.* Catálogo de la Exposición. Museo Nacional Reina Sofía, Madrid 1998, pp. 16-59.

BARRON, M. *Auditorium Acoustics and Architectural Design.* E&FN Spon and imprint of Chapman & Hall, Londres 1993.

BENEVOLO, L. *Historia de la arquitectura del Renacimiento. La arquitectura clásica del siglo XV al siglo XVIII*. Vols 1 y 2. Gustavo Gili, Barcelona 1981. Traducción de la 4ª edición italiana *Storia dell'architettura del Rinascimento*. Gius Laterza & Figli Spa, Roma 1981.

BERANEK, L. *Acoustics*. Acoustical Society of America, Nueva York 1993. 1ª edición en McGraw-Hill, Nueva York 1954.

- "Audience and seat absorption in large halls" en *The Journal of the Acoustical Society of America*, 32, 1960, pp. 661-670.

- *Music, Acoustics and Architecture*. John Wiley, Nueva York 1962.

- *Concert and Opera halls. How they sound*. Acoustical Society of America, Nueva York 1996.

BERNIER LUQUE, J., NIETO CUMPLIDO, M., RIVAS CARMONA, J., LÓPEZ SALAMANCA, F., ORTIZ JUÁREZ, D. y LARA ARREBOLA, F. *Catálogo artístico y monumental de la provincia de Córdoba*. Tomo V. Diputación Provincial de Córdoba, Córdoba 1987.

BERNIER LUQUE, J., NIETO CUMPLIDO, M., RIVAS CARMONA, J., y LÓPEZ SALAMANCA, F. *Catálogo artístico y monumental de la provincia de Córdoba*. Tomo VI. Diputación Provincial de Córdoba, Córdoba 1993.

BONET CORREA, A. *Andalucía barroca*. Ediciones Polígrafa S.A., Barcelona 1978.

- "Consideraciones sobre la arquitectura en Andalucía" en *Transformaciones. Cinco siglos de arquitectura en Andalucía*. Coordinador V. Pérez Escolano. Colegio Oficial de Arquitectos Andalucía, Sevilla 1992.

BOUYER, L. *Arquitectura y liturgia*. Grafite ediciones, Bilbao 2000.

BRANDI, C. *Teoría de la restauración*. Alianza Forma, Madrid 1988. Traducción del italiano *Teoría del restauro*, G. Einaudi editore, Turín 1977.

BUSTOS MORENO, C. (dirección). *Proyectos de intervención en edificios y recintos históricos*. Colegio oficial de arquitectos de Madrid, Madrid 1987.

CABRERA, E. (Coordinador). *Córdoba Capital*. Tomo 1. Caja Provincial de Ahorros de Córdoba, Córdoba 1994.

CALVO POYATO, J. *Guía histórica de Montilla*. Ayuntamiento de Montilla, Córdoba 1987.

CAPITEL, A. *Metamorfosis de monumentos y teorías de la restauración*. Alianza Forma, Madrid 1988.

- "Mecenazgo y patrimonio arquitectónico: una relación polémica" en *Mecenazgo y conservación del patrimonio artístico*. Fundación Argentaria, Madrid 1995, pp. 37-44.

CARRIÓN ISBERT, A. *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona 1998.

CARVALHO, A. "Liturgy, sound and acoustics: Why a church is not a concert hall?" en *Sound & Video Contractor*, vol 13, nº1 January 1995, pp. 60,69-71.

- "The use of Sabine and Eyring reverberations equations to churches" en *129th Acoustical Society of America Meeting*, Washington 1995.

- "Relations between subjective and objective acoustical measures in churches" *132nd Acoustical Society of America Meeting*, Honolulu 1996.

- "Relations between rapid speech transmission index (RASTI) and other acoustical and architectural measures in churches" en *Applied Acoustics* 58, 1999, pp. 33-49.

CASADEVALL I DALMAU, J. "El pasado, compañero del proyecto" en *Quaderns*, 165. Colegio oficial de arquitectos de Cataluña, Barcelona 1985, pp. 168-185.

CONTURIE, L. *L'acoustique dans les bâtiments. Théorie et applications*. Éditions Eyrolles, Paris 1955.

COSANO MOYANO, F. *Iconografía de Córdoba. Siglos XIII-XIX*. Cajasur, Córdoba 1999.

COSANO MOYANO, J., PALACIOS BAÑUELOS, L., RODRÍGUEZ NEILA, J. y ZUERAS TORRENS, F. *Montoro. Historia y arte*. Diputación provincial de Córdoba, Córdoba 1992.

CREMER, L., MÜLLER, H. y SCHULTZ, T.J. *Principles and Applications of Room Acoustics. Vol 1 y 2*. Applied Science Publishers, Londres 1982. Traducción del alemán *Die Wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik*. Hirzel Verlag, Stuttgart 1978.

CRIADO HOYO, M. *Apuntes para la historia de la ciudad de Montoro*. Diputación Provincial de Córdoba, Córdoba 1983. Primera edición en Imp. Africa, Ceuta 1932.

CUADRADO SÁNCHEZ, M. "Arquitectura de las órdenes mendicantes" en *Cuadernos de arte español* N° 86. Grupo 16, Madrid 1993.

CHUECA GOITIA, F. *Invariantes castizos de la arquitectura española. Invariantes en la arquitectura hispanoamericana. Manifiesto de la Alhambra*. Dossat, Madrid 1981.

DABRÍO GONZÁLEZ, M.T. y RAYA RAYA M.A. "Las Antiguas Parroquias" en *Córdoba capital. Tomo II*. Coordinador A. Villar Movellán. Caja Provincial de Ahorros de Córdoba, Córdoba 1994, pp. 97-144.

- "Las Fundaciones religiosas de la Baja Edad Media" en *Córdoba capital. Tomo II*. Coordinador A. Villar Movellán. Caja Provincial de Ahorros de Córdoba, Córdoba 1994, pp. 145-178.

DAUMAL DOMÈNECH, F. *L'Àmbient acústic i el disseny arquitectònic*. (Tesis doctoral). Departament de Condicionament i Serveis, ETSA Barcelona. 1985.

- *Arquitectura acústica 1. Poètica*. Edicions UPC, Barcelona 1998.

- *Arquitectura acústica 2. Disseny*. Edicions UPC, Barcelona 2001.

DE LA HOZ ARDERIUS, R. "La proporción cordobesa" Ponencia en la 5ª asamblea de instituciones de cultura de las diputaciones provinciales. Diputación Provincial de Córdoba, Córdoba 1973.

DESARNAULDS, V. y MONAY, G. "Utilisation des diffuseurs de Schröder dans les salles polyvalentes a plafond haut" en *Proceedings 11th Int. FASE symposium*, Valencia 1994, pp. 135-138.

DESARNAULDS, V., BOSSONEY, S. y EGGENSCHWILER, K. "Studie zur Raumakustik von Schweizer Kirchen" en *Fortschritte der Akustik DAGA 98*, Zurich 1998, pp. 710-711. www.arch.ethz.ch/eggenschwiler/vortrag3.pdf

DUCLÓS BAUTISTA, G. *Carpintería de lo blanco en la arquitectura religiosa de Sevilla*. Diputación Provincial de Sevilla, Sevilla 1993.

EGAN, M.D. *Architectural Acoustics*. McGraw Hill, Nueva York 1988.

EGGENSCHWILER, K. y BASCHNAGEL, K. "Aktuell Aspekte der Kirchenakustik" en *Scheizer Ingenieur und Architekt*, n° 25, Junio 1999 pp. 8-12. www.arch.ethz.ch/eggenschwiler/sia2.pdf

ESCOBAR CAMACHO, J.M. *Córdoba en la Baja Edad Media*. Caja Provincial de Ahorros de Córdoba, Córdoba 1989.

ESPUELAS, F. *El claro en el bosque. Reflexiones sobre el vacío en arquitectura*. Caja de Arquitectos, Barcelona 1999.

FARNÉS SCHERER, P. *Construir y adaptar las iglesias*. Regina, Barcelona 1989.

FERNÁNDEZ COBIÁN, E. (Coordinador). *Fray Coello de Portugal, dominico y arquitecto*. Fundación Antonio Camuñas, Madrid 2001.

FERNÁNDEZ DE LA GÁNDARA, G. y LORENTE, M. *Acústica musical*. Instituto Complutense de Ciencias Musicales, Madrid 1998.

FORSYTH, M. *Buildings for music*. Ed. University of Cambridge, Cambridge 1985.
- *Auditoria*. Mitchell Publishing Company Limited, Londres 1987.

FRANKL, P. *Principios fundamentales de la historia de la arquitectura. El desarrollo de la arquitectura europea: 1420-1900*. Gustavo Gili Arte, Barcelona 1981. Traducción del alemán *Die Entwicklungsphasen der neueren Baukunst*. B.G.Teubner, Leipzig 1914.

FUBINI, E. *La estética musical del siglo XVIII a nuestros días*. Barral editores, Barcelona 1971. Traducción del italiano *L'estética musicale dal settecento a oggi*. Einaudi, Turín 1964.

GALA, A. *El manuscrito carmesí*. Planeta, Barcelona 1990.

GARCÍA DE PAREDES, J.M. *Paseo por la arquitectura de la música*. Discurso en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, Madrid 1986.

GARRAMIOLA PRIETO, E. *Montilla. Guía histórica, artística y cultural*. El Almendro, Córdoba 1982.

GONZÁLEZ MORENO-NAVARRO, A. "Por una metodología de la intervención en el patrimonio arquitectónico (El monumento como documento y como objeto arquitectónico)" en *Monumentos y proyecto. Jornadas sobre criterios de intervención en el patrimonio*. Ministerio de Cultura, Madrid 1990, pp. 36-51.

- "El monumento, documento y arquitectura. Apuntes sobre su posible restauración objetiva" en *Restauración arquitectónica II*. Universidad de Valladolid, Valladolid 1998, pp. 45-60.

GONZÁLEZ, A., LACUESTA, R. y LÓPEZ, A. *Com i per a qui restaurem. Objectius, mètodes i difusió de la restauració monumental*. Diputació de Barcelona, Barcelona 1990.

GRUPO ARCA. *Guía artística de la provincia de Córdoba*. Dirigida por A. Villar Movellán. Universidad de Córdoba, Córdoba 1995.

HAMMAD, R.N.S. "RASTI Measurements in Mosques in Amman, Jordan" en *Applied Acoustics* 30 (1990), pp. 335-345.

HERNÁNDEZ PEZZI, C. *Jose María García de Paredes*. Colegio de arquitectos de Málaga, Málaga 1992.

HERNÁNDEZ DÍAZ, J., MARTÍN GONZÁLEZ, J.J. y PITA ANDRADE, J.M. *Escultura y arquitectura españolas del siglo XVII*. (8ª ed.) Summa Artis XXVI. Espasa Calpe, Madrid 1999.

HIDAKA, T., BERANEK, L., MASUDA, S., HISHIHARA, N. y OKANO. "Acoustical design of the Tokyo Opera City concert hall, Japan" en *The Journal of the Acoustical Society of America* vol 107 nº1, January 2000, pp. 340-354.

HIDAKA, T. y BERANEK, L. "Objective and subjective evaluations of 23 opera houses in Europe, Japan and America" en *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 107 nº 1, January 2000, pp. 368-383.

HIGINIO, N. *Iglesia de Santa María. Marco de Canaveses*. Parroquia de Santa Marinha de Fornos, SM da Feira 1998.

ILLESCAS ORTIZ, M. "La Arquitectura de los s. XVII y XVIII" en *Córdoba y su provincia. Tomo III*. Dirección M. Guarinos. Ediciones Gever S.L., Sevilla 1986.

ISO 3382: *Acoustics Measurements of Reverberation Time in Auditoria*. 1997.

JAFFE, C. "Design Considerations for a Dismountable Concert Enclosure (Symphonic Shell)" en *Audio Engineering Society Journal*, April 1974, pp. 163-170.

- JIMÉNEZ MARTÍN, A. "La Mezquita de Córdoba". *Cuadernos Historia* 16 n° 27, Madrid 1996.
- JORDANO BARBUDO, M.A. *Arquitectura medieval cristiana en Córdoba. (Desde la Reconquista al inicio del Renacimiento)*. Universidad de Córdoba, Córdoba 1996.
- JOUHANEAU, J. *Acoustique des salles et sonorisation. Technique & Documentation*, París 1997.
- KLEPPER, D. "Considerations for the Design of Worship Space Acoustics: An Acoustical Consultant's Viewpoint" en *Acoustics of Worship Spaces*. American Institute of Physics, Nueva York 1985, pp. 7-10, presentado en 106º encuentro ASA (1983).
- KNUDSEN, V.O. y HARRIS, C.M. *Acoustical Designing in Architecture*. (5ª ed.). Acoustical Society of America, Nueva York 1988. 1ª edición Wiley, Nueva York 1950.
- KRAUTHEIMER, R. *Arquitectura paleocristina y bizantina*. (5ª ed.). Ed. Cátedra, Madrid 1981. Traducción del inglés *Early Christian and Byzantine Architecture*. Pequin Books, Ltds. Harmondsworth 1965.
- KUBLER, G. *Arquitectura de los siglos XVII Y XVIII*. Volumen XIV de *Ars Hispaniae*. Plus-Ultra, Madrid 1957.
- KUTTRUF, H. *Room Acoustics*. (3ª ed.). Elsevier Science Publishers Ltd., Nueva York 1991.
- LACUESTA, R. *Restauració monumental a Catalunya (segles XIX i XX) Les aportacions de la Diputació de Barcelona*. Diputació de Barcelona, Barcelona 2000.
- LAGUNA PAÚL, M.T. "El segundo arte cristiano" en *Córdoba y su provincia*. Tomo III. Dirección de M. Guarinos Canovas. Ediciones Gever S.L., Sevilla 1986.
- "Córdoba gótica" en *La España gótica, 11, Andalucía*. Ediciones Encuentro, Madrid 1992.
- LAMBERT, E. *El arte gótico en España. Siglos XII y XIII*. Cátedra, Madrid 1977. 1ª edición París 1931.
- LANG, P.H. *La música en la civilización occidental*. Editorial Universitaria de Buenos Aires, Buenos Aires 1963. Traducción del inglés *Music in Western Civilization*, W.W. Norton Company, Nueva York 1941.
- LEE RYDER, S. "Some sound advice" en *Progressive Architecture*, 11, 1975, pp. 58-63.
- LEÓN, FRAY LUIS DE. "Oda a Francisco Salinas" en *Obras completas de Fray Luis de León*. Tomo II. Editorial Católica, Madrid 1967, pp.746-748.
- LEÓN RODRÍGUEZ, A.L. *Acústica arquitectónica y patrimonio teatral en Andalucía*. Tesis Doctoral. Departamento de Construcciones Arquitectónicas I, ETSA Sevilla. 2001.
- LEVENE, R., MÁRQUEZ CECILIA, F. y RUIZ BARBARÍN, A. *Arquitectura española contemporánea. 1975-1990*. El Croquis, Madrid 1989.
- LÓPEZ GARCÍA, A. "Acústica y rehabilitación" en *Restauración y rehabilitación*, n° 1, septiembre 1994, pp. 75-82.
- LOTTERMOSER, W. "Nachhallzeiten in Barockkirchen" en *Acustica*, 2 (1952), pp. 109-111.
- LUBMAN, D. "Notes on Conflicting Acoustical Requirements for Speech&Music in Worship Spaces,& the Uses of Electronics for their Reconciliation" en *Acoustics of Worship Spaces*. ASA, Nueva York 1985, pp. x-xii.
- LLINARES, J., LLOPIS, A. y SANCHO, J. *Acústica arquitectónica y urbanística*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia 1991.

MARTÍN MORENO, A. *Historia de la música andaluza*. Biblioteca de la cultura andaluza, Granada 1985.

McMINN, T. "A little Acoustics History: Spaces used for Speech" en <http://puffin.curtin.edu.au/~mcminn/papers/aas95-p1.htm>.

MESTRE SANCHO, V. y GARCÍA SENCHERMES, A. *Curso de acústica en arquitectura*. Colegio oficial de arquitectos de Madrid, Madrid 1982.

MORENO MANSILLA, L. "Blancas juegan y gana. De las rehabilitaciones" en *Arquitectura española contemporánea. 1975-1990*. Tomo I. El Croquis, Madrid 1989, pp. 191-200.

MOSQUERA ADELL, E. "De la utilidad de la arquitectura para el patrimonio" en *Arquitectura y Patrimonio. Cuaderno IV*. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, Jerez 1994, pp. 16-28.

MUÑOZ MOLINA, A. *Córdoba de los Omeyas*. Planeta, Barcelona 1991.

NAVASCUÉS PALACIO, P. y SARTHOU CARRERES, C. *Catedrales de España*. Espasa Calpe, Madrid 1999.

NIETO CUMPLIDO M. y LUCA DE TENA y ALVEAR. *La mezquita de Córdoba: planos y dibujos*. Colegio oficial de arquitectos de Andalucía Occidental, Córdoba 1992.

NIETO CUMPLIDO, M. *Corpus Mediaevale Cordubense II (1256-1277)*. Monte de Piedad y Caja de Ahorros de Córdoba, Córdoba 1980.

- *Islam y cristianismo. Historia de Córdoba*. Monte de Piedad y Caja de Ahorros de Córdoba, Córdoba 1984.

- *Historia de la iglesia en Córdoba. Reconquista y Restauración (1140-1326)*. Monte de Piedad y Caja de Ahorros de Córdoba, Córdoba 1991.

- *La catedral de Córdoba*. Cajasur, Córdoba 1998.

ORTI BELMONTE, M.A. "Las iglesias fernandinas cordobesas" en *Vida y Comercio*, nº 36, 1961, s.p.

- *Córdoba Monumental, artística e histórica*. Diputación Provincial de Córdoba, Córdoba 1968.

ORTIZ JUÁREZ, D., BERNIER LUQUE, J., NIETO CUMPLIDO, M. y LARA ARREBOLA, F. *Catálogo artístico y monumental de la provincia de Córdoba*. Tomos I,II,III y IV. Diputación Provincial de Córdoba, Córdoba 1983-1986.

PALOMEQUE, F. "Adiós al año Bach" en *El Día de Córdoba*, 18 de diciembre de 2000, p. 49.

PALLASMAA, J. "Hapticidad y tiempo. Notas sobre la arquitectura frágil" en *Pasajes de arquitectura y crítica* nº 30. América Ibérica, Madrid 2001, pp. 34-38.

PÉREZ CANO, M. M. *Estudio histórico-artístico de la Iglesia parroquial de Santa Marina de Aguas Santas de Córdoba*. Universidad de Córdoba - Cajasur, Córdoba 1998.

PÉREZ MIÑANA, J. *Compendio práctico de acústica*. Ed. Labor, Barcelona 1969.

QUETGLAS, J. "La danza y la procesión" en *El Croquis* nº 64, Madrid 1994, pp. 26-45.

QUIGNARD, P. *La lección de música*. Versal, Barcelona 1988. Traducción del francés *La leçon de musique*, Hachette 1987.

QUINTAS, A. "El arte religioso como expresión del misterio" en *Arquitectura* nº 52, Colegio oficial de arquitectos de Madrid. Madrid 1963, pp. 51-54.

- RAMÍREZ DE ARELLANO Y GUTIÉRREZ, T. *Paseos por Córdoba o sean apuntes para su historia*. (2ª ed.). Librería Luque, Córdoba 1973. 1ª edición 1873-74.
- RAMÍREZ DE ARELLANO, R. *Inventario-catálogo histórico artístico de Córdoba. Con notas de J. Valverde Madrid*. (2ª ed). Monte de Piedad y Caja de Ahorros de Córdoba, Córdoba 1983. 1ª edición 1904.
- RAMÍREZ, J.A. *Gaudí*. Anaya, Madrid 1992.
- RECUERO LÓPEZ, M y GIL GONZÁLEZ, C. *Acústica arquitectónica*. Escuela Universitaria Ingeniería Técnica UPM, Madrid 1991.
- RECUERO LÓPEZ, M. *Características acústicas de recintos especiales*. E.U. Ingeniería técnica de telecomunicaciones, Madrid 1982.
- REPRESA, I. (Dirección). *Restauración arquitectónica II*. Universidad de Valladolid, Valladolid 1998.
- RIEGL, A. *El culto moderno a los monumentos. Caracteres y origen*. Visor, Madrid 1987. Traducción del alemán *Der Moderne Denkmalkultus. Sein Wesen und seine Entstehung*. Viena y Leipzig 1903.
- RINDEL, J. "Attenuation of sound due to diffraction" en *Nordic Acoustical Meeting*, Aalborg 1986, pp. 257-260.
- RIVAS CARMONA, J. *Arquitectura barroca cordobesa*. Monte de Piedad y Caja de Ahorros de Córdoba, Córdoba 1982.
- ROBERTSON, A. y STEVENS, D. (Dirección). *Historia general de la música, Tomos I y II*. Ediciones Istmo, Madrid 1979. Traducción del inglés *The Pelican History of Music*. Penquin Books Ltd. de Harmondsworth, Middlesex 1966.
- RUBIO, S. *Historia de la música española. Desde el "ars nova" hasta 1600*. Alianza Editorial, Madrid 1983.
- RUESGA NAVARRO, J. "Escenografías 1970/1985" en *Periferia 4/5*, Sevilla 1986, pp. 53-56.
- SABATO, E. *Sobre heroes y tumbas*. Seix Barral, Barcelona 1984.
- SALAZAR, A. *Conceptos fundamentales en la historia de la música*. Alianza Música, Madrid 1997.
- SALCEDO HIERRO, M. *Córdoba*. Everest, León 1973.
- *La Mezquita, Catedral de Córdoba*. Cajasur, Córdoba 2000.
- SALCINES, M. *La belleza de Córdoba*. Ediciones Noria, Córdoba 1990.
- *La mezquita de Córdoba*. Ediciones Noria, Córdoba 1990.
- SCHADER, S., SCHUBERT, G. y LÜSCHER, E. "Akustische Gesichtspunkte bei der Gestaltung von Sakralräumen" en *Detail 4*, München 1981, pp. 478-482.
- SCHROEDER, M.R. "New method of measuring reverberation time" *Journal of the Acoustical Society of America* 37, 1965, pp. 409-412.
- "Binaural dissimilarity and optimum ceilings for concert hall: More lateral sound diffusion" en *Acoustical Society of America*, April 1979, pp. 958-963.
- SENDRA SALAS, J.J. *La corrección del tiempo de reverberación en la rehabilitación o reforma de iglesias. Cuaderno III. Construcciones arquitectónicas*. Universidad de Sevilla, Sevilla 1995.

SENDRA J.J., ZAMARREÑO T., NAVARRO J. y ALGABA J. *El problema de las condiciones acústicas en iglesias: principios y propuestas para la rehabilitación*. Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción. ETSA de Sevilla, Sevilla 1997.

SENDRA SALAS, J.J. y NAVARRO CASAS, J. *La evolución de las condiciones acústicas en las iglesias: del Paleocristiano al Tardobarroco*. Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción. ETSA de Sevilla, Sevilla 1997.

SENDRA J.J., ZAMARREÑO T. y NAVARRO J. *La acústica de las iglesias gótico-mudéjares de Sevilla*. Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción. ETSA de Sevilla, Sevilla 1999.

SHANKLAND, R.S. "Development of architectural acoustics" en *American Scientist*. Marzo-Abril 1972, pp. 201-209.

SHANKLAND, R.S. y SHANKLAND H.K. "Acoustics of St. Peter's and patriarchal basilicas in Rome" en *Journal of the Acoustical Society of America* N° 50(2), 1971, pp. 389-396.

SITWELL, S. "Pájaro de fuego" en *FMR* n° 2. Ebrisa, Barcelona 1990, pp. 46-48. Traducción del inglés *Cupid and the Jacaranda*. Macmillan & Co, Londres 1952.

SOLÁ-MORALES, I. "Teorías de la intervención arquitectónica" en *Quaderns* n° 155, Colegio oficial de arquitectos de Cataluña, Barcelona 1982, p. 30.

- "Dal contrasto all'analogia. Trasformazioni nella concezione dell'intervento architettonico" en *Lotus*, 46, Milán 1986, pp. 37-45.

- "Transformaciones. Una revisión de métodos." en *Arquitectura Viva*, 6, Madrid 1989, p. 45.

SOTO CABA, V. "El barroco efímero". *Cuadernos de Arte Español* n° 75. Historia 16, Barcelona 1992.

SUSTERSIC, P. "Arquitectura del devenir" en *Pasajes de arquitectura y crítica* n° 12. América Ibérica, Madrid 1999, pp. 24-32.

TEJEDOR FERNÁNDEZ, L. *La arquitectura de los órganos. Órganos barrocos de Sevilla*. Colegio oficial de arquitectos de Andalucía Occidental. Demarcación de Sevilla, Sevilla 1995.

TORRES BALBÁS, L. "Origen de las disposiciones arquitectónicas de las mezquitas" en *Obra dispersa. Crónica de la España musulmana*, 5. Instituto de España, Madrid 1981, pp. 145 y ss

- "Naves cubiertas con armaduras de madera sobre arcos perpiaños a partir del s. XIII". *Archivo español arte. Obra dispersa III* n° 10. Instituto de España, Madrid 1985.

- "La utilización de los monumentos antiguos" en *Mecenazgo y conservación del patrimonio artístico*. Fundación Argentaria, Madrid 1995, pp. 85-87.

TUÑÓN ÁLVAREZ, E. e IGLESIAS PICAZO, P. "Retablo de la iglesia del Colegio Máximo de Alcalá de Henares" en *Arquitectura* 255, Colegio oficial de arquitectos de Madrid, Madrid 1985, pp. 67-71.

TZEKAKIS, E. "Data on Acoustics of the Byzantine Churches of Thessaloniki" en *Acustica* n° 43 (1979), pp. 275-279.

UNE 74-043-80: *Medida del tiempo de reverberación en auditorios*.

VALVERDE PERALES, F. *Historia de la villa de Baena*. Diputación Provincial de Córdoba, Córdoba 1982. 1ª edición de 1903.

VALLS GORINA, M. *Diccionario de la música*. Alianza editorial, Madrid 1994.

VARO, A. "Arte y liturgia en pleno centro" en *Córdoba* 15/agosto/1995, p. 8.

- VERDÚ, M. "Arquitecturas orquestadas. Los auditorios españoles de los noventa" en *Arquitectura Viva* nº 10, Madrid 1990, pp. 6-10.
- VICENS, I. "El espíritu de las formas. Arquitectura religiosa y programa litúrgico" en *Arquitectura Viva* nº 58, Madrid 1998, pp. 30-33.
- VICENTE DELGADO, A. *Música Sacra, Tomo I*. Dirección A. Carrascosa Almazán. Ediciones Altaya S.A., Barcelona 1999.
- VILLANUEVA SANDINO, F. "El proyecto de rehabilitación" en *Restauración de la casa-palacio de Miguel Mañara*. Junta de Andalucía. Consejería de Cultura, Sevilla 1993.
- VILLAR MOVELLÁN, A. "La arquitectura del quinientos" en *Córdoba y su provincia tomo III*. Dirección de M. Guarinos Canovas. Ediciones Gever S.L., Sevilla 1986.
- VITALE, D. "Analisi urbana e architettura" en *Urbanística* nº 82, febrero 1986, p.16.
- WEIBS, L. y KUHL, W. "Zur Akustic der Thomaskirche in Leipzig" en *Acustica* nº 9 (1959), pp. 365-370.
- WEISSE, K. *Acústica de los locales*. Gustavo Gili, Barcelona 1956.
- XIANG, N y GOGGANS, P. "Evaluation of decay times in coupled spaces: Bayesian parameter estimation" en *Journal of the Acoustical Society of America* 110(3), September 2001, pp. 1415-1424.
- ZAMBRANO, M. "Apuntes sobre el lenguaje sagrado y las artes" en *Obras reunidas*. Aguilar, Madrid 1971, pp. 221-236.
- *Claros del bosque*. Seix Barral, Barcelona 1993.
- ZEVI, B. *Saber ver la arquitectura*. Poseidón, Barcelona 1979. Traducción de la 8ª ed. italiana de *Saper vedere l'architettura*.

APÉNDICES

Apéndice 1.**EQUIPO DE MEDIDA E INSTRUMENTACIÓN.****▪ REVERBERACIÓN.**

La norma internacional ISO 3382¹, o la correspondiente UNE², describen las medidas de campo de tiempo de reverberación, y, en general, en este trabajo, se han seguido las recomendaciones allí sugeridas, adaptadas a la moderna instrumentación de que dispone nuestro laboratorio.

En el método tradicional se utiliza una fuente de ruido de banda ancha, de forma que cuando la fuente se apaga se registra la curva de extinción. Esta curva puede tener fuertes fluctuaciones debido al carácter estocástico de la señal de excitación y, en consecuencia, deben de promediarse, de forma coherente, varias curvas de extinción en cada posición de medida. Ampliando el proceso de promediado, para disponer de un promedio espacial, es posible obtener curvas de extinción más regulares a partir de las cuales se evalúa el tiempo de reverberación característico del recinto.

Otro método, ampliamente utilizado, hace uso de un disparo como señal de excitación (señal impulsiva), obteniéndose así, la respuesta del recinto al impulso. Como demostró Schröder, la curva de extinción del recinto puede calcularse mediante un proceso de integración hacia atrás del cuadrado de esta respuesta al impulso. Una de las ventajas fundamentales del método es que se eliminan las fluctuaciones estocásticas de la señal, de forma que una excitación en cada punto es suficiente para proporcionar una curva de extinción equivalente a la curva promedio obtenida mediante infinitas excitaciones utilizando el ruido interrumpido. También en este caso será recomendable realizar el promediado espacial que indicábamos antes.

Este ha sido el método utilizado en este trabajo. En la figura A1.1 se muestra esquemáticamente la instrumentación utilizada, tanto en la fase de adquisición de datos, como en la de análisis y obtención de resultados. El disparo se produce en el punto más usual de ubicación de la fuente natural, en el escenario, mediante un revólver detonador de 9 mm. El micrófono se situó a una altura aproximada de la cabeza de una persona sentada (≈ 1.20 m).

La respuesta al impulso, en los diferentes puntos de medida es captada mediante un micrófono (B&K 4165), incorporado al correspondiente preamplificador (B&K 2639), conectados, a través de una fuente de polarización de micrófonos (B&K 2804), al registrador magnético DAT Sony PC204 dotado de 4 canales. El fondo de escala de la etapa de entrada del DAT se ajustó para aprovechar al máximo su rango dinámico, pero evitando su saturación.

¹ ISO 3382 (1997): *Acoustics Measurements of Reverberation Time in Auditoria*

² UNE 74-043-80: *Medida del Tiempo de Reverberación en Auditorios.*

Con el fin de determinar la distancia, entre el punto de emisión y el de recepción, en uno de los canales del DAT se registraba un impulso eléctrico sincronizado con el disparo. A partir de la medida del retardo temporal entre las llegadas de este último y la del sonido directo, se obtiene la distancia.

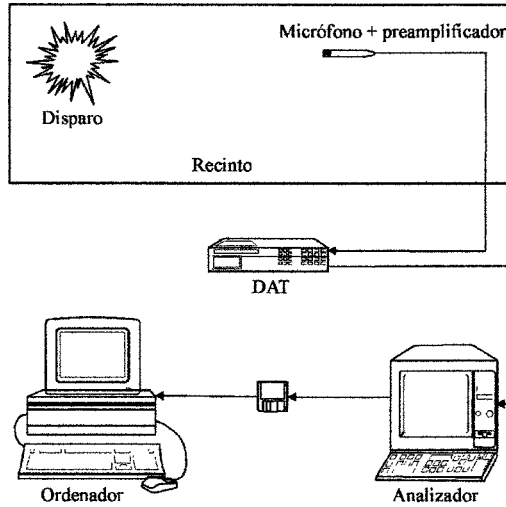


Figura A1.1. Esquema utilizado para medir el tiempo de reverberación.

Posteriormente en el laboratorio se procede al análisis, en bandas de 1/3 de octava, de las señales registradas, utilizando para ello un analizador en tiempo real B&K 2133, dotado de filtros digitales.

Para cada respuesta al impulso se obtiene un multiespectro (un espectro cada 1/64 s) cubriendo, en bandas de 1/3 de octava, el intervalo entre 100 y 6300 Hz. El número de espectros se ajusta, en cada caso, en función de la duración de la caída. Utilizando las funciones implementadas en el propio analizador, cada multiespectro es integrado hacia atrás, según sugiere el método de Schröder, y a partir de la pendiente, m , del multiespectro integrado, se evalúa el tiempo de reverberación:

$$T = - \frac{60}{m}$$

Para calcular la pendiente se ha elegido el intervalo comprendido entre -5 y -30 dB contados a partir del nivel más alto del multiespectro integrado. Las curvas tonales presentadas en este trabajo corresponden al promedio espacial de los puntos medidos en la iglesia.

▪ DISTRIBUCIÓN SONORA.

Las medidas de distribución sonora nos van a permitir caracterizar el grado de uniformidad del campo acústico en el interior del recinto. El ensayo consiste, esencialmente, en determinar el nivel de presión sonora, en diversos puntos situados en la zona de interés, mientras una fuente acústica emite ruido de banda ancha en el lugar más probable de ubicación del emisor en el uso normal del recinto (generalmente el altar o el coro).

En nuestro caso la señal de ruido es generada por una fuente sonora de referencia calibrada (B&K 4205). El nivel de potencia se ajustó a las características de cada iglesia, procurando alcanzar el valor más alto posible, evitando saturar el amplificador de la fuente. De esta forma el nivel de la señal en todos los puntos de medida, y para todas las bandas, permite despreciar el efecto del ruido de fondo.

La instrumentación y procedimiento de medida utilizados en este ensayo se han esquematizado en la figura A1.2 y se corresponde, en líneas generales, con la utilizada en los ensayos de reverberación, sustituyendo la señal impulsiva del disparo por la estacionaria generada por la fuente.

Antes de realizar las medidas, y una vez ajustado el fondo de escala del DAT, se registra una señal de calibración, generada por el calibrador de nivel sonoro B&K 4230, que proporciona 93.8 dB a 1000 Hz. Esta señal se utiliza posteriormente en el laboratorio para calibrar el sistema de análisis, constituido esencialmente por el analizador B&K 2133 y el ordenador.

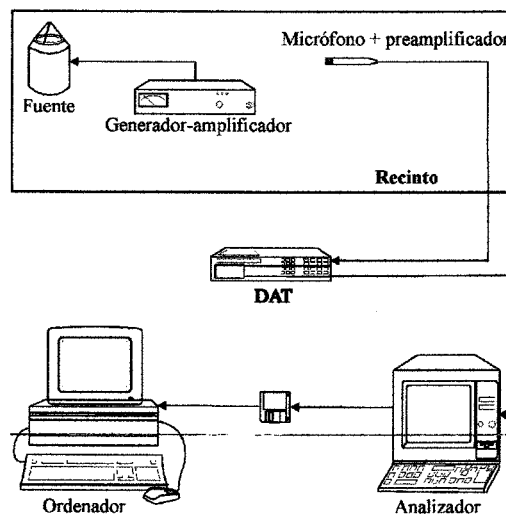


Figura A1.2. Esquema del equipo utilizado para medir los ensayos de distribución sonora.

Para cada punto, el micrófono (B&K 4165) se sitúa a una altura de 1.20 m del suelo y se registra la señal generada por la fuente acústica durante unos 30 segundos. Esta señal es posteriormente analizada en el laboratorio, en bandas de octava (para las octavas comprendidas entre 125 y 800 Hz), eligiendo los 15 segundos centrales de cada registro para promediar linealmente. Además, el analizador proporciona los niveles globales de banda ancha, lineal y ponderado A.

Como la fuente está calibrada, conocer el valor de la potencia acústica de emisión nos ha permitido estudiar el carácter difuso del campo acústico, comparando los niveles correspondientes al campo reverberado, en función de la distancia, con los previstos por el modelo clásico y el de Barron.

▪ ÍNDICE RASTI.

Desde el punto de vista funcional, uno de los aspectos acústicos de mayor importancia a evaluar, en el caso de recintos en los que la emisión de la palabra hablada juega un papel importante, como es el caso de las iglesias, es la inteligibilidad de la misma.

La inteligibilidad se ha evaluado utilizando el índice RASTI (Rapid Speech Transmission Index), simplificación del STI (Speech Transmission Index), que tiene como ventajas esenciales su fácil realización.

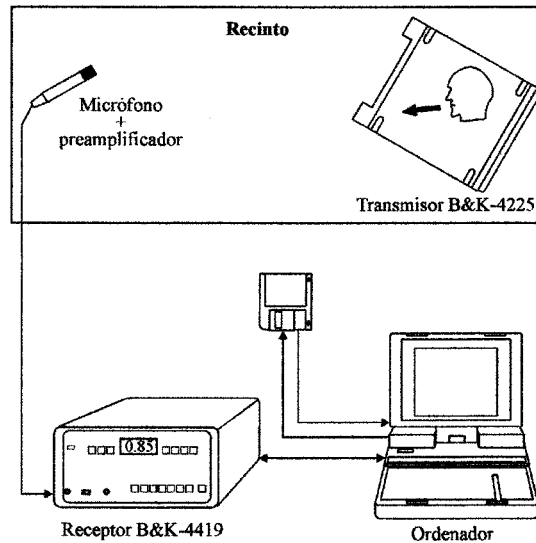


Figura A1.3. Esquema del equipo utilizado para la medida del índice RASTI.

En este método, un emisor (B&K 4225) envía al canal de transmisión, en este caso la iglesia, una señal de ruido filtrada en las bandas de octava de 500 y 2000 Hz, esenciales para la inteligibilidad de la palabra, y modulada, en cada banda, con señales de baja frecuencia que intentan reproducir las modulaciones de la voz humana al hablar (1.02, 2.03, 4.07 y 8.16 Hz en la banda de 500 Hz y 0.73, 1.45, 2.90, 5.81 y 11.63 en la de 2000). El emisor, además, posee unas características de direccionalidad parecidas a las de la cabeza humana.

Un micrófono capta la señal en cada punto de medida y la envía al receptor (B&K4419). Este analiza la degradación de la modulación entre el punto de emisión y el de recepción, obteniéndose así lo que se denomina la *Función de Transferencia de Modulación* entre los dos puntos. A partir de ella se determina el índice RASTI.

En nuestro caso todo el proceso estaba controlado mediante un ordenador portátil, vía interface RS-232, a través de un programa elaborado expresamente para este fin: desde el acondicionamiento del receptor hasta el almacenamiento de los datos en disco para su posterior análisis y tratamiento. En la figura A1.3 aparece un esquema del sistema de medida utilizado. El micrófono, situado a una altura aproximada de 1.20 m del suelo, se desplace entre los distintos puntos seleccionados.

En todos los casos el período de medida, para cada posición, se ha fijado en 32s (el más alto posible) con el fin de minimizar las fluctuaciones aleatorias en el índice RASTI causadas por las variaciones del ruido de fondo.

Puesto que se entiende que, dadas las características y funcionalidad del recinto, el orador tenderá a elevar la voz al dirigirse a la audiencia, el nivel de emisión se ha ajustado en su valor de *ref.+10 dB*, lo que supone niveles de emisión aproximados de 69 dB en la banda de 500 Hz y 59 en la de 2 kHz, medidos a 1 m del altavoz.

▪ RUIDO DE FONDO.

Las medidas de ruido de fondo se han realizado siguiendo, esencialmente, el procedimiento descrito para los ensayos de distribución sonora. De hecho el esquema es el mismo que el de la figura A1.2, si sustituimos la señal generada por la fuente por el ruido de fondo. Al no ser esta señal estacionaria, el tiempo de registro en el DAT fue entre 3 y 5 minutos, aproximadamente en función de las características de cada iglesia.

El análisis se ha realizado, promediando linealmente en el analizador durante el período de registro, tanto en bandas de octava como de 1/3 de octava.

Además, junto a uno de los micrófonos de registro, se coloca un sonómetro integrador que nos proporciona el nivel continuo equivalente (L_{eq}) del período de medida, que se utiliza como criterio de valoración del ruido ocupacional. El sonómetro proporciona otra serie de índices como son los niveles de presión sonora (medio, máximo, mínimo y punta) y los niveles percentiles, que describen las fluctuaciones del ruido, indicando el nivel acústico que se ha sobrepasado durante N% del intervalo de medida. Así los más significativos son L_1 y L_{10} , relacionados con los niveles máximos de ruido, L_{50} , relacionado con el nivel medio, y los niveles L_{90} y L_{99} , relacionados con los valores mínimos.

Apéndice 2. IGLESIA DE SANTA MARIA DEL CASTILLO DE LA MOTA. MONTORO.

▪ **ANÁLISIS ACÚSTICO DEL ESTADO ACTUAL. MEDICIÓN ACÚSTICA.**

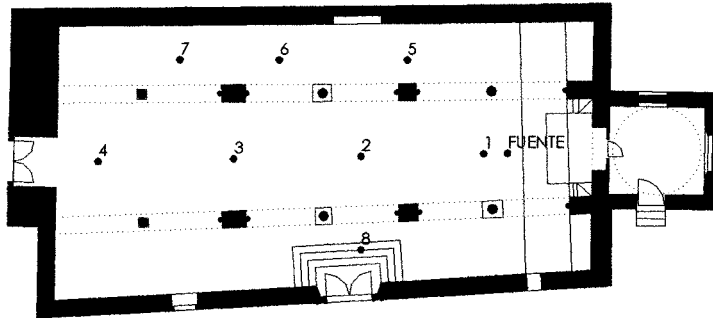


Fig. A2.1. Situación puntos de medida.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

PUNTOS	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
2	1.92	2.74	2.67	2.36	1.65	1.36	0.99
3	2.39	2.50	2.50	2.34	1.72	1.36	1.02
4	2.43	2.82	2.68	2.30	1.65	1.36	1.04
5	2.39	2.69	2.46	2.29	1.64	1.30	1.05
6	2.68	2.55	2.62	2.34	1.66	1.33	1.04
7	2.46	2.65	2.73	2.45	1.68	1.37	1.04
8	2.27	3.01	2.76	2.32	1.64	1.33	1.04
Promedio	2.36	2.71	2.63	2.34	1.66	1.34	1.03
Promedio nave	2.24	2.69	2.62	2.33	1.67	1.36	1.01
Promedio nave lateral	2.51	2.63	2.60	2.36	1.66	1.33	1.04

Tabla A2.1. Tiempos de reverberación medidos (segundos).

DISTRIBUCIÓN SONORA.

PTOS	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	A	L
1	90.33	94.17	88.44	86.48	86.12	78.08	77.26	92.69	97.64
2	84.81	89.35	85.71	80.46	80.29	71.95	68.51	87.57	92.47
3	83.28	88.30	85.30	80.08	78.97	70.22	66.46	86.74	91.52
4	84.18	89.98	84.61	79.35	78.81	68.86	65.32	86.71	92.32
5	81.51	90.51	85.46	80.91	80.19	72.30	68.54	87.83	92.69
6	81.99	88.61	84.36	79.67	78.99	69.81	66.03	86.32	91.26
7	80.72	88.88	83.54	79.23	77.60	68.58	64.77	85.77	91.00
8	82.18	88.58	85.49	79.21	79.39	70.40	66.78	86.54	91.50

Tabla A2.2. Medidas de niveles de presión sonora (dB).

INTELIGIBILIDAD.

Los datos de la tabla reflejan los valores con el nivel del transmisor en su nivel de referencia, reflejándose entre paréntesis los valores obtenidos con el emisor emitiendo en el nivel Ref+10 dB.

Punto	RASTI	Octava (Hz)	STI	NPS (dB)	S/Neq (dB)
1	0.73(0.72)	500	0.68 (0.62)	60.9 (69.2)	5.3 (3.5)
		2000	0.77 (0.80)	51.2 (61.1)	8.0 (8.9)
2	0.53(0.51)	500	0.46 (0.43)	56.4 (65.9)	-1.1 (-2.1)
		2000	0.58 (0.57)	44.3 (54.5)	2.4 (2.0)
3	0.45(0.46)	500	0.40 (0.41)	55.0 (64.8)	-3.0 (-2.8)
		2000	0.49 (0.51)	43.1 (53.1)	-0.3 (0.3)
4	0.48(0.45)	500	0.41 (0.39)	54.6 (64.5)	-2.8 (-3.2)
		2000	0.53 (0.50)	42.9 (52.6)	1.0 (0.0)
5	0.47(0.45)	500	0.41 (0.38)	55.1 (65.1)	-2.6 (3.6)
		2000	0.52 (0.51)	43.5 (53.6)	0.6 (0.3)
6	0.41(0.43)	500	0.30 (0.37)	54.3 (64.0)	-5.9 (-3.9)
		2000	0.49 (0.47)	42.7 (52.6)	-0.3 (-0.9)
7	0.43(0.36)	500	0.40 (0.32)	54.0 (64.3)	-3.1 (-5.3)
		2000	0.46 (0.40)	41.4 (51.2)	-1.2 (-3.1)
8	0.45(0.46)	500	0.39 (0.42)	54.5 (64.6)	-3.4 (-2.5)
		2000	0.50 (0.49)	42.6 (52.7)	0.0 (1.6)

Tabla A2.3. Medidas de inteligibilidad. Índice RASTI .

RUIDO DE FONDO (dBA).

El tiempo de registro ha sido de 3 minutos.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	A	L
dB	47.59	34.75	33.52	30.11	29.38	29.37	29.80	38.17	50.75
dB(A)	28.77	26.65	30.48	30.25	30.60	30.18	28.26	38.17	50.75

Leg	NPS	Punta	Max P	Max N	Min N	L ₁	L ₁₀	L ₅₀	L ₉₀	L ₉₉
38.3	32.1	41.9	67.2	52.0	29.0	50.0	41.5	31.5	31.5	30.0

Tabla A2.4. Medidas de ruido de fondo.

▪ ANALISIS ACÚSTICO DEL ESTADO ACTUAL Y PREVIO. SIMULACIÓN INFORMÁTICA.

Se incorporan en este anexo el modelo geométrico utilizado en el estudio teórico mediante simulación informática tanto para la hipótesis de estado actual como para la hipótesis del estado previo (anterior a la restauración de 1982), así como los resultados obtenidos para los diferentes puntos y frecuencias de diferentes parámetros energéticos (obtenidos con el programa CATT-acoustic) relacionados con la calidad sonora de la sala como son el nivel de presión sonora, definición, claridad musical y sonoridad, así como el estudio teórico de las reflexiones mediante los ecogramas, para la banda de octava de 2000 Hz.

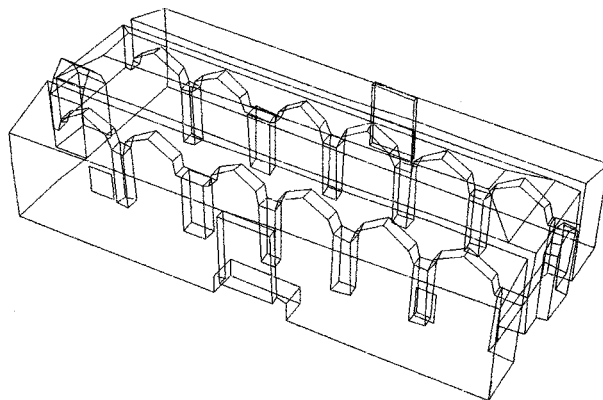


Fig. A2.2. Modelo geométrico para la simulación. Estado actual

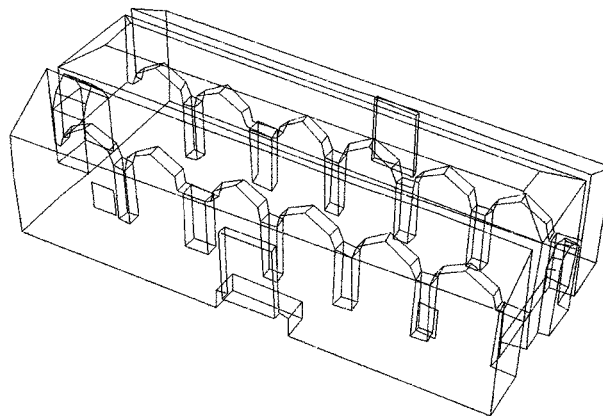


Fig. A2.3. Modelo geométrico para la simulación. Estado previo.

Nivel de presión sonora.

En las tablas siguientes se indican los niveles de presión sonora, en dB, para cada punto y frecuencia, así como el valor global en cada punto, tanto lineal como ponderado, y los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. El nivel de emisión de la fuente es de 105 dB y se ha considerado para las hipótesis del estado actual y estado previo, ocupada la nave central con público en sillas. Se adjuntan además los resultados obtenidos para la hipótesis del estado actual vacío, con el fin de poder comparar los valores entre el modelo y la medición, y determinar así el grado de adecuación del modelo a la realidad.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
01	87.1	93.5	88.8	83.5	75.0	80.3	95.9	90.4 (A)
02	82.8	89.5	84.5	79.1	69.7	74.5	91.7	85.9 (A)
03	81.3	88.1	83.4	77.7	67.9	72.3	90.3	84.6 (A)
04	81.3	88.0	83.3	77.7	67.8	72.2	90.2	84.5 (A)
05	83.4	90.1	85.1	79.8	70.6	75.2	92.3	86.6 (A)
06	81.6	88.7	83.7	78.2	68.4	72.8	90.8	85.0 (A)
07	81.1	88.0	82.9	77.5	67.5	71.9	90.1	84.3 (A)
08	82.2	88.9	84.0	78.8	69.2	73.8	91.2	85.4 (A)
MAX:	87.1	93.5	88.8	83.5	75.0	80.3		
MED:	82.6	89.4	84.5	79.0	69.5	74.1		
MIN:	81.1	88.0	82.9	77.5	67.5	71.9		

Tabla A2.5. Nivel de presión sonora. Estado actual vacío.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
01	86.9	93.1	88.1	82.8	74.6	80.1	95.5	89.8 (A)
02	82.0	88.2	82.4	76.9	67.8	72.6	90.3	84.1 (A)
03	80.3	86.6	80.9	74.9	65.4	70.0	88.6	82.4 (A)
04	80.2	86.7	81.0	75.2	65.7	70.2	88.7	82.5 (A)
05	82.9	89.3	84.0	78.4	69.5	74.4	91.4	85.5 (A)
06	80.8	87.4	81.9	76.3	66.7	71.8	89.5	83.4 (A)
07	80.1	86.7	81.1	75.1	66.0	70.1	88.7	82.5 (A)
08	81.4	87.7	82.3	76.9	67.4	72.4	89.8	83.9 (A)
MAX:	86.9	93.1	88.1	82.8	74.6	80.1		
MED:	81.8	88.2	82.7	77.1	67.9	72.7		
MIN:	80.1	86.6	80.9	74.9	65.4	70.0		

Tabla A2.6. Nivel de presión sonora. Estado actual , público en sillas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
01	86.4	92.8	87.8	82.5	74.4	79.9	95.1	89.5 (A)
02	80.9	87.0	81.5	76.2	67.9	72.4	89.2	83.2 (A)
03	79.5	85.4	79.9	74.7	66.4	70.5	87.6	81.7 (A)
04	79.4	85.6	80.2	74.6	66.5	70.5	87.8	81.8 (A)
05	81.8	88.1	82.8	77.6	69.5	74.1	90.4	84.6 (A)
06	80.0	86.3	81.1	75.8	67.5	71.7	88.6	82.7 (A)
07	79.2	85.5	80.3	74.9	66.6	70.6	87.7	81.9 (A)
08	80.4	86.5	81.4	76.0	67.7	72.0	88.8	83.0 (A)
MAX:	86.4	92.8	87.8	82.5	74.4	79.9		
MED:	81.0	87.2	81.9	76.5	68.3	72.7		
MIN:	79.2	85.4	79.9	74.6	66.4	70.5		

Tabla A2.7. Nivel de presión sonora. Estado previo , público en sillas.

Definición.

Se muestran los valores, en porcentaje, de definición para cada una de las frecuencias, y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada la nave central con público en sillas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	72.9	72.4	75.8	77.8	83.3	87.1	73.9
02	35.0	32.8	33.3	35.8	43.0	45.5	33.6
03	19.1	16.1	17.9	19.3	23.7	25.8	17.1
04	22.1	21.6	22.8	24.4	29.7	35.6	22.3
05	41.5	39.1	43.0	45.9	54.2	59.7	41.0
06	23.4	21.7	23.9	29.4	30.2	35.5	23.0
07	16.4	17.1	20.8	19.8	25.4	25.9	17.9
08	29.1	25.2	31.2	34.2	39.3	41.7	27.7
MAX :	72.9	72.4	75.8	77.8	83.3	87.1	
MED :	32.4	30.8	33.6	35.8	41.1	44.6	
MIN :	16.4	16.1	17.9	19.3	23.7	25.8	

Tabla A2.8. Definición. Estado actual.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	78.3	78.3	79.5	79.9	80.8	87.1	78.9
02	34.7	33.9	36.4	35.7	38.3	44.5	34.8
03	22.5	19.4	20.1	19.2	25.5	28.3	20.2
04	24.9	23.0	22.2	21.6	25.7	31.4	23.2
05	44.2	44.7	44.6	45.0	47.8	55.4	44.9
06	26.9	26.2	28.6	26.2	31.5	34.3	26.9
07	19.4	17.7	17.9	20.0	23.6	28.3	18.4
08	32.5	26.3	30.5	28.1	30.5	39.9	28.4
MAX :	78.3	78.3	79.5	79.9	80.8	87.1	
MED :	35.4	33.7	35.0	34.5	38.0	43.7	
MIN :	19.4	17.7	17.9	19.2	23.6	28.3	

Tabla A2.9. Definición. Estado previo.

Claridad musical.

En las tablas siguientes se indican los valores, en decibelios, de claridad musical (C_{80}) para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada la nave central con público en sillas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	5.7	5.4	6.3	7.1	8.6	10.1	5.8
02	-0.5	-0.6	-0.4	0.2	1.5	2.4	-0.5
03	-3.2	-3.6	-2.5	-2.2	-1.4	-0.4	-3.2
04	-2.1	-2.4	-1.5	-1.5	0.0	0.9	-2.1
05	0.3	0.2	0.9	1.6	2.8	3.7	0.5
06	-2.4	-2.8	-2.0	-1.1	-0.6	0.6	-2.4
07	-3.4	-3.5	-2.7	-2.7	-1.1	-0.6	-3.3
08	-1.5	-1.8	-1.0	-0.1	0.6	1.8	-1.5
MAX :	5.7	5.4	6.3	7.1	8.6	10.1	
MED :	-0.9	-1.2	-0.4	0.2	1.3	2.3	
MIN :	-3.4	-3.6	-2.7	-2.7	-1.4	-0.6	

Tabla A2.10. Claridad (C_{80}). Estado actual.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	6.7	6.8	7.3	7.3	7.7	9.9	7.0
02	-0.8	-0.7	-0.3	-0.1	0.1	1.4	-0.5
03	-2.5	-2.9	-2.6	-2.3	-1.5	-0.4	-2.7
04	-1.6	-2.0	-1.7	-1.7	-1.3	0.0	-1.8
05	0.6	1.2	0.8	1.0	1.7	3.1	1.1
06	-1.9	-2.0	-1.7	-1.5	-1.0	-0.2	-1.9
07	-3.1	-3.1	-3.0	-2.4	-1.7	-0.7	-3.0
08	-0.9	-1.9	-0.9	-1.0	-1.0	1.1	-1.5
MAX :	6.7	6.8	7.3	7.3	7.7	9.9	
MED :	-0.4	-0.6	-0.3	-0.1	0.4	1.8	
MIN :	-3.1	-3.1	-3.0	-2.4	-1.7	-0.7	

Tabla A2.11. Claridad (C_{80}). Estado previo.**Sonoridad.**

En las tablas adjuntas se indican los valores, en decibelios, de la sonoridad de la iglesia para cada una de las frecuencias, y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia, considerando la iglesia vacía.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	22.1	22.3	22.2	22.1	21.6	21.4	22.2
02	17.7	18.2	18.0	17.8	16.4	15.6	18.0
03	16.2	16.9	16.9	16.4	14.6	13.4	16.6
04	16.2	16.7	16.8	16.3	14.5	13.3	16.6
05	18.3	18.9	18.6	18.4	17.3	16.3	18.6
06	16.5	17.5	17.2	16.8	15.1	13.9	17.1
07	16.0	16.7	16.4	16.1	14.1	13.0	16.4
08	17.1	17.7	17.5	17.4	15.9	14.9	17.5
MAX :	22.1	22.3	22.2	22.1	21.6	21.4	
MED :	17.5	18.1	17.9	17.6	16.2	15.2	
MIN :	16.0	16.7	16.4	16.1	14.1	13.0	

Tabla A2.12. Sonoridad (G_{10}). Estado actual.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	21.6	21.7	21.7	21.7	21.6	21.4	21.7
02	16.1	16.7	16.7	16.7	16.3	15.1	16.6
03	15.3	15.6	15.7	15.8	15.4	13.8	15.6
04	15.1	15.3	15.4	15.5	15.1	13.2	15.2
05	17.2	17.3	17.4	17.2	17.0	15.9	17.3
06	15.6	15.8	16.0	15.9	15.6	14.0	15.8
07	15.0	15.1	15.3	15.2	14.6	12.8	15.1
08	15.8	16.1	16.4	16.2	16.0	14.2	16.1
MAX :	21.6	21.7	21.7	21.7	21.6	21.4	
MED :	16.5	16.7	16.8	16.8	16.5	15.1	
MIN :	15.0	15.1	15.3	15.2	14.6	12.8	

Tabla A2.13. Sonoridad (G_{10}). Estado previo.

