

CARACTERIZACIÓN ACÚSTICA EN EL PRERROMÁNICO ASTURIANO: SANTA CRISTINA DE LENA Y SUS DISTINTAS POSICIONES AURALES

PACS: 43.55.-n. Acústica Arquitectónica // 43.55.Gx Estudio de auditorios y recintos existentes

Samuel Quintana Gómez¹, José Benjamín González Gomis²

¹UCLM - Escuela Politécnica de Cuenca – Grupo GAMMA

{Samuel.Quintana@uclm.es}

² Doctorando en Patrimonio Cultural y Natural. Historia, Arte y Territorio (UVA)

{josebenjamin.gonzalez@alumnos.uva.es}

Palabras Clave: ISO-3382, acústica arquitectónica en iglesias, Patrimonio de la Humanidad, prerrománico asturiano, contextos aurales.

ABSTRACT. Santa Cristina de Lena has a soundscape and an acoustic behaviour that can be related to previous studies of early medieval acoustics. Using the ISO-3382 standard, six parametric groups have been established: subjective sound level (G), perceived reverberation (EDT, T_{30}), sound clarity (C_{80} , D_{50} , T_s), apparent source width (J_{LF}), listener envelope (IACC) and intelligibility (RASTI, %Alcons, NC). The characterisation has been performed with four aural positions with average results both spectrally in octave bands and through a summary table with single number average values.

RESUMEN. Santa Cristina de Lena posee un paisaje sonoro y un comportamiento acústico que puede ser puesto en relación con estudios previos de acústica altomedieval. Mediante la normativa ISO-3382, se han establecido seis grupos paramétricos: nivel sonoro subjetivo (G), reverberación percibida (EDT, T_{30}), claridad del sonido (C_{80} , D_{50} , T_s), ancho aparente de fuente (J_{LF}), envolvente del oyente (IACC) e inteligibilidad (RASTI, %Alcons, NC). La caracterización se ha efectuado para cuatro posiciones aurales con resultados promedio tanto de forma espectral en bandas de octava como a través de una tabla resumen con los valores promedio de número único.

1. INTRODUCCIÓN

Tras las pioneras investigaciones de Raes y Sacerdote en los años cincuenta del pasado siglo [1], en los noventa se produjo un incremento exponencial del interés por la caracterización acústica de lugares de culto, con autores como Joyner [2], Carvalho [3] o Desarnaulds [4]. En España, la acústica de espacios litúrgicos ha sido estudiada por Zamarreño, Sendra y otros miembros del grupo de investigación de la Universidad de Sevilla [5]–[7]. También se ha conformado otro centro de especial relevancia en la Universidad Politécnica de Madrid en torno a Antonio Pedrero, quien, con su tesis doctoral aportó el estudio más innovador y relevante entre los realizados en nuestro país [8]. Aquí se pretende incorporar un nuevo patrimonio edilicio

español a este debate académico: el Prerrománico Asturiano¹, a través del caso singular de la iglesia de Santa Cristina de Lena, estudiada gracias a la autorización concedida por Doña Otilia Requejo Pagés, directora de la Oficina de Bienes Culturales del Arzobispado de Oviedo, y gracias también a la buena voluntad de Doña Inés Faes Cienfuegos, guía de Santa Cristina, que nos dio todo tipo de facilidades. El estudio se ha concretado en base a los siguientes objetivos:

- Caracterizar el comportamiento acústico de Santa Cristina de Lena.
- Comparar su comportamiento con otros ejemplos de edilicia altomedieval.
- Sumar el Prerrománico Asturiano al debate académico acústico.

