

ANÁLISIS ACÚSTICO DE TRES IGLESIAS CON DISTINTA TIPOLOGÍA EN MÁLAGA

PACS: 43.55.Gx

Calabria Ordóñez, Jesús⁽¹⁾; Martín Cruzado, Carlos G.⁽²⁾; Luna Ramírez, Salvador⁽¹⁾.

⁽¹⁾: Dpto. Ingeniería de Comunicaciones. ETSI Telecomunicación. Universidad de Málaga. Campus de Teatinos. 29071 Málaga. España.

Tfno: +34 952 137 186.

Correo-e: jesus_calabria@hotmail.com; sluna@ic.uma.es

⁽²⁾: Genuix. Sistemas Electroacústicos Avanzados. C\ Almonte, 8 (Nave 1). 29004 Málaga. España.

Tfno: +34 951 212 351.

Correo-e: carlos@genuix.es

ABSTRACT

This work presents acoustic measurements and analysis for three churches in Málaga. These churches present different characteristics regarding their dimensions, structure and use (Parroquia Santa Ana, Basilica S^aM^a de la Victoria and Malaga Cathedral). ISO-3382 standard has been used as a reference for measurement methodology and parameter calculations. This study is focused on the reverberation time, sound clarity and definition. With the aim of a deeper analysis, the number of measurement points has been significantly increased respecting ISO-3382 indications.

RESUMEN

En este trabajo se realizan mediciones acústicas, junto con su correspondiente análisis, a tres iglesias de Málaga con distintas características de volumen, estructura y uso (Parroquia Santa Ana, Basilica S^aM^a de la Victoria y S.I.B. Catedral de Málaga). Se ha tomado como referencia la norma ISO-3382 para la metodología de medición y cálculo de parámetros, incidiendo en el estudio del tiempo de reverberación, claridad sonora y definición. Se ha aumentado sensiblemente el número de mediciones referidas en la norma, posibilitando un análisis más exhaustivo y por zonas.

1. INTRODUCCIÓN

La arquitectura de las iglesias ha evolucionado a partir de las necesidades propias del contexto histórico en el que se han construido. Las iglesias católicas tradicionales a menudo tienen altos techos y tiempos de reverberación muy elevados asociados al canto gregoriano, propio de las ceremonias celebradas en la Edad Media. El diseño de las iglesias evolucionó conforme cambiaron también las ceremonias. El latín fue tomando fuerza y la inteligibilidad de la palabra era algo primordial. Hoy día, para todas las religiones, el diálogo entre el clero y los fieles sigue siendo algo fundamental. Además la música también tiene mucho peso en las ceremonias. [3]

En este artículo se muestra parte del estudio acústico realizado sobre tres iglesias de Málaga capital. El trabajo se realizó en base a software específico EASERA, caracterizando las condiciones acústicas en cada punto a partir de la respuesta al impulso. En el siguiente apartado, se hace una breve descripción de cada una de las iglesias estudiadas, además del instrumental utilizado y la metodología de trabajo seguida. Más adelante se presentan los valores obtenidos para los distintos parámetros estudiados. Finalmente, en el último apartado se expondrán algunas de las principales conclusiones extraídas de este trabajo.

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

En el presente trabajo se han caracterizado acústicamente tres iglesias de Málaga capital, principalmente por su valor histórico y monumental, además de sus diferencias arquitectónicas, tratando de encontrar y asociar diferencias acústicas.

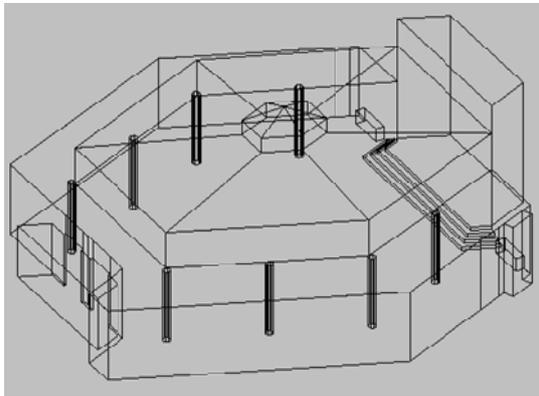
En la *Tabla 1* se recogen las características arquitectónicas principales para el estudio realizado en cada una de ellas.