Ecogramas.

Se adjuntan los ecogramas para la banda de octava de 2000 Hz, que relacionan el nivel de presión sonora y el retardo en ms de cada reflexión, para los diferentes puntos establecidos, para la hipótesis de estado actual y de estado previo.

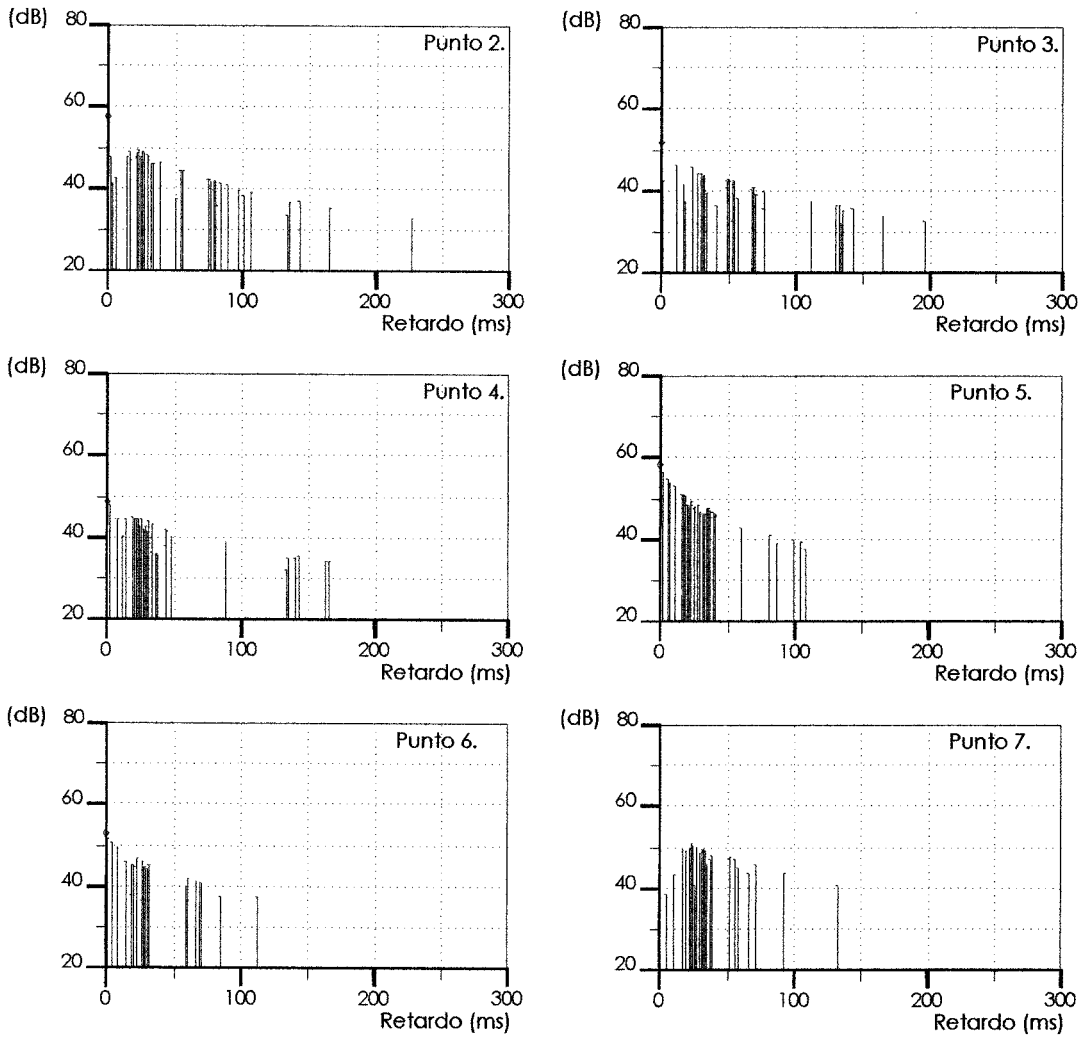


Fig. A2.4. Acústica geométrica estado actual. 2000 Hz

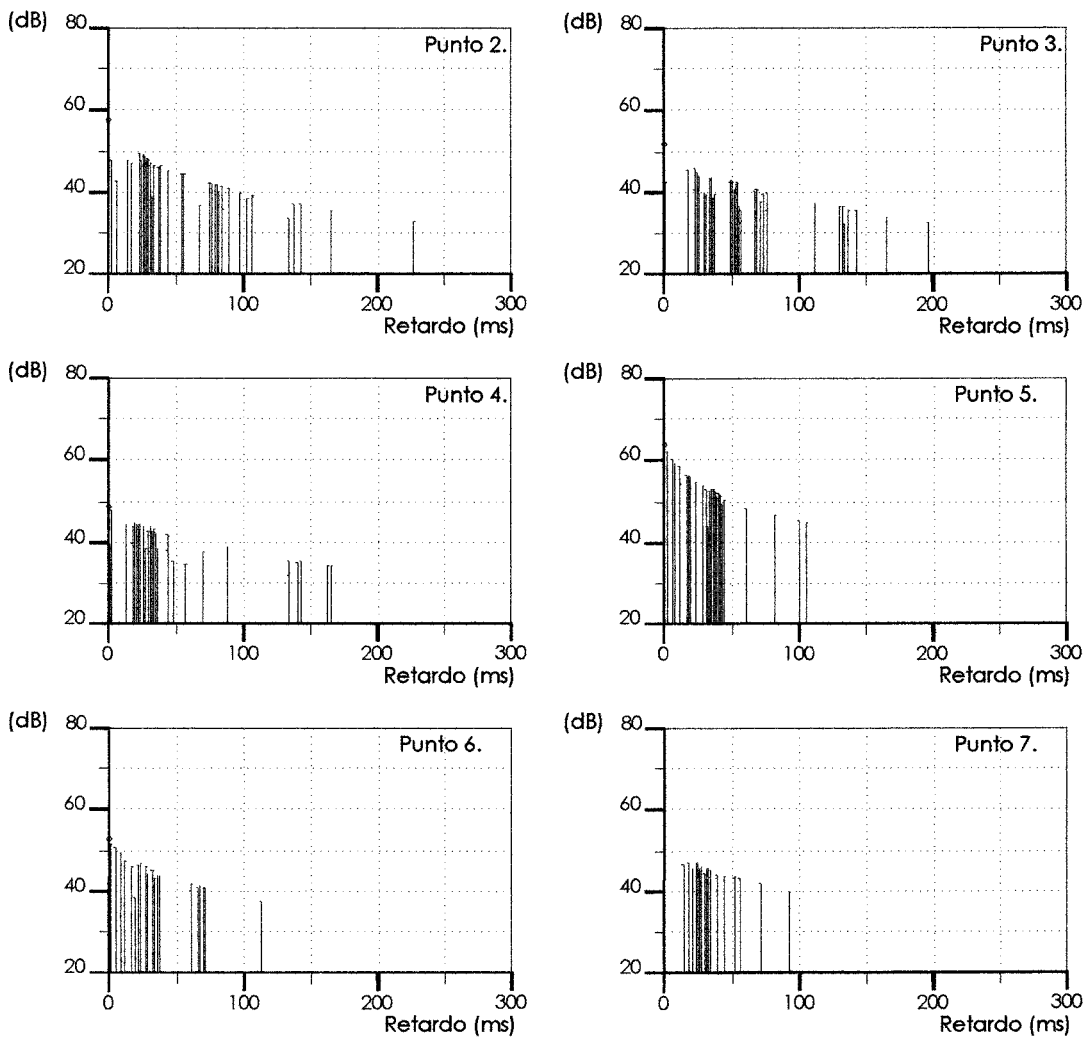


Figura A2.5. Acústica geométrica estado previo. 2000 Hz.

▪ PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.

Se adjunta el modelo geométrico utilizado en la simulación informática para la propuesta de intervención, así como los resultados obtenidos del estudio teórico de parámetros acústicos analizados anteriormente tanto en el estado actual como en el estado previo, para las dos configuraciones propuestas: la musical y la teatral. La situación de los diferentes puntos es la misma que se ha considerado anteriormente (figura A2.1).

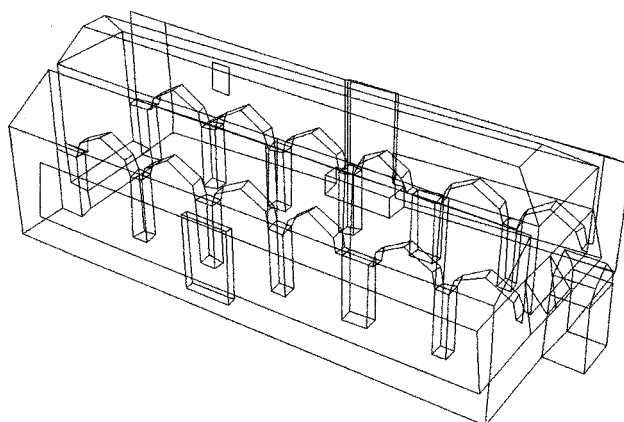


Fig. A2.6. Modelo geométrico para la simulación. Configuración musical.

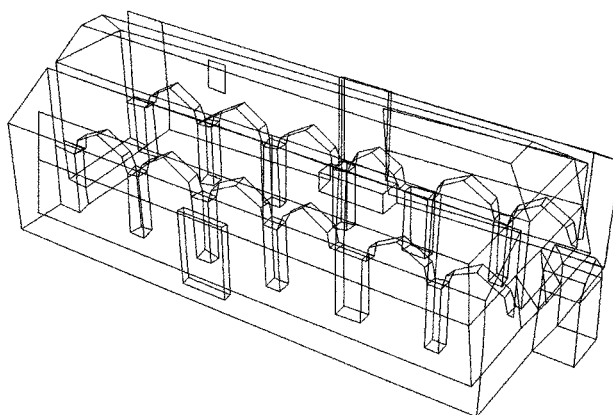


Fig. A2.7. Modelo geométrico para la simulación. Configuración teatral.

Nivel de presión sonora.

En las siguientes tablas se indican los niveles de presión sonora, en dB, para cada punto y frecuencia, así como el valor global en cada punto, tanto lineal como ponderado y los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. El nivel de emisión de la fuente es de 105 dB y se ha considerado ocupada la nave central con público en sillas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
01	86.3	92.4	87.5	82.3	74.3	80.0	94.8	89.3 (A)
02	80.2	86.2	80.6	75.1	67.5	72.6	88.4	82.5 (A)
03	78.8	85.0	78.9	73.4	65.8	70.9	87.1	81.0 (A)
04	78.8	85.1	79.1	74.0	66.1	71.2	87.2	81.2 (A)
05	81.5	87.8	82.5	77.2	69.4	74.5	90.1	84.3 (A)
06	79.5	86.0	80.3	74.9	67.3	72.2	88.1	82.2 (A)
07	78.4	84.7	79.0	73.9	65.9	71.0	86.9	81.0 (A)
08	79.8	86.0	80.2	75.1	67.2	72.0	88.1	82.2 (A)
MAX :	86.3	92.4	87.5	82.3	74.3	80.0		
MED :	80.4	86.7	81.0	75.7	67.9	73.0		
MIN :	78.4	84.7	78.9	73.4	65.8	70.9		

Tabla A2.14. Nivel de presión sonora. Configuración musical.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
01	86.4	92.2	87.0	81.8	73.9	79.7	94.6	88.9 (A)
02	80.5	85.8	79.0	73.3	65.6	70.9	87.9	81.3 (A)
03	79.0	84.1	76.5	70.1	62.8	67.8	86.0	79.0 (A)
04	79.2	84.1	75.6	69.6	62.0	66.9	85.9	78.6 (A)
05	81.7	86.9	80.3	74.7	66.8	72.2	89.0	82.5 (A)
06	79.5	84.6	77.3	71.5	63.3	68.5	86.6	79.7 (A)
07	78.5	83.2	74.4	68.6	60.3	65.0	85.0	77.5 (A)
08	79.9	85.4	78.7	73.1	65.2	70.7	87.5	81.0 (A)
MAX :	86.4	92.2	87.0	81.8	73.9	79.7		
MED :	80.6	85.8	78.6	72.8	65.0	70.2		
MIN :	78.5	83.2	74.4	68.6	60.3	65.0		

Tabla A2.15. Nivel de presión sonora. Configuración teatral.

Definición.

En las siguientes se indican los valores, en porcentaje, de definición para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada la nave central con público en sillas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	80.8	80.7	84.1	84.5	83.4	86.0	81.8
02	40.3	37.6	43.2	44.3	43.5	46.4	39.5
03	28.5	26.2	27.5	27.5	27.1	32.0	26.9
04	34.5	29.1	31.4	33.0	35.3	37.1	30.7
05	51.8	49.1	55.1	51.6	56.5	56.7	50.9
06	33.4	32.5	38.6	35.5	34.3	41.0	34.0
07	20.4	18.8	23.7	24.7	23.5	28.2	20.4
08	34.0	33.1	31.7	34.3	33.7	38.4	33.2
MAX :	80.8	80.7	84.1	84.5	83.4	86.0	
MED :	40.4	38.4	41.9	41.9	42.2	45.7	
MIN :	20.4	18.8	23.7	24.7	23.5	28.2	

Tabla A2.16. Definición. Configuración musical.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	79.3	83.2	90.0	90.9	90.7	91.8	84.5
02	36.9	43.5	57.0	62.0	62.8	67.2	45.2
03	24.3	29.9	47.0	50.3	53.4	55.5	31.7
04	34.1	38.7	48.0	56.5	57.8	58.7	39.3
05	50.5	56.0	67.7	73.9	72.6	79.5	57.8
06	30.4	36.0	53.6	61.4	58.4	62.5	38.3
07	20.5	22.0	33.0	38.3	35.2	41.7	23.3
08	30.6	33.1	43.1	44.7	46.1	53.3	34.9
MAX :	79.3	83.2	90.0	90.9	90.7	91.8	
MED :	38.3	42.8	54.9	59.8	59.6	63.8	
MIN :	20.5	22.0	33.0	38.3	35.2	41.7	

Tabla A2.17. Definición. Configuración teatral.

Claridad musical.

En las tablas adjuntas, se indican los valores, en decibelios, de claridad musical (C_{80}) para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada la nave central con público en sillas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	7.6	7.5	8.7	8.7	8.4	9.4	7.9
02	0.5	0.3	1.0	1.1	1.4	1.7	0.6
03	-1.1	-2.0	-1.3	-0.8	-0.9	0.0	-1.6
04	0.1	-0.8	-0.5	0.1	-0.1	0.7	-0.5
05	2.2	1.7	2.7	2.3	2.6	3.4	2.0
06	-0.5	-1.0	0.0	-0.3	-0.2	0.9	-0.7
07	-2.1	-2.7	-1.9	-1.8	-1.9	-0.6	-2.4
08	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	0.1	0.8	-0.2
MAX :	7.6	7.5	8.7	8.7	8.4	9.4	
MED :	0.8	0.3	1.1	1.2	1.2	2.0	
MIN :	-2.1	-2.7	-1.9	-1.8	-1.9	-0.6	

Tabla A2.18. Claridad (C_{80}). Configuración musical.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	7.1	8.2	11.1	12.0	12.0	12.7	8.7
02	0.0	1.1	3.4	4.8	4.8	5.7	1.4
03	-1.8	-0.6	2.4	3.3	3.4	4.6	-0.3
04	-0.4	0.8	2.5	4.6	4.7	4.9	0.9
05	2.0	3.0	5.4	6.8	6.5	7.9	3.3
06	-1.3	0.3	2.8	4.5	3.7	4.6	0.5
07	-2.5	-1.8	0.3	1.8	0.9	2.2	-1.6
08	-0.6	0.2	2.6	3.0	3.0	4.6	0.6
MAX :	7.1	8.2	11.1	12.0	12.0	12.7	
MED :	0.3	1.4	3.8	5.1	4.9	5.9	
MIN :	-2.5	-1.8	0.3	1.8	0.9	2.2	

Tabla A2.19. Claridad (C_{80}). Configuración teatral.

Sonoridad.

En las tablas A2.20 y A2.21 se indican los valores, en decibelios, de la sonoridad de la iglesia para cada una de las frecuencias, y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia, considerando la iglesia vacía.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	21.4	21.5	21.3	21.4	21.5	21.4	21.5
02	15.9	16.2	15.7	16.1	16.2	15.6	16.1
03	14.5	15.2	14.6	14.7	15.0	14.1	14.9
04	14.5	15.2	14.7	14.7	15.1	14.3	15.0
05	16.8	17.3	17.0	16.9	17.1	16.6	17.2
06	15.1	15.5	15.2	15.2	15.3	14.6	15.3
07	14.0	14.7	14.4	14.5	14.7	13.7	14.5
08	15.1	15.5	15.1	15.1	15.7	14.6	15.3
MAX :	21.4	21.5	21.3	21.4	21.5	21.4	
MED :	15.9	16.4	16.0	16.1	16.3	15.6	
MIN :	14.0	14.7	14.4	14.5	14.7	13.7	

Tabla A2.20. Sonoridad (G_{10}). Configuración musical.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	21.6	21.3	20.8	20.8	20.8	20.9	21.2
02	16.2	15.6	13.9	13.6	13.8	13.4	15.2
03	14.9	14.0	11.6	10.9	11.2	10.7	13.6
04	15.1	13.8	10.8	10.0	10.5	9.7	13.3
05	16.9	16.3	14.4	13.9	14.1	13.5	15.9
06	15.0	14.1	11.6	10.7	11.1	10.4	13.6
07	14.2	12.8	9.6	8.4	8.6	7.6	12.3
08	15.5	15.1	13.4	13.0	13.2	12.6	14.7
MAX :	21.6	21.3	20.8	20.8	20.8	20.9	
MED :	16.2	15.4	13.3	12.7	12.9	12.4	
MIN :	14.2	12.8	9.6	8.4	8.6	7.6	

Tabla A2.21. Sonoridad (G_{10}). Configuración teatral.

Ecogramas.

Se adjuntan, para la configuración musical y teatral, los ecogramas correspondientes a la banda de octava de 2000 Hz, para los puntos más representativos de la iglesia.

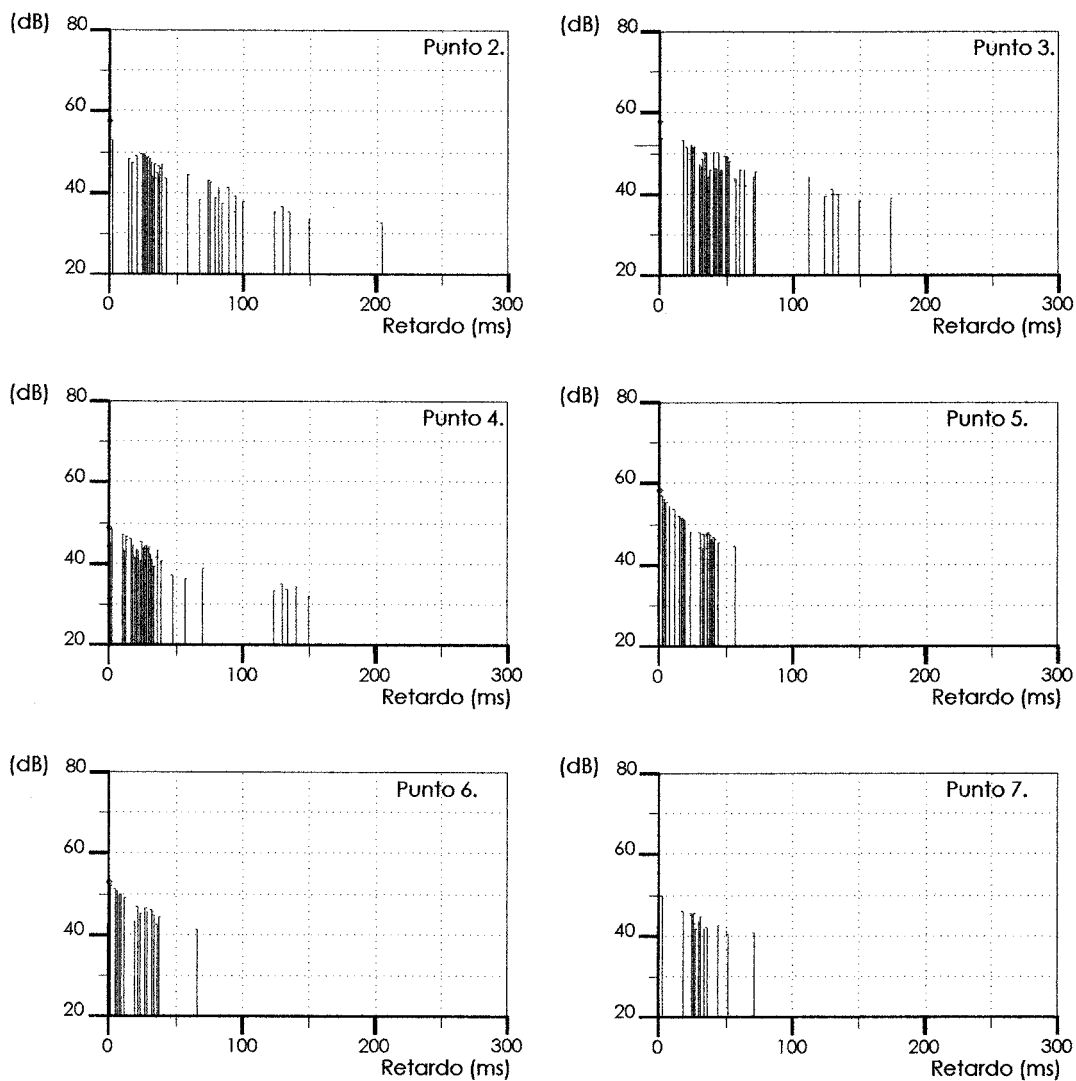


Figura A2.8. Acústica geométrica propuesta. Configuración musical. 2000 Hz

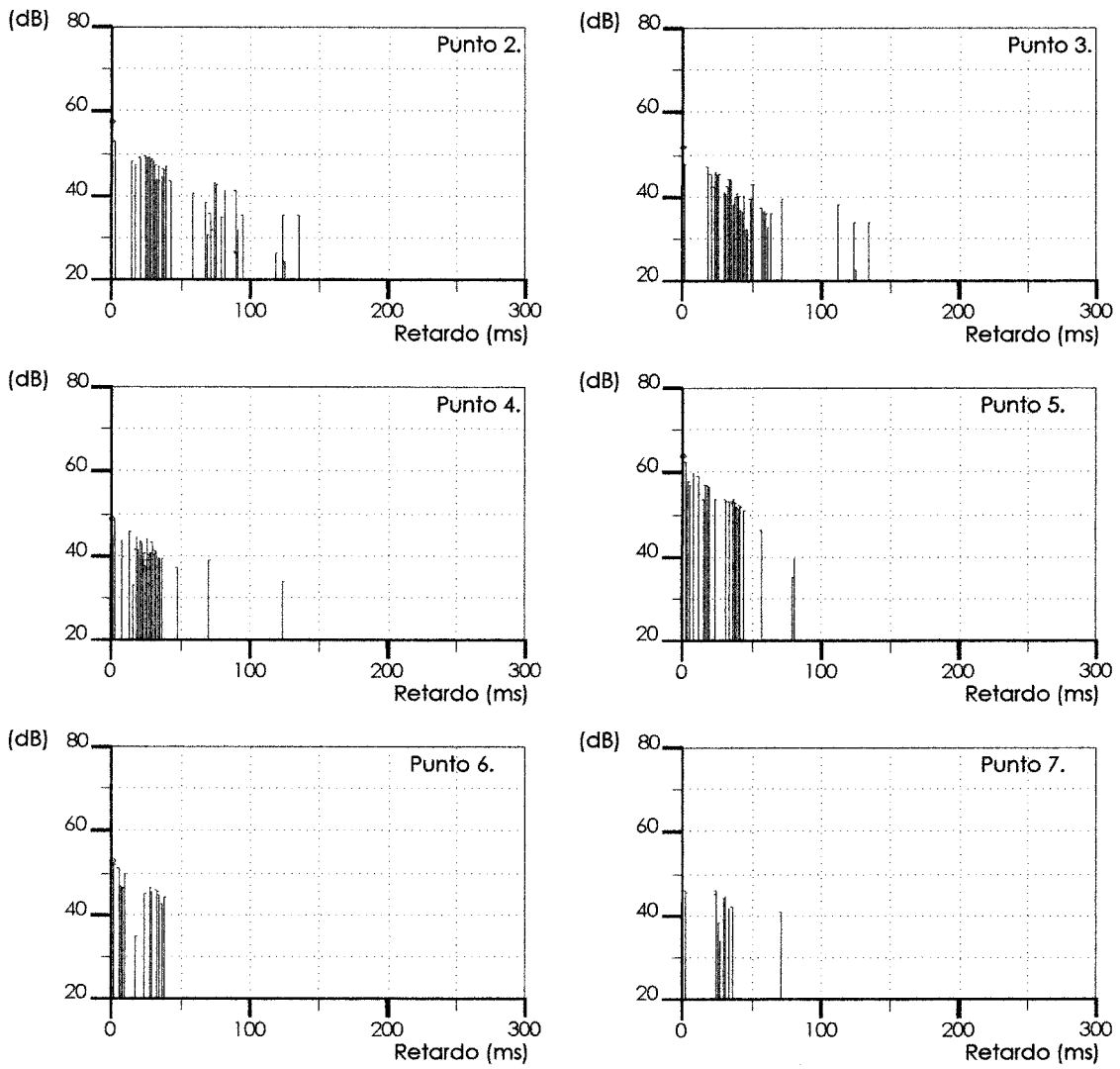


Figura A2.9. Acústica geométrica propuesta. Configuración teatral. 2000 Hz

▪ RESUMEN DE REFLEXIONES Y DE PARÁMETROS ACÚSTICOS.

Se adjunta, como resumen de las reflexiones obtenidas de los diferentes ecogramas, un cuadro valorativo de las principales reflexiones que se producen en el recinto, tanto en los modelos del estado actual y previo, como en la propuesta de intervención, para las configuraciones musical y teatral. Se determinan las reflexiones que llegan al punto en un intervalo inferior a 100 ms y el total de reflexiones, así como las reflexiones en las superficies más significativas.

Se completa el cuadro con la cuantificación del retardo de tiempo que existe entre la primera reflexión respecto del sonido directo (ITDG), valor que se relaciona con la intimidad acústica.

	PTO.	ESTADO ACTUAL	ESTADO PREVIO	PROPUESTA CONFIG. MUSICAL	PROPUESTA CONFIG. TEATRAL
Reflexiones<100 ms /total reflexiones.	P2	49/57	44/52	44/49	48/55
	P3	34/42	38/46	42/48	45/52
	P4	36/42	38/44	49/54	45/48
	P5	41/43	34/35	30/30	31/31
	P6	26/27	24/25	19/19	16/16
	P7	25/26	23/23	15/15	11/11
Reflexiones techo nave	P2	22/23	17/18	17/18	17/18
	P3	14/15	18/19	18/19	18/19
	P4	17/18	19/20	19/20	19/20
	P5	10/10	5/5	5/5	5/5
	P6	3/3	3/3	3/3	3/3
	P7	6/6	6/6	6/6	6/6
Reflexiones naves laterales.	P2	15/15	15/15	12/12	12/12
	P3	11/11	11/11	13/13	9/9
	P4	7/7	7/7	14/14	13/13
	P5	20/21	20/21	11/11	11/11
	P6	12/12	12/12	11/11	9/9
	P7	11/11	11/11	5/5	5/5
Reflexiones fondo nave	P2	7/14	7/14	4/11	8/15
	P3	7/16	7/16	16/19	17/24
	P4	7/13	7/13	7/13	7/10
	P5	2/4	2/4	1/1	2/2
	P6	4/5	4/5		
	P7	5/6	5/6		
ITDG ms	P2	1.86	1.86	1.62	1.62
	P3	1.03	1.03	0.90	0.90
	P4	0.77	0.77	1.72	1.72
	P5	2.78	2.78	1.74	1.74
	P6	1.38	1.38	1.00	1.00
	P7	1.11	1.11	1.55	1.55

Tabla A2.22. Resumen de reflexiones.

Se acompaña un resumen comparativo de los principales parámetros acústicos en las diferentes hipótesis consideradas, tanto en el estado actual y previo como en la propuesta de intervención para la configuración musical y teatral.

Tiempo de reverberación.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Tr med
Estado actual							
Medido vacío	2.37	2.71	2.63	2.35	1.67	1.35	2.18
Estimado público sillas	1.94	2.04	1.74	1.57	1.24	1.08	1.60
Estado previo							
Estimado público sillas	1.85	1.87	1.71	1.64	1.56	1.22	1.64
Propuesta							
Configuración musical	1.63	1.71	1.50	1.48	1.50	1.28	1.52
Configuración teatral	1.63	1.42	0.99	0.78	0.79	0.70	1.05
Óptimos							
Música	2.24	1.84	1.60	1.60	1.60	1.60	1.75
Palabra	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89

Tabla A2.23. Resumen de tiempo de reverberación (segundos).

Nivel de presión sonora.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Estado actual						
Medido vacío	83.6	89.7	85.3	80.6	80.0	71.2
Estimado público sillas	81.8	88.2	82.7	77.1	67.9	72.7
Estado previo						
Estimado público sillas	81.0	87.2	81.9	76.5	68.3	72.7
Propuesta						
Configuración musical	80.4	86.7	81.0	75.7	67.9	73.0
Configuración teatral	80.6	85.8	78.6	72.8	65.0	70.2

Tabla A2.24. Resumen de niveles de presión sonora. Valores medios (dB)

RASTI.

	2	3	4	5	6	7	8	Med
Estado actual								
Medido vacío.	0.53	0.45	0.48	0.47	0.41	0.43	0.45	0.46
Estimado con público.	0.59	0.50	0.51	0.52	0.44	0.48	0.48	0.50
Estado previo								
Estimado con público.	0.55	0.51	0.50	0.49	0.44	0.47	0.46	0.49
Propuesta								
Configuración musical	0.60	0.55	0.54	0.53	0.47	0.45	0.49	0.52
Configuración teatral	0.72	0.71	0.67	0.63	0.58	0.56	0.58	0.64

Tabla A2.25. Resumen RASTI.

Definición. Valores globales (%). Valor óptimo D>50%

	2	3	4	5	6	7	8	Med
Estado inicial								
Estimado con público.	33.6	17.1	22.3	41.0	23.0	17.9	27.7	26.0
Estado previo								
Estimado con público.	34.8	20.2	23.2	44.9	26.9	18.4	28.4	28.1
Propuesta								
Configuración musical	39.5	26.9	30.7	50.9	34.0	20.4	33.2	33.6
Configuración teatral	45.2	31.7	39.3	57.8	38.3	23.3	34.9	38.6

Tabla A2.26. Resumen valores de definición.

Claridad musical. Iglesia ocupada. Valores óptimos $-2 \leq C_{80} \leq +2$ dB

	2	3	4	5	6	7	8	Med
Estado inicial								
Estimado con público.	-0.5	-3.2	-2.1	0.5	-2.4	-3.3	-1.5	-1.79
Estado previo								
Estimado con público.	-0.5	-2.7	-1.8	1.1	-1.9	-3.0	-1.5	-1.47
Propuesta								
Configuración musical	0.6	-1.6	-0.5	2.0	-0.7	-2.4	-0.2	-0.40
Configuración teatral	1.4	-0.3	0.9	3.3	0.5	-1.6	0.6	0.69

Tabla A2.27. Resumen valores de claridad musical.

Otros parámetros.

	Volumen (m ³)	Ocupación	m ³ / plaza	Volumen/área audiencia.
Estado inicial	1225	128	9.5	14.5
Estado previo	1500	128	11.7	17.8
Propuesta				
Configuración musical	1469	128	11.5	17.5
Configuración teatral	1469	128	11.5	17.5
Rango óptimo			5.1-9.1	9.2-12.0

Tabla A2.28. Resumen otros parámetros.

Apéndice 3.

IGLESIA DE SANTIAGO. DOS TORRES.

▪ **ANÁLISIS ACÚSTICO DEL ESTADO ACTUAL. MEDICIÓN ACÚSTICA.**

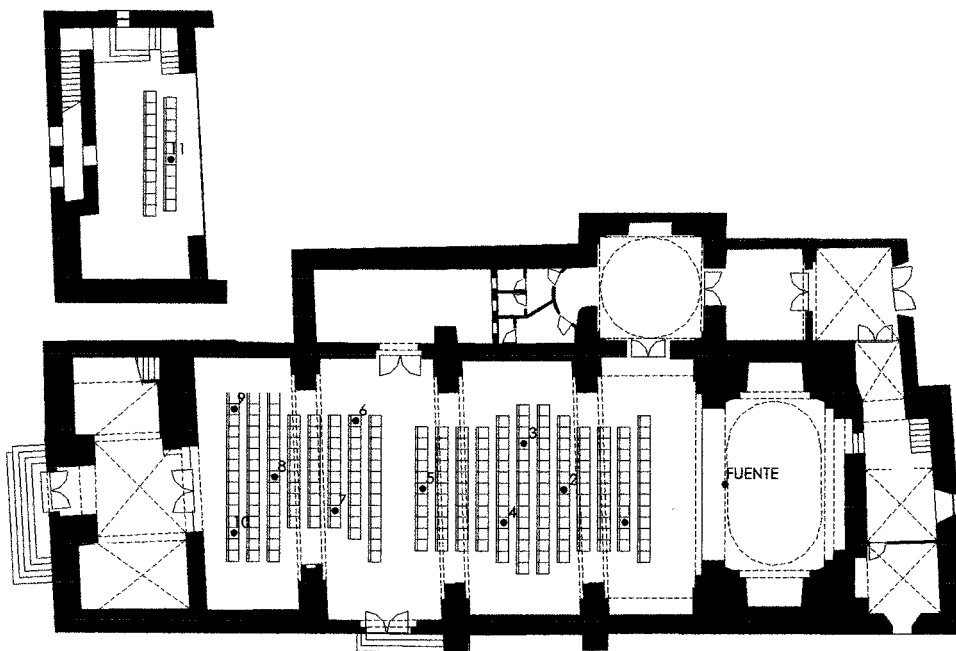


Fig. A3.1. Situación puntos de medida.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

PUNTOS	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1	1.93	1.62	1.50	1.36	1.28	1.03	0.58
2	2.27	1.63	1.49	1.50	1.35	1.07	0.64
3	2.29	1.75	1.51	1.46	1.32	1.08	0.63
4	1.93	1.62	1.52	1.50	1.35	1.09	0.66
5	2.02	1.70	1.46	1.46	1.42	1.13	0.70
6	2.19	1.73	1.46	1.56	1.42	1.12	0.74
7	2.30	1.61	1.54	1.45	1.37	1.12	0.73
8	2.48	1.66	1.45	1.50	1.40	1.16	0.73
9	2.58	1.57	1.40	1.50	1.40	1.14	0.75
10	2.51	1.59	1.66	1.57	1.44	1.20	0.74
11	2.40	1.74	1.54	1.48	1.41	1.13	0.76
Promedio	2.26	1.66	1.50	1.49	1.37	1.11	0.70

Tabla A3.1. Tiempos de reverberación medidos (segundos).

DISTRIBUCIÓN SONORA.

PTOS	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	A	L
0	94.22	98.12	92.58	88.22	86.96	77.61	80.37	95.16	100.87
1	84.50	89.83	84.80	79.98	80.89	74.08	68.43	87.50	92.55
2	83.97	88.95	82.93	78.16	79.52	71.08	65.31	85.80	91.50
3	82.07	85.42	81.29	76.77	77.98	69.63	63.83	84.10	88.87
4	80.76	87.19	80.89	76.44	77.56	69.30	64.31	84.07	89.44
5	79.94	85.64	79.43	75.15	75.81	67.77	62.08	82.54	88.01
6	77.10	83.50	78.39	74.72	74.95	66.74	59.58	81.36	86.20
7	77.41	83.99	78.45	74.51	74.89	66.48	59.58	81.37	86.43
8	79.35	84.23	76.43	73.75	74.03	65.92	58.85	80.78	86.54
9	77.57	83.78	77.97	73.68	74.00	65.73	57.29	80.91	86.17
10	77.48	83.31	77.72	73.76	74.71	66.73	59.28	80.94	85.88
11	81.48	83.02	76.23	71.52	71.77	63.55	54.27	79.34	86.19

El punto 0 se ha situado a 1 m de la fuente.

Tabla A3.2. Medidas de niveles de presión sonora (dB).

INTELIGIBILIDAD.

Punto	RASTI	Octava (Hz)	STI	NPS (dB)	S/Neq (dB)	EDTeq (s)
0	0.88	500	0.83	70.2	9.9	0.32
		2000	0.92	61.7	12.5	0.15
1	0.57	500	0.57	58.2	2.1	1.00
		2000	0.57	48.1	2.1	1.10
2	0.56	500	0.55	57.2	1.4	1.20
		2000	0.58	47.8	2.3	1.00
3	0.49	500	0.44	55.6	-1.7	1.90
		2000	0.52	47.1	0.7	1.30
4	0.49	500	0.45	55.7	-1.6	1.90
		2000	0.53	46.7	0.8	1.30
5	0.48	500	0.44	54.7	-1.7	1.90
		2000	0.50	46.1	0.00	1.50
6	0.49	500	0.45	53.9	-1.4	1.80
		2000	0.51	45.2	0.3	1.40
7	0.47	500	0.46	54.0	-1.3	1.80
		2000	0.49	44.8	-0.4	1.60
8	0.44	500	0.35	52.8	-4.4	3.00
		2000	0.52	44.5	0.5	1.40
9	0.48	500	0.40	53.1	-3.1	2.40
		2000	0.54	44.6	1.1	1.20
10	0.47	500	0.40	52.3	-3.1	2.40
		2000	0.54	44.7	1.1	1.30
11	0.51	500	0.49	51.5	-0.4	
		2000	0.52	42.0	0.6	1.40

Tabla A3.3. Medidas de inteligibilidad. Índice RASTI .

RUIDO DE FONDO.

El tiempo de registro ha sido de 5 minutos, y se ha tomado en el punto 5.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	A	L
dB	25.80	23.65	24.80	22.55	21.93	32.05	25.52	34.47	43.25
dB(A)	9.51	14.96	20.79	22.60	23.12	33.04	24.24	34.47	43.25

Leq	NPS	Punta	Max P	Max N	Min N	L₁	L₁₀	L₅₀	L₉₀	L₉₉
33.1	35.6	49.5	55.9	41.2	20.4	40.0	37.5	30.5	23.5	21.5

Tabla A3.4. Medidas de ruido de fondo (dB).

▪ ANÁLISIS ACÚSTICO DEL ESTADO ACTUAL Y PREVIO. SIMULACIÓN INFORMÁTICA.

Se incorporan en este anexo el modelo geométrico utilizado en el estudio teórico mediante simulación informática, tanto para la hipótesis de estado actual como para la hipótesis del estado previo (anterior a la restauración), así como los resultados obtenidos para los diferentes puntos y frecuencias de diferentes parámetros energéticos (obtenidos a partir del programa CATT-Acoustic) relacionados con la calidad sonora de la sala: nivel de presión sonora, definición, claridad musical y sonoridad, además del estudio teórico de las reflexiones mediante los ecogramas, para la banda de octava de 2000 Hz.

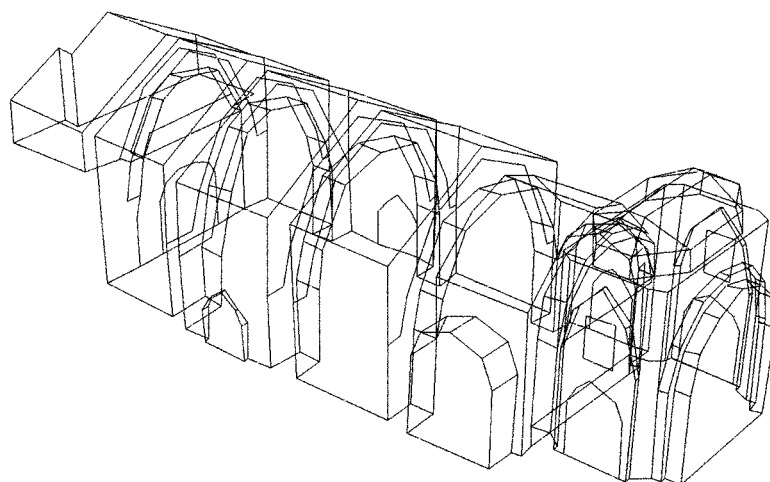


Fig. A3.2. Modelo geométrico para la simulación. Estado actual

Nivel de presión sonora.

En las tablas siguientes se indican los niveles de presión sonora, en dB, para cada punto y frecuencia, así como el valor global en cada punto, tanto lineal como ponderado, y los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. El nivel de emisión de la fuente es de 110.96 dB. Para la hipótesis del estado actual, se ha estimado que el público está sentado en butacas situadas en la nave, mientras que en el estado previo, el público ocupa bancos. En ambos casos no se ha considerado ocupación por parte del público en el coro. Se adjuntan además los resultados obtenidos para la hipótesis del estado actual vacío, con el fin de poder comparar los valores entre el modelo y la medición, y determinar así el grado de adecuación del modelo a la realidad.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
01	88.0	92.8	86.8	81.7	82.5	78.1	95.3	89.9 (A)
02	86.7	91.0	85.2	79.8	80.4	75.9	93.6	88.0 (A)
03	86.0	90.5	84.4	79.3	80.0	75.2	93.0	87.4 (A)
04	85.9	89.9	83.9	78.7	79.4	74.9	92.6	86.9 (A)
05	84.7	88.6	82.3	76.9	77.8	73.1	91.2	85.4 (A)
06	83.9	88.0	81.8	76.3	76.9	71.9	90.5	84.6 (A)
07	83.3	87.3	81.0	75.6	76.4	71.4	89.9	84.0 (A)
08	83.1	87.1	80.8	75.4	76.1	71.0	89.7	83.8 (A)
09	82.7	86.7	79.9	74.7	75.5	70.3	89.1	83.1 (A)
10	82.9	86.8	80.3	74.8	75.4	70.6	89.3	83.3 (A)
11	80.4	84.4	77.8	72.6	72.8	67.8	86.9	80.8 (A)
MAX :	88.0	92.8	86.8	81.7	82.5	78.1		
MED :	84.3	88.5	82.2	76.9	77.6	72.7		
MIN :	80.4	84.4	77.8	72.6	72.8	67.8		

Tabla A3.5. Nivel de presión sonora. Estado actual vacío.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
01	87.1	91.9	86.1	80.8	81.7	77.1	94.5	89.0 (A)
02	85.7	89.8	84.1	78.4	79.3	74.5	92.5	86.8 (A)
03	85.0	89.2	83.3	77.9	78.7	74.1	91.8	86.2 (A)
04	84.5	88.8	82.8	77.2	78.0	73.0	91.3	85.6 (A)
05	83.1	87.2	80.8	75.6	76.1	71.4	89.7	83.8 (A)
06	82.5	86.6	80.4	74.9	75.5	70.4	89.1	83.3 (A)
07	81.8	86.0	80.0	73.9	75.2	69.7	88.5	82.7 (A)
08	81.3	85.6	79.5	73.7	74.6	69.3	88.1	82.2 (A)
09	81.0	85.1	78.3	73.0	73.6	68.0	87.5	81.4 (A)
10	81.0	85.4	78.9	73.2	74.0	68.7	87.8	81.8 (A)
11	79.1	83.0	76.3	70.7	71.4	66.1	85.5	79.3 (A)
MAX :	87.1	91.9	86.1	80.8	81.7	77.1		
MED :	82.9	87.1	81.0	75.4	76.2	71.1		
MIN :	79.1	83.0	76.3	70.7	71.4	66.1		

Tabla A3.6. Nivel de presión sonora. Estado actual, público en butacas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
01	88.7	93.2	87.5	82.2	83.0	78.7	95.8	90.4 (A)
02	87.5	91.9	85.8	80.4	81.1	76.5	94.4	88.7 (A)
03	86.8	91.2	85.3	79.7	80.6	75.7	93.8	88.1 (A)
04	86.6	90.7	85.1	79.3	80.1	75.1	93.4	87.7 (A)
05	85.4	89.6	83.5	77.9	78.9	73.5	92.2	86.4 (A)
06	84.8	89.0	82.9	77.2	78.1	72.8	91.5	85.7 (A)
07	84.4	88.5	82.5	76.5	77.4	72.5	91.1	85.2 (A)
08	84.1	88.4	82.2	76.3	77.3	71.9	90.9	85.0 (A)
09	83.7	87.8	81.7	75.8	76.7	71.2	90.4	84.4 (A)
10	83.9	87.9	81.4	75.9	76.7	71.6	90.4	84.4 (A)
11	82.5	86.9	80.6	75.1	75.6	70.3	89.3	83.4 (A)
MAX :	88.7	93.2	87.5	82.2	83.0	78.7		
MED :	85.3	89.6	83.5	77.8	78.7	73.6		
MIN :	82.5	86.9	80.6	75.1	75.6	70.3		

Tabla A3.7. Nivel de presión sonora. Estado previo, público en bancos.

Definición.

Se muestran los valores, en porcentaje, de definición para cada una de las frecuencias, y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. En las dos hipótesis se ha considerado ocupada la nave con público, en butacas o en bancos, según el caso.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	34.6	46.1	54.0	58.6	61.2	62.8	46.8
02	23.1	33.8	39.8	42.0	48.2	52.8	33.8
03	30.2	39.0	48.0	50.1	55.6	56.4	40.0
04	22.9	34.0	40.5	43.3	43.7	52.0	33.7
05	19.7	28.1	37.4	40.8	46.2	47.7	29.0
06	18.6	26.9	33.8	37.9	41.2	43.0	27.3
07	14.7	25.3	31.3	32.6	38.6	35.2	24.9
08	18.3	26.8	34.8	39.6	38.6	46.1	27.4
09	15.6	24.8	26.9	33.4	36.3	41.3	24.0
10	18.4	25.6	33.3	42.9	40.7	47.2	26.6
11	17.7	27.1	33.9	38.4	46.3	43.5	27.1
MAX :	34.6	46.1	54.0	58.6	61.2	62.8	
MED :	21.3	30.7	37.6	41.8	45.1	48.0	
MIN :	14.7	24.8	26.9	32.6	36.3	35.2	

Tabla A3.8. Definición. Estado actual. Público en butacas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	28.1	36.5	44.8	47.9	52.6	53.8	37.8
02	18.5	24.1	31.9	37.0	38.3	40.3	25.5
03	22.3	30.7	35.0	41.1	39.7	44.7	30.7
04	17.6	23.2	32.2	34.3	33.1	33.2	24.4
05	13.3	19.7	25.8	27.4	30.7	31.4	20.1
06	12.7	18.4	22.7	26.9	28.2	30.9	18.7
07	10.0	17.7	21.8	21.1	24.7	27.5	17.1
08	12.1	18.1	24.1	24.2	26.4	28.8	18.4
09	12.3	16.1	20.4	24.5	25.0	28.8	16.7
10	12.7	17.5	21.4	24.1	23.6	28.5	17.5
11	9.8	14.8	18.6	21.3	18.5	24.4	14.8
MAX :	28.1	36.5	44.8	47.9	52.6	53.8	
MED :	15.4	21.5	27.2	30.0	31.0	33.9	
MIN :	9.8	14.8	18.6	21.1	18.5	24.4	

Tabla A3.9. Definición. Estado previo. Público en bancos

Claridad musical.

En las tablas siguientes se indican los valores, en decibelios, de claridad musical (C_{80}) para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada la nave central con público.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	-0.4	1.8	3.6	4.3	5.1	5.6	1.9
02	-2.2	0.3	1.8	2.6	3.4	4.1	0.3
03	-2.3	-0.2	1.6	2.2	3.3	3.6	-0.1
04	-2.8	-0.6	0.8	1.8	2.0	2.8	-0.6
05	-3.7	-1.8	0.4	1.2	1.8	2.2	-1.6
06	-3.6	-1.4	0.3	0.8	1.5	1.7	-1.4
07	-5.3	-2.0	-0.3	-0.3	0.9	0.9	-2.2
08	-4.3	-1.9	-0.6	0.0	0.4	1.2	-1.9
09	-4.7	-2.5	-1.8	-0.6	0.0	1.0	-2.6
10	-4.3	-2.1	-0.6	0.3	0.4	1.3	-2.1
11	-4.0	-1.4	-1.0	0.4	1.4	1.3	-1.7
MAX :	-0.4	1.8	3.6	4.3	5.1	5.6	
MED :	-3.4	-1.1	0.4	1.1	1.8	2.3	
MIN :	-5.3	-2.5	-1.8	-0.6	0.0	0.9	

Tabla A3.10. Claridad (C_{80}). Estado actual.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	-2.1	0.2	1.7	2.7	3.2	3.9	0.3
02	-3.8	-1.7	-0.3	1.0	0.9	1.7	-1.6
03	-3.9	-2.1	-0.8	0.3	0.3	0.8	-2.0
04	-4.6	-2.7	-1.1	-0.2	-0.6	-0.1	-2.6
05	-5.8	-3.4	-2.1	-1.7	-1.2	-0.8	-3.5
06	-5.7	-3.7	-2.9	-1.7	-1.4	-0.5	-3.7
07	-6.7	-4.4	-3.3	-2.8	-2.4	-1.3	-4.5
08	-6.3	-4.2	-2.9	-2.7	-2.0	-1.2	-4.2
09	-6.4	-4.6	-3.7	-2.7	-2.5	-1.4	-4.6
10	-6.2	-4.6	-3.7	-3.0	-2.5	-1.6	-4.6
11	-7.0	-4.9	-4.5	-3.3	-4.1	-2.2	-5.1
MAX :	-2.1	0.2	1.7	2.7	3.2	3.9	
MED :	-5.3	-3.3	-2.2	-1.3	-1.1	-0.2	
MIN :	-7.0	-4.9	-4.5	-3.3	-4.1	-2.2	

Tabla A3.11. Claridad (C_{80}). Estado previo.

Sonoridad.

En las tablas adjuntas se indican los valores, en decibelios, de la sonoridad de la iglesia para cada una de las frecuencias, y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia, considerando en ambas hipótesis la iglesia vacía.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	17.0	15.6	14.3	13.9	13.5	13.5	15.3
02	15.7	13.8	12.6	12.0	11.4	11.3	13.7
03	15.0	13.3	11.9	11.5	11.1	10.6	13.1
04	15.0	12.8	11.3	10.9	10.5	10.3	12.6
05	13.7	11.4	9.8	9.1	8.9	8.5	11.2
06	12.9	10.8	9.2	8.5	8.0	7.4	10.5
07	12.3	10.2	8.5	7.8	7.4	6.8	9.9
08	12.1	9.9	8.3	7.6	7.2	6.5	9.7
09	11.7	9.5	7.3	6.9	6.6	5.7	9.2
10	11.9	9.6	7.8	7.1	6.5	6.0	9.3
11	9.4	7.2	5.2	4.8	3.9	3.2	6.9
MAX :	17.0	15.6	14.3	13.9	13.5	13.5	
MED :	13.3	11.3	9.6	9.1	8.6	8.2	
MIN :	9.4	7.2	5.2	4.8	3.9	3.2	

Tabla A3.12. Sonoridad (G_{10}). Estado actual.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	18.7	17.4	16.6	16.1	15.7	15.1	17.2
02	17.8	16.3	15.4	14.9	14.5	13.4	16.2
03	17.2	16.0	15.2	14.5	14.2	13.3	15.8
04	17.0	15.7	14.8	14.2	14.0	12.6	15.5
05	16.1	14.9	13.9	13.3	13.0	11.4	14.6
06	15.4	14.1	13.3	12.9	12.5	10.7	13.9
07	15.2	13.9	13.0	12.3	12.0	10.3	13.7
08	15.0	13.7	12.8	12.2	12.1	10.2	13.5
09	14.7	13.6	12.4	11.8	11.4	9.4	13.2
10	14.8	13.6	12.7	11.8	11.7	10.0	13.3
11	13.3	11.9	11.1	10.6	10.2	8.1	11.7
MAX :	18.7	17.4	16.6	16.1	15.7	15.1	
MED :	15.9	14.7	13.7	13.2	12.9	11.3	
MIN :	13.3	11.9	11.1	10.6	10.2	8.1	

Tabla A3.13. Sonoridad (G_{10}). Estado previo.

Ecogramas.

Se adjuntan los ecogramas para la banda de octava de 2000 Hz, que relacionan el nivel de presión sonora y el retardo en ms de cada reflexión, para los puntos más representativos de la iglesia, en el estado actual.

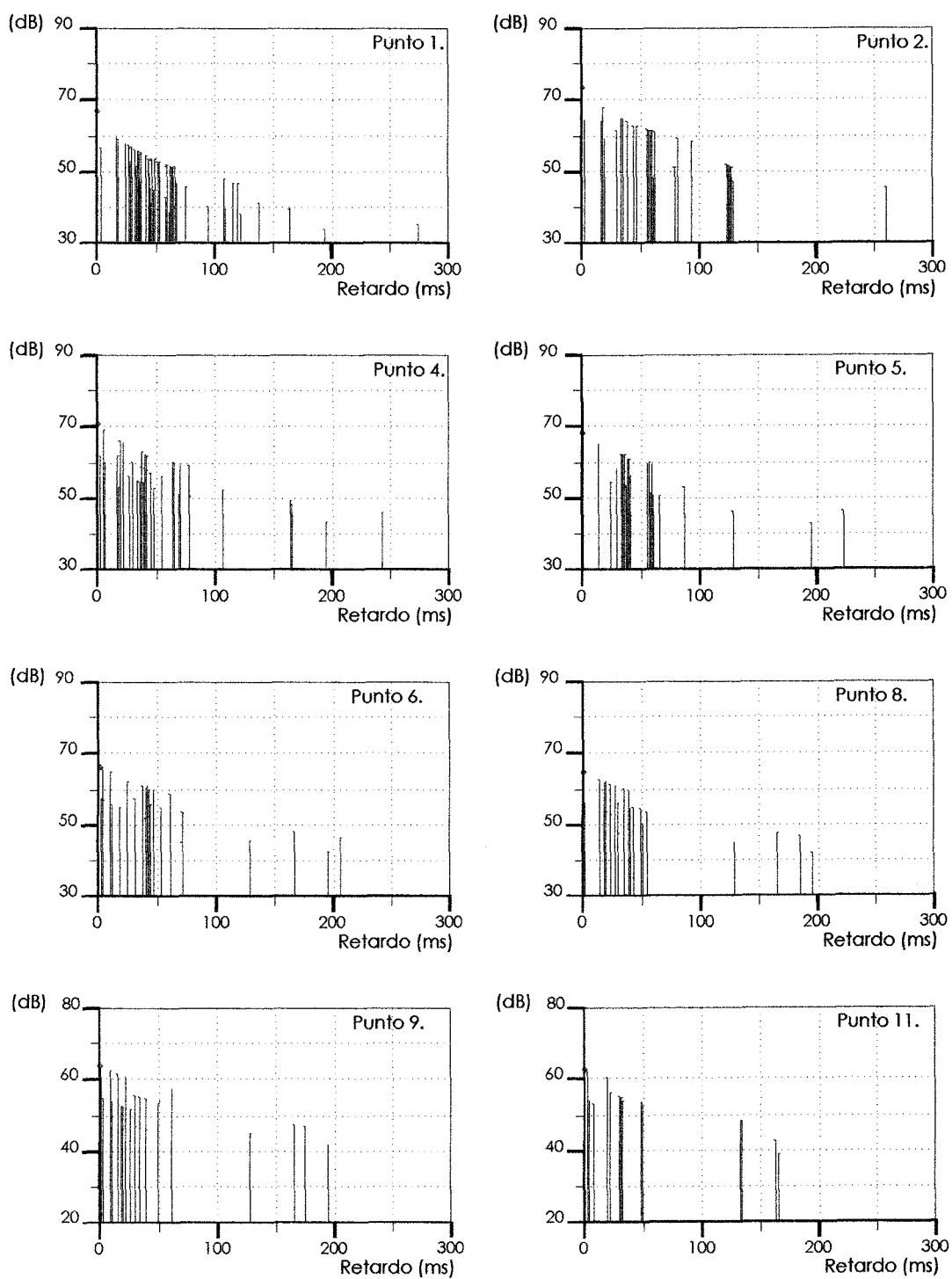


Fig. A3.3. Acústica geométrica estado actual. 2000 Hz

▪ PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.

