

CARACTERIZACIÓN ACÚSTICA DE LOS ESPACIOS SONOROS DEL REAL MONASTERIO DE SAN LORENZO DEL ESCORIAL

PACS: 43.55.Gx

Larrosa Navarro, María¹; Pedrero González, Antonio²; de la Prida Caballero, Daniel³.

¹Grupo de Investigación en Acústica Arquitectónica, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid, Avda. Juan de Herrera 4, 28040, Madrid, España, m.larrosa@upm.es

²Grupo de Investigación en Acústica Arquitectónica, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid, Avda. Juan de Herrera 4, 28040, Madrid, España, antonio.pedrero@upm.es

³Department of Signal Theory and Communications, Universidad Carlos III de Madrid, Avd. de la Universidad 30, 28911, Leganés, España, dprida@ing.uc3m.es

Palabras Clave: comportamiento acústico, monasterio, patrimonio inmaterial, acústica de templos

ABSTRACT.

The Real Monasterio de San Lorenzo del Escorial is an exceptional place in European geography. Inside the four external walls three differentiated spaces coexist: the monastery of Hieronymite monks, the seminar for the education of students, and the palace, where the Spanish monarchs and the court lived for three months every year from the sixteenth to the nineteenth century. A large artistic development, especially musical, was carried out in these wide variety of spaces. In the present communication, the procedure followed to obtain the acoustic conditions of the rooms that are historically considered more relevant for the interpretation of music are shown. In order to characterize the acoustic behaviour of the room, impulse responses measurements were carried out. The results presented in this communication include reverberance and intelligibility parameters. The measurements were carried out in enclosures that have barely suffered any modification since their construction. The venues under evaluation are the Basilica, the Sacristy, the Capitular Rooms, the Old Church, the Main Cloister, the Apothecary Cloister and the Infante don Gabriel's leisure house.

RESUMEN.

El Monasterio de San Lorenzo del Escorial es un lugar único en la geografía europea dado que dentro de sus cuatro muros abarca tres espacios bien diferenciados: el monasterio de monjes jerónimos, el seminario para la formación de estudiantes, y el palacio, donde primero los Austrias y después los Borbones residían tres meses al año. En esta gran variedad de espacios se llevó a cabo un amplio desarrollo artístico, especialmente musical. En la presente comunicación se describen las mediciones realizadas para la obtención del comportamiento acústico de distintos entornos de este monasterio que fueron de gran relevancia durante su época de esplendor. Para caracterizar este comportamiento sonoro se realizaron numerosas mediciones de la respuesta impulsiva en los distintos recintos. Se muestran los resultados obtenidos para los parámetros temporales y de inteligibilidad. Las mediciones se llevaron a cabo en entornos que no se han visto modificados prácticamente desde su construcción y cuyos únicos cambios respecto a su estado original se han debido a cuestiones conservativas. Los espacios estudiados son la Basílica, la Sacristía, las Salas Capitulares, la Iglesia de Prestado, el Claustro Principal, el Claustro de la Botica y la Casita del Infante.

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años se ha podido observar un creciente interés en la comunidad científica por el estudio, la conservación y la difusión del comportamiento sonoro de recintos patrimoniales. La arquitectura de estos espacios y, por consiguiente, su acústica, se encuentran estrechamente relacionadas con las actividades culturales y sociales que se realizaban en su interior. Las características sonoras de los recintos patrimoniales son una consecuencia inmaterial de los elementos constructivos y decorativos; una propiedad efímera dependiente de su entorno físico. La tecnología actual ha permitido la caracterización de los entornos acústicos de estos recintos mediante la realización de mediciones. Del mismo modo, las herramientas de simulación han permitido su recreación y conservación virtual.

Las investigaciones acústicas centradas en el estudio de recintos históricos realizadas en las dos últimas décadas [1–6] se han visto inspiradas por la adopción de la resolución de la UNESCO “La importancia del sonido en el mundo actual: promoción de las buenas prácticas” [7] que complementa la Convención para la Salvaguarda del Patrimonio Cultural Inmaterial de 2003 [8]. Otras fuentes de motivación han sido las trágicas pérdidas sufridas por los incendios de la Catedral de *Notre-Dame* en París, símbolo de la arquitectura y música del periodo gótico europeo, en 2019 y del Teatro *La Fenice* de Venecia, en 1996 [9].

