

LA ACÚSTICA EN LAS IGLESIAS POSTCONCILIARES DE MIGUEL FISAC: SANTA ANA DE MORATALAZ

PACS: 43.55.Gx

A. Bueno¹; A. L. León²; M. Galindo³.

Universidad de Sevilla. ETS Arquitectura, IUACC.

^{1,2} Dpto. de Construcciones Arquitectónicas I,

³ Dpto. Física Aplicada II,

Avda. Reina Mercedes 2, 41012 Sevilla, España.

^{1,2} Tel.: + 34 954 556 595. Fax: +34 954 55 7018.

³ Tel. + 34 954 556 672. Fax: +34 954 557 892.

E-Mail: ¹ anabueno@arquired.es, ² leonr@us.es, ³ mgalindo@us.es

ABSTRACT

D. Miguel Fisac (1913-2006) was one of the Spanish architects of the XX century by more concerned and conscious with the aspects of acoustic spaces ecclesial projected. One of his most iconic was the church of Santa Ana Moratalaz built in Madrid between 1965 and 1971 which followed the liturgical determinations made by Vatican II. This paper describes the acoustic behavior of the same, and their relationship with their structural characteristics, spatial and so unique coating materials.

RESUMEN

D. Miguel Fisac (1913-2006) fue uno de los arquitectos españoles del siglo XX más preocupados y concienciados por los aspectos acústicos en los espacios eclesiales que proyectaba. Una de sus obras más emblemática fue la iglesia de Santa Ana de Moratalaz, construida en Madrid entre los años 1965 y 1971, donde se siguieron las determinaciones litúrgicas introducidas por el Concilio Vaticano II. En este trabajo se describe el comportamiento acústico de la misma, así como su relación con sus singulares características constructivas, espaciales y materiales de revestimiento.

INTRODUCCIÓN

Natural de Daimiel (Ciudad Real), el arquitecto D. Miguel Fisac (1913-2006), obtuvo el título de arquitecto en la Escuela de Madrid en 1942, comenzando una trayectoria profesional de más de 60 años de trabajo, cuyo legado supera los 400 proyectos construidos. Sinceridad constructiva, fidelidad al programa y adecuación al lugar, son los rasgos característicos de su arquitectura, que también refleja su condición de arquitecto innovador y constante investigador de las posibilidades del hormigón, tanto en su vertiente estructural como formal y plástica.

Sus intervenciones religiosas marcaron una nueva concepción del espacio eclesial, constituyendo una de las aportaciones más relevantes en la arquitectura religiosa del siglo XX.

Persona de profundas convicciones religiosas, soluciona sus proyectos de iglesias apoyándose en el conocimiento del hecho litúrgico, en la percepción del espacio sagrado, en el tratamiento maestro de la luz y en la sabia utilización de los materiales y técnicas constructivas del momento, consiguiendo espacios religiosos austeros, sobrios, cargados de espiritualidad y fundamento teórico.

Con la reforma litúrgica promovida por el Concilio Vaticano II (1962-1965), elementos definidores de su arquitectura religiosa preconiliar, como el *muro dinámico* y el *muro estático*, o la convergencia y focalización en el altar, evolucionan para desarrollar iglesias asamblearias en torno a un foco dinámico: el presbiterio. Asimismo, la importancia que el concilio otorgó a la liturgia de la palabra, hizo que las condiciones acústicas en las iglesias empezaran a considerarse un aspecto determinante del proyecto, con lo que el problema acústico será una constante a tratar y resolver en la arquitectura eclesial postconciliar de Fisac.

En 1965, Miguel Fisac proyectó el primer templo conforme a las nuevas directrices litúrgicas marcadas por el Concilio Vaticano II; se trata del conjunto parroquial de Santa Ana, en el barrio de Moratalaz de Madrid. En la presente comunicación se muestran los valores de los parámetros acústicos derivados de las respuestas al impulso registradas en las mediciones realizadas *in situ*. Estos parámetros permitirán valorar aspectos subjetivos del oyente en el recinto como reverberación, inteligibilidad de la palabra y claridad musical, ruido de fondo, nivel sonoro e impresión espacial.

