



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

FIA2008-A106

Estudio acústico del Templo Votivo de Maipú

Andrés Alcaíno ^(a),
Luis Oyarzo ^(b),

(a) Departamento de Ingeniería, SPEVI Ltda. Malaquias Concha #086, Santiago, Chile. E-mail: andres.alcaino@spevi.cl.

(b) Departamento de Ingeniería, SPEVI Ltda. Malaquias Concha #086, Santiago, Chile. E-mail: lcoyar@spevi.cl.

Abstract

Study about the measurements, 3-D models, and the possible solutions to the acoustic problems due to the bad word intelligibility inside of Templo Votivo de Maipú. As a historical reference, and to contextualizing the importance of the enclosure under study, this Temple was declared Historical Heritage, and it's placed in the battlefield of The Battle of Maipú, between Patriots and Realists. In gratitude to the triumph of Chilean troops, Bernardo O'Higgins promised to consecrate as Our Patron to "Virgen del Carmen", and raised a Temple in her honour. Returning to our investigation, using a 3D model of the room, that it was calibrated by the measurements of the reverberation time made, we can analyze the actual acoustic situation, and propose a solution using a public address sound reinforcement system to obtain an homogeneous and intelligible sound field, guided by the use of acoustic descriptors like Direct Sound Pressure Level (Direct SPL) and the %ALCons criterion by 1/1 frequency octave bands. In addition to all information of acoustic characterization of a room obtained by the implementation of the measurement of the reverberation time by EN/ISO 3382.

Resumen

Estudio de mediciones, modelaciones tridimensionales, y posibles soluciones, para el problema de inteligibilidad de la palabra al interior del Templo Votivo de Maipú. Como reseña histórica y contextualizando la importancia del recinto, podemos decir que fue declarado Monumento Nacional, y está situado en el lugar donde se libró la batalla de Maipú entre patriotas y realistas. En agradecimiento al triunfo de las tropas chilenas, Bernardo O'Higgins prometió consagrar a la Virgen del Carmen como patrona de Chile y levantar un templo en su homenaje. Volviendo a nuestra investigación, a través de la construcción de un modelo tridimensional del templo, que fue calibrado con las mediciones de tiempo de reverberación realizadas, se analiza la situación acústica actual del recinto y se propone una solución a través de un sistema electroacústico de refuerzo sonoro para obtener un campo sonoro homogéneo e inteligible, guiándose por el uso de descriptores acústicos como el Nivel de Presión Sonora en Campo Directo (Direct SPL), el criterio del %ALCons por bandas de 1/1 octava de frecuencia. Además de toda la información de caracterización acústica de un recinto obtenida mediante la implementación de medición de tiempo de reverberación según norma EN/ISO 3382.

1 Introducción

En reiteradas oportunidades la comunidad eclesiástica a cargo del Templo Votivo de Maipú se ha visto en la necesidad de realizar modificaciones en el sistema de audio de utilización cotidiano, debido a que según sus propios usuarios y fieles “Nunca se ha entendido nada de lo que dice el párroco”. Realizando una primera inspección en terreno, ya en un afán más científico, nos encontramos con un gigantesco volumen interior de aire y materiales de construcción presentes altamente reflectivos (debido a su rigidez, y bajo coeficiente de absorción), lo que justificaría una altísimo tiempo de reverberación y, por ende, una desmejorada inteligibilidad de la palabra. Siendo este último parámetro acústico el más importante para un recinto donde el mensaje emitido representa ser el protagonista principal de la celebración citada. De ésta manera, y con un objetivo claro, comenzamos nuestro proceso de investigación realizando en primera instancia una medición de tiempo de reverberación según norma EN/ISO 3382 [1], seguido de la construcción de un modelo 3D del recinto para poder testear nuestras soluciones, y finalmente, la prueba, estudio y discusión de las diversas soluciones planteadas.

2 Mediciones en Terreno

El Templo Votivo de Maipú se encuentra en la calle Carmen, esquina 5 de Abril, en la comuna de Maipú, Santiago de Chile. Su volumen interior aproximado es $V \approx 65000 \text{ m}^3$, y la superficie interior efectiva es $S \approx 18000 \text{ m}^2$. La superficie utilizada por las bancas para asistentes corresponde a $S_a = 655 \text{ m}^2$.