El presente estudio se centra en la caracterización acústica, mediante mediciones, de un conjunto de salas pertenecientes al Real Monasterio de San Lorenzo del Escorial, Madrid. Este monumento engloba entre sus cuatro muros no sólo un monasterio, sino también un palacio y un seminario. La presencia de estudiantes y personas de la corte produjo que la creación artística realizada por parte de los monjes del monasterio no se centrara únicamente en la temática religiosa, si no que abarcara también la música teatral de obras profanas y la música de cámara propia del entorno palaciego. La gran actividad musical llevada a cabo en este entorno no se centraba únicamente en un lugar, sino que era repartida por el espacio disponible en función del estilo y necesidades de las actuaciones. El mayor exponente de esta actividad musical es el padre Antonio Soler, compositor español del siglo XVIII y uno de los más importantes representantes europeos del estilo preclásico. Debido al interés por las condiciones acústicas en la que se desarrolló la actividad compositiva de este músico, así como la resolución de la UNESCO y las recientes pérdidas de edificios relevantes para la historia de la música, se ha considerado fundamental llevar a cabo mediciones acústicas de los espacios en los que se interpretó su música con el fin de conservar este patrimonio intangible y comprender mejor la relación existente entre la composición musical y el espacio arquitectónico. Los resultados presentados se tratan de una parte del proceso de estudio y recreación que se está llevando a cabo del monumento español.

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección 2 se hace una descripción del Real Monasterio de San Lorenzo del Escorial y de las salas que han sido estudiadas, seleccionadas por las numerosas interpretaciones musicales que se llevaron a cabo en ellas durante los siglos XVII-XVIII y por las pocas modificaciones que han sufrido a lo largo de los siglos; en la sección 3 se describen la instrumentación y los métodos empleados para la realización de las mediciones acústicas; en la sección 4 se muestran los resultados de las mediciones y se comparan con los valores acústicos considerados hoy en día como adecuados en función de la actividad realizada en ellos; y, por último, las conclusiones se muestran en la sección 5.

2. DESCRIPCIÓN DEL REAL MONASTERIO DE SAN LORENZO DEL ESCORIAL

El Real Monasterio de San Lorenzo del Escorial es un complejo arquitectónico construido por mandato de Felipe II. La intención del monarca español era construir un monumento en honor a Dios para agradecerle la victoria de las tropas españolas en la Batalla de San Quintín (1557) y, a la vez, crear un mausoleo para el reposo de los restos mortales de su padre, el emperador Carlos I. Debido a la dotación de 30.000 misas encargadas por Carlos I, la construcción de un mausoleo no era suficiente, sino que se precisaba de un edificio que pudiera albergar a una comunidad religiosa que las llevara a cabo. La orden elegida por Felipe II fue la Orden Jerónima, una hermandad exclusivamente ibérica y con una especial dedicación al coro [10]. Según las

constituciones de esta comunidad, los monjes debían tener una dedicación diaria de al menos ocho horas al coro, en el cual se llevaba a cabo el rezo y el canto [11].

El arquitecto encargado del diseño y construcción del monasterio fue Juan Bautista de Toledo, que sería sustituido, tras su fallecimiento, por Juan de Herrera. La primera piedra del monasterio fue colocada el 23 de abril de 1563 y los trabajos de construcción se dieron por finalizados el 13 de septiembre de 1584; aunque la Basílica no se terminó hasta 1586 [10]. El estilo arquitectónico utilizado es propio del clasicismo desornamentado, de arquitectura austera y construido en piedra berroqueña. Se trata de un recinto de planta rectangular que puede ser dividido en cuatro espacios: el monasterio en el que reside la comunidad jerónima, que ocupa la mitad del recinto; el palacio donde los monarcas españoles pasaban tres meses al año, que ocupa una cuarta parte; el seminario en el que se formaba estudiantes de teología y filosofía, que ocupaba otra cuarta parte; y, por último, la Basílica, que se localiza en el centro del rectángulo y es el lugar de congregación para todos los residentes del monasterio.

2.1. Basílica

La Basílica se trata de un espacio dividido en tres zonas principales, tanto arquitectónicamente como por uso. Al entrar por la puerta principal lo primero que nos encontramos es el espacio denominado como Sotocoro, espacio de techo bajo y construido en piedra berroqueña desde donde las personas ajenas a la comunidad y la corte podían escuchar los oficios y misas. Encima de este Sotocoro nos encontramos con el Coro de la Basílica, que consiste en un espacio rectangular de 14x26 m que acomoda una sillería de 124 asientos repartidos en dos niveles. El Coro presenta dos órganos y un balcón que separa el espacio, situado a 8 metros de altura, del cuerpo principal de la Basílica. En el Coro es donde se celebraba diariamente el oficio de las horas y donde tenían lugar las representaciones de villancicos. El cuerpo principal de la Basílica, considerado en toda su extensión Capilla Real, es un espacio cuadrado de 50 metros de lado, construido en piedra berroqueña y mármol. La planta del edificio es una cruz griega, con una cúpula de 95 metros de altura en el crucero. En este espacio es donde la corte y los estudiantes podían seguir las misas y donde se llevaban a cabo las procesiones durante las grandes festividades religiosas.

