

LA ACÚSTICA DE LAS IGLESIAS PRERROMÁNICAS HISPANAS EN SU ESTADO PRIMITIVO

PACS: 43.55.Ka

Pedrero González, Antonio; Díaz Sanchidrián, César; Díaz-Chyla, Alexander; Navacerrada Saturio, María de los Ángeles.

Grupo de investigación en acústica arquitectónica

Universidad Politécnica de Madrid

Avda. Juan de Herrera 4, 28040 Madrid

E-mail: arquilav.arquitectura@upm.es

ABSTRACT

One of the most interesting applications of acoustic virtual reality technologies is the possibility to recover the original sound of historic buildings that have been lost or have undergone alterations over time.

In recent research, the acoustic virtual reality technologies have been used to recreate the sound of several hispanic Pre-Romanesque churches in their original state. In this paper, the acoustic characteristics have been analysed and compared against their present state. Furthermore, the suitability of these buildings for the performance of old hispanic religious rites is evaluated.

RESUMEN

Una de las aplicaciones más interesantes de las tecnologías de realidad acústica virtual es la posibilidad de recuperar la acústica original de edificios históricos que se han perdido o que han sufrido modificaciones a lo largo del tiempo.

En un proyecto de investigación llevado a cabo recientemente, las tecnologías de realidad acústica virtual se utilizan para reconstruir el sonido primitivo de un grupo de iglesias prerrománicas hispanas. En este trabajo se analizan sus características acústicas y se comparan con las que presentan las mismas iglesias en su estado actual. Además, se evalúa la idoneidad de estos espacios para el desempeño de las actividades litúrgicas propias del antiguo rito hispánico.

INTRODUCCIÓN

La singularidad del proceso histórico-cultural de la Península Ibérica en la Alta Edad Media, hace del prerrománico hispánico uno de los periodos más complejos de la historia del arte occidental, dando como resultado una arquitectura única, absolutamente diferente a la que se producía contemporáneamente en otros territorios. Las iglesias son las construcciones más representativas de este periodo y deben su originalidad a la mezcla de influencias de las diferentes culturas presentes en la Península Ibérica en los primeros siglos de la cristiandad. A

la tradición constructiva hispanorromana se añaden elementos de influencia bizantina, norteafricana y andalusí, lo que confiere a este arte una gran riqueza de elementos y técnicas constructivas.

Recientemente se ha llevado a cabo un proyecto de investigación con el objetivo de reconstruir, por medio de la auralización, el sonido de las iglesias prerrománicas en su estado primitivo. Para ello, a partir de la documentación arqueológica existente, se han generado modelos acústicos digitales de un grupo representativo de estas iglesias. Se han efectuado grabaciones anecoicas de la música del rito que se celebraba en ellas en la Alta Edad Media y se han realizado diferentes auralizaciones que representan las configuraciones litúrgicas habituales del antiguo rito hispánico.

En este trabajo se comparan las características acústicas de estas iglesias en su estado actual, determinadas mediante mediciones *in situ*, con las de las mismas iglesias en su estado original, obtenidas a partir de los modelos acústicos digitales. También se discute la idoneidad de estos espacios para las funciones litúrgicas para las que fueron diseñadas.

LAS IGLESIAS PRERROMÁNICAS DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

Aunque los primeros edificios de culto cristiano en Hispania datan de los siglos IV y V, las construcciones de esta primera época responden básicamente a los estándares de la construcción romana. No es hasta el siglo VI, bajo la dominación visigoda, cuando las iglesias hispanas comienzan a adquirir características diferenciadoras asociadas a las particularidades litúrgicas del Rito Hispánico, que es la liturgia que celebraban los cristianos de la Península Ibérica hasta su abolición a finales del siglo XI. A tenor de los restos arqueológicos existentes, el número de iglesias construidas en este periodo es muy grande, sin embargo una buena parte de los edificios han desaparecido y los que se han conservado han sufrido modificaciones importantes con respecto a su estado primitivo.

A diferencia de las iglesias de periodos históricos posteriores que respondían a patrones constructivos uniformes, la característica principal de las iglesias prerrománicas hispanas es la heterogeneidad en cuanto a sus características geométricas y a sus técnicas constructivas, lo que hace que no sea posible establecer un estereotipo que las represente.