2.1 Medición de Ruido de Fondo

Las mediciones de ruido de fondo se realizaron con un sonómetro integrador Tipo 1 de la marca 01dB, modelo Blue Solo, que cumple con las normativas internacionales requeridas. Tras un periodo de medición continuo de 15 [m] obtuvimos como resultado un $L_{eq} = 55,2 \text{ dB(A)}$, cuya contribución en promedio por banda de 1/3 de octava es el siguiente:

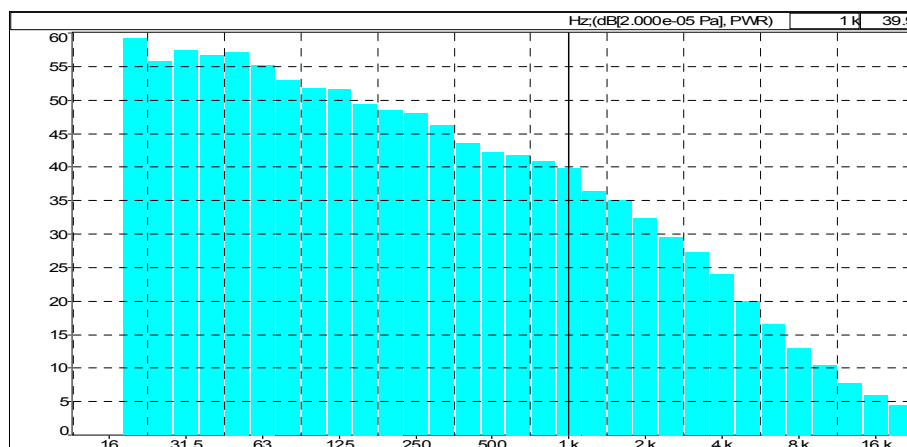


Figura 1. Ruido de Fondo expresado en dB(A) graficados por bandas de 1/3 de octava de frecuencia.

2.2 Medición de Tiempo de Reverberación

La obtención del tiempo de reverberación se realizó mediante la utilización de una fuente de ruido impulsivo en 2 posiciones, y 6 posiciones de micrófonos receptores en la extensión del templo para así poder realizar un análisis zonal, dicha distribución se muestra en la figura siguiente:

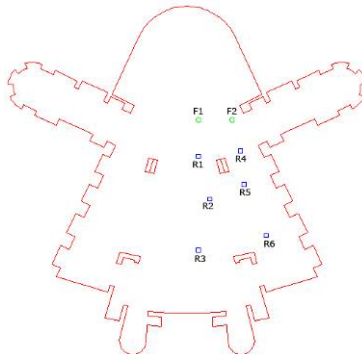


Figura 2. Planta del Templo Votivo de Maipú, con indicación de posicionamiento de Fuentes (en color verde), y micrófonos receptores (en color azul).

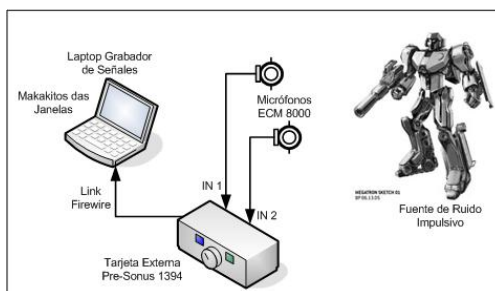


Figura 3. Diagrama en bloque del sistema implementado para el almacenamiento de las mediciones.

Los micrófonos fueron posicionados a 1,2 m de altura, y las mediciones fueron realizadas el día martes 8 de abril de 2008, a las 11:00 a.m., con 19°C, 60 % de humedad relativa y una presión atmosférica de 1016 hPa. Los archivos almacenados para cada una señales impulsivas generadas fueron procesados en el software especializado en obtención de respuesta impulsiva de una sala Makakitos Das Janelas [2].

Los resultados obtenidos en promedio para el tiempo de reverberación de la sala se dan en la figura 4.

Podemos desprender de los datos de la gráfica que el RT_{mid} es:

$$RT_{mid} = \frac{RT(500[Hz]) + RT(1000[Hz])}{2} = \frac{12.78 + 11.58}{2} = 12.18 \text{ s}, \tag{1}$$

Que es un valor muy alejado de los recomendados para un recinto del tipo Iglesia/Catedral según Eargle y Carrión [3], [4].

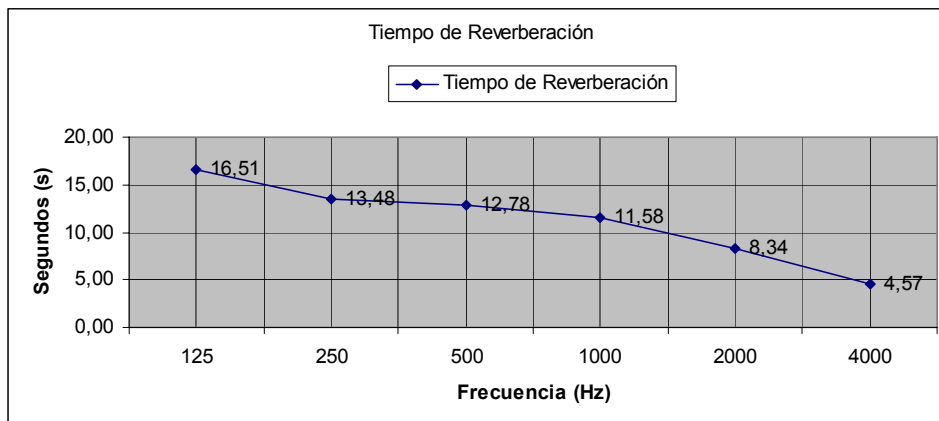


Figura 4. Tiempo de reverberación promedio por banda de frecuencia, obtenido al interior del Templo Votivo de Maipú.