2.2. Salas Capitulares

Las Salas Capitulares, como su propio nombre indica, son el espacio en el que tenían lugar los capítulos de la comunidad religiosa. Durante el siglo XVIII, se escriben numerosos testimonios que confirman la utilización de estas salas para la interpretación de piezas musicales de cámara y teatro de títeres [11]. Se tratan de dos salas rectangulares, de techo abovedado, de 22x10x8 m, separadas por una sala casi cuadrada, de aproximadamente nueve metros de lado. Las salas están construidas en piedra berroqueña, yeso y mármol, tienen siete ventanas en el lado exterior y todas las paredes presentan una sillería construida en madera.

2.3. Iglesia de Prestado

La Iglesia de Prestado fue construida con la intención de ser utilizada para la realización del oficio de las horas desde la traslación de la comunidad religiosa al monasterio en 1571 [12] hasta la finalización de la Basílica en 1586. La disposición original fue modificada tras la finalización de la Basílica y esta sala quedó relegada a la realización de los oficios de difuntos de los miembros de la comunidad. Se trata de una sala rectangular, con techo abovedado, de 31x10x8 m y construida en piedra berroqueña, yeso y mármol.

2.4. Sacristía

La Sacristía es una pieza rectangular abovedada de, aproximadamente, 28x9x11 m. En el lateral izquierdo presenta una fila de cinco ventanas bajas, que alternan con armarios de madera, y nueve ventanas altas. En el derecho, se encuentra un armario en dos alturas que recorre toda la pared lateral, donde se guardan los elementos necesarios para la misa. La sala tiene las paredes construidas en piedra berroqueña y yeso, con suelos de mármol y coronada por un altar de mármol encargado por Carlos II.

2.5. Claustro Principal

El Claustro Principal presenta una planta cuadrada de 59 metros de lado, con un pasillo de casi seis metros de anchura y un jardín interior, conocido como el Jardín de los Evangelistas. Se trata

del espacio donde la comunidad y la corte realizaban las procesiones en los días festivos religiosos, bajando desde el Coro por la escalera principal y rodeando todo su perímetro hasta llegar a la puerta que corresponde con la entrada lateral de la Basílica. En sus cuatro esquinas presenta capillas en las que se hacía un alto durante la procesión para la interpretación de himnos y salmos. Ésta, construida en piedra berroqueña y mármol, cuenta en sus paredes con frescos que representan la vida de Jesucristo. En cada cara interior presenta 10 ventanas y una puerta que dan al Jardín de los Evangelistas. Inicialmente, éstas se encontraban abiertas, pero fueron cerradas tras el incendio que sufrió el monasterio de 1671 [13].

2.6. Claustro de la Botica

El Claustro de la Botica se trata de un espacio cuadrado semiabierto de 12,6 m de lado en el que se realizaban obras teatrales interpretadas por los alumnos del seminario. Presenta una doble altura con ventanas que dan al espacio central y desde donde la corte y la comunidad veían las representaciones. Se encuentra construido en su totalidad de piedra berroqueña y granito.

2.7. Casita del Infante

Esta casita de recreo es una adición posterior al entorno del monasterio. Fue diseñada por Juan de Villanueva y construida por encargo del Infante don Gabriel (hijo de Carlos III) entre los años 1771 y 1773. Se trata de un edificio neoclásico utilizado para la realización de academias musicales. La sala de interés para el estudio acústico es el salón central, de planta cuadrada, triple altura y bóveda octogonal. A la altura de la segunda planta, se encuentran tres ventanas de 1,65x0,80 m que dan a tres habitaciones. Numerosos escritos mencionan que en estas habitaciones eran donde se colocaban los músicos para la realización de conciertos, mientras que los oyentes de la corte se situaban en el salón central [14]. Esta disposición históricamente se ha puesto en duda debido a la falta de testimonios contemporáneos y a las dificultades de espacio y comunicación que tendrían los músicos con ella. El edificio ha sufrido dos remodelaciones, pero la forma del salón central se ha mantenido intacta tras ambas [15].

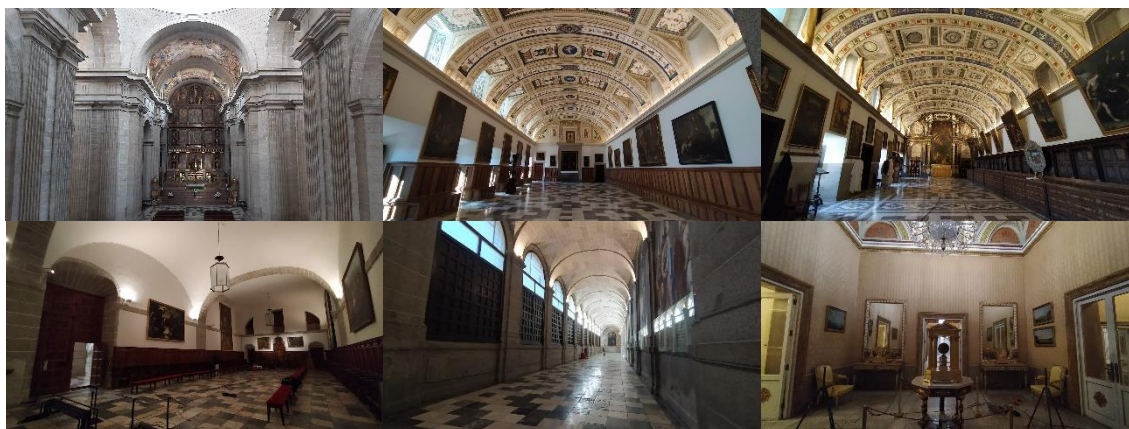


Figura 1 – Fotografías de la Basílica (arriba izquierda), las Salas Capitulares (arriba centro), la Sacristía (arriba derecha), la Iglesia de Prestado (abajo izquierda), el Claustro Principal (abajo centro) y la Casita del Infante (abajo derecha).

