



LA ACÚSTICA DE LA IGLESIA DEL MONASTERIO DE SANTO DOMINGO DE SILOS Y SU ADECUACIÓN A LA PRÁCTICA DEL CANTO GREGORIANO

PACS 43.55.Gx

César Díaz Sanchidrián, Antonio Pedrero González.
Laboratorio de Acústica y Vibraciones Aplicadas a la Edificación, al Medio Ambiente y al Urbanismo. E.T.S. de Arquitectura. Universidad Politécnica de Madrid.
Avda Juan de Herrera 4
28040 Madrid, España
Tel: 34 913 364 249
Fax: 34 913 366 554
E-mail: cesar.diaz.sanchidrian@upm.es

ABSTRACT

The Santo Domingo of Silos Benedictine monastery is a world reference in the study and diffusion of Gregorian chant. Its origin data of the VIIth, although reached its medieval fullness in the XIth lead by the abbot Domingo. Since then, its buildings have suffered different transformations. The most important happened in the middle of the XVIIIth. In that, the romanesque was replaced by one of neoclassic-baroque style.

In this work, a study of the acoustic conditions of the church of the abbey is presented. Such study, based on the measure of several acoustic parameters, has been performed using the most advanced measurement technologies. Considerations on the adequacy of the acoustic characteristics of the church of its liturgical-musical use are derived from the analysis of these parameters.

RESUMEN

El monasterio benedictino de Santo Domingo de Silos es un referente mundial en el estudio y la difusión del canto gregoriano. Su origen parece encontrarse en un cenobio visigótico del siglo VII, y alcanzó su configuración plenomedieval en las reformas llevadas a cabo en el siglo XI por el abad Domingo, coincidiendo con el esplendor del canto llano en la liturgia cristiana.

Desde entonces, sus edificios han sido objeto de diferentes transformaciones, siendo la más importante la que se produjo a mediados del siglo XVIII, y que sustituyó la antigua iglesia románica por la actual de estilo neoclásico-barroco.

En este trabajo se exponen los resultados de un estudio de las condiciones acústicas de la iglesia de la abadía. Dicho estudio está basado en la medición de una serie de parámetros acústicos monoaurales y binaurales, utilizando las tecnologías de medición más avanzadas. A partir de los resultados de las mediciones acústicas se realizan consideraciones sobre la adecuación de las características acústicas del recinto al uso litúrgico-musical para el que está destinado.

EL MONASTERIO DE SANTO DOMINGO DE SILOS

El monasterio de Santo Domingo de Silos está ubicado en el valle de Tabladillo, en la provincia de Burgos. Su origen se remonta a la época visigótica, probablemente al siglo VII. De esta época se conservan vestigios que permiten suponer la existencia de una pequeña iglesia prerrománica enclavada en el mismo lugar donde se halla la iglesia actual.

La ocupación musulmana y los avatares de la reconquista hacen que el monasterio entre en un periodo de decadencia material y espiritual, hasta que en 1041 el rey Fernando I de Castilla nombra abad al monje emilianense Domingo quien da un nuevo auge al monasterio y acomete importantes reformas, como la construcción del claustro medieval y de un templo románico de tres naves y cinco ábsides del que sólo se conserva un ala.

En el siglo XVIII, el monasterio sufre una profunda remodelación a cargo del arquitecto Ventura Rodríguez, que incluye la demolición de la iglesia románica para construir la iglesia neoclásica actual, de mayores dimensiones que la anterior. El coro se encontraba en la parte trasera de la iglesia, en un recinto contiguo que se comunicaba con el templo a través de una abertura en el muro.

Durante la segunda mitad del siglo XX se producen varios cambios. Se clausura la puerta de acceso lateral. Se construye una nueva entrada en la parte este, que originariamente constituía el ábside, y el altar mayor se traslada a lo que anteriormente era la parte trasera de la iglesia. Se construye un nuevo coro detrás del altar mayor, ahora integrado en el recinto del templo, y se clausura la abertura que comunicaba el coro antiguo con la iglesia. El coro antiguo se conserva actualmente y constituye una estancia contigua a la iglesia, totalmente independiente de la misma desde el punto de vista acústico.