	P. Sta. Ana y S. Joaquín	Santuario de Ntra. Sra. Victoria	S.I.B. Catedral de la Encarnación
Volumen (m³)	2.560	7.730	119.224
Superf.audiencia (m²)	364	415	3.127
Nº de medidas	66	55	126

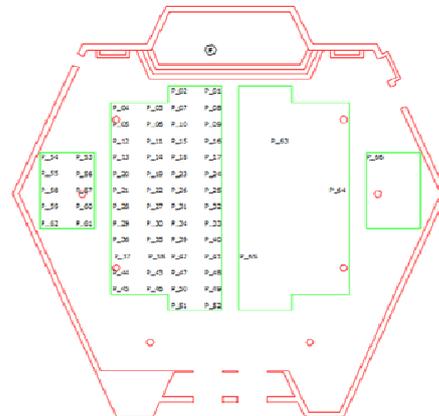
Tabla 1. Características principales de las iglesias estudiadas.

En cuanto al equipamiento usado, la fuente sonora (omnidireccional y dodecaédrica, marca y modelo RIVAS RSAN-AG) se sitúa en el presbiterio a una altura de 1,5m respecto al suelo y a 1m del eje longitudinal del templo. El micrófono usado (omnidireccional *Audix TR-40*) a 1,2m de altura, elevación correspondiente a la altura media de los oídos de los oyentes sentados.

Las distintas iglesias son arquitectónicamente simétricas, razón por la que se ha supuesto simetría acústica. El plan de medidas, por tanto, sólo incluía puntos en una única mitad del recinto respecto al eje de simetría que presentaban. Para verificar dicha hipótesis de simetría acústica, se realizaron medidas en algunos puntos (entre 4 y 7, según la iglesia) ubicados en la mitad del recinto no estudiada. Los parámetros obtenidos en dichos puntos aislados se han comparado con sus puntos simétricos. Las diferencias encontradas entre puntos simétricos no resultaron mayores que entre puntos contiguos dentro de la mitad estudiada. La Figura 1 muestra respectivamente, el modelo tridimensional y el reparto de los puntos de medida para una de las iglesias estudiadas. En el caso de la catedral, y debido a sus grandes dimensiones, el estudio se ha dividido en varias zonas, tal como en la actualidad suele repartirse la audiencia, Figura 2. El estudio acústico se ha realizado sin tener en cuenta el sistema de refuerzo sonoro presente en cada uno de los templos.



a) Alzado tridimensional.



b) Distribución de puntos de medida.

Fig. 1: Parroquia Sta. Ana y S. Joaquín.

Las medidas se realizaron con el templo vacío. Para la obtención de resultados con sala llena se usó el método expuesto en [1] que permite la obtención de diversos parámetros acústicos en sala llena a partir de datos medidos con la sala vacía. No obstante, y dadas las elevadas dimensiones de los recintos, la presencia de público no afectaba a las condiciones acústicas en el interior.

El software de medición utilizado ha sido *Easera* (v.1.1.3), a través del cual se obtiene la respuesta al impulso en cada medida, obteniendo posteriormente los valores de los parámetros acústicos que caracterizan las salas según la norma ISO-3382. Los parámetros acústicos que se han analizado son el tiempo de reverberación (TR), la claridad musical (C_{80}), la definición (D_{50}), y, para el estudio de la inteligibilidad, el STI.

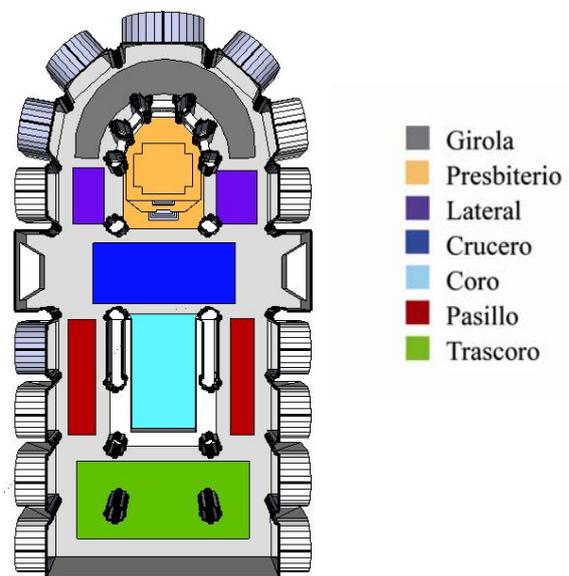


Fig. 2: S.I.B. Catedral de la Encarnación.