2. LA IGLESIA DE SANTA CRISTINA EN SU CONTEXTO ARQUITECTÓNICO

Santa Cristina de Lena pertenece a la etapa constructiva del Prerrománico Asturiano [9], estilo englobado en distintas corrientes edilicias altomedievales que se sucedieron y se superpusieron en España entre los siglos VI y XI [10]. Los edificios conservados están especialmente vinculados con la Monarquía Asturiana, siendo por tanto un conjunto de arquitectura de poder [11], y una selección representativa que forma parte del Patrimonio de la Humanidad de la UNESCO [12]. Las prácticas litúrgicas que se desarrollaron deben entenderse como una continuidad evolutiva a partir de los ritos y ceremoniales generados en tiempos del Reino Visigodo [13], [14]. Esta liturgia es conocida como hispana, o mozárabe, prefiriéndose actualmente el primer término. Ubicado en el concejo de Lena, se desconoce la fecha exacta de su alzado, dado que no existen documentos que acrediten su inscripción fundacional. No obstante, las investigaciones apuntan a una cronología «inmediatamente posterior a Santa María de Naranco, ya que las analogías estilísticas con el belvedere de Ramiro I son evidentes, aunque se han introducido tanto variaciones constructivas como artísticas» [15]. Su planta tiene un tamaño reducido, alejado del modelo basilical presente en otras iglesias asturianas. Únicamente posee una nave, de aproximadamente 10 m de largo y 6 m de ancho, a la que se han añadido «cuatro espacios rectangulares situados de forma simétrica en el centro de cada fachada» [15]. Esto le confiere una configuración cruciforme en su vista exterior, que se traduce en una gran simetría tanto externa como interna. La configuración interior presenta una serie de particularidades que lo convierten en un templo singular, como la construcción de tribunas en su eje este-oeste. En el lado oriental se encuentra la cabecera sobreelevada con el ábside, y delante se levanta una tribuna con función de transepto y coro. Al oeste, se encuentra otra tribuna, de mayor elevación y uso regio. Una arquería divide el espacio de la nave, separando el lugar de los fieles del de los religiosos, enlazando con modelos bizantinos y con diseños de arquería islámicos [16]. Su función arquitectónica de separación de espacios y potenciación del elemento místico de la liturgia la vincula con los iconostasios de la liturgia bizantina [17]. Todas estas particulares se dan en un volumen total muy reducido, siendo la iglesia altomedieval de menor tamaño entre las estudiadas y con las que se ha contrastado acústicamente (tabla 1).

Tabla 1 – Comparación del volumen de diferentes iglesias altomedievales españolas.

Iglesia	Lugar	Época	Vol. (m ³)
San Cebrián	S. Cebrián de Mazote (Valladolid)	s. X	2700
Santa María de Melque	S. Martín de Montalbán (Toledo)	ss. VII-VIII	1220
San Juan de Baños	Baños del Cerrato (Palencia)	ss. VII-IX	928
San Pedro de la Nave	Campillo (Zamora)	ss. VII-IX	780
Sta. Lucía del Trampal	Alcuéscar (Cáceres)	ss. VII-VIII	745
Santa Cristina de Lena	Lena (Asturias)	s. IX	370

¹ Se ha adoptado esta nomenclatura por ser la más usual y extendida en los ámbitos científicos, no obstante, definir un estilo artístico en base a otro que aún no existe en el momento de fraguarse el primero no es del agrado de los autores.

3. BREVE DESCRIPCIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE LAS MEDICIONES

Como se aprecian en la tabla 2 y figura 1, se han seleccionado 4 puntos de emisión y 8 de recepción, en aras de lograr una representatividad lo más ajustada posible a los usos litúrgicos de la época. La fuente 1 (F-1) se ha ubicado en el ábside, para representar al oficiante litúrgico. La fuente 2 (F-2) se ha situado en la tribuna definida como «falso transepto o coro» [18]. Se ha posicionado la fuente 3 (F-3) en el centro de la nave, justo detrás de los vanos de la nave principal con las habitaciones laterales. Por último, la fuente 4 (F-4) se ha instalado en el centro de la tribuna regia. Se ha empleado una fuente sonora omnidireccional (B&K4292-L), y una fuente vocal (B&K4720) para las medidas de inteligibilidad, situadas con su centro acústico a una altura de 1,5 m del suelo. La señal emitida, generada en el software DIRAC, consiste en un barrido exponencial repetido nueve veces, y con una duración superior al doble de tiempo del tiempo de reverberación del edificio. Los receptores se han distribuido buscando un equilibrio representacional de los participantes en la liturgia. Por ello, se han ubicado las posiciones 1 y 2 (P1 y P2), en la zona ocupada por los religiosos (oficiante y coro). Las posiciones 3-6 (P3, P4, P5 y P6) en la zona de la nave y en la habitación auxiliar sur, áreas ocupadas por la asamblea; y las posiciones 7 y 8 (P7 y P8) se han instalado en la tribuna oeste, la zona de uso regio.

Tabla 2 – Detalle de la localización de fuentes y receptores.

Fuente	Ubicación	x (m)	y (m)	z (m)
F-1	Ábside	1,90	0,00	1,75+1,50
F-2	Anteábside (coro)	3,70	0,00	1+1,50
F-3	Nave	7,13	0,00	1,50
F-4	Tribuna regia	9,00	0,00	2,60+1,50
P1	Ábside	0,95	0,00	1,75+1,50
P2	Anteábside (coro)	3,60	+1,30	1+1,50
P3	Crucero	4,70	0,00	0,1+1,50
P4	Habitación sur	6,20	+4,12	1,50
P5	Nave	8,30	0,00	1,50
P6	Vestíbulo	9,40	-0,36	1,50
P7	Camarín	11,50	0,00	2,70+1,50
P8	Tribuna oeste	9,30	+1,30	2,60+1,50