IGLESIA PARROQUIAL DE SANTA ANA DE MORATALAZ

El complejo parroquial debía situarse en un solar topográficamente accidentado, con un fuerte desnivel de unos 7 metros de altura. Apoyándose en el programa de necesidades como elemento definidor del edificio, como si se tratara de un *traje hecho a la medida* [1], Fisac dispuso la iglesia en la parte más alta y las dependencias parroquiales a su alrededor, proyectando una compleja macla de volúmenes de distintas familias geométricas, formando una unidad jerárquica: la iglesia con planta en forma de óvalo, mientras que el pequeño patio de acceso, las dependencias parroquiales y la zona de residencia, presentan trazado ortogonal.

El propio arquitecto comentaba sobre esta Iglesia de Santa Ana de Moratalaz [2]: *Es la primera iglesia que proyecté después del Concilio Vaticano II, un acontecimiento que cambió por completo el programa del templo. El Concilio Vaticano II impuso una relación más comunicativa entre los participantes del oficio religioso; el sacerdote debía celebrar la misa mirando a los fieles y hablar de forma que todo el mundo lo entendiera. Y esto tenía implicaciones acústicas muy importantes, porque en la mayoría de las iglesias había unas reverberaciones tremendas... Y como la acústica era un tema en el que me movía bien, tuve en cuenta que hasta una distancia de ocho metros, la reverberación refuerza la voz, pero si te alejas más ya hay interferencias. Si te sitúas a más distancia ya se distingue el sonido que emites del que la pared refleja, es decir, hay eco. En la iglesia de Santa Ana, como no quería poner materiales absorbentes, tuve que inventar unas formas que dispersaran las ondas; o sea, que las curvas del fondo lo que evitan es que el sonido vuelva por el mismo sitio."*

En Santa Ana, el tema de la convergencia espacial queda definitivamente relegado frente al problema del sonido, que pasa a ocupar el primer lugar [3]. Así, Miguel Fisac plantea una iglesia de planta ovalada con un marcado eje transversal, para conseguir una eficaz agrupación de la asamblea en torno al presbiterio, que refuerza inclinando el pavimento en sentido descendente hacia el anterior. En los puntos 6 y 7 de la memoria del proyecto [4], el arquitecto explica:

6. La forma adecuada para conseguir la más eficaz agrupación de la Asamblea es la que esa misma Asamblea tomaría, naturalmente, si se encontrara en un espacio libre. Creemos que esa disposición no sería la circular, ya que no es un punto, sino un camino el recorrido por el

foco de atención que han de seguir los fieles durante la celebración de la Santa Misa, sino más bien una forma ovalada que agrupará a los fieles a lo largo de ese itinerario lineal.

7. Esta forma ovalada de la nave del templo presentaría el inconveniente técnico de que, en la pared posterior, las ondas sonoras que procedieran del presbiterio se reflejarían creando concentraciones acústicas que perturbarían la audición, por lo que en la disposición ovalada de la iglesia, el segmento posterior se sustituye por tres superficies convexas que crean una dispersión sonora.

