

Resignificación del antiguo convento de San Nicolás de Tolentino. Caracterización acústica de su refectorio

EDUARDO JAVIER GARCÍA ALONSO

Universidad Autónoma de Aguascalientes – ejgalonso@gmail.com

ALEJANDRO ACOSTA COLLAZO

Universidad Autónoma de Aguascalientes – aacosta@correo.uaa.mx

RONALD HANS FURET HERNÁNDEZ

Ingeniero civil

Recibido: 30/10/2012

Aceptado: 10/12/2012

Resumen

Este artículo resume el estudio del comportamiento acústico del refectorio del ex convento de San Nicolás de Tolentino, situado en el municipio de Actopan, en el Estado de Hidalgo, México. Se sabe que este lugar posee una acústica excepcional, considerando que se construyó en el siglo XVI, época en que no existía el conocimiento teórico, ni la tecnología adecuada para diseñar y medir la acústica de los recintos. Sin embargo, se consiguieron excelentes resultados en su diseño para que los frailes pudieran decir sus sermones y oraciones sagradas con el máximo confort acústico. Es interesante observar y analizar el techo del refectorio, porque posee un curioso encasetonado que indiscutiblemente ayuda a la difusión del sonido en el recinto. Para constatar los resultados, se miden y analizan parámetros acústicos objetivos como “Tiempo de Reverberación” (RT), “Tiempo de Decaimiento Temprano” (EDT), “Claridad Musical” (C_{80}), “Definición” (D_{50}), “Tiempo Central” (T_s), “Índice de Transmisión de la Palabra” (STI) y “Porcentaje de Pérdida de Articulación de Consonantes” (%ALCons).

Palabras clave

Arquitectura – Acústica – Convento.

Abstract

This paper summarizes the study of the acoustic behavior of the “ex convento de San Nicolás de Tolentino” refectory, located in the municipality of Actopan, State of Hidalgo, Mexico. This place is known for its exceptional acoustic, considering it was built in the sixteenth century, a time where there was neither the theoretical knowledge nor the technology to design and measure the facilities acoustic. However, excellent results were achieved in their design so the friars were able to lecture and preach their sacred prayers having a maximum acoustic comfort. It is interesting to observe and analyze the refectory’s ceiling, due to its peculiar features, which undeniably help in the sound diffusion within the room. To verify the results, specific acoustic parameters are measured and analyzed, such as “Reverberation Time” (RT), “Early Decay Time” (EDT), “Musical Clarity” (C_{80}), “Definition” (D_{50}), “Centre Time” (T_s), “Speech Transmission Index” (STI) and “Percentage of Articulation Loss of Consonants” (% Alcons).

Key Words

Architecture – Acoustic – Monastery.

Introducción

En el Valle del Mezquital del Estado de Hidalgo existen extraordinarios ejemplos de la arquitectura monástica novohispana del siglo XVI, particularmente pertenecientes a las órdenes franciscana y agustina. Se destacan por su tamaño y calidad arquitectónica el ex convento de San Miguel Arcángel en el municipio de Ixmiquilpan y el de San Nicolás de Tolentino en Actopan. Este último es el más conocido debido a su extraordinaria belleza, siendo uno de los más estudiados localmente desde el enfoque histórico, religioso y artístico.

El convento de Actopan fue producto de la expansión evangelizadora de la orden mendicante de los agustinos en territorio hidalguense, a mediados del siglo XVI. Se considera como fecha de su fundación el año de 1548, y su construcción es atribuida al prior fray Andrés de Mata, siendo concluido en 1573. Él murió en 1574 y el cronista de la orden agustina, Juan de Grijalva, reconoce su humildad y su gran capacidad por el hecho de haber construido los conventos de Ixmiquilpan y Actopan (Mac Gregor, 1982: 41). De la formación del padre Mata no se conoce mucho, si acaso resalta su talento en la pintura, ya

que había aprendido el oficio en Italia trabajando como ayudante de un maestro connotado. La formación de fray Andrés de Mata en Europa, y particularmente durante el efervescente *cinquecento* italiano, pone de manifiesto la plausible posibilidad de que el padre Mata se encontrará imbuido de un espíritu renacentista (Mac Gregor, 1982: 40), el cual tiene como una de sus principales características, la interdisciplinariedad de las artes mayores.

