



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008  
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008-A208

## **La conservación del espacio acústico como parte del patrimonio integral: iglesias de misiones jesuitas en la Chiquitanía boliviana**

Sebastián Rolón<sup>(a,b)</sup>, Mario Bustamante<sup>(a)</sup>, Marcelo Navía<sup>(b)</sup>, Julio Ulloa<sup>(b)</sup>.

(a) Laboratorio de Electroacústica, Facultad de Ingeniería, Universidad Técnica Privada Cosmos Blanco Galindo 635, Cochabamba, Bolivia. E-mail: m.bustamante@unitepc.com.bo

(b) Departamento de Investigación y Desarrollo, Acústica S.R.L., Los Lirios 345, Cochabamba, Bolivia. E-mail: sebastian.rolon@acustica.com.bo

### **Abstract**

The evangelization process of Bolivian north east people of Chiquitos, brought a strong influence in art and architecture. Particularly, the music preserves its richness through more than 250 years in a baroque-mestizo style that is still played in the Jesuit Missions Churches, named Mankind Heritage by Unesco since 1991. Subjective valuations of an indoor high acoustic quality by musicians and audience drove to argue about the use by constructors of the age of some acoustic criteria. This work presents the objective diagnostic of acoustic quality in five churches of Jesuit Missions built from 1745 to 1767, showing the originally optimum preservation of acoustic space in two of the studied churches and the deficient acoustic quality in the others due to restorations. The existence of a valuable acoustic characteristic, at present considered as optimum, in spaces built more than two centuries ago, shows the first signs about the use by Jesuits of building elements founded in empiric knowledge of acoustic. This proposes to consider the acoustic spaces as one more element of heritage, integrating the visual and the sonorous.

### **Resumen**

El proceso evangelizador de los pueblos chiquitanos del noreste boliviano trajo consigo una fuerte influencia en la arquitectura y el arte. La música, en particular, conserva su riqueza a través de más de 250 años en un estilo barroco-mestizo que aún es interpretado en las Iglesias de Misiones Jesuitas, nombradas Patrimonio de la Humanidad por la Unesco desde 1991. Valoraciones subjetivas de una alta calidad acústica en su interior, por parte de músicos y público en general, dieron origen a cuestionar si sus constructores utilizaron ciertos criterios acústicos de su época. El presente trabajo, presenta el diagnóstico objetivo de la calidad acústica de cinco iglesias de misiones jesuitas construidas entre 1745 y 1767, mostrando la conservación del espacio acústico originalmente óptimo en dos de las iglesias estudiadas y la deficiente calidad acústica en el resto como consecuencia de las restauraciones. La existencia de una valiosa característica acústica, actualmente considerada como óptima, en espacios construidos hace más de dos siglos, muestra los primeros indicios sobre el uso de elementos constructivos fundamentado en conocimientos empíricos de la acústica, por parte de los Jesuitas. Esto propone considerar el espacio acústico como un elemento más del patrimonio, integrando tanto lo visual como lo sonoro.

## 1 Introducción

Las misiones Jesuitas establecieron una cultura musical impresionante hasta hoy [1]. La construcción de instrumentos, la enseñanza de la música y un importante número de composiciones forman parte de una valiosa herencia cultural. Dada la importancia de ese legado, las iglesias de las misiones jesuitas en la Chiquitania boliviana son desde 1996 los espacios en los que se desarrolla el Festival Internacional de Música Renacentista y Barroca Americana más importante de nuestro continente [2]. Desde su inauguración, la acústica de estos lugares ha sido un tema de debate para diversos oyentes y destacados músicos, calificando los espacios únicamente a través de percepciones subjetivas. Esto dio lugar a cuestionar la posibilidad de que las iglesias jesuitas hayan sido construidas siguiendo ciertos fundamentos acústicos empíricos de su época.

A través de la presente investigación, se presenta una caracterización objetiva de la calidad acústica de las iglesias de San Ignacio de Velasco, San Miguel, San Rafael, Concepción, y Santa Ana, ubicadas en la región oriental de Bolivia. Se presentan los resultados de los parámetros acústicos más representativos en este tipo de espacios y una comparación con valores establecidos como óptimos tanto para la música como para la palabra [3]. Se revisa la evolución de la acústica en las iglesias según el tipo eclesial llegando hasta las Jesuitas y, finalmente, se realiza un breve primer análisis del impacto de las restauraciones en la calidad acústica de las iglesias estudiadas.

