

**ANÁLISIS DE LA RESPUESTA ACÚSTICA DE LA CAPILLA DE  
SAN FRANCISCO DE ASÍS EN AZCAPOTZALCO, MÉXICO: ESTUDIO DEL  
IMPACTO QUE CAUSARON LAS INTERVENCIONES ARQUITECTÓNICAS**

PACS 43.55.Ka

Rodríguez Manzo Fausto E.; Lancón Rivera Laura A.; Garay Vargas Elisa, García Martínez Silvia G; Ponce Patrón Dulce R.

Laboratorio de Análisis y Diseño Acústico, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, División de Ciencias y Artes para el Diseño, Departamento de Procesos y Técnicas. Av. San Pablo 180 Edificio S, 1º piso, Col. Reynosa Tamaulipas, CP 02200, Azcapotzalco, México, Distrito Federal. Teléfono (52) (55) 5318 9000 ext. 2236, ladaac@correo.azc.uam.mx

**ABSTRACT**

The Chapel of San Francisco was the first church built in the sixteenth century in Azcapotzalco, once a mighty prehispanic state in ancient times and whose spiritual conquest was in charge of the Dominican order. The temple was built in the Mudejar style and has changed to the extent that today the deck and beams are made of concrete. This paper presents a comparative analysis of the acoustic response of the chapel in its current state with respect to its original state by using the CATT acoustic simulation program.

**RESUMEN**

La Capilla de San Francisco fue el primer templo construido en el siglo XVI en Azcapotzalco, que fuera un pueblo poderoso en la época prehispánica y cuya conquista espiritual estuviera a cargo de la orden de los dominicos. El templo fue erigido en un estilo mudéjar y ha sufrido cambios; al grado que hoy la cubierta y las vigas son de hormigón. Este trabajo muestra un análisis comparativo de la respuesta acústica de la capilla en su estado actual con respecto a su estado original, mediante el uso del programa de simulación acústica CATT.

**ANTECEDENTES**

Azcapotzalco, palabra que significa "lugar del hormiguero", fue una región dominada por los tepanecas, uno de los grupos étnicos que poblaron la Cuenca del Valle de México, tras la caída de una de las mayores ciudades prehispánicas de Mesoamérica, Teotihuacán. Azcapotzalco, desde su fundación (entre los siglos XII y XIII), fue considerado un pueblo muy importante desde el punto de vista económico y comercial, conformándose así como una región poderosa [1].

Tras la conquista por los españoles iniciada en 1519, varios pueblos como Azcapotzalco decayeron y con el paso del tiempo fueron evangelizados. Específicamente en la región de

Azcapotzalco, entre los años 1528 y 1529, llega la orden de los dominicos con la intención de detener el maltrato que los conquistadores daban a los tepanecas, haciendo que éstos se comprometieran a edificar su convento y parroquia en retribución a tal acto [2].

El conjunto dominico de Azcapotzalco, como otros más, fue erigido sobre los *teocallis*<sup>1</sup> sagrados de los tepanecas, situados al oriente de lo que hoy se conoce como el Jardín Hidalgo, lo que fuera el viejo centro del pueblo de Azcapotzalco [3]. El conjunto cuenta actualmente con un gran atrio arbolado (con sus capillas posas), desde el cual se puede acceder al claustro y a la Parroquia de los Santos Apóstoles Felipe y Santiago. Al interior se ubican dos capillas: la Capilla de Nuestra Señora del Rosario y la Capilla de San Francisco de Asís; de las cuales, a la primera se puede acceder desde la parroquia a través de una puerta adosada al lado norte y la segunda, ubicada del lado sur, a la cual se ingresa después de pasar por la antesacristía.

### LA CAPILLA DE SAN FRANCISCO DE ASÍS

La capilla de San Francisco de Asís, de la Tercera Orden, es considerada la primera edificación construida por los dominicos en Azcapotzalco. Debido a la forma de la planta y a la ubicación que ocupa en relación a todo el conjunto arquitectónico conventual (la parroquia, el claustro y el atrio), puede suponerse que es una construcción del siglo XVI [3]. La planta de la capilla es de una sola nave, sin crucero, donde un arco triunfal separa el presbiterio de la nave. El presbiterio remata con un ábside de forma semi-hexagonal, el cual alberga un ciprés estilo neoclásico con diferentes esculturas religiosas. Se cuenta con un coro fabricado de madera con ménsulas que sostienen la vigería, ubicado por encima del acceso al templo. A los costados de los muros se encuentran pinturas, esculturas y urnas religiosas (Fig. 1).