Se adjunta el modelo geométrico utilizado en la simulación informática para la propuesta de intervención, así como los resultados obtenidos del estudio teórico de parámetros acústicos analizados anteriormente tanto en el estado actual como en el estado previo, para las dos configuraciones propuestas: la musical y la teatral. La situación de los diferentes puntos es la misma que se ha considerado anteriormente (figura A2.1).

Fig. A3.4. Modelo geométrico para la simulación. Propuesta de intervención.

Nivel de presión sonora.

En las siguientes tablas se indican los niveles de presión sonora en dB para cada punto y frecuencia, así como el valor global en cada punto, tanto lineal como ponderado, y los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. El nivel de emisión de la fuente es de 110.96 dB y se ha considerado ocupada la nave con público en butacas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado	
01	86.5	92.1	87.1	82.1	83.1	77.8	94.8	89.9	(A)
02	85.3	90.8	85.6	80.7	81.5	76.2	93.4	88.5	(A)
03	84.5	90.5	85.0	80.1	80.9	75.7	92.9	87.9	(A)
04	84.1	89.9	84.7	79.9	80.7	75.1	92.5	87.6	(A)
05	83.0	88.7	83.2	78.4	79.3	73.9	91.2	86.2	(A)
06	82.3	88.3	82.8	77.7	78.8	73.0	90.8	85.7	(A)
07	82.4	88.3	83.1	77.9	78.9	73.3	90.8	85.8	(A)
08	81.8	87.9	82.5	77.3	78.3	72.8	90.4	85.3	(A)
09	81.5	87.3	81.8	76.7	77.9	71.9	89.8	84.8	(A)
10	81.5	87.4	81.6	76.9	77.6	72.1	89.8	84.7	(A)
MAX :	86.5	92.1	87.1	82.1	83.1	77.8			
MED :	83.3	89.1	83.7	78.8	79.7	74.2			
MIN :	81.5	87.3	81.6	76.7	77.6	71.9			

Tabla A3.14. Nivel de presión sonora. Configuración musical.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
01	85.4	91.7	86.8	82.0	82.9	77.7	94.3	89.7 (A)
02	84.2	90.1	85.2	80.0	81.3	75.7	92.8	88.0 (A)
03	83.7	89.6	84.4	79.5	80.4	75.6	92.2	87.4 (A)
04	83.0	89.1	83.9	79.0	80.2	74.6	91.7	86.9 (A)
05	81.8	87.3	82.4	77.0	78.1	72.5	90.0	85.0 (A)
06	81.5	87.2	81.5	76.2	77.5	71.6	89.6	84.4 (A)
07	81.3	86.9	81.3	75.9	77.2	71.3	89.3	84.2 (A)
08	80.5	86.2	80.6	74.7	76.3	70.6	88.6	83.3 (A)
09	80.4	85.7	79.7	73.8	75.1	69.0	88.0	82.4 (A)
10	80.2	85.4	79.4	73.6	74.9	69.2	87.8	82.2 (A)
MAX :	85.4	91.7	86.8	82.0	82.9	77.7		
MED :	82.2	87.9	82.5	77.2	78.4	72.8		
MIN :	80.2	85.4	79.4	73.6	74.9	69.0		

Tabla A3.15. Nivel presión sonora. Configuración teatral.

Definición.

Se adjuntan los valores, en porcentaje, de definición para cada frecuencia y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada la nave con público en butaca.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	39.7	42.0	43.6	45.1	44.8	51.3	42.5
02	26.3	28.3	27.7	31.7	33.4	37.6	28.6
03	30.1	35.0	34.4	34.0	40.7	42.4	34.6
04	27.3	28.2	31.8	32.3	34.5	38.4	29.5
05	24.6	24.6	29.5	30.2	30.1	40.2	26.3
06	21.0	24.7	25.7	25.0	27.8	34.9	24.7
07	23.8	25.3	28.6	29.9	29.6	38.9	26.4
08	24.8	26.0	28.7	30.9	32.7	37.3	27.1
09	27.7	29.2	32.4	34.1	35.6	39.8	30.3
10	26.4	27.3	29.5	30.4	30.7	39.7	28.1
MAX :	39.7	42.0	43.6	45.1	44.8	51.3	
MED :	27.2	29.1	31.2	32.4	34.0	40.0	
MIN :	21.0	24.6	25.7	25.0	27.8	34.9	

Tabla A3.16. Definición. Configuración musical.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	47.8	49.4	49.2	49.1	49.6	56.5	49.3
02	35.9	32.9	35.3	36.4	35.4	41.4	34.3
03	38.6	42.4	42.1	38.3	40.8	51.5	41.7
04	34.2	35.2	37.3	39.2	41.1	45.6	36.2
05	28.3	29.0	31.7	34.0	31.9	43.4	30.0
06	26.4	26.9	28.5	30.0	29.4	40.9	27.6
07	26.8	26.9	30.5	33.7	30.4	40.6	28.2
08	31.0	34.4	36.7	40.1	37.9	44.2	34.8
09	27.8	31.3	29.8	34.7	34.3	40.7	30.9
10	29.6	31.1	31.1	35.1	34.9	40.2	31.3
MAX :	47.8	49.4	49.2	49.1	49.6	56.5	
MED :	32.6	33.9	35.2	37.1	36.6	44.5	
MIN :	26.4	26.9	28.5	30.0	29.4	40.2	

Tabla A3.17. Definición. Configuración teatral.

Claridad musical.

En las siguientes tablas se indican los valores, en decibelios, de claridad musical (C_{80}) para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada la nave con público sentado en butacas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	0.1	0.5	0.8	0.8	1.0	2.6	0.6
02	-1.7	-1.1	-0.9	-0.8	-0.2	1.0	-1.0
03	-1.9	-0.7	-0.7	-0.8	0.2	1.0	-0.8
04	-1.6	-1.5	-1.1	-0.7	-0.3	1.0	-1.3
05	-2.5	-2.2	-1.9	-1.3	-1.2	0.5	-2.0
06	-2.8	-2.0	-1.3	-1.5	-1.3	0.2	-1.9
07	-2.5	-1.9	-1.5	-1.4	-1.0	0.7	-1.8
08	-1.9	-1.6	-0.9	-0.5	-0.7	1.3	-1.3
09	-1.2	-1.1	-0.4	-0.3	0.6	1.0	-0.8
10	-2.0	-1.9	-1.3	-0.5	-0.7	0.9	-1.6
MAX :	0.1	0.5	0.8	0.8	1.0	2.6	
MED :	-1.8	-1.4	-0.9	-0.7	-0.4	1.0	
MIN :	-2.8	-2.2	-1.9	-1.5	-1.3	0.2	

Tabla A3.18. Claridad (C_{80}). Configuración musical.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	1.9	1.9	2.1	2.2	2.0	3.5	2.0
02	0.4	0.2	0.7	0.6	0.9	2.0	0.4
03	0.3	0.5	0.6	0.5	0.4	2.6	0.5
04	-0.3	0.2	0.1	0.1	0.8	2.2	0.2
05	-1.6	-1.5	-0.5	-0.2	-0.4	1.2	-1.2
06	-1.1	-1.2	-0.7	0.2	-0.4	1.3	-1.0
07	-1.6	-1.0	-0.6	0.2	-0.3	1.3	-0.9
08	-1.2	0.0	0.6	0.7	0.8	2.8	0.0
09	-0.9	-0.5	0.1	0.2	0.7	2.0	-0.3
10	-0.7	-0.2	-1.1	0.5	0.8	2.2	-0.3
MAX :	1.9	1.9	2.1	2.2	2.0	3.5	
MED :	-0.5	-0.2	0.1	0.5	0.5	2.1	
MIN :	-1.6	-1.5	-1.1	-0.2	-0.4	1.2	

Tabla A3.19. Claridad (C_{80}). Configuración teatral.

Sonoridad.

En las tablas A2.20 y A2.21 se indican los valores, en decibelios, de la sonoridad de la iglesia para cada una de las frecuencias, y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia, considerando la iglesia vacía.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	16.1	16.0	15.3	15.5	15.2	14.4	15.8
02	15.2	14.8	14.1	14.2	13.9	13.1	14.6
03	14.8	14.3	13.6	13.5	13.4	12.4	14.1
04	14.6	14.1	13.3	13.3	13.0	11.9	13.8
05	13.2	12.9	12.4	12.2	12.0	10.9	12.7
06	12.7	12.6	11.7	11.5	11.4	9.9	12.2
07	12.6	12.4	11.7	11.3	11.4	9.9	12.1
08	12.3	12.2	11.3	11.2	10.8	9.6	11.9
09	11.8	11.6	10.5	10.1	10.2	8.8	11.2
10	11.9	11.6	10.6	10.3	10.2	8.9	11.2
11	10.5	10.1	9.5	9.5	9.2	7.4	9.9
MAX :	16.1	16.0	15.3	15.5	15.2	14.4	
MED :	13.2	12.9	12.2	12.0	11.9	10.7	
MIN :	10.5	10.1	9.5	9.5	9.2	7.4	

Tabla A3.20. Sonoridad (G_{10}). Configuración musical.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	15.1	15.1	15.0	15.1	15.1	14.3	15.1
02	14.1	14.0	13.7	13.6	13.6	12.7	13.8
03	13.7	13.5	13.1	13.0	12.9	11.8	13.3
04	13.2	12.8	12.3	12.2	12.2	11.2	12.7
05	12.0	11.6	10.8	10.4	10.6	9.5	11.4
06	11.4	11.0	10.2	9.8	10.1	8.5	10.7
07	11.4	10.8	10.0	9.5	9.8	8.3	10.5
08	11.0	10.2	9.1	8.7	8.7	7.2	9.9
09	10.6	9.8	8.5	7.9	8.1	6.0	9.4
10	10.4	9.4	8.2	7.4	7.3	5.6	9.1
MAX :	15.1	15.1	15.0	15.1	15.1	14.3	
MED :	12.3	11.8	11.1	10.7	10.8	9.5	
MIN :	10.4	9.4	8.2	7.4	7.3	5.6	

Tabla A3.21. Sonoridad (G_{10}). Configuración teatral.

Ecogramas.

Se adjuntan, para la configuración musical y teatral, los ecogramas para la banda de octava de 2000 Hz, en los puntos más representativos de la iglesia.

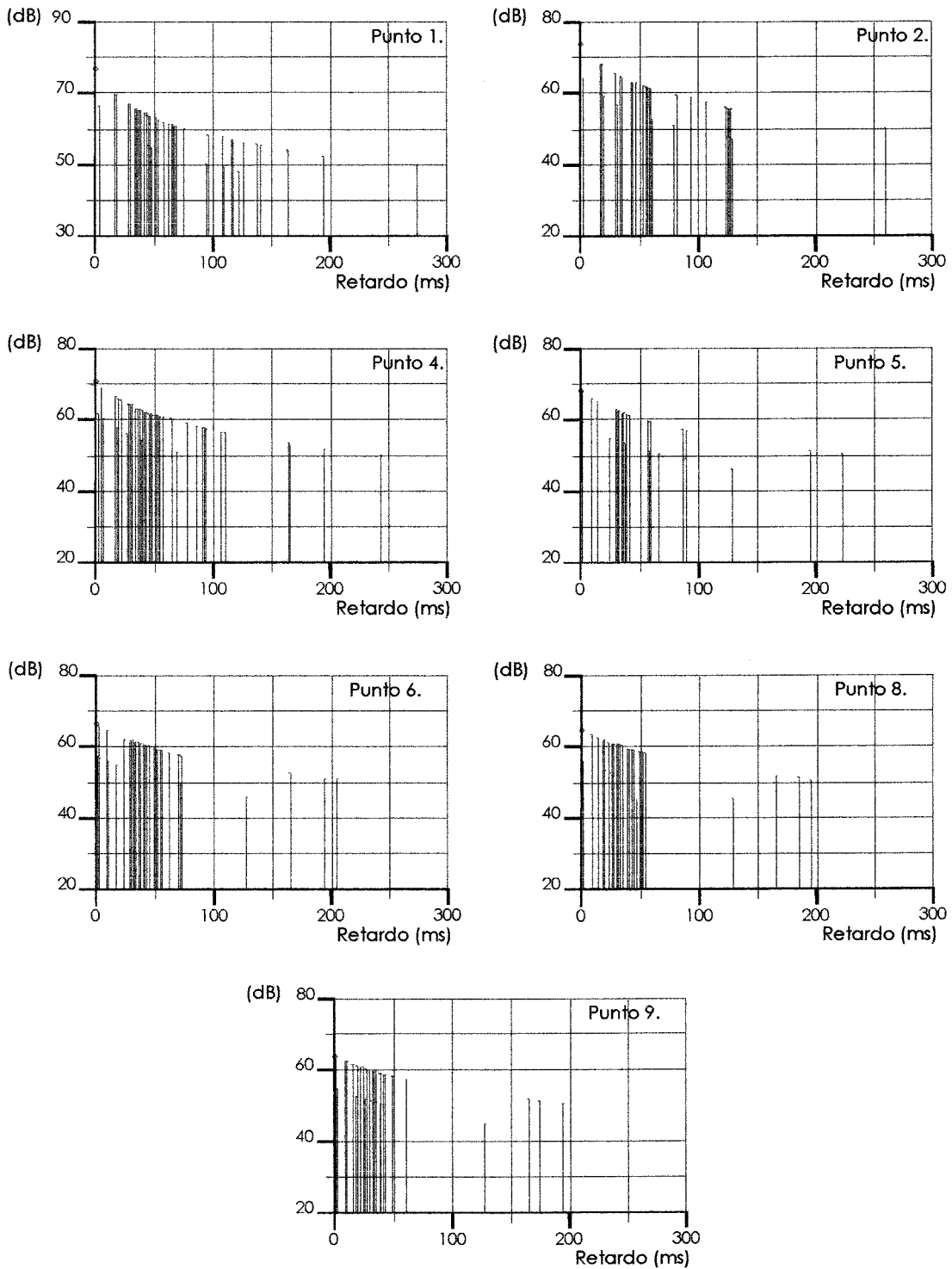


Figura A3.5. Acústica geométrica propuesta. Configuración musical. 2000 Hz

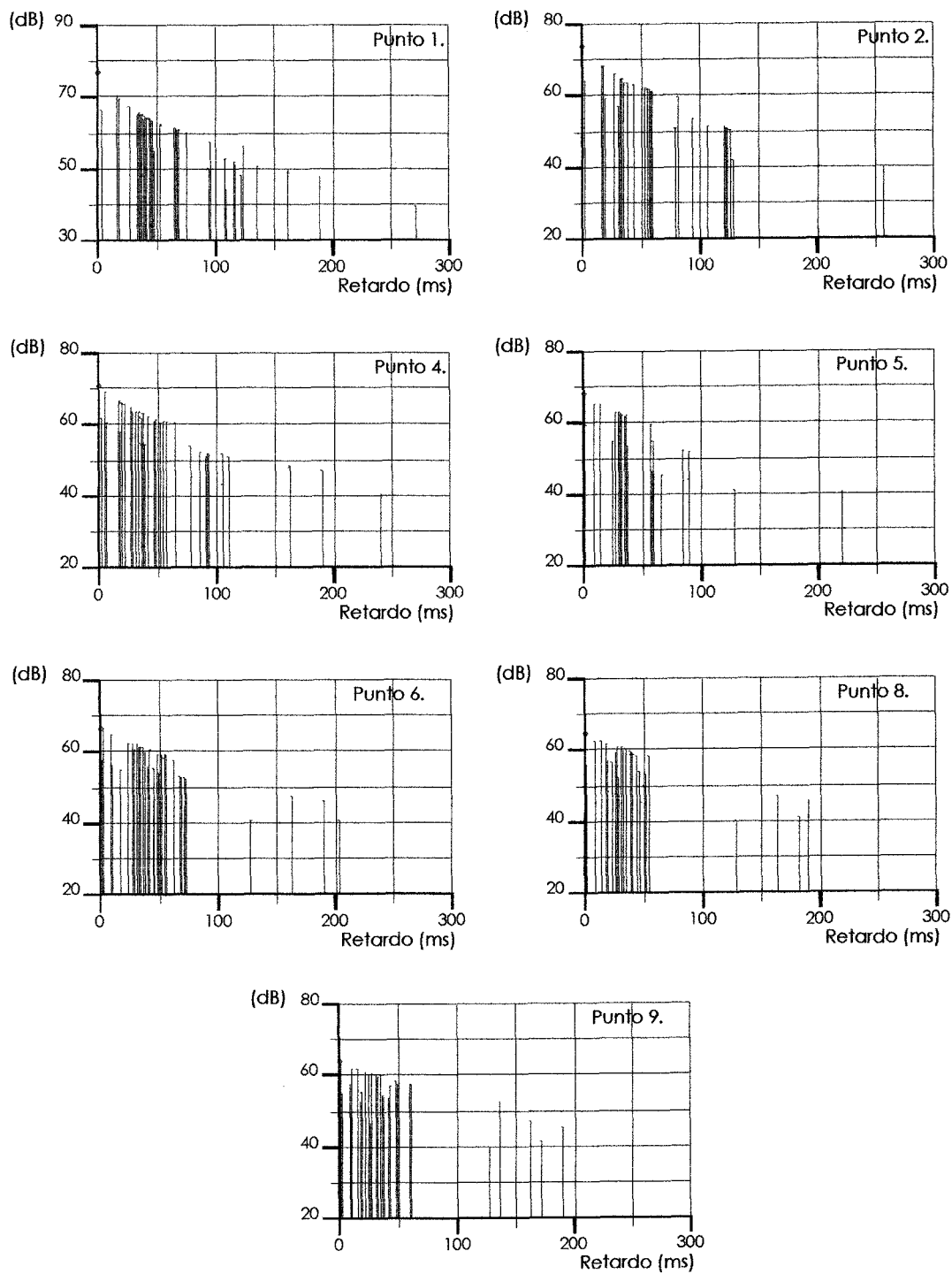


Figura A3.6. Acústica geométrica propuesta. Configuración teatral. 2000 Hz

▪ **RESUMEN DE REFLEXIONES Y DE PARÁMETROS ACÚSTICOS.**

Se cuantifican las principales reflexiones obtenidas del estudio teórico mediante el modelo informático, tanto para el estado actual como para la propuesta de intervención (las reflexiones son semejantes en las dos hipótesis consideradas). Se determinan las reflexiones que llegan al punto en un intervalo inferior a 100 ms y el total de reflexiones, así como las reflexiones en las superficies más significativas. Se completa el cuadro con la cuantificación del retardo de tiempo que existe entre la primera reflexión respecto del sonido directo (ITDG), valor que se relaciona con la intimidad acústica.

	PTO.	ESTADO ACTUAL	PROPUESTA CONFIG. MUSICAL	PROPUESTA CONFIG. TEATRAL
Reflexiones <100 ms /total reflexiones.	1	49/60	41/54	35/47
	2	33/40	35/43	36/44
	4	31/36	44/49	43/48
	5	33/36	29/32	28/31
	6	23/27	29/33	35/39
	8	24/28	33/37	38/42
	9	19/23	26/30	30/35
	11	14/18		
Reflexiones techo	1	2/6	2/6	2/6
	2	7/7	7/7	7/7
	4	2/2	2/2	2/2
	5	2/2	2/2	2/2
	6	4/4	4/4	4/4
	8	4/4	4/4	4/4
Reflexiones laterales.	1	24/24	29/29	29/29
	2	15/15	19/19	19/19
	4	19/19	26/26	26/26
	5	17/17	24/24	24/24
	6	15/15	19/19	19/19
	8	15/15	22/22	22/22
	9	15/15	20/20	20/20
	11	8/8		
Reflexiones fondo nave	1	2/11	2/11	2/11
	2	0/7	0/7	0/7
	4	5/10	2/5	2/5
	5	2/5	1/3	1/3
	6	0/4	0/4	0/4
	8	1/5	0/4	0/4
	9	0/4	0/4	0/4
	11	7/11		
ITDG ms	1	16	16	16
	2	16	16	16
	4	5	5	5
	5	14	9	9
	6	2	2	2
	8	14	8	8
	9	2	2	2
	11	3		

Tabla A3.22. Resumen de reflexiones.

Se adjunta un resumen comparativo de los principales parámetros acústicos en las diferentes hipótesis consideradas, tanto en el estado actual y previo, como en la propuesta de intervención para la configuración musical y teatral.

Tiempo de reverberación.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Tr _{med}
Estado actual							
Medido vacío	2,26	1,66	1,50	1,49	1,38	1,12	1,56
Estimado con público	1,86	1,49	1,27	1,19	1,14	1,01	1,32
Estado previo							
Estimado público bancos	3,02	2,31	1,90	1,71	1,65	1,42	2,00
Propuesta							
Configuración musical	1,72	1,62	1,51	1,47	1,44	1,17	1,48
Configuración teatral	1,53	1,34	1,13	1,01	1,02	0,88	1,15
Óptimos							
Música	2,39	1,96	1,71	1,71	1,71	1,71	1,86
Palabra	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93

Tabla A3.23. Resumen de tiempo de reverberación (segundos).

Nivel de presión sonora.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Estado actual						
Estimado vacío	84.3	88.5	82.2	76.9	77.6	72.7
Estimado público butacas	82.9	87.1	81.0	75.4	76.2	71.1
Estado previo						
Estimado público bancos	85.3	89.6	83.5	77.8	78.7	73.6
Propuesta						
Configuración musical	83.2	89.1	83.7	78.8	79.7	74.2
Configuración teatral	82.2	87.9	82.5	77.2	78.4	72.8

Tabla A3.24. Resumen de niveles de presión sonora. Valores medios (dB).

RASTI.

	1	2	4	5	6	8	9	11	Med
Estado actual									
Medido vacío.	0.57	0.56	0.49	0.48	0.49	0.44	0.48	0.51	0.50
Estimado con público.	0.59	0.59	0.54	0.56	0.53	0.48	0.51	0.56	0.55
Estado previo									
Estimado con público.	0.53	0.51	0.47	0.45	0.43	0.40	0.42	0.39	0.45
Propuesta									
Configuración musical	0.49	0.49	0.48	0.47	0.48	0.45	0.49		0.48
Configuración teatral	0.54	0.54	0.53	0.51	0.51	0.50	0.51		0.52

Tabla A3.25. Resumen RASTI.

Definición. Valores globales (%). Valor óptimo $D > 50\%$

	1	2	4	5	6	8	9	11	Med
Estado actual									
Estimado con público.	46.8	33.8	33.7	29.0	27.3	27.4	24.0	27.1	31.1
Estado previo									
Estimado con público.	37.8	25.5	24.4	20.1	18.7	18.4	16.7	14.8	22.0
Propuesta									
Configuración musical	42.5	28.6	29.5	26.3	24.7	27.1	30.3		29.8
Configuración teatral	49.3	34.3	36.2	30.0	27.6	34.8	30.9		34.7

Tabla A3.26. Resumen valores de definición.

Claridad musical. Iglesia ocupada. Valores óptimos $-2 \leq C_{80} \leq +2$ dB

	1	2	4	5	6	8	9	11	Med
Estado actual									
Estimado con público.	1.9	0.3	-0.6	-1.6	-1.4	-1.9	-2.6	-1.7	-0.9
Estado previo									
Estimado con público.	0.3	-1.6	-2.6	-3.5	-3.7	-4.2	-4.6	-5.1	-1.2
Propuesta									
Configuración musical	0.6	-1.0	-1.3	-2.0	-1.9	-1.3	-0.8		-1.1
Configuración teatral	2.0	0.4	0.2	-1.2	-1.0	-0.0	-0.3		1.5

Tabla A3.27. Resumen valores de claridad musical.

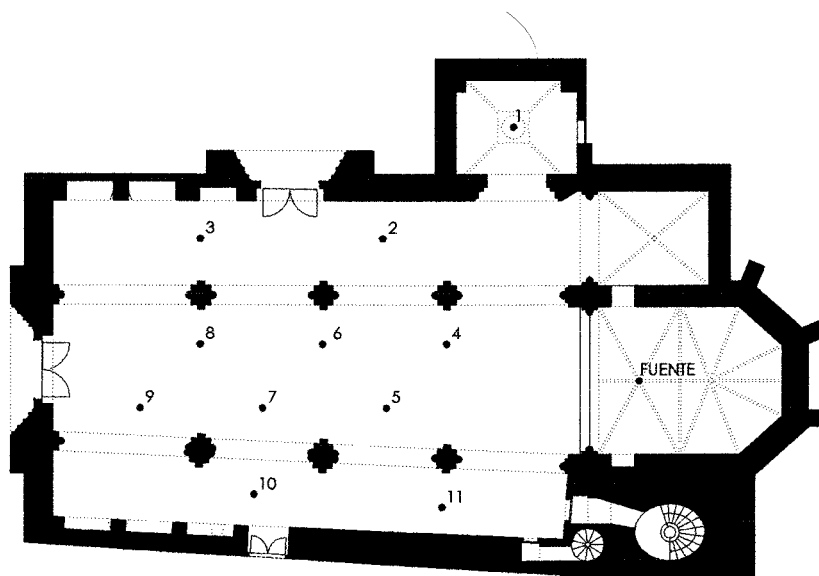
Otros parámetros.

	Volumen (m ³)	Ocupación	m ³ / plaza	Volumen/área audiencia.
Estado inicial	2365	245+49(coro)	8.89	9.93
Estado previo	2413	245	9.84	12.76
Propuesta				
Configuración musical	2365	245	9.65	12.51
Configuración teatral	2365	245	9.65	12.51
Rango óptimo			5.1-9.1	9.2-12.0

Tabla A3.28. Resumen otros parámetros.

Apéndice 4. IGLESIA DE SANTA MARÍA MAGDALENA. CÓRDOBA.

▪ **ANÁLISIS ACÚSTICO DEL ESTADO ACTUAL. MEDICIÓN ACÚSTICA.**



El punto 0 se dispone a 1 m de la fuente.

Fig. A4.1. Situación puntos de medida.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

PUNTOS	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1	3.98	4.47	4.17	3.61	2.98	2.08	1.12
2	3.78	4.51	4.24	3.63	2.83	2.04	1.05
3	3.93	4.31	4.22	3.49	2.98	2.02	1.10
4	3.98	4.54	4.21	3.43	2.86	2.05	1.01
5	3.55	4.45	4.25	3.56	2.83	2.04	1.06
6	3.42	4.24	4.19	3.44	2.88	2.04	1.07
7	3.61	4.44	4.15	3.48	2.90	2.00	1.06
8	3.98	4.18	4.14	3.57	2.87	2.04	1.07
9	3.82	4.28	4.15	3.45	2.81	2.05	1.14
10	4.07	4.39	4.10	3.39	2.85	2.04	1.06
11	3.90	4.24	4.09	3.52	2.85	2.01	1.03
Promedio	3.82	4.36	4.17	3.50	2.87	2.03	1.07
Promedio nave central	3.72	4.35	4.18	3.48	2.85	2.03	1.06

Tabla A4.1. Tiempos de reverberación medidos (segundos).

DISTRIBUCIÓN SONORA.

PTOS	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	A	L
0	88.38	93.40	87.92	83.86	86.11	81.20	76.28	91.95	96.33
1	79.35	84.46	79.44	73.46	73.57	64.85	56.39	81.23	87.01
2	78.83	86.52	79.82	75.01	74.59	66.15	58.10	82.36	88.35
3	79.04	84.90	79.62	73.51	73.19	64.81	55.78	81.41	87.21
4	80.01	85.67	81.34	75.83	75.64	68.02	61.88	83.19	88.39
5	80.53	86.88	80.45	74.98	75.09	66.40	60.33	82.89	88.89
6	79.28	85.79	80.62	74.43	74.89	66.34	58.98	82.50	88.06
7	78.14	86.03	79.73	74.10	74.36	65.50	58.10	82.03	87.91
8	80.55	85.10	79.41	73.91	73.86	65.29	56.73	81.57	87.57
9	77.99	84.92	79.43	73.60	73.48	64.87	56.11	81.38	87.06
10	79.12	85.59	79.42	73.65	73.51	64.98	56.64	81.51	87.61
11	79.28	85.45	80.26	75.14	74.97	66.98	60.99	82.46	87.85

Tabla A4.2. Medidas de niveles de presión sonora (dB).

INTELIGIBILIDAD.

Punto	RASTI	Octava (Hz)	STI	NPS (dB)	S/N _{eq} (dB)	EDT _{eq} (s)
0	0.77	500	0.65	70.4	4.6	
		2000	0.86	61.2	10.9	0.22
1	0.25	500	0.18	59.5	-9.6	
		2000	0.31	46.7	-5.7	3.80
2	0.28	500	0.25	60.3	-7.6	5.40
		2000	0.31	48.5	-5.6	
3	0.29	500	0.25	59.7	-7.6	
		2000	0.32	48.1	-5.4	3.60
4	0.38	500	0.34	61.7	-4.9	
		2000	0.42	49.8	-2.4	
5	0.36	500	0.30	61.2	-6.1	
		2000	0.41	51.6	-2.6	2.20
6	0.37	500	0.32	60.9	-5.3	
		2000	0.41	49.2	-2.7	
7	0.33	500	0.28	60.1	-6.5	
		2000	0.36	48.3	-4.2	
8	0.31	500	0.29	59.9	-6.3	4.20
		2000	0.33	48.3	-5.2	3.50
9	0.34	500	0.22	59.6	-8.4	
		2000	0.43	52.3	-2.0	
10	0.28	500	0.22	60.1	-8.5	
		2000	0.34	54.8	-4.9	
11	0.42	500	0.29	60.8	-6.3	4.20
		2000	0.52	52.1	0.6	1.30

Tabla A4.3. Medidas de inteligibilidad. Índice RASTI .

RUIDO DE FONDO (dBA).

El tiempo de registro ha sido de 3 minutos.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	A	L
dB	46.45	42.47	40.87	38.18	32.66	27.86	25.93	43.18	63.63
dB(A)	30.35	33.84	37.63	38.18	33.86	28.83	24.82	43.18	63.63

L_{eq}	NPS	Punta	Max P	Max N	Min N	L₁	L₁₀	L₅₀	L₉₀	L₉₉
43.8	41.4	53.1	72.5	55.9	33.8	52.5	47.5	40.0	36.0	35.0

Tabla A4.4. Medidas de ruido de fondo (dBA).

▪ ANÁLISIS ACÚSTICO DEL ESTADO ACTUAL Y PREVIO. SIMULACIÓN INFORMÁTICA.

Se incorporan en este anexo el modelo geométrico utilizado en el estudio teórico mediante simulación informática del estado previo, tanto para la hipótesis de estado actual como para la hipótesis del estado previo (anterior a la restauración), así como los resultados obtenidos para los diferentes puntos y frecuencias de diferentes parámetros energéticos (obtenidos con el programa Catt-Acoustic) relacionados con la calidad sonora de la sala, como son el nivel de presión sonora, definición, claridad musical y sonoridad, así como el estudio teórico de las reflexiones mediante los ecogramas, para la banda de octava de 2000 Hz.

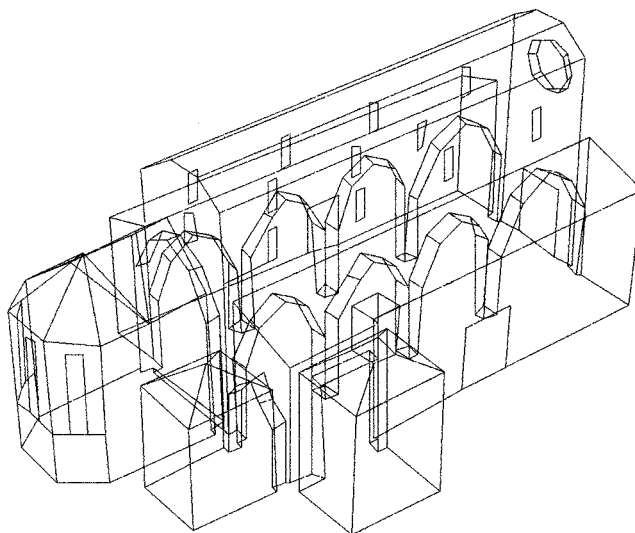


Fig. A4.2. Modelo geométrico para la simulación. Estado actual

Nivel de presión sonora.

En las tablas siguientes se indican los niveles de presión sonora, en dB, para cada punto y frecuencia, así como el valor global en cada punto tanto lineal como ponderado, y los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. El nivel de emisión de la fuente es de 105 dB. Para las hipótesis del estado actual, se ha considerado ocupada la nave central con público en sillas y, para el estado previo, ocupada la nave central con público en bancos. Se adjuntan además los resultados obtenidos en la simulación para la hipótesis del estado actual vacío, con el fin de poder comparar los valores entre el modelo y la medición, y por lo tanto determinar el grado de adecuación del modelo a la realidad.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
01	78.7	85.2	79.8	73.6	64.9	68.1	87.2	81.1 (A)
02	79.1	85.7	80.7	74.8	65.9	69.8	87.9	82.0 (A)
03	78.5	85.1	80.3	74.2	65.6	68.8	87.4	81.4 (A)
04	80.1	86.6	81.7	75.6	67.0	70.9	88.8	82.9 (A)
05	79.6	86.1	81.4	75.4	66.6	70.4	88.4	82.5 (A)
06	79.1	85.7	80.8	74.7	65.9	69.5	87.9	81.9 (A)
07	78.9	85.5	80.5	74.5	65.5	69.3	87.7	81.7 (A)
08	78.6	85.5	80.4	74.6	65.6	68.9	87.6	81.6 (A)
09	78.6	85.2	80.3	74.3	65.3	68.9	87.4	81.4 (A)
10	78.7	85.2	80.4	74.3	65.6	69.3	87.4	81.5 (A)
11	79.1	85.9	81.1	75.1	66.3	70.6	88.1	82.3 (A)
MAX :	80.1	86.6	81.7	75.6	67.0	70.9		
MED :	79.0	85.6	80.7	74.7	65.8	69.5		
MIN :	78.5	85.1	79.8	73.6	64.9	68.1		

Tabla A4.5. Nivel presión sonora. Estado actual vacío.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
01	78.4	84.8	78.9	72.4	64.3	67.7	86.7	80.3 (A)
02	78.8	85.0	79.5	73.5	65.2	69.3	87.1	81.0 (A)
03	78.1	84.5	78.8	72.6	64.1	68.2	86.6	80.3 (A)
04	79.5	85.7	80.1	73.8	65.9	70.0	87.8	81.6 (A)
05	79.1	85.2	79.8	73.6	65.2	69.6	87.4	81.2 (A)
06	78.4	84.6	78.9	72.9	64.7	68.5	86.7	80.5 (A)
07	78.1	84.6	78.8	72.7	64.4	68.1	86.6	80.4 (A)
08	78.1	84.3	78.6	72.4	64.1	68.0	86.3	80.1 (A)
09	77.9	84.4	78.5	72.5	64.0	67.8	86.4	80.1 (A)
10	78.3	84.6	79.0	73.0	64.8	68.5	86.7	80.5 (A)
11	78.8	85.2	79.9	73.9	65.5	69.7	87.4	81.3 (A)
MAX :	79.5	85.7	80.1	73.9	65.9	70.0		
MED :	78.5	84.8	79.2	73.0	64.7	68.7		
MIN :	77.9	84.3	78.5	72.4	64.0	67.7		

Tabla A4.6. Nivel presión sonora. Estado actual, público en sillas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
01	74.7	80.7	75.3	69.8	62.8	67.3	83.0	77.2 (A)
02	77.2	83.5	77.9	71.8	64.3	68.7	85.6	79.5 (A)
03	76.7	82.8	76.9	71.2	63.2	67.5	84.9	78.7 (A)
04	78.3	84.3	78.6	72.7	64.9	69.7	86.4	80.3 (A)
05	78.0	84.0	78.2	72.4	64.8	69.1	86.1	79.9 (A)
06	77.3	83.3	77.5	71.6	63.9	68.4	85.4	79.3 (A)
07	77.0	83.0	77.2	71.5	63.6	67.8	85.1	79.0 (A)
08	76.7	83.0	76.9	71.3	63.3	67.4	85.0	78.8 (A)
09	76.7	82.8	76.9	70.9	63.2	67.5	84.8	78.6 (A)
10	77.0	83.2	77.3	71.5	63.5	67.8	85.2	79.1 (A)
11	77.8	84.0	78.2	72.7	64.8	69.8	86.1	80.1 (A)
MAX :	78.3	84.3	78.6	72.7	64.9	69.8		
MED :	77.0	83.1	77.3	71.6	63.8	68.3		
MIN :	74.7	80.7	75.3	69.8	62.8	67.3		

Tabla A4.7. Nivel presión sonora. Estado previo, público en bancos.

Definición.

Se muestran los valores, en porcentaje, de definición para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada la nave central con público en sillas, en la hipótesis de estado actual, y en bancos en la de estado previo.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	15.9	13.2	17.1	20.1	18.2	25.6	17.3
02	18.0	18.1	22.6	26.8	24.3	31.5	22.3
03	19.8	13.7	17.6	22.3	24.0	32.7	20.1
04	17.9	17.0	19.5	21.9	21.0	32.5	20.4
05	14.1	14.2	16.8	19.1	20.7	25.9	17.4
06	15.8	13.1	15.0	20.3	21.6	27.0	17.5
07	10.8	9.6	12.4	15.2	16.5	20.7	13.1
08	14.9	13.9	14.6	19.7	19.3	26.4	16.9
09	12.4	10.9	13.9	17.0	17.1	21.7	14.4
10	13.5	11.9	15.4	19.0	19.5	22.0	15.9
11	34.0	26.6	34.4	39.7	41.9	50.2	36.3
MAX :	34.0	26.6	34.4	39.7	41.9	50.2	
MED :	17.0	14.7	18.1	21.9	22.2	28.7	
MIN :	10.8	9.6	12.4	15.2	16.5	20.7	

Tabla A4.8. Definición. Estado actual.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	22.5	19.9	20.9	22.6	19.7	25.1	21.7
02	24.0	24.3	31.9	29.7	27.1	36.2	28.0
03	21.3	24.3	26.2	31.4	26.8	30.1	26.1
04	22.9	21.8	24.9	29.4	26.7	32.6	25.6
05	19.7	19.8	21.4	25.4	21.8	29.5	22.3
06	19.9	19.0	21.7	26.7	23.2	29.2	22.5
07	15.1	14.3	16.8	23.2	19.9	23.9	18.0
08	18.3	16.8	21.6	26.4	21.6	27.0	21.1
09	15.4	14.6	18.8	22.0	19.7	25.9	18.5
10	16.1	21.7	18.8	23.3	20.9	30.4	21.1
11	39.9	37.8	44.5	50.2	51.0	58.1	45.9
MAX :	39.9	37.8	44.5	50.2	51.0	58.1	
MED :	21.4	21.3	24.3	28.2	25.3	31.6	
MIN :	15.1	14.3	16.8	22.0	19.7	23.9	

Tabla A4.9. Definición. Estado previo.

Claridad musical.

En las tablas siguientes se indican los valores, en decibelios, de claridad musical (C_{80}) para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada la nave central con público en sillas, en la hipótesis de estado actual, y en bancos en la de estado previo.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	-4.3	-4.9	-3.0	-2.8	-3.2	-1.0	-3.5
02	-3.3	-3.6	-2.2	-2.0	-2.3	-0.1	-2.5
03	-3.6	-4.8	-3.7	-2.7	-2.2	-0.5	-3.2
04	-3.7	-3.6	-3.1	-2.6	-2.0	-0.3	-2.8
05	-3.6	-4.3	-3.5	-2.7	-2.2	-0.8	-3.1
06	-4.4	-5.6	-4.8	-3.7	-3.3	-1.3	-4.1
07	-5.8	-6.6	-5.5	-4.2	-3.7	-2.3	-5.0
08	-5.2	-5.5	-5.0	-3.2	-3.9	-1.5	-4.4
09	-5.2	-5.8	-4.7	-3.4	-3.2	-1.0	-4.2
10	-4.5	-5.2	-3.6	-2.8	-2.5	-1.4	-3.6
11	-1.5	-2.5	-0.9	-0.1	0.1	2.2	-0.8
MAX :	-1.5	-2.5	-0.9	-0.1	0.1	2.2	
MED :	-4.1	-4.8	-3.6	-2.7	-2.6	-0.7	
MIN :	-5.8	-6.6	-5.5	-4.2	-3.9	-2.3	

Tabla A4.10. Claridad (C_{80}). Estado actual.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	-2.5	-2.6	-1.6	-1.3	-1.7	-0.4	-1.7
02	-1.7	-2.5	-0.4	-0.5	-1.1	0.1	-1.2
03	-3.1	-2.5	-1.7	-0.5	-1.5	-1.0	-1.9
04	-1.8	-2.0	-0.9	-0.2	-0.8	0.3	-1.1
05	-2.4	-2.5	-1.2	-1.0	-1.4	0.0	-1.6
06	-2.9	-3.8	-2.5	-1.3	-2.5	-0.9	-2.4
07	-4.3	-4.8	-3.6	-2.2	-3.0	-1.7	-3.4
08	-3.7	-4.0	-2.8	-1.4	-2.7	-1.1	-2.8
09	-4.0	-4.0	-2.6	-1.8	-1.9	-0.2	-2.7
10	-3.8	-2.4	-2.3	-1.8	-1.7	-0.0	-2.2
11	0.2	-0.4	0.5	1.9	1.9	3.1	1.0
MAX :	0.2	-0.4	0.5	1.9	1.9	3.1	
MED :	-2.7	-2.9	-1.7	-0.9	-1.5	-0.2	
MIN :	-4.3	-4.8	-3.6	-2.2	-3.0	-1.7	

Tabla A4.11. Claridad (C_{80}). Estado previo.

Sonoridad.

En las tablas adjuntas se indican los valores, en decibelios, de la sonoridad de la iglesia para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia, considerando la iglesia vacía.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	11.6	11.8	11.0	10.1	9.7	7.7	10.6
02	12.7	13.5	13.0	12.0	11.7	9.7	12.3
03	11.5	12.1	12.3	11.1	10.3	8.4	11.1
04	14.4	14.7	14.3	13.6	13.0	11.6	13.7
05	14.0	14.3	14.1	13.3	12.8	10.7	13.4
06	13.4	13.9	13.6	12.6	12.1	10.2	12.8
07	13.1	13.5	13.4	12.5	11.8	9.5	12.5
08	12.9	13.4	13.3	12.2	11.6	9.3	12.3
09	12.5	12.9	12.8	11.9	11.2	9.0	11.9
10	11.9	12.3	12.1	11.3	10.9	8.6	11.4
11	13.6	14.1	13.9	13.3	12.5	11.4	13.3
MAX :	14.4	14.7	14.3	13.6	13.0	11.6	
MED :	12.9	13.3	13.1	12.2	11.6	9.7	
MIN :	11.5	11.8	11.0	10.1	9.7	7.7	

Tabla A4.12. Sonoridad (G_{10}). Estado actual.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	8.5	8.5	7.9	7.8	7.7	7.8	8.1
02	11.2	10.9	10.2	9.6	9.8	8.5	10.1
03	9.9	9.8	8.9	8.4	8.5	7.2	8.9
04	12.7	12.5	11.4	10.8	11.2	10.1	11.6
05	12.3	12.0	10.9	10.4	10.9	9.7	11.1
06	11.9	11.3	10.2	10.0	10.2	8.8	10.5
07	11.5	11.0	9.8	9.5	9.8	8.3	10.1
08	11.2	10.9	9.8	9.2	9.4	8.1	9.9
09	10.9	10.5	9.6	8.9	8.9	7.9	9.6
10	10.4	10.4	9.0	8.6	8.8	7.7	9.3
11	12.5	12.4	11.0	11.1	11.5	10.9	11.6
MAX :	12.7	12.5	11.4	11.1	11.5	10.9	
MED :	11.2	10.9	9.9	9.5	9.7	8.6	
MIN :	8.5	8.5	7.9	7.8	7.7	7.2	

Tabla A4.13. Sonoridad (G_{10}). Estado previo.

Ecogramas.

Se adjuntan los ecogramas para la banda de octava de 2000 Hz, que relacionan el nivel de presión sonora y el retardo en ms de cada reflexión, para los diferentes puntos establecidos.

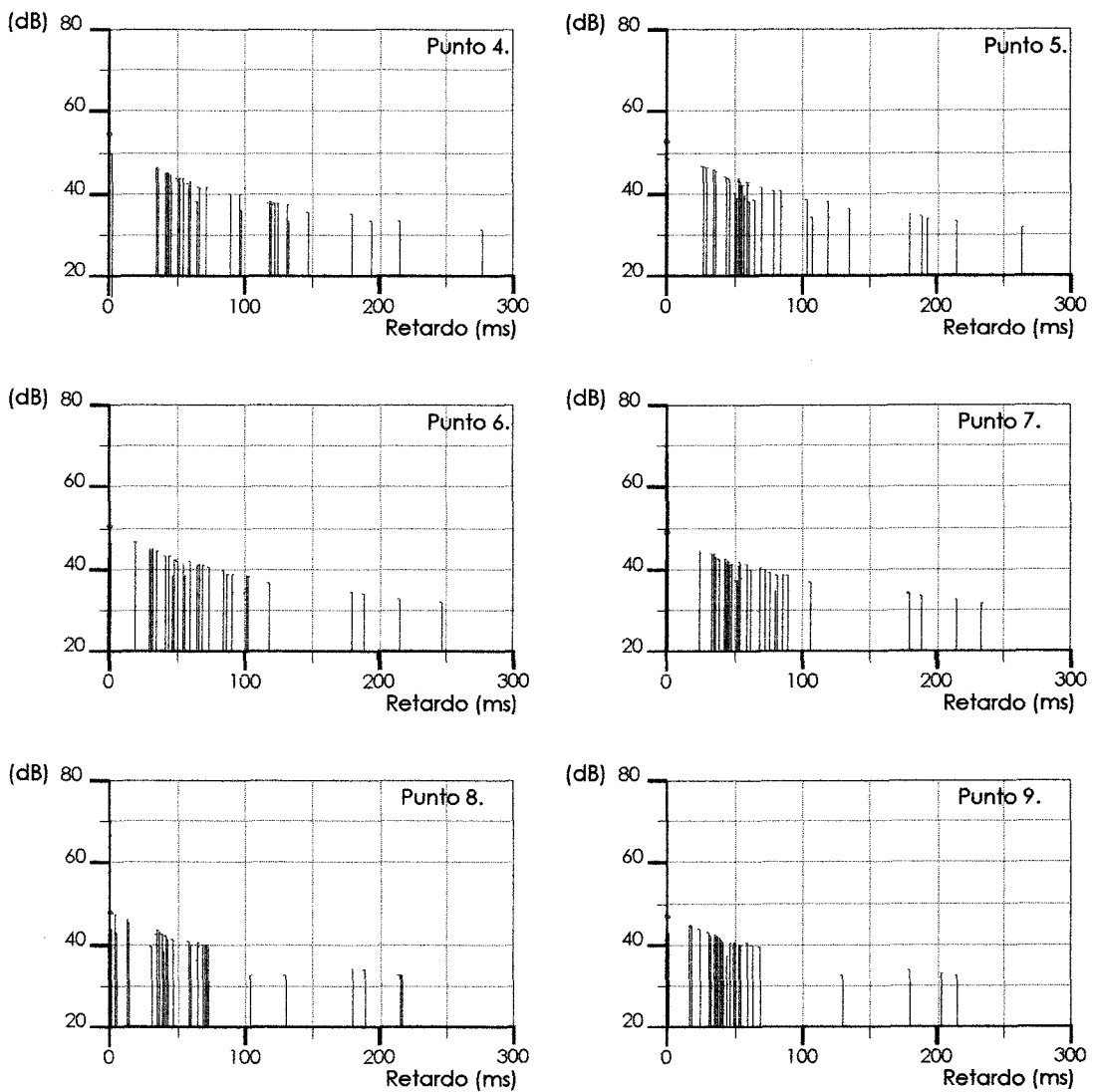


Fig. A4.3. Acústica geométrica, estado actual. 2000 Hz

▪ PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.

Se adjunta el modelo geométrico utilizado en la simulación informática para la propuesta de intervención, así como los resultados obtenidos del estudio teórico de parámetros acústicos analizados anteriormente, tanto en el estado actual como en el estado previo, para la propuesta de intervención. La situación de los diferentes puntos es la misma que se ha considerado en el estado actual (figura A4.1).

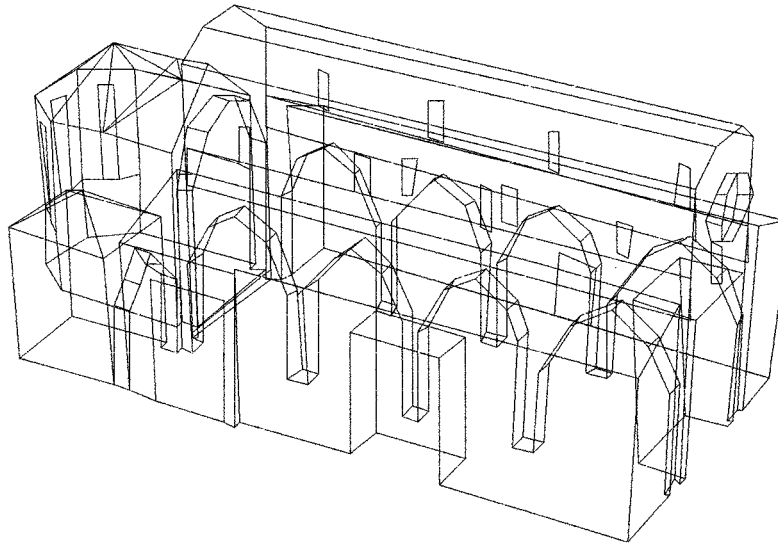


Fig. A4.4. Modelo geométrico para la simulación. Propuesta.

Nivel de presión sonora.

En la siguiente tabla se indican los niveles de presión sonora, en dB, para cada punto y frecuencia, así como el valor global en cada punto, tanto lineal como ponderado, y los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. El nivel de emisión de la fuente es de 105 dB y se ha considerado ocupada la nave central con público en sillas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado	
02	78.4	84.6	79.2	73.5	65.3	69.8	86.8	80.8	(A)
03	75.6	81.9	76.4	70.4	62.6	66.8	84.0	78.0	(A)
04	78.9	84.9	79.3	73.4	65.3	69.9	87.1	80.9	(A)
05	78.3	84.3	78.4	72.6	64.8	69.0	86.4	80.2	(A)
06	77.5	83.6	77.6	71.8	63.9	68.1	85.6	79.4	(A)
07	76.8	82.9	77.2	71.4	63.6	67.4	85.0	78.9	(A)
08	76.3	82.1	76.2	70.5	62.6	66.6	84.2	78.0	(A)
09	76.0	81.9	76.3	70.6	62.7	66.7	84.1	78.0	(A)
10	76.9	83.1	77.3	71.6	63.5	67.4	85.2	79.0	(A)
11	78.3	84.6	79.1	73.4	65.2	69.7	86.7	80.7	(A)
MAX :	78.9	84.9	79.3	73.5	65.3	69.9			
MED :	77.3	83.4	77.7	71.9	63.9	68.2			
MIN :	75.6	81.9	76.2	70.4	62.6	66.6			

Tabla A4.14. Nivel presión sonora. Propuesta.

Definición.

En la siguiente tabla se indican los valores, en porcentaje, de definición para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada la nave central con público en sillas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
02	29.3	27.1	33.9	33.7	29.5	38.3	31.4
03	17.4	18.2	17.6	17.1	15.4	22.0	17.7
04	22.1	22.2	24.2	27.9	27.6	35.3	25.6
05	20.3	17.8	21.7	23.6	25.3	27.2	21.8
06	17.3	19.1	21.8	22.5	26.7	29.0	21.8
07	16.5	13.8	19.9	22.7	21.6	27.2	19.2
08	19.0	17.9	20.4	22.4	23.5	27.5	21.0
09	17.7	16.0	21.4	27.6	24.2	31.2	21.8
10	19.0	19.8	23.5	23.4	26.1	33.3	23.0
11	34.3	32.7	41.4	50.1	48.0	55.3	41.9
MAX :	34.3	32.7	41.4	50.1	48.0	55.3	
MED :	21.3	20.5	24.6	27.1	26.8	32.6	
MIN :	16.5	13.8	17.6	17.1	15.4	22.0	

Tabla A4.15. Definición. Propuesta.

Claridad musical.

En la tabla adjunta se indican los valores, en decibelios, de claridad musical (C_{80}) para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada la nave central con público en sillas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
02	-0.6	-0.8	-0.1	0.6	0.1	1.9	0.0
03	-3.8	-4.0	-3.2	-2.3	-2.7	-1.8	-3.1
04	-1.9	-2.1	-1.4	-1.2	-0.7	0.7	-1.3
05	-2.1	-3.1	-1.7	-1.7	-0.6	-0.2	-1.8
06	-3.6	-3.3	-2.4	-2.0	-1.4	-0.3	-2.4
07	-3.7	-4.0	-2.4	-1.7	-2.2	-0.7	-2.7
08	-3.9	-4.3	-2.5	-1.7	-1.6	-0.6	-2.7
09	-3.3	-4.2	-2.5	-1.1	-1.2	-0.3	-2.4
10	-2.4	-2.7	-1.6	-1.1	-0.8	0.5	-1.6
11	-0.5	-1.3	0.6	1.5	2.2	2.9	0.6
MAX :	-0.5	-0.8	0.6	1.5	2.2	2.9	
MED :	-2.6	-3.0	-1.7	-1.1	-0.9	0.2	
MIN :	-3.9	-4.3	-3.2	-2.3	-2.7	-1.8	

Tabla A4.16. Claridad (C_{80}). Propuesta.**Sonoridad.**

Se indican los valores, en decibelios, de la sonoridad de la iglesia para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia, considerando la iglesia vacía.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
02	12.1	12.0	11.2	10.7	10.3	10.0	11.1
03	8.9	8.6	7.9	7.2	7.4	5.8	7.8
04	13.2	13.3	12.2	11.4	11.5	10.6	12.1
05	12.7	12.5	11.5	10.5	10.5	9.4	11.3
06	11.7	11.5	10.6	9.9	9.9	8.7	10.5
07	11.3	11.1	10.2	9.3	8.9	8.0	10.0
08	10.6	10.2	9.5	8.8	9.0	7.5	9.4
09	10.2	9.8	9.1	8.2	8.6	7.0	9.0
10	10.5	10.3	9.4	8.3	8.3	7.3	9.2
11	13.1	12.8	11.9	11.2	11.6	10.5	11.9
MAX :	13.2	13.3	12.2	11.4	11.6	10.6	
MED :	11.4	11.2	10.3	9.5	9.6	8.5	
MIN :	8.9	8.6	7.9	7.2	7.4	5.8	

Tabla A4.17. Sonoridad (G_{10}). Propuesta

Ecogramas.

Se adjuntan los ecogramas, en la propuesta de intervención, para la frecuencia de 2000 Hz, en los puntos considerados.

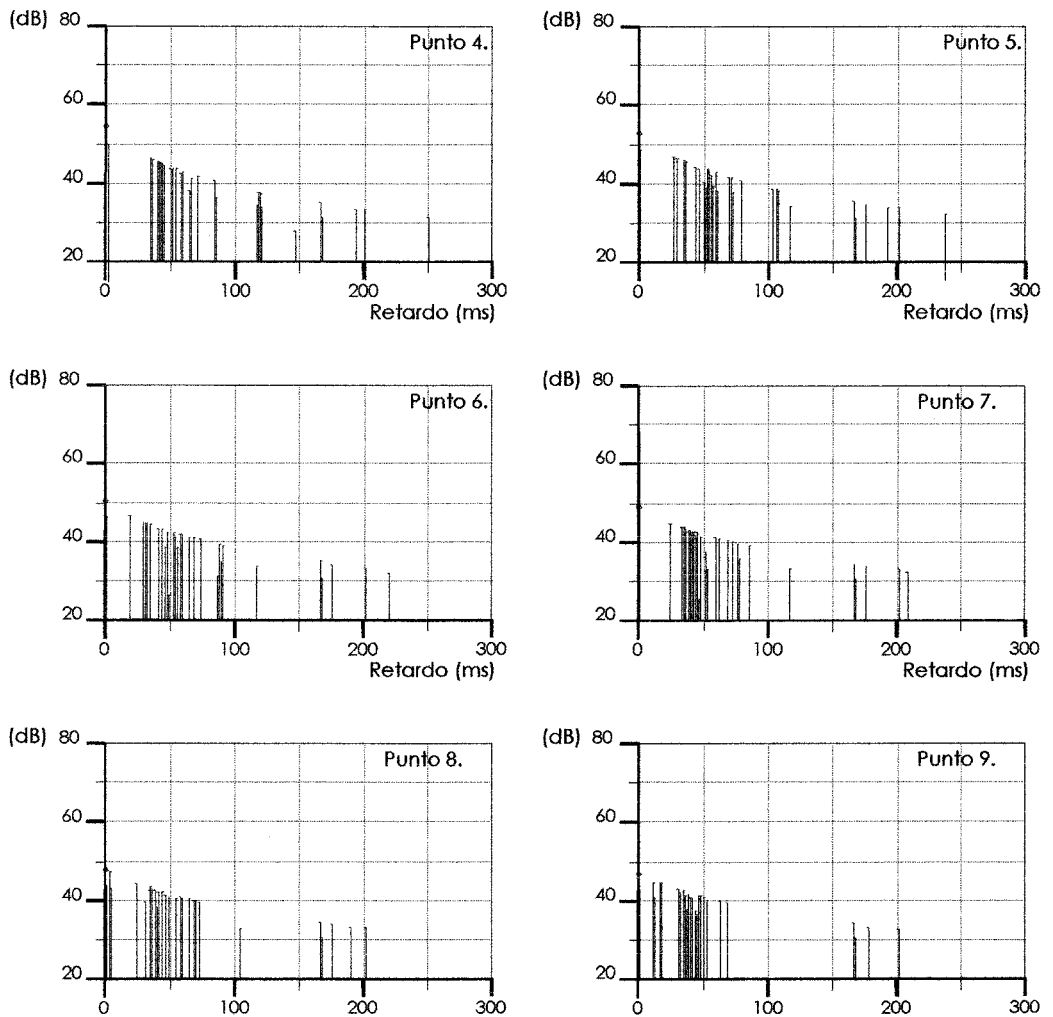


Figura A4.5. Acústica geométrica propuesta. Propuesta. 2000 Hz

▪ RESUMEN DE REFLEXIONES Y PARÁMETROS ACÚSTICOS.