3. TIEMPO DE REVERBERACIÓN (TR)

Este parámetro es el que mejor describe, de forma global, el comportamiento acústico de un recinto. En ocasiones se establece un único valor recomendado del TR para un determinado recinto. En estos casos se hace referencia al valor obtenido como la media aritmética de los valores correspondiente a las bandas de 500 Hz y 1KHz, o TR_{mid} . La Tabla 2

presenta los valores de TR_{mid} medidos en cada una de las iglesias estudiadas. Lo primero que se destaca es el valor elevado que alcanza este parámetro, sobre todo en la S.I.B. Catedral. Esto es debido al gran volumen que encierra este templo, además de los materiales con los que están acabados los distintos paramentos: mármol, piedra y yeso principalmente, que favorecen la reverberación en el recinto.

	Parroquia Sta. Ana y S. Joaquín	Santuario de Ntra. Sra. Victoria	S.I.B. Catedral de la Encarnación
TR _{mid} (s)	2,87	3,43	7,00

Tabla 2: TR_{mid} en cada recinto

La Figura 3 muestra los valores de TR_{mid} en función de la frecuencia para dos de las iglesias. En la Figura 3a, N.S^a de la Victoria, se ha hecho una muestra de los puntos medidos escogidos uniformemente en toda la planta. En la Figura 3b, S.I.B. Catedral, se representa el valor promedio para cada una de las zonas en las que se ha dividido el estudio acústico del recinto, Figura 2. Las líneas discontinuas en ambas figuras muestran los valores óptimos del TR_{mid} según se trate de música litúrgica o palabra, [4].

En general, se destaca que el tiempo de reverberación es bastante homogéneo, a excepción de los valores que se obtienen en el interior de la S.I.B. Catedral, dónde se alcanzan valores más dispares en las diferentes zonas, especialmente en las bandas de frecuencia más baja.

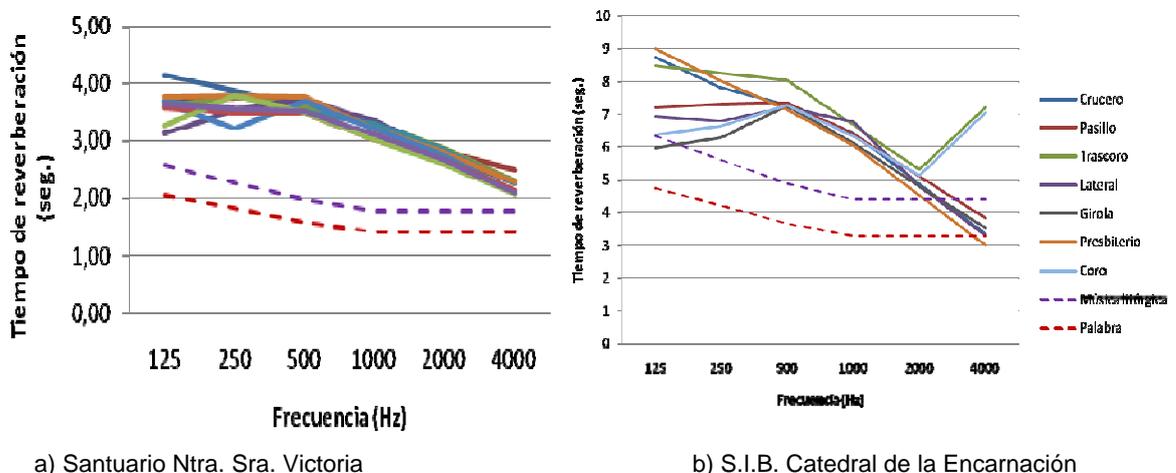


Fig.3: Valores de tiempo de reverberación.