## 2 Antecedentes

### 2.1 Acústica en las Iglesias

A fines de la Edad Media, los franciscanos y los dominicos, establecieron la liturgia y la predicación como prioridad. Se limitó el volumen de las iglesias disminuyendo la altura de los techos y utilizando el modelo de nave única, siendo beneficioso para la calidad acústica. A su vez, con el fin de hacer más inteligible el mensaje utilizaron el idioma vulgar para sus sermones [4]. En el Renacimiento, el primer tratado de arquitectura de esa época, del arquitecto Alberti, establece que para perdurar en el tiempo y poseer mayor dignidad, las iglesias deben estar abovedadas, citando sin embargo "...en todos aquellos lugares en los cuales se ha de oír la voz de quien recita o de quien canta o de quien disputa, no es adecuado que estén abovedados, porque las voces retumban: en cambio resultan idóneos los entramados de madera, porque dan lugar a una voz más clara" [5], con lo cual muestra conocer la influencia de los materiales en la calidad acústica, aunque en su generación el problema acústico no era una prioridad.

El concilio de Trento, en la segunda mitad del siglo XVI, otorgó importancia a la predicación como instrumento al servicio de la contrarreforma. La inteligibilidad de la palabra, tanto en el texto como en la música, resultaba fundamental para la reforma católica. Dos órdenes religiosos priorizaron esto: los jesuitas y los franciscanos, siendo los grupos que mayor importancia dieron a la acústica en la construcción de las iglesias. Esto formó parte de una mejora en el desarrollo de la predicación, eligiendo el modelo de base única con cubierta de madera [6]. Ese efecto se hizo sentir en el barroco y fue extendida por todo el mundo por la actividad misionera de los jesuitas, especialmente en América [7]. La planta oval en las iglesias fue propuesta por los jesuitas por características acústicas y adoptada por el barroco. En 1673 el jesuita Kircher publicó *Phonurgia Nova*, un trabajo sobre la reflexión del sonido, mostrando un importante conocimiento sobre el fenómeno sonoro. Referente a las iglesias jesuitas de la chiquitania específicamente, en 1993, Stefan Fellner realizó una tesis sobre las

proporciones musicales en la arquitectura de Chiquitos [8], en el cual efectúa un búsqueda de las proporciones musicales en las iglesias de Chiquitos. Si bien la inclusión de las proporciones musicales en la arquitectura, basadas en la cosmología musical del Timeo de Platón, fue una técnica muy utilizada a partir del siglo XII [9], éstas conformaban un fundamento filosófico y teológico de la geometría. Hoy se sabe que no tienen una consecuencia directa en la calidad acústica de un espacio, afectando únicamente a la distribución modal y que se asemejan a las proporciones propuestas por Bolt en 1946 [10].

## 2.2 Misiones Jesuitas en Bolivia

Las misiones jesuitas de chiquitos están situadas en una extensa área del noreste del departamento de Santa Cruz de la Sierra, al este de Bolivia, comprendiendo las poblaciones de San Javier, Concepción, San Ignacio, San Miguel, San Rafael, Santa Ana de Velasco, y San José de Chiquitos. Entre los años 1691 y 1760 se edificaron los impresionantes monumentos religiosos arquitectónicos del barroco mestizo, quedando un extraordinario ejemplo vivo e inédito en el mundo de la experiencia evangelizadora de las reducciones jesuíticas, consideradas desde 1991 Patrimonio Cultural de la Humanidad. La restauración de las iglesias estuvo a cargo del arquitecto jesuita Hans Roth, logrando verdaderas obras de arte con su trabajo desde 1972 hasta su muerte el año 2001.

El método misional mas efectivo, para un pueblo completamente analfabeto, era un modo de evangelización que no necesitara de la escritura, sino los medios no verbales como la música sagrada, las imágenes, las procesiones y las danzas tradicionales. Una clara muestra de esto fue el hallazgo de más de cinco mil partituras en San Rafael y Santa Ana de Chiquitos, entre ellos el famoso «Réquiem Chiquitano» con varias copias del siglo XVIII, hoy contenidas en el Archivo Americano, en Concepción.