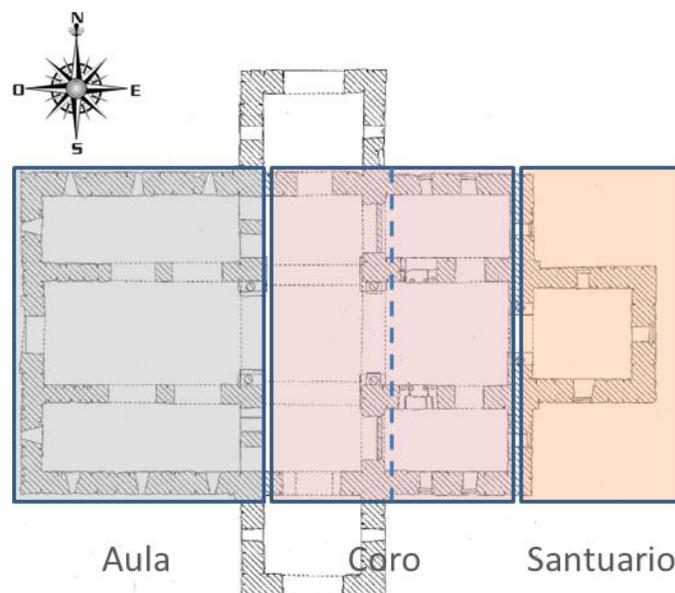


Figura 1. Ejemplo de delimitación de los espacios litúrgicos en una iglesia prerrománica.

Pese a la heterogeneidad de la forma de las iglesias de este periodo, todos los trabajos publicados coinciden en destacar, como denominador común de estos edificios, la fuerte jerarquización de sus espacios. Las iglesias prerrománicas hispanas se dividen en tres espacios litúrgicos fundamentales [1] [2] [3]: el santuario, donde se ubica el altar y que es ocupado por el o los celebrantes; el coro es el lugar ocupado por el clero y podría estar dividido a su vez en dos zonas que separarían a los clérigos en función de su jerarquía eclesiástica; y por último, el aula, que es donde se sitúa el pueblo asistente a los actos litúrgicos. Estos tres espacios están separados y claramente delimitados mediante cancelas.

En cuanto a la ubicación de estos espacios litúrgicos en el espacio arquitectónico, el santuario se sitúa en el ábside principal, orientado hacia el Este y preside todo el edificio. El coro está pegado al ábside, ocupando el transepto cuando existe, o bien un espacio que es prolongación del ábside y que en algunos de los trabajos consultados se denomina *anteábside*. El aula ocupa el espacio más alejado del altar y se sitúa en las naves de la iglesia. La Figura 1 muestra, como ejemplo, una posible delimitación de los espacios litúrgicos en la iglesia de San Pedro de la Nave.

Para el estudio se ha seleccionado un grupo de cinco iglesias en el que se ha intentado que estén representadas las diferentes tipologías que eran habituales en estas construcciones: **San Juan de Baños**, como ejemplo de iglesia de tipo basilical de tamaño pequeño; **San Cebrián de Mazote**, representando a las basílicas de gran tamaño; **Santa María de Melque** como modelo de iglesia cruciforme; **San Pedro de la Nave** en representación de las iglesias con planta mixta y **Santa Lucía del Trampal**, debido a su singularidad estructural. La Tabla 1 presenta los parámetros más influyentes de las iglesias seleccionadas en cuanto a su comportamiento acústico, tanto en su estado actual como en el estado primitivo.

Se ha llevado a cabo una campaña de mediciones acústicas y geométricas de las iglesias seleccionadas cuyo objetivo era generar y calibrar modelos acústicos digitales de las mismas, en su estado actual. Las mediciones se han efectuado siguiendo los criterios de la norma ISO 3382-1 [4] y las directrices específicas para las mediciones acústicas en iglesias [5].

Iglesia	Vol. (m ³)	Planta	Cubierta	
			Actual	Primitiva
Santa Lucía del Trampal	745	Basilical	Madera	Abovedada
San Pedro de la Nave	780	Mixta	Mixta	Abovedada
San Juan de Baños	928	Basilical	Madera	Madera
Santa María de Melque	1220	Cruz	Abovedada	Abovedada
San Cebrián de Mazote	2700	Basilical	Madera	Madera

Tabla 1. Características de las iglesias seleccionadas.