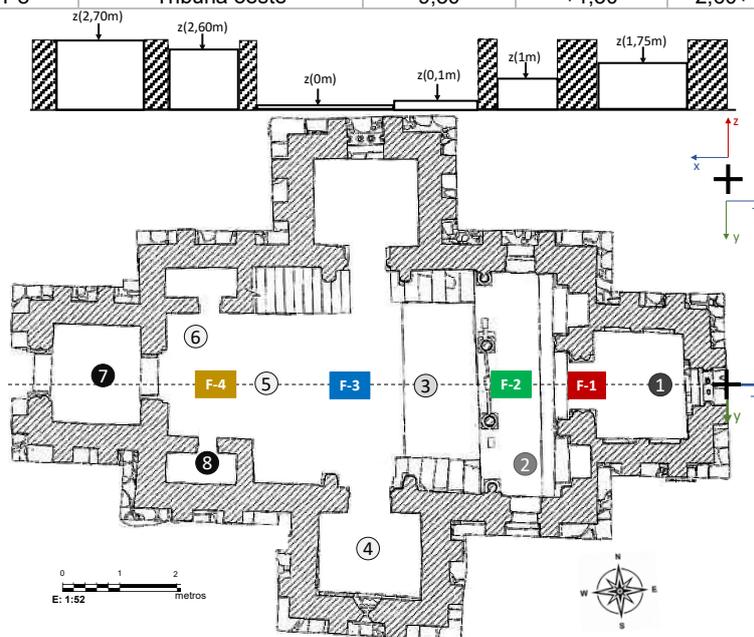


Figura 1. Planta de Sta. Cristina de Lena con las posiciones de las fuentes y receptores².

² Asociado al perfil, el color en la escala de grises indica la altura relativa de los receptores.

4. SELECCIÓN DE PARÁMETROS ACÚSTICOS Y VALORES PROMEDIO

La caracterización del recinto se ha planteado tomando como base la normativa ISO-3382 [19], siendo adaptada de acuerdo con el grupo de parámetros empleado según la tipología y las características de uso del edificio cultural [20], y agrupándose los parámetros en seis grupos. Cada uno de los grupos cubre tanto las magnitudes acústicas establecidas en la normativa (G, EDT, C₈₀, D₅₀, T_s, J_{LF}) que sirven para describir los distintos aspectos subjetivos del oyente, como otras magnitudes complementarias seleccionadas para una mejor caracterización del edificio (T₃₀, IACC, RASTI, %Alcons, NC). La selección del aspecto subjetivo del oyente relacionado con la envolvente del oyente (LEV) se ha medido a través de una cabeza artificial (ISO-3382 - Anexo B.), que además de permitir obtener los coeficientes de correlación interaural (IACC) tanto para las reflexiones tempranas como para el sonido reverberante, se podría utilizar sus respuestas al impulso para llevar a cabo procesos de auralización. Para evaluar la inteligibilidad se ha optado por seleccionar los parámetros %Alcons y RASTI, al utilizar un modelo comercial de fuente sonora vocal (IEC 60268-16; ITU-T P.51) [21], [22].

El cálculo de los parámetros acústicos se ha realizado excluyendo del promedio los dos puntos más próximos a la posición de emisión. Este criterio responde a las recomendaciones tanto de la norma ISO-3382, que pretende evitar la excesiva proximidad a superficies reflectantes, así como la posible interacción con el campo próximo de la fuente sonora. En cualquier caso, el número de puntos (promediado de 6 puntos) es superior al recomendado por ISO-3382-2 en su tabla A.2[19]. Por otro lado, los criterios aurales [23] vinculados a los históricos y litúrgicos [13], [14] permiten justificar la exclusión de estos puntos, al buscar una mayor concreción de la relación entre las distintas subculturas aurales y su interacción; al eliminar los puntos más próximos a la fuente se evita que se sobredimensione el punto de vista de la subcultura emisora y se potencia el de las tres subculturas receptoras que se dan en Sta. Cristina de Lena.

En la tabla 3 se pueden comprobar los valores promedio en frecuencia de número único obtenidos para la iglesia de Sta. Cristina de Lena, junto a los obtenidos en otros estudios [8] para iglesias altomedievales españolas. Se han incluido los valores umbral (JND) y los valores de referencia según la ISO-3382 simplemente para disponer de otros valores de contraste, en este caso para auditorios o salas de conciertos vacías de grandes dimensiones.

Tabla 3 – Tabla resumen de magnitudes analizadas en comparación con espacios similares.