Las iglesias de la Chiquitanía, son las únicas de las reducciones jesuíticas de América que permanecen en pie y que aún cumplen una función religiosa en los pueblos. Caracterizándose por sus murales, altares tallados en madera, retablos, columnas, pulpitos y otros elementos que destacan su originalidad, son actualmente el principal atractivo turístico cultural de la Chiquitanía boliviana. Esta singular región, conserva sus pueblos vivos con sus costumbres y tradiciones ancestrales. Siendo además, desde 1996, sede del Festival de Música Renacentista y Barroca Americana, realizado cada dos años y que en su última versión contó con más de cien mil visitantes.

## 2.3 Arquitectura Jesuita-Chiquitana

Durante los setenta y seis años de su presencia en Chiquitos (1691-1767), los jesuitas usaron diferentes métodos de construcción según los materiales que encontraban en la región, manejando las expresiones estéticas que ofrecían estos materiales: piedra, ladrillo, adobe, madera, mica y pigmentos, enriqueciendo cuidadosamente el mundo estético del barroco [11]. El uso de materiales del lugar dio forma a una nueva manera de concebir la arquitectura. Las partes que conforman el interior de una iglesia misional tipo son estructuradas por una hilera de columnas de madera cuchi y soto talladas con motivos barrocos; creando tres naves en planta: una principal y dos laterales. Estas columnas sostienen una estructura de madera para la cubierta que se une sin necesidad de clavos, ya que está diseñada por partes para un buen encastre [12]. De los capiteles nacen arcos polilobulados de madera, que se unen en la parte extrema de la tijera apoyándose en el muro. Estos muros, tienen cimientos de piedra y una estructura de madera que sigue el entramado de las columnas del interior de la iglesia, teniendo un espesor promedio de un metro. El material usado en la época misional fue el adobe, que fue utilizado también para la restauración y que está revocado con cal a excepción de la

iglesia de Concepción que es de cemento [13]. Los muros laterales, tienen un vano para portones en la parte central, y vanos para las ventanas. Los confesionarios son de madera tallada minuciosamente, y se encuentran apoyados uno en cada pared. En el caso de la Iglesia de Concepción, existen cuatro confesionarios, flanqueando las puertas transversales. Antiguamente, los techos estaban cubiertos de caña encima de las estructuras y cubiertas con cal, luego de las restauraciones esta caña fue reemplazada por madera. La iglesia de San Rafael y Santa Ana continúan con la caña en la cubierta pero sin el revoque de cal que solía usarse. Los pisos son de cerámica con una textura rugosa a excepción de Concepción donde son de cerámica mas lisa. El retablo principal y los laterales están tallados en madera, mostrando bastante relieve con distintos motivos lo cual aporta positivamente a la difusión del sonido en el interior de las iglesias. La iglesia de Santa Ana tiene el menor volumen de espacio y de elementos arquitectónicos en comparación a las demás, prescindiendo de restauraciones significativas al poder mantenerse firme a pesar del paso de los años. Las fotografías 1 y 2 muestran una visual de una iglesia jesuita-chiquitana tipo.



**Fotografía 1.** Vista exterior de la iglesia de Concepción.



**Fotografía 2.** Vista interior de la iglesia de Concepción.

### 3 Metodología

#### 3.1 Descripción de los espacios

Las características de las iglesias estudiadas se describen en la siguiente tabla 1. La diferencia más significativa entre todas es el volumen. Los materiales que cubren la mayor superficie de los espacios es la caña, en San Rafael y Santa Ana, y la madera, en Concepción, San Ignacio y San Miguel.