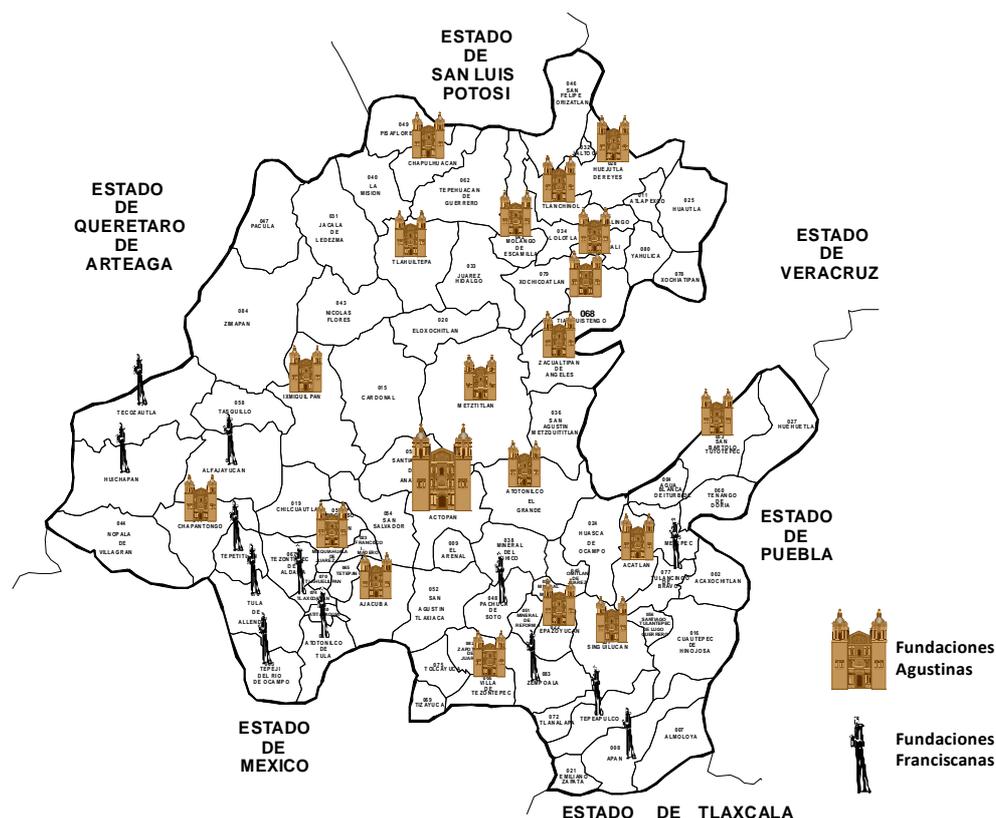


Fig. 1. Distribución geográfica de los conventos en el estado de Hidalgo.
Fuente: Víctor Manuel Ballesteros García; Los Conventos del Estado de Hidalgo, 2000;
adaptación, Eduardo J. García Alonso; Diciembre, 2010.

Los conventos -no importando al orden que perteneciesen- estaban formados por un grupo de personas que convivían bajo un mismo techo y sus relaciones estaban reglamentadas por un régimen jurídico propio, por lo que

el edificio que habitaban heredó la misma designación. En el libro *El Convento Agustino y la Sociedad Novohispana (1533 - 1630)*, de Antonio Rubial García, se afirma que el vínculo establecido entre el convento con la sociedad a la que servía, propició que existieran dos tipos de conventos: las casas en pueblos de indios que se denominan "rurales", y las de villas y ciudades de españoles que se llamaban "urbanas". Siguiendo esta clasificación, el convento de Actopan correspondió al tipo rural.

Durante el periodo comprendido entre los años de 1540 y 1570, la fundación de conventos agustinos en la Nueva España, respondió a tres necesidades básicamente, según nos comenta Antonio Rubial García: Reforzar la misión en los territorios anteriormente adquiridos por medio de nuevos conventos de ocupación; entrar hacia las zonas abandonadas por las otras órdenes, siguiendo las direcciones marcadas por las fundaciones de la época anterior; e, intercomunicar todas las zonas mediante misiones de enlace.

Los conventos de Ixmiquilpan y Actopan, según lo anteriormente referido, encuadran dentro de las fundaciones de enlace, ya que acortan la distancia entre las casas rurales de la Sierra Alta de Hidalgo y las misiones franciscanas de Tlahuelilpan y Tula, así como con la Sierra Gorda de Querétaro. Sin embargo, cumplieron con otro propósito: la mayoría de las veces los conventos estaban dispuestos para albergar a no más de cinco frailes, pero en otras ocasiones, las casas rurales que contaban con medios suficientes para sustentar una gran comunidad y que contaban con un amplio edificio para alojarla, se empleaban para albergar noviciados y/o como casas de estudio. El noviciado tenía como principal característica la de agrupar a aquellas personas que pretendían ordenarse; y en los grupos de estudio, se preparaban para el sacerdocio los religiosos ya profesos en las áreas de gramática, artes y teología y además lenguas indígenas.

Por las grandes dimensiones de los conventos de Actopan e Ixmiquilpan y por tener suficientes recursos para albergar y sostener a una numerosa comunidad de estudiantes, fueron elegidos entre otros para actividades académicas. En Ixmiquilpan, por ejemplo, se dedicó al estudio de la gramática (estudios menores) y en Actopan (junto con Yuririapundaro y Tiripitío) a las artes (considerados como estudios mayores, incluyendo a la teología). El número de alumnos varió según la época y la casa de que se tratara. Hasta 1570 no

debió ser muy elevado pues Acolman poseía en ese año únicamente dieciséis estudiantes y Yuririapúndaro doce. Desde fines del siglo XVI y principios del XVII, cada casa de estudio tenía entre veinte y veinticinco alumnos. Actopan e Ixmiquilpan llegaron a poseer hasta treinta en 1605.

La vida de la comunidad religiosa se desarrollaba entre la práctica de la oración y la labor evangelizadora. El centro de la actividad dentro del convento era la oración en común que se hacía varias veces al día en el coro: laudes, vísperas, completas y maitines. Si bien la oración en común era una regla de la comunidad agustina, ésta no perdió en Nueva España su carácter eremítico. En algunos conventos rurales había lugares de recogimiento y soledad para los religiosos que querían, por algún tiempo, una vida de oración retirada del mundo (Rubial García 1989: 143).

En contraste con esa vida religiosa, aislada, austera y sombría, que las gruesas paredes de los conventos novohispanos del siglo XVI nos hacen suponer, los agustinos fueron señalados por autoridades eclesiásticas y civiles por realizar grandes, suntuosas y costosas construcciones en aquella época. Según Antonio Rubial García, uno de los primordiales motivos para esta opulencia era impresionar a los neoconvertos, fortaleciendo así el cristianismo a través de los sentidos; otra, que los mismos indígenas se enorgullecían de tener un majestuoso convento y una gran iglesia; y por último, también incidió la necesidad de admitir a muchos frailes en los conventos.

Complementariamente al alarde arquitectónico del ex convento de Actopan, encontramos en éste escultura y pintura (características distintivas en la mayoría de los ejemplos de arquitectura agustina en la Nueva España), que juegan un rol crucial en los monasterios y templos. Estos elementos eran ornamentales, pedagógicos y litúrgicos. Las portadas de las iglesias, las pinturas y los retablos de sus interiores, las pinturas en las porterías y claustros bajos de los conventos, los ornamentos y piezas de orfebrería de sus sacristías, respondían al impulso de dar a los indígenas un ambiente que les complementara sus conocimientos sobre el cristianismo y que les facilitara, por medio de la magnificencia del culto, su acercamiento a Dios. Las pinturas en los claustros altos, en cambio, iban dirigidas más bien a los religiosos y se encaminaban no sólo a decorar, sino también a recordar a los frailes, estudiantes y viajeros, el espíritu en el que habían profesado (Rubial García, 1989: 154-155).