En lo referente a la vida monástica, el monasterio sufrió la exclaustación en 1835 debido a la desamortización de Mendizábal. Durante 45 años, sus instalaciones fueron utilizadas para usos diversos, lo que supuso un profundo deterioro de los edificios, así como el expolio de gran parte de sus riquezas artísticas y documentales. En 1880, un grupo de monjes benedictinos procedentes de la abadía francesa de Ligugé se asentó en el monasterio, restaurando la vida monástica.

La relevancia del monasterio de Santo Domingo de Silos en cuanto al estudio y la difusión del canto gregoriano se debe a que el primer abad de la época moderna, Ildefonso Guépin, procedía de la abadía de Solesmes. Allí, en 1833, la comunidad benedictina acometió el proyecto de restaurar el canto gregoriano, casi olvidado hasta entonces. El abad Guépin continuó esta tarea en Silos, que se ha mantenido como una labor fundamental de sus monjes hasta nuestros días. En la actualidad, todos los actos litúrgicos que se celebran en el monasterio utilizan el canto gregoriano. Además los monjes de Silos realizan una importante labor difusora del canto llano mediante la edición de publicaciones especializadas y la grabación de discos que contienen las piezas más destacadas del repertorio gregoriano.

LOS RECINTOS ANALIZADOS

El estudio realizado ha consistido en la medición de las características acústicas de la iglesia del monasterio y del coro antiguo. Ambos recintos se encontraban desocupados en el momento de la realización de las mediciones acústicas.

La iglesia es de estilo neoclásico^[1]. Su planta consta de una gran elipse cuyo eje mayor tiene una longitud de 43,5 m y está cortada a la mitad para formar el crucero, de 25,8 m de longitud. Posee otras cuatro elipses yuxtapuestas, que forman cuatro capillas laterales. En cuanto al alzado, existe una cúpula central y una bóveda acañonada a ambos lados de la misma. El volumen del recinto es de unos 11.000 m³.

El coro antiguo constituye en la actualidad un recinto anexo a la iglesia, totalmente independiente de la misma desde el punto de vista acústico. Su planta es cuadrada, de 11,3 m de lado, y su volumen es de 1400 m³ aproximadamente.

METODOLOGÍA Y EQUIPAMIENTO DE MEDIDA

Las mediciones se han realizado siguiendo los criterios de la norma UNE-EN ISO 3382:2001. El equipamiento de medida utilizado está basado en el software de acústica de salas DIRAC, comercializado por Bruel & Kjaer. Como fuente sonora se utilizó una fuente omnidireccional Bruel & Kjaer modelo 4296, con un amplificador Bruel & Kjaer modelo 2716. La captación de las señales sonoras se realizó con un micrófono de doble diafragma, marca Neumann, modelo TLM 170 R. Dicho micrófono permite variar su directividad, lo que posibilita la medición de parámetros binaurales como la Eficiencia Lateral (LF). El método de medida utilizado es el de barrido de tonos debido a que proporciona mejores valores de relación impulso-ruido (INR) que el método MLS para salas con tiempos de reverberación muy altos.

En la iglesia se han establecido dos posiciones de la fuente sonora. La primera (F1) se situó frente al altar Mayor, a una altura de 1,80 m. Para esta posición de la fuente sonora se midió la respuesta impulsiva en un total de 21 posiciones de micrófono (P1 a P21). La primera de ellas se sitúa a 1 m de la fuente sonora y se utiliza solamente para el análisis de la disminución de niveles en las otras posiciones de micrófono (ΔL). Las posiciones de micrófono que van de la nº 2 a la nº 6 se distribuyen en el coro, y las posiciones que van de la nº 7 a la nº 21 se disponen a lo largo del área del templo. Todas las posiciones de micrófono se sitúan a una altura de 1,20 m, equivalente a la altura de la cabeza de una persona sentada.

Dada la simetría del recinto, las posiciones microfónicas se disponen únicamente en la mitad de la superficie útil a excepción de las capillas laterales del altar mayor, donde la existencia de un órgano de tubos no permite presumir un comportamiento acústico idéntico a ambos lados del mismo.