**Tabla 1.** Características de cada espacio.

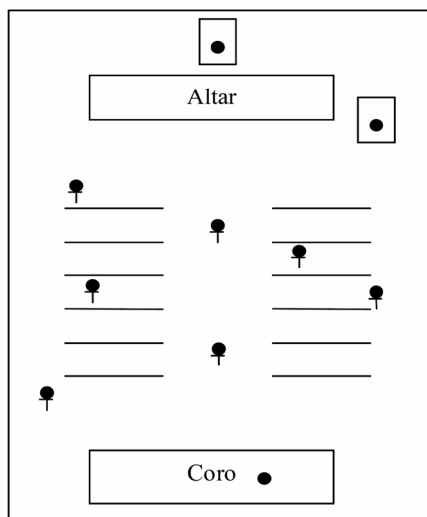
Iglesia	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Año de construcción	Encargado	Año de restauración	Distancia desde Santa Cruz
Concepción	11.507,2	1753-1756	Martin Schmid	1975-1996	290 Km.
San Ignacio	10.389,2	1761 (destruida 1948)	-----	Rec.1964 Rest. 1992-2001	465 Km.
San Miguel	8.630,8	1748-1757	-----	1979-1983	501 Km.
San Rafael	7.342,8	1745-1949	Martin Schmid	1972-1996	538 Km.
Santa Ana	4.892,6	1767	-----	-----	557 Km.

#### 3.2 Procedimientos de medición

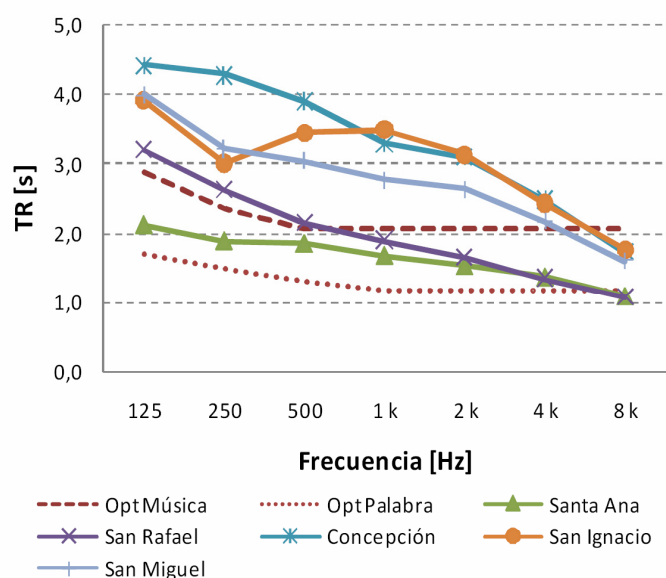
Las mediciones se realizaron de acuerdo a la norma ISO 3382 [14]. La distribución espacial de cada iglesia obedece a un mismo patrón, variando únicamente las proporciones. Esto fue aprovechado para mantener las posiciones de medida en los cinco espacios. El método de excitación utilizado fue el de disparo, debido a la imposibilidad de transportar equipo pesado en un viaje terrestre de más de trece horas desde Santa Cruz, seis de ellas sin pavimento. La figura 2 presenta las tres posiciones de fuente y siete posiciones de micrófono utilizadas. Las 42 muestras fueron obtenidas con el sistema de adquisición Symphonie y los parámetros calculados a través de dBFa32 de 01dB.

### 4 Resultados

En la Figura 2 se presentan los valores del tiempo de reverberación (TR) correspondientes a cada iglesia estudiada (sala vacía), además de los valores considerados óptimos para la música y para la voz. Las iglesias de Santa Ana y San Rafael poseen valores intermedios a los óptimos, en un ventajoso compromiso entre lo recomendado para la voz y la música. Utilizando la ecuación simple de Sabine para TR, y aprovechando la similitud de los volúmenes de San Miguel y San Rafael, se determinó que el remplazo de la caña por madera disminuyó aproximadamente un 25% el valor de la Absorción total. Por otra parte, San Miguel, Concepción y San Ignacio presentan tiempos de reverberación muy por encima de los valores óptimos.



**Figura 1.** Puntos de medición en cada iglesia estudiada.



**Figura 2.** Tiempo de reverberación en función de la frecuencia.

La Figura 3, muestra los valores del tiempo de decaimiento temprano (EDT) medidos en cada recinto. Todas las iglesias, con excepción de San Ignacio con una variación de hasta 10% entre EDT y TR, poseen valores cercanos al TR.