Figura 1. Vistas interiores de la Capilla de San Francisco de Asís; hacia el altar (izquierda) y hacia el coro (derecha)

Por otra parte, según algunas referencias [3,4], la capilla tuvo una techumbre de vigería de madera estilo mudéjar, la cual es típica de la arquitectura realizada en el siglo XVI, que fue modificada hace unas décadas (aunque algunos señalan que fue desde mediados del siglo XIX, [5]) por una techumbre de concreto (hormigón). Actualmente parte del artesonado, que pudo haber sido similar al de la capilla, se conserva en el claustro, al poniente de la misma (Fig. 2).

<sup>1</sup> Se conoce por *teocalli* a los templos que construían los pueblos mesoamericanos, casi siempre de forma piramidal. Estos templos se edificaban para consagrar a alguna deidad, convirtiéndose en lugares venerables para el pueblo.



Figura 2. Conservación del artesanado estilo mudéjar en el claustro del conjunto conventual.

Adicional al cambio en la techumbre, que fue la intervención más importante, la capilla también ha tenido importantes intervenciones arquitectónicas, como la adición de molduras en las pilastras y elementos como pinturas, urnas, esculturas y el ciprés estilo neoclásico, todas ellas realizadas y agregadas entre los siglos XVIII y XIX [3,6].

Actualmente los materiales con los que está construida la capilla son piedra en muros y cantera en columnas, concreto en techo y vigas, y madera en el coro. Y sólo se ocupa para conmemorar los sacramentos del bautismo y la confirmación.

Al ser un recinto de gran valor arquitectónico e histórico, uno de los objetivos de esta investigación, además de evaluar los cambios en el ambiente sonoro que ha tenido a lo largo de los años, es la creación en el tiempo de una memoria sonora que sirva como base de análisis y consulta para futuras intervenciones.

## METODOLOGÍA

Para este estudio se realizaron mediciones en campo, se generó un modelo tridimensional (3D) del espacio en su estado actual que sirvió como base para construir, validar y ajustar el modelo de simulación acústica, con el cual se generaron variantes de dos periodos previos significativos del espacio, para su comparación.

### Medición en campo

Las mediciones acústicas se realizaron durante el día, con el espacio desocupado, de acuerdo al procedimiento establecido en la norma UNE-EN ISO 3382-2 [7] de respuesta al impulso del espacio. La fuente sonora se ubicó donde habitualmente el párroco realiza la liturgia (en el altar) (Fig. 3). La ubicación de los receptores se distribuyó en el área de audiencia. Para la generación, recepción y procesamiento de la señal se empleó un analizador Norsonic (Nor140), una fuente semidodecaédrica (Nor275) y un micrófono de 1/2" omnidireccional. Tanto la fuente sonora como el micrófono se ubicaron a una altura de 1.20 metros del nivel del piso.

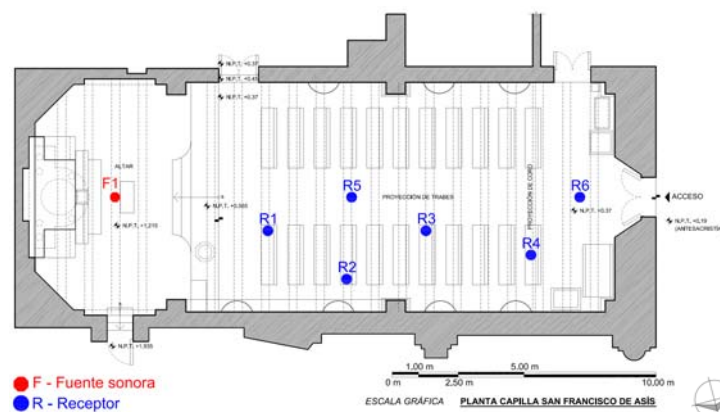


Figura 3. Planta arquitectónica de la Capilla de San Francisco de Asís que muestra las ubicaciones de la fuente sonora y los receptores durante las mediciones.

### Simulación acústica

Para realizar la simulación acústica se generó un modelo 3D de la capilla que se utilizó en el software CATT-Acoustic v9.0, TUCT (1 800 planos y un volumen de 1 437 m<sup>3</sup>) en su estado actual. El modelo acústico se ajustó en concordancia con las mediciones del tiempo de reverberación realizadas en campo para su validación (Tabla. 1), así como a partir del cálculo de otros parámetros de calidad acústica que se obtuvieron de la respuesta al impulso del espacio.

