

CONTART 2016. La Convención de la Edificación  
20 - 22 de abril de 2016; Granada (Spain): Colegio Oficial de Aparejadores y  
Arquitectos Técnicos de Granada. Consejo General de la Arquitectura Técnica  
de España, p.223-232

ESTUDIO ACÚSTICO DE LA IGLESIA DE SAN PEDRO EN CUENCA.  
PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

VALVERDE-GASCUEÑA, NELIA<sup>1</sup>; SÁEZ-PÉREZ, M<sup>a</sup> PAZ<sup>2</sup>; RUÍZ-FERNÁNDEZ,  
JUAN PEDRO<sup>3</sup>.

1: *Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Universidad de Castilla-La Mancha*  
*e-mail: nelia.valverde@uclm.es*

2: *Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universidad de Granada*  
*e-mail: mpsaez@ugr.es*

3: *Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Universidad de Castilla-La Mancha*  
*e-mail: juanpedro.ruiz@uclm.es*

**Palabras clave:** acústica de iglesias; patrimonio arquitectónico-cultural; acondicionamiento acústico; intervención.

RESUMEN

En la presente comunicación se aborda el estudio de una de las localizaciones más valiosas y singulares del patrimonio arquitectónico de la ciudad de Cuenca, la iglesia de San Pedro, en la que se destaca una arquitectura cuyos rasgos únicos le confieren una riqueza histórica y cultural totalmente extraordinaria. Esta configuración singular, entre otras cosas, origina campos sonoros de una complejidad excepcional que hacen a esta iglesia especial para una investigación acústica. Con el fin de valorar la idoneidad de este espacio para distintos usos, que involucran tanto a la palabra como a la música, se ha realizado una caracterización acústica del recinto siguiendo una metodología basada en la medición *in situ* de las respuestas al impulso, teniendo en cuenta la localización de los diferentes focos sonoros y las zonas de audiencia. Se han obtenido parámetros acústicos como el tiempo de reverberación, el nivel de presión sonora y el nivel de ruido de fondo, mediante el empleo de software específico. Determinados los parámetros acústicos asociados a los usos actuales del monumento, los resultados nos permiten comprobar cómo el gran volumen de este edificio y las características de los materiales empleados en su construcción hacen que este espacio sea altamente reverberante, por lo que se concluye la necesidad de proponer un acondicionamiento acústico.

## 1. INTRODUCCIÓN

Pese a que tanto la palabra como la música han tenido gran importancia en la vida de las iglesias, en la mayoría de las ocasiones el gran interés artístico y patrimonial de las mismas ha eclipsado sus posibles valores funcionales o litúrgicos, por lo que las condiciones acústicas en los lugares de culto no siempre han sido tenidas en cuenta ni en su diseño ni en su construcción.

En las últimas décadas el interés por conocerlas se ha visto incrementado considerablemente, y no sólo han pasado a situarse en un plano relevante, sino que su conocimiento empieza a considerarse como una nueva aportación a la riqueza patrimonial de los bienes inmuebles. La incorporación de la valoración acústica al recinto frente a la visión tradicional arquitectónica-formal, supone una contribución al conocimiento y a la difusión del mismo al incluir estos aspectos dentro del patrimonio arquitectónico y cultural.

A diferencia de otros espacios, la mayor dificultad acústica en las iglesias se encuentra en compaginar una buena acústica musical y al mismo tiempo unas condiciones adecuadas para la palabra. Con carácter general, el criterio que ha prevalecido habitualmente ha sido el de la comprensión de la palabra, manteniendo en la medida de lo posible un buen ambiente musical.

En esta comunicación se aborda el estudio de la iglesia de San Pedro en Cuenca por su diseño arquitectónico diferente y morfología excepcional y exclusiva; es la única iglesia en Cuenca con planta octogonal en el exterior y circular en el interior, dando lugar entre otras cosas a campos sonoros de gran complejidad, lo que la hace muy adecuada para la realización de una investigación acústica.