Aspecto subjetivo	Magnitud	Umbral (JND)	Referencia ISO 3382-2	V= 370m ³	V= 745m ³	V= 780m ³	V= 928m ³
				Sta. Cristina Lena	Sta. L. Trampal	S.P. Nave	S. J. Baños
1. Nivel sonoro subjetivo	Fuerza sonora G _m ; (dB)	1 dB	-2dB ; +10dB	14,5	13,6	15,9	19,1
2. Reverberación percibida	Tiempo reverberación inicial EDT _m ; (s)	Rel. 5%	1,0 ; 3,0	1,01	0,97	1,22	1,36
	Tiempo de reverberación T ₃₀ ; (s)			0,97	0,86	1,17	1,31
3. Claridad del sonido percibida	Claridad musical C _{80m} ; (dB)	1 dB	-5dB ; +5dB	2,4	2,6	1,1	1,1
	Definición D _{50m}	0,05	0,3 ; 0,7	0,43	0,46	0,40	0,42
	Tiempo central T _{5m} ; (ms)	10 ms	60ms ; 260ms	80	78	95	98
4. Ancho aparente fuente-(ASW)	Fracción energía lateral J _{LFm}	0,05	0,05 ; 0,35	0,25	0,19	0,24	0,28
5. Envolvente oyente -(LEV)	Magnitud binaural	IACC _{m(0,50)}	0,075	0,33			
		IACC _{m(0,80)}	0,075	0,27			
		IACC _{m(50,+)}	0,075	0,17			
		IACC _{m(80,+)}	0,075	0,17			
6. Inteligibilidad	Rapid STI	RASTI		0,52	0,60	0,56	0,55
	%Alcons	%Alcons; (%)		11,2			
	Curva de ruido	NC		45			

5. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN PRELIMINAR DE LOS MISMOS

Los resultados obtenidos se han sometido a una interpretación comparada en frecuencia para contextualizarlos con el estudio efectuado por Pedrero [8] en Sta. Lucía del Trampal (prioritaria por cercanía en volumen), S. Pedro de la Nave y S. Juan de Baños [8], iglesias inferiores a 1000 m³; de ahí que se omitan Sta. María de Melque y S. Cebrián de Mazote. Estos tres recintos son los más próximos en volumen a la iglesia bajo estudio, aunque en términos relativos son mucho mayores (tabla 1).

5.1. Aspecto subjetivo 1: Nivel sonoro subjetivo

La respuesta frecuencial de la magnitud de la fuerza sonora (G) en Sta. Cristina de Lena es similar en la zona de media y alta frecuencia a las tres iglesias, diferenciándose principalmente en la zona de baja frecuencia. En la figura 2 se constata que, en la iglesia de Sta. Cristina, pese a disponer de casi la mitad de volumen que la iglesia de S. Lucía, la fuerza sonora es ligeramente superior. Aunque la diferencia entre ambas queda dentro del umbral perceptivo, el valor promedio y la respuesta espectral en Sta. Cristina queda por encima causado principalmente por dos factores: por un lado debido a sus menores dimensiones y volumen y por tanto una menor relación de distancias entre posiciones de fuente y receptor, y por otro probablemente pueda deberse a las plantas tan diferentes de los dos templos, al ser Sta. Lucía una iglesia con una única nave pero con una cabecera muy compleja, contando con un transepto muy largo y estrecho que permite la comunicación entre los tres ábsides [24].

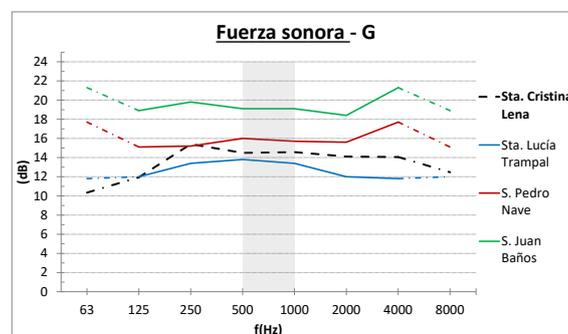


Figura 2. Nivel sonoro subjetivo.

5.2. Aspecto subjetivo 2: Reverberación percibida

Pedrero define las iglesias prerrománicas como «un grupo compacto, cuyos valores de tiempos de reverberación para frecuencias medias presentan una dependencia bien definida con respecto al volumen» [8]. No obstante, también considera que las iglesias pequeñas no dependen tanto de su volumen como de las geometrías y los revestimientos [8]. Esto podría explicar el comportamiento de Sta. Cristina, que pese a tener prácticamente la mitad de volumen que Sta. Lucía, posee una reverberación percibida muy similar (fig. 3). El comportamiento de estas dos iglesias es muy parejo tanto en términos absolutos como en evolución de la curva, con una respuesta del EDT y de T₃₀ mucho más plana que en las iglesias de mayor tamaño (S. Pedro y S. Juan), donde se aprecia una acusada reducción del tiempo en las altas frecuencias, principalmente debido a la absorción del aire.