Colateralmente a las artes visuales fueron utilizados otros medios didácticos y de conversión religiosa, como el teatro. No hay referencias de autos sacramentales escritos o inspirados por los frailes agustinos, no obstante, no es de extrañar que la orden haya utilizado la actividad teatral para la evangelización, siendo este un medio extremadamente persuasivo. De hecho las posadas, fiestas simbólico-teatrales, nacieron según la tradición, en el convento agustino de Acolman (Rubial García, 1990: 154-155).

Lo anterior da pauta para señalar que junto a los soldados y misioneros que llegaron a la Nueva España, les acompañaron músicos. Existen evidencias que los evangelizadores del orden regular (incluyendo a misioneros agustinos) emplearon la música como instrumento de evangelización entre los naturales y que el repertorio musical ejecutado en el nuevo mundo era muy similar al que se ejecutaba por las catedrales e iglesias europeas.

Aunque el centro musical novohispano fueron las catedrales -ejemplo de ello son las partituras y los documentos que dan constancia de la agitada actividad de los Maestros de Capilla, y que han sido encontrados en las catedrales de México y Puebla-, las técnicas como los estilos europeos viajaban con gran rapidez a las misiones colonizadoras, llegando a los lugares más apartados, tal como nos indica Martha Lucia Barriga Monroy en su artículo, *La Educación Musical durante la Colonia en los Virreinos de Nueva Granada, Nueva España y Río de la Plata*, en el que enfatiza el rápido aprendizaje y el extraordinario talento musical de los indios, y que incluso construían instrumentos musicales, destacando en este rubro el convento agustino de Tiripitío en el estado de Michoacán.

Al franciscano fray Pedro de Gante se le considera en 1530 como el primer maestro de música europea en América, ya que preparó un coro de indios que cantaban los domingos en la catedral de México (Barriga Monroy, 2006: 11). En 1544 se publicó el primer libro de Misas del polifonista español Cristóbal Morales, llegando una copia a la catedral de Puebla, siendo este el documento más antiguo relativo a la música polifónica que existe en México. Cabe destacar que el ex convento de San Nicolás de Tolentino se fundó en 1548, sólo cuatro años más tarde de la llegada del libro de Morales a Puebla, lo que no hace extraño que en Actopan se conocieran sus composiciones. De esta información se derivan algunos cuestionamientos *a priori* inherentes a las funciones y

conocimientos que eran impartidos en el ex convento de Actopan: ¿se enseñaba música a los novicios para fines evangelizadores?, si es que fuera afirmativa la respuesta (que la información anteriormente descrita hace suponer que lo es), ¿en dónde se les enseñaba?, considerando que en la distribución arquitectónica no existían aulas o auditorios para esos fines.

Uno de los espacios más interesantes del ex convento de San Nicolás de Tolentino es su refectorio, en el que podemos inferir que aparte de la función básica de comedor, podría ser el escenario ideal para escuchar música y palabra hablada. Esto último es referenciado en la Regla de San Agustín y Constituciones de su Religión, la cual cita que: *...antes de entrar en el Refectorio, hará señal el Superior, se levantara el Lector de la Mesa, y en su lugar leerá un Capítulo de las Constituciones, o de nuestro ordinario, hasta que el Superior le haga señal, que lo deje.* En el caso particular de Actopan, el refectorio cuenta con un púlpito ex-profeso para la lectura a la hora de la colación (ver Fig. 2). No obstante se puede pensar que además de la palabra hablada profesada en el refectorio, tal vez pudiera servir como espacio para la interpretación de la música.

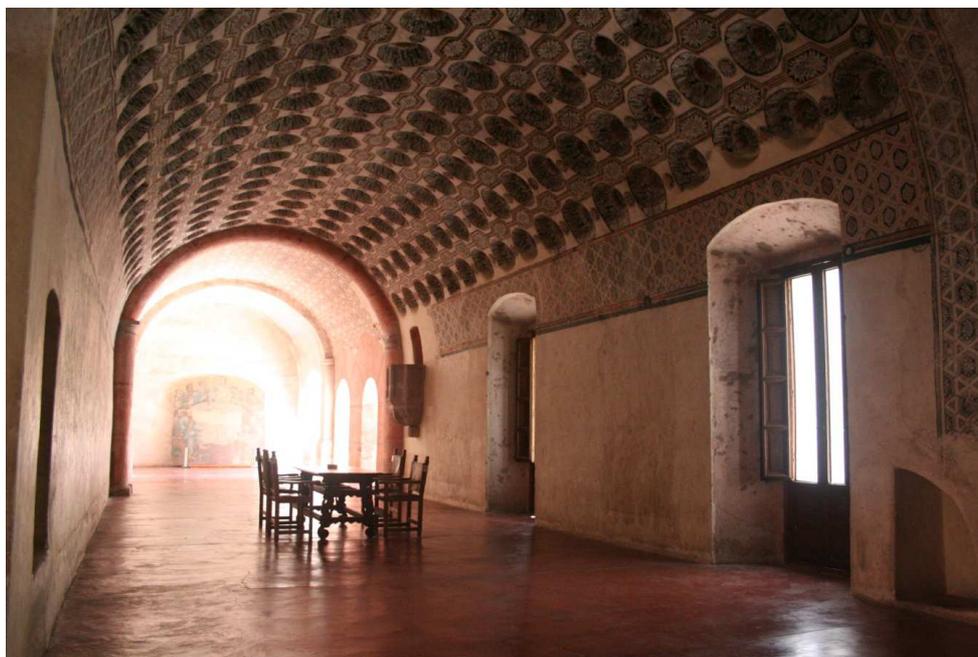


Fig. 2. Refectorio del exconvento de San Nicolás de Tolentino en Actopan, Hidalgo, México.

Fuente: Eduardo J. García Alonso; Noviembre, 2010.