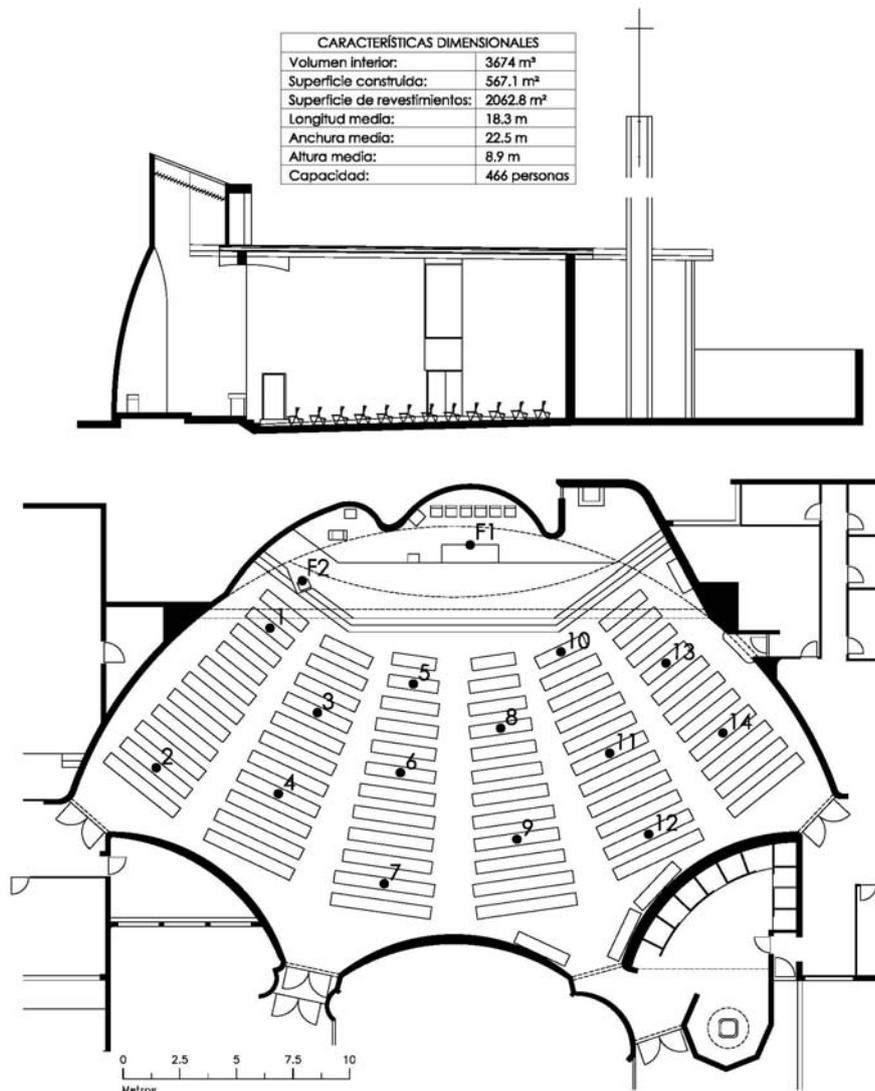


Figura 1. Sección longitudinal y planta: posiciones de fuentes y receptores.

Por ello, la acústica ha sido el elemento configurador en el aspecto del templo [5], disponiéndose en la cara posterior del óvalo unas superficies convexas a modo de *muros dispersivos*, cuyas aristas de inflexión ensanchadas facilitan el acceso al templo desde el atrio, la sacristía, la capilla penitencial y bautismal y dependencias parroquiales, a la vez que permiten por la zona superior, la iluminación natural y artificial del espacio para la asamblea.

La razón de ser del muro anterior que conforma el presbiterio, surge por la adecuación del mismo a los distintos momentos de la celebración litúrgica. Ahora el altar no es un foco único, sino un foco móvil, que Fisac materializa y distribuye apoyándose en tres concavidades practicadas en dicho muro, estableciendo en la primera concavidad el lugar para el ambón y

sede (liturgia de la palabra), en la segunda el altar (para la Consagración y Comunión) y la reserva del Santísimo Sacramento en la tercera concavidad.



Figura 2. Muros dispersivos.

En la iglesia, al igual que la totalidad del conjunto parroquial, el material empleado es el hormigón visto, ejecutado in situ en todos los paramentos verticales. La cubierta se resuelve mediante vigas hueso de hormigón prefabricado de hasta 20m de luz, según patente del arquitecto, dispuestas en la nave paralelamente al eje longitudinal que une presbiterio y muros dispersivos. La cubierta, de piezas prefabricadas apoyada en los muros de carga perimetrales del templo, se interrumpe al llegar al presbiterio para dar lugar a un gran lucernario que se eleva en altura. Para formalizar dicho lucernario, las cabezas de dichas vigas se recogen en una viga de hormigón ejecutada in situ colgada de un arco, visible desde el exterior.



Figura 3. Presbiterio.

Finalmente, para que la iluminación cenital del presbiterio y la iluminación natural y artificial del espacio asambleario, respondieran a las exigencias acústicas y de dispersión luminosa necesarias, Fisac dispuso, en ambos casos, vidrio normal armado y una celosía de lamas metálicas de aluminio anodizado, en color oro sobre el presbiterio y azul en los huecos de la nave. En la actualidad, en los huecos de luz situados encima de las puertas de acceso, el conjunto descrito ha sido sustituido por vidrieras de colores, permaneciendo sólo el lucernario en su concepción original.



Figura 4. Lucernario sobre el presbiterio.



Figura 5. Lucernario y vigas hueso.