4. CLARIDAD MUSICAL (C₈₀)

La claridad musical se define como:

$$C_{80} = 10 \log \left(\frac{\int_0^{80\text{ms}} p^2(f) dt}{\int_{80\text{ms}}^{\infty} p^2(f) dt} \right) \quad (\text{dB}) \quad \text{Ecuación 1.}$$

La Tabla 3 resume los resultados obtenidos, junto con el valor recomendado en [2]. A su vez, la Figura 4 muestra el valor de este parámetro en dos de los recintos analizados, mostrando así la evolución espacial. En dicha figura se observa una clara dependencia con la distancia a la posición de la fuente.

	Parroquia Sta. Ana y S. Joaquín	Santuario de Ntra. Sra. Victoria	S.I.B. Catedral de la Encarnación	Valor recomendado
$C_{80, mid}$ (dB)	-2,87	-5,49	-6,44	$-4 < C_{80} < 0$

Tabla 3: Music average en cada recinto

Según la Tabla 3, sólo la Parroquia de Sta. Ana experimenta valores de $C_{80, mid}$ óptimos. En las otras dos iglesias el volumen es sensiblemente mayor, provocando un mayor retardo en las reflexiones, y, por tanto, peores valores en el parámetro $C_{80, mid}$

Mención especial merece el comportamiento acústico de la Catedral. Pese a las grandes dimensiones del recinto, que podrían provocar reflexiones tardías y, por tanto, una claridad escasa, el parámetro $C_{80, mid}$ alcanza un valor adecuado en una amplia zona centrada en el altar mayor, Figura 4b. La posición elevada del presbiterio favorece la visibilidad directa del oyente. Además, la presencia de amplias columnas repartidas en la zona de audiencia puede favorecer la recepción de reflexiones tempranas, mejorando así la claridad del recinto.

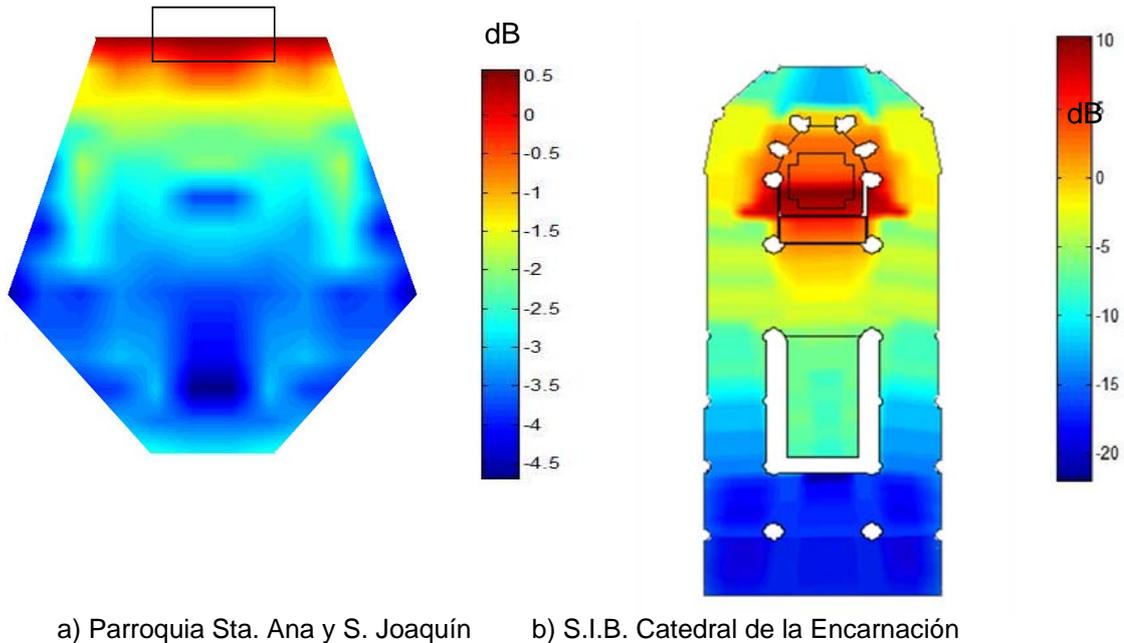


Fig.4: C_{80} para distintos recintos.