La segunda posición de la fuente sonora en la iglesia (F2) se situó en el coro, coincidiendo con la posición de micrófono P3. Para esta posición de la fuente sonora se midió la respuesta impulsiva en los puntos P2, P4 y P6 situados en el coro, y P7 y P9 situados en el templo.

En el coro antiguo se estableció una única posición de fuente sonora situada en el centro de una de las alas laterales, y se midió la respuesta impulsiva en 6 posiciones microfónicas distribuidas a lo largo del coro. Tanto la fuente sonora como el micrófono se situaron a 1,20 m de altura.

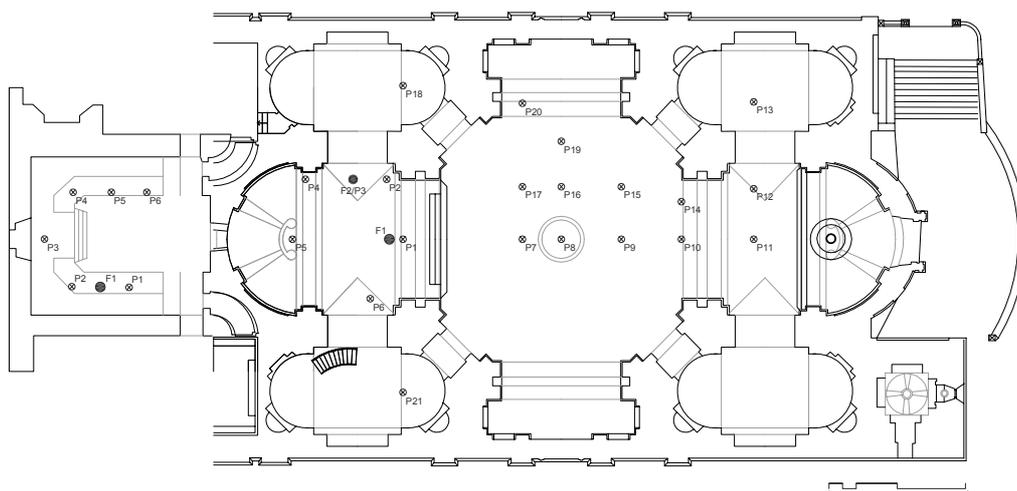


Figura 1. Posiciones de fuente sonora y micrófono en la iglesia y en el coro antiguo.

RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se presenta un resumen de los resultados de las mediciones acústicas realizadas. Los parámetros que se muestran son el Tiempo de Reverberación obtenido a partir de la caída de 30 dB (T30), el Tiempo de Caída Inicial (EDT), el Tiempo Central (Ts), la Claridad (C80), la Definición (D50), la Fracción de Energía Lateral (LF) y la Fuerza Acústica (G), todos ellos calculados tal y como se define en la norma UNE-EN ISO 3382:2001^[2]. Además se muestra la diferencia de niveles sobre el obtenido a 1 m de la fuente sonora (ΔL) y los dos descriptores más usuales de la inteligibilidad del habla, el Índice de Transmisión del Habla (STI)^[3] y las Pérdidas de Articulación de Consonantes (%ALC)^[4].

