

## INFLUENCIA EN LOS PARÁMETROS ACÚSTICOS DE LAS POSICIONES CONOCIDAS DEL CORO CATEDRALICIO DE LEÓN Y SUS REVESTIMIENTOS HISTÓRICOS

PACS: 43.55.Ka

Díaz-Chyla, Alexander; Pedrero, Antonio; Díaz-Sanchidrián, César.

Grupo de investigación en Acústica Arquitectónica

Universidad Politécnica de Madrid

ETS de Arquitectura

Avenida Juan de Herrera nº4

28040 Madrid, España.

E-mails: [diazchyla@gmail.com](mailto:diazchyla@gmail.com), [antonio.pedrero@upm.es](mailto:antonio.pedrero@upm.es), [cesar.diaz.sanchidrian@upm.es](mailto:cesar.diaz.sanchidrian@upm.es)

### ABSTRACT

Following the Council of Trent, in reply to the reforms proposed, a relocation of European cathedrals choirs' position was promoted from apse to the transept in order to make more accessible the cult. This work shows the acoustic and spatial impact generated in the change of sound sources positions in Leon's Cathedral, its implication in the liturgy and the creation of different acoustic areas. The cathedral is studied in three historical moments, its medieval configuration, the relocation of the choir in 1745 to the transept to approach the Tridentine principles and the proposal emerged during its restoration in 1880 to place it in the bottom of the apse, evaluating in each case coating variations.

### RESUMEN

A raíz del concilio de Trento, como respuesta a las reformas planteadas, se promovió el traslado de los coros de las catedrales europeas del crucero al centro de la nave principal para acercar y hacer más accesible el culto. Este trabajo muestra la repercusión acústica y espacial que tuvo el traslado del coro en la Catedral de León, su implicación en la liturgia y la reorganización de distintas áreas acústicas. Se estudia la catedral en tres momentos históricos, su disposición medieval, el traslado del coro en 1745 al centro de la nave y la propuesta surgida durante su restauración en 1880 de situarlo en el fondo del presbiterio, evaluando en cada caso las variaciones de revestimiento.

### 1. INTRODUCCIÓN

Las catedrales góticas son el resultado de una serie de actuaciones de los maestros constructores buscando la forma de sobrecoger y envolver a los fieles dentro de una escenografía cuidadosamente estudiada, siendo la acústica una nueva herramienta de investigación. No debemos entender la acústica de este tipo de recintos como una resultante

de una serie de intervenciones históricas, sino como un condicionante que influía en el diseño de los espacios y sus posibles configuraciones.

El objetivo de este trabajo es analizar el comportamiento acústico de la Catedral de León entre las distintas posiciones conocidas del coro catedralicio y los distintos revestimientos históricos conocidos, distinguiendo entre su disposición medieval, su traslado en 1745 al centro de la nave para aproximarse a los principios tridentinos y la propuesta surgida durante su restauración en 1880 de situarlo en el fondo del presbiterio.

El traslado de las distintas posiciones de fuentes sonoras implica un gran impacto acústico, teniendo incidencia en la utilización del espacio de la catedral, creando nuevas áreas acústicas. Cada emplazamiento conocido del coro dentro de la Catedral supone una nueva configuración de los espacios acústicos, modificando los parámetros de la arquitectura aural llegando incluso a poder variar ciertos aspectos litúrgicos.

## 2. CORO CATEDRALICIO

Con la denominación *coro* se designa, tanto al espacio donde un grupo de religiosos se reunía para orar en común, como a las personas que conforman dicho grupo. La importancia que el coro fue adquiriendo con el tiempo determinó que fuese uno de los espacios más relevantes de todo el recinto religioso, creando grandes debates sobre su situación y su cada vez mayor relevancia en el conjunto arquitectónico. Su ubicación fue cambiando a lo largo de la historia, conociéndose ejemplos bien documentados, como en el caso de la Catedral de León.

Las primeras situaciones conocidas de los coros, derivan de la basílica romana, ubicándose en la capilla mayor entorno al altar. Esta configuración, incluía un asiento central para el magistrado, que posteriormente se convertiría en la cátedra del obispo, flanqueado por bancos corridos donde se sentaban los sacerdotes. A medida que la liturgia evolucionaba, la configuración de los altares fue adaptándose, aumentando el número de religiosos. Esto provocó que el coro se hiciese más grande, extendiéndose hacia el transepto, creando un nuevo espacio arquitectónico independiente del altar.