De esta manera, el principal objetivo del estudio es realizar una caracterización acústica de la iglesia a través de los resultados de parámetros acústicos determinados obtenidos de mediciones realizadas *in situ*. Con esa información, y con una descripción de los materiales que conforman los revestimientos interiores de la iglesia que condicionan las características acústicas de la misma, podremos realizar un análisis acústico-técnico que nos ayudará a determinar el grado de calidad acústica, el cual indicará si necesita una intervención o acondicionamiento acústico, y a establecer el lugar óptimo dentro de la iglesia para la escucha de la música y de la palabra.

## 2. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO Y METODOLOGÍA

En este apartado se expone el estudio acústico realizado en la iglesia de San Pedro, actualmente de rito cristiano, en el que se han considerado como parámetros fundamentales, atendiendo a una presentación parcial del estudio, el tiempo de reverberación, el espectro del ruido de fondo y el nivel de presión sonora para caracterizar el campo sonoro del recinto.

### 2.1 MORFOLOGÍA Y EVOLUCIÓN HISTÓRICO-ARTÍSTICA

La iglesia, situada en la parte alta de Cuenca (figura 1), fue construida en el siglo XII, poco de tiempo después de que la ciudad fuera conquistada por Alfonso VIII (septiembre 1177). Los enfrentamientos ocurridos durante el siglo XV entre las diferentes clases sociales, dieron lugar a la destrucción de la iglesia en 1448, siendo reconstruida posteriormente en

estilo gótico. Tres siglos más tarde (S. XVIII), y tras la Guerra de Sucesión (1702-1713), fue saqueada e incendiada, por lo que tiempo después de nuevo tuvo que ser totalmente renovada, intervención llevada a cabo por el arquitecto José Martín de Aldehuela, muy influyente en el barroco de Cuenca [1]. Durante la Guerra Civil, el monumento sufrió grandes destrozos, por lo que tuvo que ser restaurada nuevamente, concluyendo la última restauración en el año 1999, y llevada a cabo por la Escuela-Taller Cuenca II y Cuenca III. Unos años más tarde, concretamente el 4 de julio de 2002, mediante resolución de la Dirección General de Bienes y Actividades Culturales de la Consejería de Educación y Cultura de Castilla La Mancha, se acuerda incoar expediente para declarar a la iglesia bien de interés cultural, con categoría de monumento [2].

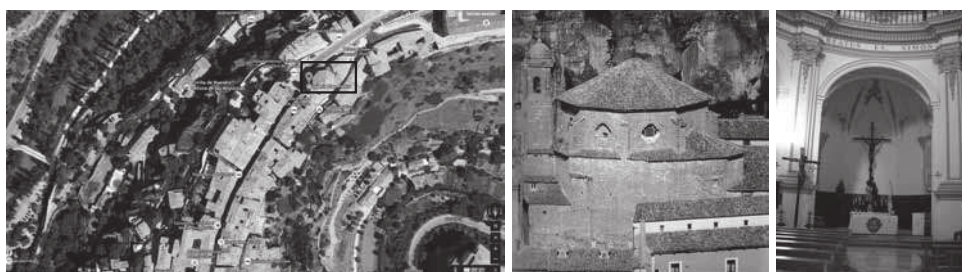


Figura 1. Vista aérea, vista exterior [1] y vista interior de la Iglesia de San Pedro.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, la planta es un octógono en el que se inscribe una circunferencia a la que se adicionan capillas configuradas por arcos de medio punto que surgen entre las pilastras adosadas a la circunferencia interior. (Figura 2)

La cubrición de la capilla evidencia el diseño octogonal de la planta. No obstante, en este espacio centralizado, el ábside, que también es poligonal, marca un claro eje, al extremo del cual se sitúa la fachada, constituida por la portada y la torre, quedando aquella desplazada del centro del hastial. Sobre la puerta se dispone un pequeño coro. Este espacio circular, es recorrido por una cornisa denticulada ampliamente resaltada; que se cierra con cúpula sobre tambor, con ventanas de forma mixtilínea. En cuanto a la torre, que se compone de tres cuerpos decrecientes, fue intervenida a mediados del siglo XVII al encontrarse en muy mal estado y amenazando ruina, para posteriormente ser rematada a fines del siglo XVIII con un cuerpo de campanas.