3. METODOLOGÍA DE MEDICIÓN

La caracterización acústica de las salas del entorno del Real Monasterio de San Lorenzo del Escorial se basó en la obtención de parámetros objetivos calculados a partir de la medición de la respuesta al impulso. Todas las mediciones acústicas se llevaron a cabo siguiendo el proceso definido en la normativa UNE-ISO 3382-1 [16]. En el caso de la Basílica, también se tuvieron en cuenta las recomendaciones propuestas en [17,18].

Debido a las diferencias en dimensiones, espacio y disponibilidad de red eléctrica; tres métodos de medición distintos han sido aplicados. El equipamiento utilizado en las mediciones contó con una fuente sonora dodecaédrica B&K 4292-L, un amplificador de potencia B&K 2716C, una tarjeta de sonido RME Fireface UFX y hasta tres micrófonos omnidireccionales DPA 4006A. Adicionalmente, se utilizó una estación meteorológica para la determinación de las condiciones

ambientales en las que se desarrollaron las mediciones (temperatura y humedad relativa). Las mediciones se llevaron a cabo a lo largo de 7 días entre junio de 2021 y febrero 2022.

Las posiciones de fuente y receptor utilizadas durante las mediciones se seleccionaron en base a dos criterios. Por un lado, se seleccionaron aquellas posiciones en las que se conocía que se interpretaban o se escuchaban representaciones musicales y teatrales; y, por otro, se seleccionó un conjunto de puntos con el fin de obtener suficiente información acústica representativa para la posterior calibración del modelo virtual del recinto. El número de posiciones de fuente y receptor varió en cada recinto y se puede observar en la Tabla 1, junto con las demás condiciones de la medición y el método de ensayo utilizado. Todas las posiciones de fuente se situaron a una altura de 1,5 m, mientras que las de micrófono se encontraban a 1,2 m del suelo.

Tabla 1 – Condiciones de los ensayos acústicos.

Sala	Temperatura	Hum. relativa	Emisores	Receptores	Método
Basílica	12,6 °C	25%	18	27	1
Salas Capitulares	13,8 °C	25%	2	12	2
Iglesia de Prestado	14 °C	25%	4	11	2
Sacristía	12,7 °C	26%	3	12	2
Claustro Principal	12,6 °C	25%	4	8	3
Claustro de la Botica	11,3 °C	25%	2	6	3
Casita de infante	12,3 °C	25%	6	3	3

3.1. Método 1

Este método fue utilizado para la medición de la Basílica, que se trata del recinto de mayores dimensiones. Se utilizó una fuente dodecaédrica para emitir un barrido tonal sinusoidal exponencial entre 20 Hz y 20 kHz. Debido al alto tiempo de reverberación de la Basílica, el barrido utilizado presentaba una duración de 21,8 s. La señal fue captada, a través de un único micrófono DPA 4006A, con el software de medición Dirac 6.

3.2. Método 2

El segundo método de grabación fue utilizado para las salas de tamaño medio y con disponibilidad de conexión a red eléctrica: las Salas Capitulares, la Iglesia de Prestado y la Sacristía. Al igual que en el primer método, se utilizó como señal sonora un barrido tonal sinusoidal exponencial reproducido a través de una fuente dodecaédrica; en este caso, la duración del barrido fue de 10,9 s. Las mediciones se realizaron en formato off-line con el fin de poder utilizar tres micrófonos simultáneamente. Para cada posición de micrófono se registraron tres barridos mediante el software de grabación Reaper. Los barridos captados se procesaron a través de Dirac con el fin de obtener una respuesta al impulso. Los resultados de los parámetros acústicos de los tres barridos medidos en cada posición fueron promediados.