Los asientos que inicialmente habían sido de madera, y posteriormente de fábrica de piedra, se independizaron del altar y en época carolingia aparecen ya enfrentadas en dos filas en torno a las paredes de la capilla mayor. Durante el románico esta configuración se mantuvo, siendo ya un espacio rectangular acotado formado por dos niveles de asientos corridos enfrentados. Debido a la interacción con los asistentes y su disposición central, el espacio se acotó mediante cancelas u otros tipos de acotamientos para garantizar su independencia y no ser ocupado por los fieles.

A raíz del Concilio de Trento (1545-1563) y de las reformas planteadas, se produjo el gran movimiento de los coros, configuración que se presenta en muchas catedrales actuales. Se propuso a modo general, desplazar el coro a la nave central ya que la posición del coro dificultaba al pueblo el seguimiento de los oficios. Esta reubicación, quebraba la concepción espacial original de la catedral, teniendo en cuenta además la creación de la vía sacra, espacio reservado para el paso directo, que inutilizó gran parte del espacio de la catedral al convertirlo en lugar de tránsito.

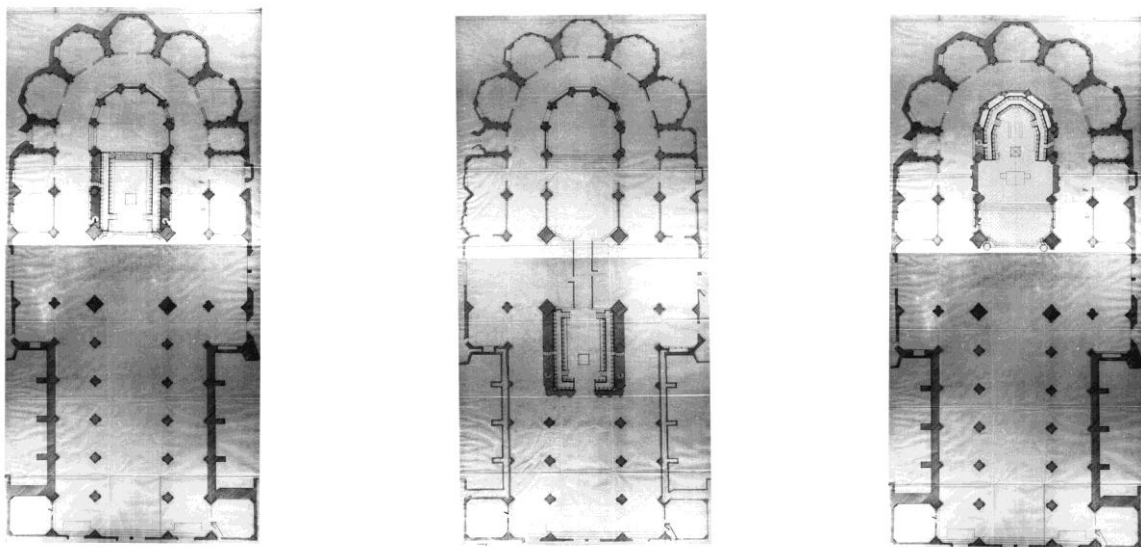
### 2.1 El Coro Leonés

Las sillerías corales europeas, suelen presentar por lo general unas características parecidas en su estructura y organización, forma rectangular acotada adaptándose a los lugares que se les destina en la catedral. El coro catedralicio leonés utilizó originalmente la ubicación del presbiterio, aunque se intuye su ubicación anterior en el Altar Mayor. Su construcción, sin una fecha exacta, data de 1464 y causó enseguida problemas al cabildo por motivos visuales. El

motivo de tener distintos niveles de sillería se debe al gran número de miembros del clero y a que sus propios miembros no eran de la misma categoría social, siendo importante que la diferencia jerárquica quedase de manifiesto. La primera referencia conocida describe al coro Leonés como un espacio de dos filas enfrentadas pero debido al aumento de canónigos, se creó posteriormente una tercera fila que conectaba las anteriores. Este nuevo brazo del coro, era reservado habitualmente a las autoridades locales y personalidades principales, dejando un espacio abierto como acceso y comunicación entre la nave y el transepto, permitiendo la entrada a personas ajenas durante el oficio. Este problema se resolvió cerrando el coro con cancelas, lo que provocó un aislamiento entre las distintas áreas y la consecuente ocultación visual del Altar Mayor a la mayor parte de los fieles.