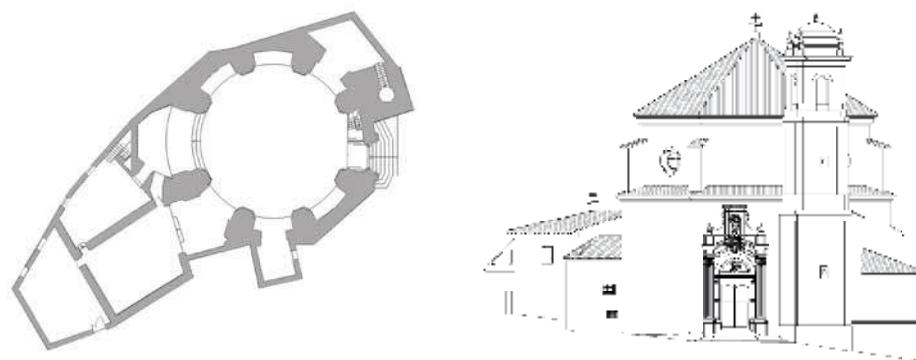


Figura 2. Planos de planta y alzado principal [3].

## 2.2 REVESTIMIENTOS INTERIORES

En la obtención de los valores que definen los parámetros acústicos fundamentales en la caracterización acústica de un recinto es determinante conocer tanto los materiales que conforman su interior como el mobiliario existente en el momento de la medición; siendo recomendados, para una sala destinada a la música, aquellos considerados acústicamente reflectantes, con objeto de evitar una pérdida excesiva tanto de sonidos graves como de agudos. En el caso concreto que nos ocupa estos materiales son:

- Yeso pintado: en paredes y techos (o cúpulas, según corresponda) de toda la iglesia, incluidas las capillas laterales a excepción de la capilla de San Marcos, que posee el artesonado de madera.
- Estuco: en detalles de ornamentación.
- Mármol: en el solado del centro de la iglesia.
- Granito: en el solado del resto de la iglesia.
- Madera: en el zócalo del presbiterio; en las barandillas del coro y de la galería; y en el techo de la Capilla de San Marcos.
- Vidrio: en las ventanas.

En su mayoría todos ellos son reflectantes, a excepción de la madera, aunque su influencia se ha considerado escasa debido a que la superficie que cubre es mínima.

En relación con el mobiliario su distribución en el momento de la medición es la siguiente: en el presbiterio, dos bancos de madera a ambos lados altar y en el fondo tres butacas de madera revestidas de terciopelo; en el espacio central de la iglesia hay dos filas de bancos de madera: ocho a la derecha y diez a la izquierda, mirando hacia el altar. Por tanto, la zona destinada a los fieles, en el momento de la celebración litúrgica, o la destinada al público, cuando la iglesia hace la función de sala de conciertos, está ocupada por bancos de madera que resultan poco absorbentes., lo cual tampoco ayuda a reducir la reverberación.

## 2.3 PARÁMETROS ACÚSTICOS

En la investigación llevada a cabo para la caracterización acústica se hizo necesaria la medición de los siguientes parámetros: tiempo de reverberación, nivel de presión sonora y nivel de ruido de fondo, además de conocer las dimensiones, volumen y superficie total del recinto.

Para la realización de la medición *in situ* de los diferentes parámetros acústicos se han utilizado dos micrófonos tipo 40AF con sus respectivos dos preamplificadores 26AK; dos bolas antiviento, para evitar ruidos y entradas de polvo u otras partículas en los micrófonos; un calibrador Aclan Cal 01; dos trípodes para apoyar los micrófonos; dos conectores Lemo de 7 pines; una plataforma de adquisición tipo Symphonie conectada a un PC marca TOSHIBA y el software de 01dB105.

El volumen del recinto se ha obtenido mediante simulación en el programa EASE 3.0, tomando como datos los planos de la iglesia. Los resultados geométricos son los siguientes:

- Volumen: 6.657,63 m<sup>3</sup>

- Superficie: 3.260,99 m<sup>2</sup>

Se establecieron 10 puntos de medida que fueron utilizados para la determinación de los diferentes parámetros.

En concreto, la metodología seguida en la medición de los distintos parámetros ha sido:

Tiempo de reverberación: se han seguido las indicaciones establecidas en la norma UNE 74-043-87 (Medida del Tiempo de Reverberación de Auditorios), que se corresponde con la ISO 3382104; siendo realizadas todas las medidas con la iglesia vacía y el mobiliario propio de la misma, descrito en el apartado anterior.