Para el arquitecto Luis Mac Gregor no pasan desapercibidas las cualidades acústicas del refectorio. Su texto denominado *Actopan*, representa uno de los documentos más importantes que describen al ex convento de San Nicolás de Tolentino. Fue designado a principios de los años treinta -recién entregado el inmueble a la Dirección de Monumentos Coloniales- a realizar los primeros trabajos de aseo, conservación, restauración y descubrimiento de las pinturas murales; lo que le permitió una vasta compenetración con el inmueble debido a la franca accesibilidad al mismo, que coyunturalmente le dejó experimentar los procedimientos de aquella época con los materiales de la región, buscando pistas de la tectonicidad del edificio, incluyendo la elaboración de morteros, enlucidos y pigmentos empleados en los murales. En el cumplimiento de su encomienda, llegó a hospedarse en este edificio (Mac Gregor, 1982: 149), lo que le da una ventaja sobre cualquier investigador de la arquitectura del ex convento en la actualidad, que es la de pasar de ser un simple observador, a habitar el objeto de estudio, rebasando la simple contemplación a la vivencia del espacio. Por lo que sus comentarios son de gran utilidad para ésta investigación. Un ejemplo de ello es el siguiente párrafo concerniente al refectorio y que se transcribe a continuación. En éstas líneas se expresan cuestiones que en ese momento no podía responderse. Siendo piezas claves para formular a su vez las preguntas inherentes al refectorio (Mac Gregor, 1982: 124):

La crujía en la que se encuentra el refectorio está dirigida en el sentido oriente-poniente y se halla hacia el sur del núcleo monástico... Desde luego llama poderosamente la atención su bóveda encasetonada. Los vacíos de los casetones son de un contorno incierto que tiende al octágono. Parece que fueron forjados dejando moldes al tejer la bóveda.

¿A qué obedeció que esas bóvedas se formarían casetones, exclusivo lugar del monasterio que los muestra? Voy a externar una opinión que, acaso, parezca demasiado audaz. Es sabido que al tiempo que los frailes tomaban su colación, eran leídos textos sagrados, vidas de santos, etc., en la tribuna que casi siempre se encuentra en los comedores. Es igualmente conocido de todos el efecto de reverberación, resonancia o eco que se produce en los recintos abovedados. Pues bien ¿no servirían los casetones para quebrar las ondas sonoras y obviar esos efectos? He observado la acústica de este salón y es inmejorable. En fin, esto no es sino una simple hipótesis.

Es así que la presente investigación pretende indagar sobre las cualidades acústicas del refectorio del ex convento de San Nicolás Tolentino en Actopan.

Metodología y Desarrollo

El estudio acústico del refectorio se ha hecho tomando como referencia la normativa internacional ISO 3382, la cual describe con detalle la metodología para medir el Tiempo de Reverberación (RT) en salas. Este estándar internacional establece un método para la obtención de tiempos de reverberación a partir de la respuesta impulso y ruidos interrumpidos en salas. Describe el procedimiento de medición, los equipos necesarios, la cobertura requerida, un método para evaluar los datos y la forma de presentar los resultados. Además de la obtención del Tiempo de Reverberación, con esta metodología se pueden obtener otros parámetros acústicos muy relevantes como el Tiempo de Decaimiento Temprano (EDT), Tiempo Central (T_s), Claridad Musical (C_{80}), Definición de la Palabra (D_{50}), Índice de Transmisión de la Palabra (STI) y el Porcentaje de Pérdida de la Articulación de Consonantes (%ALCons).

Al momento de realizar las mediciones se requiere un ambiente de ruido controlado, es decir, se requiere generar una señal de ruido de al menos 45 dB sobre el ruido de fondo para obtener un T_{30} , o en su defecto de 35 dB sobre el ruido de fondo para obtener un T_{20} . En la práctica el valor más conveniente para considerar como Tiempo de Reverberación (RT) es el T_{30} , ya que asegura una mejor precisión en los resultados.

Como fuente de sonido se utilizó un revólver de salva que generaba un nivel de presión sonora aproximado de 122 a 114 dB a un metro de distancia. Esta fuente se localizó en el púlpito que sería el lugar más adecuado para dar este tipo de discursos y lecturas sagradas. Para la captación de la fuente impulsiva se usaron simultáneamente dos micrófonos de la marca Behringer, modelo ECM-8000. Entre las características más relevantes de estos micrófonos destaca un patrón polar omnidireccional y respuesta de frecuencia plana. Así se puede obtener información acústica de los 12 puntos de medición propuestos (ver Gráfica 3 y Tabla 1), con al menos 3 mediciones por punto de recepción, quedando como valor representativo del punto la media aritmética de las mediciones en ese punto. Los micrófonos se pusieron a una altura de 1.2 mts. del suelo, la separación mínima entre micrófonos fue superior a 1.4

mts., localizados a más de 0.7 mts. de las paredes u objetos reflectantes y a más de 2 mts. de la fuente impulsiva (revólver) para evitar la influencia del sonido directo según las características del recinto y las recomendaciones de la normativa. Los micrófonos se conectaron a una interfaz de audio marca M-Audio, modelo Mobile Pre que sirve para convertir la señal analógica en digital. La información fue procesada en tiempo real por un ordenador tipo laptop, marca Toshiba con CPU Intel® Celeron® 2.2 GHz y RAM de 2.87 GB. El software utilizado para la obtención de los parámetros acústicos a partir de la respuesta impulsiva de la sala fue el software Dirac 3.0.

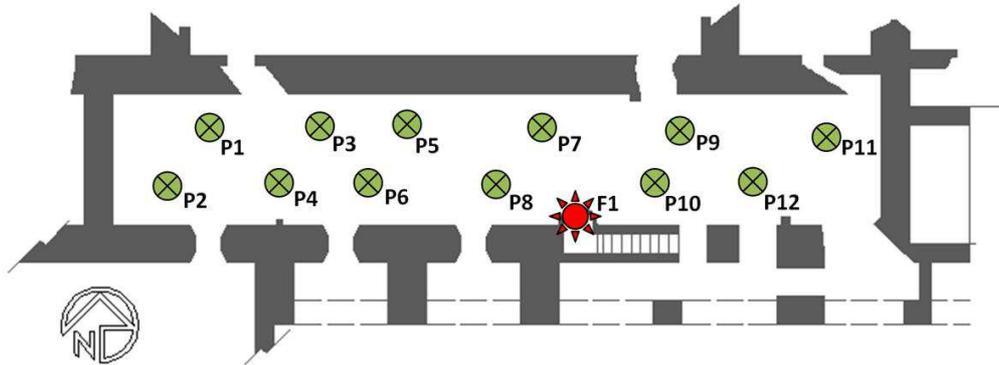


Fig. 3. Distribución de puntos de medición y fuente de sonido al interior del Refectorio. Los puntos verdes muestran los puntos de medición (micrófonos) y el punto rojo muestra la posición de la fuente de ruido (revólver). Fuente: Ronald Hans Furet Hernández; Claudia Paulette Escalona Muñoz.