El Concilio de Trento estableció como una de sus principales necesidades el potenciar la participación de los fieles en los actos, lo que provocó los diversos intentos de traslado del coro despejando la capilla mayor. Cuando se completó el traslado, empezaron las preocupaciones sobre la adecuación de la nueva ubicación a la celebración de la liturgia tradicional, así como la transformación espacial de la Catedral que suponía colocar el coro en la nave central.

A mediados del Siglo XIX, surgió un intento fallido por devolver el coro al presbiterio. Este intento de traslado coincidió con la restauración integral que sufrió la Catedral. Este proceso de restauración pasó por varias etapas y por varios encargados, pero la propuesta más firme para trasladar el coro a su lugar de origen fue la de Demetrio de los Ríos. Según él, se intentaba “devolver a la Catedral de León el estado de pureza con que fue ideado por sus constructores del siglo XIII”, pero las razones económicas y de conservación se impusieron al cambio de emplazamiento del coro.



Figuras 1- 2-3. Planos originales de la catedral de León y sus configuraciones según D. De los Rios (1891)

### 3. METODOLOGÍA

Se ha elaborado un modelo acústico simplificado de la Catedral de León a partir de la documentación gráfica para cada ubicación conocida del coro. El estudio elaborado muestra el volumen principal de la Catedral, descartando espacios anexos si no estaban espacialmente conectados. El modelo de simulación, construido mediante Autocad 2012 y SketchUp 7, y analizado con ODEON 11, adopta una geometría simplificada respecto al modelo real sin modificar las características principales con el objetivo de agilizar las operaciones de cálculo a

realizar. El modelo tiene un volumen aproximado de 96.000 m<sup>3</sup> y está definido por 7400 superficies.

Los materiales asignados a cada paramento y mobiliario, se corresponden a los materiales empleados en la catedral y en los casos con distintas fuentes documentales, se optó por emplear las propiedades acústicas de algunos materiales ya estudiados en otras catedrales españolas

Material	Coeficiente de absorción por bandas de octava (Hz)						Dispersión
	125	250	500	1000	2000	4000	
Bóvedas lisas	0,05	0,05	0,07	0,09	0,10	0,12	0,15
Bóvedas detalle	0,05	0,05	0,07	0,09	0,10	0,12	0,20
Bóvedas relieve	0,07	0,11	0,14	0,15	0,14	0,13	0,50
Galerías triforio	0,06	0,06	0,06	0,07	0,09	0,14	0,20
Muros lisos	0,06	0,06	0,06	0,07	0,09	0,14	0,20
Muros detalle	0,09	0,09	0,08	0,09	0,12	0,15	0,30
Muros relieve	0,03	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06	0,60
Órganos	0,53	0,50	0,57	0,62	0,60	0,60	0,50
Pilares adosados	0,09	0,09	0,08	0,09	0,12	0,15	0,60
Pilares exentos	0,09	0,09	0,08	0,09	0,12	0,15	0,45
Pilares acabado pulido	0,06	0,08	0,08	0,09	0,09	0,07	0,45
Retablos decorados	0,48	0,45	0,51	0,54	0,40	0,36	0,50
Solado naves y capillas	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,10
Vidrieras grandes	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	0,20
Vidrieras pequeñas	0,13	0,12	0,08	0,07	0,06	0,04	0,40
<b>Hipótesis anterior al S.XIX</b>							
Bóvedas lisas	0,08	0,13	0,17	0,25	0,28	0,20	0,15
Muros lisos	0,11	0,18	0,20	0,21	0,22	0,20	0,20
Pilares exentos	0,14	0,24	0,23	0,28	0,26	0,20	0,45

Tabla1- Coeficientes de absorción acústica de los materiales empleados en el modelo

### 3.1 Configuraciones analizadas

Se establecieron tres configuraciones principales de estudio de la catedral, con la variable del material de revestimiento, situándose la fuente sonora en el centro del coro:

- C1:** Estado actual; se estudia el comportamiento acústico de la catedral en su configuración actual, teniendo el coro catedralicio en la nave principal.
- C2:** Estado original; estudiando la posición conocida y documentada de la posición del coro catedralicio en el transepto de la catedral.
- C3:** Modelo de una restauración hipotética; estudiando la propuesta de Demetrio de los Rios de colocar el coro en el ábside de la catedral.
- C4:** Estado actual con revestimiento histórico
- C5:** Estado original con revestimiento histórico
- C6:** Modelo de una restauración hipotética con revestimiento histórico.