El tiempo de reverberación ha sido medido mediante el “*Método de ruido impulsivo*”. La fuente utilizada para ello ha sido una pistola de foguero de 9 mm. La fuente sonora se ha ubicado en el centro del altar, donde normalmente se sitúa el orador y donde se ubican los músicos para realizar los conciertos, a modo de escenario; la cobertura espacial elegida para realizar las medidas se indica en la distribución de la figura 3. Los puntos medidos en el canal 1 son el P1, P3, P5, P7, P9; y los medidos en el canal 2 son el P2, P4, P6, P8, P10. La altura de los micrófonos ha sido la misma para todas las medidas: 1,20 metros.

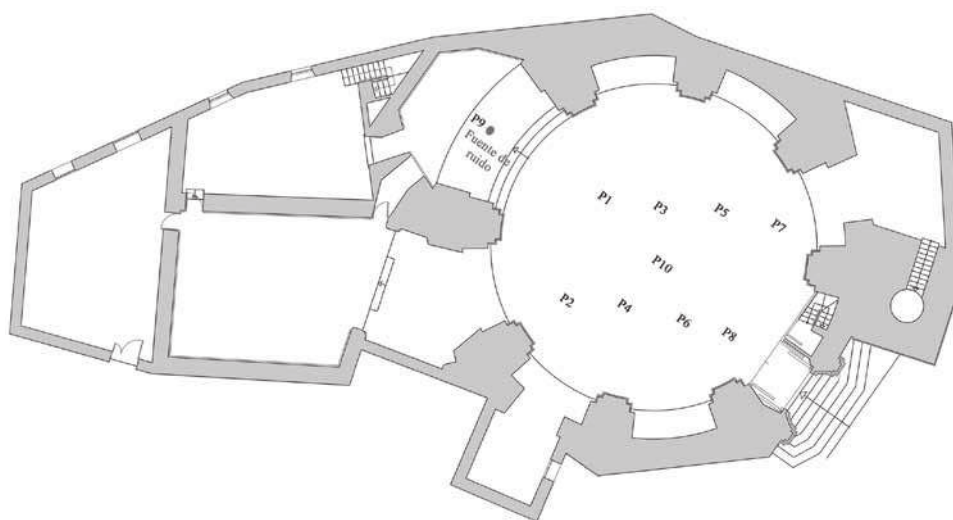


Figura 3. Plano de planta de la iglesia con referencia a los puntos de medida establecidos. (P1 a P10). Fuente: [3].

Presión sonora y ruido de fondo: medición del espectro, en octavas o tercios de octava, con una fuente de ruido conectada en el caso de la determinación de la presión sonora de tipo omnidireccional, eligiendo la utilización de una fuente de ruido rosa (presenta igual energía en todas las bandas de octava) emitiendo, con altavoces lo menos direccionales posible, un nivel superior al menos en 40 dB al ruido de fondo y colocada en el altar, en el mismo sitio que para las medidas del tiempo de reverberación, y fuente de ruido apagada en el caso de la determinación del ruido de fondo.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 TIEMPO DE REVERBERACIÓN

Basándonos en la formulación establecida por [4] el tiempo de reverberación medio se ha obtenido, según indica la norma ISO 3382, como media de los valores de las seis bandas de tercio de octava comprendidas entre 400Hz y 1250Hz para cada uno de los puntos de medida. En la figura 4 se muestra el  $T_r$  medio para cada frecuencia:

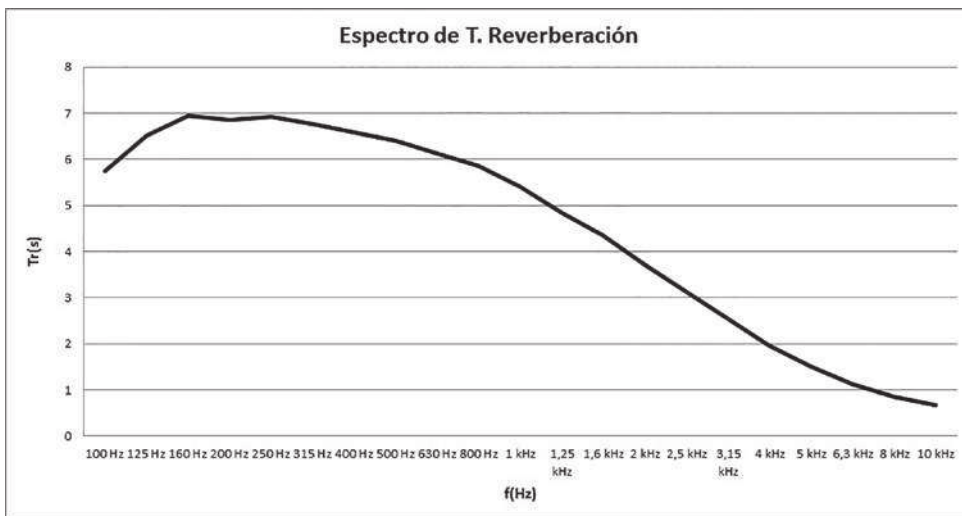


Figura 4. Espectro de tiempo de reverberación medio para cada frecuencia. Fuente: [3].

El tiempo de reverberación medio para los 10 puntos medidos es de 5'87 s, por ello y conocido que los tiempos óptimos recomendados se encuentran entre 2 y 3 segundos [5], se puede afirmar que los tiempos de reverberación obtenidos en la iglesia son altos.

Este resultado excesivo, desde el punto de vista estrictamente acústico, encuentra como principal explicación el tipo de planta de la iglesia: octogonal en el exterior y circular en el interior, y cubierta por una cúpula central; lo que hace que se multipliquen los efectos focalizadores. Y aunque su estilo arquitectónico es el barroco, no posee una excesiva ornamentación, al contrario, las superficies límite están desnudas, lo que provoca una absorción mínima del sonido.

También se aprecia que el tiempo de reverberación es más parecido en los puntos situados en el lateral izquierdo, según se mira hacia el altar (P2, P4, P6 y P8); y que el tiempo de reverberación medio de los 10 puntos coincide con la medida realizada en el centro de la iglesia ( $T_{rm} = T_{rP10}$ ). Haciendo un análisis en frecuencia podemos comprobar que, a baja frecuencia, el  $T_r$  es mayor y las diferencias entre los distintos puntos es prácticamente la misma a medias y a altas frecuencias.

El  $T_r$  medio es idóneo, teóricamente, para cierto tipo de música como el canto cristiano antiguo; sin embargo, no es apropiado para la inteligibilidad del mensaje hablado.

A partir del volumen de la iglesia y del tiempo de reverberación medio obtenido se calculó la absorción media del recinto (coeficiente de absorción de un material es la relación entre la energía incidente por el material y la energía reflejada por el mismo), que

resultó ser igual a 0,056. Teniendo en cuenta que los valores del coeficiente de absorción pueden variar entre 0 y 1, siendo el máximo coeficiente de absorción igual a 1, donde toda la energía que incide en el material es absorbida por el mismo, y el mínimo 0, donde toda la energía es reflejada, el valor obtenido nos muestra una absorción mínima, lo que explica en parte la elevada reverberación de la iglesia.

### 3.2 RUIDO DE FONDO

El control del ruido de fondo en el interior de las iglesias también es uno de los aspectos más importantes a valorar en su acústica, debido a las características de sus aplicaciones. Las fuentes de ruido interferentes pueden ser conversaciones, pisadas, instalaciones, tráfico rodado y actividades comerciales externas, entre otras. A partir de la medición del espectro de ruido de fondo se pueden extraer indicadores y curvas de valoración que relacionan la respuesta subjetiva al ruido de fondo en los edificios [4]. Los indicadores de ruido de fondo más importantes son el nivel de presión sonora ponderado LA y el nivel sonoro continuo equivalente LAeq. Las curvas permiten relacionar un espectro determinado a partir de un solo número. Así, la curva NR asocia el espectro de ruido, la NC relaciona el espectro de ruido con la perturbación producida en la comunicación verbal, y la PNC introduce mejoras técnicas en la NC. Para una iglesia, los niveles máximos recomendables que no se deben sobrepasar son los que se indican en la tabla 1:

Tabla 1 Niveles de ruido máximos en las iglesias [6]

Niveles máximos de Iglesias	NR	NC	PNC	Nivel de ruido	
	dB	dB	dB	dB	dB <sub>A</sub>
	35	30	35	40	45

En nuestro caso se pudo comprobar que los resultados del nivel de ruido de fondo fueron excelentes. Como se observa en la figura 5, el máximo valor de ruido es de 28,26 dB de media a 100 Hz, con un nivel global medio de 31,84 dB.