Posición	Distancia [mts]	Posición	Distancia [mts]
P1	18	P7	5
P2	19	P8	4
P3	13	P9	7
P4	14	P10	5
P5	9	P11	13
P6	10	P12	9

Tabla 1. Distancias desde la fuente hacia cada uno de los puntos de medición en el Refectorio. Fuente: Ronald Hans Furet Hernández.

Resultados

Los resultados de las mediciones acústicas objetivas revelaron que el refectorio posee una excelente difusión acústica, ya que los valores promedio de Tiempo de Reverberación " RT_{mid} ", y Tiempo de Decaimiento Temprano " EDT_{mid} ", son idénticos. Esto está directamente relacionado con la utilización de difusores acústicos en forma de casetones en el techo del refectorio que ayudan a distribuir de una manera más homogénea la energía sonora en el recinto, evitando así resonancias y otros fenómenos que juegan en contra de la buena acústica de un recinto si no se controlan adecuadamente.

El refectorio actual tiene un volumen aproximado de $1,248 \text{ m}^3$ y un tiempo de reverberación medido de 3.45 segs. El valor recomendado por Everest y Pohlman (2009), según su volumen y aplicación, es de 2.3 segs., lo cual va en contra de la inteligibilidad de la palabra, pero es necesario mencionar que el recinto luego de ser construido tenía un volumen inferior, ya que posteriormente fue modificado al abrir sus dos extremos. Incluso se podría pensar que antiguamente la acústica era mejor que la actual, ya que fue modificado su diseño inicial para la aplicación específica de la palabra hablada. El ambiente al momento de realizar las mediciones era muy controlable ya que el ruido de fondo era de tan sólo 40 dBA, lo que permitió hacer mediciones sin mayores inconvenientes.

Por otra parte, se puede aseverar que geométricamente todo escucha que se sitúe debajo de la bóveda del refectorio, estará en una zona de difusión, ya que según Cremer y Müller (1982), aseguran que las superficies con un alto grado de concavidad y lo suficientemente separadas del piso, actúan normalmente como difusores del sonido (ver Gráfica 4). Ellos desprenden de sus estudios una regla para discernir si una superficie cóncava genera difusión o focalización del sonido. Ésta consiste en que si la fuente y el receptor están fuera de la esfera imaginaria formada por la prolongación de la cavidad, el sonido se dispersará por una extensa zona de recepción. Con esto se desprende que los casetones del techo del refectorio actúan como difusores acústicos, dispersando todo sonido incidente sobre éstos de una forma más homogénea hacia distintos lugares del refectorio, evitando así notorias concentraciones energéticas del sonido en determinadas bandas de frecuencias, más comúnmente conocidas como resonancias.

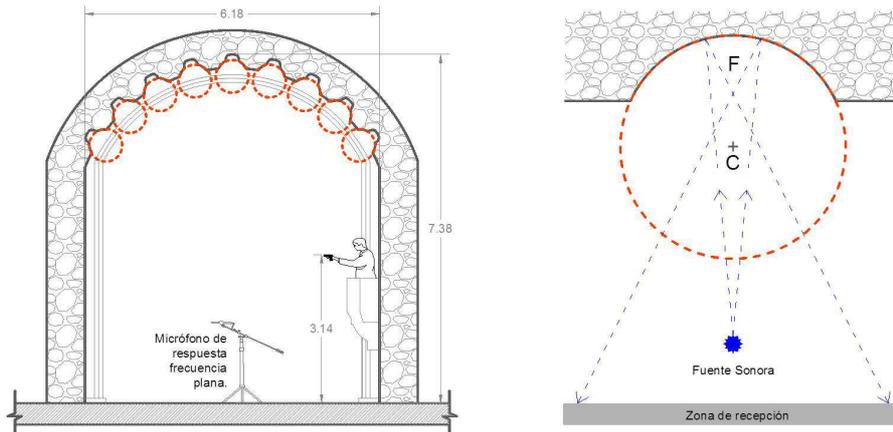


Fig. 4: Casetones del refectorio actuando como dispersores del sonido debido a que la fuente y la zona de recepción se hallan fuera de la esfera imaginaria, extrapolada a partir de dicha superficie (F es el punto focal y C es el centro de la esfera).

Fuente: Ronald Hans Furet Hernández; Claudia Paulette Escalona Muñoz

Los resultados de las mediciones de los parámetros acústicos objetivos se muestran en la Tabla 2:

Parámetros Acústicos Objetivos	Frecuencia Central por Banda de Octava [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
EDT [s]	4.05	3.75	3.57	3.32	2.84	2.13
RT [s]	4.20	3.77	3.58	3.32	2.95	2.29
Ts [ms]	296.4	259.9	243.4	228.9	196.9	141.0
C ₈₀ [dB]	-3.62	-3.73	-3.33	-3.32	-2.49	-0.47
D ₅₀	25	22	23	23	25	35

Tabla 2. Resultados finales promedios para distintos parámetros acústicos por banda de frecuencia medidos en el Refectorio.

Fuente: Ronald Hans Furet Hernández.

La Tabla 3 muestra los valores promedio de siete grupos de frecuencias y servirá para comprobar si cumple con los valores recomendados, tal como lo hace Antonio Carvalho (2000) en uno de sus estudios acústicos sobre iglesias.