Se cuantifican las principales reflexiones obtenidas del estudio teórico mediante el modelo informático, tanto en el estado actual, como en la propuesta de intervención. Se determinan las reflexiones que llegan al punto en un intervalo inferior a 100 ms y el total de reflexiones, así como las producidas en las superficies más significativas. Se completa el cuadro con la cuantificación del retardo de tiempo que existe entre la primera reflexión respecto del sonido directo (ITDG), valor que se relaciona con la intimidad acústica.

	PTO.	ESTADO ACTUAL	PROPUESTA CONFIG. MUSICAL
Reflexiones < 100 ms /total reflexiones.	P4	27/40	30/43
	P5	27/38	25/37
	P6	28/37	31/37
	P7	31/37	31/37
	P8	28/35	28/34
	P9	27/32	25/29
Reflexiones techo nave	P4	5/5	5/5
	P5	10/10	10/10
	P6	8/9	8/9
	P7	10/11	10/11
	P8	10/11	10/11
	P9	14/14	14/14
Reflexiones naves laterales.	P4	3/9	5/11
	P5	8/8	8/8
	P6	11/11	12/12
	P7	9/9	9/9
	P8	11/11	11/11
	P9	6/6	6/6
Reflexiones fondo nave	P4	2/9	3/10
	P5	2/9	2/9
	P6	2/10	4/8
	P7	5/10	5/10
	P8	2/8	2/7
	P9	4/9	3/7
Reflexiones presbiterio	P4	10/10	10/10
	P5	10/10	10/10
	P6	5/5	5/5
	P7	4/4	4/4
	P8	4/4	4/4
	P9	4/4	4/4
ITDG ms	P4	35	35
	P5	27	27
	P6	19	19
	P7	24	24
	P8	4	4
	P9	17	12

Tabla A4.18. Resumen de reflexiones.

Se adjunta un resumen comparativo de los principales parámetros acústicos, tanto en el estado actual y previo, como en la propuesta de intervención.

Tiempo de reverberación. Público en sillas.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	$T_{r\ med}$
Estado actual							
Medido vacío	3.82	4.36	4.17	3.50	2.87	2.03	3.46
Estimado público en silla	3.36	3.45	2.86	2.45	2.36	1.75	2.71
Estado previo							
Estimado público banco	2.69	2.66	2.29	2.10	2.13	1.64	2.25
Propuesta							
Sin paneles lana de roca	2.62	2.79	2.58	2.33	2.27	1.72	2.39
Con paneles lana de roca	2.38	2.35	1.85	1.74	1.74	1.40	1.91
Óptimos							
Música	2.53	2.08	1.81	1.81	1.81	1.81	1.98
Palabra	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02

Tabla A4.19. Resumen de tiempo de reverberación (segundos).

Nivel de presión sonora. Valores medios

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Estado actual						
Medido vacío	80.9	81.3	81.1	80.2	79.5	77.4
Estimado público sillas	78.5	84.8	79.2	73.0	64.7	68.3
Estado previo						
Estimado público bancos	77.0	83.1	77.3	71.6	63.8	68.3
Propuesta						
Público en sillas	77.3	83.4	77.7	71.9	63.9	68.2

Tabla A4.20. Resumen de niveles de presión sonora (dB).

RASTI.

	2	4	5	6	7	8	9	11	Med
Estado actual									
Medido vacío.	0.28	0.38	0.36	0.37	0.33	0.31	0.34	0.42	0.35
Estimado con público.	0.34	0.44	0.39	0.41	0.40	0.36	0.39	0.47	0.40
Estado previo									
Estimado con público.	0.38	0.45	0.46	0.46	0.43	0.39	0.43	0.53	0.44
Propuesta									
Estimado con público.	0.42	0.47	0.45	0.48	0.47	0.39	0.44	0.52	0.46

Tabla A4.21. Resumen RASTI.

Definición. Valores globales (%). Valor óptimo $D > 50\%$

	2	4	5	6	7	8	9	11	Med
Estado inicial									
Estimado con público.	22.3	20.4	17.4	17.5	13.1	16.9	14.4	36.3	19.7
Estado previo									
Estimado con público.	28.0	25.6	22.3	22.5	18.0	21.1	18.5	45.9	25.2
Propuesta									
Estimado con público.	31.4	25.6	21.8	21.8	19.2	21.0	21.8	41.9	25.5

Tabla A4.22. Resumen valores de definición.

Claridad musical. Iglesia ocupada. Valores óptimos $-2 \leq C_{80} \leq +2$ dB

	2	4	5	6	7	8	9	11	Med
Estado inicial									
Estimado con público.	-2.5	-2.8	-3.1	-4.1	-5.0	-4.4	-4.2	-0.8	-3.36
Estado previo									
Estimado con público.	-1.2	-1.1	-1.6	-2.4	-3.4	-2.8	-2.7	1.0	-1.78
Propuesta									
Estimado con público.	0.0	-1.3	-1.8	-2.4	-2.7	-2.7	-2.4	0.6	-1.59

Tabla A4.23. Resumen valores de claridad musical.

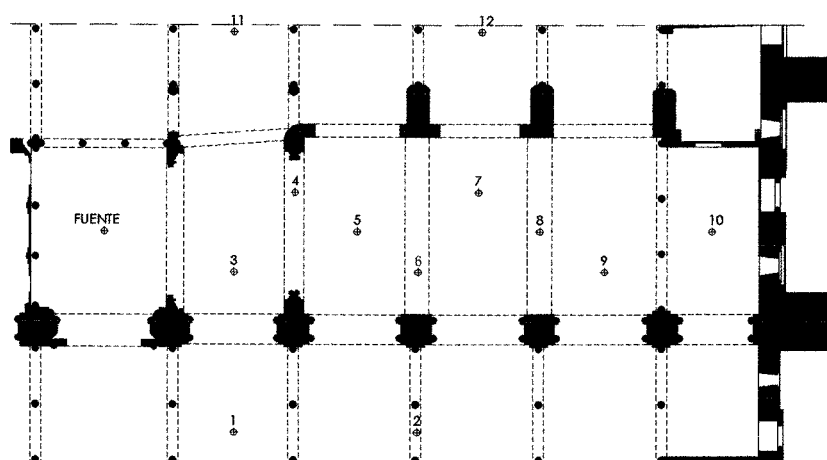
Otros parámetros.

	Volumen (m ³)	Ocupación	m ³ / plaza	Volumen/área audiencia.
Estado inicial	3785	180	21.0	23.3
Estado previo	3785	180	21.0	23.3
Propuesta	3506	180	19.4	23.2
Rango óptimo			5.1-9.1	9.2-12.0

Tabla A4.24. Resumen otros parámetros.

Apéndice 5. CAPILLA DE VILLAVICIOSA. MEZQUITA-CATEDRAL DE CÓRDOBA.

ANÁLISIS ACÚSTICO DEL ESTADO ACTUAL. MEDICIÓN ACÚSTICA.



El punto 0 se situó a 1 metro de la fuente.

Fig. A5.1. Situación puntos de medida.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

PUNTOS	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1	3.74	3.85	3.70	3.38	2.71	1.87	0.99
2	4.07	3.83	3.82	3.24	2.75	2.02	1.11
3	3.26	3.68	3.29	2.92	2.45	1.61	0.83
4	3.16	3.71	3.48	2.95	2.45	1.72	0.90
5	4.14	3.91	3.73	3.24	2.74	1.89	0.99
6	3.86	3.50	3.66	3.18	2.74	1.94	1.07
7	3.63	3.88	4.02	3.33	2.89	1.87	1.10
8	3.49	3.86	3.79	3.40	2.84	1.88	1.03
9	3.16	3.62	3.70	3.29	2.87	1.86	1.06
10	4.20	3.47	3.66	3.27	2.90	1.87	1.12
11	4.11	3.99	3.74	3.33	2.85	1.86	1.09
12	3.77	3.84	3.92	3.49	2.99	2.05	1.20
Promedio	3.72	3.76	3.71	3.25	2.76	1.87	1.04
Promedio nave gótica	3.61	3.70	3.67	3.20	2.73	1.83	1.01
Promedio nave lateral	3.92	3.88	3.80	3.36	2.82	1.95	1.10

Tabla A5.1. Tiempos de reverberación medidos (segundos).

DISTRIBUCIÓN SONORA.

PTOS	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	A	L
1	80.42	86.86	82.14	76.98	77.10	69.53	62.36	84.41	89.40
2	79.79	84.11	79.63	74.12	73.86	65.67	57.81	81.42	86.54
3	85.67	91.41	85.29	80.94	81.20	73.55	70.03	88.25	93.76
4	84.54	88.52	83.38	79.53	79.44	72.09	66.20	86.28	91.49
5	83.80	88.92	83.05	77.42	77.986	69.03	64.68	85.39	91.31
6	79.67	88.18	81.74	77.10	77.23	67.19	61.91	84.52	90.03
7	81.50	88.08	81.64	76.14	76.59	67.35	60.94	84.09	90.09
8	81.82	86.68	81.04	75.98	75.72	67.10	60.66	83.37	89.18
9	81.47	86.08	81.57	75.79	75.12	65.76	59.11	83.10	88.84
10	80.37	86.27	81.44	74.93	75.13	65.54	58.94	82.86	88.69
11	80.59	87.03	81.72	76.94	76.85	68.56	62.77	84.15	89.44
12	78.92	84.37	78.75	73.30	73.31	63.37	55.78	80.95	86.75

Tabla A5.2. Medidas de niveles de presión sonora (dB).

INTELIGIBILIDAD.

Punto	RASTI	Octava (Hz)	STI	NPS (dB)	S/N _{eq} (dB)	EDT _{eq} (s)
0 frente foco 1 m	0.86	500	0.82	67.6	9.7	0.33
		2000	0.89	58.0	11.6	0.19
1	0.38	500	0.36	53.6	-4.2	2.80
		2000	0.39	41.2	-3.4	2.60
2	0.29	500	0.28	51.9	-6.5	4.30
		2000	0.29	40.2	-6.3	4.30
3	0.56	500	0.51	58.4	0.4	
		2000	0.61	47.3	3.2	0.91
4	0.44	500	0.36	55.5	-4.3	2.90
		2000	0.51	45.6	0.4	
5	0.43	500	0.35	54.5	-4.4	3.00
		2000	0.49	44.5	-0.4	1.60
6	0.41	500	0.38	54.5	-3.5	
		2000	0.44	43.7	-1.9	
7	0.40	500	0.32	53.6	-5.3	3.50
		2000	0.46	43.2	-1.1	
8	0.39	500	0.31	54.4	-5.6	3.60
		2000	0.45	42.9	-1.5	
9	0.39	500	0.35	53.8	-4.4	2.90
		2000	0.43	42.2	-2.2	
10	0.36	500	0.36	53.0	-4.1	2.80
		2000	0.36	41.3	-4.1	2.80
11	0.35	500	0.34	53.7	-4.9	
		2000	0.36	41.1	-4.1	2.80
12	0.33	500	0.31	51.4	-5.8	3.80
		2000	0.35	39.1	-4.5	

Tabla A5.3. Medidas de inteligibilidad. Índice RASTI .

RUIDO DE FONDO (dBA).

L _{eq}	NPS	Punta	Max P	Max N	Min N	L ₁	L ₁₀	L ₅₀	L ₉₀	L ₉₉
31.2	30.1	41.4	63.8	39.7	27.9	36.0	33.5	30.5	29.0	28.5

Tabla A5.4. Medidas de ruido de fondo.

▪ ANALISIS ACÚSTICO DEL ESTADO ACTUAL. SIMULACIÓN INFORMÁTICA.

Se adjunta el modelo geométrico, del estado actual, utilizado en el estudio teórico mediante simulación informática, en el que se inserta el volumen formado por la capilla de Villaviciosa, la nave gótica y el nártex, dentro del volumen de la mezquita (figura A5.2). Así mismo, se incorporan los resultados obtenidos, para los puntos considerados, en las frecuencias de octava de los diferentes parámetros energéticos relacionados con la calidad sonora de la sala, como son el nivel de presión sonora, definición, claridad musical y sonoridad, así como el estudio teórico de las reflexiones mediante los ecogramas, para la banda de octava de 2000 Hz.

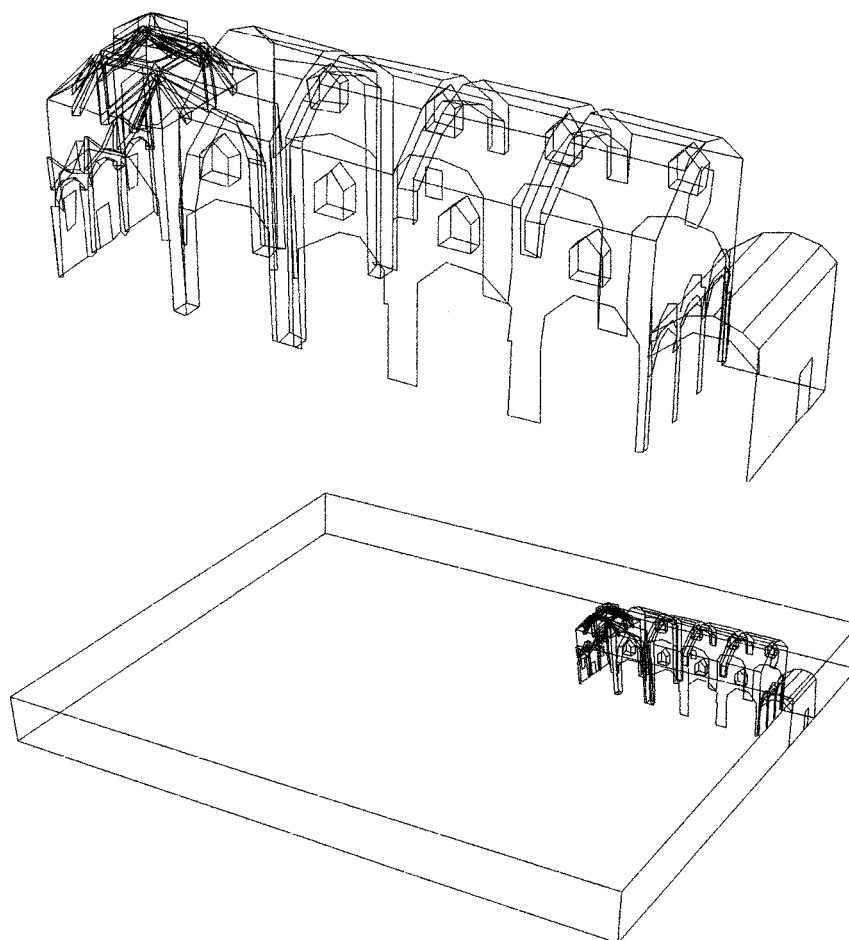


Fig. A5.2. Modelo geométrico para la simulación. Estado actual

Nivel de presión sonora.

En las tablas A5.5 y A5.6, se muestran los niveles de presión sonora, en dB, obtenidos para cada punto y frecuencia, así como el valor global en cada punto, tanto lineal como ponderado, y los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. El nivel de emisión de la fuente es de 113 dB y se ha considerado ocupada la nave con público sentado en sillas. Se adjuntan además los resultados obtenidos para la hipótesis de estado actual vacío, con el fin de poder comparar los valores entre el modelo y la medición (tabla A5.2), y por lo tanto comprobar el grado de adaptación del modelo a la realidad.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
03	84.2	90.8	85.9	80.1	81.0	72.2	93.2	88.1 (A)
04	82.6	89.3	84.0	78.2	78.8	70.0	91.6	86.3 (A)
05	82.4	88.6	83.9	77.9	78.4	69.9	91.1	85.9 (A)
06	80.8	87.3	82.1	76.4	76.8	67.7	89.6	84.3 (A)
07	81.4	87.3	82.3	76.6	76.7	68.1	89.8	84.4 (A)
08	81.1	87.2	81.6	76.2	76.6	67.2	89.5	84.1 (A)
09	80.7	87.4	82.1	77.0	76.8	67.9	89.7	84.4 (A)
10	80.0	86.7	80.9	75.3	75.0	65.9	88.8	83.2 (A)
MAX :	84.2	90.8	85.9	80.1	81.0	72.2		
MED :	81.7	88.1	82.9	77.2	77.5	68.6		
MIN :	80.0	86.7	80.9	75.3	75.0	65.9		

Tabla A5.5. Nivel presión sonora. Estado actual. Iglesia vacía.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
03	83.9	90.2	85.0	79.6	80.1	71.8	92.6	87.4 (A)
04	81.7	88.2	82.4	76.4	77.1	68.4	90.4	84.7 (A)
05	81.7	87.8	81.9	76.1	76.5	67.9	90.0	84.3 (A)
06	79.8	86.1	79.9	74.1	74.5	66.0	88.2	82.4 (A)
07	80.4	86.2	80.6	74.6	74.6	65.6	88.5	82.7 (A)
08	80.0	85.9	79.6	74.1	74.4	65.7	88.1	82.2 (A)
09	79.9	85.7	80.5	74.6	74.9	66.5	88.1	82.6 (A)
10	78.9	85.3	79.4	73.1	73.9	64.7	87.4	81.7 (A)
MAX :	83.9	90.2	85.0	79.6	80.1	71.8		
MED :	80.8	86.9	81.2	75.3	75.8	67.1		
MIN :	78.9	85.3	79.4	73.1	73.9	64.7		

Tabla A5.6. Nivel presión sonora. Estado actual, público en sillas.

Definición.

Se muestran los valores, en porcentaje, de definición para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada la nave gótica con público en sillas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
03	58.8	62.0	66.5	68.2	67.0	76.8	63.1
04	45.9	53.9	55.0	58.0	53.2	61.6	53.2
05	38.1	36.1	39.1	41.8	40.3	45.5	37.4
06	26.6	27.1	30.1	31.1	35.5	39.3	28.0
07	30.8	31.5	35.0	34.6	35.6	40.1	32.3
08	25.2	27.9	26.8	26.0	24.5	27.7	27.1
09	37.2	37.3	38.8	44.2	44.2	45.4	38.2
10	19.0	19.7	18.4	24.0	22.3	27.9	19.7
MAX :	58.8	62.0	66.5	68.2	67.0	76.8	
MED :	35.2	36.9	38.7	41.0	40.3	45.5	
MIN :	19.0	19.7	18.4	24.0	22.3	27.7	

Tabla A5.7. Definición. Estado actual, público en sillas.

Claridad musical.

En la siguiente tabla se indican los valores, en decibelios, de claridad musical (C_{80}) para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada la nave con público en sillas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
03	2.7	3.2	3.9	4.2	4.1	6.1	3.4
04	-0.4	1.3	2.1	2.3	1.9	2.6	1.3
05	0.1	0.7	1.4	2.4	2.5	3.1	0.9
06	-1.9	-1.8	-1.4	-1.3	-0.2	0.1	-1.6
07	-3.1	-2.4	-1.1	-1.1	-1.4	-0.2	-2.2
08	-1.0	-0.6	-0.2	0.7	1.8	1.0	-0.4
09	0.7	0.1	1.0	2.0	1.6	2.6	0.5
10	-4.1	-3.5	-3.6	-2.8	-3.0	-1.3	-3.6
MAX :	2.7	3.2	3.9	4.2	4.1	6.1	
MED:	-0.9	-0.4	0.3	0.8	0.9	1.8	
MIN :	-4.1	-3.5	-3.6	-2.8	-3.0	-1.3	

Tabla A5.8. Claridad (C_{80}). Estado actual, público en sillas.

Sonoridad.

En la tabla adjunta se indican los valores, en decibelios, de la sonoridad de la iglesia para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia, considerando la iglesia vacía.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
03	7.6	7.5	7.0	6.9	7.1	6.7	7.4
04	5.4	5.5	4.4	3.6	4.1	3.2	5.1
05	5.4	5.1	3.9	3.3	3.6	2.8	4.7
06	3.5	3.4	1.9	1.3	1.6	0.8	3.0
07	4.1	3.5	2.6	1.8	1.7	0.4	3.2
08	3.7	3.2	1.6	1.3	1.5	0.5	2.8
09	3.6	3.0	2.5	1.8	1.9	1.3	2.9
10	2.6	2.6	1.4	0.3	0.9	-0.5	2.2
MAX :	7.6	7.5	7.0	6.9	7.1	6.7	
MED:	4.5	4.2	3.2	2.5	2.8	1.9	
MIN :	2.6	2.6	1.4	0.3	0.9	-0.5	

Tabla A5.9. Sonoridad (G_{10}). Estado actual. Iglesia vacía.

Ecogramas.

Se adjuntan los ecogramas para la banda de octava de 2000 Hz, que relacionan el nivel de presión sonora y el retardo en ms de cada reflexión, para los diferentes puntos representativos del estado actual.

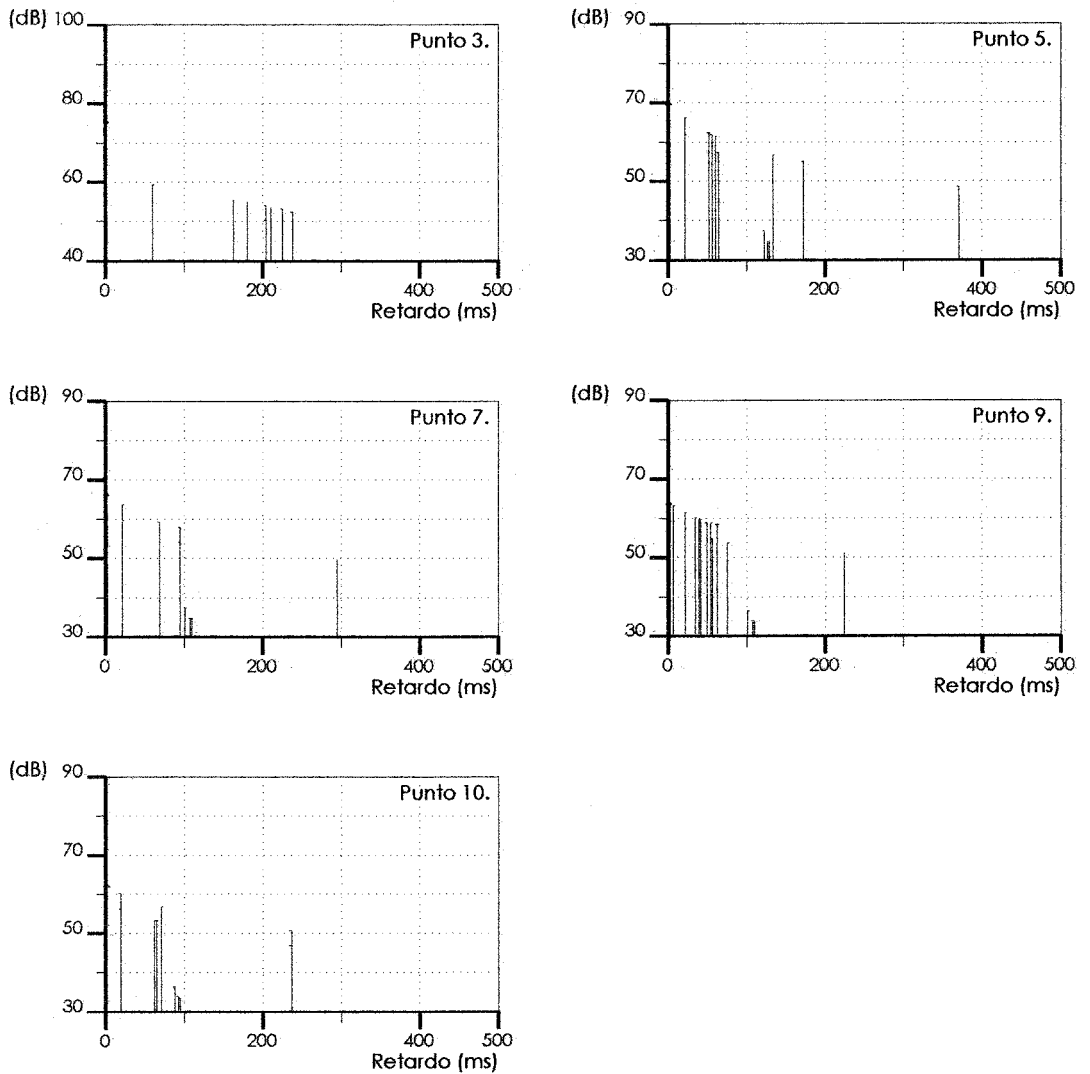


Fig. A5.3. Acústica geométrica estado actual. 2000 Hz.

▪ PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.

Se adjunta el modelo geométrico utilizado en la simulación informática para la propuesta de intervención, así como los resultados obtenidos del estudio teórico de parámetros acústicos analizados anteriormente. La situación de los diferentes puntos es la misma que la considerada en la figura A5.1.

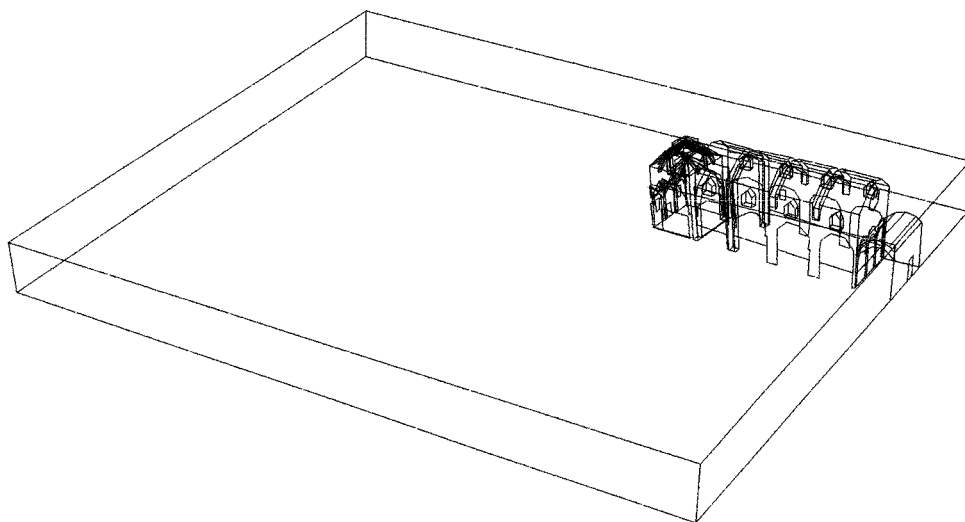


Fig. A5.4. Modelo geométrico para la simulación. Propuesta.

Nivel de presión sonora.

En la siguiente tabla se indican los niveles de presión sonora, en dB, para cada punto y frecuencia, así como el valor global en cada punto, tanto lineal como ponderado y los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. El nivel de emisión de la fuente es de 113 dB y se ha considerado ocupada la nave con público en sillas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado	
03	84.4	91.0	85.6	80.5	80.5	72.6	93.3	88.0	(A)
04	83.2	88.8	83.2	77.9	78.7	69.7	91.2	85.8	(A)
05	81.7	87.8	81.9	76.7	77.5	68.8	90.1	84.7	(A)
06	79.6	86.2	79.8	74.4	74.9	66.2	88.2	82.5	(A)
07	80.5	86.1	80.4	74.6	75.5	66.7	88.4	82.8	(A)
08	79.4	85.1	79.2	73.6	74.2	65.1	87.4	81.7	(A)
09	79.4	85.8	79.7	74.5	74.7	66.1	87.9	82.3	(A)
10	76.0	82.9	76.7	71.4	71.9	63.2	84.9	79.4	(A)
MAX :	84.4	91.0	85.6	80.5	80.5	72.6			
MED:	80.5	86.7	80.8	75.5	76.0	67.3			
MIN :	76.0	82.9	76.7	71.4	71.9	63.2			

Tabla A5.9. Nivel presión sonora. Configuración teatral.

Definición.

En la siguiente tabla se indican los valores, en porcentaje, de definición para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada la nave con público en sillas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
03	44.8	43.8	48.2	53.9	48.8	59.3	45.6
04	47.5	45.9	48.2	52.9	50.2	58.3	47.2
05	33.8	36.7	41.9	37.5	38.9	48.3	37.3
06	27.4	28.9	39.4	37.3	32.1	42.6	30.7
07	31.1	35.5	39.8	43.2	42.7	46.4	36.2
08	24.7	28.3	35.4	34.2	34.3	39.2	29.4
09	47.5	45.4	55.2	52.8	53.2	60.1	48.0
10	15.8	17.0	19.0	19.5	17.9	21.0	17.3
MAX :	47.5	45.9	55.2	53.9	53.2	60.1	
MED :	34.1	35.2	40.9	41.4	39.8	46.9	
MIN :	15.8	17.0	19.0	19.5	17.9	21.0	

Tabla A5.10. Definición. Propuesta.

Claridad musical.

En la tabla adjunta, se indican los valores, en decibelios, de claridad musical (C_{80}) para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada la nave con público en bancos.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
03	0.7	1.7	2.2	2.6	2.2	4.1	1.8
04	1.2	1.3	2.5	2.8	2.5	3.5	1.6
05	-0.2	0.8	1.7	1.3	1.6	2.7	0.9
06	-1.7	-1.2	0.3	-0.2	-0.1	1.2	-0.9
07	-0.3	0.0	1.0	1.1	1.1	2.8	0.2
08	-1.0	-0.7	1.0	0.6	0.5	1.8	-0.4
09	1.5	1.5	3.4	3.5	2.9	4.3	1.9
10	-2.3	-2.6	-1.3	-1.7	-0.6	-0.6	-2.2
MAX :	1.5	1.7	3.4	3.5	2.9	4.3	
MED :	-0.3	0.1	1.4	1.2	1.2	2.5	
MIN :	-2.3	-2.6	-1.3	-1.7	-0.6	-0.6	

Tabla A5.11. Claridad (C_{80}). Propuesta.

Sonoridad.

En la tabla se indican los valores, en decibelios, de la sonoridad de la iglesia para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia, considerando la iglesia vacía.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
03	8.2	8.0	8.0	7.8	7.9	7.2	8.0
04	6.4	6.4	6.0	5.6	5.6	5.3	6.2
05	5.8	6.1	5.8	5.3	5.4	4.7	5.9
06	4.4	4.8	4.5	3.4	3.7	2.3	4.6
07	4.9	4.9	3.9	3.9	3.7	2.6	4.6
08	4.7	4.6	3.6	3.5	3.3	2.3	4.3
09	4.7	4.7	4.1	3.8	4.0	2.6	4.5
10	4.0	3.9	3.4	2.6	3.2	1.2	3.7
MAX :	8.2	8.0	8.0	7.8	7.9	7.2	
MED :	5.4	5.4	4.9	4.5	4.6	3.5	
MIN :	4.0	3.9	3.4	2.6	3.2	1.2	

Tabla A5.12. Sonoridad (G_{10}). Propuesta.

Ecogramas.

Se adjuntan los ecogramas correspondientes a la banda de octava de 2000 Hz, para los puntos más representativos.

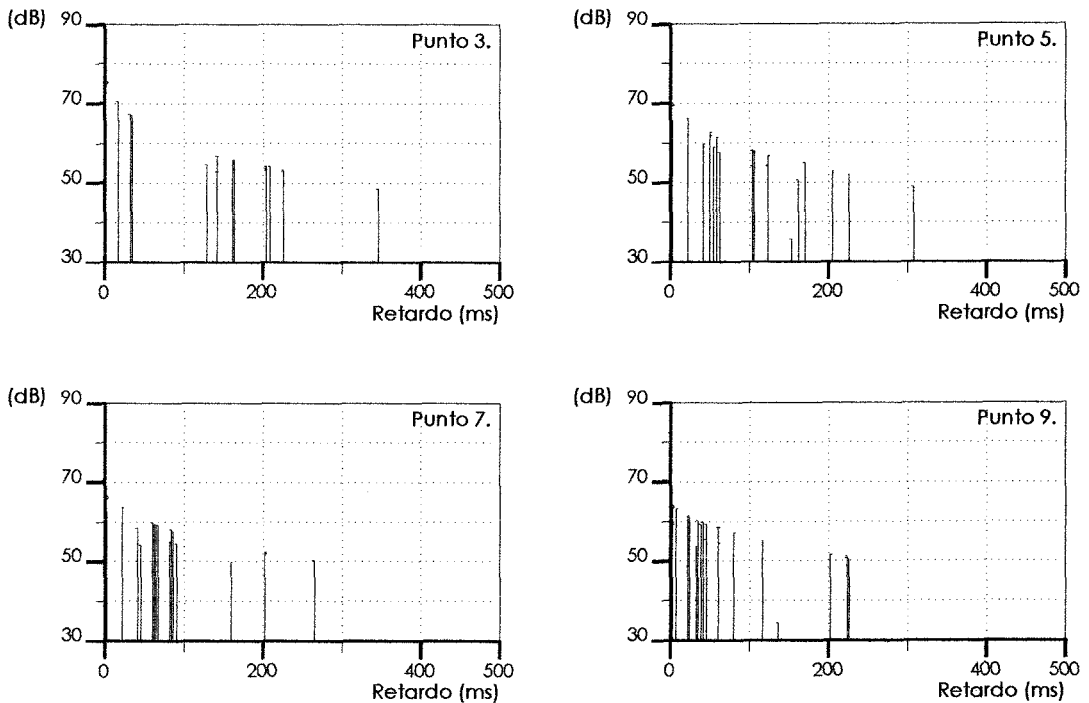


Figura A5.5. Acústica geométrica propuesta. Propuesta. 2000 Hz

▪ **RESUMEN DE REFLEXIONES Y DE PARÁMETROS ACÚSTICOS.**

Se cuantifican las principales reflexiones obtenidas de las simulaciones, tanto en el estado actual como en la propuesta. Se determinan las reflexiones que llegan a cada punto en un intervalo inferior a 100 ms y el total de reflexiones, así como las reflexiones en las superficies más significativas. Se completa el cuadro con la cuantificación del retardo de tiempo existente entre la primera reflexión respecto al sonido directo, para valorar la intimidad acústica.

	PUNTO	MEDICION	PROPUESTA
Reflexiones<100 ms/total reflex.	P3	2/22	6/17
	P4	2/26	6/13
	P5	9/27	14/24
	P6	2/23	8/19
	P7	8/29	13/19
	P8	12/33	12/17
	P9	16/34	29/25
Pared /Cúpula Villaviciosa	P3	2/2	2/2
	P4	2/2	2/2
	P5	4/4	4/4
	P6	1/1	1/1
	P7	1/1	1/1
Paredes laterales	P3	0/0	4/4
	P4	0/0	4/4
	P5	4/4	4/4
	P6	0/0	7/7
	P7	1/1	1/1
	P8	3/3	5/5
Techo de madera	P3	0/1	0/1
	P5	1/1	1/1
	P6	0/2	0/2
	P7	1/1	2/2
	P8	3/3	3/3
	P9	6/6	6/6
Pared fondo/panel fondo	P3	0/4	0/4
	P4	0/9	0/4
	P5	0/3	5/11
	P6	0/6	3/9
	P7	4/5	5/10
	P8	6/8	4/6
Paredes mezquita	P3	7/7	4/6
	P4	0/15	0/10
	P5	0/15	0/7
	P6	0/15	0/11
	P7	0/19	0/9
	P8	0/21	0/17
	P9	0/23	0/7
ITDG ms	P3	0/28	0/21
	P3	61.4	16.4
	P4	21.0	20.0
	P5	21.3	21.3
	P6	68.9	40.3
	P7	21.2	21.2
	P8	21.6	1.6
P9	1.9	1.9	

Tabla A5.13. Resumen de reflexiones.

Se adjunta un resumen comparativo de los principales parámetros acústicos en las diferentes hipótesis consideradas, tanto en el estado actual como en la propuesta de intervención.

Tiempo de reverberación.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Tr med
Estado actual							
Medido vacío	3.61	3.70	3.67	3.20	2.73	1.83	3.12
Estimado público sillas	2.84	2.63	2.24	1.95	1.77	1.35	2.13
Propuesta							
Público en sillas	2.16	1.99	1.58	1.48	1.51	1.12	1.64
Óptimos							
Música	2.63	2.16	1.88	1.88	1.88	1.88	2.05
Palabra	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06	1.06

Tabla A5.14. Resumen de tiempo de reverberación (segundos).

Nivel de presión sonora.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Estado actual						
Medido vacío	81.7	88.1	82.9	77.2	77.5	68.6
Estimado público en sillas	80.8	86.9	81.2	75.3	75.8	67.1
Propuesta						
Público en sillas.	80.5	86.7	80.8	75.5	76.0	67.3

Tabla A5.15. Resumen de niveles de presión sonora. Valores medios (dB)

RASTI. Valores con público en bancos.

	3	4	5	6	7	8	9	Med
Estado actual								
Medido vacío.	0.56	0.44	0.43	0.41	0.40	0.39	0.39	0.43
Estimado público en sillas	0.62	0.46	0.46	0.45	0.43	0.43	0.40	0.46
Propuesta								
Público en sillas.	0.54	0.45	0.47	0.47	0.47	0.44	0.45	0.47

Tabla A5.16. Resumen RASTI.

Definición. Valores globales (%). Valor óptimo D>50%

	3	4	5	6	7	8	9	Med
Estado actual								
Estimado público en sillas	63.1	53.2	37.4	28.0	32.3	27.1	38.2	39.9
Propuesta								
Público en sillas.	45.6	47.2	37.3	30.7	36.2	29.4	48.0	39.2

Tabla A5.17. Resumen valores de definición.

Claridad musical. Iglesia ocupada. Valores óptimos $-2 \leq C_{80} \leq +2$ dB

	3	4	5	6	7	8	9	Med
Estado actual								
Estimado público en sillas	3.4	1.3	0.9	-1.6	-2.2	-0.4	0.5	0.27
Propuesta								
Público en sillas.	1.8	1.6	0.9	-0.9	0.2	-0.4	1.9	0.73

Tabla A5.18. Resumen valores de claridad musical.

Otros parámetros.

	Volumen (m ³)	Ocupación	m ³ / plaza	Volumen/área audiencia.
Estado actual	4750	356	13.3	17.7
Propuesta	4750	356	13.3	17.7
Rango óptimo			5.1-9.1	9.2-12.0

Tabla A5.19. Resumen otros parámetros.

Apéndice 6. CATEDRAL DE SANTA MARIA DE LA ASUNCIÓN. CÓRDOBA.

▪ **ANÁLISIS ACÚSTICO DEL ESTADO ACTUAL. MEDICIÓN ACÚSTICA.**

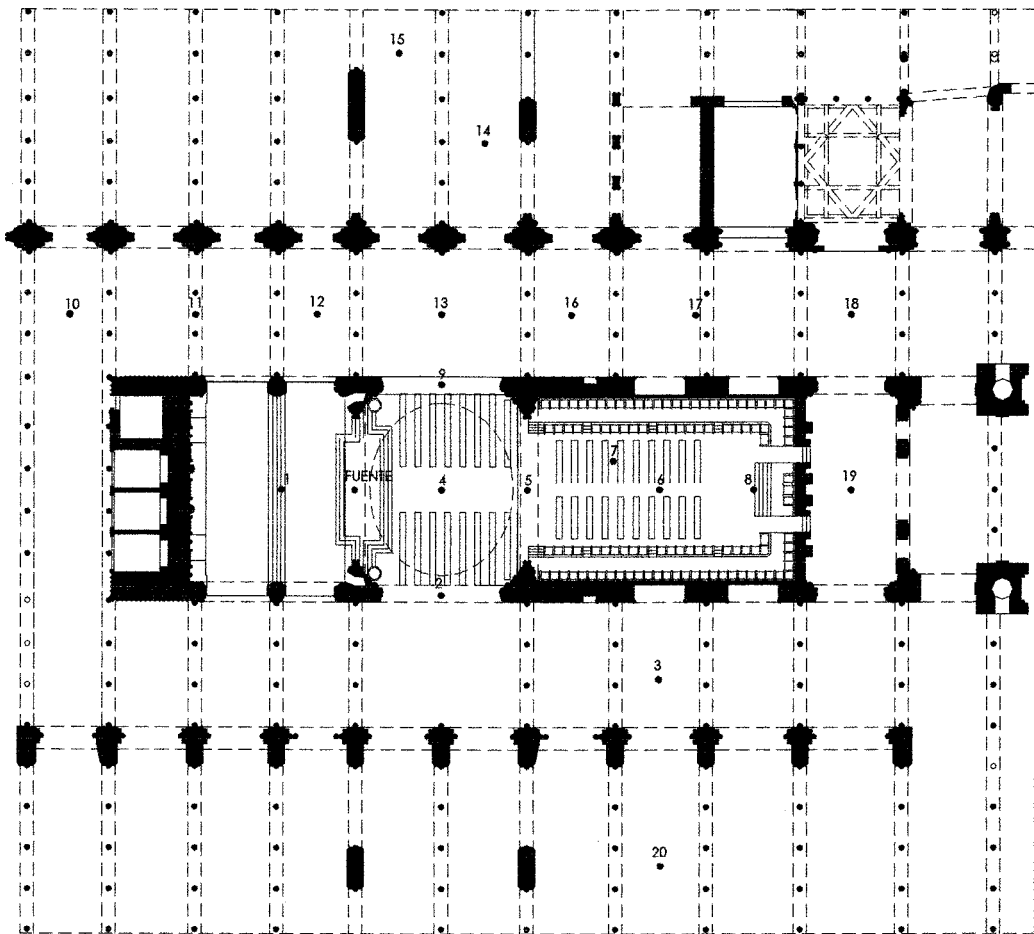


Fig. A6.1. Situación puntos de medida.

TIEMPO DE REVERBERACIÓN

PUNTOS	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1	4.12	4.05	3.64	2.91	2.57	1.50	0.74
2	4.15	4.10	3.68	3.55	2.77	1.73	0.93
3	6.34	5.41	4.58	4.20	3.43	2.27	1.98
4	3.96	3.89	3.87	3.33	2.65	1.64	0.84
5	4.68	4.03	4.03	3.39	2.63	1.69	0.86
6	4.48	3.83	3.93	3.50	2.67	1.71	0.88
7	4.71	4.29	3.95	3.50	2.70	1.71	0.88
8	3.83	4.22	3.91	3.53	2.69	1.71	0.95
9	3.79	3.74	4.02	3.46	2.60	1.64	0.76
10	5.57	5.82	5.45	4.86	3.87	2.70	2.54
11	4.58	5.22	4.85	4.24	3.38	2.12	1.26
12	5.34	4.51	4.40	3.54	2.98	1.89	1.06
13	5.27	4.49	4.55	3.38	2.68	1.69	0.85
14	5.73	5.46	4.77	4.08	3.25	2.11	1.16
15	6.34	5.30	4.85	4.26	3.43	2.22	1.35
16	5.05	4.74	4.23	3.61	2.86	1.82	0.86
17	5.80	4.47	4.35	3.83	2.96	2.02	2.53
18	4.98	5.04	4.37	4.07	3.20	2.13	2.21
19	4.70	4.32	4.32	3.76	3.13	2.02	1.63
20	7.75	5.51	4.64	4.33	3.61	2.79	1.45
Promedio	5.06	4.62	4.30	3.77	3.00	1.96	1.29
Promedio Crucero	4.33	4.07	3.91	3.39	2.66	1.67	0.85
Promedio naves	5.27	4.91	4.61	3.98	3.17	2.06	1.44

Tabla A6.1. Tiempos de reverberación medidos (segundos).

DISTRIBUCION SONORA.

PTOS	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	A (dBA)	L
1	84.97	91.12	85.13	81.28	82.16	74.11	69.31	88.46	93.55
2	82.38	87.72	82.53	77.32	76.74	69.64	63.74	84.53	90.25
3	74.48	80.44	74.80	69.71	68.42	59.07	50.32	76.84	82.71
4	84.89	89.09	83.78	79.48	80.97	74.20	69.34	87.12	92.07
5	82.63	87.21	82.06	77.52	78.07	69.12	64.70	84.69	90.00
6	79.75	84.72	80.38	74.63	74.96	66.15	61.08	82.15	87.53
7	78.83	84.06	79.39	74.34	73.66	63.99	58.45	81.32	86.74
8	79.74	85.68	79.26	73.32	73.14	64.34	57.92	81.50	87.74
9	82.67	88.15	81.93	77.29	77.01	68.23	67.41	84.56	90.45
10	71.80	77.00	71.07	65.35	64.21	53.79	44.10	72.94	79.28
11	75.67	80.15	74.68	69.61	68.23	58.65	49.12	76.65	82.72
12	78.12	84.44	78.59	72.72	70.98	62.20	53.18	80.34	86.52
13	80.69	86.98	80.54	75.99	75.38	65.80	62.78	83.14	89.10
14	74.32	81.52	74.87	69.42	68.92	59.09	50.56	77.29	83.38
15	73.34	79.34	73.12	67.52	66.83	56.96	47.58	75.21	81.44
16	75.30	80.69	75.50	69.37	68.32	58.12	48.92	77.02	83.08
17	75.30	80.69	75.50	69.31	68.32	58.12	48.92	77.02	83.08
18	73.62	79.92	73.70	67.16	66.03	55.12	44.29	75.33	81.87
19	77.01	83.00	76.23	69.66	68.05	57.44	44.80	77.98	84.87

Tabla A6.2. Medidas de niveles de presión sonora (dB).

INTELIGIBILIDAD.

Punto	RASTI	Octava (Hz)	STI	NPS (dB)	S/Neq (dB)	EDTeq (s)
1	0.43	500	0.47	55.1	-0.9	
		2000	0.40	40.8	-3.1	
2	0.50	500	0.44	52.9	-1.7	
		2000	0.55	42.0	-1.4	
3	0.28	500	0.27	45.3	-7.0	
		2000	0.29	33.5	-6.4	4.40
4	0.57	500	0.47	55.1	-1.0	
		2000	0.65	45.3	4.5	0.75
5	0.50	500	0.38	52.7	-3.6	
		2000	0.59	43.2	2.7	
6*	0.36	500	0.29	50.8	-6.2	4.10
		2000	0.42	40.8	-2.4	
7	0.33	500	0.27	50.4	-6.8	4.60
		2000	0.37	39.3	-3.8	
8	0.37	500	0.28	49.9	-6.5	4.40
		2000	0.43	38.5	-2.0	
9	0.48	500	0.40	53.5	-3.1	
		2000	0.55	41.9	1.6	
10	0.31	500	0.23	42.0	-8.2	
		2000	0.37	30.6	-3.9	
11	0.27	500	0.24	44.1	-7.7	
		2000	0.29	31.9	-6.3	
12	0.31	500	0.28	47.8	-6.7	4.50
		2000	0.34	35.0	-4.9	3.30
13	0.38	500	0.30	51.0	-6.1	4.00
		2000	0.45	39.5	-1.0	
14	0.26	500	0.20	45.2	-8.9	6.90
		2000	0.30	32.8	-6.1	
15	0.23	500	0.18	43.2	-9.7	
		2000	0.28	31.6	-6.6	
16	0.34	500	0.21	47.8	-8.8	
		2000	0.45	37.0	-1.6	
17	0.22	500	0.17	45.2	-9.9	
		2000	0.27	33.3	-7.0	4.80
18	0.25	500	0.21	44.0	-8.6	
		2000	0.28	31.7	-6.7	4.60
19	0.31	500	0.31	46.6	-5.7	
		2000	0.31	33.9	-5.7	3.80

Tabla A6.3. Medidas de inteligibilidad. Índice RASTI .

RUIDO DE FONDO (dBA).

Leq	NPL	Punta	Max P	Max N	Min N	L1	L10	L50	L90	L99
31.9	31.1	43.3	60.3	48.6	29.5	39.0	32.5	31.5	30.5	30.0

Tabla A6.4. Medidas de ruido de fondo.

* Durante el tiempo de promediado en este punto sonó uno de los relojes de pared, lo que puede desvirtuar algo las medidas.

▪ ANÁLISIS ACÚSTICO DEL ESTADO ACTUAL. SIMULACIÓN INFORMÁTICA.

Se adjunta el modelo geométrico utilizado para la simulación informática del estado actual. Así mismo, se incorporan los resultados obtenidos en los diferentes puntos, para cada una de las frecuencias de octava, de diferentes parámetros energéticos (obtenidos mediante el programa CATT-acoustic) relacionados con la calidad sonora de la iglesia, como son el nivel de presión sonora, definición, claridad musical y sonoridad, así como el estudio teórico de las reflexiones mediante los ecogramas, para la banda de octava de 2000 Hz, para las diferentes hipótesis consideradas: fuente situada en el altar mayor, fuente en el coro y la simultaneidad de 3 fuentes en la hipótesis de multicoro.

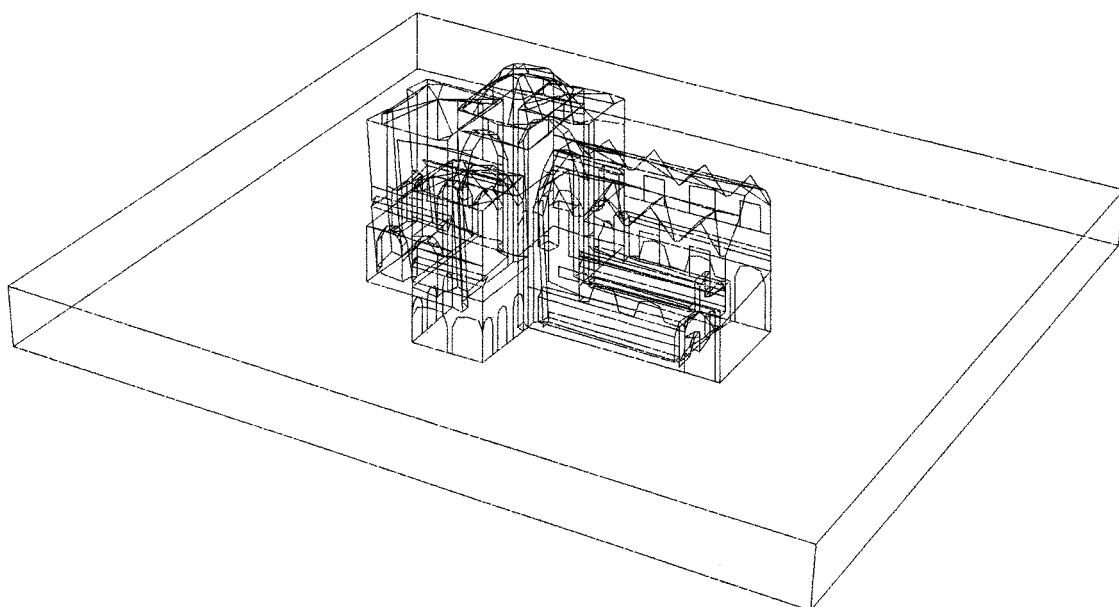


Fig. A6.2. Modelo geométrico para la simulación. Estado actual.

Nivel de presión sonora.

En las tablas siguientes se indican los niveles de presión sonora, en dB, para cada punto y frecuencia, así como el valor global en cada punto, tanto lineal como ponderado, y los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. El nivel de emisión de la fuente es de 116 dB y se ha considerado ocupado el crucero con público en sillas. Se adjuntan, además, los resultados obtenidos para la hipótesis de estado actual vacío, con el fin de poder comparar los valores entre el modelo y la medición, y por lo tanto determinar el grado de adaptación del modelo a la realidad.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
01	87.0	92.5	86.6	84.0	84.0	75.2	95.1	90.4 (A)
02	83.4	88.6	83.0	80.3	80.3	71.3	91.4	86.7 (A)
04	84.5	89.7	83.7	81.0	81.2	72.4	92.4	87.6 (A)
05	82.7	87.5	81.3	77.8	77.6	67.9	90.0	84.6 (A)
06	81.3	85.7	79.3	76.2	75.7	66.2	88.3	82.8 (A)
07	81.5	86.2	80.0	76.5	76.0	66.0	88.7	83.2 (A)
09	83.2	88.6	83.1	80.2	80.1	71.5	91.3	86.6 (A)
13	81.4	86.5	80.5	77.7	78.0	68.7	89.2	84.3 (A)
MAX :	87.0	92.5	86.6	84.0	84.0	75.2		
MED :	83.1	88.2	82.2	79.2	79.1	69.9		
MIN :	81.3	85.7	79.3	76.2	75.7	66.0		

Tabla A6.5. Nivel presión sonora. Fuente en altar mayor. Iglesia vacía.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
01	86.0	91.2	85.6	83.0	83.1	74.7	94.0	89.4 (A)
02	82.1	86.9	81.1	78.3	78.3	70.0	89.7	84.8 (A)
04	83.4	88.1	82.2	79.3	79.3	70.9	90.9	85.9 (A)
05	81.7	86.3	80.1	77.0	76.9	68.0	88.9	83.7 (A)
06	80.3	84.8	78.4	75.2	75.0	66.2	87.4	82.0 (A)
07	80.5	85.1	78.8	75.6	75.3	66.3	87.7	82.3 (A)
09	82.1	86.9	81.1	78.3	78.3	70.0	89.7	84.8 (A)
13	79.6	84.3	78.3	75.4	75.4	66.8	87.0	82.0 (A)
MAX :	86.0	91.2	85.6	83.0	83.1	74.7		
MED :	81.9	86.7	80.7	77.8	77.7	69.1		
MIN :	79.6	84.3	78.3	75.2	75.0	66.2		

Tabla A6.6. Nivel presión sonora. Fuente en altar mayor. Público en sillas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
01	79.0	83.3	76.9	73.6	73.0	62.7	85.9	80.3 (A)
02	79.7	84.1	77.7	74.6	73.8	63.8	86.7	81.1 (A)
04	82.2	87.0	80.4	77.4	76.7	67.3	89.5	84.0 (A)
05	83.6	88.2	81.9	78.9	78.3	69.5	90.8	85.5 (A)
06	87.7	92.8	86.9	84.0	83.2	75.0	95.4	90.4 (A)
07	84.7	89.3	83.5	79.9	79.4	70.7	91.9	86.6 (A)
09	80.2	84.2	77.9	74.0	73.8	64.5	86.8	81.1 (A)
13	76.5	80.9	74.4	70.1	69.1	59.7	83.3	77.3 (A)
MAX :	87.7	92.8	86.9	84.0	83.2	75.0		
MED :	81.7	86.2	80.0	76.6	75.9	66.6		
MIN :	76.5	80.9	74.4	70.1	69.1	59.7		

Tabla A6.7. Nivel presión sonora. Fuente en coro. Público en sillas

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
01	93.6	98.6	92.7	89.8	89.7	81.4	101.3	96.3 (A)
02	91.9	96.6	90.2	87.2	86.9	78.1	99.2	93.9 (A)
04	93.0	97.7	91.7	88.5	88.5	78.8	100.4	95.2 (A)
05	93.9	98.8	92.8	89.6	89.3	81.0	101.4	96.2 (A)
06	95.6	100.4	94.5	91.7	91.5	83.5	103.1	98.2 (A)
07	96.1	100.9	95.3	92.6	92.4	84.2	103.7	99.0 (A)
09	91.9	96.5	90.4	87.2	87.1	78.4	99.2	93.9 (A)
13	89.4	93.9	87.7	84.3	84.0	75.0	96.5	91.1 (A)

Tabla A6.8. Nivel presión sonora. Multicoro, público en sillas.

Definición.