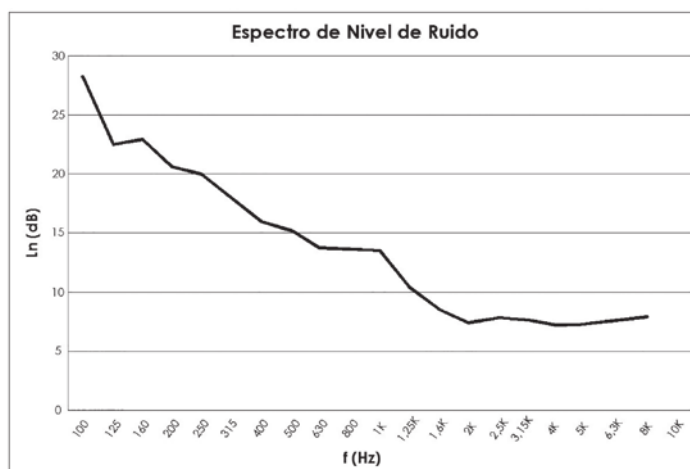


Figura 5. Espectro de nivel de ruido. Fuente: [3].

A su vez la figura 6 nos muestra que el espectro de ruido de fondo permanece por debajo de los niveles máximos recomendados de las curvas NR, NC, y PNC aconsejados para iglesias, que son de 35 dB, 30 dB y 35 dB respectivamente, según se ha indicado en la tabla anterior.

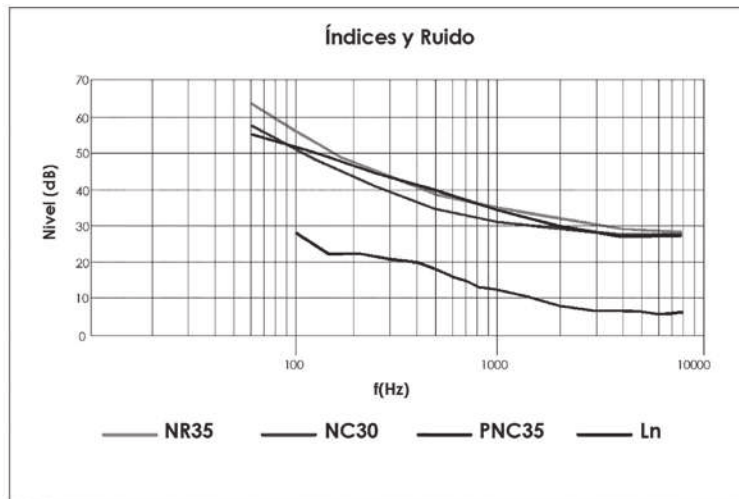


Figura 6. Comparación entre las curvas NR, NC y PNC y el espectro de nivel de ruido. Fuente: [3].

### 3.3 NIVEL DE PRESIÓN SONORA

Como se puede observar en la figura 7, el nivel de presión sonora es bastante uniforme, variando desde los 61,61 dB de media a 8 kHz hasta los 88,26 dB de media a 800 Hz, dando un nivel medio global lineal de 95,34 dB a partir de los 110 dB emitidos por la fuente.