	TR (Tiempo de reverberación)					
	Frecuencia (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Medido (s)	5.55	5.16	5.33	4.44	3.78	2.58
Simulado (s)	5.79	5.29	5.23	4.48	3.74	2.62
JND (%)	4.23	2.47	2.02	0.94	0.93	1.32

Tabla 1. Valores del TR medidos en campo y simulados con sus JND correspondientes.

Las diferencias encontradas (JND) del tiempo de reverberación entre las mediciones en campo y el modelo simulado no superaron 1 JND (equivalente al 5% para este parámetro [8]). Por lo que se determina que el modelo es fiable en la reproducción de las cualidades acústicas del espacio.

Los coeficientes de absorción y difusión de los materiales con los que se modeló el templo, se ajustaron a partir de fuentes bibliográficas [9,10], con otros materiales semejantes al del estilo arquitectónico del espacio, además de considerar elementos como sillería (madera) y urnas (madera y vidrio), entre otras.

Una vez ajustado el modelo de simulación acústica, se realizó el análisis comparativo del estado actual con dos estados representativos previos del espacio, que corresponden a:

a) el estado original, es decir antes de las intervenciones que se realizaron a partir del siglo XVIII donde los muros, columnas y arcos se encontraban libres de cualquier decoración y el techo original era de estilo mudéjar; y

b) el estado que tuvo entre los siglos XVIII y XIX, en el que se realizaron la mayor parte de las intervenciones arquitectónicas, como fueron la adición de molduras en las pilastras, pinturas, urnas, esculturas y el cipers estilo neoclásico, conservando únicamente el techo original en estilo mudéjar (Fig. 4).



Figura 4. Modelos en 3D de la capilla para las simulaciones acústicas: a) en su estado original; b) tras las intervenciones arquitectónicas entre los siglos XVIII y XIX; y c) en su estado actual.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante el procedimiento de simulación acústica se obtuvieron los parámetros de interés y se compararon gráficamente con las mediciones realizadas en campo. En la Figura 5 se observa un comportamiento espectral similar en cada uno de los parámetros, pero con aumento o disminución de los valores según el caso.

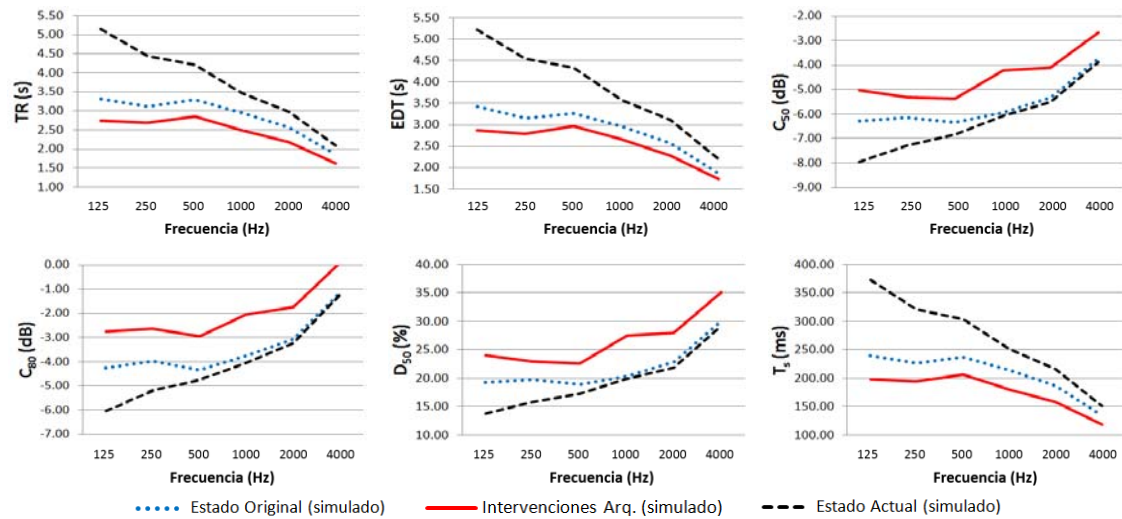


Figura 5. Valores de los distintos parámetros acústicos simulados con audiencia.