Se muestran los valores, en porcentaje, de definición para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada el crucero con público en sillas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	40.6	42.8	51.2	56.8	57.4	65.4	46.2
02	45.8	49.8	56.6	61.7	63.1	71.4	52.1
04	38.4	42.6	51.2	57.6	59.5	69.2	45.5
05	20.0	22.9	28.4	33.3	35.5	45.7	24.7
06	32.8	37.6	45.4	51.8	55.3	64.6	39.7
07	13.6	15.7	20.1	24.0	26.1	34.1	17.1
09	45.6	49.5	56.3	61.5	62.9	71.3	51.9
13	37.5	41.6	49.2	55.7	57.1	67.8	44.2
MAX :	45.8	49.8	56.6	61.7	63.1	71.4	
MED :	34.3	37.8	44.8	50.3	52.1	61.2	
MIN :	13.6	15.7	20.1	24.0	26.1	34.1	

Tabla A6.9. Definición. Fuente en altar mayor.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	20.8	21.5	30.7	35.2	33.6	51.0	24.1
02	22.9	25.1	25.1	32.1	32.6	35.5	25.5
04	42.1	43.1	43.3	52.4	50.0	58.1	44.0
05	40.1	41.7	42.2	51.7	46.1	61.7	42.5
06	59.5	61.4	66.5	71.1	69.7	77.3	63.1
07	44.0	46.4	49.8	54.6	56.5	65.1	47.7
09	24.3	21.9	31.0	25.8	31.9	35.7	24.4
13	1.6	4.3	1.3	5.6	0.9	1.1	3.3
MAX :	59.5	61.4	66.5	71.1	69.7	77.3	
MED :	31.9	33.2	36.2	41.1	40.2	48.2	
MIN :	1.6	4.3	1.3	5.6	0.9	1.1	

Tabla A6.10. Definición. Fuente en coro.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	30.9	33.2	41.8	47.6	52.0	58.5	36.6
02	26.8	28.8	37.9	41.3	43.6	52.7	31.5
04	28.0	29.9	38.6	46.3	45.9	56.8	33.1
05	33.0	37.5	44.7	47.6	56.2	62.7	39.8
06	44.8	47.4	52.6	60.2	64.1	69.0	50.0
07	51.4	52.7	61.0	65.7	70.3	73.9	56.2
09	27.5	28.7	36.8	40.4	43.2	53.3	31.4
13	19.7	24.1	28.3	35.2	36.3	46.1	25.3
MAX :	51.4	52.7	61.0	65.7	70.3	73.9	
MED:	32.7	35.2	42.7	48.0	58.3	59.1	
MIN :	19.7	24.1	28.3	35.2	36.3	46.1	

Tabla A6.11. Definición. Multicoro.

Claridad musical.

En las tablas siguientes se indican los valores, en decibelios, de claridad musical (C_{80}) para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada la nave central con público en sillas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	-1.1	-0.7	0.8	1.8	1.9	3.4	-0.1
02	0.0	0.9	2.3	3.5	3.8	5.7	1.4
04	-2.1	-1.3	0.2	1.3	1.7	3.5	-0.8
05	-6.0	-5.3	-4.0	-3.0	-2.6	-0.8	-4.8
06	-2.8	-1.9	-0.4	0.9	1.5	3.3	-1.5
07	-7.1	-6.4	-5.0	-3.9	-3.4	-1.7	-5.9
09	-0.0	0.8	2.3	3.4	3.7	5.7	1.3
13	-1.7	-0.9	0.7	2.0	2.3	4.6	-0.4
MAX :	0.0	0.9	2.3	3.5	3.8	5.7	
MED:	-2.6	-1.8	-0.4	0.7	1.1	3.0	
MIN :	-7.1	-6.4	-5.0	-3.9	-3.4	-1.7	

Tabla A6.12. Claridad (C_{80}). Fuente en altar mayor.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	-4.6	-4.2	-2.2	-0.5	-1.3	0.9	-3.6
02	-2.7	-3.4	-2.3	-1.7	-0.9	-0.0	-2.9
04	-0.8	-0.3	-0.5	1.0	1.0	2.2	-0.3
05	-0.8	-0.1	0.1	1.3	1.1	3.4	0.0
06	3.0	3.8	4.2	5.0	5.0	6.8	3.9
07	0.2	0.7	1.7	2.0	2.4	3.8	1.0
09	-2.7	-2.7	-2.0	-2.4	-1.4	-0.3	-2.5
13	-10.6	-11.4	-11.4	-9.4	-14.8	-11.1	-11.2
MAX :	3.0	3.8	4.2	5.0	5.0	6.8	
MED:	-2.4	-2.2	-1.5	-0.6	-1.1	0.7	
MIN :	-10.6	-11.4	-11.4	-9.4	-14.8	-11.1	

Tabla A6.13. Claridad (C_{80}). Fuente en coro.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	-2.4	-2.0	-0.3	0.7	1.4	2.8	-1.4
02	-2.8	-2.7	-1.2	0.1	0.4	2.1	-2.1
04	-3.7	-3.0	-1.6	-0.2	-0.3	1.9	-2.5
05	-1.7	-0.8	0.5	1.2	2.3	3.9	-0.4
06	0.9	1.5	2.3	3.7	4.2	6.1	1.9
07	1.4	2.0	3.3	4.2	4.8	6.5	2.5
09	-3.0	-2.4	-1.1	-0.4	0.4	2.1	-2.0
13	-4.9	-3.7	-2.5	-1.6	-1.1	0.4	-3.4
MAX :	1.4	2.0	3.3	4.2	4.8	6.5	
MED :	-2.0	-1.3	0.0	0.9	1.5	3.2	
MIN :	-4.9	-3.7	-2.5	-1.6	-1.1	0.4	

Tabla A6.14. Claridad (C_{80}). Multicoro.

Sonoridad.

En las tablas adjuntas se indican los valores, en decibelos, de la sonoridad de la iglesia para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia, considerando la iglesia vacía.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	10,9	10,6	9,8	9,5	9,4	8,5	9,9
02	7,3	7,3	6,4	5,9	5,7	4,7	6,3
04	8,2	8,3	7,4	6,7	6,8	5,9	7,3
05	5,8	5,6	4,3	3,2	2,9	1,4	4,2
06	4,6	3,8	2,5	1,5	0,8	-0,6	2,5
07	4,8	4,5	2,9	1,8	2,0	-0,3	3,0
08	3,6	3,2	2,0	0,5	0,0	-2,3	1,6
09	7,4	7,4	6,5	5,8	6,0	4,9	6,4
13	5,4	5,2	4,4	3,5	3,8	2,6	4,3
MAX :	10,9	10,6	9,8	9,5	9,4	8,5	
MED :	6,4	6,2	5,1	4,3	4,2	2,8	
MIN :	3,6	3,2	2,0	0,5	0,0	-2,3	

Tabla A6.15. Sonoridad (G_{10}). Fuente en altar mayor

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	3,5	3,3	1,2	0,9	0,9	-1,8	1,7
02	4,2	3,5	2,3	2,0	1,6	-0,0	2,5
04	6,9	6,3	5,2	5,0	4,9	3,9	5,5
05	8,1	7,5	6,5	6,0	6,1	5,6	6,7
06	12,8	12,2	11,6	11,2	11,6	11,4	11,8
07	9,5	8,9	8,2	7,8	8,1	7,6	8,4
09	4,0	3,4	2,2	1,6	2,0	0,4	2,4
13	1,1	0,2	-1,2	-2,4	-2,1	-5,2	-1,2
MAX :	12,8	12,2	11,6	11,2	11,6	11,4	
MED :	6,3	5,6	4,5	4,0	4,1	2,8	
MIN :	1,1	0,2	-1,2	-2,4	-2,1	-5,2	

Tabla A6.16. Sonoridad (G_{10}). Fuente en coro.

Ecogramas.

Se adjuntan los ecogramas para la banda de octava de 2000 Hz, que relacionan el nivel de presión sonora y el retardo en ms de cada reflexión, para los diferentes puntos establecidos.

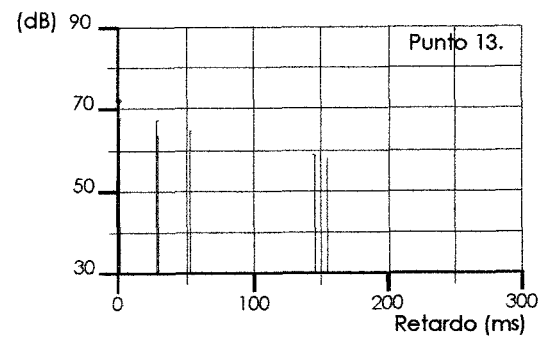
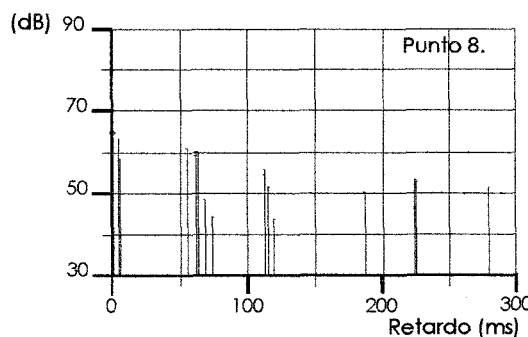
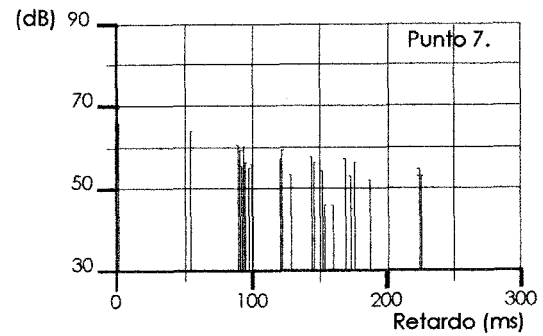
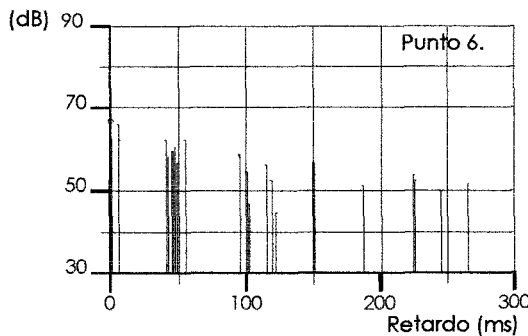
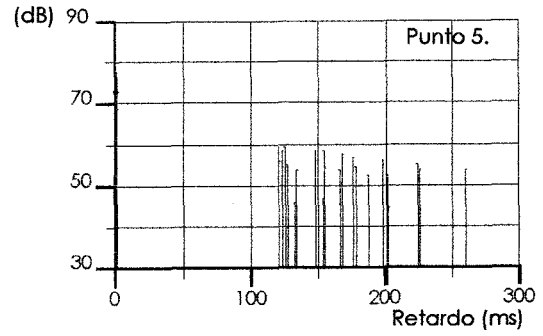
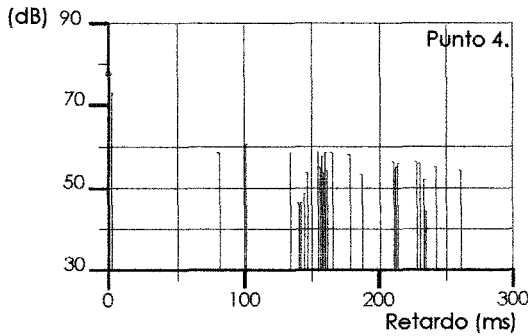
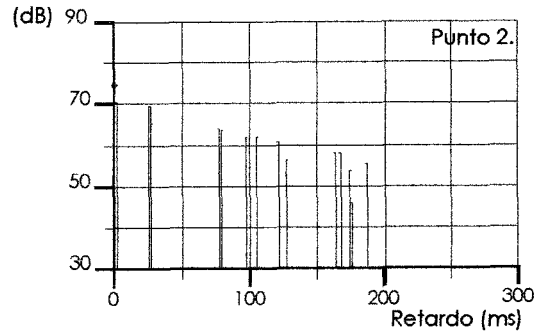
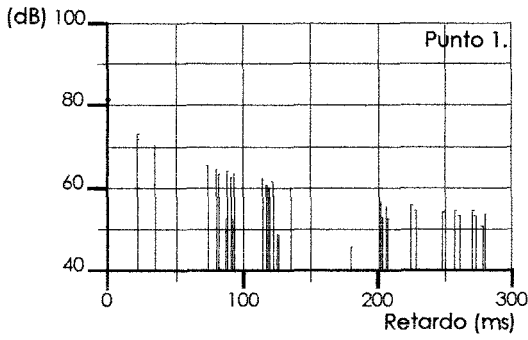


Figura A6.3. Acústica geométrica estado actual. Fuente en altar. 2000 Hz.

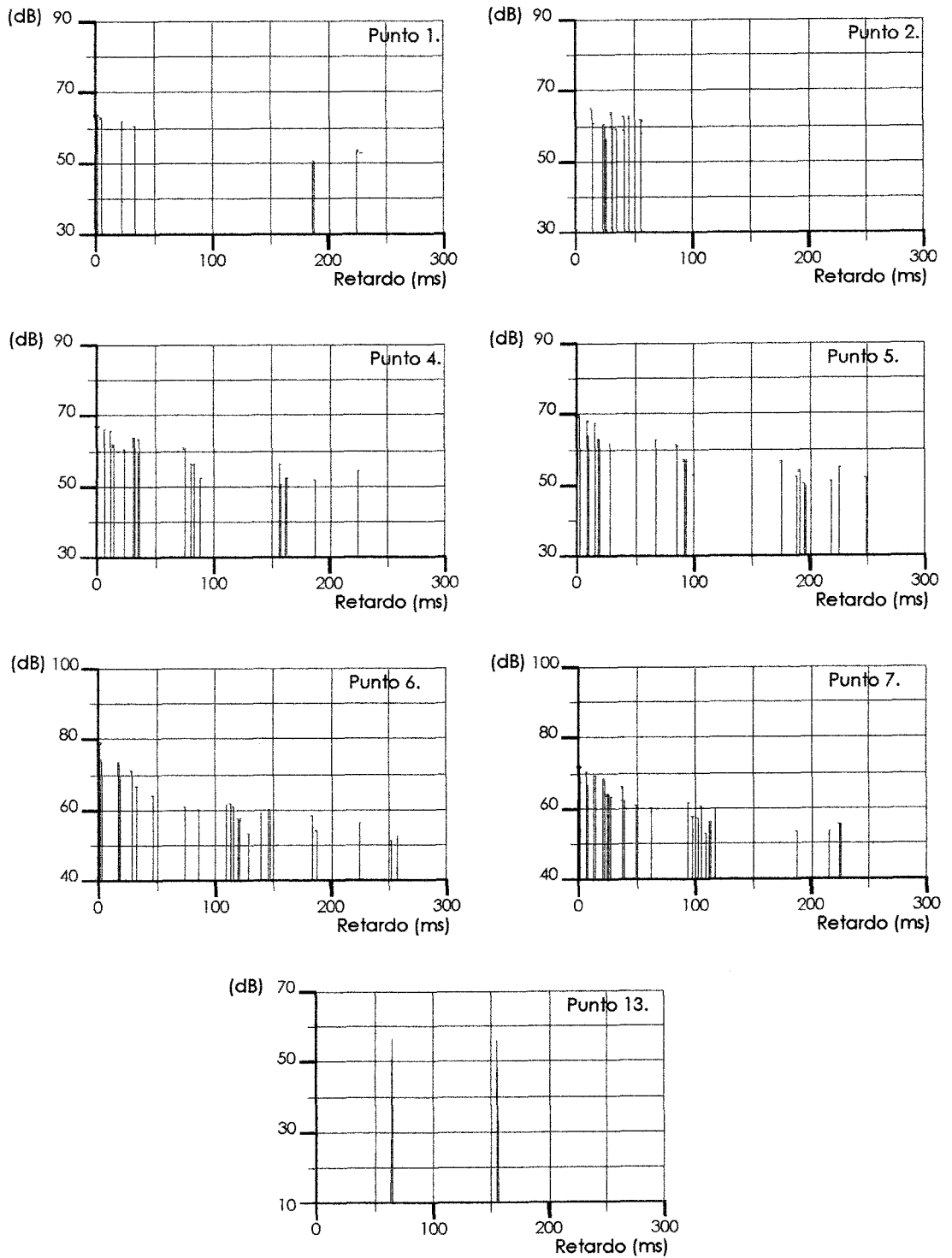


Figura A6.4. Acústica geométrica estado actual. Fuente en coro. 2000 Hz.

▪ PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.

Al aumentar la zona de audiencia, al incorporar los dos niveles de anfiteatro y el palco sobre la sillería del coro, se establecen tres nuevos puntos de medida, representativos de cada una de estas zonas, para valorar las condiciones acústicas de estas zonas de audiencia (figura A6.5)

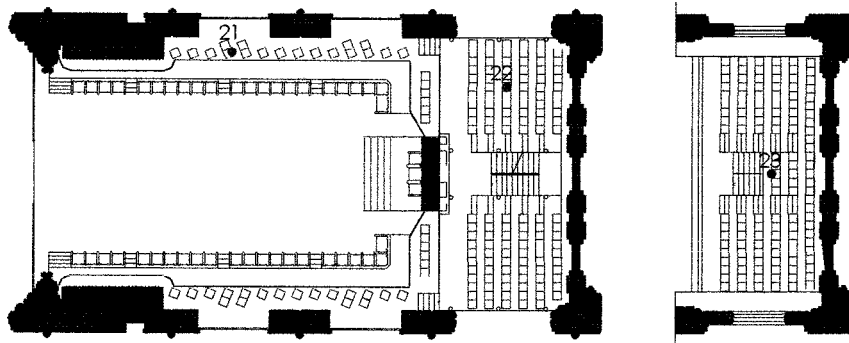


Figura A6.5. Situación puntos de palco y anfiteatros.

El modelo geométrico utilizado en la simulación informática de la propuesta parte del modelo anterior, al que se incorporan las modificaciones introducidas en la propuesta de intervención (figura A6.6).

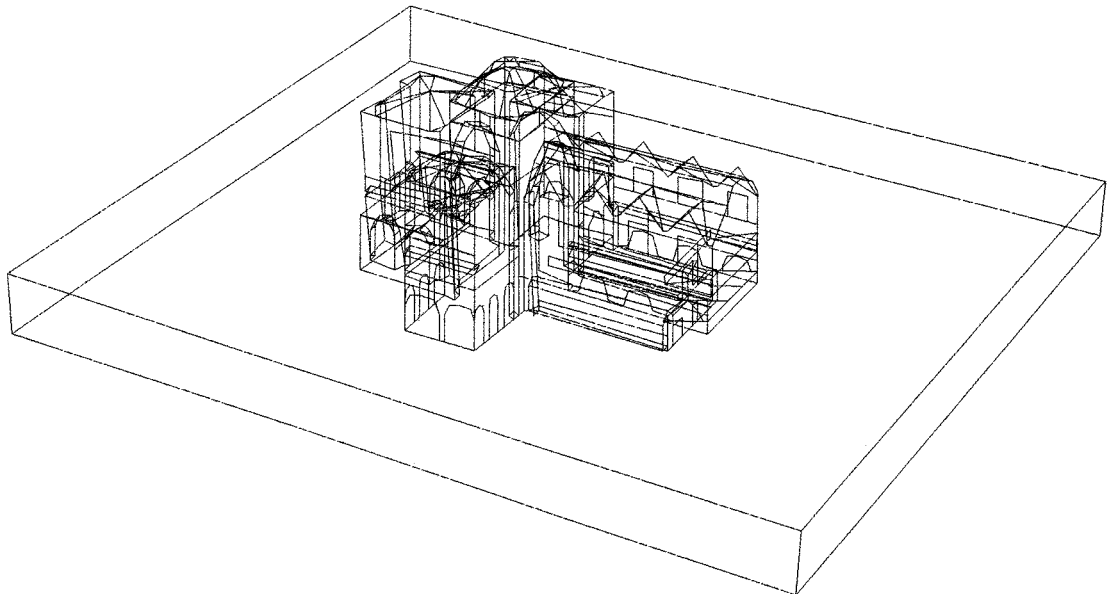


Figura A6.6. Modelo geométrico para la simulación. Propuesta.

En la propuesta de intervención, se proponen dos hipótesis de posición de la fuente sonora: en el altar mayor, situándose en el mismo punto que en la medición acústica, y en el eje de la cúpula (punto 4 de la figura A6.1).

Nivel de presión sonora.

En las siguientes tablas se indican los niveles de presión sonora, en dB, para cada punto y frecuencia, así como el valor global en cada punto, tanto lineal como ponderado, y los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. El nivel de emisión de la fuente en ambas configuraciones es de 116 dB. Se ha considerado una ocupación de la iglesia con público en sillas en la zona de audiencia y con orquesta en la zona del altar mayor.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado	
01	85.0	90.4	84.7	81.8	82.0	73.9	93.1	88.4	(A)
02	82.0	86.6	80.8	78.2	78.0	69.9	89.4	84.6	(A)
04	82.8	87.9	81.8	79.0	79.1	71.1	90.5	85.6	(A)
05	81.1	85.5	79.1	76.0	75.9	66.9	88.1	82.8	(A)
06	79.7	84.2	77.6	74.5	74.4	65.3	86.7	81.3	(A)
07	80.1	84.3	78.2	74.7	74.1	66.1	87.0	81.5	(A)
08	78.2	82.6	77.0	73.9	73.0	64.0	85.4	80.2	(A)
09	82.1	86.7	80.9	78.0	78.0	69.8	89.5	84.6	(A)
13	79.5	84.1	78.3	75.5	75.0	66.7	86.9	81.9	(A)
21	78.9	83.5	77.6	74.1	73.1	64.1	86.1	80.7	(A)
22	78.1	82.6	75.4	71.9	71.5	62.7	84.9	79.0	(A)
23	78.9	82.9	76.2	72.7	72.2	62.5	85.5	79.6	(A)
MAX :	85.0	90.4	84.7	81.8	82.0	73.9			
MED :	80.5	85.1	79.0	75.9	75.5	66.9			
MIN :	78.1	82.6	75.4	71.9	71.5	62.5			

Tabla A6.17. Nivel presión sonora. Fuente en altar mayor.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado	
01	82.9	87.5	81.8	78.6	78.7	70.1	90.3	85.3	(A)
02	83.9	89.0	83.0	80.5	80.2	71.9	91.7	86.8	(A)
Fuente	82.9	87.3	81.7	78.9	79.2	70.7	90.2	85.5	(A)
05	84.8	89.7	84.0	81.4	81.2	73.2	92.5	87.8	(A)
06	82.3	86.5	80.6	77.4	77.0	68.5	89.3	84.0	(A)
07	82.8	87.7	81.8	79.0	78.7	70.3	90.4	85.4	(A)
08	81.1	86.1	79.8	76.6	76.1	67.5	88.6	83.2	(A)
09	83.8	88.8	83.2	80.5	80.3	71.9	91.6	86.9	(A)
13	81.1	86.1	80.1	77.2	77.3	68.5	88.8	83.8	(A)
21	81.1	85.6	79.6	76.3	75.8	66.7	88.3	82.9	(A)
22	79.3	83.9	77.5	74.4	73.6	63.2	86.4	80.9	(A)
23	81.0	85.3	79.0	75.9	75.1	66.0	87.9	82.4	(A)
MAX :	84.8	89.7	84.0	81.4	81.2	73.2			
MED :	82.3	87.0	81.0	78.0	77.8	69.0			
MIN :	79.3	83.9	77.5	74.4	73.6	63.2			

Tabla A6.18. Nivel presión sonora. Fuente en eje de la cúpula.

Definición.

Se muestran los valores, en porcentaje, de definición para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Al igual que en el caso anterior, se ha considerado una ocupación de la iglesia con público en sillas en la zona de audiencia y con orquesta en la zona del altar mayor.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	51.4	51.7	62.3	72.1	69.9	78.4	56.4
02	45.0	50.9	55.7	62.4	66.7	66.1	52.7
04	44.3	49.9	56.9	62.8	65.1	76.4	52.2
05	26.4	30.1	40.7	47.3	49.6	60.5	33.1
06	29.7	35.1	43.7	45.1	46.3	60.4	36.5
07	18.0	21.9	28.7	34.7	36.4	50.4	23.8
08	26.1	32.2	47.7	50.5	44.2	53.9	35.4
09	45.3	48.8	54.5	62.8	62.9	73.8	51.2
13	38.1	41.1	45.7	49.6	55.7	58.6	43.0
21	11.9	11.1	14.4	18.7	20.2	29.9	12.8
22	14.0	18.8	20.7	29.3	32.6	34.7	19.2
23	15.5	17.6	20.4	27.0	26.5	32.9	18.5
MAX :	51.4	51.7	62.3	72.1	69.9	78.4	
MED :	30.5	34.1	41.0	46.9	48.0	56.3	
MIN :	11.9	11.1	14.4	18.7	20.2	29.9	

Tabla A6.19. Definición. Fuente en altar mayor.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	26.8	32.8	40.3	47.5	51.3	60.6	35.3
02	42.7	46.4	54.2	55.4	55.4	62.6	48.4
Fuente	35.4	43.8	51.2	60.4	61.3	71.8	46.2
05	52.8	55.8	65.4	67.5	72.3	79.6	59.1
06	37.5	35.2	41.8	45.8	48.3	55.8	38.2
07	37.6	39.9	46.8	53.5	61.0	65.9	43.1
08	51.9	55.4	60.0	61.7	60.8	68.2	56.2
09	45.0	46.5	51.9	55.2	57.8	66.8	48.8
13	31.9	32.9	40.2	45.2	44.0	54.2	35.5
21	15.8	20.2	18.2	24.0	27.3	30.5	19.8
22	19.3	21.3	27.1	28.4	29.9	43.6	22.7
23	14.7	18.1	26.3	25.4	24.5	33.2	19.3
MAX :	52.8	55.8	65.4	67.5	72.3	79.6	
MED :	34.3	37.4	43.6	47.5	49.5	57.7	
MIN :	14.7	18.1	18.2	24.0	24.5	30.5	

Tabla A6.20. Definición. Fuente en eje de la cúpula.

Claridad musical.

En las tablas siguientes se indican los valores, en decibelios, de claridad musical (C_{80}) para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado una ocupación de público en sillas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	0.7	1.2	2.9	4.7	4.3	6.5	1.9
02	-0.4	0.8	2.1	3.6	3.9	4.5	1.2
04	-0.7	0.6	2.4	3.3	3.9	5.6	1.1
05	-4.0	-3.3	-1.3	-0.2	0.0	2.1	-2.7
06	-2.6	-1.7	0.0	0.4	1.2	3.0	-1.3
07	-5.4	-4.6	-2.5	-1.3	-1.2	1.7	-4.0
08	-2.0	-0.8	2.2	4.0	2.2	5.6	-0.1
09	0.0	0.8	1.8	3.1	3.1	5.7	1.2
13	-1.2	-0.7	-0.3	1.7	2.5	2.6	-0.3
21	-6.3	-6.2	-4.7	-3.8	-3.4	-1.5	-5.6
22	-5.0	-3.2	-2.9	-0.1	0.4	2.1	-3.1
23	-5.6	-5.3	-3.9	-2.1	-2.6	-0.2	-4.8
MAX :	0.7	1.2	2.9	4.7	4.3	6.5	
MED :	-2.7	-1.9	-0.4	1.1	1.2	3.1	
MIN :	-6.3	-6.2	-4.7	-3.8	-3.4	-1.5	

Tabla A6.21. Claridad (C_{80}). Fuente en altar mayor.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	-2.6	-1.9	-0.1	0.4	0.9	3.1	-1.4
02	0.2	0.7	2.4	2.7	2.8	4.3	1.2
Fuente	-1.5	-0.3	1.1	2.8	3.2	5.2	0.2
05	0.8	1.6	3.3	4.3	5.2	7.0	2.2
06	-0.8	-1.1	0.2	1.5	1.3	2.9	-0.5
07	-1.9	-1.1	0.2	1.4	2.8	3.6	-0.6
08	1.1	2.0	2.9	3.7	4.0	5.7	2.2
09	0.6	0.6	1.6	2.2	3.2	4.5	1.1
13	-2.4	-2.3	-1.0	0.3	0.1	2.4	-1.7
21	-4.6	-4.4	-4.1	-3.2	-2.4	-1.0	-4.2
22	-4.7	-4.6	-2.0	-2.0	-1.3	-0.8	-3.9
23	-4.4	-4.0	-2.1	-1.4	-2.4	-0.1	-3.5
MAX :	1.1	2.0	3.3	4.3	5.2	7.0	
MED :	-1.7	-1.2	0.2	1.1	1.4	3.1	
MIN :	-4.7	-4.6	-4.1	-3.2	-2.4	-1.0	

Tabla A6.22. Claridad (C_{80}). Fuente en eje de la cúpula.

Sonoridad.

En las tablas A6.23 y A6.24 se indican los valores, en decibelios, de la sonoridad de la catedral para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia, considerando la catedral vacía.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	9.9	9.8	8.8	8.1	8.2	7.8	9.4
02	7.1	6.5	5.9	5.1	5.1	4.3	6.2
04	8.2	7.5	7.0	6.4	6.2	5.7	7.3
05	6.3	5.5	4.4	4.0	3.2	2.3	5.1
06	5.1	4.4	3.1	2.4	1.8	0.5	3.9
07	5.2	4.5	3.3	2.9	2.2	0.5	4.1
08	3.8	2.4	2.0	1.6	0.0	-1.5	2.3
09	7.0	6.4	6.1	5.3	5.4	4.6	6.2
13	4.5	3.9	3.4	2.6	2.4	1.2	3.6
21	4.2	2.9	1.9	1.0	0.5	-1.5	2.6
22	3.0	2.3	1.0	0.5	0.1	-2.8	1.8
23	4.5	3.3	2.7	1.1	0.8	-1.5	3.0
MAX :	9.9	9.8	8.8	8.1	8.2	7.8	
MED :	5.7	5.0	4.1	3.4	3.0	1.6	
MIN :	3.0	2.3	1.0	0.5	0.0	-2.8	

Tabla A6.23. Sonoridad (G_{10}). Fuente en altar mayor.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	6.5	6.3	5.1	4.7	4.3	3.4	5.2
02	8.7	7.9	7.8	6.7	6.6	6.3	7.4
Fuente	7.5	7.2	6.9	5.7	5.7	5.2	6.5
05	9.4	9.0	8.8	8.0	8.0	7.8	8.6
06	6.4	6.1	5.7	4.3	3.6	2.6	5.0
07	7.2	6.9	6.5	5.3	4.8	4.0	6.0
08	5.4	4.5	4.4	3.1	2.2	1.3	3.7
09	8.5	8.0	7.9	6.9	7.1	6.3	7.5
13	5.3	4.8	4.7	3.6	3.5	2.9	4.2
14	-1.4	-2.0	-2.5	-4.0	-4.0	-5.9	-3.0
21	5.3	4.8	4.9	2.8	2.1	1.3	3.8
22	3.4	3.0	2.7	0.6	-0.2	-1.7	1.7
23	5.1	4.5	4.1	2.9	2.2	0.7	3.5
MAX :	9.4	9.0	8.8	8.0	8.0	7.8	
MED :	5.9	5.5	5.2	3.9	3.5	2.6	
MIN :	-1.4	-2.0	-2.5	-4.0	-4.0	-5.9	

Tabla A6.24. Sonoridad (G_{10}). Fuente en eje de la cúpula.

Ecogramas.

Se adjuntan, para cada una de las hipótesis consideradas en la propuesta, los ecogramas para la banda de octava de 2000 Hz, que reflejan la relación existente entre el nivel de presión sonora y el retardo en ms de cada reflexión, para los puntos representativos de la propuesta.

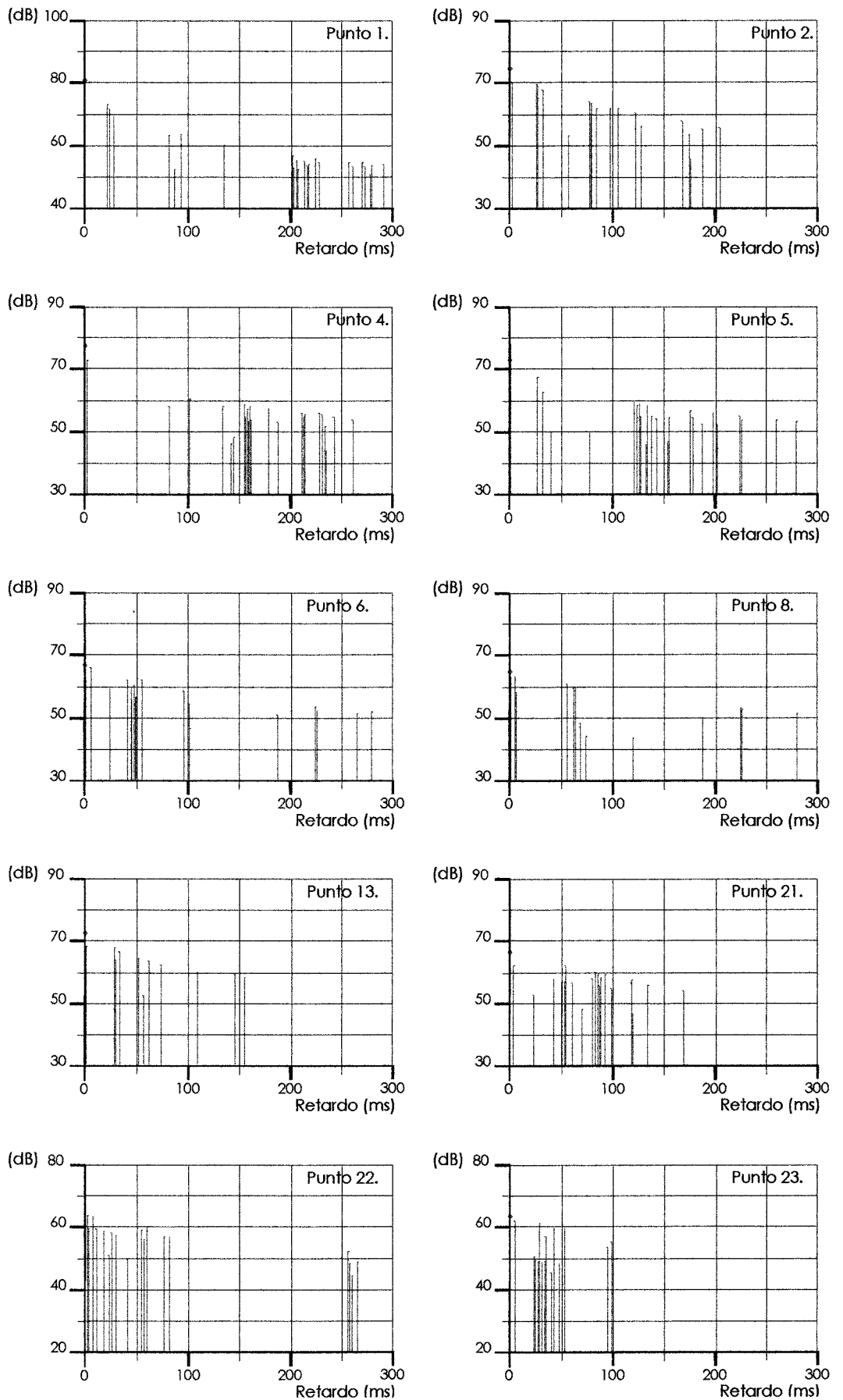


Figura A6.7. Acústica geométrica propuesta. Fuente en altar mayor. 2000 Hz.

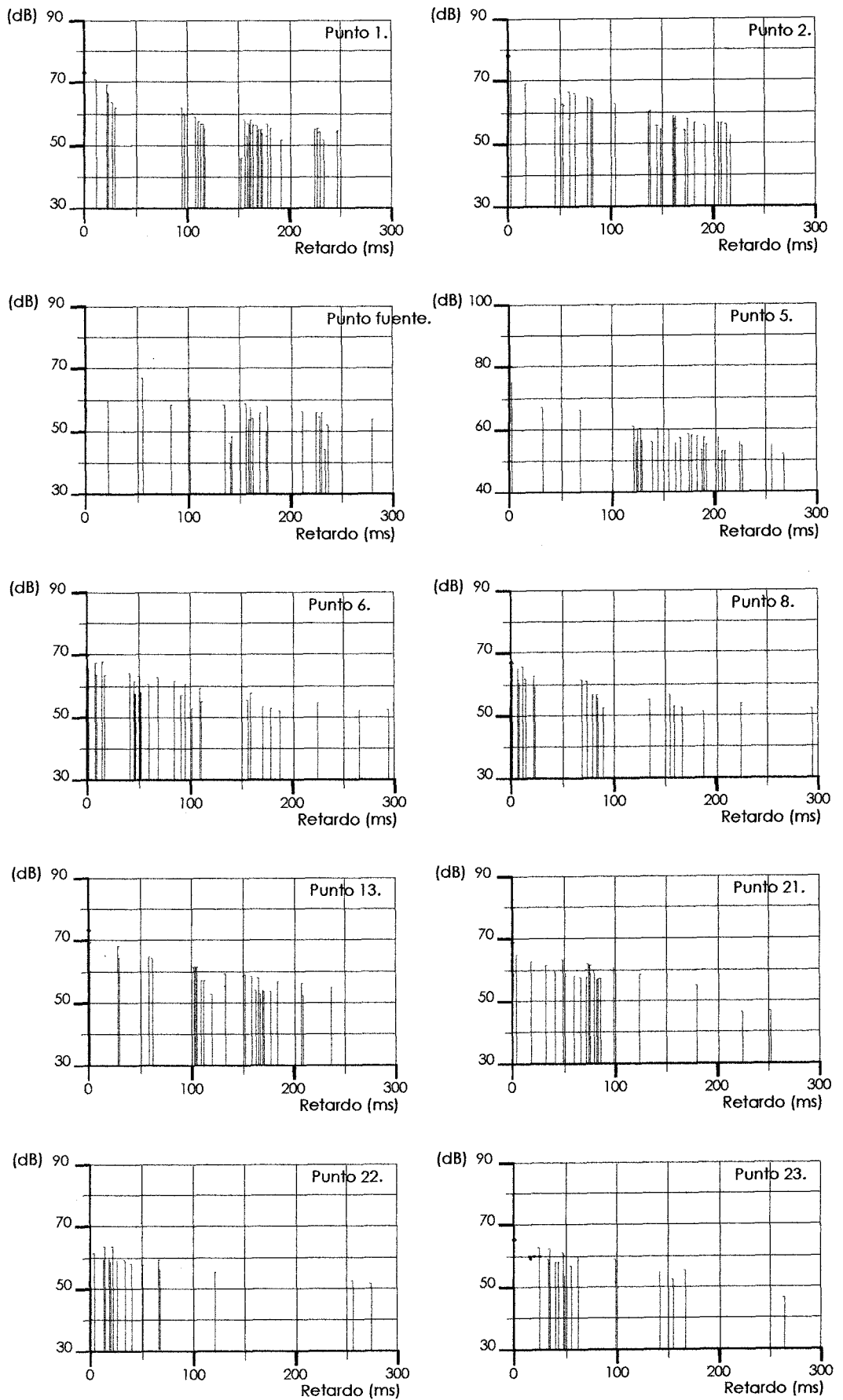


Figura A6.8. Acústica geométrica propuesta. Fuente en eje de la cúpula. 2000 Hz.

▪ **RESUMEN DE REFLEXIONES Y DE PARÁMETROS ACÚSTICOS.**

Mediante el empleo del modelo informático, se cuantifican las principales reflexiones teóricamente, tanto en el modelo adaptado a la medición como en la propuesta. Se cuantifican las reflexiones que llegan al punto en un intervalo inferior a 100 ms. y el total de reflexiones, así como las reflexiones en las superficies más significativas.

	PUNTO	ACTUAL	ACTUAL	PROPUESTA	PROPUESTA
		Fuente altar	Fuente coro	Fuente altar	Fuente cúpula
Reflexiones<100 ms /total reflexiones.	2	10/19	24/25	12/20	17/40
	4	4/45	52/62	4/39	
	5	1/47	46/60	5/40	3/48
	6	22/37	33/55	22/31	39/51
	8	26/36		26/33	34/44
	13	4/6	0/1	8/11	6/29
	21			17/22	18/22
	22			14/18	12/16
	23			19/19	14/19
	Fuente				5/34
Retablo	4	2/2		2/2	
	5				3/3
	6	4/4	0/1	4/4	
	8				2/2
Bóveda altar mayor	4	0/6	0/2	0/4	
	5	0/4	0/3	0/3	0/4
	6	0/2		0/1	0/3
	8	0/4		0/4	
Paredes laterales altar mayor	2	3/5		3/5	6/6
	13	1/1		1/1	2/2
	Fuente				4/4
Cúpula	2	0/3	0/1	0/3	0/7
	4	0/4	0/3	0/4	0/7
	5	0/8	0/3	0/8	0/7
	6	0/4	0/3	0/4	0/3
	13	0/2		0/2	0/3
Pared/bóveda crucero	2	1/3		1/3	0/10
	4	0/2		0/2	
	5	0/8		0/8	
	13	4/4	0/1	2/4	0/14
Bóveda coro	2				0/2
	4	0/5	7/7		0/3
	5	0/6	4/8	0/6	0/4
	6	0/2	0/11	0/2	5/5
	8	3/3		383	7/7
	21			0/4	5/9
	22			2/2	3/7
23			9/9	12/16	
Fondo coro	P2	0/1		0/1	
	P4	0/20		0/20	0/12
	P5	0/18		0/18	0/12
	P6	4/6		4/6	0/5
	P8	4/5		4/5	0/3
	21			4/6	
	22			0/4	

Sillería coro	P2		19/19		
	P4		38/38		
	P5	0/10	29/29	0/10	
	P6	5/5		5/5	32/32
	P8	9/9		9/9	19/19
	13		6/6		
	21				4/4
	22			12/12	4/4
	23			8/8	
Baldaquino	2			2/2	5/5
	5			4/4	
	6			1/1	
	13			4/4	

Tabla A6.25. Resumen de reflexiones.

Se adjunta un resumen comparativo de los principales parámetros acústicos en las diferentes hipótesis consideradas, tanto en el estado actual y previo como en la propuesta, para las dos hipótesis de situación de la fuente sonora.

Tiempo de reverberación.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Tr med
Estado actual							
Medido vacío	4.33	4.07	3.91	3.39	2.66	1.67	3.34
Estimado público sillas	3.68	3.29	2.86	2.50	2.05	1.43	2.64
Propuesta							
Estimado público sillas	3.16	2.76	2.41	2.18	1.85	1.35	2.29
Óptimos							
Música	3.15	2.58	2.24	2.24	2.24	2.24	2.45
Palabra	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28

Tabla A6.26. Resumen de tiempo de reverberación (segundos).

Nivel de presión sonora.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Estado actual						
Medido vacío	83.1	88.2	82.2	79.2	79.1	69.9
Estimado fuente altar mayor	81.9	86.7	80.7	77.8	77.7	69.1
Estimado fuente en coro	81.7	86.2	80.0	76.6	75.9	66.6
Propuesta						
Fuente el altar mayor	80.5	85.1	79.0	75.9	75.5	66.9
Fuente en eje cúpula	82.3	87.0	81.0	78.0	77.8	69.0

Tabla A6.27. Resumen de niveles de presión sonora. Valores medios (dB). Público en sillas.

Intimidad acústica.

	1	2	4	5	6	8	13	21	22	23
Estado actual										
Estimado fuente altar mayor	22	26	82	121	6	5	28			
Estimado fuente en coro	1	14	6	7	1		65			
Estimado multicoloro	1	15	5	5	3	7	28			
Propuesta										
Fuente en altar mayor	22	26	82	27	6	1	28	4	3	4
Fuente en eje cúpula	11	17		32	8	6	28	4	12	23

Tabla A6.28. Resumen valores ITDG (ms).

RASTI.

	1	2	4	5	6	7	8	13	21	22	23	Med
Estado actual												
Medido vacío.	0.43	0.50	0.57	0.50	0.36	0.33	0.37	0.38				0.43
Estimado fuente altar mayor	0.46	0.56	0.61	0.57	0.43	0.39	0.42	0.44				0.49
Estimado fuente en coro	0.42	0.45	0.49	0.49	0.61	0.54		0.34				0.48
Estimado multicoloro	0.49	0.44	0.46	0.50	0.55	0.58	0.53	0.37				0.49
Propuesta												
Fuente en altar mayor	0.52	0.57	0.64	0.63	0.43	0.43	0.51	0.43	0.35	0.40	0.35	0.48
Fuente en eje cúpula	0.51	0.55		0.61	0.48	0.53	0.57	0.47	0.40	0.43	0.41	0.50

Tabla A6.29. Resumen RASTI. Público en sillas.

Definición. Valores globales (%). Valor óptimo $D > 50\%$

	1	2	4	5	6	7	13	21	22	23	Med
Estado actual											
Estimado fuente altar	46.2	52.1	45.5	24.7	39.7	17.1	44.2				38.5
Estimado fuente en coro	24.1	25.5	44.0	42.5	63.1	47.7	3.3				35.7
Estimado multicoloro	36.6	31.5	33.1	39.8	50.0	56.2	25.3				38.9
Propuesta											
Fuente en altar mayor	56.4	52.7	52.2	33.1	36.5	23.8	43.0	12.8	19.2	18.5	34.8
Fuente en eje cúpula	35.3	48.4		59.1	38.2	43.1	35.5	19.8	22.7	19.3	26.4

Tabla A6.30. Resumen valores de definición. Público en sillas.

Claridad musical. Iglesia ocupada. Valores óptimos $-2 \leq C_{80} \leq +2$ dB

	1	2	4	5	6	7	13	21	22	23	Med
Estado actual											
Estimado fuente altar	-0.1	1.4	-0.8	-4.8	-1.5	-5.9	-0.4				-1.7
Estimado fuente en coro	-3.6	-2.9	-0.3	0	3.9	1.0	-11.2				-1.8
Estimado multicoloro	-1.4	-2.1	-2.5	-0.4	1.9	2.5	-3.4				-0.7
Propuesta											
Fuente en altar mayor	1.9	1.2	1.1	-2.7	-1.3	-4.0	-0.3	-5.6	-3.1	-4.8	-1.7
Fuente en eje cúpula	-1.4	1.2		2.2	-0.5	-0.6	-1.7	-4.2	-3.9	-3.5	-1.3

Tabla A6.31. Resumen valores de claridad musical. Público en sillas.

Otros parámetros.

	Volumen (m³)	Ocupación	m³/ plaza	Volumen/área audiencia.
Estado actual	22114	1174	18.83	32.95
Propuesta				
Fuente altar mayor	21217	1479	14.38	23.45
Fuente eje cúpula	21217	1527	13.92	23.45
Rango óptimo			5.1-9.1	9.2-12.0

Tabla A6.32. Resumen otros parámetros.

▪ ANALISIS ACÚSTICO DEL ESTADO ACTUAL Y PREVIO. SIMULACIÓN INFORMÁTICA.

Se incorporan en este anexo el modelo geométrico utilizado en el estudio teórico mediante simulación informática del estado actual y previo, así como los resultados obtenidos para los diferentes puntos y frecuencias de diferentes parámetros energéticos (obtenidos con el programa CATT-acoustic) relacionados con la calidad sonora de la sala, como son el nivel de presión sonora, definición, claridad musical y sonoridad, así como el estudio teórico de las reflexiones mediante los ecogramas, para la banda de octava de 2000 Hz. Estos parámetros se analizan para las dos configuraciones espaciales que se han considerado en el estado inicial, la anterior al año 1936 y la resultante del proyecto de restauración del año 1999.

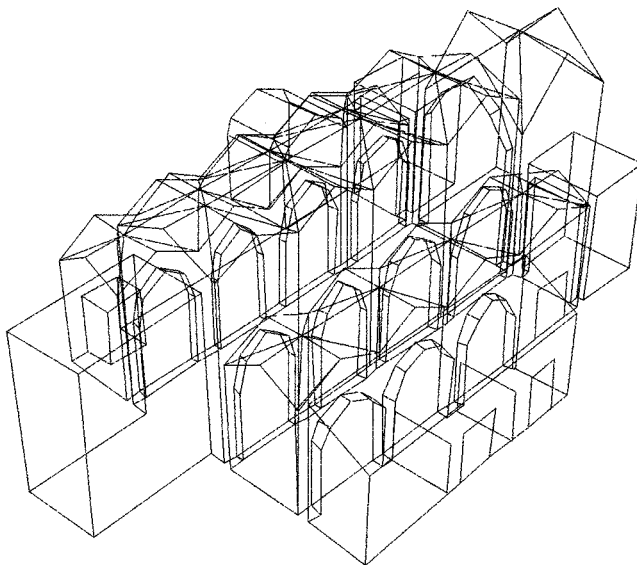


Fig. A7.1. Modelo geométrico para la simulación. Año 1936.

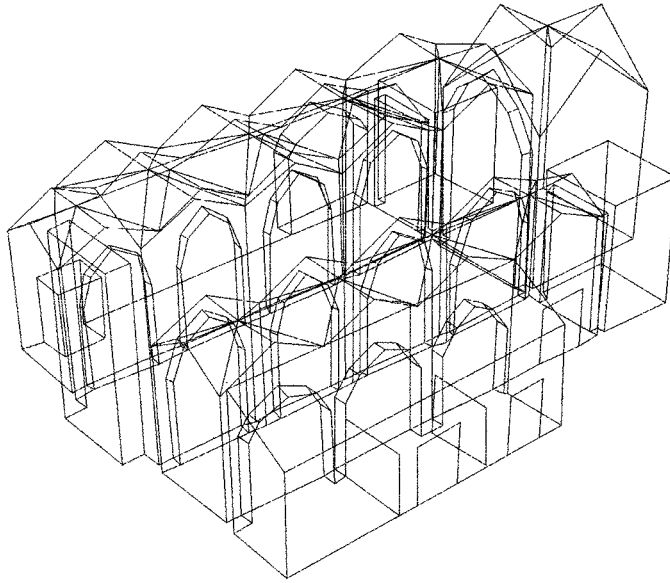


Fig. A7.2. Modelo geométrico para la simulación. Año 1999.

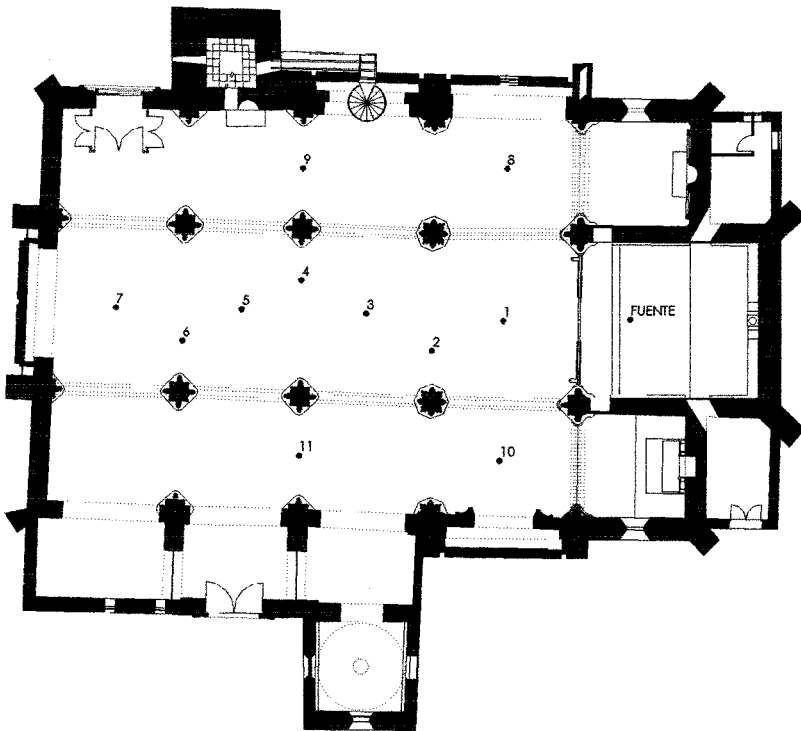


Fig. A7.3. Situación de los puntos para la simulación sobre la planta del año 1999.

Nivel de presión sonora.

En las tablas A7.1 y A7.2 se indican los niveles de presión sonora, en dB, para cada punto y frecuencia, así como el valor global en cada punto tanto lineal como ponderado y los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. El nivel de emisión de la fuente es de 106 dB y se ha considerado ocupada la nave central con público en bancos.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado	
01	80.3	86.1	81.4	77.4	77.4	72.4	88.9	84.4	(A)
02	78.4	84.3	79.2	75.4	75.5	70.3	87.0	82.4	(A)
03	77.9	83.9	79.4	75.1	75.0	69.7	86.7	82.1	(A)
04	78.3	84.3	79.2	75.3	75.0	69.2	86.9	82.1	(A)
05	77.6	83.6	78.7	74.5	74.4	68.7	86.3	81.5	(A)
06	77.1	83.3	78.0	74.0	73.8	68.1	85.8	81.0	(A)
07	76.9	82.7	78.0	73.9	73.6	67.9	85.5	80.8	(A)
08	78.2	84.3	79.4	75.5	75.6	70.1	87.0	82.5	(A)
09	77.3	83.5	78.8	74.2	74.7	68.9	86.2	81.6	(A)
10	79.3	85.4	80.6	76.2	76.5	71.3	88.1	83.5	(A)
11	76.5	82.8	77.8	74.0	74.1	67.8	85.5	80.9	(A)
MAX :	80.3	86.1	81.4	77.4	77.4	72.4			
MED :	78.0	84.0	79.2	75.0	75.0	69.5			
MIN :	76.5	82.7	77.8	73.9	73.6	67.8			

Tabla A7.1. Nivel de presión sonora. Configuración año 1936.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado	
01	79.7	86.1	81.4	77.6	77.7	72.7	88.9	84.5	(A)
02	77.3	83.8	79.2	75.7	75.5	70.2	86.6	82.3	(A)
03	76.6	83.4	78.9	75.1	75.0	69.5	86.2	81.8	(A)
04	76.5	83.3	78.4	74.8	75.1	69.3	86.0	81.7	(A)
05	75.8	82.2	78.1	74.0	74.3	68.4	85.2	80.9	(A)
06	74.7	81.7	77.3	73.5	73.8	68.1	84.5	80.4	(A)
07	74.9	81.7	77.3	73.8	73.7	68.0	84.6	80.4	(A)
08	77.9	83.9	79.7	75.8	75.7	70.1	86.9	82.6	(A)
09	74.9	81.9	77.9	73.9	74.1	68.6	84.9	80.7	(A)
10	78.3	84.7	80.2	76.5	76.4	71.0	87.6	83.2	(A)
11	74.7	81.6	77.0	73.5	73.8	68.1	84.4	80.3	(A)
MAX :	79.7	86.1	81.4	77.6	77.7	72.7			
MED :	76.5	83.1	78.7	74.9	75.0	69.5			
MIN :	74.7	81.6	77.0	73.5	73.7	68.0			

Tabla A7.2. Nivel de presión sonora. Configuración año 1999.

Definición.

En las tablas A7.3 y A7.4 se indican los valores, en porcentaje, de definición para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada la nave central con público en bancos.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	33.1	33.5	32.3	35.8	35.1	40.9	33.7
02	22.8	24.1	24.9	27.0	24.5	32.5	24.5
03	17.9	15.9	14.9	16.8	17.3	20.4	16.2
04	15.6	17.3	17.6	16.0	16.7	20.8	17.0
05	15.5	16.7	15.6	16.8	14.4	20.1	16.3
06	13.4	13.9	12.4	13.2	13.6	16.4	13.6
07	12.3	14.3	15.0	14.1	13.9	16.9	14.1
08	15.7	17.6	16.1	14.9	16.3	16.7	16.8
09	16.2	17.6	20.8	17.1	18.0	22.8	18.1
10	32.7	30.4	32.3	33.5	32.2	38.5	31.5
11	13.0	15.6	12.6	11.8	15.5	18.3	14.5
MAX :	33.1	33.5	32.3	35.8	35.1	40.9	
MED :	18.9	19.7	19.5	19.7	19.8	24.0	
MIN :	12.3	13.9	12.4	11.8	13.6	16.4	

Tabla A7.3. Definición. Configuración año 1936.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	37.4	36.6	33.2	37.0	34.9	40.5	36.1
02	30.9	27.9	25.2	27.4	23.9	30.9	27.5
03	25.2	20.2	19.6	20.6	18.5	20.4	20.5
04	21.8	17.5	18.2	18.6	16.2	20.6	18.2
05	24.3	22.2	16.8	16.5	16.3	21.3	20.5
06	17.7	14.6	15.3	14.6	12.9	16.1	15.0
07	21.9	19.6	17.5	17.8	16.7	19.3	19.0
08	21.4	16.6	18.1	16.0	12.9	22.0	17.3
09	13.6	15.9	15.4	15.6	16.1	19.0	15.6
10	35.5	33.6	33.9	31.8	31.4	42.0	33.8
11	8.1	10.0	12.0	10.5	12.2	16.1	10.5
MAX :	37.4	36.6	33.9	37.0	34.9	42.0	
MED :	23.4	21.3	20.5	20.6	19.3	24.4	
MIN :	8.1	10.0	12.0	10.5	12.2	16.1	

Tabla A7.4. Definición. Configuración año 1999.

Claridad musical.