Bandas de Frecuencia	EDT [s]	RT [s]	C ₈₀ [dB]	D ₅₀ [%]	T _s [ms]
6 bandas (125 Hz a 4 kHz)	3.28	3.35	-2.83	25	227.76
2 bandas (2 y 4 kHz)	2.49	2.62	-1.48	30	168.98
4 bandas (125 Hz a 1kHz)	3.68	3.72	-3.50	23	257.15
Mayor de 4 bandas (500 Hz a 4kHz)	3.57	3.58	-0.47	35	243.38
4 bandas medias (250 Hz a 2kHz)	3.37	3.41	-3.22	23	232.29
3 bandas (500 Hz a 2KHz)	3.25	3.28	-3.05	24	223.08
2 bandas (500 Hz y 1KHz)	3.45	3.45	-3.33	23	236.1

Tabla 3. Valores promedios de parámetros acústicos objetivos. Fuente: R.H. Furet Hernández.

Para que exista una buena difusión del sonido se recomienda que la media aritmética de EDT entre las frecuencias de 500 y 1 kHz (sala vacía), llamado EDT_{mid} , debe ser lo más parecido posible a los valores recomendados para T_{mid} . En la Gráfica 5 o la Tabla 3, se logra apreciar que los valores correspondientes a la media aritmética para las frecuencias de 500 Hz y 1 kHz, es de 3.45 segundos, tanto para el EDT_{mid} como para el T_{mid} , es decir, *son idénticos*, lo que indica una inmejorable difusión del sonido al interior del refectorio.

Para una sala vacía se recomienda que el valor promedio de Claridad Musical (C_{80}), correspondiente a las bandas de frecuencia de 500 Hz, 1 kHz y 2 kHz se sitúe dentro del rango de -4 a 0 dB. Si observamos la Figura 6 o la Tabla 3, podemos notar que se obtuvo un valor promedio de -3.05 dB y que todas sus bandas de frecuencia están dentro del rango recomendado, en otras palabras, se podría apreciar claramente el grado de separación entre los distintos sonidos de una composición musical.

Los valores recomendados de Definición (D_{50}), para un recinto destinado a la expresión hablada, se debe cumplir que los valores de D_{50} sean lo más uniforme posible y que se sitúen dentro del rango de 40 a 60 %. Si observamos la Gráfica 7 o la Tabla 3, podemos notar que el D_{50} en promedio está 15 % debajo del rango recomendado; esto quiere decir, que el nivel de campo reverberante es mayor en comparación a la proporción de energía de las primeras reflexiones y se hace más complicado disgregar las palabras. Los valores recomenda-

dos de tiempo central (T_s) deben ser menores a 140 milisegundos en las frecuencias medias. Si observamos la Figura 8 o la Tabla 3, podemos notar que el T_s en promedio es de 228 milisegundos, por lo que el grado de nitidez del sonido se ve disminuido.

En las siguientes gráficas, ya referenciadas, se muestra la desviación estándar como medio estadístico para describir cuando se separan las mediciones acústicas de RT, EDT, T_s , C_{80} y D_{50} respecto a su media aritmética.

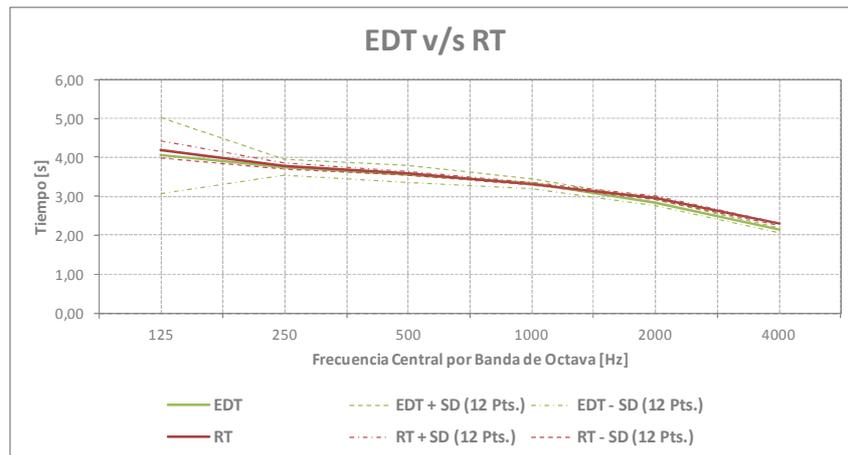


Fig. 5. EDT y RT para Refectorio con desviación estándar de 12 puntos de medición. Fuente: Ronald Hans Furet Hernández.

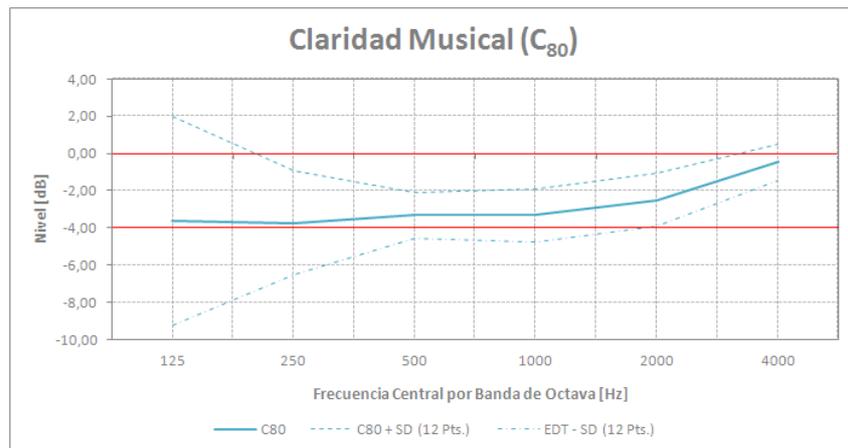


Fig. 6. Valores de claridad musical C_{80} obtenidos en el Refectorio (línea continua azul) y valores recomendado (entre líneas paralelas rojas). Fuente: Ronald Hans Furet Hernández.