	Frecuencia [Hz]	Iglesia						Coro antiguo					
		125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000
T30[s]	Promedio	8,20	7,51	6,98	5,94	4,66	3,43	2,23	2,28	2,56	2,69	2,43	2,03
	Desv. Est.	0,23	0,19	0,12	0,09	0,08	0,15	0,11	0,06	0,06	0,04	0,01	0,02
	Máximo	8,66	7,76	7,16	6,13	4,79	3,85	2,40	2,34	2,61	2,74	2,45	2,05
	Mínimo	7,68	6,92	6,59	5,73	4,47	3,15	2,15	2,18	2,47	2,64	2,41	2,00
EDT	Promedio	7,59	6,94	6,47	5,56	4,34	3,01	2,30	2,28	2,62	2,74	2,40	2,01
	Desv. Est.	1,08	1,15	0,81	0,71	0,66	0,64	0,21	0,33	0,42	0,19	0,04	0,07
	Máximo	9,30	8,09	7,46	6,36	5,00	3,93	2,54	2,90	3,41	3,03	2,46	2,13
	Mínimo	5,27	3,16	3,92	3,51	2,69	1,46	1,98	1,96	2,24	2,44	2,34	1,95
Ts[ms]	Promedio	553	502	447	383	307	216	167	165	166	176	160	132
	Desv. Est.	159	155	142	117	100	80	17	24	16	30	25	22
	Máximo	743	735	672	573	465	366	197	198	179	203	180	153
	Mínimo	218	169	155	120	84	56	147	129	140	128	127	96
C80[dB]	Promedio	-8,8	-8,7	-7,3	-5,9	-5,1	-3,3	-1,2	-2,8	-1,8	-1,6	-1,6	-0,6
	Desv. Est.	4,7	5,8	5,5	4,5	4,6	4,5	1,1	2,7	2,3	2,2	1,9	1,9
	Máximo	0,9	2,1	3,5	4,1	5,5	6,5	-0,3	0,1	1,2	1,7	0,9	2,5
	Mínimo	-16,4	-18,0	-15,6	-13,3	-13,1	-11,2	-3,1	-5,7	-4,0	-4,4	-3,4	-2,4
D50	Promedio	0,12	0,15	0,17	0,19	0,21	0,26	0,28	0,27	0,32	0,32	0,32	0,37
	Desv. Est.	0,13	0,18	0,19	0,18	0,20	0,22	0,09	0,15	0,13	0,14	0,13	0,12
	Máximo	0,54	0,59	0,64	0,67	0,74	0,76	0,41	0,44	0,50	0,53	0,48	0,56
	Mínimo	0,01	0,00	0,01	0,03	0,03	0,04	0,20	0,09	0,20	0,17	0,22	0,27
LF	Promedio	0,07	0,06	0,05	0,05	0,06	0,04	0,13	0,10	0,06	0,07	0,08	0,05
	Desv. Est.	0,05	0,05	0,04	0,02	0,03	0,02	0,06	0,05	0,02	0,02	0,02	0,01
	Máximo	0,18	0,23	0,15	0,10	0,15	0,07	0,24	0,19	0,09	0,09	0,10	0,06
	Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,06	0,06	0,04	0,05	0,05	0,04
G[dB]	Promedio	12,0	12,5	13,1	12,2	11,1	10,4	10,3	11,5	13,8	13,9	13,7	13,7
	Desv. Est.	1,1	1,5	1,5	1,7	2,2	2,7	1,7	1,3	1,0	0,9	0,9	1,1
	Máximo	14,2	17,1	17,1	17,6	17,2	17,6	12,6	13,8	15,5	15,6	15,2	15,6
	Mínimo	9,5	10,0	10,1	9,9	8,2	6,6	8,2	10,2	13,0	13,1	13,1	12,9
ΔL	Promedio	-10,1	-7,8	-7,8	-7,9	-7,4	-8,3	-11,8	-8,8	-7,0	-6,2	-4,8	-5,0
	Desv. Est.	1,1	1,5	1,5	1,7	2,2	2,7	1,7	1,3	1,0	0,9	0,9	1,1
	Máximo	-7,9	-3,2	-3,8	-2,6	-1,3	-1,0	-9,6	-6,5	-5,3	-4,6	-3,3	-3,1
	Mínimo	-12,7	-10,3	-10,7	-10,3	-10,3	-12,1	-14,0	-10,1	-7,8	-7,1	-5,4	-5,7
STI	Promedio	0,33											0,47
	Desv. Est.	0,12											0,05
	Máximo	0,62											0,54
	Mínimo	0,21											0,43
%ALC	Promedio	30,3											13,8
	Desv. Est.	13,5											3,4
	Máximo	55,6											16,2
	Mínimo	6,0											8,9

Tabla 1. Resultados de las mediciones.

A fin de simplificar la expresión de los resultados, la Tabla 2 muestra el promedio de los valores obtenidos en las bandas de octava de 500 Hz y 1000 Hz.