Sobre los modelos acústicos digitales de las iglesias en su estado actual, y siguiendo la documentación arqueológica existente, se han realizado las modificaciones oportunas a los modelos para que representen el estado de las iglesias en la época de su construcción. Además de modificaciones geométricas que han sido más importantes en unas iglesias que en otras, las principales diferencias, desde el punto de vista de su comportamiento acústico, entre el estado actual y el primitivo de los recintos son los recubrimientos de las paredes interiores y la compartimentación física de los espacios. Actualmente, todas las iglesias seleccionadas presentan en sus paramentos la piedra desnuda. Sin embargo, en la opinión de la mayoría de los investigadores, en su estado primitivo, las paredes interiores estarían enlucidas y profusamente pintadas [6] [7]. Por otra parte, los tres espacios litúrgicos de los que se ha hablado anteriormente estarían separados mediante cancelas. Estos estarían formados por unas placas de piedra o de madera en su parte inferior y, al menos los que separaban el santuario del coro, por unos cortinajes en la parte superior que ocultarían la vista en momentos determinados de la liturgia.

LAS CARACTERÍSTICAS ACÚSTICAS DE LAS IGLESIAS EN SU ESTADO PRIMITIVO

Como primera conclusión, podemos decir que, en sus condiciones originales, las iglesias presentaban un comportamiento acústico más reverberante que en el estado actual. Los *tiempos de reverberación* son superiores en todas las bandas de frecuencia, especialmente en las bajas frecuencias, lo que conferiría a la reverberación de estos espacios un carácter más grave. Todo esto se aprecia en la Figura 2, en la que se comparan los valores de T_{30} obtenidos en los modelos de los estados actuales y primitivos de las iglesias. También se puede ver cómo, en el estado primitivo, las diferencias de los *tiempos de reverberación* entre las diferentes iglesias son menos acusadas que en estado actual.

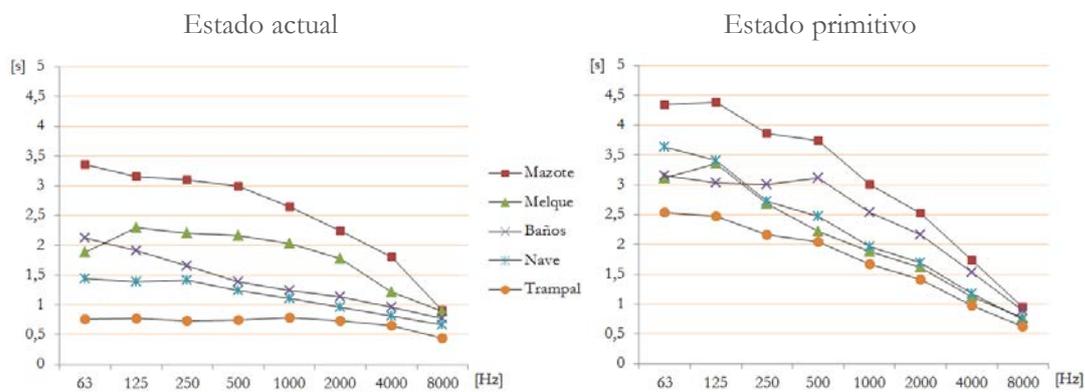


Figura 2. Valores del *tiempo de reverberación* T_{30} obtenidos en los modelos del estado actual y en los modelos del estado primitivo de las iglesias estudiadas.

El aumento de la reverberación lleva asociada una disminución de la inteligibilidad, tal y como se muestra en la Figura 3. Se puede apreciar cómo esta disminución es más notoria en las iglesias de menor volumen, lo que da como resultado que, en su estado primitivo, las iglesias presentan unos valores de *STI* más uniformes entre sí que en su estado actual.