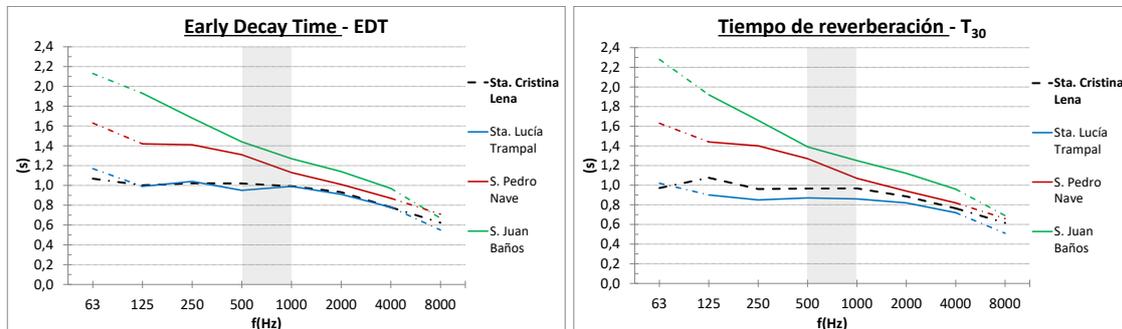


Figura 3. Comparación de la reverberación percibida mediante EDT y T_{30} .

5.3. Aspecto subjetivo 3: Claridad del sonido percibida

En cuanto a las magnitudes relacionadas con la claridad del sonido percibida, podemos establecer que los valores promedio obtenidos tanto para Sta. Cristina como para las tres iglesias contrastadas, quedan dentro de la horquilla marcada en la norma ISO-3382 como referencia para auditorios. Tanto en el valor promedio como en los valores espectrales de la figura 4, se aprecia mayor similitud entre las iglesias de menor volumen (Sta. Cristina y Sta. Lucía), con comportamientos diferenciados de las iglesias con mayor volumen (S. Pedro y S. Juan). Las mayores diferencias espectrales se producen en la zona de baja frecuencia, donde según el parámetro se alcanzan diferenciales de entre 2,4 JND en D_{50} , 4 JND para C_{80} , hasta los 5 JND para T_s . La definición ha resultado ser la magnitud más pareja entre las estudiadas, moviéndose todas las iglesias entre 0,40 y 0,46.

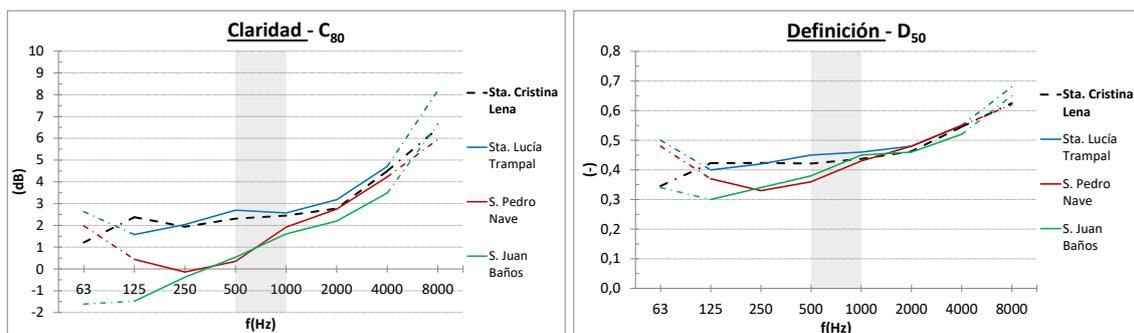


Figura 4. Comparativa de las magnitudes Claridad (C_{80}) y Definición (D_{50}).

5.4. Aspecto subjetivo 4: Ancho aparente de la fuente (ASW)

El análisis de este parámetro ofrece un resultado sorprendente donde Sta. Cristina no sólo está visiblemente por encima de los valores de Sta. Lucía, sino que también está ligeramente por encima de S. Pedro, especialmente entre 125 a 500 Hz (fig. 5). Tal y como ocurre en algunos teatros estudiados, los recintos con mayor volumen experimentan una mayor variación según la frecuencia [25]. En otras iglesias españolas, las mediciones muestran un pico de energía lateral en las frecuencias medias y un drástico descenso en las graves [26]. Las variaciones a este comportamiento general pueden explicarse nuevamente por las diferencias en la planta y la

articulación interna de los volúmenes. Tanto Sta. Lucía como S. Pedro tienen una articulación compleja y fragmentada [24], [27]. La primera cuenta con una zona de coro muy estrecha que separa la cabecera de la iglesia de la zona de la asamblea, generando una especie de embudo acústico. Por su parte S. Pedro tiene una planta mixta donde un diseño de tres naves de tipo basilical se integra con una planta de cruz griega; además cuenta con techos a distintas alturas y una zona este con varias estancias intercomunicadas entre ellas. Frente a esta organización espacial se opone S. Cristina, con su carácter mucho más diáfano, su única nave y las posiciones de emisión sobreelevadas.