METODO EXPERIMENTAL Y EQUIPO DE MEDIDA

Las medidas se llevaron a cabo siguiendo el procedimiento normalizado incluido en la norma ISO 3382-1 [6]. El recinto estaba desocupado (ver Fig. 1). Se utilizaron dos posiciones de fuente situadas a 1.5 m sobre el nivel del suelo, que corresponden a la ubicación natural del oficiante. La primera situada en el altar y la segunda sobre el ambón. Los catorce puntos de recepción se situaron sobre la zona de bancos utilizados por los fieles a 1.2 m sobre el nivel del suelo. Se monitorizaron las condiciones ambientales durante el periodo de medida. La temperatura se mantuvo en torno a los 30 °C y la humedad relativa alrededor del 22 %. El espectro del ruido de fondo se registró promediando durante cuatro minutos en el punto 5. En la Figura 6 se ha superpuesto el registro sobre las curvas NR, que corresponde a un índice de 30.

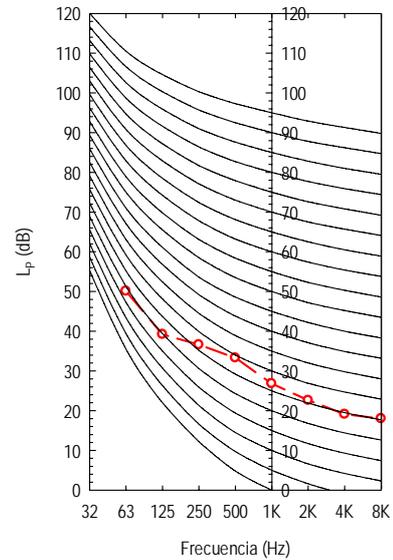


Figura 6. Curvas NR y espectro del ruido de fondo registrado.

En cada punto de recepción se obtuvieron las respuestas al impulso (RI) obtenidas a partir de barridos de señales de onda sinusoidales, donde la frecuencia se incrementa exponencialmente con el tiempo. El rango de frecuencias se ajustó para cubrir las bandas de octava desde 63 a 16000 Hz, así como la duración del barrido, para conseguir relaciones señal-ruido mayores de 45 dB. A partir de estas RI se derivan los valores de los parámetros acústicos.

El proceso de generación, adquisición y análisis de la señal se llevó a cabo con el programa WinMLS2004 [7] mediante una tarjeta de sonido VX Pocket v2 de Digigram. La señal generada alimenta al amplificador de potencia INTER-M 1000 y se reproduce en el recinto por una fuente omnidireccional AVM DO-12. La respuesta al impulso se captura por varios tipos de micrófono.

Para las RI recurrimos a un micrófono multipatrón Audio-Technica AT4050/CM5 en su configuración omnidireccional conectado a la fuente de polarización ARTcessories. Con el registro del espectro del ruido de fondo y la inteligibilidad de la palabra, se empleó un micrófono omnidireccional B&K 4165 con preamplificador B&K 2669, junto con un acondicionador de señal OPUS de 01dB. Cuando se estima la inteligibilidad mediante el índice RASTI, se usó una fuente de construcción propia que simula el patrón de directividad de la cabeza humana. Además se ajustó el nivel estándar de la voz humana, que corresponde con 67 dB(A) a un metro de la fuente. El nivel de emisión de la fuente se fijaba utilizando un sonómetro integrador B&K 2231. Para la obtención de parámetros relacionados con la anchura percibida de la fuente y la envolvente del oyente se utilizó el micrófono multipatrón Audio-Technica AT4050/CM5 que permite elegir entre la configuración omnidireccional y la de figura de ocho, conectado a la fuente de polarización de ARTcessories. Por último con objeto de medir parámetros relacionados con la impresión espacial se empleó el simulador de torso HMS III de Head Acoustics junto con el acondicionador de señal OPUS de 01dB.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se muestran los parámetros acústicos estudiados a partir de las medidas experimentales.