La claridad musical (C80) y la definición (D50) en función de la frecuencia se presentan en las figuras 4 y 5 respectivamente. Los valores promedio para cada caso se presentan en la tabla 2. La claridad musical en Santa Ana y San Rafael muestra una característica acústica excelente para la ejecución musical, con valores promedio dentro del margen recomendado por Beranek para salas vacías [15]. Por otra parte, la definición, muestra nuevamente una importante característica en las iglesias de Santa Ana y San Rafael.

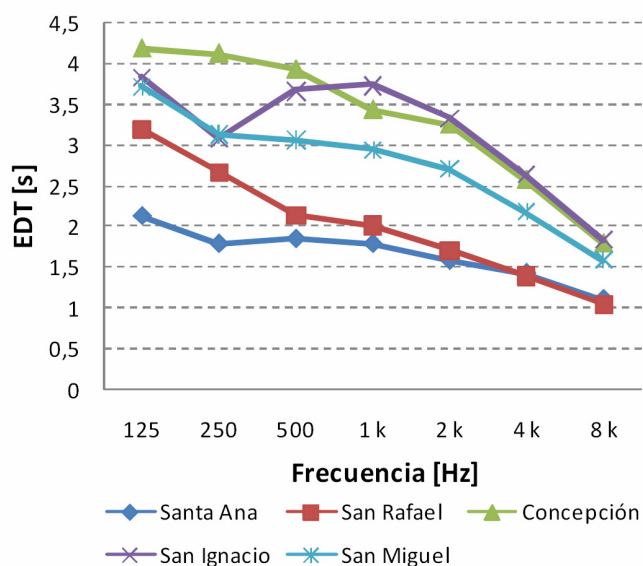


Figura 3. Tiempo de decaimiento temprano en función de la frecuencia.

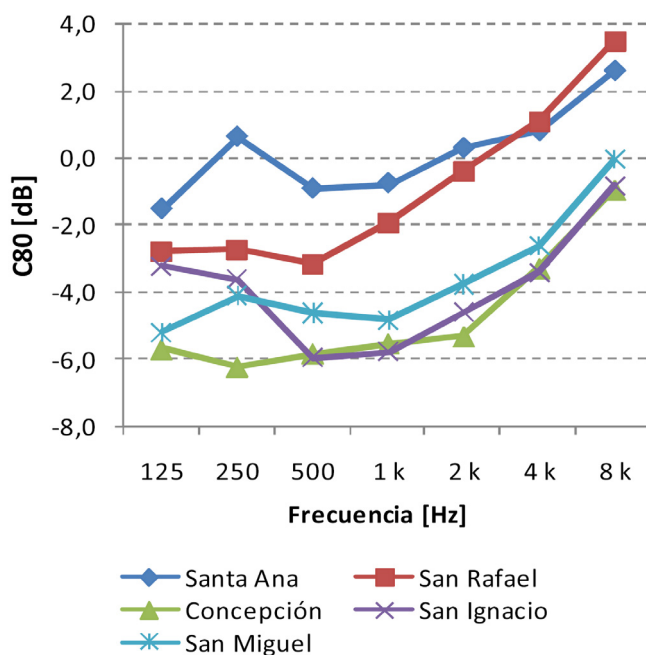


Figura 4. Claridad en función de la frecuencia.

Tabla 2. Claridad Musical promedio.

	Concepción	San Ignacio	San Miguel	San Rafael	Santa Ana
C(80) promedio	-5,6	-5,6	-4,7	-1,6	0,4

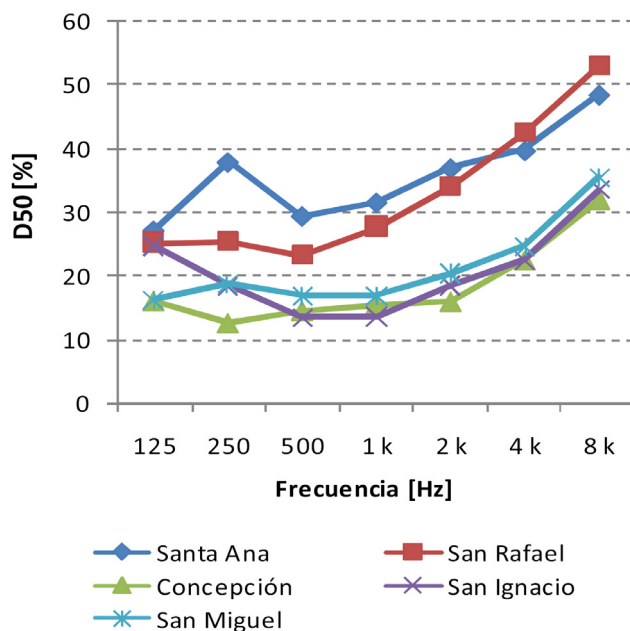


Figura 5. Claridad en función de la frecuencia.