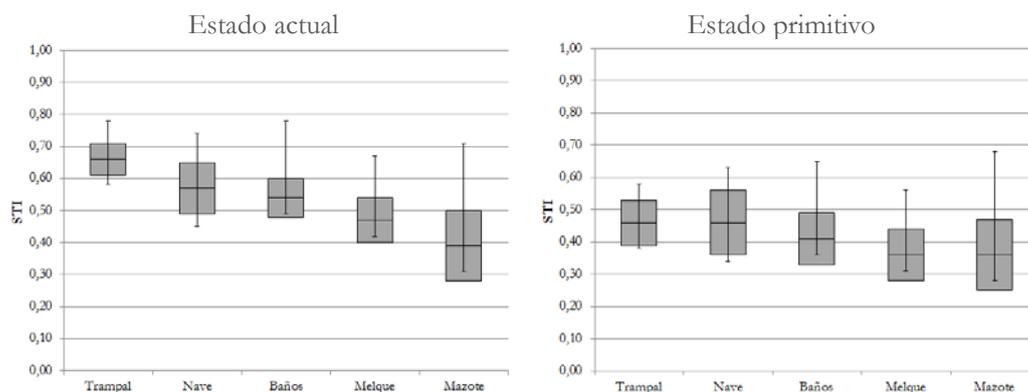


Figura 3. Diagramas de cajas de los valores del *STI* obtenidos en los modelos digitales de las iglesias en su estado actual y en su estado primitivo.

La Figura 3 también indica que la distribución espacial de la inteligibilidad no es uniforme; el promedio se sitúa, en todas las iglesias, en el intervalo de valores en el que la inteligibilidad se califica como *aceptable*; sin embargo, existe una gran dispersión de los valores de *STI*, que se evidencia en la diferencia entre los valores máximos y mínimos. Aunque los promedios están cercanos a los valores mínimos, excepto en la iglesia de San Cebrián de Mazote, ninguno de

los receptores evaluados obtiene valores de STI en el intervalo en el que la inteligibilidad se califica como *mala*.

El incremento de la energía reverberante con respecto a la condición actual de las iglesias afecta también al resto de las magnitudes acústicas: aumentan los valores de EDT , T_S y G , mientras que disminuyen los de C_{80} , y D_{50} . Como ejemplo, se presenta la Tabla 2, donde se muestran los valores promedios de las diferentes magnitudes acústicas en la iglesia de San Juan de Baños, tanto en el estado actual como en el primitivo. En el resto de las iglesias se sigue la misma tónica.

Parámetro	Frecuencia [Hz]								
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
EDT	Actual [s]	2,04	1,91	1,61	1,36	1,27	1,13	0,96	0,79
	Primitivo [s]	3,18	3,08	2,97	3,03	2,49	2,15	1,57	0,95
T_{30}	Actual [s]	2,12	1,91	1,65	1,39	1,24	1,13	0,96	0,77
	Primitivo [s]	3,15	3,04	3,01	3,11	2,54	2,16	1,54	0,90
T_S	Actual [ms]	154	144	122	103	94	85	74	59
	Primitivo [ms]	248	241	227	229	186	159	114	65
G	Actual [dB]	18,6	18,2	17,3	16,2	15,4	14,6	13,5	11,9
	Primitivo [dB]	19,7	19,6	19	18,8	17,6	16,7	14,9	11,9
D_{50}	Actual	0,28	0,29	0,34	0,38	0,41	0,44	0,48	0,55
	Primitivo	0,16	0,16	0,19	0,2	0,24	0,27	0,36	0,53
C_{80}	Actual [dB]	-2,0	-1,7	-0,6	0,4	1,1	1,7	2,7	4,5
	Primitivo [dB]	-5,2	-5,0	-4,3	-4,2	-2,9	-2,0	0,0	3,7

Tabla 2. Parámetros acústicos de la Iglesia de San Juan de Baños, en sus estados actual y primitivo.

ACÚSTICA Y LITURGIA EN LAS IGLESIAS PRERROMÁNICAS

Las iglesias prerrománicas hispanas se diseñaron para responder a las necesidades litúrgicas del antiguo rito hispánico, por lo que es lógico suponer que sus características acústicas satisfacen las expectativas aurales asociadas a los participantes de las actividades litúrgicas correspondientes. En este sentido, los oyentes se agruparían en dos subculturas auditivas diferentes: una formada por la comunidad monástica, o el clero en su caso, que dominaría el latín, que era el idioma de la liturgia; la otra está constituida por la asamblea de fieles, quienes en general desconocerían el lenguaje litúrgico. Si asociamos a cada una de estas subculturas auditivas un tipo de escucha de entre los establecidos por Chion [8], los clérigos ejercerían una *escucha semántica*, es decir, el receptor está extrayendo información a partir del sonido; sin embargo los fieles asistentes ejercerían en general una escucha reducida, que es la que se produce cuando el receptor está centrado en el propio sonido sin tener en cuenta el significado preciso que el sonido lleva asociado.