3 Modelo 3D

El modelo fue generado en AutoCAD gracias a la información almacenada por el personal del Templo, además de la ayuda de instrumentos digitales para la determinación de distancias y alturas que no aparecían acotadas en las plantas disponibles. Algunas elevaciones generadas en Google SketchUp son las siguientes:

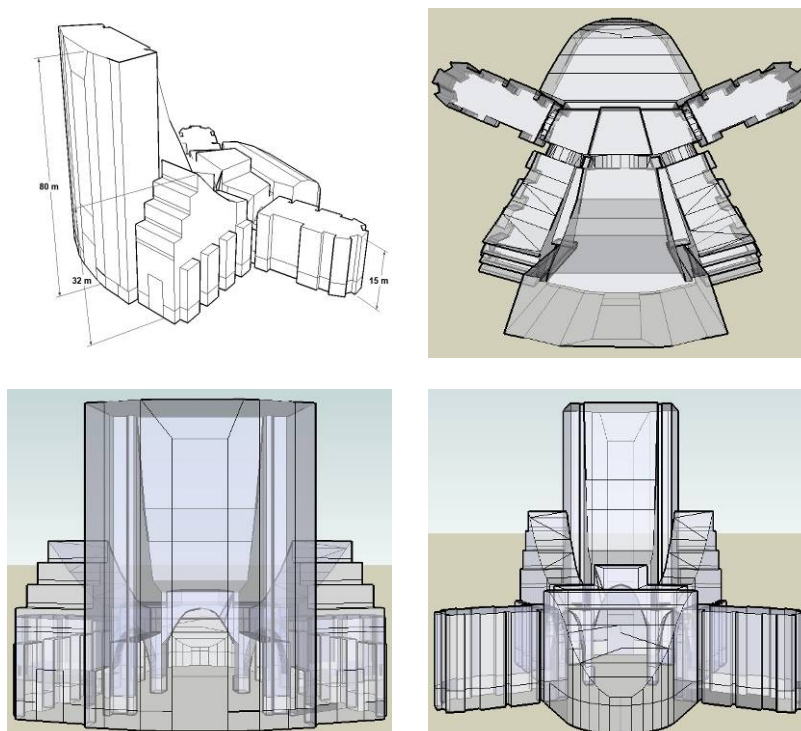


Figura 5. Imágenes del Modelo 3D generado, obtenidas desde Google SketchUp.

4 Distribuciones de Altavoces

4.1 Cluster de Altavoces (CA)

Una de los sistemas de audio propuestos por un tercero para mejorar la inteligibilidad, consiste en una distribución de 10 clusters compuesto de 8 altavoces cada uno, altavoces del tipo Line Array de la marca Penton modelo MCS80T, a lo largo de toda la planta del templo a 4 metros de altura.

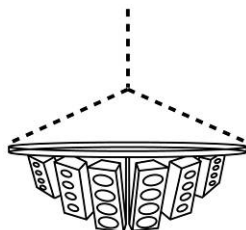


Figura 6. Imagen del cluster propuesto, sujeto a un soporte circular de madera para generar una mejor sonodeflección, y colgado al cielo de la sala a través de tensor metálico.

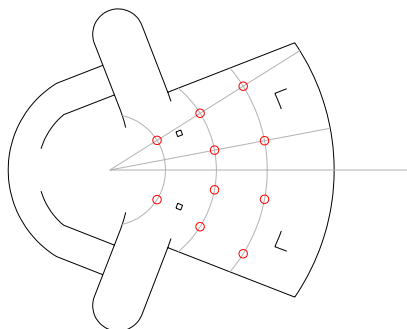


Figura 7. Distribución de los 10 cluster al interior de la sala.

4.2 Sistema Distribuido (SD)

La siguiente propuesta (figurav 8) es un sistema distribuido a lo largo de la sala principal, con unos parlantes similares (Penton MCS40T) pero de menor potencia y a la mitad de la distancia anterior (2 m). Se propone un soporte del tipo pedestal, para cada par, de altavoces.



Figura 8. Imagen del soporte tipo pedestal para cada una de las posiciones del sistema distribuido.