La figura 6, presenta los valores del índice de transmisión de la palabra (STI) en función de la distancia entre emisor y receptor, obtenidos en cada iglesia estudiada. Siendo Santa Ana y San Rafael las únicas iglesias con valoraciones aceptables en cuanto a inteligibilidad de la palabra.

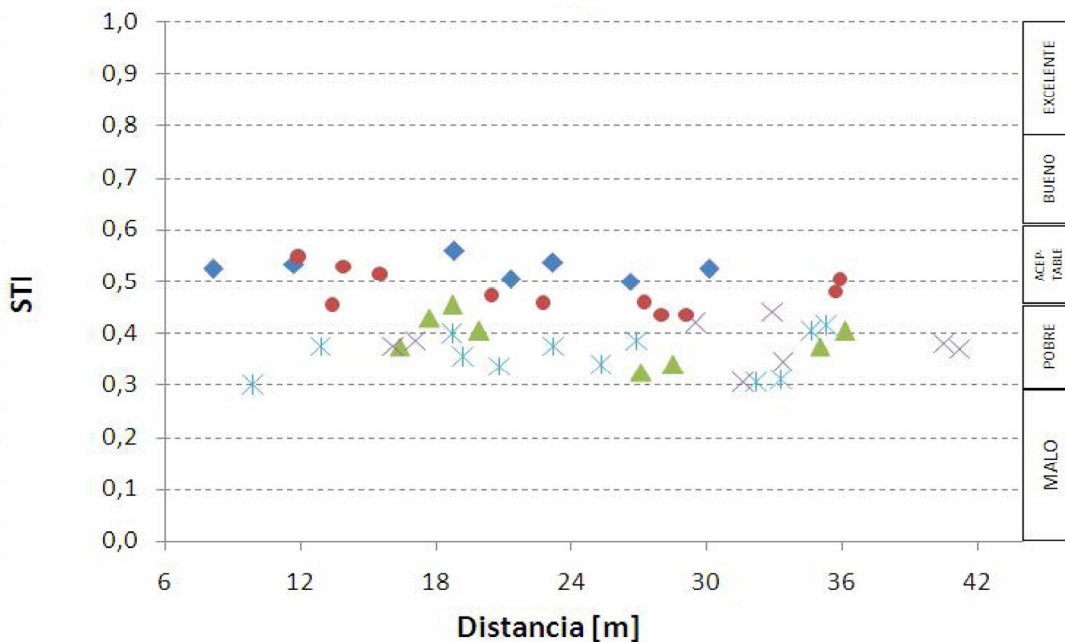


Figura 6. Índice de Transmisión de la Palabra (STI) en función de la distancia emisor-receptor.



## 5 Conclusiones

Se pudo comprobar que el uso de madera, en reemplazo de la caña, para los techos en las iglesias de Concepción, San Ignacio y San Miguel, disminuyó la absorción acústica en un 25% respecto a su condición inicial, lo cual incrementó considerablemente la reverberación (figura 2). Por otra parte, que el uso de cerámica lisa en Concepción, contribuyó en gran medida al hecho de que hoy posea características acústicas deficientes, tanto para la música como para la voz. A través de los resultados obtenidos y los antecedentes presentados en esta primera investigación, se observan indicios de que el proceso de restauración pudo afectar significativamente la calidad acústica de las iglesias de las misiones jesuitas en Chiquitos. Actualmente este equipo de investigación trabaja en una segunda etapa que incluye modelaciones acústicas de cada espacio, en busca de valores precisos de los parámetros acústicos antes de las restauraciones. Se espera presentar dichos resultados en un futuro cercano.