Si se analiza la Figura 5, en referencia a dichos parámetros y a sus valores sugeridos según el volumen del espacio [7,11,12,13,14], se puede decir que en relación a:

- El tiempo de reverberación (TR) y el decaimiento inicial (EDT), los valores sugeridos para espacios religiosos oscilan de los 1.3 s hasta los 1.8 s. Los valores de los tres estados del espacio se ubican por encima del máximo sugerido, lo que significa que el espacio siempre ha sido muy reverberante o vivo, como es de esperarse de cualquier espacio con estas características, pues se entiende que un templo religioso católico es reverberante. Sin embargo, el estado más reverberante es el actual y el menos el de las intervenciones que tuvo entre los siglos XVIII y XIX.
- Para claridad de la palabra ( $C_{50}$ ), se sugieren valores por arriba de 2 dB, valor que no se cumple debido a la reverberación en los tres estados del espacio. Estos valores indican que el mensaje oral es demasiado confuso o pobre, por lo que el espacio no es adecuado para el habla.
- Para claridad musical ( $C_{80}$ ) se recomiendan valores entre -4 dB a 4 dB. Este rango está muy cercano al estado original del espacio y al de las intervenciones realizadas entre los siglos XVIII y XIX, dando la sensación de un sonido claro. El rango se aleja en el espacio en su estado actual.
- En cuanto a la definición ( $D_{50}$ ), entre mayor sea el valor, más elevada será la definición sonora. Para espacios adecuados para la palabra, los valores deben ser superiores al 65%, mientras que para espacios donde se combinan la música y la palabra, se recomiendan valores entre 50% a 65%. Los tres estados presentan valores entre 15% a 25%, esto hace que el espacio se sienta poco íntimo, lo que está ligado a espacios con exceso de tiempo de reverberación o demasiado vivos.
- Finalmente, para el tiempo central ( $T_s$ ) se sugieren valores entre 60 ms y los 260 ms. Entre mayor sea el valor de  $T_s$ , se percibirá menor nitidez del sonido, afectando en primer lugar la claridad del habla y en segundo lugar a la claridad musical. Los valores son superiores en el estado actual, por lo que el estado original y el estado de las intervenciones pueden considerarse nítidos para la música más no para la palabra.

Si se hace la comparación con referencia a los JND entre el estado actual y el estado con la mayor parte de las intervenciones arquitectónicas (siglos XVIII y XIX), se observa que en la mayoría de los parámetros (a excepción de  $C_{50}$  y  $C_{80}$ ) se supera por mucho 1 JND (casi hasta

18 JND), lo que supone que la percepción subjetiva de dichos parámetros es verdaderamente notable (Fig. 6).

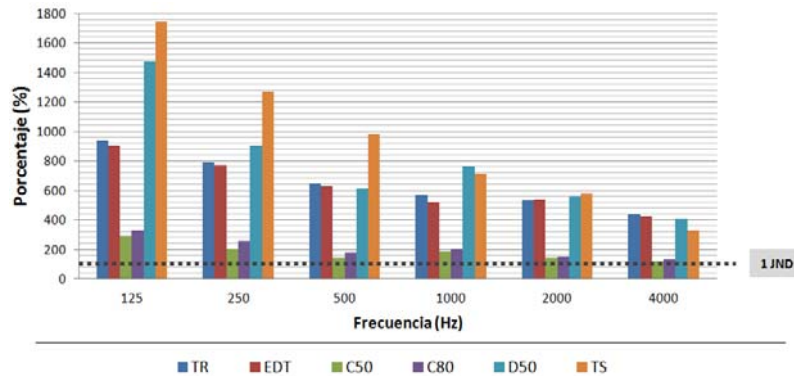


Figura 6. Porcentaje de JND de los distintos parámetros simulados del recinto entre su estado actual y tras las intervenciones arquitectónicas entre los siglos XVIII y XIX.

Por otra parte, en referencia a los JND, entre el estado de las intervenciones arquitectónicas (siglos XVIII y XIX) y su estado original, la mayor parte de los parámetros (a excepción de  $C_{50}$  y  $C_{80}$ ) superan 1 JND (hasta 5 JND), lo cual no es tan notable como en el caso anterior (Fig. 7).