3.3 Método 3

El último método fue utilizado en los dos claustros bajo estudio y en la Casita del Infante, ya que no se disponía de una conexión eléctrica. Se utilizaron dos fuentes sonoras: claquetas de madera y globos de 31 cm de diámetro. La grabación se realizó en formato off-line, utilizando simultáneamente tres micrófonos, a través de Reaper. Los parámetros acústicos calculados a partir de la respuesta al impulso grabada se obtuvieron mediante Dirac. Cabe destacar que la mejor relación impulso a ruido (INR) se obtuvo con la utilización de globos como fuente sonora; todos los resultados mostrados se extrajeron de estas mediciones.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de las respuestas al impulso medidas mediante la utilización de micrófonos monoaurales, se han calculado parámetros objetivos que nos permiten estudiar tres aspectos acústicos de las salas: su reverberación, su efecto en la música y su efecto en la palabra. Los parámetros se han calculado siguiendo el proceso descrito en la normativa UNE-EN ISO 3382-1 [16]. Los datos

presentados son el resultado del promedio de los parámetros obtenidos para todas las combinaciones fuente y micrófono individuales medidas en cada sala.

El primer parámetro objetivo evaluado es el tiempo de reverberación (T_{20}), dado que es comúnmente considerado como el parámetro más representativo de las características acústicas de una sala. La Tabla 2 presenta los datos promediados espacialmente para todas las bandas de frecuencia bajo evaluación, al igual que la desviación estándar de las mediciones, lo que nos permitirá conocer su variabilidad.

Las elevadas dimensiones de la Basílica, al igual que el hecho de que esté construida en materiales altamente reflectantes como piedra y mármol, resulta en valores del tiempo de reverberación promedios muy elevados, alcanzando los 8,20 s en 1000 Hz. Como era de esperar, la desviación estándar calculada no es muy elevada, debido a la estabilidad que este parámetro presenta en relación con la distancia fuente-receptor. Llama la atención el valor tan alto alcanzado en este parámetro, que presenta una diferencia de más de 2,0 s con respecto a los datos obtenidos en otros grandes recintos religiosos, como la Catedral de Notre-Dame [4], la de Santiago de Compostela [1] o la de Bristol [2]. Estudios subjetivos realizados en recintos similares indican que los valores estimados para el tiempo de reverberación como adecuados para las actividades realizadas en recintos religiosos son entre 3,0 y 5,0 s [19,20]. La Basílica se encuentra muy por encima de estos valores, pero hay que tener en cuenta que, en su época de mayor esplendor, la mayor parte de la actividad musical era realizada en el Coro, espacio de menores dimensiones y en el que se han encontrado valores temporales (EDT) y de inteligibilidad (C80) en mayor concordancia con los recomendados para la interpretación de grandes formaciones.

Tabla 2 – Tiempo de reverberación promedio (T_{20}) y desviación estándar (σ).

Sala		Frecuencia (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
Basílica	T_{20} (s)	9,07	9,38	9,04	8,20	6,16	3,90	2,20
	σ	0,78	0,66	0,73	1,40	0,61	0,61	0,45
Salas capitulares	T_{20} (s)	3,67	3,50	3,73	3,92	3,42	2,40	1,44
	σ	0,18	0,15	0,14	0,10	0,08	0,06	0,05
Iglesia de Prestado	T_{20} (s)	3,43	3,81	3,90	3,69	3,06	2,07	1,31
	σ	0,22	0,15	0,12	0,08	0,06	0,05	0,05
Sacristía	T_{20} (s)	3,10	3,20	3,02	3,10	2,75	1,97	1,29
	σ	0,17	0,12	0,10	0,13	0,14	0,09	0,06
Claustro Principal	T_{20} (s)	4,50	4,75	4,27	3,32	2,82	1,68	0,91
	σ	0,25	0,19	0,23	0,17	0,14	0,13	0,10
Claustro de la Botica	T_{20} (s)	2,16	2,24	1,91	1,68	1,49	1,14	0,71
	σ	3,97	0,38	0,10	0,06	0,04	0,04	0,04
Casita del Infante	T_{20} (s)	1,62	1,30	1,17	0,99	0,83	0,66	0,49
	σ	0,26	0,08	0,06	0,07	0,04	0,05	0,05

Las Salas Capitulares, la Iglesia de Prestado y la Sacristía se tratan de tres salas de dimensiones, materiales y funciones interpretativas parecidas. Los valores obtenidos para el tiempo de reverberación se encuentran entre los 3 y 4 segundos para la banda de 1000 Hz. El valor más elevado se encuentra en las Salas Capitulares, lo cual era de esperar dado que se trata del recinto de mayores dimensiones. Este espacio era habitualmente empleado para la realización de academias musicales y, si se compara con el valor del tiempo de reverberación óptimo dado por Barron [21] para la interpretación de música de cámara (entre 1,40 y 1,80 s), se tiene que el valor medido es, aproximadamente, el doble. Las otras dos salas eran utilizadas para la realización de oficios religiosos con un número reducido de músicos (la capilla musical del monasterio solía estar formada por 12-15 músicos [22]). El valor del tiempo de reverberación para ambas salas concuerda con los valores anteriormente especificados para música religiosa.