Tabla 1. Aspectos subjetivos analizados y los correspondientes parámetros acústicos.			
ASPECTO SUBJETIVO DEL OYENTE	PARÁMETRO	UNIDAD	
Reverberación	Tiempo de reverberación: T_{30}	s	
	Tiempo de reverberación inicial: EDT	s	
Inteligibilidad de la palabra y claridad musical	Claridad: C_{80}	dB	
	C_{50}	dB	
	Definición: D_{50}	-	
	RASTI	-	
Ruido de fondo	Tiempo central: T_S	ms	
	Nivel continuo equivalente: L_{EQ}	dB	
Nivel Sonoro subjetivo	NR	-	
	Fuerza acústica: G	dB	
Impresión espacial	Energía acústica lateral tardía: L_J	dB	
	Coefficiente de correlación cruzada interaural tardío: $IACC_L$	-	
	Ancho aparente de la fuente	Energía lateral precoz: J_{LF} , J_{LFC} , Coefficiente de correlación cruzada interaural temprano $IACC_E$	-
	Audición binaural	Coefficiente de correlación cruzada interaural: $IACC$	-

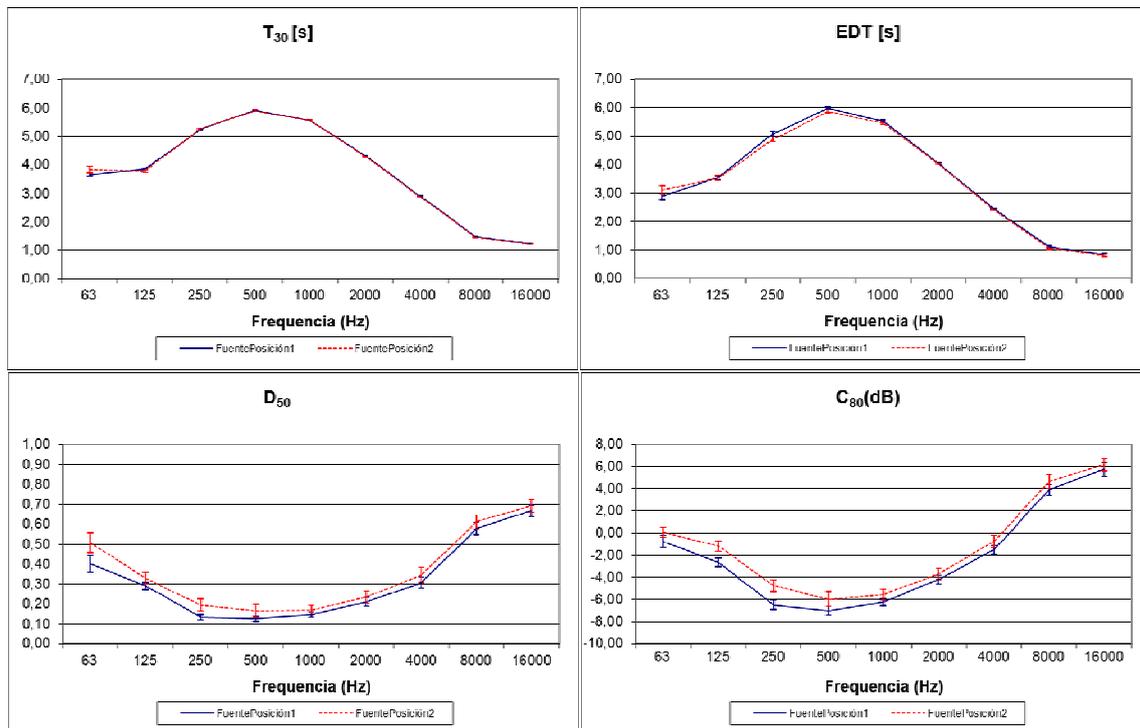


Figura 7 (a). Comportamiento en frecuencia de algunos parámetros acústicos promediados espacialmente, para las dos posiciones de fuentes.

En la Figura 7(a) y 7(b) se presentan los valores de los parámetros relacionados con la sensación subjetiva del oyente, promediados espacialmente y para las dos posiciones de fuente empleadas frente a la frecuencia. Con objeto de dar una visión del comportamiento espacial, también aparecen representados los errores estándar. En aquellos casos en los que

existe más de un parámetro relacionado se ha optado por representar sólo uno de ellos, a excepción del EDT y C_{80} .