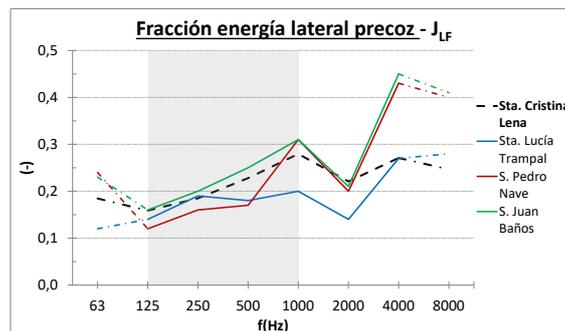


Figura 5. Comparación del ancho aparente de la fuente (ASW).

5.5. Aspecto subjetivo 5: Envoltente del oyente (LEV)

Al no contar con datos de la magnitud IACC para las iglesias de Sta. Lucía, S. Pedro y S. Juan, no se ha podido establecer una comparativa con Sta. Cristina y por ello se ha optado por analizar la percepción de la envoltente del oyente (LEV) mediante la comparación entre el espectro promedio para las cuatro posiciones de fuente. En la tabla resumen (tabla 3) se presentan los resultados tanto para el sonido de reflexiones tempranas ($0, t$) como para el sonido reverberante ($t, +$), calculado con dos tiempos de integración (t ; 50 ms y 80 ms).

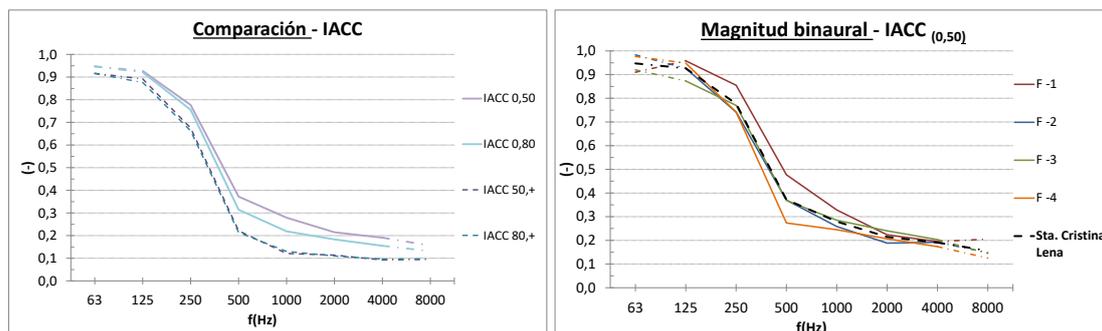


Figura 6. Envoltente del oyente (LEV) en Sta. Cristina de Lena.

La figura 6 (izda.) indica que los perfiles espectrales de los indicadores IACC son similares entre sí, acusándose un cambio de pendiente en la zona de frecuencias medias (500 Hz a 1 kHz), indicando que el sonido que llega a ambos oídos es más diferente para los indicadores de sonido reverberante y para las altas frecuencias cuanto mayor tiempo de integración se escoja, debido una mayor lateralización del sonido. Por ello, en la figura 6 (dcha.) se selecciona el parámetro $IACC_{(0,50)}$ como aquel que permite establecer más claramente las diferencias posicionales que provocan las diferentes ubicaciones de las fuentes sonoras, presentes en la zona de baja y media

frecuencia. Las posiciones de fuente 1 (F-1: ábside) y fuente 4 (F-4: tribuna regia) son las de comportamiento más extremo, con diferenciales entre 0.2 JND a 1,8 JND. El mayor valor de este parámetro para la fuente 1 sobre las otras, indica una menor lateralización del sonido en los receptores cuando la fuente sonora está en la posición del oficiante litúrgico, y abre el debate sobre la caracterización de estos espacios para posiciones de fuente correspondientes a las distintas subculturas aurales.

5.6. Aspecto subjetivo 6: Inteligibilidad (RASTI)

La inteligibilidad se ha establecido según dos parámetros (RASTI y %Alcons). La figura 7 indica que el RASTI arroja uno de los resultados más llamativos del estudio, al contar Sta. Cristina con el peor valor promedio de inteligibilidad y responder en contra del comportamiento general que vincula un mayor tamaño con la peor inteligibilidad; las tres iglesias comparadas responden a esta tendencia, con la mejor inteligibilidad para Sta. Lucía y la peor para S. Juan.