	Iglesia						Coro Antiguo
	F1	F1 Coro	F1 Nave	F2	F2 Coro	F2 Nave	F1
T30[s]	6,48	6,49	6,48	6,43	6,39	6,50	2,63
EDT [s]	6,21	5,69	6,38	5,26	4,46	6,46	2,68
Ts[ms]	438	287	488	323	194	517	171
C80[dB]	-7,4	-1,2	-9,5	-3,3	1,4	-10,3	-1,7
D50	0,14	0,35	0,08	0,33	0,52	0,05	0,32
LF	0,06	0,04	0,06	0,05	0,06	0,05	0,06
G[dB]	12,4	12,9	12,2	13,7	15,6	10,9	13,9
ΔL [dB]	-8,1	-7,5	-8,3	-6,8	-4,9	-9,5	-6,6
STI	0,32	0,45	0,28	0,44	0,55	0,27	0,47
%ALC	32,4	15,3	38,0	22,0	9,6	40,7	13,8

Tabla 2. Resumen de resultados.

Dada la disparidad de los valores de algunos de los índices obtenidos en la iglesia en función de la posición del micrófono, se ha optado por mostrar por separado el promedio para cada una de las dos posiciones de la fuente sonora, F1 y F2, y a su vez diferenciar, para cada posición de fuente, el promedio de los resultados en las posiciones de micrófono situadas en el coro y las situadas en la nave de la iglesia.

La figura 2 presenta los espectros promedios del Tiempo de Reverberación medido en la iglesia y en el coro antiguo.

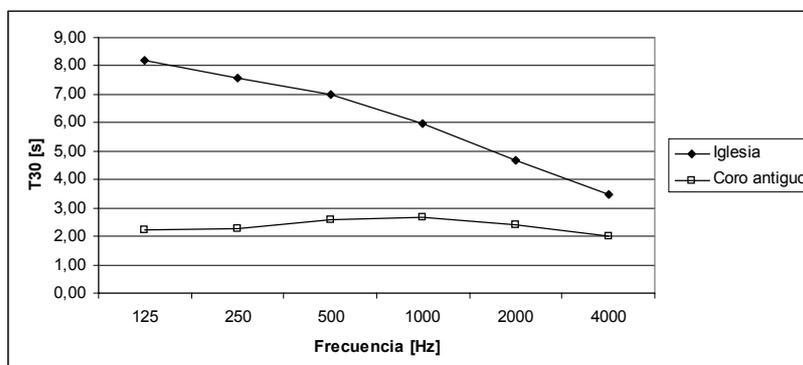


Figura 2. Tiempos de reverberación

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La primera consideración que se debe realizar sobre los resultados del estudio es que los valores obtenidos están de acuerdo con los de trabajos anteriores realizados sobre iglesias de características similares^[5].

Si comparamos los valores de los parámetros acústicos de las salas analizadas con los recomendados para auditorios, tenemos que los resultados de la iglesia se alejan de los óptimos para todos los índices evaluados. El elevado tiempo de reverberación de la misma (más del doble que el valor máximo recomendado para música sinfónica) fuerza a que otros parámetros como T_s , C_{80} ó D_{50} disten mucho de los valores óptimos. En este sentido hay que decir que las mediciones se han realizado sin público en la sala. La audiencia incrementaría la absorción acústica, lo que mejoraría el comportamiento de la sala, si bien, a tenor de los resultados de trabajos en este sentido^[6], la mejora no sería suficiente para obtener en la iglesia una acústica adecuada para su uso como sala de conciertos. El coro antiguo sin embargo presenta unos valores de sus parámetros acústicos que están dentro de los márgenes recomendados. El único dato ligeramente discordante es el tiempo de reverberación a frecuencias medias, si bien la absorción sonora aportada por la presencia de los ejecutantes corregiría esta desviación.

La cuestión principal es evaluar la adecuación de las condiciones acústicas de los recintos analizados para la práctica del canto gregoriano. Para dar respuesta a esta cuestión es conveniente realizar una reflexión sobre la esencia del canto llano.