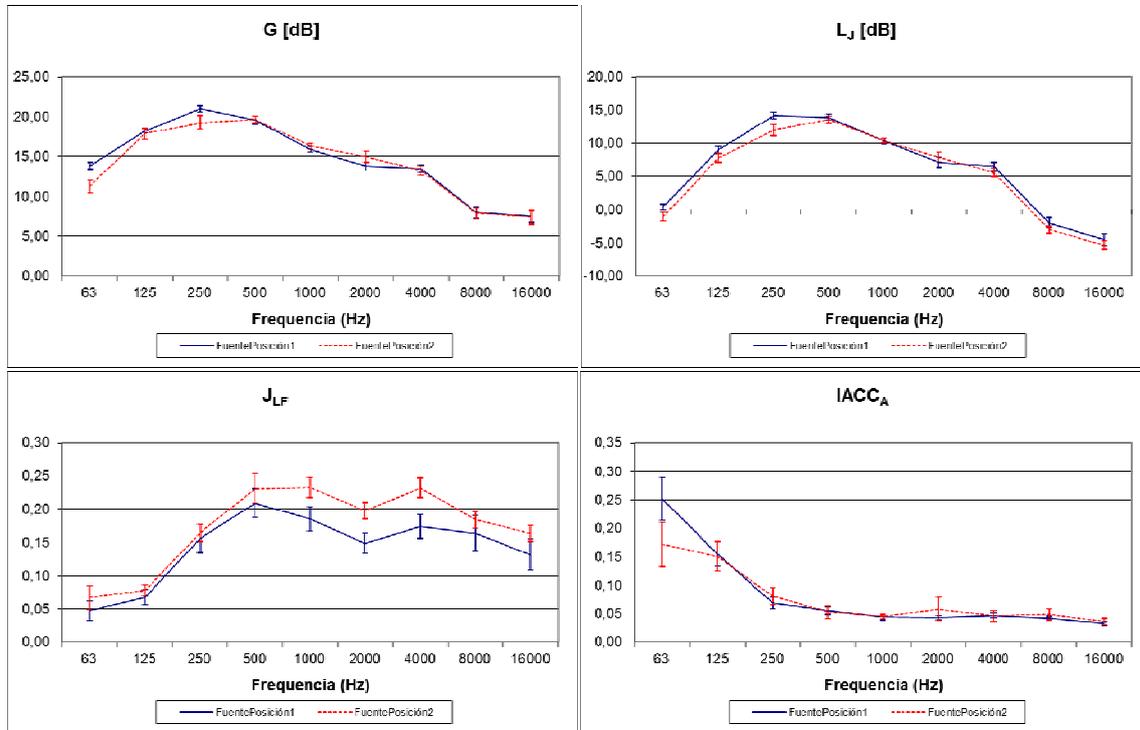


Figura 7 (b). Comportamiento en frecuencia de algunos parámetros acústicos promediados espacialmente, para las dos posiciones de fuentes.

Como primera observación podemos afirmar que las condiciones acústicas de la sala no cambian con las diferentes posiciones de fuente a excepción de los valores de J_{LF} , parámetro muy sensible a la posición de la fuente y del receptor por definición [8], si bien es cierto que con diferencias menores que el valor umbral perceptible (JND) [9].

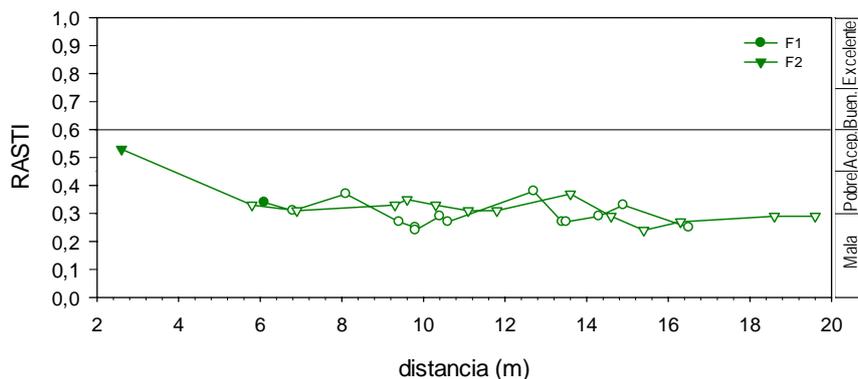


Figura 8. Valores del índice RASTI medidos para las dos posiciones de la fuente, frente a la distancia fuente receptor.