En general, estas iglesias albergaban dos tipos celebraciones litúrgicas: el rito monástico, en el que intervenía únicamente el clero, y el rito público, al que concurrían tanto el clero como la asamblea de fieles. El espacio litúrgico del rito público se correspondería con la totalidad del espacio arquitectónico de las iglesias, donde cada una de las subculturas auditivas ocuparía una zona diferente: la primera en el santuario y el coro, y la segunda en el aula. En el rito monástico, el espacio litúrgico se circunscribiría al santuario y el coro, ubicados en el ábside principal y en el anteábside (al que en algunas iglesias se añade el crucero), respectivamente.

La interpretación aural de las condiciones acústicas de las iglesias en sus condiciones originales se explica mejor observando la distribución espacial de las magnitudes acústicas a lo largo del espacio arquitectónico. Esta distribución espacial se ejemplifica en las figuras siguientes, que muestran los valores de EDT (para la banda de octava centrada en 1 kHz) y los

de *STI*, todos ellos obtenidos para una fuente sonora situada en el ábside principal, simulando al oficiante y con las mismas características de potencia y directividad que la voz humana.

En las figuras mostradas se aprecia una clara diferenciación de las características acústicas en las distintas zonas de las iglesias, que se corresponde con la delimitación del espacio desde el punto de vista litúrgico y que enfatizaría la jerarquización a la que se ha hecho mención anteriormente. Esta diferenciación de las características acústicas se aprecia visualmente como una variación apreciable de colores entre los de la zona sagrada, formada por el santuario y el coro, y los de la zona profana, constituida por el aula.

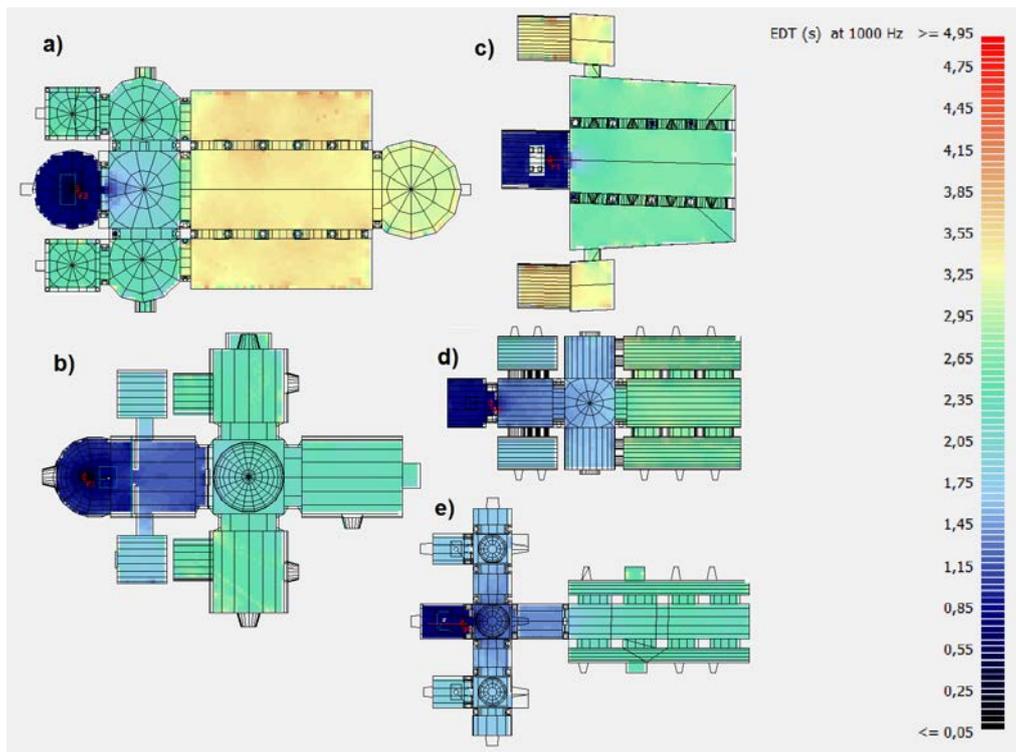


Figura 4. Distribución espacial de los valores de *EDT* en las iglesias, en su estado primitivo.
a) Mazote, b) Melque, c) Baños, d) Nave, e) Trampal.