5. DEFINICIÓN (D50)

La definición se expresa como:

$$D = \frac{\int_0^{20ms} p^2(t) dt}{\int_0^{20} p^2(t) dt}$$

Ecuación 2.

La Tabla 4 presenta los valores promedio de la D50, así como su valor recomendado por [2]. Se destaca que en todos los casos los valores alcanzados están muy alejados de la

recomendación mínima. Esto se interpreta como una mayor presencia de sonido reverberado frente al sonido directo.

	Parroquia Sta. Ana y S. Joaquín	Santuario de Ntra. Sra. Victoria	S.I.B. Catedral de la Encarnación	Valor recomendado
Definición	0,28	0,183	0,19	$D > 0,5$

Tabla 4: Definición en cada recinto

La Figura 5 dibuja los valores de D50 obtenidos según su distancia a la fuente. En la Figura 5a se una distribución bastante homogénea del parámetro, exceptuando los puntos más cercanos la fuente. En la Figura 5b, en cambio, la influencia con la distancia es muy significativa. Esto se traduce en que el predominio del nivel del sonido directo respecto al de las reflexiones va disminuyendo conforme nos alejamos de la posición de la fuente.

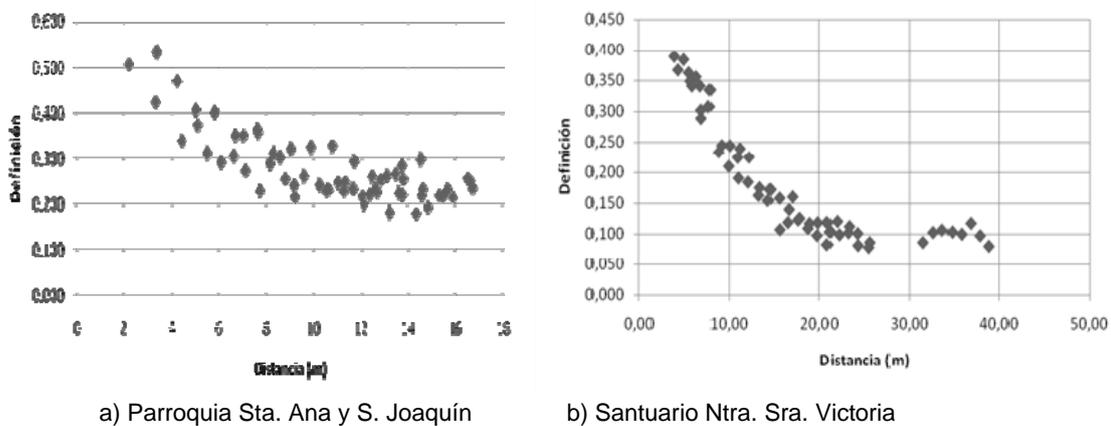


Fig.5: Definición en función de la distancia a la posición de la fuente sonora.

6. SPEECH TRANSMISSION INDEX (STI)

El STI (Speech Transmission Index), definido en [6], indica la inteligibilidad del mensaje acústico con un valor numérico entre 0 (inteligibilidad nula) a 1 (inteligibilidad máxima). La Tabla 5 recoge los valores medidos de STI, junto con el valor recomendado.

	Parroquia Sta. Ana y S. Joaquín	Santuario de Ntra. Sra. Victoria	S.I.B. Catedral de la Encarnación	Valor recomendado
STI	0,48	0,369	0,348	$0,5 < STI < 0,64$

Tabla 5: Definición en cada recinto

La inteligibilidad en los tres recintos no alcanza el valor recomendado, siendo la parroquia de Santa Ana la que se acerca más. Esto es debido a la geometría que presenta. Su arquitectura en forma hexagonal permite una amplia presencia de fieles sin que estén excesivamente alejados de la posición del orador. En las otras dos iglesias no ocurre así debido a su planta en cruz latina.