Como se puede ver en la Figura 2, el Claustro Principal presenta valores muy semejantes a los de las tres salas anteriores por encima de 1000 Hz, pero en bajas frecuencias el tiempo de

reverberación es más de 1,0 s mayor. Este espacio era utilizado para la realización de procesiones, que bajaban desde el Coro de la Basílica hasta el altar principal. Desde la desamortización del monasterio y la expulsión de los jerónimos en 1837 [23], el claustro no ha vuelto a ser usado con fines musicales, a pesar de que los resultados obtenidos se ajustan a los especificados en [19,20].

El Claustro de la Botica es un espacio semiabierto (no presenta techo) que fue utilizado desde el siglo XVII para la interpretación de obras de teatro por parte de los alumnos del seminario del monasterio. A pesar de que el valor obtenido en 1000 Hz es superior que el recomendado en [21] para la interpretación de teatro (0,7 – 1,0 s), hay que tener en cuenta que, en esta época, las obras teatrales eran acompañadas por música, por lo que la acústica más adecuada para su interpretación coincide mejor con los valores estimados para la música de cámara, con los que sí concuerda.

La Casita del Infante se trata de una casa de recreo construida para la realización de academias musicales, donde se interpretaban piezas de música de cámara. El valor obtenido para la banda de frecuencia de 1000 Hz es de 0,99 s. En este caso, se puede ver que el valor del tiempo de reverberación es inferior al habitualmente recomendado para lugares dedicados a la interpretación de música de cámara. Cabe tener en cuenta que el tamaño de la sala utilizada con este fin es muy reducido, siendo un salón cuadrado de 6 m de lado.

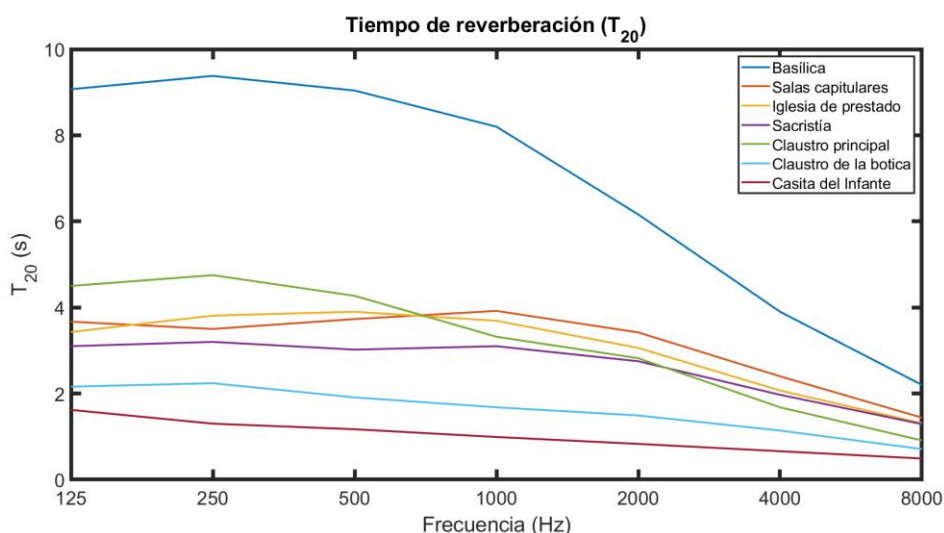


Figura 2 – Tiempo de reverberación (T₂₀)

Otro parámetro de gran relevancia debido al tipo de uso que se hacía de los espacios estudiados es la claridad musical C_{80} . Este parámetro estudia la relación existente entre la energía de las reflexiones tempranas y tardías, considerando como reflexiones tempranas aquellas que llegan en los primeros 80 ms. Los valores encontrados en las evaluaciones llevadas a cabo en [19,20] sobre recintos religiosos indican que los valores de claridad musical considerados como adecuados son aquellos superiores a 0 dB. En el caso de música de cámara, Barron [21] recomienda que el C_{80} se encuentre en el margen de -2,0 a 2,0 dB.

Si se observan en la Tabla 3 los valores promedio calculados para cada una de las salas es posible comprobar, en primer lugar, lo elevado que es el valor de la desviación estándar en comparación con la calculada para el tiempo de reverberación. Esto se debe a que la claridad musical C_{80} es altamente dependiente de la posición relativa entre emisor y receptor, y disminuye cuanto más se aleje el receptor de la fuente.

Tabla 3 – Claridad musical (C_{80}) y desviación estándar (σ).