Los valores relacionados con la reverberación, la inteligibilidad de la palabra y la claridad musical están lejos de los valores recomendados, dando por tanto lugar a deficiencias acústicas, aun cuando el nivel sonoro subjetivo es adecuado. A modo de ejemplo, en la Figura 8 se muestra el índice RASTI frente a la distancia con objeto de calificar la inteligibilidad de la iglesia. Para ambas fuentes y para todos los puntos de la zona de audiencia la inteligibilidad, sin apoyo electroacústico, está considerada entre pobre y mala. El valor del índice NR,

obtenido a raíz de la Figura 2, está dentro de los requisitos demandados para los recintos de culto (NR 35).

En el caso de la impresión espacial, los valores de la energía acústica lateral tardía corresponden a una sensación sonora envolvente del oyente en todas las frecuencias y los de la energía lateral precoz dan lugar a una pequeña anchura de fuente. Por tanto el oyente está inmerso dentro del discurso oral o musical con una localización clara de la fuente sonora. Este hecho se corrobora a partir de los coeficientes de correlación cruzada $IACC_L$, $IACC_E$ y $IACC_A$.

CONCLUSIONES

La iglesia de Santa Ana de Moratalaz es una obra emblemática de la arquitectura española del s.XX donde se hace patente la preocupación de su autor por las cuestiones acústicas. En ella, M. Fisac, combinando su conocimiento, intuición y talante investigador, logra alcanzar unos objetivos acústicos acordes a los limitados medios de los que dispuso para la construcción de este espacio eclesial.

La consecución de estos propósitos, desde el punto de vista sonoro, fueron logrados utilizando una de las pocas herramientas de las que disponía como arquitecto: el diseño adecuado de la geometría y formas arquitectónicas, sin perder la finalidad de construir espacios de alto valor proyectual. La aplicación de sus conocimientos, en el caso de la iglesia de Santa Ana, dio lugar a una sala difusa, con distribución sonora muy homogénea y buena impresión espacial. Esto se pone de manifiesto en los parámetros que se han medido *in situ*.

Sin embargo, y aunque M. Fisac era consciente de ello, no consiguió aportar la necesaria absorción sonora que él hubiera deseado, al no poder emplear materiales absorbentes por razones económicas, tal y como el propio arquitecto explicaba en una conferencia impartida en la Universidad de la Coruña en el año 1996 [10]. Esta falta de absorción sonora da lugar a elevados tiempos de reverberación y, como consecuencia, una deficiente inteligibilidad de la palabra y claridad musical.

REFERENCIAS

- [1] Conferencia impartida por M. Fisac, *El espacio religioso*. La Coruña: E.T. S. de Arquitectura, Universidad de La Coruña. 11 de enero de 1996. [Video/DVD].
- [2] Parroquia de Santa Ana: 1965-1971. AV Monographs 101, p. 72, Madrid. (2003).
- [3] E. Fernández Cobián, *El espacio sagrado en la arquitectura española contemporánea*. Santiago de Compostela: Colegio Oficial de Arquitectos de Galicia. (2005). p. 311.
- [4] E. Fernández Cobián, *Opus cit.*, p. 308-309.
- [5] Memoria del proyecto recogida en E. Delgado, *Santa Ana de Moratalaz, 1965-1971*. Miguel Fisac, Colegio de Arquitectos de Almería, (2007).
- [6] International Standard ISO 3382-1:2009(E). Acoustics - Measurement of room acoustic parameters. Performance spaces, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland (2009).
- [7] WinMLS2004, Reference documentation, Morset Sound Development.
- [8] K. Kürer, Zur Gewinnung von Eizahlkriterien bei Impulsmessungen in der Raumakustik, *Acustica* 21, p. 370 (1969).
- [9] I. Bork, Report on the 3rd round robin on room acoustical computer simulation - Part II: Calculations, *Acta Acustica-Acustica* 91(4), 753-763 (2005).
- [10] Conferencia celebrada el 11 de enero de 1996, en la E.T.S. de Arquitectura de la Universidad de la Coruña: "...en una sala de conciertos o en un salón de actos tenemos posibilidades de poner materiales que absorban el sonido, pero en una iglesia ni tenemos dinero ni hay posibilidades de hacer absorciones como en una sala de conciertos o en un salón de actos. La propia forma del material, sea el material que sea, hormigón, piedra o ladrillo, ponerlo de forma que en ningún caso pueda haber concentraciones, como con formas cóncavas o rectas, sino convexas, para que el sonido que llega se dispare a otro sitio".