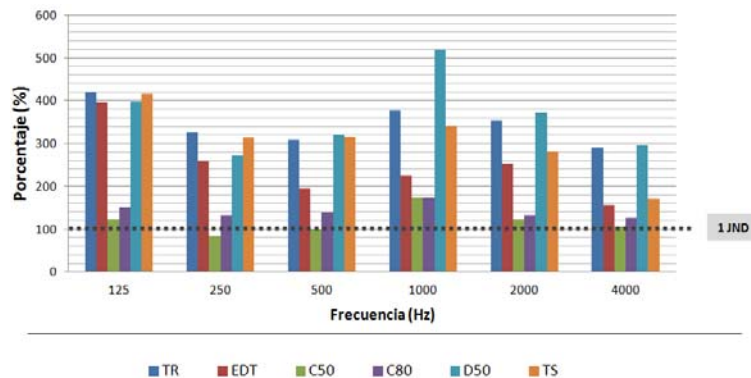


Figura 7. Porcentaje de JND de los distintos parámetros simulados del recinto entre su estado tras las intervenciones arquitectónicas entre los siglos XVIII y XIX; y su estado original.

## CONCLUSIONES

El análisis realizado anteriormente hace evidente la viveza del espacio, sin embargo, se observa que como mejor se comportaba el espacio para una situación musical, fue en el segundo periodo cuando se realizaron las primeras intervenciones (siglos XVIII y XIX), sin embargo no se conoce si este espacio era utilizado musicalmente. Lo anterior puede deberse a que los elementos añadidos, dotaron al espacio de mayor difusión del sonido.

La situación decayó, tanto para la palabra como para la música, con la modificación del techo original (mudéjar a concreto), ocasionando un cambio significativo en la mayor parte de los parámetros por ser un material altamente reflejante.

A partir de la reproducción de tres estados arquitectónicos representativos se hace evidente la importancia de preservar elementos arquitectónicos valiosos, como el techo estilo mudéjar, o uno similar, ya que el original no es posible recuperarlo, que permitan conservar el carácter sonoro del espacio.

Esta investigación es parte de un proyecto que contempla la generación de un catálogo de iglesias en la Delegación Azcapotzalco en la ciudad de México, consideradas patrimonio por su valor arquitectónico e histórico.

## REFERENCIAS

- [1] Artes de México. Revista-Libro Bimestral. Número 101 (Azcapotzalco). 8-19, Diciembre (2010).
- [2] Azcapotzalco en el tiempo. Compañía Editorial Impresora y Distribuidora S.A. México, 1974.
- [3] Manrique, Jorge, A. Los Dominicanos y Azcapotzalco. Cuadernos de la facultad de filosofía, letras y ciencias, Universidad Veracruzana. México, 1963.
- [4] Granillo, Lilia. "Presencia morisca en la Parroquia de Azcapotzalco: el artesanado mudéjar de los dominicos", en Azcapotzalco, una historia y sus conflictos. Volumen III, Números 6/7, revista cuatrimestral de Ciencias Sociales y Humanidades, UAM Azcapotzalco. 43-55 (1982).
- [5] Catálogo Nacional de Monumentos Históricos Muebles, Azcapotzalco. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México. (Actualización al 2015).
- [6] Catálogo Nacional de Monumentos Históricos Inmuebles, Azcapotzalco. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México, 1988.
- [7] UNE-EN ISO 3382-2: Acústica, Medición de parámetros acústicos en recintos, Parte 2: Tiempo de reverberación en recintos ordinarios. Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, 2008.
- [8] Martellotta, F. "The just noticeable difference of center time and clarity index in large reverberant spaces". Acoustical Society of America. 654-663 (2010).
- [9] M. Galindo, T. Zamarreño, S. Girón. "Acoustic simulation of Mudejar-Gothic churches". Acoustical Society of America. 1207-1218 (2009).
- [10] T. Zamarreño, M. Galindo, S. Girón. "Simulación acústica y virtualización en recintos de culto". International Seminar on Virtual Acoustics, Valencia, España. 38-61 (2011).
- [11] Arau, H. ABC de la Acústica Arquitectónica. Ediciones Ceac. Barcelona, España, 1999.
- [12] Long, M. Architectural Acoustics. Academic Press. EE. UU, 2006.
- [13] [https://arauacustica.com/files/publicaciones\\_relacionados/pdf\\_esp\\_100.pdf](https://arauacustica.com/files/publicaciones_relacionados/pdf_esp_100.pdf) (visitada 30/07/15)
- [14] Tesis doctoral "La Acústica en Espacios Religiosos Católicos: Iglesias Gótico Mudéjares", consultada en <http://fondosdigitales.us.es/tesis/tesis/2226/la-acustica-en-espacios-religiosos-catolicos-iglesias-gotico-mudejares/> (visitada 30/07/15).