Sala		Frecuencia (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
Basílica	C_{80} (dB)	-12,02	-12,40	-12,10	-10,75	-10,64	-8,63	-3,91
	σ	14,54	14,14	12,07	10,33	12,39	12,73	9,63
Salas Capitulares	C_{80} (dB)	-6,29	-6,97	-7,74	-8,05	-8,20	-6,13	-2,07
	σ	2,15	3,95	6,93	8,05	9,46	10,70	9,83
Iglesia de Prestado	C_{80} (dB)	-4,42	-5,87	-5,72	-5,13	-4,59	-2,21	1,17
	σ	2,82	2,73	2,80	2,51	2,36	2,28	2,78
Sacristía	C_{80} (dB)	-4,87	-4,87	-4,64	-4,27	-3,57	-1,88	0,74
	σ	3,40	3,17	2,93	2,99	3,15	3,29	3,54
Claustro Principal	C_{80} (dB)	-5,84	-6,93	-6,92	-5,10	-3,88	0,03	3,79
	σ	4,32	3,34	3,98	3,21	2,88	2,56	3,17
Claustro de la Botica	C_{80} (dB)	2,51	-3,00	-2,50	-1,25	-0,56	2,27	6,34
	σ	4,80	2,92	2,58	1,61	1,28	1,81	1,63
Casita del Infante	C_{80} (dB)	-4,63	-2,82	-2,22	0,02	1,92	3,76	5,88
	σ	3,06	1,65	1,96	2,35	2,65	3,13	3,30

Sólo dos de los recintos estudiados presentan un valor C_{80} dentro de los márgenes anteriormente especificados. Es el caso del Claustro de la Botica y de la Casita del Infante, que también coincide con los dos recintos de menores dimensiones. Las demás salas estudiadas presentan valores de claridad C_{80} extremadamente bajos, debidos probablemente a su gran tamaño y a los materiales utilizados en su construcción. Al hacer una evaluación individual de las mediciones en estos recintos se comprueba que los valores promedio tan bajos se deben a las posiciones de receptor más lejanas de las de fuente. Existe, en todos los casos, un espacio relativamente cercano al emisor donde la claridad percibida es adecuada para la interpretación de música clásica. Incluso en la Basílica, donde se llegan a alcanzar niveles de C_{80} inferiores a -25 dB, se puede observar que, cuando los emisores y los receptores se encuentran ambos en el altar o en el Coro, la claridad percibida está dentro del margen de -3 a 2 dB. Estos niveles pueden considerarse adecuados, teniendo además en cuenta que la principal actividad musical realizada era el oficio de las horas, que era interpretado por toda la comunidad religiosa (el promedio histórico es de 150 monjes [23]).

El último parámetro evaluado es el RASTI, que determina la inteligibilidad de la palabra, dando un valor entre 0 y 1, donde 0 representa una inteligibilidad nula y 1 una perfecta inteligibilidad. Al igual que ocurría con la claridad musical, solo el Claustro de la Botica y la Casita del Infante tienen una inteligibilidad promedio que se pueda considerar aceptable. En el caso de las demás salas, se considera que presentan una inteligibilidad pobre; excepto en el caso de la Basílica, que con 0,3 puede considerarse baja. Este parámetro también es altamente dependiente de la relación relativa entre emisor y receptor, por lo que sus valores presentan una alta variabilidad en función de la posición de medida.

Tabla 4 – RASTI

Sala	RASTI
Basílica	0,30
Salas Capitulares	0,35
Iglesia de Prestado	0,38
Sacristía	0,41
Claustro Principal	0,42
Claustro de la Botica	0,51
Casita del Infante	0,60

5. CONCLUSIONES

La valoración acústica del Real Monasterio de San Lorenzo del Escorial nos ha permitido conocer mejor las condiciones acústicas en las que se desarrolló la amplia creación artística de los monjes jerónimos. Esta evaluación es la primera parte de un proceso de estudio, recreación, recuperación y conservación de las características sonoras de un entorno vital para el desarrollo musical de uno de los más importantes compositores españoles, el padre Antonio Soler.

Los recintos estudiados se encuentran en un estado prácticamente idéntico al existente en los siglos XVI a XIX. Debido a ello, las mediciones realizadas *in-situ* nos dan información directa de las características acústicas que tuvieron que experimentar los músicos de la época. Los resultados obtenidos han mostrado, en la mayor parte de los casos, que las salas utilizadas para la interpretación de música vocal y de cámara son más reverberantes de lo que hoy en día consideraríamos adecuado para tales actividades. Sin embargo, debe considerarse que, a la hora de realizar la evaluación de un entorno sonoro con relación a la música creada para él, es necesario tener en cuenta el gusto de la época, que habitualmente es muy distinto al actual, y las posibles modificaciones en decoración y posiciones de emisión y escucha utilizadas, que no suelen estar bien documentadas.

El entorno considerado más desfavorable para la interpretación musical, la Basílica, es así mismo aquel que más ha sido utilizado a lo largo de los siglos. La literatura existente del monasterio nos ha permitido conocer que este entorno no fue utilizado en su conjunto, si no que cada zona tenía una función particular, donde las condiciones acústicas permitían el entendimiento musical y de la palabra. A pesar de los altos niveles de reverberación, Patrimonio Nacional sigue, ocasionalmente, realizando conciertos de música religiosa en el interior de la Basílica. Además, han encontrado nuevos lugares dentro del monasterio en los que poder mostrar las composiciones creadas por sus habitantes, con unas condiciones de escucha más adaptadas a nuestra época, pero sin perder el contexto histórico.