La reverberación percibida, representada mediante el *EDT* (Figura 4), es menos patente en la zona ocupada por el clero que en el aula, donde se ubica la asamblea de fieles. Cabe pensar que, para la inmensa mayoría de la población de la época, la reverberación alta sería un fenómeno poco usual, que es probable que solamente experimentaban en las iglesias. Esto seguramente contribuiría a remarcar el carácter místico de estos espacios a juicio de los asistentes a la liturgia.

A falta de un mayor conocimiento de las expectativas aurales de los participantes de la liturgia en la antigüedad, realizaremos una interpretación de la delimitación de los posibles escenarios acústicos, basada en la distribución espacial de la inteligibilidad de la palabra.

La comunidad monástica, que como hemos mencionado realizaría una escucha semántica de los sonidos producidos, demandaría un grado de inteligibilidad suficiente como para entender con facilidad el mensaje emitido. Observando las distribuciones espaciales de los valores de *STI* en las iglesias, representadas en la Figura 5, se aprecia que las zonas ocupadas por el clero tienen valores de *STI* que superan el límite inferior para una inteligibilidad *aceptable*, que está establecido en 0,45.

Las demandas de inteligibilidad del público asistente deberían ser inferiores a las de la comunidad monástica. Al no entender el idioma de la liturgia, la inteligibilidad del mensaje debería ser la suficiente para poder entonar las respuestas de la asamblea en los momentos adecuados. Con la excepción de algunos puntos situados en las naves laterales de la iglesia de San Cebrián de Mazote, los valores de STI obtenidos en las zonas de las iglesias destinadas a los fieles se encuadran en el intervalo entre 0,3 y 0,45, que es el que corresponde a una inteligibilidad *pobre*, pero que seguramente sería suficiente para el fin previsto. Solamente en los puntos mencionados de San Cebrián de Mazote se obtienen valores de STI inferiores a 0,3, que se asocian a una inteligibilidad *mala*.

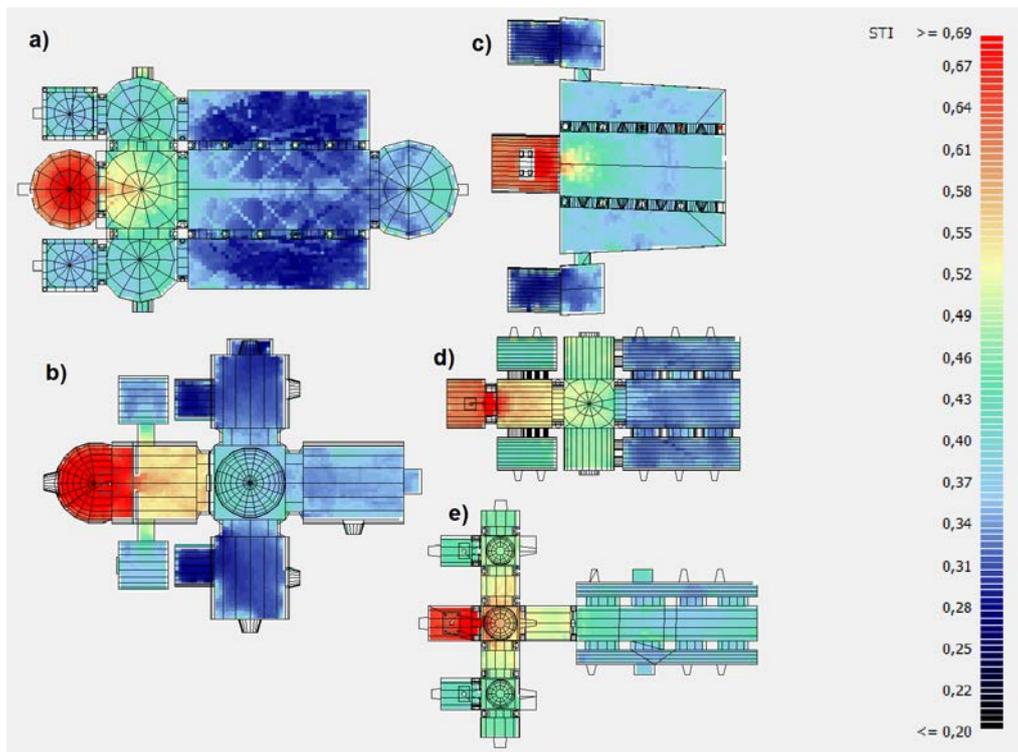


Figura 5. Distribución espacial de los valores de STI en las iglesias, en su estado primitivo.
a) Mazote, b) Melque, c) Baños, d) Nave, e) Trampal.