En las tablas siguientes se indican los valores, en decibelos, de claridad musical (C_{80}) para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada la nave central con público en bancos.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	-1.7	-1.6	-1.3	-1.0	-1.2	-0.1	-1.5
02	-3.6	-3.3	-3.1	-2.9	-2.9	-1.5	-3.2
03	-3.5	-3.8	-3.3	-3.3	-3.0	-1.5	-3.5
04	-5.0	-4.3	-4.9	-4.5	-4.4	-3.2	-4.5
05	-4.9	-3.9	-4.3	-3.9	-3.9	-2.2	-4.1
06	-5.6	-4.8	-5.5	-4.8	-5.1	-3.3	-5.0
07	-4.5	-4.4	-4.8	-4.2	-4.5	-3.1	-4.5
08	-5.3	-4.5	-5.1	-5.3	-4.7	-4.7	-4.8
09	-4.1	-4.5	-3.7	-4.3	-3.9	-2.5	-4.2
10	-2.0	-2.1	-1.8	-2.0	-2.1	-0.5	-2.0
11	-5.3	-5.5	-5.6	-5.8	-5.5	-3.8	-5.5
MAX :	-1.7	-1.6	-1.3	-1.0	-1.2	-0.1	
MED :	-4.1	-3.9	-3.9	-3.8	-3.7	-2.4	
MIN :	-5.6	-5.5	-5.6	-5.8	-5.5	-4.7	

Tabla A7.5. Claridad (C_{80}). Configuración año 1936.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	-0.2	-0.9	-1.4	-0.9	-1.4	0.1	-0.9
02	-2.1	-2.1	-2.8	-2.1	-3.4	-1.8	-2.3
03	-2.4	-3.1	-2.8	-2.9	-3.1	-2.1	-2.9
04	-3.4	-3.9	-4.0	-4.3	-4.4	-2.9	-3.9
05	-2.2	-2.7	-3.6	-3.7	-3.9	-2.3	-3.0
06	-3.7	-3.8	-4.2	-4.7	-4.7	-3.8	-4.0
07	-2.4	-2.8	-3.6	-3.5	-3.9	-2.8	-3.0
08	-3.7	-4.8	-4.3	-5.1	-5.2	-3.3	-4.6
09	-4.5	-4.2	-4.6	-4.8	-3.7	-3.7	-4.3
10	-1.1	-1.4	-1.5	-2.0	-1.9	0.0	-1.5
11	-5.8	-5.0	-5.6	-6.2	-4.8	-3.7	-5.2
MAX :	-0.2	-0.9	-1.4	-0.9	-1.4	0.1	
MED :	-2.9	-3.2	-3.5	-3.6	-3.7	-2.4	
MIN :	-5.8	-5.0	-5.6	-6.2	-5.2	-3.8	

Tabla A7.6. Claridad (C_{80}). Configuración año 1999.

Sonoridad.

En las tablas A7.7 y A7.8 se indican los valores, en decibelos, de la sonoridad de la iglesia para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia, considerando la iglesia vacía.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	11.7	11.2	10.9	10.5	10.4	9.5	11.1
02	9.4	9.1	8.5	8.0	8.2	7.0	8.9
03	9.1	9.2	7.9	7.7	8.0	6.6	8.7
04	9.3	8.9	8.2	7.6	7.7	6.3	8.6
05	8.8	8.4	7.4	6.9	7.1	5.7	8.1
06	8.1	8.1	7.1	6.5	6.3	5.2	7.6
07	7.8	7.5	6.9	6.3	6.4	4.9	7.2
08	9.5	9.3	8.9	8.5	8.7	7.3	9.1
09	8.3	8.3	8.1	7.5	7.6	6.5	8.1
10	10.3	10.2	9.6	9.4	9.6	8.3	10.0
11	7.9	7.5	6.9	6.9	7.2	5.5	7.3
MAX :	11.7	11.2	10.9	10.5	10.4	9.5	
MED :	9.1	8.9	8.2	7.8	7.9	6.6	
MIN :	7.8	7.5	6.9	6.3	6.3	4.9	

Tabla A7.7. Sonoridad (G_{10}). Configuración año 1936.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	10.9	10.9	10.7	10.3	10.5	9.5	10.7
02	8.7	8.7	8.3	8.2	8.3	7.1	8.5
03	7.9	8.2	7.8	7.9	7.7	6.5	8.0
04	7.7	8.0	7.6	7.7	8.0	6.4	7.8
05	6.8	7.4	7.2	6.8	7.3	5.4	7.2
06	5.8	6.3	6.3	6.4	6.6	4.9	6.2
07	6.2	6.7	6.5	6.2	6.6	5.0	6.5
08	8.8	9.2	8.8	8.8	9.4	7.3	9.0
09	6.0	6.5	7.0	6.9	7.4	5.8	6.6
10	9.6	9.8	9.6	9.6	9.7	8.6	9.7
11	5.5	6.2	6.7	6.7	7.3	5.6	6.4
MAX :	10.9	10.9	10.7	10.3	10.5	9.5	
MED :	7.6	8.0	7.9	7.8	8.1	6.6	
MIN :	5.5	6.2	6.3	6.2	6.6	4.9	

Tabla A7.8. Sonoridad (G_{10}). Configuración año 1999.

Ecogramas.

Se adjuntan los ecogramas para la banda de octava de 2000 Hz, que relacionan el nivel de presión sonora y el retardo en ms de cada reflexión, para los diferentes puntos establecidos.

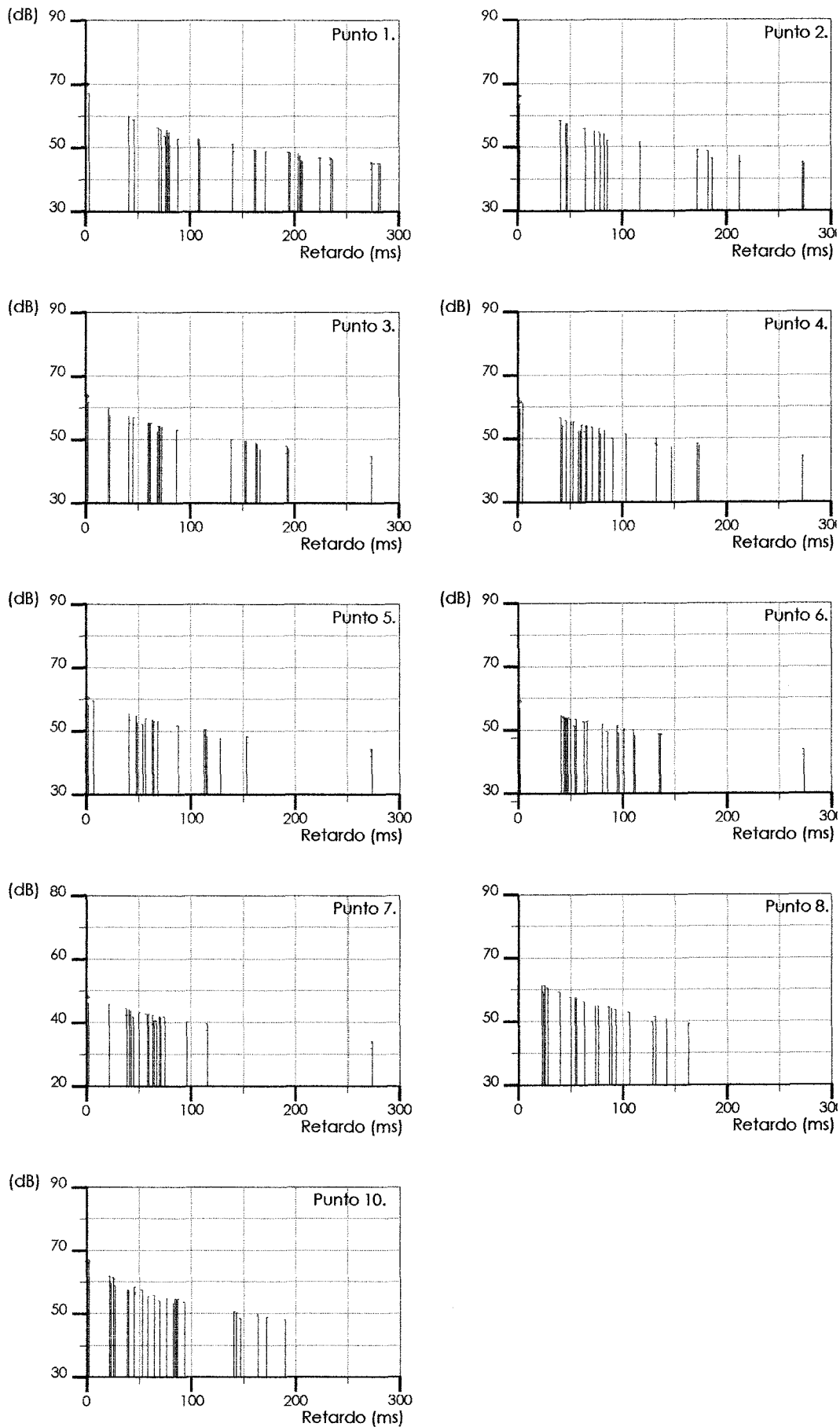


Fig. A7.4. Acústica geométrica configuración año 1936. 2000 Hz

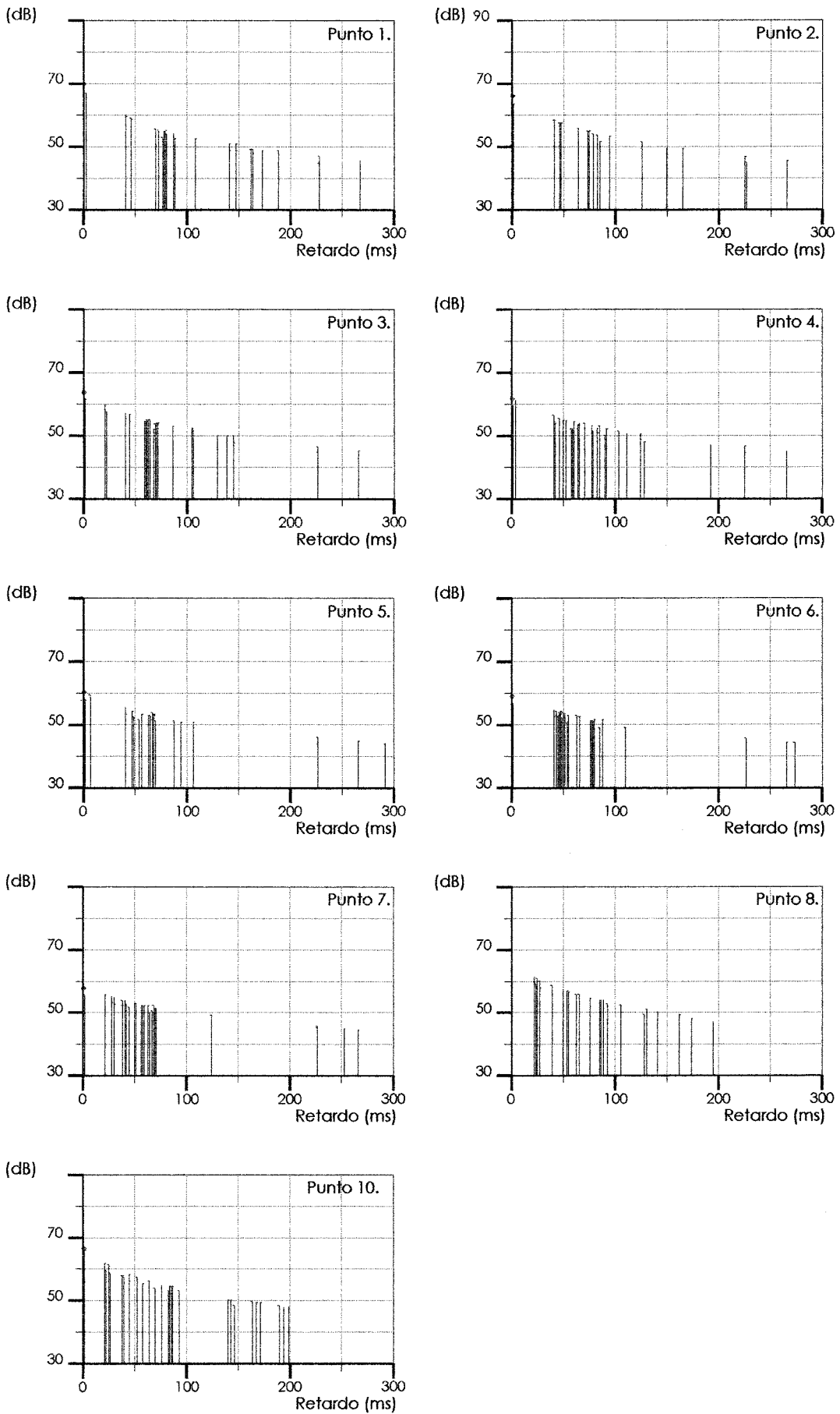


Figura A7.5. Acústica geométrica configuración año 1999. 2000 Hz

▪ PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.

Se adjunta el modelo geométrico utilizado en la simulación informática para la propuesta de intervención, así como los resultados obtenidos del estudio teórico de los mismos parámetros analizados anteriormente en el estado previo, para las tres situaciones de la fuente consideradas en la propuesta: en el presbiterio, en el primer vano de la nave central y en el último vano de la nave central. La situación de los diferentes puntos se mantiene (figura A7.3). En la hipótesis de fuente situada en el primer vano de la nave central, el punto 1 responde a la situación de la fuente. Del mismo modo cuando la fuente se sitúa en el último vano de la nave central, el punto 7 responde a la situación de la fuente.

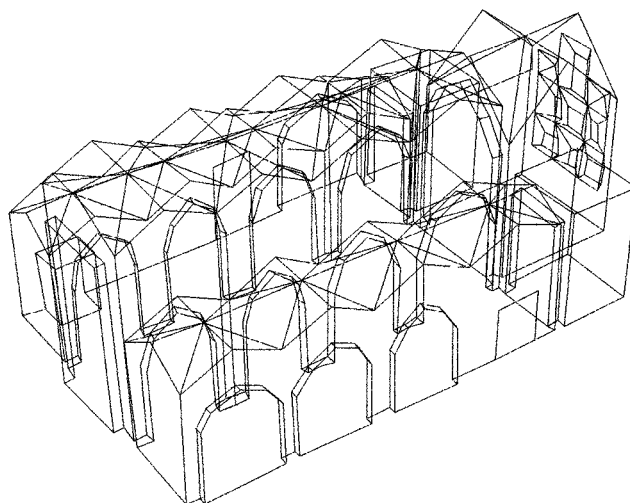


Fig. A7.6. Modelo geométrico para la simulación. Propuesta.

Nivel de presión sonora.

En las siguientes tablas se indican los niveles de presión sonora, en dB, para cada punto y frecuencia, así como el valor global en cada punto, tanto lineal como ponderado y los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. El nivel de emisión de la fuente es de 106 dB y se ha considerado ocupada la nave central con público en sillas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado	
02	76.6	82.2	77.6	73.3	74.0	69.5	85.1	80.7	(A)
03	75.6	81.4	76.8	72.6	73.6	68.5	84.3	80.0	(A)
04	75.9	81.5	76.8	72.5	73.3	68.4	84.4	79.9	(A)
05	75.3	81.3	76.2	72.0	72.8	67.5	84.0	79.4	(A)
06	74.3	80.5	75.8	71.4	72.5	67.3	83.3	78.9	(A)
07	74.3	80.1	74.4	70.1	71.4	66.5	82.7	77.9	(A)
08	76.2	81.9	76.3	72.1	72.7	68.2	84.5	79.6	(A)
09	73.6	79.3	75.0	69.7	71.7	65.9	82.2	77.8	(A)
10	77.6	83.2	78.3	74.3	74.7	70.0	86.0	81.5	(A)
11	73.6	79.9	75.5	71.4	72.1	67.1	82.8	78.6	(A)
MAX :	77.6	83.2	78.3	74.3	74.7	70.0			
MED:	75.3	81.1	76.3	72.0	72.9	67.9			
MIN :	73.6	79.3	74.4	69.7	71.4	65.9			

Tabla A7.9. Nivel presión sonora. Propuesta fuente en presbiterio.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
02	80.6	86.7	81.9	78.1	78.4	73.9	89.5	85.2 (A)
03	79.0	85.1	80.0	76.0	76.6	71.6	87.8	83.3 (A)
04	76.2	82.5	77.5	73.6	74.2	69.2	85.2	80.8 (A)
05	75.8	82.0	77.1	72.7	73.9	68.6	84.7	80.3 (A)
06	75.2	81.3	76.2	72.6	73.3	68.0	84.1	79.7 (A)
07	75.5	81.8	76.5	72.5	73.5	68.2	84.4	79.9 (A)
08	78.3	84.4	78.8	74.7	75.7	71.3	87.0	82.3 (A)
09	75.2	81.7	76.5	72.8	73.8	68.8	84.4	80.1 (A)
10	78.4	84.6	79.3	75.0	76.1	71.3	87.2	82.7 (A)
11	75.2	81.3	76.6	72.6	73.5	68.6	84.2	79.9 (A)
MAX :	80.6	86.7	81.9	78.1	78.4	73.9		
MED :	76.9	83.1	78.0	74.1	74.9	70.0		
MIN :	75.2	81.3	76.2	72.5	73.3	68.0		

Tabla A7.10. Nivel presión sonora. Propuesta fuente en primer vano nave central.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
01	75.5	81.3	76.6	72.6	73.2	68.2	84.2	79.8 (A)
02	74.8	81.0	75.4	71.7	73.0	67.8	83.6	79.2 (A)
03	76.2	82.1	76.9	72.6	74.0	69.1	84.9	80.4 (A)
04	77.4	83.3	78.5	73.8	75.3	70.2	86.1	81.7 (A)
05	79.2	85.3	80.2	76.2	76.6	72.1	88.0	83.4 (A)
06	80.8	86.8	82.0	77.9	78.5	74.3	89.6	85.2 (A)
08	73.5	79.4	73.1	68.9	70.7	65.7	81.9	77.0 (A)
09	75.7	82.1	76.9	72.8	73.7	69.0	84.7	80.3 (A)
10	74.0	80.3	75.5	71.4	72.2	67.4	83.1	78.7 (A)
11	75.9	82.0	76.9	72.9	73.9	69.2	84.7	80.4 (A)
MAX :	80.8	86.8	82.0	77.9	78.5	74.3		
MED :	76.3	82.4	77.2	73.1	74.1	69.3		

Tabla A7.11. Nivel presión sonora. Propuesta fuente en último vano nave central.

Definición.

Se muestran los valores, en porcentaje, de definición para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada la nave central con público en sillas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
02	32.2	33.1	37.0	36.5	32.5	34.8	33.9
03	33.0	30.0	28.7	30.8	26.1	27.7	29.8
04	28.7	25.7	25.2	28.5	23.2	23.2	25.9
05	26.0	25.5	26.8	26.1	21.5	24.9	25.5
06	22.8	22.2	24.7	25.4	24.9	24.5	23.2
07	29.5	30.9	27.5	26.1	27.6	30.6	29.6
08	27.2	31.9	30.2	26.9	24.7	31.0	30.2
09	15.9	15.6	14.5	13.5	15.1	18.2	15.4
10	41.6	41.9	42.5	45.4	40.6	47.5	42.2
11	17.1	20.7	22.6	23.4	21.3	22.7	20.9
MAX :	41.6	41.9	42.5	45.4	40.6	47.5	
MED :	27.4	27.8	28.0	28.3	25.7	28.5	

Tabla A7.12. Definición. Propuesta fuente en presbiterio.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
02	67.6	65.4	68.5	70.0	64.2	67.6	66.5
03	60.9	59.4	58.1	58.3	54.0	58.2	58.9
04	28.9	29.5	27.3	27.7	23.5	26.8	28.4
05	28.5	26.9	24.7	26.8	23.2	22.3	26.3
06	28.9	28.2	25.1	21.0	19.9	24.5	26.5
07	34.7	33.2	35.2	34.3	29.3	29.9	33.4
08	63.2	64.3	72.3	71.0	64.9	74.0	66.1
09	36.2	34.5	36.2	32.0	28.6	33.9	34.3
10	60.2	63.0	62.1	63.5	59.3	62.7	62.2
11	34.5	32.7	30.4	29.3	27.9	30.7	31.8
MAX :	67.6	65.4	72.3	71.0	64.9	74.0	
MED :	44.4	43.7	44.0	43.4	39.5	43.1	
MIN :	28.5	26.9	24.7	21.0	19.9	22.3	

Tabla A7.13. Definición. Propuesta fuente en primer vano nave central.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	37.4	36.8	32.1	34.0	28.8	33.8	35.2
02	33.5	24.7	28.2	22.4	17.2	25.1	25.6
03	36.3	32.0	29.7	30.4	27.4	26.2	31.6
04	58.9	53.2	52.6	47.8	45.8	47.1	52.8
05	71.4	68.6	69.3	67.2	64.6	67.3	68.7
06	78.2	76.5	77.0	75.1	71.0	74.8	76.2
08	24.7	20.4	20.2	17.2	18.3	19.3	20.7
09	42.4	38.7	38.5	37.7	37.5	38.8	39.0
10	35.6	38.4	38.4	38.1	28.3	30.8	37.0
11	42.9	39.3	39.2	40.5	33.9	37.3	39.3
MAX :	78.2	76.5	77.0	75.1	71.0	74.8	
MED :	46.1	42.9	42.5	41.0	37.3	40.0	
MIN :	24.7	20.4	20.2	17.2	17.2	19.3	

Tabla A7.14. Definición. Propuesta fuente en último vano nave central.

Claridad musical.

En las tablas siguientes se indican los valores, en decibelios, de claridad musical (C_{80}) para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada la nave central con público en bancos en las tres hipótesis de situación de la fuente sonora.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
02	-0.5	-0.9	-0.3	0.2	-0.3	0.7	-0.6
03	-1.0	-0.8	-1.3	-0.6	-1.3	-0.4	-0.9
04	-1.4	-1.9	-1.9	-1.3	-2.2	-1.4	-1.8
05	-1.3	-0.8	-1.3	-0.9	-1.9	-1.1	-1.1
06	-1.9	-1.9	-1.8	-1.4	-2.1	-1.2	-1.8
07	-0.9	-0.6	-1.3	-1.3	-1.8	-0.4	-0.9
08	-1.6	-1.1	-1.4	-1.7	-2.7	-0.8	-1.3
09	-4.0	-4.4	-3.8	-3.5	-3.8	-3.2	-4.1
10	0.2	0.2	0.1	1.1	-0.0	1.2	0.2
11	-3.7	-2.6	-2.4	-2.0	-2.5	-2.5	-2.6
MAX :	0.2	0.2	0.1	1.1	-0.0	1.2	
MED :	-1.6	-1.5	-1.5	-1.2	-1.9	-0.9	
MIN :	-4.0	-4.4	-3.8	-3.5	-3.8	-3.2	

Tabla A7.15. Claridad (C_{80}). Propuesta fuente en presbiterio.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
02	3.8	3.6	4.2	4.8	3.1	4.2	3.8
03	2.7	2.5	2.5	2.6	2.1	2.6	2.5
04	-1.2	-1.3	-1.1	-0.8	-1.6	-0.7	-1.2
05	-0.5	-0.1	-0.3	-0.2	-0.8	-1.2	-0.2
06	-1.2	-0.7	-0.7	-0.9	-1.6	-0.7	-0.9
07	0.9	0.4	1.5	1.2	0.0	1.4	0.7
08	3.9	4.0	5.1	4.9	4.1	6.1	4.2
09	-0.2	-0.3	0.4	-0.2	-0.7	0.1	-0.2
10	3.4	3.5	3.5	3.6	3.0	3.9	3.4
11	-0.4	-1.0	-1.3	-1.0	-1.3	-0.9	-1.0
MAX :	3.9	4.0	5.1	4.9	4.1	6.1	
MED :	1.1	1.1	1.4	1.4	0.6	1.5	
MIN :	-1.2	-1.3	-1.3	-1.0	-1.6	-1.2	

Tabla A7.16. Claridad (C_{80}). Propuesta fuente en primer vano nave central.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	1.8	1.0	0.9	1.7	0.4	1.4	1.1
02	-0.3	-1.5	-1.1	-1.4	-2.1	-0.9	-1.3
03	0.5	0.1	0.4	0.4	-0.3	0.1	0.2
04	3.0	2.5	2.8	1.6	1.5	1.9	2.5
05	4.8	4.4	4.7	4.0	3.3	4.0	4.4
06	6.5	6.1	6.6	6.2	5.2	6.0	6.2
08	-2.1	-1.5	-2.0	-2.2	-3.3	-1.9	-1.8
09	1.2	0.7	1.2	0.9	0.2	1.0	0.8
10	0.2	0.9	0.5	0.9	-1.5	-0.3	0.5
11	1.4	0.8	1.0	1.5	0.1	1.2	0.9
MAX :	6.5	6.1	6.6	6.2	5.2	6.0	
MED :	1.7	1.3	1.5	1.4	0.3	1.3	
MIN :	-2.1	-1.5	-2.0	-2.2	-3.3	-1.9	

Tabla A7.17. Claridad (C_{80}). Propuesta fuente en último vano nave central.

Sonoridad.

Se indican los valores, en decibelos, de la sonoridad de la iglesia para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia, considerando la iglesia vacía.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
02	8.5	8.3	8.7	8.6	9.4	8.0	8.5
03	7.6	7.8	7.7	7.6	8.5	7.6	7.8
04	7.5	7.7	7.7	8.2	8.3	7.2	7.7
05	6.9	7.4	7.1	7.4	8.2	7.0	7.4
06	6.2	6.6	6.9	7.3	7.7	6.7	6.8
07	6.2	6.3	5.8	6.0	6.7	5.8	6.2
08	8.1	7.7	6.9	7.0	7.8	7.1	7.6
09	5.6	5.7	5.8	6.2	6.9	5.6	5.9
10	9.0	9.0	9.2	9.2	9.5	8.4	9.1
11	5.8	6.2	6.8	7.1	7.4	6.7	6.5
MAX :	9.0	9.0	9.2	9.2	9.5	8.4	
MED :	7.1	7.3	7.3	7.5	8.0	7.0	
MIN :	5.6	5.7	5.8	6.0	6.7	5.6	

Tabla A7.18. Sonoridad (G_{10}). Propuesta fuente en presbiterio.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
02	12.0	11.8	11.8	11.4	12.1	11.7	11.8
03	10.3	10.5	10.2	10.1	10.5	10.1	10.4
04	7.7	7.8	8.4	8.1	8.6	7.3	8.0
05	7.3	7.7	7.6	7.3	7.7	7.1	7.6
06	6.7	6.7	6.6	6.7	7.6	6.5	6.8
07	7.6	7.2	7.3	6.9	7.9	6.7	7.3
08	9.7	9.4	8.8	8.5	9.6	9.1	9.3
09	6.7	6.7	6.8	6.5	7.2	6.4	6.7
10	9.9	9.5	9.6	9.3	9.8	9.5	9.6
11	6.5	6.7	7.0	6.5	7.2	6.1	6.8
MAX :	12.0	11.8	11.8	11.4	12.1	11.7	
MED :	8.4	8.4	8.4	8.1	8.8	8.1	
MIN :	6.5	6.7	6.6	6.5	7.2	6.1	

Tabla A7.19. Sonoridad (G_{10}). Propuesta fuente en primer vano nave central.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	7.3	7.5	7.2	7.3	8.1	6.9	7.4
02	6.7	6.9	6.6	6.5	7.6	6.8	6.9
03	7.8	8.2	7.7	7.5	8.5	7.8	8.0
04	8.9	9.4	8.5	9.1	9.5	8.7	9.1
05	11.0	11.1	10.6	10.5	11.2	10.4	11.0
06	12.4	12.5	12.4	12.1	12.8	12.3	12.5
08	5.0	5.0	3.4	3.4	5.5	4.1	4.7
09	7.1	7.5	7.0	7.1	8.0	7.4	7.4
10	6.0	6.0	5.7	5.4	6.6	5.6	6.0
11	7.3	7.7	7.2	7.4	8.4	7.0	7.6
MAX :	12.4	12.5	12.4	12.1	12.8	12.3	
MED :	7.9	8.2	7.6	7.6	8.6	7.7	

Tabla A7.20. Sonoridad (G_{10}). Propuesta fuente en último vano nave central.

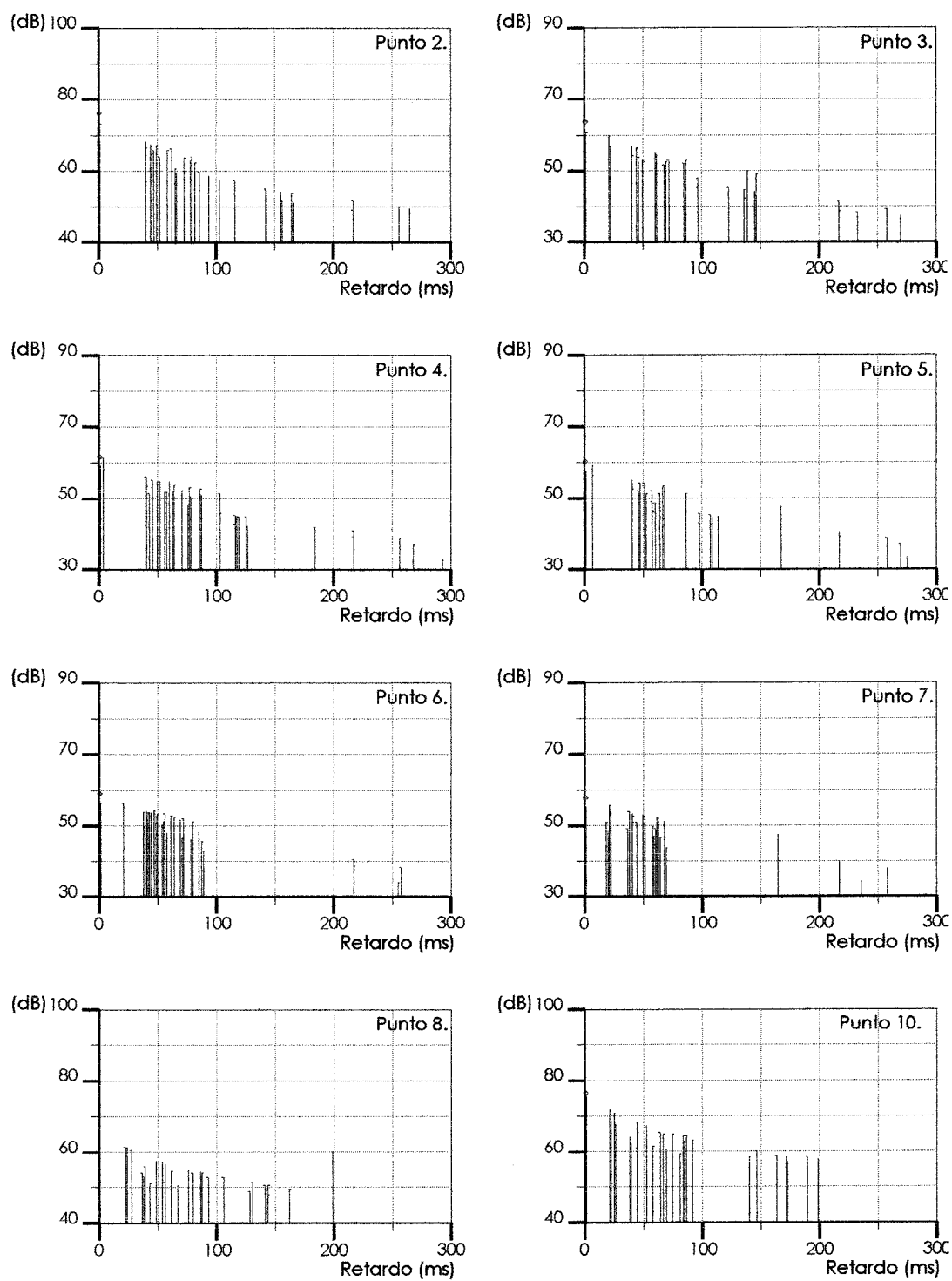
Ecogramas.

Figura A7.7. Acústica geométrica propuesta, fuente en presbiterio. 2000 Hz

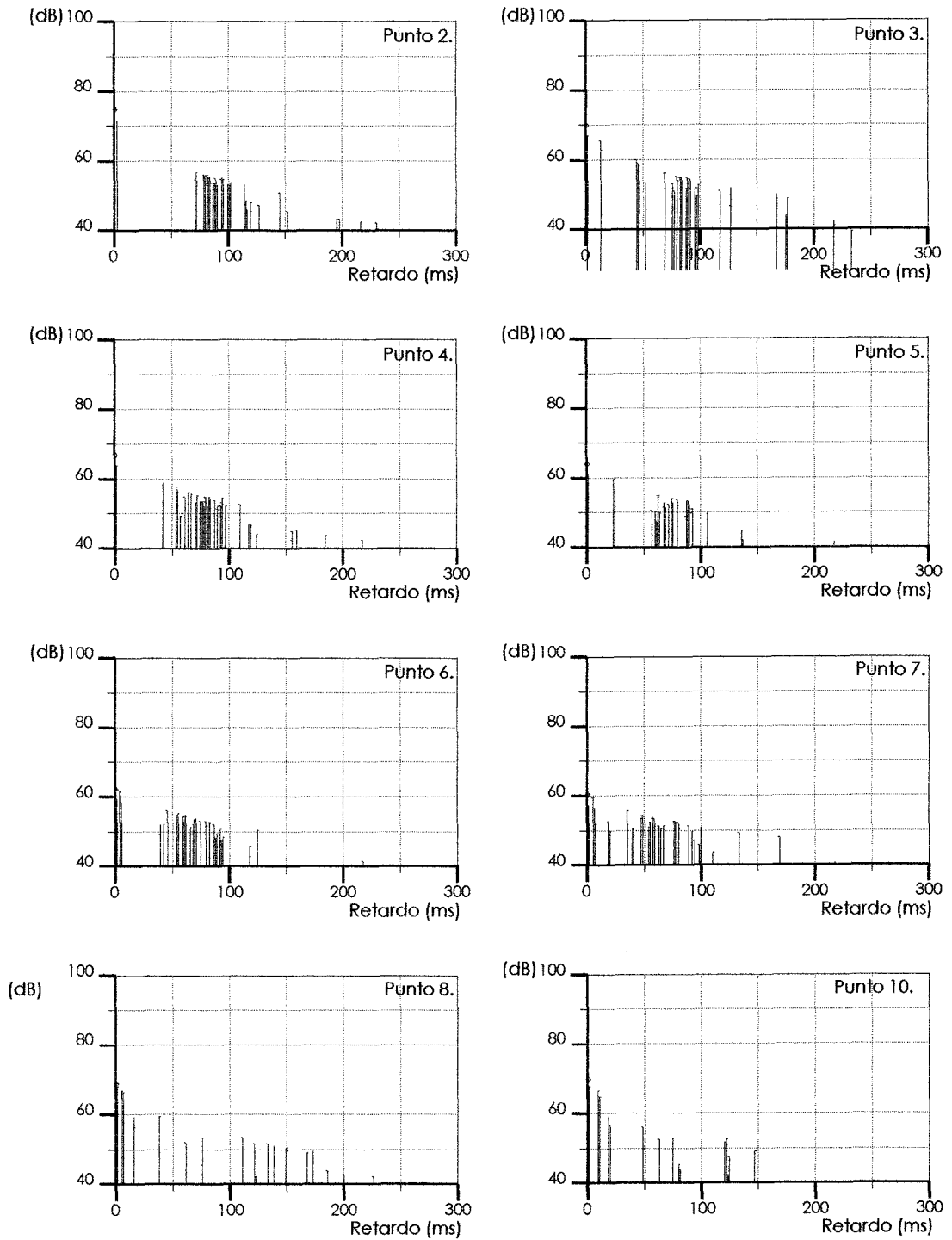


Figura A7.8. Acústica geométrica propuesta, fuente primer vano de nave central. 2000 Hz

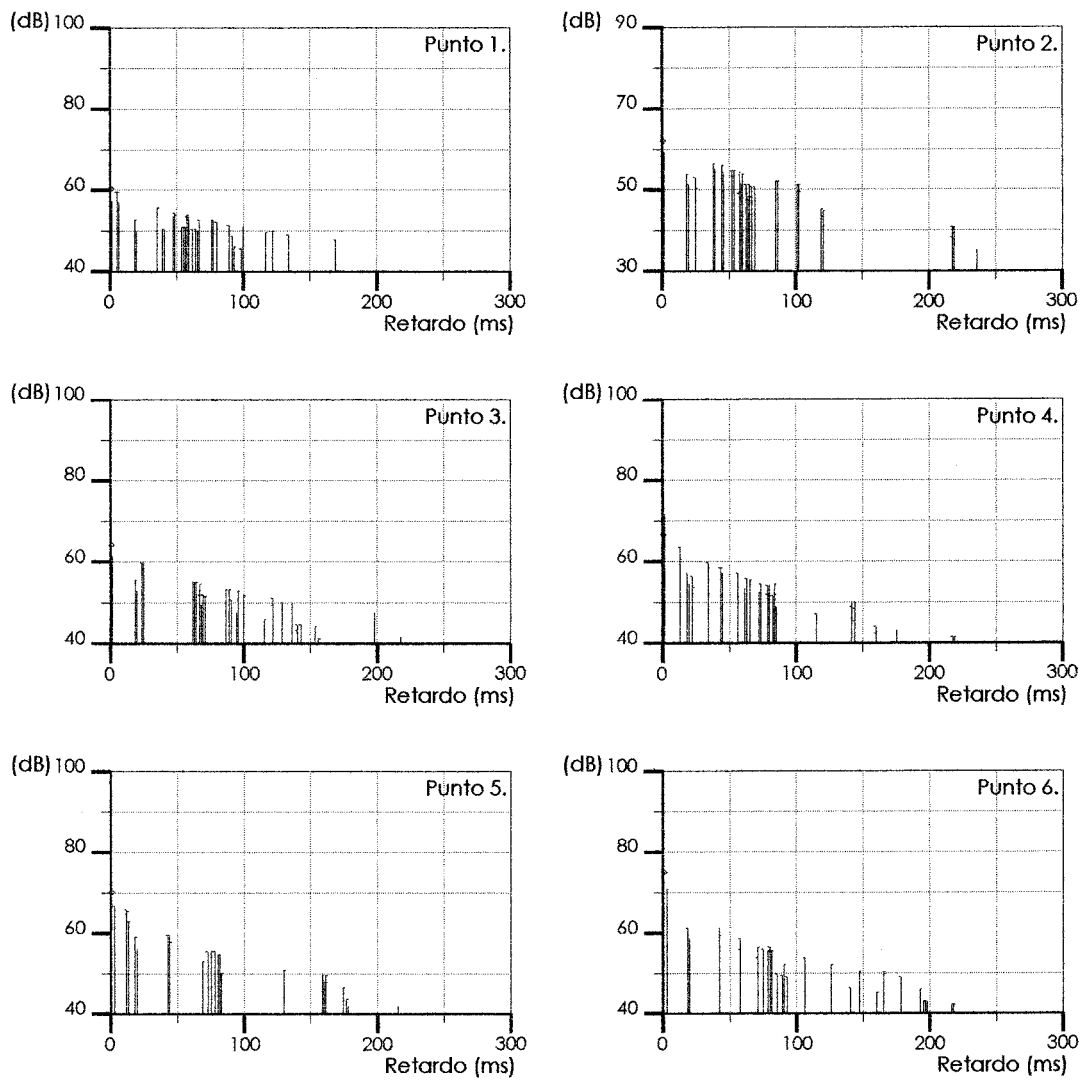


Figura A7.9. Acústica geométrica propuesta, fuente en último vano nave central. 2000 Hz

▪ RESUMEN DE REFLEXIONES Y DE PARÁMETROS ACÚSTICOS.

Se cuantifican las principales reflexiones obtenidas del estudio teórico mediante el modelo informático, tanto en los modelos del estado previo, como en la propuesta (diferentes hipótesis de situación de la fuente sonora). Se determinan las reflexiones que llegan al punto en un intervalo inferior a 100 ms y el total de reflexiones, así como las reflexiones en las superficies más significativas.

	PTO.	ESTADO PREVIO		PROPUESTA.			
		1936	1999	FUENTE PRESBITERIO	FUENTE PRIMER VANO NAVE	FUENTE ÚLTIMO VANO NAVE	
Reflexiones < 100 ms /total reflexiones.	P2	10/22	13/21	20/33	39/55	32/41	
	P3	18/35	20/31	23/35	36/47	33/48	
	P4	22/34	25/34	26/39	42/54	27/41	
	P5	17/27	25/31	28/37	34/41	19/32	
	P6	25/34	29/34	39/44	35/42	22/40	
	P7	26/31	29/34	34/39	45/52		
	P8	15/22	16/26	22/31	12/28	14/14	
	P9	9/11	9/12	11/18	21/28	20/20	
	P10	21/29	21/31	22/31	12/22	22/24	
	P11	11/12	13/19	17/22	16/21	22/29	
	Reflexiones presbiterio.	P2	8/8	8/8	14/14	16/16	2/11
P3		7/7	7/7	9/9	14/14	13/13	
P4		8/8	8/8	10/10	9/9	13/13	
P5		2/2	2/2	6/6	7/8	12/12	
P6		6/6	6/6	14/14	6/6	13/13	
P7		1/1	1/1	10/10	7/8		
P10		3/3	3/3	7/7	1/1	0/0	
P11		5/5	5/5	3/3	2/3	0/0	
Reflexiones fondo antiguo coro.	P2	0/11	0/8	0/10	0/15	2/2	
	P3	0/16	0/10	2/14	0/11	3/3	
	P4	0/10	5/13	0/12	4/16	4/4	
	P5	0/9	4/10	5/14	0/6	4/4	
	P6	5/10	2/6	0/5	3/10	3/3	
	P7	4/5	8/12	0/4	0/6		
	P8	0/6	0/10	0/3	3/11	0/0	
	P10	0/3	0/3	0/4	4/8	0/0	
	Reflexiones bóveda nave principal	P2	4/4	4/4	4/6	10/10	4/4
		P3	5/6	5/6	7/9	6/6	6/7
P4		9/11	9/11	10/12	16/16	4/4	
P5		9/9	9/9	9/9	10/10	3/3	
P6		11/11	11/11	11/11	14/14	6/9	
P7		8/8	8/8	4/4	19/19	0/0	
P8		7/7	7/7	7/7	2/2		
P9		7/7	7/7	7/7	6/6	0/0	
P10		3/3	3/3	2/2	2/2	0/0	
P11		3/4	3/4	3/3	5/5	0/0	
Reflexiones laterales		P2	0/1	0/1	0/0	10/12	22/22
	P3	0/0	0/0	0/0	13/13	24/25	
	P4	0/0	0/0	2/2	6/6	17/18	
	P5	0/0	0/0	2/3	15/15	11/11	
	P6	4/5	4/5	4/4	9/9	13/15	
	P7	8/9	8/9	13/13	15/17		
	P8	2/2	2/2	5/7	8/15	14/14	
	P9	2/5	2/5	2/4	8/12	20/20	
	P10	2/4	2/4	4/8	12/19	22/24	
	P11	1/1	1/1	6/6	9/9	22/29	

Tabla A7.21. Resumen de reflexiones.

Se resumen de forma comparativa los principales parámetros acústicos en las diferentes hipótesis consideradas, tanto en el estado inicial como en la propuesta de intervención.

Tiempo de reverberación.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Tr med
Estado inicial							
Configuración 1936	6.20	6.03	5.49	4.95	4.32	3.21	5.03
Configuración 1999	2.42	2.86	3.27	3.55	3.79	2.86	3.13
Propuesta							
Fuente presbiterio	1.93	1.96	1.91	1.87	2.21	1.77	1.94
Fuente primer vano nave	1.96	1.94	1.89	1.85	2.18	1.76	1.93
Fuente último vano nave	1.96	1.94	1.89	1.85	2.18	1.76	1.93
Óptimos							
Música	2.80	2.30	2.00	2.00	2.00	2.00	2.18
Palabra	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13

Tabla A7.22. Resumen de tiempo de reverberación (segundos). Iglesia ocupada.

Nivel de presión sonora.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Estado inicial						
Configuración 1936	78.0	84.0	79.2	75.0	75.0	69.5
Configuración 1999	76.5	83.1	78.7	74.9	75.0	69.5
Propuesta						
Fuente presbiterio	75.3	81.1	76.3	72.0	72.9	67.9
Fuente primer vano nave	76.9	83.1	78.0	74.1	74.9	70.0
Fuente último vano nave	76.3	82.4	77.2	73.1	74.1	69.3

Tabla A7.23. Resumen de niveles de presión sonora. Valores medios (dB)

Intimididad acústica.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Estado inicial											
Configuración 1936.	40	40	21	40	5	40	21	22	9	1	21
Configuración 1999.	40	40	21	40	5	40	21	22	9	1	21
Propuesta											
Fuente presbiterio	40	40	21	40	2	20	18	22	9	1	21
Fuente primer vano nave		70	12	41	23	4	5	5	14	9	18
Fuente último vano nave	5	18	18	12	11	17		22	25	8	18

Tabla A7.24. Resumen valores ITDG (ms).

RASTI.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Med
Estado inicial												
Configuración 1936.	43.8	38.2	41.4	37.9	40.9	42.4	42.2	38.8	41.9	43.2	43.6	41.3
Configuración 1999.	44.4	38.4	38.9	38.7	40.3	42.1	44.1	41.8	38.5	43.8	44.0	41.3
Propuesta												
Fuente presbiterio	50.6	44.7	43.1	43.8	43.4	46.5	47.3	48.3	42.9	49.8	44.2	45.8
Fuente nave central		64.4	56.9	48.1	46.6	46.8	50.8	63.3	46.6	59.4	45.6	52.8
Fuente último vano	49.6	47.0	47.7	53.6	61.5	67.7		43.1	49.0	48.6	47.1	51.4

Tabla A7.25. Resumen RASTI.

Definición. Valores globales (%). Valor óptimo D>50%

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Med
Estado inicial												
Configuración 1936.	33.7	24.5	16.2	17.0	16.3	13.6	14.1	16.8	18.1	31.5	14.5	19.6
Configuración 1999.	36.1	27.5	20.5	18.2	20.5	15.0	19.0	17.3	15.6	33.8	10.5	21.2
Propuesta												
Fuente presbiterio	45.3	33.9	29.8	25.9	25.5	23.2	29.6	30.2	15.4	42.2	20.9	29.2
Fuente nave central		66.5	58.9	28.4	26.3	26.5	33.4	66.1	34.3	62.2	31.8	43.4
Fuente último vano	35.2	25.6	31.6	52.8	68.7	76.2		20.7	39.0	37.0	39.3	42.6

Tabla A7.26. Resumen valores de definición.

Claridad musical. Iglesia ocupada. Valores óptimos $-2 \leq C_{80} \leq +2$ dB

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Med
Estado inicial												
Configuración 1936.	-1.5	-3.2	-3.5	-4.5	-4.1	-5.0	-4.5	-4.8	-4.2	-2.0	-5.5	-3.8
Configuración 1999.	-0.9	-2.3	-2.9	-3.9	-3.0	-4.0	-3.0	-4.6	-4.3	-1.5	-5.2	-3.2
Propuesta												
Fuente presbiterio	1.8	-0.6	-0.9	-1.8	-1.1	-1.8	-0.9	-1.3	-4.1	0.2	-2.6	-1.1
Fuente nave central		3.8	2.5	-1.2	-0.2	-0.9	0.7	4.2	-0.2	3.4	-1.0	1.1
Fuente último vano	1.1	-1.3	0.2	2.5	4.4	6.2		-1.8	0.8	0.5	0.9	1.3

Tabla A7.27. Resumen valores de claridad musical.

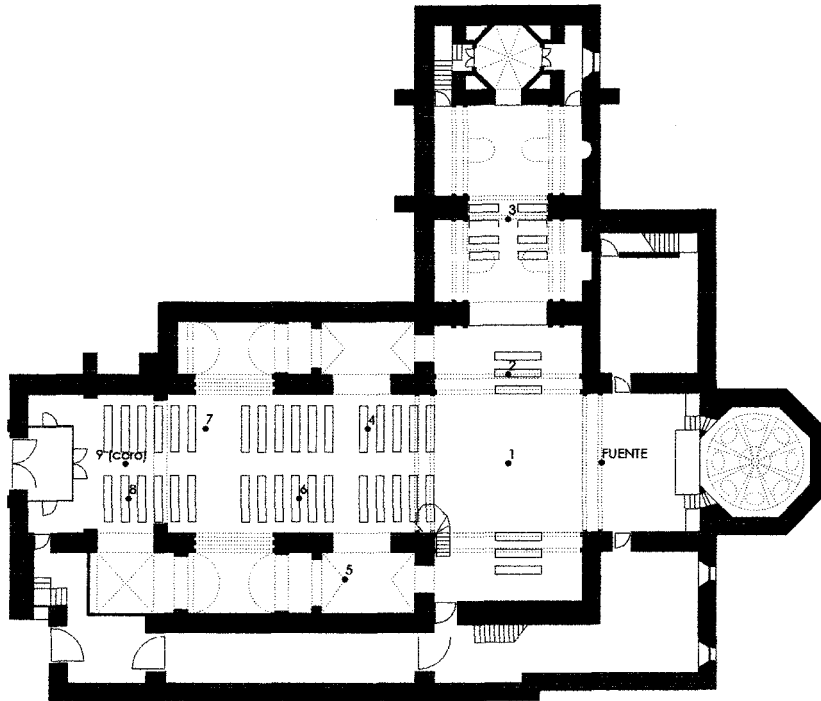
Otros parámetros.

	Volumen (m ³)	Ocupación	m ³ / plaza	Volumen/área audiencia.	Max distancia fuente oyente
Estado inicial					
Configuración 1936	10036	235	42.7	42.3	35.5 m
Configuración 1999	9179	235	39.0	38.7	28.0 m
Propuesta					
Fuente presbiterio	7871	314	25.0	33.2	28.0 m
Fuente primer vano nave central	7871	368	21.4	31.2	21.5 m
Fuente último vano nave central	7871	368	21.4	31.2	25.5 m
Rango óptimo			5.1-9.1	9.2-12.0	

Tabla A7.28. Resumen otros parámetros.

Apéndice 8. IGLESIA DE SAN PEDRO. PRIEGO DE CÓRDOBA.

▪ **ANÁLISIS ACÚSTICO DEL ESTADO ACTUAL. MEDICIÓN ACÚSTICA.**



El punto 0 se dispone a 1 m de la fuente.

Fig. A8.1. Situación puntos de medida.

TIEMPO DE REVERBERACION

PUNTOS	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1	2.15	2.54	2.47	2.24	2.02	1.53	0.91
2	2.56	2.87	2.54	2.25	2.11	1.53	0.93
3	2.64	2.72	2.58	2.38	2.03	1.60	0.98
4	2.83	2.80	2.54	2.26	2.03	1.59	0.99
5	3.29	2.63	2.44	2.39	2.00	1.53	1.03
6	2.81	2.89	2.47	2.28	2.03	1.60	1.00
7	2.52	2.60	2.51	2.31	1.96	1.64	1.03
8	2.66	2.92	2.42	2.31	2.07	1.56	1.03
9	3.01	2.65	2.54	2.34	2.02	1.62	1.03
Promedio	2.71	2.73	2.50	2.30	2.03	1.57	0.99
Promedio nave	2.59	2.75	2.48	2.28	2.02	1.58	0.99

Tabla A8.1. Tiempos de reverberación medidos (segundos).

DISTRIBUCIÓN SONORA.

PTOS	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	A	L
0	92.29	95.37	91.47	85.86	85.65	76.70	78.12	93.21	98.67
1	83.81	90.83	84.96	79.08	78.50	70.81	66.98	86.99	92.83
2	80.27	88.10	82.74	78.15	77.86	70.61	64.34	85.24	90.31
3	77.03	84.23	78.18	73.04	72.33	64.51	57.94	80.37	86.24
4	81.40	85.89	81.26	76.22	77.06	68.64	63.67	83.59	88.79
5	78.24	85.99	80.69	74.75	74.29	66.25	59.55	82.42	88.07
6	79.86	85.82	80.32	75.48	75.56	67.40	61.10	82.81	88.21
7	80.10	86.04	79.94	74.84	74.80	67.10	60.25	82.44	88.24
8	79.16	84.82	79.04	73.04	73.35	65.03	58.59	81.09	87.06
9	80.54	87.20	80.93	75.40	74.33	66.49	58.95	83.11	89.13

Tabla A8.2. Medidas de niveles de presión sonora (dB).

INTELIGIBILIDAD.

Punto	RASTI	Octava (Hz)	STI	NPS (dB)	S/Neq (dB)	EDTeq (s)
0	0.93	500	0.90	72.7	11.9	0.21
		2000	0.95	63.8	13.4	0.11
1	0.48	500	0.46	61.0	-1.2	1.7
		2000	0.50	50.2	0.1	
2	0.45	500	0.42	59.7	-2.3	2.10
		2000	0.47	47.9	-0.9	1.70
3	0.36	500	0.40	54.8	-3.1	2.40
		2000	0.33	42.0	-5.1	3.40
4	0.42	500	0.34	58.1	-4.8	3.20
		2000	0.48	47.5	-0.6	
5	0.35	500	0.33	56.2	-5.2	
		2000	0.36	44.4	-4.2	2.90
6	0.38	500	0.32	57.3	-5.4	3.60
		2000	0.43	46.5	-2.1	2.10
7	0.37	500	0.37	56.3	-4.0	
		2000	0.37	45.6	-3.8	2.70
8	0.41	500	0.39	55.2	-3.4	
		2000	0.42	43.9	-2.3	
9	0.42	500	0.40	57.0	-3.1	
		2000	0.45	45.8	-1.6	1.90

Tabla A8.3. Medidas de inteligibilidad. Índice RASTI .

RUIDO DE FONDO (dBA).

El tiempo de registro ha sido de 3 minutos situándose en el pasillo central a la altura del punto 7.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	A	L
dB	39.91	37.83	30.91	28.95	26.50	24.27	25.97	35.60	56.30
dB(A)	23.82	29.20	27.67	28.95	27.70	25.24	24.86	35.60	56.30

Leq	NPS	Punta	Max P	Max N	Min N	L1	L10	L50	L90	L99
34.0	30.4	42.2	55.2	43.4	25.8	41.5	36.5	33.0	29.5	26.0

Tabla A8.4. Medidas de ruido de fondo (dB).

▪ ANALISIS ACÚSTICO DEL ESTADO ACTUAL. SIMULACIÓN INFORMÁTICA.

Se incorporan en este anexo el modelo geométrico utilizado en el estudio teórico mediante simulación informática del estado actual, tanto para la hipótesis de fuente en el altar como con la fuente situada en el coro. Así mismo, se incorporan los resultados obtenidos para los puntos considerados, en las frecuencias de octava, de los diferentes parámetros energéticos (obtenidos con el programa CATT-acoustic) relacionados con la calidad sonora de la sala como son el nivel de presión sonora, definición, claridad musical y sonoridad, así como el estudio teórico de las reflexiones mediante los ecogramas, para la banda de octava de 2000 Hz.

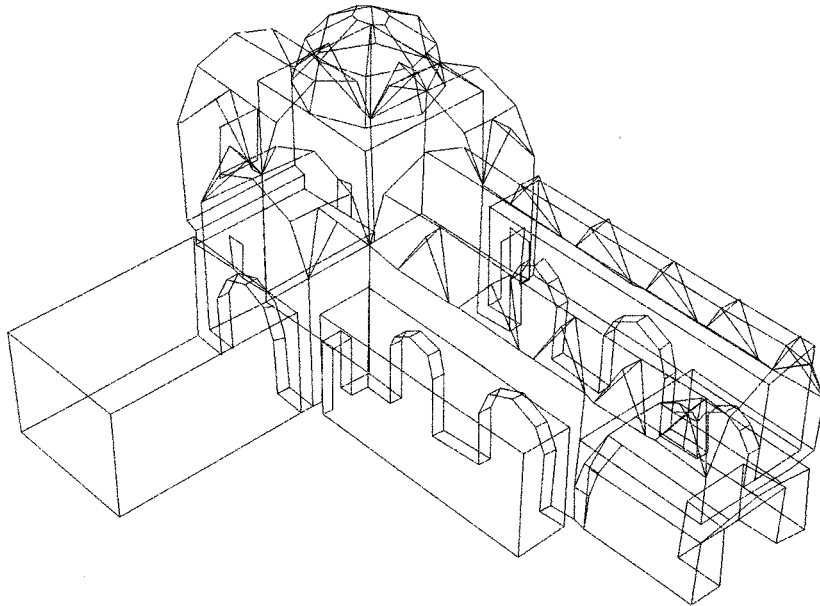


Fig. A8.2. Modelo geométrico para la simulación. Estado actual

Nivel de presión sonora.