#### 4. RESULTADO Y DISCUSIÓN

Se han estudiado los parámetros: EDT, C80 y STI para caracterizar el comportamiento acústico de la catedral de León en las seis configuraciones analizadas. Estos parámetros se consideran los más adecuados para un estudio general respecto a la palabra y la música. Los resultados mostrados se realizaron con una simulación del recinto vacío, presentando el promedio de los índices acústicos obtenidos en 34 puntos de medida distribuidos por la catedral, siendo la fuente sonora el propio coro catedralicio

El EDT (Early Decay Time) es el parámetro que mejor correlaciona con la impresión subjetiva de reverberancia. En la situación actual, configuración1, se observan unos valores altos y uniformes en todo el recinto mientras que en las configuraciones C2 y C3 (original y propuesta de nuevo emplazamiento), se observa una zonificación muy clara en dos áreas: una zona de bajos niveles de reverberación, centrada donde se produce la liturgia y otra zona con valores de reverberación notablemente más altos en la nave principal.

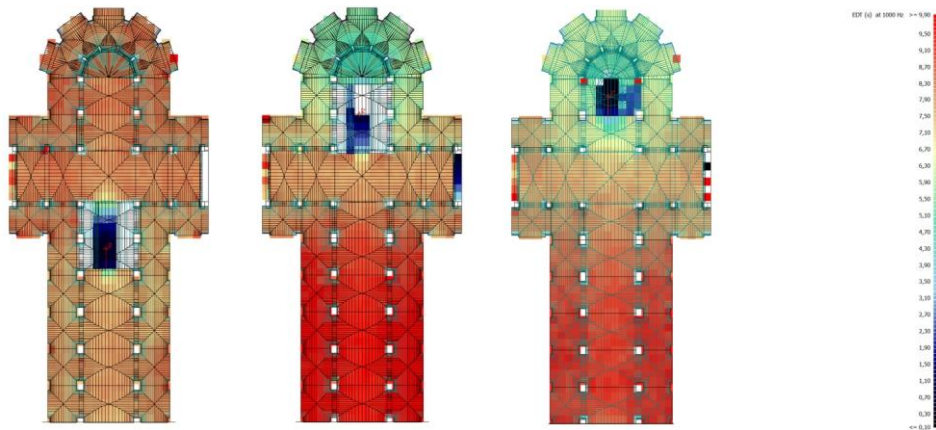


Figura 4- EDT 1KHz  
Configuración 1

Figura 5- EDT 1KHz  
Configuración 2

Figura 6- EDT 1KHz  
Configuración 3

En las configuraciones C4, C5 y C6, con el revestimiento histórico, estas zonificaciones también se ponen de manifiesto, pero con valores más adecuados.

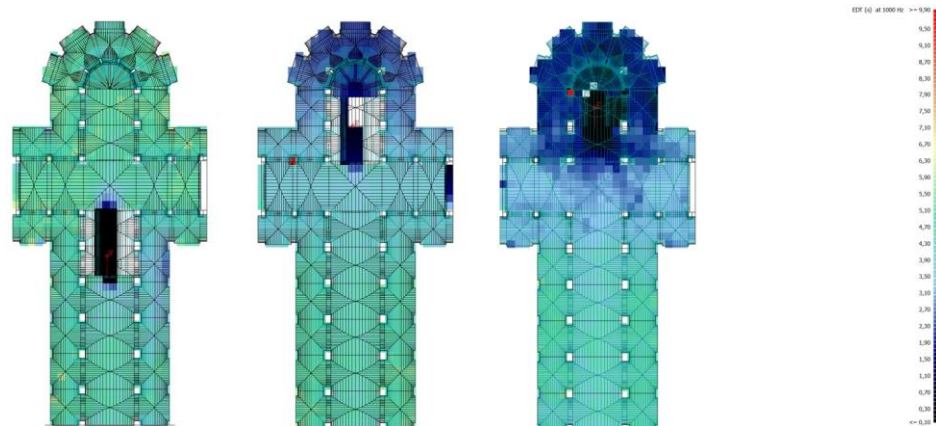


Figura 7- EDT 1KHz  
Configuración 4

Figura 8- EDT 1KHz  
Configuración 5

Figura 9- EDT 1KHz  
Configuración 6

Los valores de C80 están relacionados con la claridad de la escucha de la música, siendo sus valores óptimos entre -4dB y +4dB. Las zonas donde se concentran estos valores óptimos, coinciden con el entorno próximo del coro pero se identifican dos situaciones distintas. En las

configuraciones C2 y C3, la zona de escucha adecuada corresponde a la zona litúrgica, creando una zona muy favorecida respecto a la totalidad de la catedral. En la configuración C1, la actual, la zona óptima de escucha se desconecta del altar, pudiendo interferir en la liturgia pero aumentando la superficie de audiencia de fieles con valores más adecuados.