Como se puede apreciar en las figuras anteriores, la delimitación litúrgica entre las tres zonas consideradas (santuario, coro y aula) queda totalmente patente también en la distribución espacial de las magnitudes acústicas estudiadas. Esto ocurre en todas las iglesias, a excepción de la de San Juan de Baños en la que, debido al carácter aúlico del edificio no hay evidencias de que existieran cancelas que demarcasen un espacio específico para el coro. Esto hace que la reverberación percibida en todo el espacio de las naves sea prácticamente uniforme, mientras que la inteligibilidad de la palabra decrezca gradualmente con la distancia de los receptores con respecto al altar.

CONCLUSIONES

A partir de modelos acústicos digitales se han obtenido los valores de las principales magnitudes acústicas de un grupo de iglesias prerrománicas de la península ibérica en las condiciones que estas iglesias tenían en la época que fueron construidas.

Los valores de los índices acústicos extraídos de los modelos se han comparado con los obtenidos en una campaña de mediciones acústicas in situ realizada sobre las mismas iglesias en su estado actual. De esta comparación se deduce que las iglesias, en su estado primitivo

eran más reverberantes que en su estado actual. El aumento de la reverberación hacía que las diferencias entre las características acústicas de las distintas iglesias fuese menos acusada en su estado altomedieval de lo que lo son hoy en día.

Por otra parte, se ha evaluado la idoneidad de las características acústicas originales de estas iglesias con los requerimientos acústicos de las actividades litúrgicas para las que fueron diseñadas. Se ha encontrado que las iglesias poseían zonas acústicamente diferenciadas, cuya delimitación coincide con la de los espacios en los que se ubicaban los distintos tipos de participantes en la liturgia. La zona ocupada por el clero poseía unos valores más bajos de reverberación y una inteligibilidad de la palabra elevada, lo que permitía a estos oyentes realizar una escucha semántica de los sonidos de la liturgia. La zona ocupada por los fieles se caracterizaba por una inteligibilidad más baja, pero suficiente para sus necesidades para el seguimiento del culto. Por otra parte, los valores más altos de reverberación en esta zona de las iglesias contribuirían a enfatizar el carácter místico y el dramatismo de las actividades litúrgicas del rito hispánico.

REFERENCIAS

- [1] L. Caballero Zoreda y I. Sastre de Diego, «Espacios de la liturgia hispana de los siglos V-X. Según la arqueología,» de *El canto mozárabe y su entorno: Estudios sobre la música de la liturgia viejo hispánica*, Madrid, Sociedad Española de Musicología (SEDEM), 2013, pp. 259-291.
- [2] I. G. Bango Torviso, «La vieja liturgia hispana y la interpretación funcional del templo prerrománico,» de *VII Semana de Estudios Medievales : Nájera*, 29 de julio al 2 de agosto de 1996. / coord. por José Ignacio de la Iglesia , Nájera, 1997.
- [3] C. Godoy Fernández, *Arqueología y liturgia. Iglesias hispánicas (siglos IV al VIII)*, Barcelona: Universitat de Barcelona, 1995.
- [4] ISO 3382-1:2009, *Acoustics -- Measurement of room acoustic parameters -- Part 1: Performance spaces*, Geneva: International Organization for Standardization, 2009.
- [5] F. Martellotta, E. Cirillo, A. Carbonari y P. Ricciardi, «Guidelines for acoustical measurements in churches,» *Applied Acoustics*, vol. 70, pp. 378-388, 2009.
- [6] I. Bango Torviso, «Arte prerrománico hispano,» de *Summa Artis Vol. VIII-II*, Madrid, Espasa-Calpe, 2001.
- [7] L. Caballero Zoreda y M. Á. Utrero Agudo, «Una aproximación a las técnicas constructivas de la Alta Edad Media en la Península Ibérica. Entre visigodos y omeyas,» *Arqueología de la Arquitectura*, nº 4, pp. 169-192, 2005.
- [8] M. Chion, *L'audio-vision (Son et image au cinema)*, París: Nathan-Université, 1991.