Si bien lo estético y visual son características de prioridad para nuestra cultura occidental, desde un punto de vista funcional, la característica acústica en los espacios religiosos formó parte de un conjunto de elementos que facilitaron y facilitan la labor predicadora en órdenes como la jesuita. Esta característica, por el valor histórico y cultural que posee, es pieza de un patrimonio humano importante. Mundialmente, existen un reducido número de iglesias antiguas con las características acústicas actuales de las iglesias de Santa Ana y San Rafael [16] [17] [18], siendo merecedoras de un reconocimiento como antecedente inequívoco de una acústica arquitectónica basada en lo empírico y lo auditivo, recordando que del total de iglesias estudiadas, ambas resistieron al paso del tiempo, y con ello, a las restauraciones significativas.

Considerar la característica acústica como parte del patrimonio cultural, hará necesario tomar en consideración cualquier variable arquitectónica que afecte significativamente la valiosa calidad acústica de estos espacios *aún* conservados; encaminándose hacia una conservación integral del espacio, que una tanto lo visual como lo sonoro.

## Referencias

- [1] Carvalho, António (1987). "Los Jesuitas alemanes en la colonia". Ministerio de Relaciones exteriores y Culto. Simposio sobre las misiones Jesuitas en Bolivia. La Paz, Bolivia.
- [2] Hoffmann, Werner (1979). "Las misiones jesuíticas entre los chiquitanos". Fundación para la Educación, la Ciencia y la Cultura, Buenos Aires, Argentina.
- [3] Zamarreño, Teófilo; Girón, Sara; Galindoc, Miguel (2006). "Acoustic energy relations in Mudejar-Gothic churches", Departamento de Física Aplicada II, Universidad de Sevilla, Sevilla, España.
- [4] Sedra, Juan; Navarro, Jaime (1993). "Análisis acústico de los tipos eclesiales". SEA. Madrid, España.
- [5] Benedetti, S. (1993). "Fuori dal classicismo". Bonsignori Ed.87
- [6] Pirri, P. (1955) "Giovanni Tristano e primordi della architettura gesuitica". Institutum Historicum.
- [7] Querejazu, Pedro (Editor y Compilador) (1995). "Las Misiones Jesuíticas De Chiquitos". Fundación BHN Línea, Ed. La Papelera S.A., La Paz, Bolivia.
- [8] Stefan, Fellner (1993). Resumen de la tesis doctoral "Numerus sonorus, Musikalische Proportionen und Zahlenasthetik in der Architektur der Jesuitenmissionen Paraguays, am Beispiel der Chiquitos-Kirchen des P. Martin Schmid SJ (1694-1772)" Universidad Técnica de Berlín, Berlin, Alemania.
- [9] E. de Bruyne, Estudios de estética medieval.

- [10] Bolt, R. (1946). "Note on the normal frequency statistics in rectangular rooms". *J.Acoust.Soc.Am.* 18(1) 130-133.
- [11] Roth, Hans; Kühne, Eckart. "La construcción y restauración de las iglesias de Martin Schmid".
- [12] Hoffman, W. (1981). "Vida y obra del P. Martin Schmid S.J. (1694-1771). Misionero suizo entre los chiquitanos. Músico, artesano, arquitecto y escultor". Buenos Aires, Argentina.
- [13] Wien, Bundesdenkmalamt (1981). "Restaurierwerkstätten", Laborbericht für San Miguel de Velasco.
- [14] UNE - EN ISO 3382, 2001. Acústica - Medición del tiempo de reverberación de recintos con referencia a otros parámetros acústicos.
- [15] Beranek, Leo. (2003). "Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture". Ed. Springer-Verlag, New York, USA.
- [16] Desarnaulds, Victor; Carvalho, António. "Liturgical conditions of catholic and reformed celebrations and their relationship with architectural and acoustical characteristics of churches".
- [17] Marshall, Harlod; Nielsen, Johan; Halstead, Miklin (1997). "Recent acoustical measurements in the Christchurch town hall auditorium".
- [18] Galindo, M.; Zamarreño, T.; Sedra, J.; Navarro J. (1998). "La acústica de espacios religiosos jesuitas y manuelinos en Lisboa". SEA. Madrid, España.