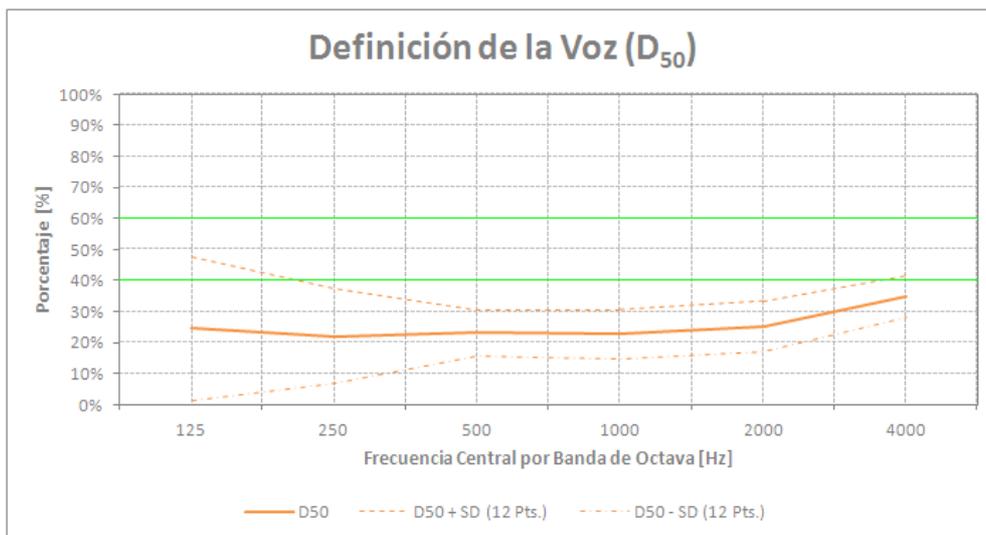


Fig. 7. Valores de Definición D₅₀ obtenidos en el Refectorio (línea continua naranja) y valores recomendados (entre líneas paralelas verdes).

Fuente: Ronald Hans Furet Hernández.

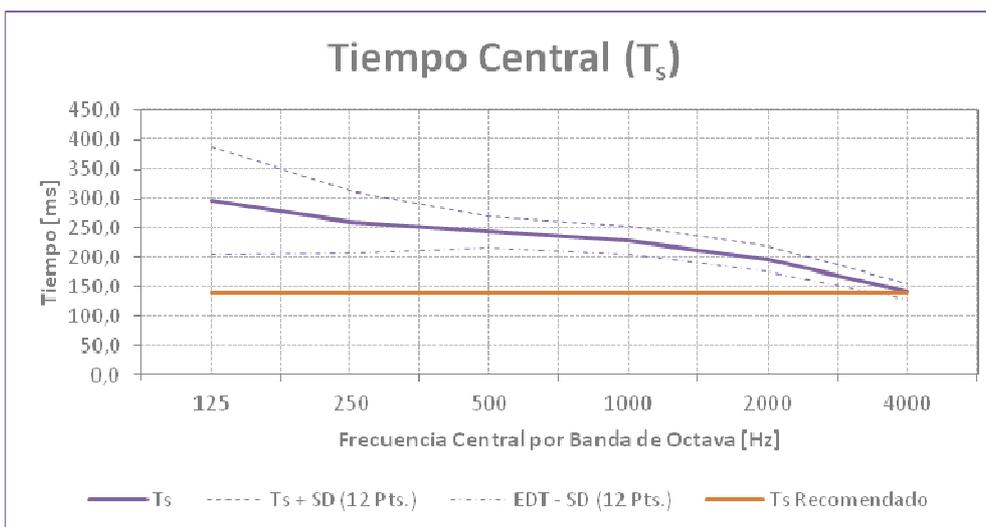


Fig. 8. Valores de tiempo central T_s obtenidos en el Refectorio (curva continua violeta) y valores recomendados (línea horizontal naranja).

Fuente: Ronald Hans Furet Hernández.

El Índice de Transmisión de la Palabra (STI) y el Porcentaje de Pérdida de Articulación de las Consonantes (%ALCons) son los parámetros acústicos típicos para medir el grado de inteligibilidad de la palabra dentro de un recinto. Las valoraciones subjetivas de STI y %ALCons se muestran en la Tabla 4.

%Alcons	STI	Inteligibilidad
0.0% - 1.4%	0.75 – 1.00	Excelente
1.6% - 4.8%	0.60 – 0.75	Buena
5.3% - 11.4%	0.45 – 0.60	Aceptable
12% - 24.2%	0.30 – 0.45	Pobre
27% - 46.5%	0.00 – 0.30	Mala

Tabla 4. Correspondencia entre la inteligibilidad y sus parámetros de medida.
Fuente: Ronald Hans Furet Hernández.

En las Tabla 5, Figuras 9 y 10, se muestran los valores promedios objetivos medidos de inteligibilidad de la palabra y su valoración subjetiva para todos los puntos de medición del refectorio.

Posición	Distancia [m]	STI	%Alcons	Posición	Distancia [m]	STI	%Alcons
P8	4	0.55	8.60%	P6	10	0.40	19.0%
P7	5	0.46	14.4%	P3	13	0.42	17.3%
P10	5	0.37	0.80%	P11	13	0.39	20.9%
P9	7	0.39	20.1%	P4	14	0.38	22.2%
P5	9	0.43	16.2%	P1	18	0.40	19.8%
P12	9	0.38	21.5%	P2	19	0.40	19.7%

Tabla 5. Valores medidos de inteligibilidad de la palabra para diferentes puntos de medición respecto a la misma fuente.
Fuente: Ronald Hans Furet Hernández