Este resultado está causado fundamentalmente por la cercanía a la autovía A-66 que genera niveles de ruido de fondo elevados en baja y media frecuencia (NC-45) y que condicionan los resultados de inteligibilidad.

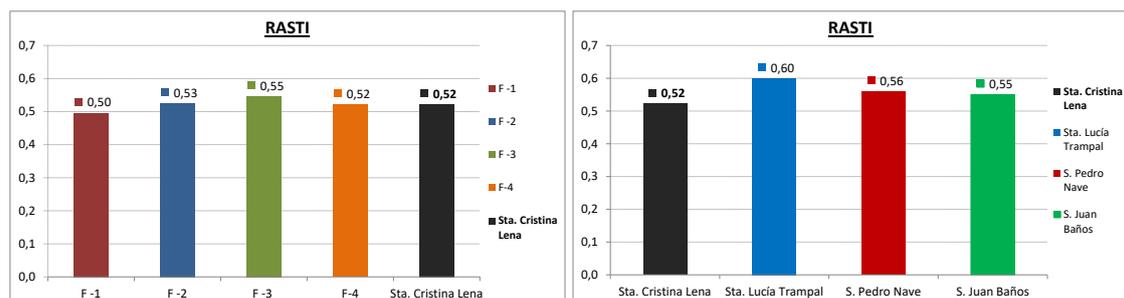


Figura 7. Inteligibilidad (RASTI) en Sta. Cristina de Lena y en los templos comparados.

6. CONCLUSIONES

Se ha conseguido caracterizar acústicamente el recinto respetando las indicaciones de la norma ISO-3382 y a su vez generar representatividad litúrgica con las posiciones de fuentes y receptores. Cabe destacar, de forma sorprendente, el comportamiento tan parejo entre Sta. Cristina y Sta. Lucía, frente a volúmenes diferentes. A priori podría pensarse que por su similitud en volumen, S. Pedro y Sta. Lucía tuviesen una caracterización más próxima, pero los resultados contradicen ese supuesto inicial. Resulta relevante para la caracterización constatar que Sta. Cristina posee una reverberación y claridad similares a los rangos de un auditorio, y un ancho aparente de la fuente con unos valores bastante elevados para su tamaño, por encima no sólo de Sta. Lucía sino también de S. Pedro, pese a los casi 600 m³ que las separan. La magnitud IACC_(0,50) es la que resulta óptima para diferenciar la envolvente del oyente y abre el debate sobre la caracterización de estos espacios para posiciones de fuente correspondientes a las distintas subculturas aurales. Por último, es muy relevante para su caracterización el comportamiento de la inteligibilidad, donde Sta. Cristina, contraviniendo la tendencia habitual vinculada al tamaño, cuenta con los valores más reducidos pese a ser la más pequeña. Todo esto lleva a pensar que la singularidad de la planta y la articulación del espacio interior, con tantas simetrías, juegan un papel importante en su acústica, diferenciándola de forma notable de las otras iglesias altomedievales incluidas en la comparación. Por último, se invita a los acústicos ambientalistas, en colaboración con los historiadores del arte, a buscar una solución que mejore el paisaje sonoro de la iglesia y permitía aproximarlo al que se disfrutó en el pasado.

AGRADECIMIENTOS

Al Arzobispado de Oviedo y a Doña Otilia Requejo Pagés, Directora de la Oficina de Bienes Culturales del Arzobispado de Oviedo.

A la Guía de Santa Cristina de Lena, D^a Inés Faes Cienfuegos.