Figura 10- C80 1KHz  
Configuración 1

Figura 11- C80 1KHz  
Configuración 2

Figura 12- C80 1KHz  
Configuración 3

Para las configuraciones C4, C5 y C6, estas diferencias se marcan más acentuadamente que en otros valores estudiados. Al cambiar el revestimiento, las condiciones acústicas en las posiciones original y actual se modifican considerablemente. Para la configuración C4, se consiguen homogeneizar unos valores aceptables en casi toda la planta de la catedral, mientras que en la configuración C5, la actual, la nave central presenta una mejoría manteniéndose las naves laterales valores de C80 inadecuados. En la propuesta de restauración, el cambio de revestimiento no supone una modificación apreciable en los valores de claridad.



Figura 13- C80 1KHz  
Configuración 4

Figura 14- C80 1KHz  
Configuración 5

Figura 15- C80 1KHz  
Configuración 6

Para estudiar la inteligibilidad de la voz, se utiliza el parámetro STI (Speech Transmission Index). Al igual que en el estudio de la claridad, se distinguen dos situaciones muy diferenciadas. Separando el coro del altar, se crea un espacio en el crucero con unos valores de inteligibilidad óptimos tanto para las fuentes sonoras ubicadas en el coro como las situadas en el altar, estado más en conformidad con las posturas adoptadas tras el Concilio de Trento.

En las configuraciones C2 y C3 en la que coro y altar están unidos, se establece una zona acústica muy adecuada, identificando dos áreas acústicamente muy diferenciadas, pero dejando gran parte de la catedral con valores por debajo de lo considerado como óptimos. Modificando los revestimientos, en la configuración con el coro en la nave central, se aprecia un aumento de superficie de inteligibilidad adecuada cerca del crucero, mientras que con la configuración del coro en el altar, se produce en las capillas de la cabecera.

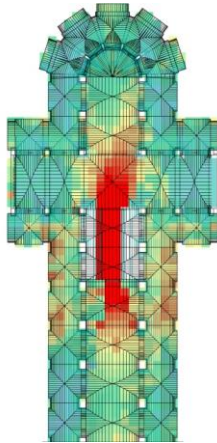


Figura 16- STI  
Configuración 1

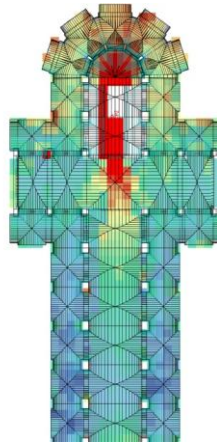


Figura 17- STI  
Configuración 1

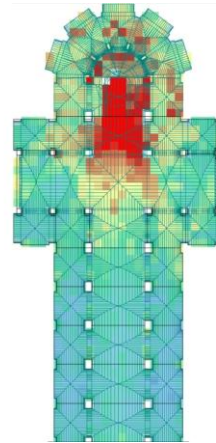


Figura 18- STI  
Configuración 3

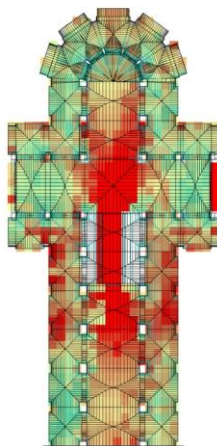


Figura 19- STI  
Configuración 4

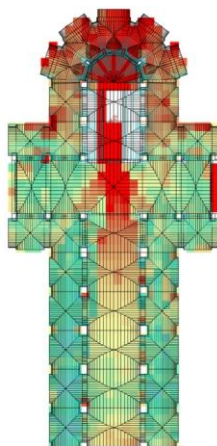


Figura 20- STI  
Configuración 5

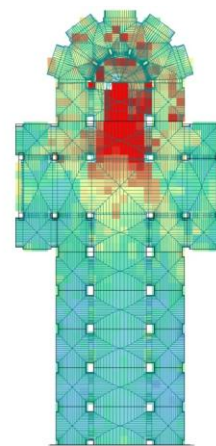


Figura 21- STI  
Configuración 6



Al analizar la inteligibilidad en función de la distancia a la fuente sonora, se aprecian diferencias entre las distintas configuraciones. En las configuraciones C2-C5 y C3-C6, salvo en los receptores muy próximos donde se obtiene una dispersión considerable en los valores de STI, la inteligibilidad decrece de una manera uniforme con la distancia. En la configuración C1-C4, existe mucha disparidad en los valores de STI, debido principalmente a las características arquitectónicas tanto de la catedral y el coro como a la barrera geométrica que supone la ubicación del coro en el centro de la nave, creando un decrecimiento poco uniforme del STI en función de la distancia de los puntos elegidos con respecto al coro.