En las tablas siguientes se indican los niveles de presión sonora, en dB, para cada punto y frecuencia, así como el valor global en cada punto tanto lineal como ponderado y los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. El nivel de emisión de la fuente es de 109 dB y se ha considerado ocupada la nave con público sentado en bancos de iglesia, para la hipótesis de fuente en el altar y en el coro. Se adjuntan además los resultados obtenidos en la simulación para la hipótesis de estado actual vacío, con el fin de poder comparar los valores entre el modelo y la medición, y por lo tanto determinar el grado de adecuación del modelo a la realidad.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado	
01	84.2	90.2	85.4	81.2	80.8	75.6	92.9	88.2	(A)
02	82.6	88.7	83.9	79.4	79.1	73.5	91.3	86.5	(A)
04	81.0	87.0	81.9	77.7	77.1	71.0	89.6	84.6	(A)
06	80.7	86.9	81.8	77.4	76.7	70.5	89.4	84.4	(A)
07	79.8	85.9	80.7	76.3	75.5	69.2	88.4	83.3	(A)
08	79.4	85.4	80.4	76.0	75.2	69.3	87.9	82.9	(A)
09	80.6	86.6	81.7	77.3	76.6	70.3	89.2	84.2	(A)
MAX :	84.2	90.2	85.4	81.2	80.8	75.6			
MED :	81.2	87.2	82.3	77.9	77.3	71.3			
MIN :	79.4	85.4	80.4	76.0	75.2	69.2			

Tabla A8.5. Nivel de presión sonora. Estado actual vacío. Fuente en altar.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado	
01	82.8	88.9	83.7	79.5	79.1	74.8	91.5	86.6	(A)
02	81.3	87.2	81.9	77.4	77.1	72.8	89.7	84.7	(A)
04	79.1	85.0	79.5	75.2	74.7	69.9	87.5	82.4	(A)
06	78.7	84.8	78.9	74.7	74.4	69.3	87.1	81.9	(A)
07	77.7	83.7	77.9	73.4	73.0	68.1	86.1	80.8	(A)
08	77.6	83.6	78.0	73.7	73.3	68.1	86.0	80.9	(A)
09	78.9	85.1	79.2	75.2	74.8	69.5	87.5	82.3	(A)
MAX :	82.8	88.9	83.7	79.5	79.1	74.8			
MED :	79.5	85.5	79.9	75.6	75.2	70.4			
MIN :	77.6	83.6	77.9	73.4	73.0	68.1			

Tabla A8.6. Nivel de presión sonora. Estado actual, público en bancos Fuente en altar.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado	
01	80.0	86.0	80.5	76.0	75.6	70.9	88.4	83.3	(A)
02	78.3	84.5	78.7	74.3	73.5	68.4	86.8	81.5	(A)
04	81.2	87.3	81.9	77.5	77.2	72.7	89.8	84.8	(A)
06	81.5	87.7	82.2	78.2	78.0	73.5	90.2	85.3	(A)
07	81.2	87.2	81.7	77.7	77.5	72.8	89.7	84.8	(A)
08	77.2	83.4	77.7	73.7	72.9	68.2	85.8	80.7	(A)
MAX :	81.5	87.7	82.2	78.2	78.0	73.5			
MED :	79.9	86.0	80.4	76.2	75.8	71.1			
MIN :	77.2	83.4	77.7	73.7	72.9	68.2			

Tabla A8.7. Nivel de presión sonora. Estado actual, público en bancos. Fuente en coro.

Definición.

Se muestran los valores, en porcentaje, de definición para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada la nave con público en bancos.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	40.0	39.8	43.8	46.0	48.9	53.1	41.7
02	30.9	30.9	37.9	38.6	41.8	43.3	33.3
04	20.4	19.0	23.2	23.4	25.3	28.1	20.6
06	17.9	18.9	21.1	24.1	25.3	31.2	19.9
07	16.4	16.7	18.4	23.1	22.1	28.8	17.7
08	23.4	22.1	27.3	29.7	31.7	36.8	24.3
09	19.2	21.4	23.5	26.3	28.8	33.6	22.3
MAX :	40.0	39.8	43.8	46.0	48.9	53.1	
MED :	24.0	24.1	27.9	30.2	32.0	36.4	
MIN :	16.4	16.7	18.4	23.1	22.1	28.1	

Tabla A8.8. Definición. Estado actual. Fuente en altar.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	27.8	27.1	32.6	35.2	37.9	41.7	29.3
02	14.8	15.4	21.1	22.7	21.5	23.1	17.0
04	29.4	28.9	33.2	37.2	38.8	39.4	30.9
06	26.5	25.8	30.6	32.9	34.4	38.5	27.9
07	22.2	21.9	21.6	22.0	24.9	28.8	22.2
08	0.2	0.2	0.2	2.8	0.3	3.4	0.4
MAX :	29.4	28.9	33.2	37.2	38.8	41.7	
MED :	20.1	19.9	23.2	25.5	26.3	29.2	
MIN :	0.2	0.2	0.2	2.8	0.3	3.4	

Tabla A8.9. Definición. Estado actual. Fuente en coro.

Claridad musical.

En las tablas siguientes se indican los valores, en decibelios, de claridad musical (C_{80}) para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada la nave con público en bancos.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	0.5	0.6	1.6	2.0	2.6	3.3	1.0
02	-1.0	-0.7	0.6	0.8	1.4	2.3	-0.2
04	-3.9	-4.4	-2.8	-2.7	-2.1	-1.4	-3.8
06	-4.1	-3.8	-2.7	-3.0	-1.7	-0.7	-3.5
07	-4.2	-4.2	-2.9	-2.3	-1.9	-0.3	-3.7
08	-2.9	-3.1	-2.1	-1.7	-0.8	0.4	-2.6
09	-3.6	-2.9	-2.2	-2.0	-1.2	0.2	-2.7
MAX :	0.5	0.6	1.6	2.0	2.6	3.3	
MED :	-2.7	-2.6	-1.5	-1.3	-0.5	0.6	
MIN :	-4.2	-4.4	-2.9	-3.0	-2.1	-1.4	

Tabla A8.10. Claridad (C_{80}). Estado actual. Fuente en altar.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	-1.5	-1.8	-0.4	-0.4	0.2	1.4	-1.3
02	-3.6	-3.7	-2.0	-1.8	-1.5	-0.5	-3.2
04	-1.7	-1.4	-0.8	0.3	0.9	1.2	-1.1
06	-1.5	-1.5	-0.8	0.2	0.6	1.8	-1.0
07	-2.4	-2.3	-2.1	-1.4	-1.2	0.0	-2.1
08	-11.1	-9.1	-9.8	-7.3	-9.0	-5.4	-9.2
MAX :	-1.5	-1.4	-0.4	0.3	0.9	1.8	
MED :	-3.6	-3.3	-2.6	-1.7	-1.7	-0.2	
MIN :	-11.1	-9.1	-9.8	-7.3	-9.0	-5.4	

Tabla A8.11. Claridad (C_{80}). Estado actual. Fuente en coro.

Sonoridad.

En las tablas adjuntas se indican los valores, en decibelios, de la sonoridad de la iglesia para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia, considerando la iglesia vacía.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	15.4	15.2	15.0	14.7	14.2	13.2	15.0
02	13.8	13.7	13.5	12.8	12.5	11.1	13.4
04	12.2	12.0	11.5	11.1	10.4	8.6	11.7
06	11.9	11.9	11.4	10.8	10.1	8.1	11.6
07	11.0	10.9	10.3	9.7	8.8	6.8	10.5
08	10.6	10.4	10.0	9.5	8.5	6.9	10.1
09	11.8	11.6	11.3	10.7	10.0	7.9	11.3
MAX :	15.4	15.2	15.0	14.7	14.2	13.2	
MED :	12.4	12.2	11.9	11.3	10.6	9.0	
MIN :	10.6	10.4	10.0	9.5	8.5	6.8	

Tabla A8.12. Sonoridad (G_{10}). Estado actual. Fuente en altar.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	13.2	12.8	12.7	11.9	11.5	9.8	12.6
02	11.7	11.6	11.1	10.4	9.6	7.6	11.2
04	14.0	14.1	13.8	13.2	12.6	11.2	13.8
06	14.2	14.3	14.1	13.6	13.2	11.6	14.1
07	13.8	14.0	13.6	12.9	12.7	10.7	13.7
08	10.3	10.5	10.0	9.4	9.0	7.4	10.2
MAX :	14.2	14.3	14.1	13.6	13.2	11.6	
MED :	12.9	12.9	12.5	11.9	11.4	9.7	
MIN :	10.3	10.5	10.0	9.4	9.0	7.4	

Tabla A8.13. Sonoridad (G_{10}). Estado actual. Fuente en coro.

Ecogramas.

Se adjuntan los ecogramas para la banda de octava de 2000 Hz, que relacionan el nivel de presión sonora y el retardo en ms de cada reflexión para los diferentes puntos establecidos.

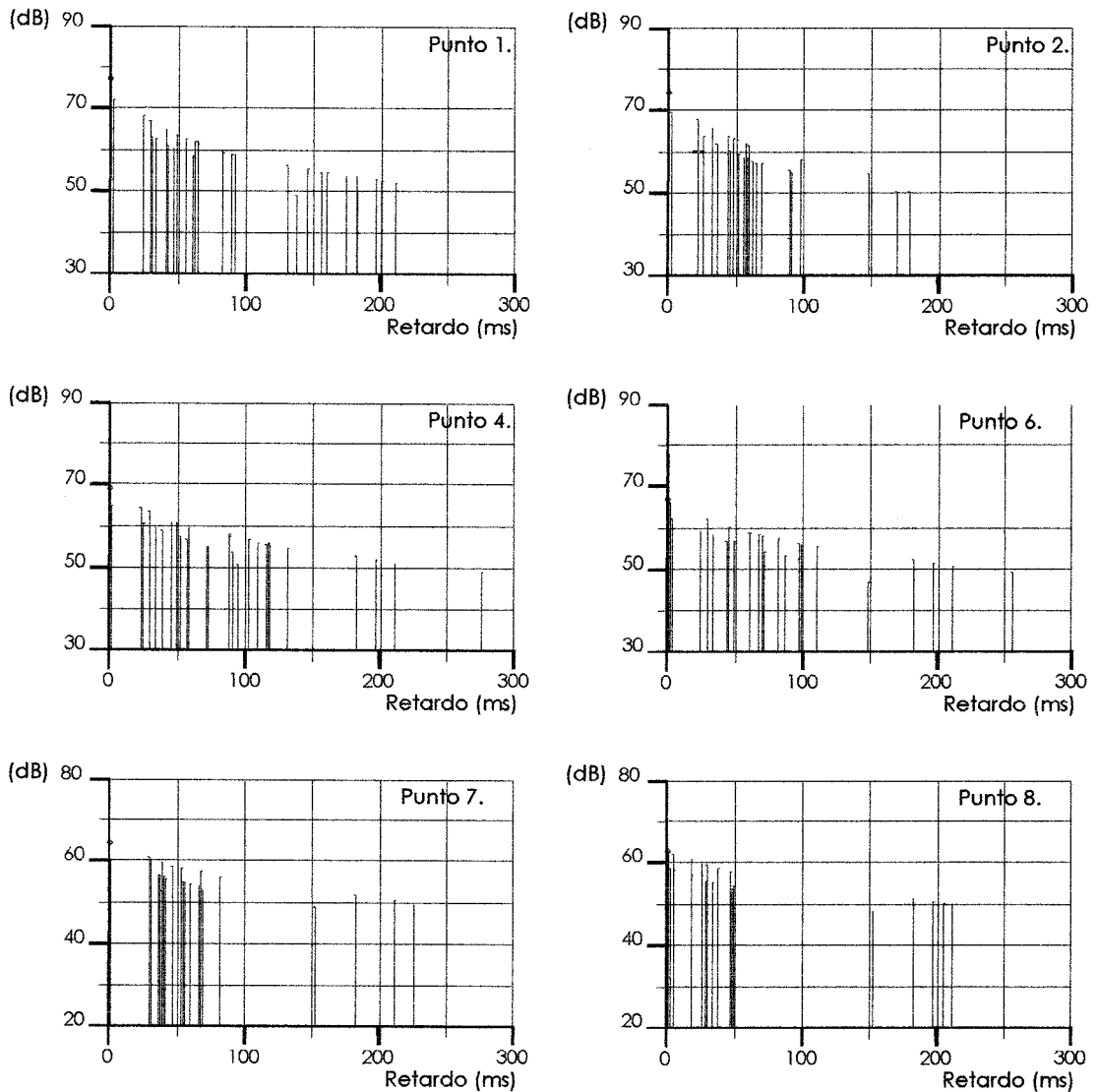


Fig. A8.3. Acústica geométrica estado actual. 2000 Hz. Fuente en altar.

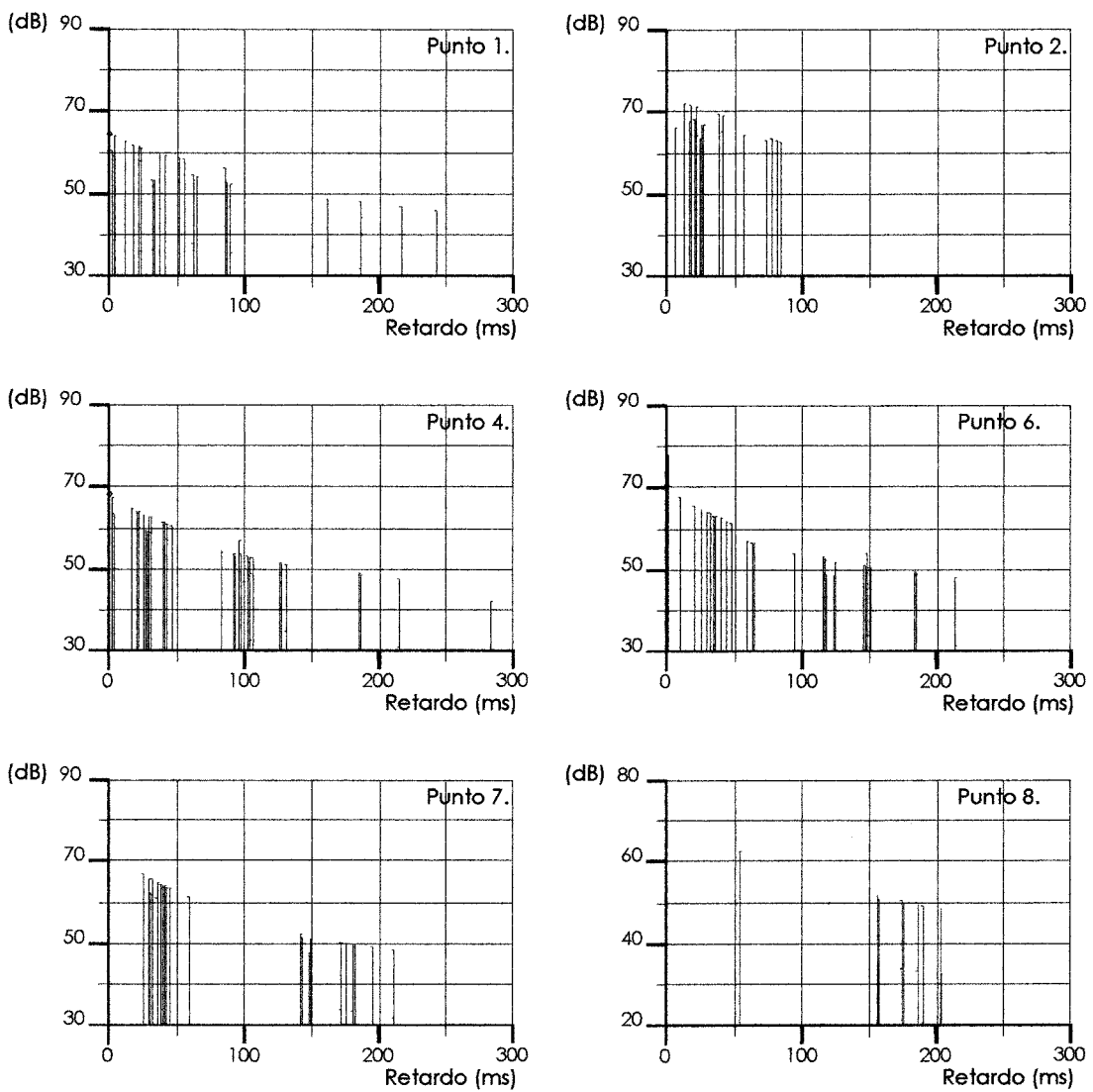


Fig. A8.4. Acústica geométrica estado actual. 2000 Hz. Fuente en coro.

▪ **PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.**

Se adjunta el modelo geométrico utilizado en la simulación informática para la propuesta de intervención en la configuración teatral, así como los resultados obtenidos del estudio teórico de parámetros acústicos analizados anteriormente, para esta configuración, dado que no existen modificaciones en la configuración musical respecto a los valores obtenidos anteriormente en el estado actual, en la estimación de ocupación con público. La situación de los diferentes puntos es la misma que se ha considerado anteriormente (figura A8.1).

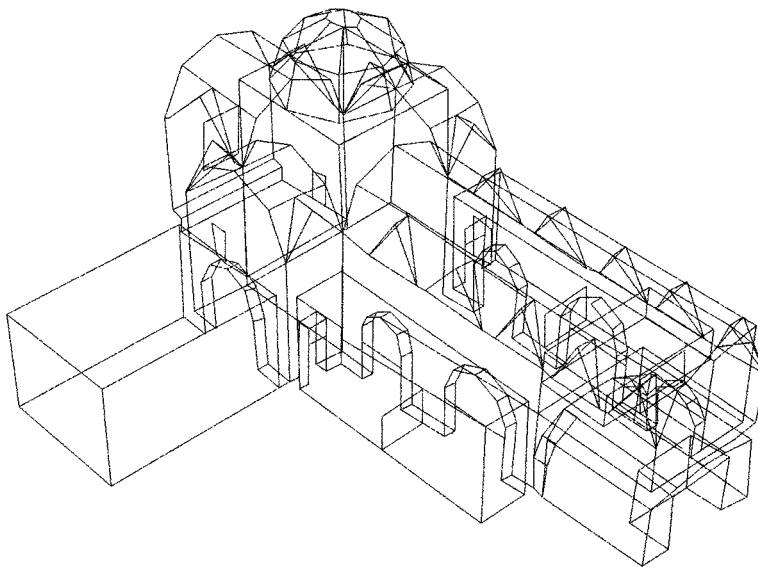


Fig. A8.5. Modelo geométrico para la simulación. Configuración teatral.

Nivel de presión sonora.

En la siguiente tabla se indican los niveles de presión sonora, en dB, para cada punto y frecuencia, así como el valor global en cada punto, tanto lineal como ponderado, y los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. El nivel de emisión de la fuente es de 109 dB y se ha considerado ocupada la nave con público en bancos.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado	
01	82.3	87.6	81.5	77.6	77.7	73.7	90.1	85.0	(A)
02	80.5	85.9	79.7	75.5	75.5	71.6	88.3	83.1	(A)
04	78.2	83.5	76.9	72.8	72.6	68.3	85.8	80.3	(A)
06	77.9	83.1	76.1	71.9	71.9	67.8	85.3	79.7	(A)
07	76.3	81.3	74.3	70.7	70.3	65.7	83.6	78.0	(A)
MAX :	82.3	87.6	81.5	77.6	77.7	73.7			
MED :	79.0	84.3	77.7	73.7	73.6	69.4			
MIN :	76.3	81.3	74.3	70.7	70.3	65.7			

Tabla A8.14. Nivel presión sonora. Configuración teatral.

Definición.

En la siguiente tabla se indican los valores, en porcentaje, de definición para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada la nave con público en bancos.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	44.3	47.8	61.5	64.0	63.3	62.8	51.2
02	37.5	43.3	57.4	54.3	55.6	58.6	45.9
04	24.6	26.1	39.6	37.8	40.7	39.7	29.1
06	23.4	27.2	39.6	39.0	38.6	40.9	29.3
07	20.0	23.5	35.6	36.7	35.5	37.2	25.7
MAX :	44.3	47.8	61.5	64.0	63.3	62.8	
MED :	30.0	33.6	46.8	46.4	46.7	47.8	
MIN :	20.0	23.5	35.6	36.7	35.5	37.2	

Tabla A8.15. Definición. Configuración teatral.

Claridad musical.

En la tabla adjunta se indican los valores, en decibelos, de claridad musical (C_{80}) para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupada la nave con público en bancos.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	1.5	2.4	5.0	5.1	5.5	5.5	3.0
02	0.2	1.7	4.3	3.4	4.3	4.6	2.0
04	-2.6	-1.7	1.1	0.3	0.5	1.3	-1.2
06	-2.3	-1.8	1.0	0.8	0.8	1.5	-1.3
07	-2.9	-1.9	-0.1	1.2	0.4	0.7	-1.5
MAX :	1.5	2.4	5.0	5.1	5.5	5.5	
MED :	-1.2	-0.3	2.2	2.2	2.3	2.7	
MIN :	-2.9	-1.9	-0.1	0.3	0.4	0.7	

Tabla A8.16. Claridad (C_{80}). Configuración teatral.

Sonoridad.

En la tabla se indican los valores, en decibelos, de la sonoridad de la iglesia para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia, considerando la iglesia vacía.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	14.6	13.8	12.6	12.6	12.6	11.9	13.5
02	13.0	12.2	11.0	10.7	10.5	10.1	11.9
04	11.2	10.2	8.6	8.5	8.0	7.2	9.8
06	10.7	9.6	8.1	8.0	7.5	7.0	9.2
07	9.6	8.2	6.3	6.5	6.0	4.8	7.8
MAX :	14.6	13.8	12.6	12.6	12.6	11.9	
MED :	11.8	10.8	9.3	9.3	8.9	8.2	
MIN :	9.6	8.2	6.3	6.5	6.0	4.8	

Tabla A8.17. Sonoridad (G_{10}). Configuración teatral.

Ecogramas.

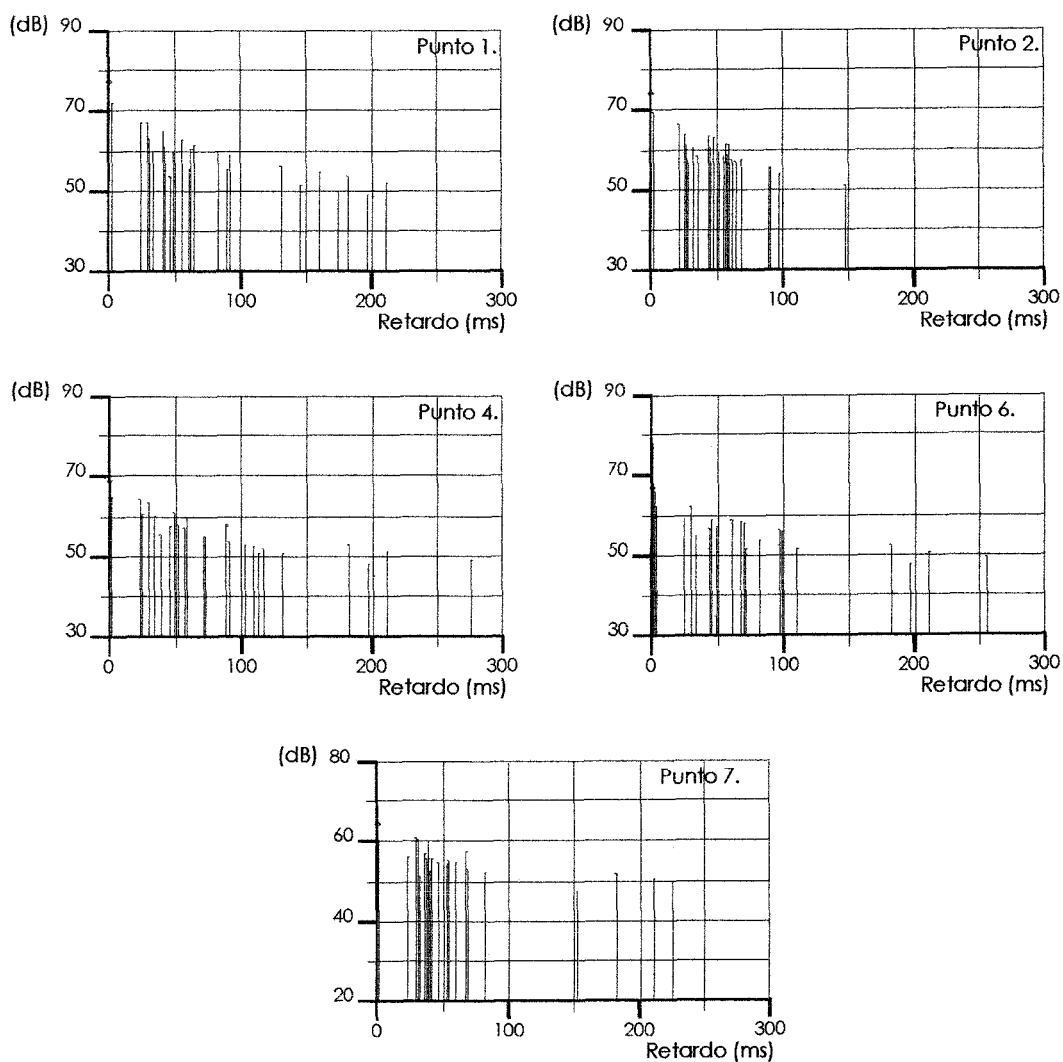


Figura A8.6. Acústica geométrica propuesta. Configuración teatral. 2000 Hz

▪ RESUMEN DE REFLEXIONES Y DE PARÁMETROS ACÚSTICOS.

Se cuantifican las principales reflexiones obtenidas del estudio teórico mediante el modelo informático, en el estado actual, con la fuente situada en el altar mayor y en el coro, y en la propuesta de intervención para la configuración musical y teatral, con la fuente situada en el altar mayor. Se determinan las reflexiones que llegan al punto en un intervalo inferior a 100 ms y el total de reflexiones, así como las producidas en las superficies más significativas. Se completa el cuadro con el valor ITDG, relacionado con la intimidad acústica.

	PTO.	ESTADO ACTUAL		PROPUESTA	
		FUENTE ALTAR	FUENTE CORO	CONFIG. MUSICAL	CONFIG. TEATRAL
Reflexiones <100 ms /total reflexiones.	P1	40/62	37/47	40/62	40/61
	P2	27/30	20/20	27/30	29/31
	P4	21/33	27/45	21/33	19/33
	P6	24/30	17/37	24/30	24/31
	P7	21/27	14/30	21/27	19/25
	P8	17/22	0/12		
	P9	20/30			
Reflexiones techo nave	P1	1/5	12/12	1/5	1/5
	P2	0/1	12/12	0/1	0/1
	P4	0/2	19/24	0/2	0/2
	P6	2/2	12/12	2/2	2/2
	P7	2/2	14/27	2/2	2/2
	P8	3/3	0/1		
	P9	16/16			
Reflexiones laterales.	P1	7/8	9/9	7/8	7/7
	P2	7/7	4/4	7/7	9/9
	P4	9/9	2/2	9/9	8/8
	P6	8/8	4/4	8/8	8/8
	P7	11/11		11/11	9/9
	P8	8/8			
Reflexiones fondo nave	P1	1/17		1/17	1/17
	P2	0/2		0/2	0/2
	P4	4/15		4/15	4/15
	P6	8/14		8/14	8/14
	P7	8/14		8/14	8/14
	P8	5/10		5/10	5/10
	P9	2/12		2/12	2/12
Reflexiones presbiterio.	P1	18/18	11/20	18/18	18/18
	P2	13/13	4/4	13/13	13/13
	P4	7/7	1/12	7/7	7/7
	P6	3/3	19/19	3/3	3/3
	P7		0/3		
	P8		0/11		
Reflexiones cúpula	P1	9/9		9/9	9/9
	P2	6/6		6/6	6/6
	P4				
	P6	1/1		1/1	1/1
ITDG ms	P1	24	4	24	24
	P2	21	13	21	21
	P4	22	3	22	22
	P6	3	20	3	3
	P7	29	30	29	23
	P8	2	156		
	P9	9			

Tabla A8.18. Resumen de reflexiones.

Se adjunta un resumen comparativo de los principales parámetros acústicos en las diferentes hipótesis consideradas, tanto en el estado actual y previo como en la propuesta de intervención para la configuración musical y teatral.

Tiempo de reverberación.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Tr _{med}
Estado actual							
Medido vacío	2.71	2.73	2.50	2.30	2.03	1.57	2.31
Estimado con público	2.08	2.06	1.74	1.67	1.52	1.36	1.74
Propuesta							
Configuración musical	2.08	2.06	1.74	1.67	1.52	1.36	1.74
Configuración teatral	1.67	1.39	1.09	1.08	1.04	0.98	1.21
Óptimos							
Música	2.55	2.10	1.82	1.82	1.82	1.82	1.99
Palabra	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03

Tabla A8.19. Resumen de tiempo de reverberación (segundos). Público en bancos.

Nivel de presión sonora.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Estado actual						
Medido vacío	81.8	81.8	81.3	80.7	80.1	78.4
Simulación vacío.	81.2	87.2	82.3	77.9	77.3	71.3
Estimado fuente en altar	79.5	85.5	79.9	75.6	75.2	70.4
Estimado fuente en coro	79.9	86.0	80.4	76.2	75.8	71.1
Propuesta						
Configuración musical	80.0	85.9	80.4	76.0	75.6	71.0
Configuración teatral	79.0	84.3	77.7	73.7	73.6	69.4

Tabla A8.20. Resumen de niveles de presión sonora. Valores medios (dB).

RASTI.

	1	2	4	6	7	8	9	Med
Estado actual								
Medido vacío.	0.48	0.45	0.42	0.38	0.37	0.41	0.42	0.42
Estimado fuente en altar	0.54	0.52	0.49	0.48	0.43	0.48	0.50	0.49
Estimado fuente en coro	0.48	0.45	0.49	0.48	0.50	0.39		0.47
Propuesta								
Configuración musical	0.54	0.52	0.49	0.48	0.43			0.49
Configuración teatral	0.65	0.64	0.65	0.58	0.51			0.61

Tabla A8.21. Resumen RASTI.

Definición. Valores globales (%). Valor óptimo $D > 50\%$

	1	2	4	6	7	8	9	Med
Estado actual								
Estimado fuente en altar	41.7	33.3	20.6	19.9	17.7	24.3	22.3	25.6
Estimado fuente en coro	29.3	17.0	30.9	27.9	22.2	0.4		21.2
Propuesta								
Configuración musical	41.7	33.3	20.6	19.9	17.7			26.6
Configuración teatral	51.2	45.9	29.1	29.3	25.7			36.2

Tabla A8.22. Resumen valores de definición.

Claridad musical. Iglesia ocupada. Valores óptimos $-2 \leq C_{80} \leq +2$ dB

	1	2	4	6	7	8	9	Med
Estado actual								
Estimado fuente en altar	1.0	-0.2	-3.8	-3.5	-3.7	-2.6	-2.7	-2.2
Estimado fuente en coro	-1.3	-3.2	-1.1	-1.0	-2.1	-9.2		-2.9
Propuesta								
Configuración musical	1.0	-0.2	-3.8	-3.5	-3.7			-2.0
Configuración teatral	3.0	2.0	-1.2	-1.3	-1.5			0.2

Tabla A8.23. Resumen valores de claridad musical (dB).

Otros parámetros.

	Volumen (m ³)	Ocupación	m ³ / plaza	Volumen/área audiencia.
Estado actual	3747	234	16.0	18.2
Propuesta				
Configuración musical	3747	234	16.0	18.2
Configuración teatral	3747	274	13.6	16.3
Rango óptimo			5.1-9.1	9.2-12.0

Tabla A8.24. Resumen otros parámetros.

Apéndice 9. IGLESIA DEL ANTIGUO HOSPITAL DE SAN JUAN DE DIOS. MONTILLA.

■ CRITERIOS DE INTERVENCIÓN DEL PROYECTO DE RESTAURACIÓN DE LA IGLESIA DE SAN JUAN DE DIOS DE MONTILLA¹.

Se extraen de la memoria del proyecto, las principales características de la propuesta de intervención planteada por el arquitecto Arturo Ramírez Laguna.

El templo en el antiguo convento fue el espacio principal de reunión colectiva y el más representativo, por lo que se pretende que siga siéndolo, destinándolo a sala de reunión auditorio que pueda albergar el máximo de usos: de reunión, como local para espectáculos (proyecciones, pequeño teatro, audiciones, etc.) y un aspecto representativo (recepciones, plenos, salón de juntas, etc.). El coro se destina a anfiteatro y las tribunas, a palcos tres de ellas y otra a cabina de proyecciones.

El problema es el de adaptar el edificio a un nuevo uso, para lo cual se pretende modificar en lo mínimo indispensable, con un criterio funcional claro, que respete la integridad del mismo en todo lo posible, pero con cuantas medidas sean necesarias para ser usado (platea, soluciones acústicas, etc.).

Otro problema es el derivado de ser un edificio desmantelado de parte de su contenido (retablos, imágenes, etc.), lo que lleva a soluciones eclécticas que no distorsionen su arquitectura, pero que la completen en lo posible. Se ha pretendido, mediante investigación histórico artística, conocer los planteamientos formales del edificio y se pretende investigar todo lo rescatable, para evitar distorsionar su valor fundamental histórico artístico; por lo que se pretenden obras de adaptación funcional y de reconstrucción de imagen y acabado.

Se adaptará el cuerpo de iglesia a auditorio con un aforo de 286 personas. Se construirá un suelo de platea con pendiente para facilitar la vista y la audición, con un desnivel de cota entre asientos de ocho centímetros. Las butacas serán fijas de estructura metálica con asientos abatibles, con asiento y respaldo tapizado de pana ignífuga sobre goma espuma.

¹ De la memoria del proyecto de restauración y adaptación de la iglesia de San Juan de Dios, redactado por el arquitecto Arturo Ramírez Laguna.

Escenario en el antiguo presbiterio con entarimado a 1.08 m. de altura respecto al suelo, con dos escaleras de acceso desde sala en madera igual al frente, que evocan ambores o púlpitos. Plataforma de entarimado de duelas de madera sobre vigas metálicas. Techo tornavoz de igual material. La embocadura del escenario se diseña con ambientación barroca, evocando un retablo.

Anfiteatro con gradas ascendentes construidas en madera, apoyadas en estructura metálica, para un aforo de 63 personas.

Medidas de acondicionamiento acústico, de acuerdo con el informe acústico: suelo revestido de moqueta absorbente y con butacas tapizadas. Escenario con tornavoz abocinado. Instalación de pedestales en focos de hornacinas con destino a esculturas que difundan las focalizaciones producidas por estos elementos. Instalación de material absorbente en paramentos de tribunas, zócalo, sobre escenario, etc., compuesto por plancha de madera, chapas perforadas, cortinas y tejidos cuantificándose sus posiciones exactas y cantidades a la vista de posteriores pruebas de aproximación. Como elemento para tapar los efectos sonoros de la cúpula, se diseña un toldo plegable a la altura de la parte baja de la cornisa sobre las pechinas que puede desplegarse con dos capas, una absorbente y otra decorativa. Complemento de lienzos, esculturas y demás elementos que puedan absorber frecuencias molestas o difundir la energía sonora.

Entre las obras de acabado y reconstrucción de imagen cabe destacar: la embocadura del escenario con ambientación barroca, y con la intención de enfatizar la embocadura de escenario evocando un retablo. Es un entablamento barroco de madera para pintar y dorar. En la clave del penacho moldurado, se instalará un escudo con alegorías y colgaduras de madera tallada de inspiración rococó, con el distintivo de la ciudad y elementos simbólicos de las artes y las letras.

Toldos y cortinajes necesarios para la corrección de las condiciones acústicas del local, se han preferido por su carácter barroco, siendo los doseles, cortinajes, colgaduras, etc., elementos muy queridos por el gusto barroco, como lo demuestran los frescos de las iglesias y los proyectos de arquitectura efímera de carácter civil y religioso que se conservan. Este toldo se preve formado por dos capas de tejido, la superior pesada, absorbente acústico y la inferior ligera, de calidad similar a la seda adamascada con inclusión de festones y flecos y plegada en ondas con unos colgantes en sus extremos de arranque en las pechinas, con borde plegado y anverso y reverso de distinto tono, con flecos en borde al gusto barroco. Así mismo, las colgaduras se plegarán con festones recortados, zócalos rizados, colgaduras, etc., procurando darles el máximo movimiento.

El espacio necesita complementarse con lienzos enmarcados, frescos y escultura que le den la suntuosidad necesaria a su estilo y uso. Se consideran adecuadas las esculturas en las hornacinas y las pinturas en los paramentos, en especial, en el arco sobre el escenario y en los arcos de las paredes laterales.

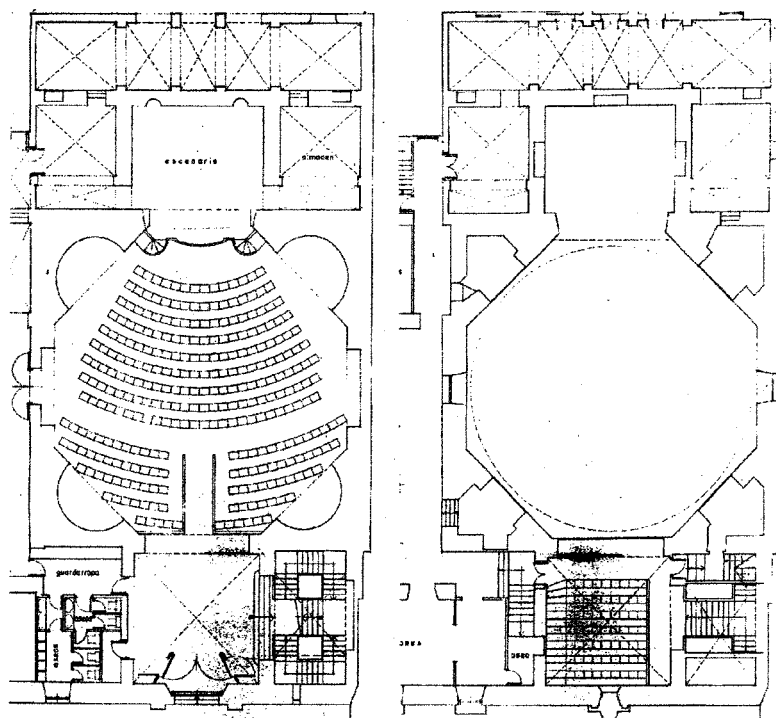


Fig. A9.1. Plantas del proyecto de restauración.

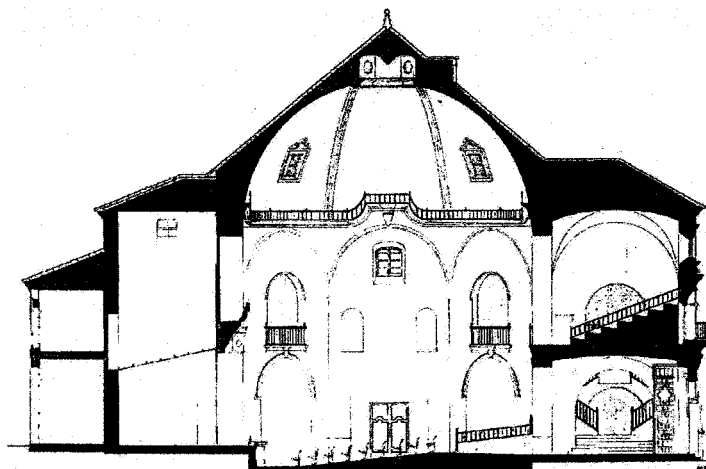


Fig. A9.2. Sección longitudinal del proyecto de restauración.

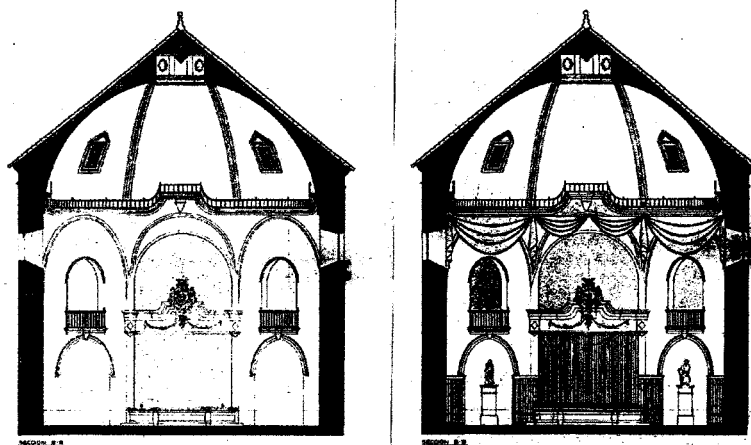


Fig. A9.3. Sección transversal del proyecto de restauración.

■ RELACION DE MEDIDAS, INTERPRETACIÓN Y CONCLUSIONES RELATIVAS A LA ANTIGUA IGLESIA DE SAN JUAN DE DIOS².

Condiciones de las medidas.

Las medidas se hicieron en el local cubierta una quinta parte por restos de materiales de madera y tela, así como una pared derribada, lo cual puede influenciar las medidas, reduciendo algo el tiempo de reverberación y aumentando la inteligibilidad.

Equipo utilizado.

Generador de ruido rosa, amplificador lineal, micrófono y altavoz calibrado, analizador de espectro de 1/3 de octava, analizador gráfico, sonómetro, etc... Todos ellos de las marcas Bruel & Kjør y Hewlett Packard. Todos ellos cedidos por la cátedra de acústica arquitectónica de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla. El proceso de datos se ha hecho en el ordenador de dicha escuela.

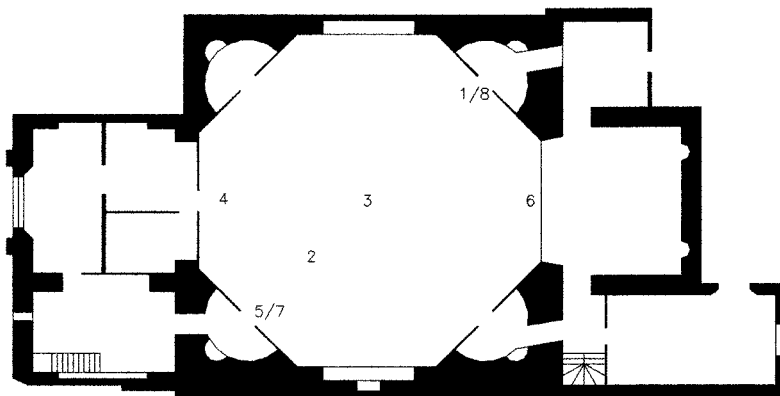
Medidas realizadas.

Tiempo de reverberación.

125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
3.14	2.72	3.07	2.60	2.85	2.40	1.23

Tabla A9.1. Tiempos de reverberación medidos.

Medida de la curva tonal (nivel de presión sonora a distintas frecuencias).



Los puntos 7 y 8 se sitúan en las hornacinas de la planta alta.

Fig. A9.4. Situación de puntos en la medida.

² Se recoge el informe acústico realizado por Mariano Ruz Ortiz, en el año 1982. Extraído de la memoria del proyecto de restauración y adaptación de la iglesia de San Juan de Dios.

Fuente en punto 4.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Blanco	Voz
2	60	71	79	81	79	76	72	78	53
3	60	71	78	80	77	76	71	77	56
5	60	71	78	80	77	76	73	77	56
7	59	70	77	79	76	75	71	76	55
8	55	70	77	80	77	76	70	75	55

Fuente en punto 2.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Blanco	Voz
3	62	72	80	81	79	77	73	78	55
4	64	72	79	81	79	77	73	78	55
7	60	71	77	80	78	77	72	77	53
8	57	69	77	80	77	76	71	77	55

Fuente en punto 3.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	Blanco	Voz
2	61	71	77	81	78	77	73	77	53
5	61	72	79	82	79	77	73	79	55
6	60	70	76	79	76	75	71	76	55
7	60	71	77	80	77	75	71	76	53
8	63	69	77	79	77	76	72	76	55

Tabla A9.2. Nivel de presión sonora medido en dB.

Observamos en ellas la poca variación del SPL al variar las frecuencias.

Medida de la inteligibilidad (o pronunciación) índice 62%.

Interpretación de estas medidas.

Observamos en primer lugar el tiempo de reverberación tan elevado de esta sala. Siendo en cierto modo lógico un tiempo alto para las frecuencias bajas, vemos que es exageradamente alto a frecuencias medias, que son las que determinan la inteligibilidad de la palabra. Habría que esperar una inteligibilidad deficiente a la vista de estos resultados. Al hacer la prueba subjetiva para medir la inteligibilidad confirmamos que es muy deficiente. Teniendo en cuenta que había una pared derribada, hay que esperar al restituirla que la inteligibilidad disminuirá aún más. Vemos así mismo, que el tiempo de reverberación es también alto en los extremos de la banda, lo cual hace que el local sea así mismo inaceptable como auditorio musical.

Conclusiones.

Podemos concluir pues, asegurando que las condiciones acústicas del local son muy deficientes, tanto para la música como para la palabra. Esta deficiencia acústica se debe sin duda a las proporciones y forma geométrica de la sala. Las concavidades, tanto de la cúpula como las de las paredes laterales dificultan aún más la inteligibilidad al crear zonas focales. Esto hace acústicamente hablando inaceptable el local para cualquier actividad donde se precise comunicación oral. Incluso, independiente de la inteligibilidad, la forma de la

curva tonal hace que el local haga experimentar una sensación de molestia aparente sin saber de qué, pero debido sin duda a la acústica.

Las soluciones para tratar de mejorar la acústica de este local no son fáciles en principio. No se trata de resolver ningún problema concreto, sino de tratar por todos los medios de rebajar el tiempo de reverberación, modificando en lo posible la geometría. Habría pues que recubrir la mayor parte de las paredes con materiales absorbentes y sobre todo "interferir" de alguna manera la cúpula. Soluciones por supuesto radicales, que pueden adoptarse de distintas maneras. Ponemos algunas a título orientativo, aunque en la práctica habría que hacer nuevas medidas una vez restituida la pared actualmente derribada.

1. Cubrir la cúpula con un toldo de gran espesor de un material determinado. Esto haría necesario recubrir aproximadamente un tercio de las paredes con material absorbente y tratamiento especial de las tribunas.
2. Recubrir la mayor parte de la superficie interior de madera de distintos grosores según convenga, tratando igualmente las tribunas y colocando en el centro de la cúpula una lámpara de al menos tres metros de diámetro.
3. Dividir el espacio en dos haciendo una entreplanta. Esta solución desde el punto de vista acústico es la más aceptable y los resultados podrían ser óptimos para las dos partes en que queda dividido. El tratamiento acústico en este caso sería relativamente sencillo.
4. Recubrir la mitad aproximadamente de la superficie interior de chapas metálicas perforadas colocadas a unos centímetros de la pared revestidas interiormente con fibra de vidrio. La cúpula en este caso se podría tapizar con una moqueta fina.
5. Recubrir la mayor parte de la superficie interior con cortinajes de gran espesor y con pliegues. La cúpula igualmente tapizada.

Hemos supuesto en todos los casos un suelo cubierto con material medianamente absorbente, como puede ser caucho, tapisón, parquet, etc. Estas soluciones son, repetimos, meramente orientativas, siendo necesario un nuevo estudio una vez restituida la pared y sabiendo la solución orientativa que se escoja, para poder determinar con más precisión la solución definitiva.

▪ ANALISIS ACÚSTICO DEL ESTADO PREVIO. SIMULACIÓN INFORMÁTICA.

Se incorporan en este anexo el modelo geométrico utilizado en el estudio teórico mediante simulación informática del estado previo, así como los resultados obtenidos para los diferentes puntos y frecuencias de diferentes parámetros energéticos (obtenidos con el programa CATT-acoustic) relacionados con la calidad sonora de la sala, como son el nivel de presión sonora, definición, claridad musical y sonoridad, junto con el estudio teórico de las reflexiones mediante los ecogramas, para la banda de octava de 2000 Hz. Estos parámetros se analizan para dos configuraciones espaciales: estado inicial sin el ajuar litúrgico, con disposición de la fuente en el presbiterio y en el coro y estado en el que se encontraba cuando se realizó la medición acústica, previa al proyecto de restauración del arquitecto Arturo Ramírez en el año 1982.

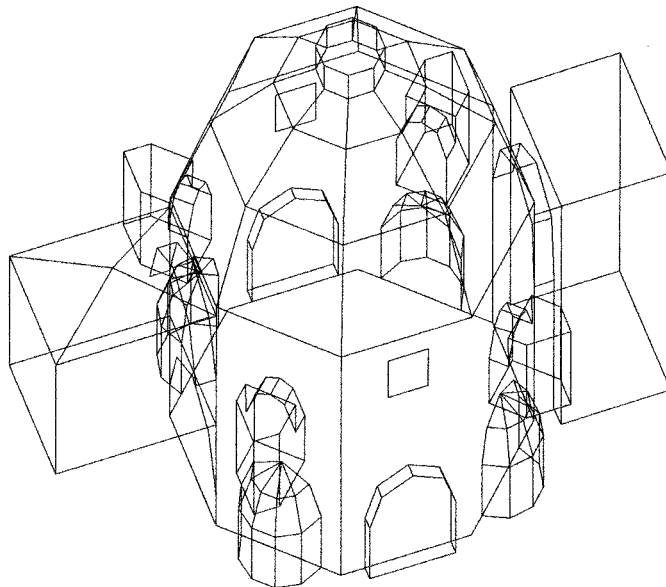
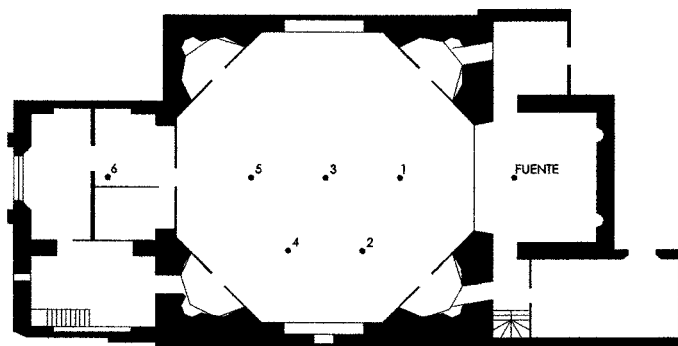


Fig. A9.5. Modelo geométrico para la simulación.



El punto 6 se sitúa en el coro.

Fig. A9.6. Situación de los puntos en la simulación informática.

Nivel de presión sonora.

En las siguientes tablas se indican los niveles de presión sonora, en dB, para cada punto y frecuencia, así como el valor global en cada punto tanto lineal como ponderado y los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. El nivel de emisión de la fuente es de 108.8 dB y se ha considerado ocupado el espacio central con público en bancos en la hipótesis inicial.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
01	81.5	87.6	82.9	78.8	79.1	74.0	90.4	85.9 (A)
02	80.4	86.5	81.8	77.6	77.9	72.7	89.3	84.7 (A)
03	79.9	85.9	81.2	77.0	77.3	71.9	88.7	84.1 (A)
04	79.8	85.9	81.1	76.9	77.2	71.9	88.6	84.1 (A)
05	80.3	86.4	81.6	77.4	77.7	72.3	89.1	84.5 (A)
06	77.1	83.2	78.6	74.3	74.8	69.1	86.0	81.5 (A)
MAX :	81.5	87.6	82.9	78.8	79.1	74.0		
MED :	79.8	85.9	81.2	77.0	77.3	72.0		
MIN :	77.1	83.2	78.6	74.3	74.8	69.1		

Tabla A9.3. Nivel de presión sonora. Simulación de la medición.. Vacío.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
01	81.6	87.7	82.7	78.5	78.7	73.7	90.4	85.7 (A)
02	80.9	86.9	82.0	77.6	77.9	72.7	89.6	84.9 (A)
03	80.2	86.1	81.1	76.7	76.9	71.6	88.8	84.0 (A)
04	80.2	86.2	81.2	76.8	77.1	71.8	88.8	84.1 (A)
05	80.6	86.6	81.6	77.2	77.4	72.1	89.2	84.5 (A)
06	77.3	83.4	78.6	74.2	74.6	69.0	86.1	81.5 (A)
MAX :	81.6	87.7	82.7	78.5	78.7	73.7		
MED :	80.2	86.1	81.2	76.8	77.1	71.8		
MIN :	77.3	83.4	78.6	74.2	74.6	69.0		

Tabla A9.4. Nivel de presión sonora. Inicial fuente en presbiterio.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
01	79.2	85.2	80.1	75.4	75.8	69.9	87.7	82.9 (A)
02	79.3	85.2	80.1	75.3	75.8	69.8	87.8	82.9 (A)
03	79.9	85.9	80.8	76.2	76.7	70.9	88.5	83.7 (A)
04	79.4	85.3	80.3	75.5	76.0	70.1	87.9	83.1 (A)
05	80.0	86.0	81.0	76.3	76.8	71.0	88.6	83.8 (A)
MAX :	80.0	86.0	81.0	76.3	76.8	71.0		
MED :	79.6	85.5	80.4	75.7	76.2	70.4		
MIN :	79.2	85.2	80.1	75.3	75.8	69.8		

Tabla A9.5. Nivel de presión sonora. Inicial fuente en coro.

Definición.

En las siguientes tablas se indican los valores, en porcentaje, de definición para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupado el espacio central con público en bancos.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	31.7	32.7	34.2	37.1	35.9	42.7	33.6
02	18.8	19.5	20.5	22.6	21.7	26.4	20.1
03	19.9	20.8	22.0	24.6	23.4	29.3	21.5
04	20.6	21.4	22.2	24.2	23.0	27.9	21.8
05	24.7	25.6	27.0	29.7	28.5	34.3	26.3
06	10.1	10.2	10.5	11.6	10.7	13.1	10.4
MAX :	31.7	32.7	34.2	37.1	35.9	42.7	
MED :	21.0	21.7	22.7	25.0	23.9	28.9	
MIN :	10.1	10.2	10.5	11.6	10.7	13.1	

Tabla A9.6. Definición. Inicial fuente en presbiterio.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	8.6	9.1	10.1	12.0	11.2	15.4	9.6
02	4.6	4.8	5.3	6.3	5.9	8.1	5.1
03	6.1	6.6	7.5	9.0	8.6	11.6	7.1
04	4.9	5.2	5.7	6.7	6.1	8.4	5.5
05	11.7	12.6	14.0	16.7	15.7	21.6	13.3
MAX :	11.7	12.6	14.0	16.7	15.7	21.6	
MED :	7.2	7.7	8.5	10.2	9.5	13.0	
MIN :	4.6	4.8	5.3	6.3	5.9	8.1	

Tabla A9.7. Definición. Inicial fuente en coro.

Claridad musical.

En las tablas siguientes se indican los valores, en decibelios, de claridad musical (C_{80}) para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupado el espacio central con público en bancos.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	-2.3	-2.0	-1.7	-1.1	-1.3	0.0	-1.8
02	-3.9	-3.7	-3.4	-2.8	-3.0	-1.9	-3.5
03	-5.1	-4.9	-4.5	-3.9	-4.2	-2.9	-4.7
04	-3.8	-3.6	-3.3	-2.8	-3.0	-1.9	-3.5
05	-3.8	-3.6	-3.3	-2.7	-3.0	-1.8	-3.4
06	-6.0	-5.9	-5.8	-5.3	-5.6	-4.7	-5.8
MAX :	-2.3	-2.0	-1.7	-1.1	-1.3	0.0	
MED :	-4.1	-3.9	-3.7	-3.1	-3.4	-2.2	
MIN :	-6.0	-5.9	-5.8	-5.3	-5.6	-4.7	

Tabla A9.8. Claridad (C_{80}). Inicial fuente en presbiterio.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	-7.0	-6.7	-6.2	-5.3	-5.7	-4.1	-6.4
02	-9.4	-9.2	-8.8	-8.0	-8.3	-6.8	-9.0
03	-8.7	-8.3	-7.8	-6.9	-7.2	-5.8	-8.0
04	-9.5	-9.2	-8.8	-8.0	-8.4	-6.9	-9.0
05	-7.8	-7.4	-6.9	-6.0	-6.3	-4.7	-7.1
MAX :	-7.0	-6.7	-6.2	-5.3	-5.7	-4.1	
MED :	-8.5	-8.2	-7.7	-6.9	-7.2	-5.6	
MIN :	-9.5	-9.2	-8.8	-8.0	-8.4	-6.9	

Tabla A9.9. Claridad (C_{80}). Inicial fuente en coro.

Sonoridad.

En las tablas A9.10 y A9.11 se indican los valores, en decibelios, de la sonoridad de la iglesia para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia, considerando la iglesia vacía.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	12.7	12.6	12.5	12.2	12.4	11.6	12.5
02	11.6	11.5	11.4	11.0	11.3	10.3	11.4
03	11.1	10.9	10.8	10.4	10.6	9.5	10.8
04	11.0	10.9	10.7	10.3	10.6	9.5	10.8
05	11.5	11.4	11.2	10.8	11.0	9.9	11.3
06	8.3	8.2	8.2	7.7	8.1	6.8	8.1
MAX :	12.7	12.6	12.5	12.2	12.4	11.6	
MED :	11.0	10.9	10.8	10.4	10.7	9.6	
MIN :	8.3	8.2	8.2	7.7	8.1	6.8	

Tabla A9.10. Sonoridad (G_{10}). Simulación medición.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	12.8	12.7	12.3	11.9	12.0	11.3	12.5
02	12.1	11.9	11.6	11.0	11.3	10.4	11.7
03	11.4	11.1	10.7	10.1	10.3	9.3	10.9
04	11.4	11.2	10.8	10.2	10.4	9.5	11.0
05	11.8	11.6	11.2	10.6	10.8	9.8	11.4
06	8.5	8.4	8.2	7.6	8.0	6.6	8.3
MAX :	12.8	12.7	12.3	11.9	12.0	11.3	
MED :	11.4	11.1	10.8	10.2	10.5	9.5	
MIN :	8.5	8.4	8.2	7.6	8.0	6.6	

Tabla A9.11. Sonoridad (G_{10}). Inicial fuente en presbiterio.