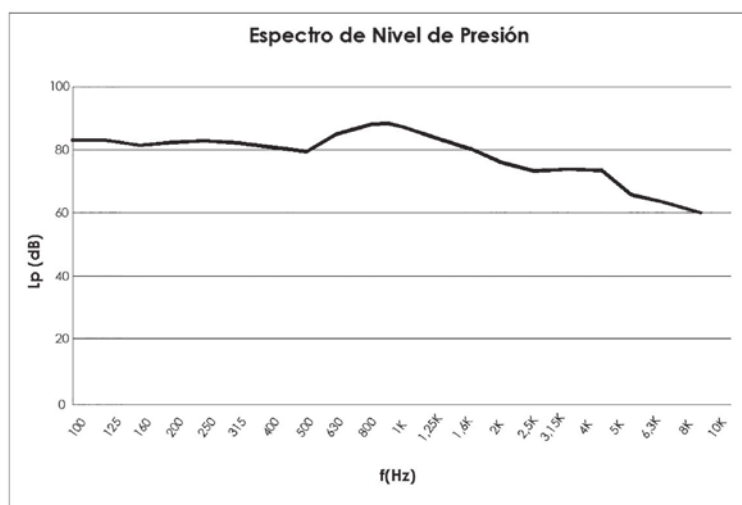


Figura 7. Espectro de nivel de presión. Fuente: [3].



#### 4. CONCLUSIONES

Si nos remitimos a los materiales que definen los acabados en el interior de la iglesia se podría decir que el edificio no debería tener problemas de acústica, sin embargo son muchos otros los factores que influyen en ella, tal y como se ha podido comprobar en la investigación realizada.

En relación con la morfología del edificio, se puede afirmar que la configuración formal de la iglesia es inadecuada para unas buenas condiciones desde el punto de vista estrictamente acústico; el revestimiento de las paredes con yeso debería garantizar un contenido de graves adecuado, pero la forma y el volumen de la iglesia provocan una reverberación excesiva. Estas condiciones empeoran con el suelo de mármol en la zona de central y la cúpula que corona el edificio. A pesar de ser una reconstrucción en estilo barroco, la ornamentación resulta bastante escasa, lo que no ayuda a una buena difusión del sonido; y se puede observar la falta de alfombras, cortinajes o tapices que mejorarían la absorción del sonido y, por tanto, disminuirían la reverberación.

Si nos remitimos a los resultados acústicos expuestos en el apartado anterior, se puede concluir lo siguiente:

- El coeficiente medio de absorción es muy bajo, lo que contribuye a la excesiva reverberación.
- La relación señal a ruido es buena, pero debido al nivel de aislamiento del edificio (inexistente) no pueden esperarse siempre adecuadas.
- Respecto a los tiempos óptimos de ámbito general, el tiempo de reverberación está muy por encima de los óptimos indicados.
- Respecto a los tiempos óptimos específicos para iglesias dados por [7], el tiempo de reverberación no es adecuado ni para la palabra ni para la música, por lo que al sobrepasar el criterio del 10% se hace necesario, en principio, el acondicionamiento acústico.
- El espectro de ruido es bueno, ya que es inferior a los índices NR, NC y PNC recomendados.
- El espectro de nivel de presión es bastante uniforme.

Los resultados obtenidos permiten concluir en la necesidad de intervención en el monumento con objeto de mejorar la acústica del edificio para los fines que se destina. Intervenciones que requieren estudios y propuestas específicas que deben analizarse en detalle, formando parte de otro estudio, complementario al realizado.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Troitiño Vinuesa, M. A. (1995). *II. Arquitecturas de Cuenca: el paisaje urbano del casco antiguo*. Servicio de Publicaciones de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha.
- [2] BOE nº 235 de 1 de Octubre de 2002
- [3] Valverde-Gascueña, N. (2009). *Sonidos en la Arquitectura de San Pedro. Un estudio acústico desde la perspectiva técnica y artística de la creación sonora en la Iglesia de San Pedro en Cuenca (España)*. (Tesis no publicada). Universidad de Castilla-La Mancha, España.

- [4] Sendra, J. J.; Zamarreño, T.; Navarro, J. y Algaba, J. (1997). *El problema de las condiciones acústicas en las iglesias. Principios y propuestas para la rehabilitación*. I.U.C.C, E.T.S.A. Sevilla.
- [5] Carrión Isbert, A. (1998). *Diseño acústico de espacios arquitectónicos*. Ediciones UPC, Barcelona.
- [6] Recuero López, M. y Gil González, C. (1993) *Acústica Arquitectónica* (2<sup>a</sup> ed) Ed. Paraninfo. Madrid.
- [7] Pérez Miñana, J. (1969). *Compendio práctico de acústica*. Ed. Labor. Barcelona.