El canto gregoriano no es otra cosa que la declamación solemne de los textos litúrgicos. La cantilación de los textos litúrgicos es un proceso que se da en la mayoría de las culturas. En primer lugar, la música aporta al texto una solemnidad añadida, pero no es éste su único beneficio. Otra ventaja de la cantilación es que permite al oficiante elevar la voz de una manera estética, lo cual permite que sea escuchado por una audiencia amplia.

Con la adopción en el siglo IV del latín como lengua oficial de la Iglesia, esta recitación solemne adquiere las características sonoras de la lengua latina. Este es el origen de la monodía litúrgica, que consistía en la recitación del texto sobre una nota fija sobre la que se realizaban inflexiones, a manera de ornamento, que servían como apoyo al texto en tanto en cuanto marcaban los acentos de las palabras y los signos de puntuación, lo cual lo hacía aún más inteligible. Esto nos da una idea de la importancia de la comprensión del texto en el canto gregoriano.

Por otra parte, tenemos que considerar las características de las iglesias de la época en la que el canto gregoriano tenía plena vigencia (siglos IV al XI)^[7]. Básicamente existían dos tipos: pequeños templos monacales para uso casi exclusivo de los monjes de la congregación, y basílicas de mayores dimensiones para uso público. Las primeras, por sus reducidas dimensiones, presentaban valores bajos del tiempo de reverberación, lo que favorecía la inteligibilidad. Por otra parte, las proporciones de las basílicas, sus techos de madera no demasiado altos, y la inexistencia de grandes paredes ciegas hacían que las condiciones acústicas de estas iglesias favoreciesen también la inteligibilidad del habla en los mismos.

Todas estas consideraciones nos hacen pensar que la inteligibilidad del texto cantado es un factor fundamental para la práctica del canto gregoriano. Para reforzar este argumento, citamos textualmente un párrafo extraído de la página web de la abadía de Solesmes^[8] donde se inició la restauración del canto gregoriano: “En 1833, un joven sacerdote de Le Mans, Dom Prosper Guéranger, se decide a restaurar la vida monástica benedictina en el priorato de Solesmes, después de cuarenta años de interrupción debido a la Revolución Francesa. Entre sus proyectos está el abordar la restauración del canto gregoriano. Esto lo hace con entusiasmo. Empieza por la ejecución y pide a sus monjes que respeten en su canto, sobre todo el texto: pronunciación, acentuación, y atención. Todo esto para mejorar la inteligibilidad del canto, lo cual hace posible una verdadera oración.”

Si analizamos los valores obtenidos para los parámetros relacionados con la inteligibilidad del habla (D50, STI y %ALC) observamos que en la iglesia la inteligibilidad es pobre, mientras que en el coro antiguo es aceptable.

REFERENCIAS

- [1] PALACIOS, M.: *El Monasterio de Santo Domingo de Silos*. Editorial Everest. 1973.
- [2] UNE-EN ISO 3382:2001: *Acústica. Medición del tiempo de reverberación de recintos con referencia a otros parámetros acústicos*.
- [3] HOUTGAST, T., STEENEKEN, H.J.M.: *A review of the MTF concept in room acoustics and its use for estimating speech intelligibility in auditoria*. J. Acoust. Soc. Amer. 77 (1985).
- [4] PEUTZ, V.M.A.: *Articulation Loss of Consonants as a Criterion for Speech Transmission in a Room*. J. Audio Eng. Soc. Vol 19, pp. 915 – 919.
- [5] DESARNAULDS, V., CARVALHO, A.P.O.: *Analysis of reverberation time values in churches according to country and architectural style*. 8th Int. Congress on Sound and Vibration, Hong-Kong, Julio 2001;
- [6] DESARNAULDS, V., CARVALHO, A.P.O., MONAY, G.: *Church Acoustics and the Influence of Occupancy*. Building Acoustics. Volume 9. Number 1 .2002.
- [7] SENDRA SALAS, J. J. *La evolución de las condiciones acústicas en las iglesias: del paleocristiano al tardobarroco*. Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Sevilla. Sevilla 1997.
- [8] www.solesmes.com