Ecogramas.

Se adjuntan los ecogramas para la banda de octava de 2000 Hz, que relacionan el nivel de presión sonora y el retardo en ms de cada reflexión, para los diferentes puntos establecidos.

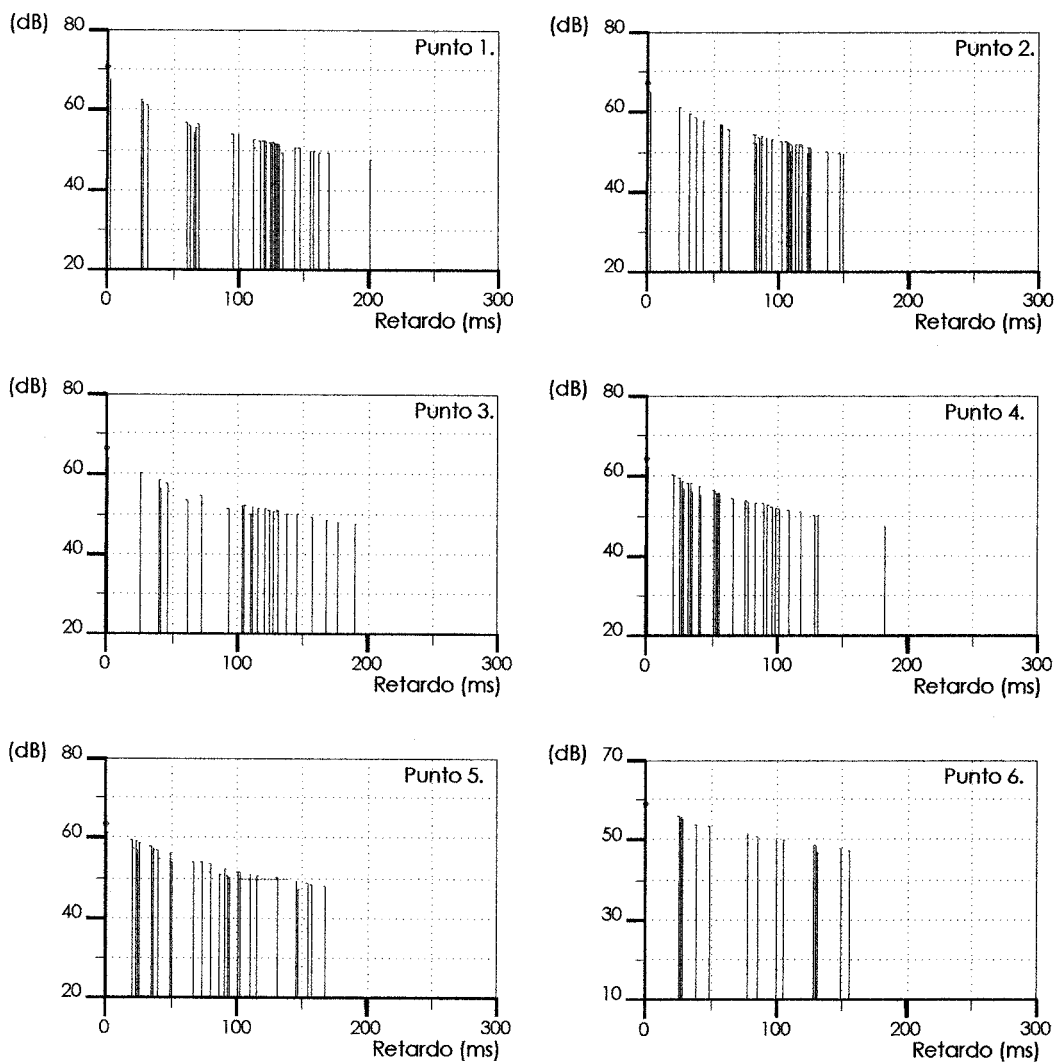


Figura A9.7. Acústica geométrica estado inicial. Fuente en presbiterio. 2000 Hz.

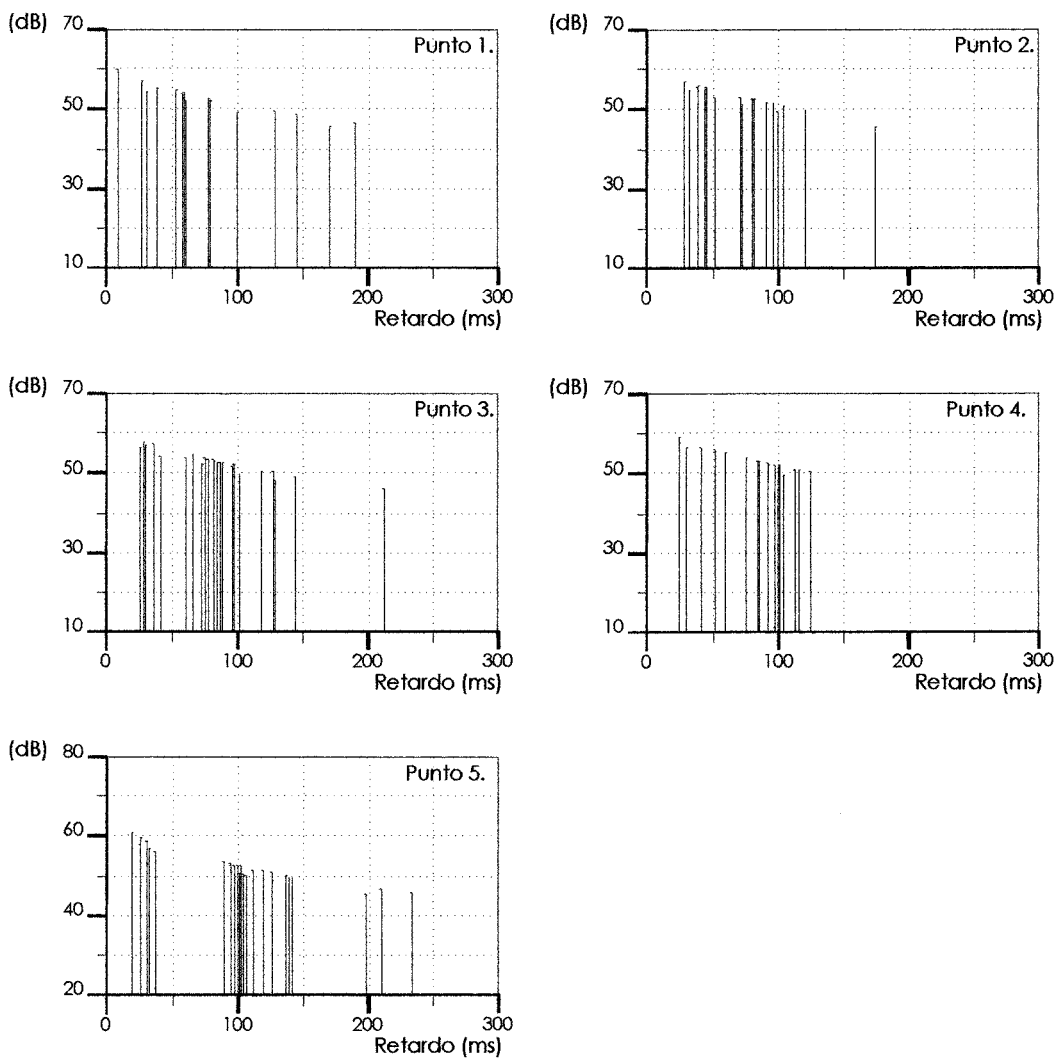


Figura A9.8. Acústica geométrica estado inicial. Fuente en coro. 2000 Hz.

▪ **PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.**

Se adjunta el modelo geométrico utilizado en la simulación informática para la propuesta de intervención, así como los resultados obtenidos del estudio teórico de parámetros acústicos analizados anteriormente, en las diferentes hipótesis de distribución de los baffles: baffles recogidos, baffles en el primer tercio del cuerpo central y baffles totalmente desplegados. La fuente se sitúa en el presbiterio y la situación de los diferentes puntos es la misma que se ha considerado anteriormente.

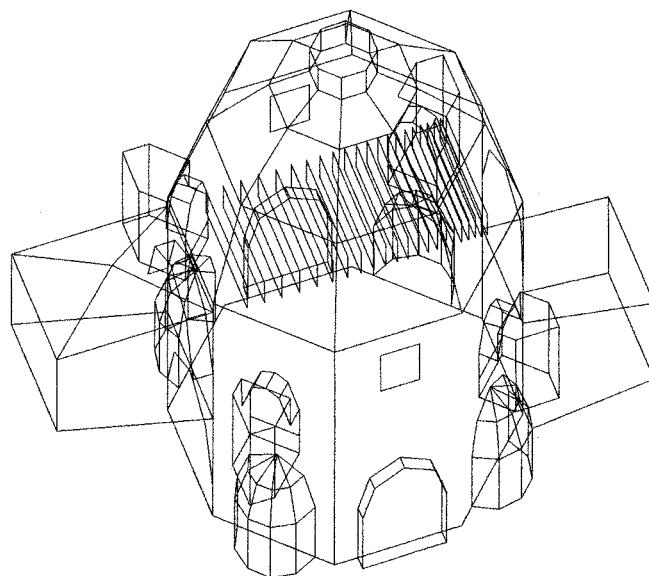


Fig. A9.9. Modelo geométrico para la simulación. Propuesta.

Nivel de presión sonora.

En las siguientes tablas se indican los niveles de presión sonora en dB para cada punto y frecuencia, así como el valor global en cada punto, tanto lineal como ponderado, y los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. El nivel de emisión de la fuente es de 108.8 dB y se ha considerado ocupado el espacio central con público en sillas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado	
01	81.2	87.0	82.4	78.7	78.9	74.1	90.0	85.6	(A)
02	79.4	85.2	80.5	76.7	76.8	72.3	88.1	83.7	(A)
03	79.0	84.6	79.8	75.9	75.9	71.2	87.4	82.9	(A)
04	78.4	83.9	79.2	75.4	75.7	70.9	86.9	82.4	(A)
05	78.7	84.3	79.5	75.0	75.7	70.8	87.1	82.5	(A)
06	74.8	80.4	75.7	71.7	71.4	66.0	83.2	78.6	(A)
MAX :	81.2	87.0	82.4	78.7	78.9	74.1			
MED :	78.6	84.2	79.5	75.6	75.7	70.9			
MIN :	74.8	80.4	75.7	71.7	71.4	66.0			

Tabla A9.12. Nivel de presión sonora. Baffles recogidos.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
01	80.9	87.0	82.3	78.3	78.4	74.0	89.8	85.4 (A)
02	79.1	84.8	80.1	76.2	76.4	71.6	87.7	83.2 (A)
03	78.7	84.4	79.1	75.0	75.3	70.5	87.1	82.3 (A)
04	78.2	83.6	78.7	74.8	74.9	70.4	86.4	81.9 (A)
05	78.7	84.0	78.8	74.9	75.2	70.1	86.7	82.0 (A)
06	74.6	79.9	75.3	71.3	70.8	65.7	82.8	78.1 (A)
MAX :	80.9	87.0	82.3	78.3	78.4	74.0		
MED :	78.4	83.9	79.0	75.1	75.2	70.4		
MIN :	74.6	79.9	75.3	71.3	70.8	65.7		

Tabla A9.13. Nivel presión sonora. 1/3 bafles desplegados.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Lineal	Ponderado
01	80.7	86.5	81.5	77.5	77.9	73.4	89.3	84.7 (A)
02	78.9	84.6	79.4	75.4	75.8	71.5	87.3	82.7 (A)
03	78.4	83.9	78.1	74.2	74.6	69.8	86.5	81.5 (A)
04	78.0	83.3	78.0	73.9	74.4	69.7	86.0	81.3 (A)
05	78.3	83.7	78.2	73.7	74.1	69.7	86.3	81.3 (A)
06	74.4	79.4	74.7	71.0	71.1	65.3	82.4	77.8 (A)
MAX :	80.7	86.5	81.5	77.5	77.9	73.4		
MED :	78.1	83.6	78.3	74.3	74.6	69.9		
MIN :	74.4	79.4	74.7	71.0	71.1	65.3		

Tabla A9.14. Nivel presión sonora. Bafles desplegados.

Definición.

Se adjuntan los valores, en porcentaje, de definición para cada frecuencia y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupado el espacio central con público en sillas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	49.7	50.8	50.7	55.0	49.9	55.0	51.0
02	35.5	36.5	36.6	36.4	34.4	38.2	36.3
03	29.5	31.6	29.3	27.4	27.4	32.9	30.3
04	26.1	28.9	28.0	27.9	24.7	33.0	28.1
05	27.5	30.8	29.6	32.4	32.2	34.8	30.4
06	18.1	21.0	25.2	22.4	24.3	32.1	21.8
MAX :	49.7	50.8	50.7	55.0	49.9	55.0	
MED :	31.1	33.3	33.2	33.6	32.2	37.7	
MIN :	18.1	21.0	25.2	22.4	24.3	32.1	

Tabla A9.15. Definición. Bafles recogidos.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	52.3	53.4	54.3	56.6	55.2	58.7	53.9
02	32.5	38.1	41.1	39.6	39.1	43.5	38.2
03	29.6	35.4	34.0	31.5	34.1	40.4	34.1
04	27.2	29.1	32.0	32.0	29.2	33.9	29.6
05	28.7	32.5	35.1	36.4	37.9	37.2	33.1
06	19.6	22.3	24.3	23.4	26.5	26.4	22.7
MAX :	52.3	53.4	54.3	56.6	55.2	58.7	
MED :	31.6	35.1	36.8	36.6	37.0	40.0	
MIN :	19.6	22.3	24.3	23.4	26.5	26.4	

Tabla A9.16. Definición. 1/3 bafles desplegados.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	55.4	59.4	60.7	63.4	63.1	63.4	59.7
02	35.8	47.7	47.0	49.7	45.8	48.4	45.9
03	32.1	36.3	40.4	40.6	39.5	40.7	36.8
04	28.9	33.3	38.8	37.9	36.5	35.1	34.0
05	30.6	34.9	39.6	43.3	42.4	44.4	36.1
06	22.7	25.2	28.5	27.3	30.2	32.8	26.0
MAX :	55.4	59.4	60.7	63.4	63.1	63.4	
MED :	34.3	39.5	42.5	43.7	42.9	44.2	
MIN :	22.7	25.2	28.5	27.3	30.2	32.8	

Tabla A9.17. Definición. Bafles desplegados.

Claridad musical.

En las siguientes tablas se indican los valores, en decibelios, de claridad musical (C_{80}) para cada una de las frecuencias y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia. Se ha considerado ocupado el espacio central con público en sillas.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	1.1	1.2	1.6	2.2	1.8	2.8	1.4
02	-1.0	-1.1	-0.9	-1.0	-1.0	0.1	-1.0
03	-3.0	-2.6	-2.7	-3.1	-2.8	-1.9	-2.7
04	-3.2	-2.6	-2.1	-2.3	-2.4	-0.8	-2.5
05	-3.2	-2.6	-2.5	-2.5	-2.3	-1.2	-2.6
06	-3.9	-2.5	-2.4	-1.5	-1.2	0.1	-2.5
MAX :	1.1	1.2	1.6	2.2	1.8	2.8	
MED :	-2.2	-1.7	-1.5	-1.4	-1.3	-0.1	
MIN :	-3.9	-2.6	-2.7	-3.1	-2.8	-1.9	

Tabla A9.18. Claridad (C_{80}). Bafles recogidos.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	1.6	2.1	2.4	2.8	2.6	3.8	2.2
02	-1.5	-0.4	0.2	-0.2	0.2	0.9	-0.3
03	-2.8	-1.5	-2.0	-1.9	-1.5	-0.6	-1.8
04	-2.7	-2.1	-0.9	-1.1	-1.4	-0.6	-1.8
05	-2.7	-1.5	-1.5	-1.4	-1.1	-0.7	-1.6
06	-3.4	-1.9	-1.2	-1.5	-1.3	0.1	-1.9
MAX :	1.6	2.1	2.4	2.8	2.6	3.8	
MED :	-1.9	-0.9	-0.5	-0.5	-0.4	0.5	
MIN :	-3.4	-2.1	-2.0	-1.9	-1.5	-0.7	

Tabla A9.19. Claridad (C_{80}). 1/3 baffles desplegados.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	2.4	3.0	3.9	4.4	4.3	4.9	3.3
02	-0.8	1.2	1.5	1.8	1.5	2.4	1.1
03	-2.2	-1.3	-0.6	-0.4	-0.4	0.2	-1.2
04	-2.3	-1.4	0.0	-0.2	0.2	0.8	-1.1
05	-2.4	-1.2	-0.1	0.3	-0.0	0.9	-1.0
06	-1.9	-1.5	-0.3	-0.6	-0.1	0.7	-1.2
MAX :	2.4	3.0	3.9	4.4	4.3	4.9	
MED :	-1.2	-0.2	0.7	0.9	0.9	1.7	
MIN :	-2.4	-1.5	-0.6	-0.6	-0.4	0.2	

Tabla A9.20. Claridad (C_{80}). Baffles desplegados.

Sonoridad.

En las tablas A2.20 y A2.21 se indican los valores, en decibelios, de la sonoridad de la iglesia para cada una de las frecuencias, y su valor global en cada punto, así como los valores medio, máximo y mínimo por frecuencia, considerando la iglesia vacía.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	12.7	12.9	13.6	13.8	13.4	12.7	13.1
02	11.2	11.1	12.0	12.3	11.7	11.1	11.4
03	11.0	11.1	11.6	11.7	11.0	10.0	11.2
04	10.5	10.3	11.2	11.6	10.9	9.8	10.6
05	11.0	10.7	11.5	11.2	10.8	9.7	10.9
06	8.6	8.3	9.5	9.5	8.2	6.5	8.6
MAX :	12.7	12.9	13.6	13.8	13.4	12.7	
MED :	10.8	10.7	11.6	11.7	11.0	10.0	
MIN :	8.6	8.3	9.5	9.5	8.2	6.5	

Tabla A9.21. Sonoridad (G_{10}). Baffles recogidos.

Punto	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1kHz	2kHz	4kHz	Global
01	12.7	12.9	13.1	13.0	12.6	12.4	12.9
02	11.1	10.9	11.3	11.5	10.9	10.4	11.0
03	10.7	10.6	10.8	11.1	10.2	9.3	10.6
04	10.2	9.8	10.4	10.5	10.0	9.3	10.0
05	10.6	10.4	10.2	10.5	9.8	8.9	10.3
06	8.4	7.9	8.9	8.8	7.5	5.9	8.2
MAX :	12.7	12.9	13.1	13.0	12.6	12.4	
MED :	10.6	10.4	10.8	10.9	10.2	9.4	
MIN :	8.4	7.9	8.9	8.8	7.5	5.9	

Tabla A9.22. Sonoridad (G_{10}). 1/3 baffles desplegados.

Ecogramas.

Se adjuntan, para cada disposición de baffles, los ecogramas para la banda de octava de 2000 Hz, en los puntos más representativos de la iglesia.

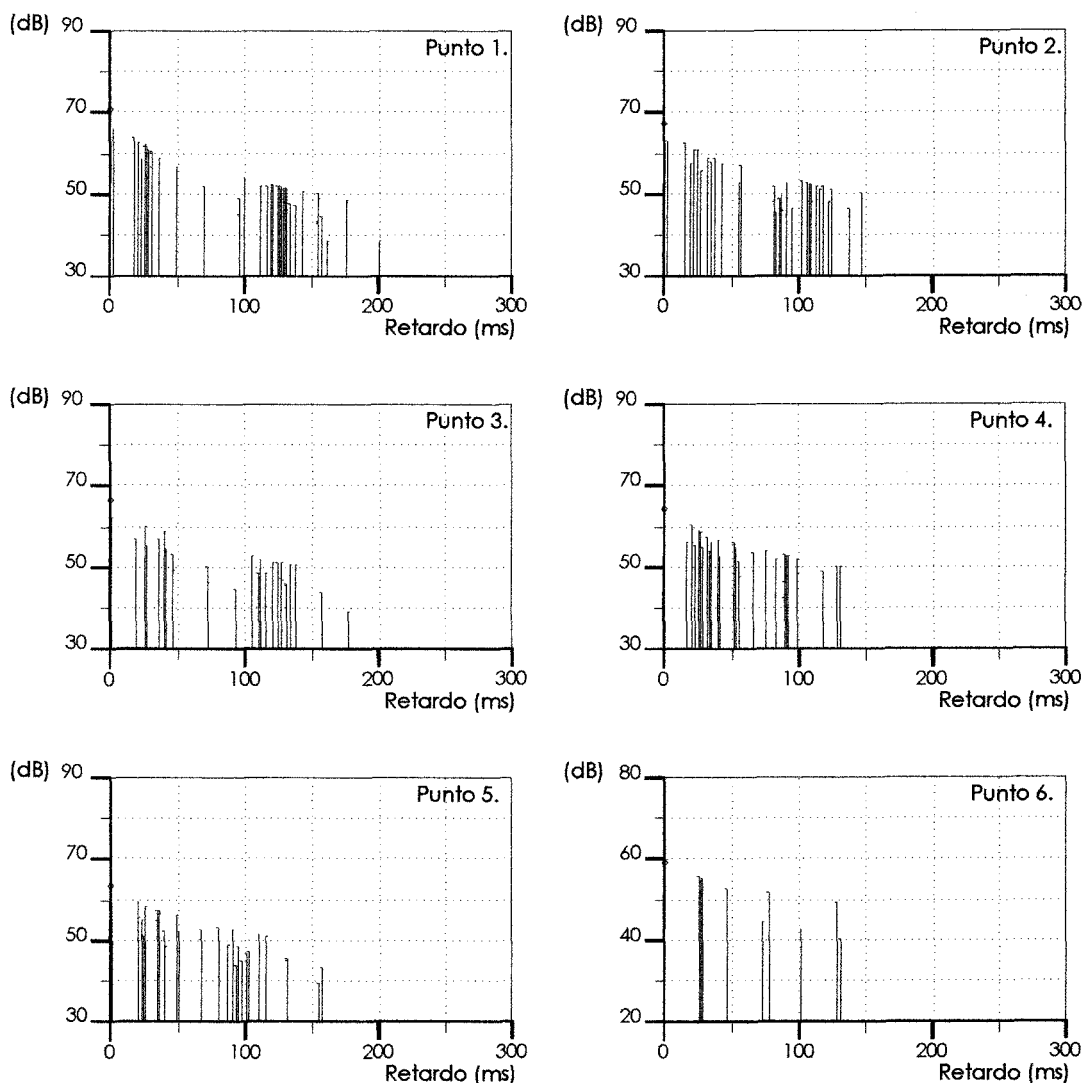


Figura A9.10. Acústica geométrica 2000 Hz. Propuesta baffles recogidos.

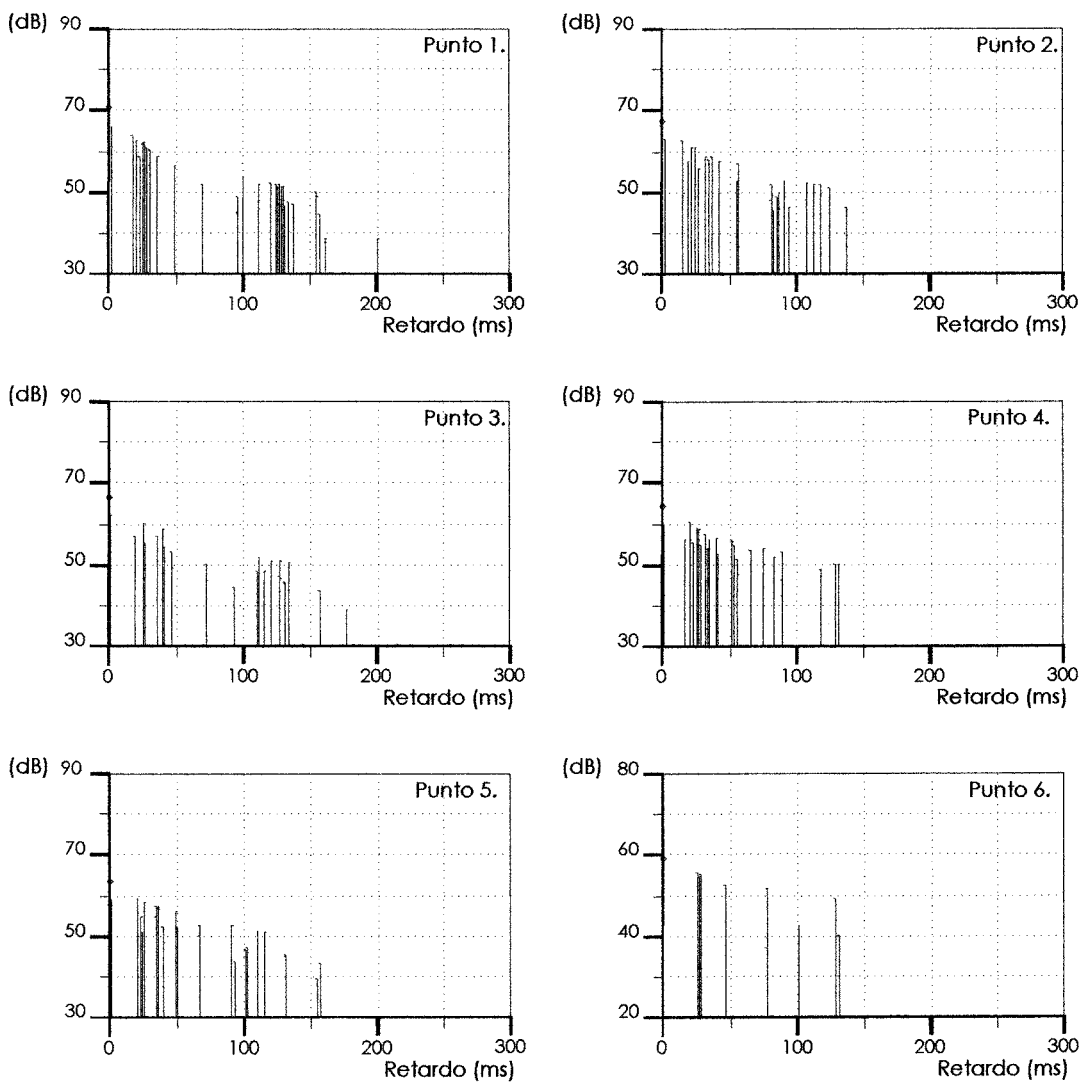


Figura A9.11. Acústica geométrica 2000 Hz. Propuesta con 1/3 de bafles.

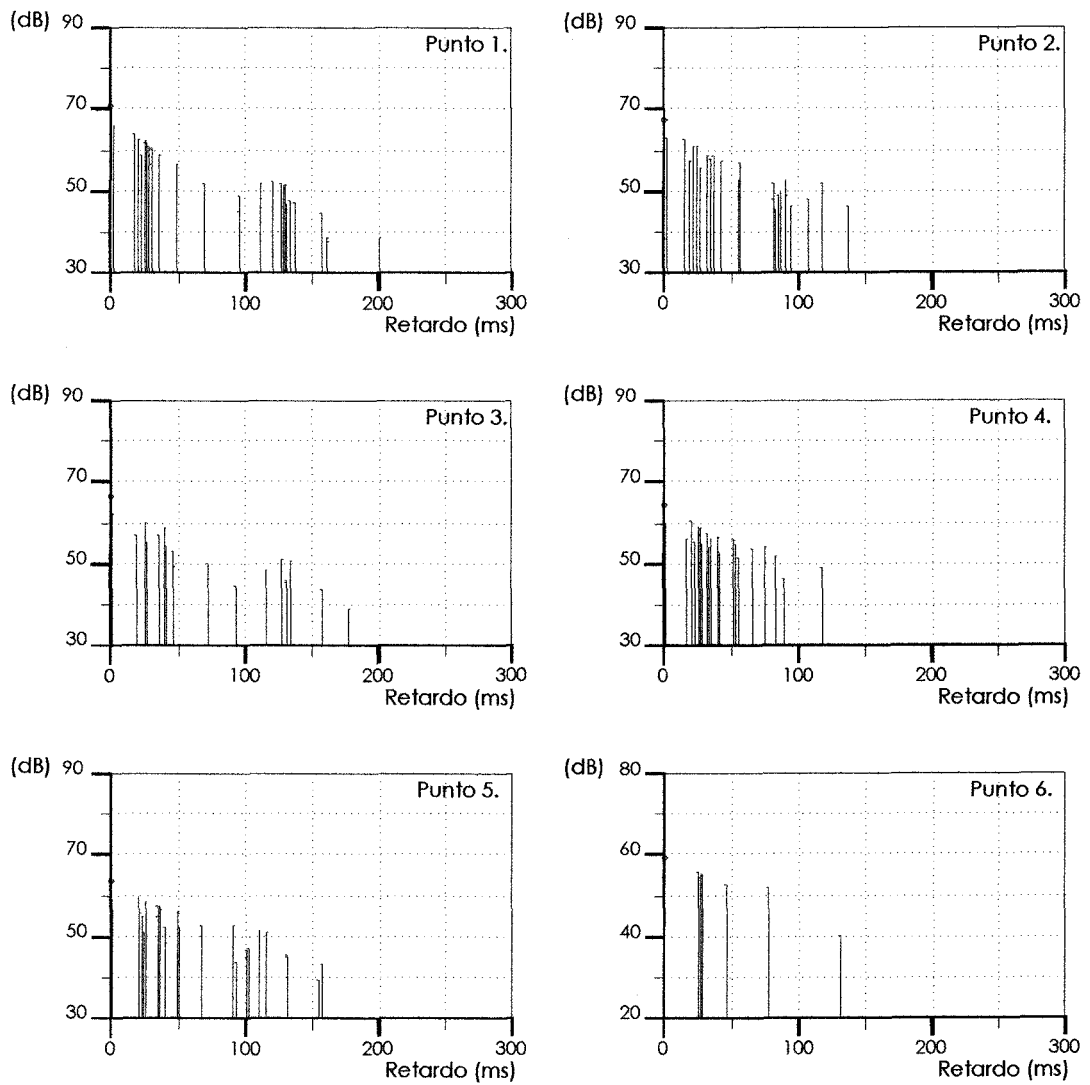


Figura A9.12. Acústica geométrica 2000 Hz. Propuesta con bafles.

▪ RESUMEN DE REFLEXIONES Y DE PARÁMETROS ACÚSTICOS.

Se cuantifican las principales reflexiones obtenidas del estudio teórico mediante el modelo informático, tanto para el estado inicial como para la propuesta de intervención. Se determinan las reflexiones que llegan al punto en un intervalo inferior a 100 ms y el total de reflexiones, así como las reflexiones en las superficies más significativas. Se completa el cuadro con la cuantificación del retardo de tiempo que existe entre la primera reflexión respecto del sonido directo (ITDG), valor que se relaciona con la intimidad acústica.

	PTO.	ESTADO INICIAL.		PROPUESTA DE INTERVENCIÓN.		
		FTE PRESBITERIO	FUENTE CORO	SIN BAFLES	1/3 BAFLES.	CON BAFLES
Reflexiones < 100 ms /total reflexiones.	P1	18/65	16/21	24/70	24/60	24/45
	P2	14/39	15/18	25/41	25/33	25/29
	P3	23/39	27/35	15/40	15/33	15/25
	P4	32/39	12/17	32/37	27/31	28/29
	P5	31/46	21/34	32/45	31/43	27/39
	P6	12/14		13/16	10/12	11/12
Reflexiones presbiterio.	P1	13/13	3/7	7/7	7/7	7/7
	P2	2/2	0/0	6/6	6/6	6/6
	P3	7/7	1/5	2/2	2/2	2/2
	P4	5/5	0/0	7/7	7/7	7/7
	P5	3/3	2/8	4/4	4/4	4/4
Reflexiones fondo	P1	0/11	0/0	2/6	2/6	2/6
	P2	0/7	0/0	3/3	3/3	3/3
	P3	4/7	0/0	2/6	2/6	2/6
	P4	8/8	0/0	0/0	0/0	0/0
	P5	0/2	0/0	2/6	2/6	2/6
Reflexiones cúpula	P1	0/32	5/6	0/34	0/24	0/11
	P2	0/16	8/10	0/13	0/5	0/1
	P3	0/13	16/20	0/19	0/12	0/4
	P4	4/9	7/13	0/4	0/3	0/0
	P5	5/11	12/17	0/3	0/2	0/2
	P6	9/11		2/4	0/0	0/0
Reflexiones exedras	P1	0/4	0/0	0/6	0/6	0/6
	P2	0/2	0/0	7/8	7/8	7/8
	P3	7/8	0/0	0/2	0/2	0/2
	P4	8/9	0/0	8/9	8/9	8/9
	P5	6/8	0/0	6/9	6/9	6/9
Reflexiones coro	P1		7/7			
	P2		7/7			
	P3		8/8			
	P4		5/5			
	P5		7/7			
ITDG ms	P1	25.8	27.1	17.1	17.1	17.1
	P2	25.9	28.5	14.6	14.6	14.6
	P3	24.5	25.9	18.8	18.8	18.8
	P4	20.2	24.5	16.8	16.8	16.8
	P5	20.1	19.4	20.1	20.1	20.1

Tabla A9.23. Resumen de reflexiones.

Se adjunta un resumen comparativo de los principales parámetros acústicos en las diferentes hipótesis consideradas, tanto en el estado inicial, como en la propuesta de intervención para las diferentes disposiciones de los baffles.

Tiempo de reverberación.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	Tr med
Estado previo							
Medido vacío	3.14	2.72	3.07	2.60	2.85	2.40	2.80
Simulación vacío	4.12	3.92	3.70	3.24	2.96	2.10	3.34
Inicial público bancos	4.58	4.20	3.69	3.09	2.80	1.86	3.37
Propuesta. Público sillas							
Baffles recogidos	2.51	2.20	2.20	2.22	2.00	1.48	2.10
1/3 baffles desplegados	2.35	2.00	1.71	1.65	1.53	1.20	1.74
Baffles desplegados	2.12	1.73	1.23	1.14	1.12	0.95	1.38
Óptimos							
Música	2.60	2.14	1.86	1.86	1.86	1.86	2.03
Palabra	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05

Tabla A9.24. Resumen de tiempo de reverberación (segundos).

Nivel de presión sonora.

	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Estado inicial. Público en bancos.						
Fuente presbiterio	80.2	86.1	81.2	76.8	77.1	71.8
Fuente en coro.	79.6	85.5	80.4	75.7	76.2	70.4
Propuesta. Público en sillas.						
Baffles recogidos	78.6	84.2	79.5	75.6	75.7	70.9
1/3 baffles desplegados	78.4	83.9	79.0	75.1	75.2	70.4
Baffles desplegados	78.1	83.6	78.3	74.3	74.6	69.9

Tabla A9.25. Resumen de niveles de presión sonora. Valores medios (dB).

RASTI.

	1	2	3	4	5	Med
Estado inicial. Público en bancos.						
Fuente presbiterio	0.44	0.39	0.38	0.42	0.43	0.41
Fuente en coro.	0.29	0.30	0.31	0.28	0.32	0.30
Propuesta. Público en sillas.						
Baffles recogidos	0.51	0.44	0.38	0.39	0.42	0.43
1/3 baffles desplegados	0.54	0.47	0.42	0.43	0.45	0.46
Baffles desplegados	0.59	0.51	0.46	0.47	0.49	0.50

Tabla A9.26. Resumen RASTI.

Definición. Valores globales (%). Valor óptimo D>50%

	1	2	3	4	5	Med
Estado inicial. Público en bancos.						
Fuente presbiterio	33.6	20.1	21.5	21.8	26.3	24.6
Fuente en coro.	9.6	5.1	7.1	5.5	13.3	8.1
Propuesta. Público en sillas.						
Baffles recogidos	51.0	36.3	30.3	28.1	30.4	35.2
1/3 baffles desplegados	53.9	38.2	34.1	29.6	33.1	37.7
Baffles desplegados	59.7	45.9	36.8	34.0	36.1	42.5

Tabla A9.27. Resumen valores de definición.

Claridad musical. Iglesia ocupada. Valores óptimos $-2 \leq C_{80} \leq +2$ dB

	1	2	3	4	5	Med
Estado inicial. Público en bancos.						
Fuente presbiterio	-1.8	-3.5	-4.7	-3.5	-3.4	-3.3
Fuente en coro.	-6.4	-9.0	-8.0	-9.0	-7.1	-7.9
Propuesta. Público en sillas.						
Baffles recogidos	1.4	-1.0	-2.7	-2.5	-2.6	-1.4
1/3 baffles desplegados	2.2	-0.3	-1.8	-1.8	-1.6	-0.6
Baffles desplegados	3.3	1.1	-1.2	-1.1	-1.0	0.2

Tabla A9.28. Resumen valores de claridad musical.

Otros parámetros.

	Volumen (m ³)	Ocupación	m ³ / plaza	Volumen/área audiencia.
Estado inicial	4631	300	15.4	22.7
Propuesta	4388	344+45(coro)	11.2	17.9
Rango óptimo			5.1-9.1	9.2-12.0

Tabla A9.29. Resumen otros parámetros.

Apéndice 10.**COEFICIENTES DE ABSORCIÓN.**

Se recopilan los coeficientes de absorción de los materiales más usuales en las iglesias, así como una selección de materiales que se pueden emplear adecuadamente en la intervención acústica sobre estos espacios. Estos coeficientes se han obtenido de la bibliografía clásica consultada y de mediciones acústicas realizadas in situ.

No obstante, estos valores se deben emplear siempre con cierta prevención, pues se pueden alterar estos valores en su utilización práctica debido al tamaño de la sala, emplazamiento relativo con la fuente sonora (ángulo de incidencia, especialmente significativo en los materiales porosos), dimensión del material y su situación.

▪ **SUPERFICIES DELIMITADORAS DE IGLESIAS.**

Se adjuntan los coeficientes de absorción de los materiales más usuales existentes en las iglesias.

FUENTE	MATERIAL	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
	SUELO						
P. Miñana	Mármol	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01
H. Arau	Suelo cerámico	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Egan	Suelo ladrillo	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07
P. Miñana	Entarimado de madera	0.09	0.09	0.08	0.08	0.10	0.07
Knudsen	Moqueta 10 mm	0.09	0.08	0.21	0.26	0.27	0.37
V. Mestre	Alfombra	0.10	0.20	0.25	0.35	0.30	0.30
	PARED						
A. Carrión	Enlucido de pared	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05
P. Miñana	Enlucido rugoso de cemento	0.02	0.02	0.06	0.08	0.04	0.05
P. Miñana	Revoque de cal	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.07
Egan	Ladrillo	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.07
IUCC	Madera	0.16	0.16	0.13	0.10	0.06	0.05
IUCC	Piedra arenisca	0.02	0.02	0.06	0.08	0.04	0.05
R. Suárez	Piedra decorada. Catedral de Córdoba	0.05	0.07	0.03	0.04	0.08	0.15
P. Miñana	Tapices	0.05	0.12	0.35	0.45	0.38	0.36
IUCC	Hueco capillas	0.15	0.20	0.25	0.25	0.30	0.30
P. Miñana	Lienzos. Asimilación con tela de terciopelo pesada.	0.05	0.12	0.35	0.45	0.38	0.36
R. Suárez	Sillería coro Catedral Córdoba	0.16	0.16	0.13	0.13	0.22	0.25
R. Suárez	Superficie virtual arcos mezquita. Capilla Villaviciosa.	0.29	0.29	0.21	0.24	0.32	0.34
R. Suárez	Superficie virtual arcos mezquita. Catedral Córdoba.	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
R. Suárez	Superficie virtual camarín alto. San Pedro. Priego	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
R. Suárez	Superficie virtual Capilla Soledad. San Pedro. Priego	0.46	0.58	0.68	0.70	0.70	0.72

	TECHO						
IUCC	Bóvedas escayola	0.05	0.06	0.07	0.09	0.07	0.08
IUCC	Falso techo escayola	0.20	0.15	0.10	0.05	0.05	0.05
H. Arau	Madera barnizada sobre vigas	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07
R. Suárez	Falso techo duelas madera. Sta. María de la Mota, Montoro	0.23	0.20	0.18	0.18	0.28	0.25
H. Arau	Falso techo de madera 10-13 mm y cámara 50-100 mm.	0.30	0.25	0.20	0.17	0.13	0.10
H. Arau	Falso techo madera con gran cámara de aire	0.40	0.30	0.20	0.17	0.15	0.10
IUCC	Cubierta madera mudéjar	0.33	0.30	0.25	0.22	0.20	0.21

Tabla A10.1. Características absorbentes de superficies delimitadoras en iglesias.

▪ ASIENTOS.

La absorción sonora del público aumenta en relación directa con la superficie que ocupan, independientemente del número de personas que se encuentren en dicha superficie, siempre que el espacio ocupado por cada silla se encuentre entre 0.45 y 0.79 m².

La superficie acústica efectiva, ocupada por el área de audiencia, será la superficie real ocupada por la misma mas la superficie de las bandas perimetrales de 0.5 m de anchura de cada lado.

La absorción sonora de las sillas, tanto vacías como ocupadas, aumenta con el porcentaje de superficie tapizada, especialmente a bajas frecuencias.

FUENTE	MATERIAL	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
L Beranek	Silla con un alto porcentaje de superficie tapizada	0.72	0.79	0.83	0.84	0.83	0.79
L Beranek	Silla con un porcentaje medio de superficie tapizada	0.56	0.64	0.70	0.72	0.68	0.62
L Beranek	Silla con un bajo porcentaje de superficie tapizada	0.35	0.45	0.57	0.61	0.59	0.55
L Beranek	Silla ocupada con un alto porcentaje de superficie tapizada	0.76	0.83	0.88	0.91	0.91	0.89
L Beranek	Silla ocupada con un porcentaje medio de superficie tapizada	0.68	0.75	0.82	0.85	0.86	0.86
L Beranek	Silla ocupada con un bajo porcentaje de superficie tapizada	0.56	0.68	0.79	0.83	0.86	0.86
IUCC	Sillas ocupada	0.24	0.32	0.51	0.60	0.59	0.56
IUCC	Silla de plástico vacía.	0.09	0.11	0.11	0.15	0.23	0.23
R. Suárez	Silla plástico vacía sobre moqueta. Iglesia Magdalena.	0.09	0.09	0.09	0.14	0.27	0.27
IUCC	Banco de madera vacío.	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.10
IUCC	Banco de madera ocupado	0.23	0.31	0.40	0.45	0.45	0.40
IUCC	Público de pie	0.47	0.70	0.86	0.90	0.93	0.79
Kuttruff	Orquesta	0.60	0.74	0.88	0.96	0.93	0.85
Egan	Silla madera vacía	0.15	0.19	0.22	0.39	0.38	0.30

Tabla A10.2. Características absorbentes de asientos.

▪ TRATAMIENTOS POROSOS.

Los materiales porosos absorben el sonido por disipación de la energía, aumentando ésta con la frecuencia y el espesor del material. El empleo de materiales porosos superiores a 40 mm de espesor no supone un aumento de absorción.

Los cortinajes, alfombras y moquetas, tratamientos textiles, son absorbentes gracias a su condición porosa. El peso del tejido determina su propiedad absorbente, que puede mejorarse plisándolo o separándolo de la pared.

FUENTE	MATERIAL	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
	TEJIDOS						
H. Arau	Cortina algodón 340 g/m ²	0.03	0.04	0.11	0.17	0.24	0.35
H. Arau	Cortina algodón 480 g/m ²	0.05	0.07	0.13	0.22	0.32	0.35
H. Arau	Cortina terciopelo 620 g/m ²	0.05	0.12	0.35	0.45	0.38	0.36
P. Miñana	Cortina algodón 340 g/m ² fruncida al 150%	0.07	0.31	0.49	0.81	0.66	0.54
H. Arau	Cortina algodón 480 g/m ² fruncida al 150%	0.07	0.31	0.49	0.75	0.70	0.60
P. Miñana	Cortina terciopelo 620 g/m ² desplegada junto a pared	0.05	0.12	0.35	0.45	0.38	0.36
P. Miñana	Cortina terciopelo 620 g/m ² fruncida al 150%	0.14	0.35	0.55	0.72	0.70	0.65
H. Arau	Cortina algodón 340 g/m ² fruncida al 175%	0.04	0.23	0.40	0.57	0.53	0.40
IUCC	Toldo fruncido con notable cámara de aire tras ella. Medición iglesia S.Fco. Baeza.	0.03	0.03	0.25	0.95	0.95	0.99
A. Carrión	Cortina fruncida al 180% separada 14 cm de la pared	0.17	0.32	0.62	0.60	0.60	0.67
IUCC	Toldo horizontal. Iglesia S. Fco. de Baeza.	0.03	0.10	0.18	0.33	0.34	0.32
Recuero	Terciopelo a 10 cm de la pared.	0.08	0.29	0.44	0.50	0.40	0.35
IUCC	Cortina con amplia cámara de aire. Iglesia-teatro Carmen Vélez-Málaga.	0.57	0.56	0.62	0.55	0.52	0.65
	FIBRAS MINERALES						
H. Arau	Fibra de vidrio 22 kg/m ² 30 mm	0.10	0.32	0.55	0.66	0.79	0.77
H. Arau	Fibra de vidrio 22 kg/m ² 50 mm	0.19	0.43	0.77	0.82	0.94	0.83
H. Arau	Fibra de vidrio 22 kg/m ² 70 mm	0.33	0.65	0.88	0.91	0.97	0.94
H. Arau	Fibra de vidrio 22kg/m ² 100 mm	0.54	0.87	0.99	0.96	0.97	0.93
A. Carrión	Panel lana de roca 30 mm y 46 kg/m ³ pegado a pared	0.12	0.21	0.70	0.91	0.82	0.82
A. Carrión	Panel lana de roca 30 mm y 46 kg/m ³ a 5 cm de pared	0.25	0.42	0.95	0.92	0.84	0.84
Eurocoustic	Baffle lana de roca suspendido. Eurobaffles de	0.14	0.24	0.68	0.81	0.81	0.81
Notson	Cilindros absorbentes lana de vidrio.	0.32	0.73	0.92	0.91	0.97	0.97
Texsa	Mortero acústico Aisgram	0.12	0.20	0.50	0.50	0.72	0.58

Tabla A10.3. Características absorbentes de tratamientos porosos.

▪ MATERIALES ELÁSTICOS.

Los materiales elásticos proporcionan absorción sonora debido a la deformación por vibración del material. Cuando la frecuencia propia del material sea igual a la frecuencia del sonido incidente, surge el efecto de resonancia y las oscilaciones serán máximas, y por lo tanto la absorción sonora.

La frecuencia de resonancia depende del peso del material, de la masa, del espesor de la cámara de aire, y de la fuerza de reacción que hace volver la masa a su posición de reposo. La frecuencia de resonancia menor será para masas pequeñas y un muelle fuerte (placas ligeras y pequeñas cámaras de aire).

La cámara de aire tras el elemento actúa como un medio elástico que mejora la absorción. Si se rellena la cámara con un material absorbente, se mejoran las condiciones elásticas y se aumenta la absorción. Los materiales elásticos proporcionan absorción sonora a bajas frecuencias, son poco selectivos y posibilitan ajustar la absorción máxima para determinada frecuencia.

Los recubrimientos de madera constituyen la aplicación más generalizada fundada en el principio de elasticidad.

FUENTE	MATERIAL	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
IUCC	Panel madera 3-5 mm con cámara de 25 cm	0.30	0.50	0.10	0.10	0.10	0.10
A. Carrión	Panel de 12 mm espesor separado de la pared 50 mm y lana de roca de 45 mm	0.50	0.68	0.30	0.12	0.07	0.20
A. Carrión	Panel contrachapado 3 mm espesor de 1.8 kg/m ² a 4.4 cm de la pared.	0.30	0.35	0.20	0.20	0.10	0.05
A. Carrión	Panel contrachapado 3 mm espesor de 1.8 kg/m ² a 4.4 cm de la pared con aislante.	0.40	0.50	0.40	0.20	0.10	0.05
Gustafs	Panel BF liso con cámara de 45 mm y lana mineral de 40 mm.	0.20	0.12	0.12	0.20	0.15	0.10
Gustafs	Panel BF liso con cámara de 200 mm y lana mineral 40 mm.	0.22	0.17	0.10	0.17	0.10	0.05
H. Arau	Vidrio 6 mm área grande	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
H. Arau	Vitrinas emplomadas 3 mm	0.64	0.40	0.20	0.13	0.17	0.05
H. Arau	Vidrio pesado luna grande	0.17	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02
P. Miñana	Tela fina tensada a 1 cm de panel de madera 6 mm con cámara de aire de 4 cm	0.25	0.20	0.27	0.15	0.10	0.10
P. Miñana	Tela fina tensada a 1 cm de panel madera 6 mm con 4 cm cámara de aire y fibra vidrio.	0.50	0.40	0.50	0.25	0.10	0.10
P. Miñana	Madera 15 mm barnizada y 50 mm de cámara de aire	0.10	0.11	0.10	0.08	0.08	0.11
H. Arau	Concha acústica, panel 10-13 mm y cámara 50-100 mm	0.30	0.25	0.20	0.17	0.15	0.10

Tabla A10.4. Características absorbentes de resonadores de membrana.

▪ **RESONADORES.**

Un panel de material no poroso y rígido con perforaciones montado a una distancia de una pared, funciona como una resonador de membrana, en el que la masa del panel se ha sustituido por la masa de aire contenido en cada perforación, siendo esta masa, y no el panel, el que entra en vibración cuando incide una onda sonora. Estos elementos proporcionan una notable absorción sonora a bajas y medias frecuencias.

FUENTE	MATERIAL	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
A. Carrión	Panel madera 17 mm con perforaciones $\varnothing=8$ mm en un 19%, cámara de 100 mm y lana de roca de 60 mm junto al panel.	0.58	0.72	0.90	0.67	0.53	0.47
A. Carrión	Panel madera 17 mm con perforaciones $\varnothing=8$ mm en un 12%, cámara de 100 mm y lana de roca de 60 mm junto al panel.	0.58	0.87	0.80	0.53	0.42	0.28
A. Carrión	Panel madera 17 mm con perforaciones $\varnothing=8$ mm en un 5%, cámara de 100 mm y lana de roca de 60 mm junto al panel.	0.80	0.94	0.46	0.27	0.13	0.09
Gustafs	Panel BF con perforaciones $\varnothing=5$ mm en un 5%, cámara de 20 mm y lana mineral de 20 mm.	0.20	0.40	0.80	0.70	0.40	0.05
Gustafs	Panel BF con perforaciones $\varnothing=5$ mm en un 5%, cámara de 45 mm y lana mineral de 40 mm.	0.30	0.60	0.90	0.55	0.20	0.05
Gustafs	Panel BF con perforaciones $\varnothing=5$ mm en un 5%, cámara de 200 mm y lana mineral de 40 mm.	0.60	0.85	0.60	0.37	0.25	0.05
Gustafs	Panel BF con perforaciones $\varnothing=8$ mm en un 12%, cámara de 45 mm y lana mineral de 40 mm.	0.20	0.50	0.82	0.75	0.40	0.05
Gustafs	Panel BF con perforaciones $\varnothing=8$ mm en un 12%, cámara de 200 mm y lana mineral de 40 mm.	0.45	0.80	0.82	0.65	0.27	0.05
Gustafs	Panel BF con ranuras 5 mm en un 15%, cámara de 45 mm y lana mineral de 40 mm.	0.20	0.40	0.75	0.90	0.65	0.45
Gustafs	Panel BF con ranuras 5 mm en un 15%, cámara de 200 mm y lana mineral de 40 mm.	0.30	0.65	0.85	0.80	0.57	0.37
Aluwood	Panel aluwood chapa perforada cuadrado lado 8 mm en 12%, 200 mm cámara de aire y 20 mm lana mineral.	0.40	0.78	0.82	0.72	0.70	0.50
P. Miñana	Plancha de acero perforada al 22% y 4.5 cm de lana mineral	0.38	0.87	0.93	0.86	0.84	0.85

Tabla A10.5. Características absorbentes de resonadores múltiples de cavidad.

Los paneles BF están comercializados por la firma Scandinavian Design¹ y están compuestos por un tablero de yeso de 12 mm y capa superficial de chapa de madera, con un espesor de 12.5 mm y peso de 13.8 kg/m². La misma firma comercializa los paneles aluwood y parawood.

FUENTE	MATERIAL	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
A. Carrión	Listones de 12 mm con un porcentaje de apertura de 50%, separados de la pared 50 mm y lana de roca de 45 mm	0.25	0.45	0.90	0.98	0.70	0.67
A. Carrión	Listones de 12 mm con un porcentaje de apertura de 14%, separados de la pared 50 mm y lana de roca de 45 mm	0.26	0.60	0.95	0.66	0.26	0.30
Parawood	Panel Parawood metálico 84x19 mm cada 16 mm, cámara de 300 mm y aislante de 20 mm.	0.50	0.95	0.70	0.58	0.30	0.30
R. Suárez	Bóveda listones 12x10 cm cada 14 mm con importante cámara de aire y aislante. Sta. María la Mayor. Baena	0.65	0.50	0.32	0.25	0.15	0.15

Tabla A10.6. Características absorbentes de resonadores de listones.

▪ DIFUSORES.

El empleo de difusores de Schroeder, está basado en secuencias matemáticas previamente fijadas, y suelen ser de madera. Los difusores QRD (*Quadratic-Residue Diffusor*) son módulos divididos en partes iguales, con diferentes profundidades separados por delgadas divisiones. Se adjuntan productos comercializados por la firma RPG Diffusor Systems². Entre paréntesis se indican los coeficientes de difusión a cada frecuencia de cada producto.

FUENTE	MATERIAL	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
RPG	Diffractal. QRD unidireccional con un elemento QRD en el interior de cada división.	0.23 (0.75)	0.24 (0.71)	0.35 (0.77)	0.23 (0.80)	0.20 (0.71)	0.20 (0.51)
RPG	Omnifusor. QRD bidireccional.	0.30 (0.79)	0.21 (0.74)	0.28 (0.66)	0.53 (0.67)	0.21 (0.69)	0.36 (0.69)
RPG	FlutterFree. QRD unidireccional	0.23 (0.61)	0.24 (0.68)	0.35 (0.77)	0.23 (0.72)	0.20 (0.73)	0.20 (0.69)

Tabla A10.7. Características absorbentes de difusores.

¹ Se puede consultar en la dirección www.scandinaviandesign-sp.com

² Se puede consultar en la dirección www.rpginc.com/products/architectural.htm

Fuentes bibliográficas:

ARAU, H. *ABC de la acústica arquitectónica*. CEAC, Madrid 1999, pp. 190-191.

BERANEK, L. "Audience and chair absorption in large halls: II" *Journal Acoustical Society of America*, 45, 1996, pp.13-19.

CARRIÓN ISBERT, A. *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona 1998, pp. 71-113

EGAN, M.D. *Architectural Acoustics*. McGraw Hill, Nueva York 1988, pp. 53

IUCC. Coeficientes de absorción obtenidos por el Instituto de Ciencias de la Construcción de la ETS Arquitectura de Sevilla de mediciones acústicas y recopilados de fuentes bibliográficas diversas.

KNUDSEN, V.O. y HARRIS, C.M. *Acoustical Designing in Architecture*. Acoustical Society of America, Nueva York 1988.

KUTTRUF, H. *Room Acoustics*. (3 Ed.). Elsevier Science Publishers Ltd., Nueva York 1991, pp. 163.

MESTRE SANCHO, V. y GARCÍA SENCHERMES, A. *Curso de acústica en arquitectura*. COAM, Madrid 1982, p. 82.

PÉREZ MIÑANA, J. *Compendio práctico de acústica*. Ed. Labor, Barcelona 1969, pp. 233-238.

SUÁREZ, R. Coeficientes de absorción sonora obtenidos durante la realización de este trabajo.



UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Excmo. el Tribunal Integrado por los abajo firmantes en el día de la fecha, para juzgar la Tesis Doctoral de D. RAFAEL SÁENZ MEDANA

titulada EL SONIDO DEL ESPACIO ECLESIAL EN CÓRDOBA. EL PROYECTO ARQUITECTÓNICO COMO PROCEDIMIENTO ACÚSTICO.

acordó otorgarle la calificación de SOBREPASANTE CUM LAUDE Unanimidad

Sevilla, 11 de Julio 2002

El Vocal,

[Handwritten signature]

El Vocal,

[Handwritten signature]

El Vocal,

[Handwritten signature]
El Doctorado.

El Secretario,

[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

EL PRESIDENTE.

[Large handwritten signature]