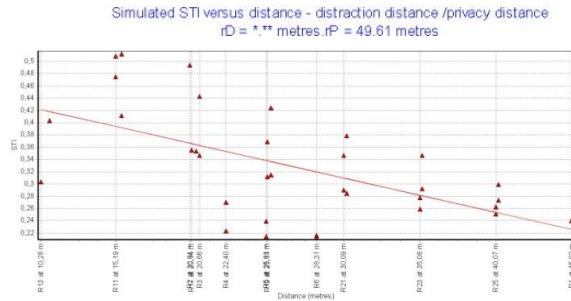


Figura 22- Valores STI en función de la distancia C1

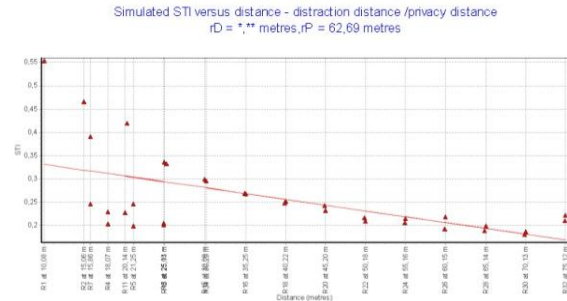


Figura 23- Valores STI en función de la distancia C2

## 5. CONCLUSIONES

Este trabajo muestra la repercusión acústica y espacial que tuvo el traslado del coro en la Catedral de León, su implicación en la liturgia y la reorganización de distintas áreas acústicas. No se puede hablar de una configuración mejor que otras, sino de configuraciones que se adaptan mejor a unas necesidades concretas. El coro catedralicio en su posición original o trasladarlo al ábside como se propuso en su restauración del S. XIX, facilita y favorece la unidad de la liturgia desde el punto de vista de la comunicación de los oficiantes, siendo los valores de los parámetros acústicos más aceptables en los puntos situados en el altar y en el entorno del ábside, y dejando a la nave principal con unas cualidades acústicas menos favorables a la inteligibilidad de la palabra, creando dos espacios acústicos claramente diferenciados. Reubicar el coro al centro de la nave, amplió la superficie de audiencia con valores acústicos más adecuados para la inteligibilidad, aumentando significativamente la cantidad de fieles dentro de los márgenes aceptables. La actual ubicación del coro hace más uniforme el tiempo de reverberación de la Catedral, mejorando los espacios ciegos que existían anteriormente, pero empeorando las zonas que anteriormente se consideraban aceptables acústicamente. También se produce una situación que anteriormente no se reproducía, y es la aparición del crucero como espacio acústicamente adecuado, sobre todo si se entiende la liturgia como la simultaneidad de uso del coro y del altar, creando un espacio entre dos fuentes sonoras.

## REFERENCIAS

- [1] L.L. Beranek, "Concert hall acoustics," J. Acoust. Soc. Am. 92(1), 1-39 (1992).
- [2] M. Sánchez-Bordona; M, Teijeira Pablos; I, González-Varas Ibáñez. "El coro de la Catedral de León". Ed. Universidad de León. (2000).
- [3] Navascués P. "Teoría del coro en las catedrales españolas", Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, Madrid, España, (1998).
- [4] Ruiz, R., Díaz, A., Pedrero, A. y Díaz, C.: Revestimientos fijos y configurables en la acústica de las catedrales. TecniAcústica 2012, Évora, Portugal, Octubre (2012).
- [5] J, Yarla Luaces; M, Herráez Ortega; G, Boto Varela. La Catedral de León en la Edad media. Actas Congreso Internacional La Catedral de León en la Edad media, León, (2003).
- [6] R, Montell; A, Giménez; S, Cerdá; J, Segura; R, Cibrián; A, Barba. Influencia de la localización de la fuente sonora en los parámetros acústicos en la catedral metropolitana de Valencia, ISVA, Valencia Noviembre (2011).
- [7] M. Galindo, T. Zamarreño, S. Girón, "Acoustic simulations of Mudejar-Gothic churches," J. Acoust. Soc. Am. 126(3), 1207-1218 (2009).