AGRADECIMIENTOS

A Patrimonio Nacional y a la Comunidad Agustiniana del Monasterio de San Lorenzo del Escorial por permitirnos acceder a los recintos de interés. También a José Sierra por ayudarnos a recabar la información histórica y musicológica necesaria para llevar a cabo el estudio.

REFERENCIAS

- [1] Gómez Alfageme JJ, Nogueira López P, Martellotta F, Blanco Martín E, Ciani F, Gonzalo Galán J, et al. Acoustic characterization of Cathedral of Santiago de Compostela. INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings, vol. 259, Institute of Noise Control Engineering; 2019, p. 7925–36.
- [2] Álvarez-Morales L, Lopez M, Álvarez-Corbacho Á. Cathedral Acoustics: Bristol Cathedral as a Case Study. INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings, vol. 259, Institute of Noise Control Engineering; 2019, p. 6457–68.
- [3] Suárez R, Sendra JJ, Navarro J, León AL. BAROQUE CHURCH ACOUSTICS: THE EXAMPLE OF SAN PEDRO CHURCH IN PRIEGO (CÓRDOBA). Sound and Vibration 2005;11:14.
- [4] Postma BNJ, Katz BFG. Acoustics of Notre-Dame Cathedral de Paris. Proceedings of the International Congress on Acoustics (ICA), Buenos Aires, Argentina, 2016, p. 5–9.

- [5] Delgado García EM, Delgado García A, Pedrero González A, Díaz Sanchidrián C. Estudio acústico de la cripta del Hospital de San Juan Bautista de Toledo 2017.
- [6] Almagro-Pastor JA, García-Quesada R, Vida-Manzano J, Martínez-Irureta FJ, Ramos-Ridao ÁF. The Acoustics of the Palace of Charles V as a Cultural Heritage Concert Hall. *Acoustics*, vol. 4, Multidisciplinary Digital Publishing Institute; 2022, p. 800–21.
- [7] UNESCO. The Importance of sound in today's world: promoting best practices. Tech. Rep Resolution 39 C/49 2017. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000259172> (accessed September 14, 2022).
- [8] UNESCO. Convention for the safeguarding of the intangible cultural heritage. Tech. Rep. 2018. <https://ich.unesco.org/en/convention> (accessed September 14, 2022).
- [9] Katz BFG, Murphy D, Farina A. The Past Has Ears (PHE): XR explorations of acoustic spaces as cultural heritage. *International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics*, Springer; 2020, p. 91–8.
- [10] de Sigüenza J. La fundación del monasterio de El Escorial. Aguilar; 1963.
- [11] Sierra Pérez J. Monasterio de San Lorenzo del Escorial: música, espacio, tiempo y tempo. *Sonido y espacio. Antiguas experiencias musicales ibéricas*, Madrid: Editorial Alpuerto; 2019, p. 399–429.
- [12] Jambou L. La función del órgano en los oficios litúrgicos del Monasterio de El Escorial a finales del siglo XVI. *Real Centro Universitario Escorial-María Cristina*; 1993.
- [13] Quevedo J. Historia del Real Monasterio de San Lorenzo, llamado comunmente del Escorial: desde su origen y fundación hasta fin del año de 1848. Tip. de Mellado; 1849.
- [14] Durán M. La Casita de Arriba. Restauración del arquitecto oficial D. Miguel Durán. *Cortijos y Rascacielos* 1934:9.
- [15] Sancho JL. La Casa de Campo del Infante Don Gabriel o Casita de Arriba en El Escorial. *Reales Sitios: Revista Del Patrimonio Nacional* 2014:26–51.
- [16] ISO 3382:1997 - Acoustics — Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters. Geneva, Switzerland: ISO; 1997.
- [17] Martellotta F, Cirillo E, Carbonari A, Ricciardi P. Guidelines for acoustical measurements in churches. *Applied Acoustics* 2009;70:378–88.
- [18] Álvarez-Morales L, Zamarreño T, Girón S, Galindo M. A methodology for the study of the acoustic environment of Catholic cathedrals: Application to the Cathedral of Malaga. *Build Environ* 2014;72:102–15.
- [19] Martellotta F. Subjective study of preferred listening conditions in Italian Catholic churches. *J Sound Vib* 2008;317:378–99.
- [20] Carvalho APO, Morgado AEJ, Henrique L. Relationships between subjective and objective acoustical measures in churches. *Building Acoustics* 1997;4:1–20.
- [21] Barron M. *Auditorium acoustics and architectural design*. Spon Press; 2009.
- [22] Herranz BL. Aproximación a la capilla de música del Monasterio de El Escorial. *Música en el Monasterio del Escorial: Actas del Simposium (1, 4-IX-1992)*, Real Centro Universitario Escorial-María Cristina; 1993, p. 345–90.
- [23] Hernández L. Música y culto divino en el Monasterio de El Escorial durante la estancia en él de la Orden de S. Jerónimo. *Real Centro Universitario Escorial-María Cristina*; 1993.