REFERENCIAS

- [1] A. C. Raes y G. G. Sacerdote, «Measurement of the Acoustical Properties of Two Roman Basilicas», *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 25, n.º 5, pp. 954-961, 1953.
- [2] J. E. Joyner, «The impact of architecture on acoustical settings for sacred music in the Episcopal parish churches of Georgia», Georgia Institute of Technology, Estados Unidos de América, 1993.
- [3] A. P. O. de Carvalho, «Influence of Architectural Features and Style on Various Acoustical Measures in Churches», University of Florida, Gainesville, Estados Unidos de América, 1994.
- [4] V. Desarnaulds, «De l'acoustique des églises en Suisse - Une approche pluridisciplinaire», École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Suiza, 2002.
- [5] J. J. Sendra Salas y J. Navarro Casas, *La evolución de las condiciones acústicas en las iglesias del paleocristiano al tardobarroco*. Sevilla, España: Instituto Universitario de Ciencias de la Construcción, 1997.
- [6] R. Suárez, «El sonido del espacio eclesial en Córdoba. El proyecto arquitectónico como procedimiento acústico», Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2002.
- [7] M. Galindo del Pozo, «La acústica en espacios religiosos católicos: iglesias gótico-mudéjares», Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2003.
- [8] A. Pedrero González, «Restauración virtual del patrimonio sonoro. Aplicación al antiguo rito hispánico», Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2014.
- [9] L. Arias Páramo, *Guía del arte prerrománico asturiano*. Gijón, España: Ediciones Trea, S.L., 2008.
- [10] L. Caballero Zoreda y M. de los Á. Utrero Agudo, «El ciclo constructivo en la alta Edad Media hispánica. Siglos VIII-X», *Archeol. dell'architettura*, vol. 18, pp. 127-146, 2013.
- [11] L. Arias Páramo, «Iconografía y teología del poder en Santa María de Naranco», *Liño Rev. Anu. Hist. del Arte*, vol. 17, pp. 9-28, 2011.
- [12] *Libro blanco del Prerrománico Asturiano*. España: Dirección General del Patrimonio Cultural, 2019.
- [13] J. M. Ferrer Grenesche, *Curso de liturgia hispano-mozárabe*. Salamanca, España: Estudio Teológico de San Ildefonso, Seminario Conciliar, 1995.
- [14] J. Pinell, *Liturgia Hispánica*. Barcelona, España: Centro de Pastoral Litúrgica, 1998.
- [15] L. Arias Páramo, *Santa Cristina de Lena*. Oviedo, España: Nobel, 2009.
- [16] L. Arias Páramo, «Trazados geométricos previos en la decoración del prerrománico asturiano: las celosías de la iglesia de Santa Cristina de Lena», *Arch. Español Arqueol.*, vol. 63, n.º 161-162, pp. 227-247, 1990.
- [17] I. G. Bango Torviso, «La vieja liturgia hispana y la interpretación funcional del templo prerrománico», en *VII Semana de Estudios Medievales: Nájera, 29 de Julio al 2 de Agosto de 1996*, Nájera: Instituto de Estudios Riojanos, 1997, pp. 61-120.
- [18] L. Caballero Zoreda, «Santa Cristina de Lena. Construcción, ruina y restauración», en *Iglesias altomedievales en Asturias: arqueología y arquitectura*, M. de los Á. Utrero Agudo, Ed. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC, 2016, pp. 81-112.
- [19] UNE-EN ISO 3382-1: 2010; Acústica. Medición de parámetros acústicos en recintos. Parte 1: Salas de espectáculos. (ISO 3382-1:2009).
- [20] F. Martellotta, E. Cirillo, A. Carbonari, y P. Ricciardi, «Guidelines for acoustical measurements in churches», *Appl. Acoust.*, vol. 70, pp. 378-388, 2009, doi:

- 10.1016/j.apacoust.2008.04.004.
- [21] P. Zhu, F. Mo, y J. Kang, «Influence of sound source characteristics in determining objective speech intelligibility metrics», *Appl. Acoust.*, vol. 89, pp. 188-198, mar. 2015, doi: 10.1016/j.apacoust.2014.09.023.
- [22] L. Morales, G. Leembruggen, S. Dance, y B. M. Shield, «A revised speech spectrum for STI calculations», *Appl. Acoust.*, vol. 132, pp. 33-42, mar. 2018, doi: 10.1016/j.apacoust.2017.11.008.
- [23] B. Blesser y L.-R. Salter, *Spaces speak, are you listening? Experiencing aural architecture*. Cambridge, Estados Unidos de América: The MIT Press, 2007.
- [24] L. Caballero Zoreda y F. Sáez Lara, *La iglesia mozárabe de Santa Lucía del Trampal. Alcuéscar (Cáceres). Arqueología y Arquitectura*. Mérida, España: Consejería de Cultura. Dirección General de Patrimonio Cultural, 1999.
- [25] S. Quintana, J. A. Ballesteros, M. D. Fernández, M. Machimbarrena, y R. Johansson, «Caracterización acústica de teatros-circo en base a la normativa ISO-3382», en *XI Congreso Ibérico de Acústica 51º Congreso Español de Acústica*, 2020.
- [26] S. Girón Borrero, M. Galindo del Pozo, y T. Zamarreño García, «Distribution of lateral acoustic energy in Mudejar-Gothic churches», *J. Sound Vib.*, vol. 315, pp. 1125-1142, 2008, doi: 10.1016/j.jsv.2008.02.014.
- [27] R. Barroso Cabrera y J. Morín de Pablos, *La iglesia visigoda de San Pedro de la Nave*. Madrid, España: Ediciones B.M.M.&P., 1997.