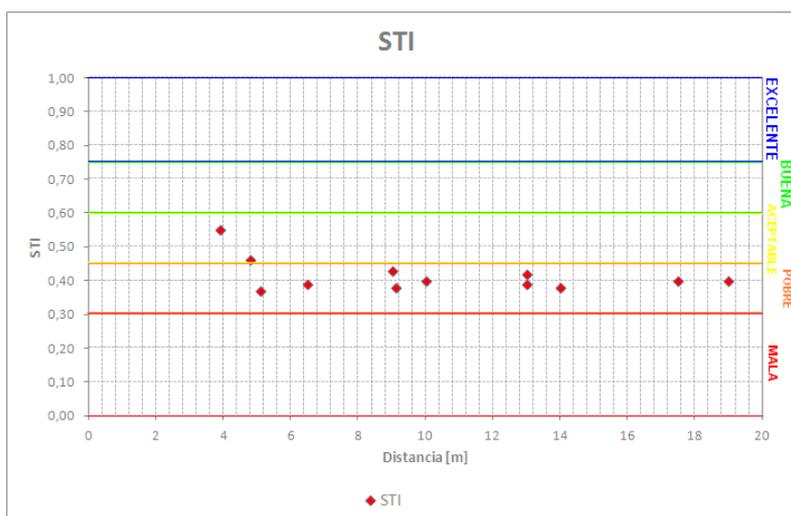


Fig. 9. Índice de Transmisión de la Palabra (STI) para Refectorio considerando todos los puntos de medición. Fuente: Ronald Hans Furet Hernández.

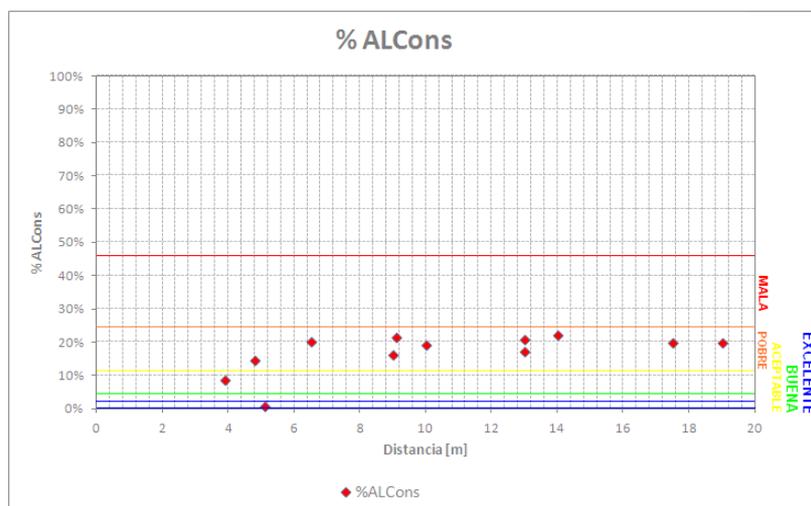


Fig. 10. Porcentaje de Pérdida de Articulación de las Consonantes (%ALCons) para Refectorio considerando todos los puntos de medición. Fuente: Ronald Hans Furet Hernández.

Conclusiones

Luego de las mediciones objetivas y el análisis respectivo, se puede afirmar que la acústica del refectorio es de excelente calidad, corroborándose la hipótesis del arquitecto Luis Mac Gregor, escrita en el año 1947, subsanando de esta manera el vacío tecnológico y de conocimiento acústico empírico que había en ese momento.

Colateralmente con estos resultados se pueden plantear nuevos horizontes epistemológicos, filológicos y arquitectónicos, ya que no sabemos con exactitud cómo es que los frailes agustinos del siglo XVI lograron obtener tales condiciones de confort acústico en el refectorio.

De esta investigación lo que más destaca es la perfecta difusión del sonido y la claridad musical, lo que hace pensar que no sólo se practicaban discursos, sino que también podrían haber existido interpretaciones musicales religiosas debido a las inmejorables condiciones acústicas de estos parámetros objetivos. Evidentemente las modificaciones arquitectónicas ocurridas en el refectorio a través del tiempo, como por ejemplo, la supresión de los muros laterales, produjeron un cambio de volumen interno, lo que afecta directamente al tiempo de reverberación y a otros parámetros acústicos. Sin embargo, el refectorio sigue conservando algunos de sus parámetros acústicos en inmejorables condiciones.

Con la información recabada en este estudio, se torna de especial interés realizar un modelo físico a escala real de uno de los casetones, para medir en un laboratorio el grado de difusión, dispersión y absorción del sonido, ya que sería categórico para concluir el estudio.

Es importante señalar que la mayoría de las recomendaciones de parámetros acústicos disponibles en la literatura son para salas de conciertos y no para iglesias, por lo que este estudio sirve para ir formando nuevos criterios y recomendaciones, o al menos realizar comparaciones con otras iglesias de México y el mundo.

Bibliografía

- AGUSTIN, San (1719): *Regla de San Agustín y Constituciones de su Religión, Compendiadas y Traducidas del Latín en Castellano*, (J. Sanz, Ed.) Madrid, Castilla, España.
- BALLESTEROS GARCÍA, Víctor Manuel (2000): *Los Conventos del Estado de Hidalgo*, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- BARRIGA MONROY, Martha Lucia (2006): "La Educación Musical durante la Colonia en los Virreinos de Nueva Granada, Nueva España y Río de la Plata", *El Artista: Revista de Investigaciones en Música y Artes Plásticas*, num. 003, pp. 6-23.
- CARVALHO, Antonio (2000): "Acoustical measures in churches Porto's Clérigos Church, a comprehensive example", *Seventh international congress on sound and vibration*, Vol. III, Garmisch-Partenkirchen Alemania, pp. 1642-1645.
- CREMER, L. and MÜLLER, H. (1982): *Principles and applications of room acoustics*. Applied Science Publisher, New York.
- EVEREST, A., POHLMAN, K., *Master Handbook of Acoustics, 5th Edition*, 2009.
- ISO - 3382, *Acoustics - Measurements of the reverberation time of rooms with references to other acoustical parameters*, 2a. Edición, 1997.
- JIMÉNEZ DIANDERAS, Carlos Rolando (2010): *Correlación entre Parámetros Acústicos Objetivos y Características Físico Arquitectónicas en Templos Católicos del Período Colonial en Ciudades Representativas del Perú*, Tesis Doctoral, Madrid, España. Universidad Politécnica de Madrid.
- MAC GREGOR, Luis (1982): *Actopan*, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México.
- RUBIAL GARCÍA, Antonio (1989): *El Convento Agustino y la Sociedad Novohispana (1533 - 1630)*, Universidad Nacional Autónoma de México.