La Figura 6 representa el valor de STI en función de la distancia del punto de medición a la fuente. La parroquia de Santa Ana dibuja una inteligibilidad bastante homogénea a lo largo de su planta, Figura 6a, al contrario de lo que ocurre en la Catedral, Figura 6b.

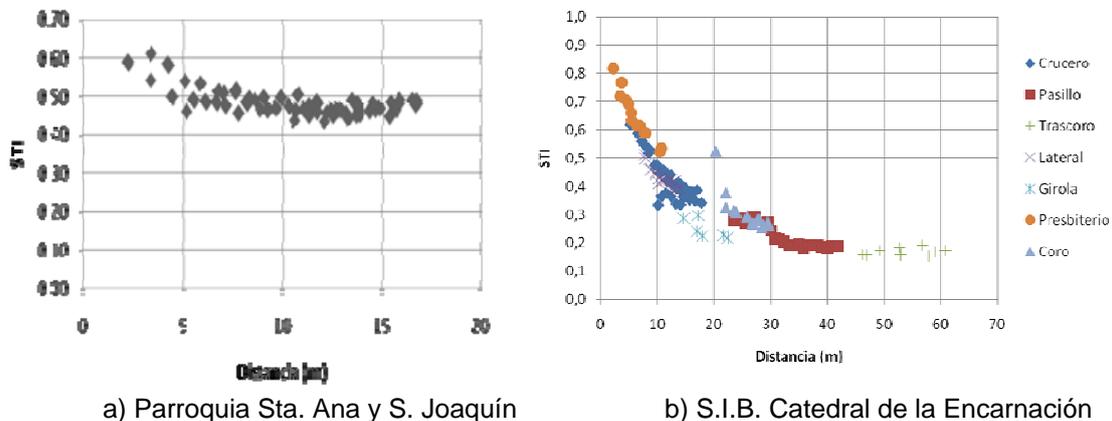


Fig.6: STI en función de la distancia a la posición de la fuente sonora.

En toda la zona del presbiterio y las primeras posiciones de los bancos situados en el crucero se alcanzan valores apropiados. Además se puede identificar una distancia crítica, 30 m, a partir de la que se pierde la visibilidad directa con la fuente, por la propia geometría del templo, y la valoración subjetiva de la inteligibilidad es insuficiente.

7. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado parte del estudio acústico realizado sobre tres iglesias de Málaga capital. Se tomó como referencia la norma ISO 3382 para la obtención del tiempo de reverberación y el resto de parámetros estudiados, aumentando en número de medidas recomendadas en la norma con el fin de hacer un estudio más detallado de los recinto.

Tras el análisis de los resultados se observa la alta influencia del volumen del recinto en las condiciones acústicas de las distintas iglesias. Grandes volúmenes no favorecen la generación de reflexiones tempranas que aportan claridad e inteligibilidad al mensaje oral. Adicionalmente, en el caso de la S.I.B. Catedral de Málaga se observa claramente la relación entre la pérdida de visibilidad directa con la fuente y degradación de la inteligibilidad en el mensaje sonoro.

8. REFERENCIAS

- [1] H. Arau. *ABC de la acústica arquitectónica*. Barcelona: CEAC, 1999.
- [2] A. Carrión Isbert. *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Barcelona: Edicions UPC, 1998.
- [3] Long, Marshall. *Architectural Acoustics*. Academic Press.
- [4] Sendra, J.J., Zamarreño, T. y Navarro, J. *La acústica de las iglesias Gótico-Mudéjares de Sevilla*. UNIVERSIDAD DE SEVILLA.
- [5] 3382. Norma UNE-EN ISO 3382. *Acústica. Medición del tiempo de reverberación*.

[6] 60268. Norma UNE-EN ISO 60268-16:2004. *Equipos para sistemas electroacústicos. Parte 16. Evaluación objetiva de la inteligibilidad del habla mediante el índice de transmisión del habla.*

[7] Calabria Ordóñez, Jesús. *Caracterización acústica de iglesias de Málaga.* E.T.S.I.T. Universidad de Málaga, 2010.