5 Resultados

A continuación mostraremos los resultados para los dos sistemas de altavoces planteados como solución, analizaremos los descriptores de Nivel de Presión Sonora en Campo Directo (Direct SPL), y por supuesto el %ALCons para la evaluación de la inteligibilidad al interior de las áreas de interés. El modelo acústico se realizó en el software

de *Enhanced Acoustic Simulator for Engineers (EASE) v4.1* [5], que nos permite ingresar nuestro volumen respectivo, generado en AutoCAD, y dar propiedades de absorción a cada una de las caras presentes en él, realizar una calibración para calzar con los tiempos de reverberación reales y el ruido de fondo presente por banda de frecuencia, y por supuesto ubicar en la posición exacta cada uno de los altavoces presentes en las soluciones propuestas, obteniendo así graficas certeras de los diferentes escenarios generados

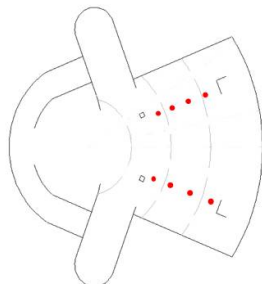


Figura 9. Distribución de los 8 pares de altavoces en la planta del templo.

5.1 Cluster de Altavoces (CA)

Para la primera propuesta cada cluster esta compuesto por 8 altavoces, y los resultados gráficos son los siguientes:

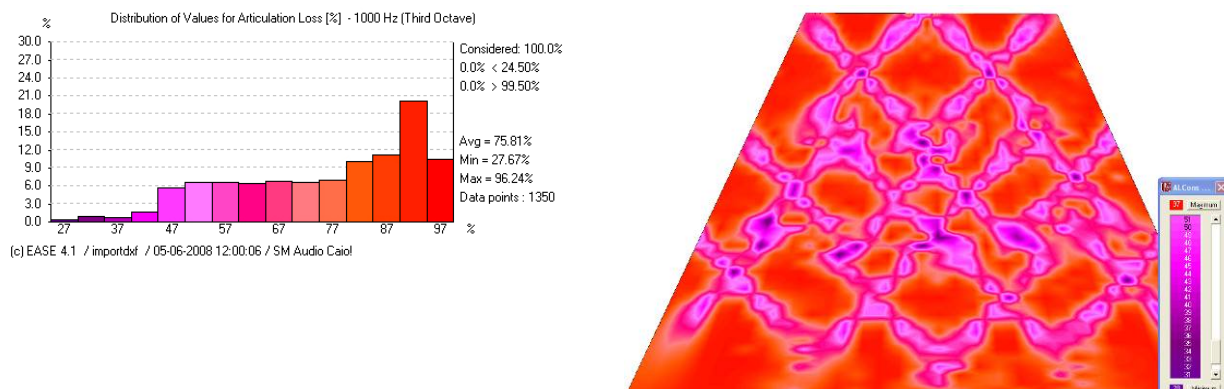


Figura 10. %ALCons en solución CA para la frecuencia de 1000 Hz.

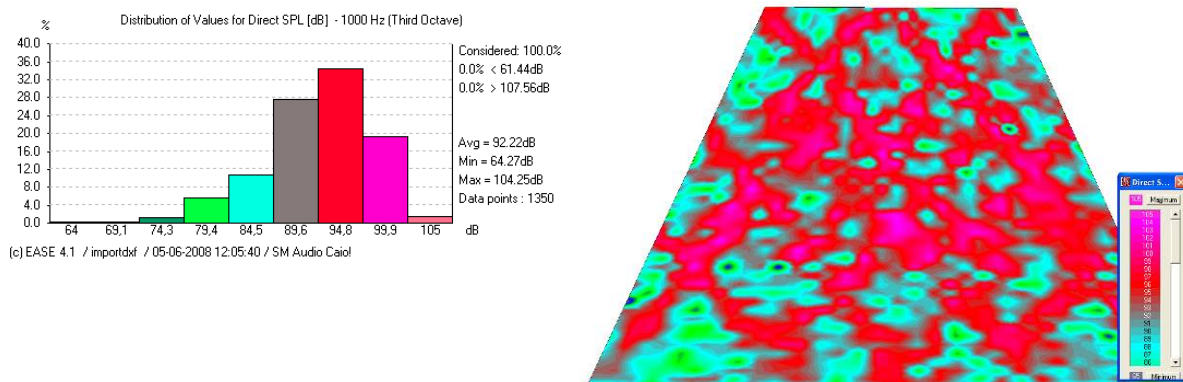


Figura 11. Nivel de Presión Sonora Directo en solución CA para la frecuencia de 1000 Hz.

5.2 Sistema Distribuido (SD)

La segunda propuesta se compone de la distribución anteriormente mencionada, y los resultados son:

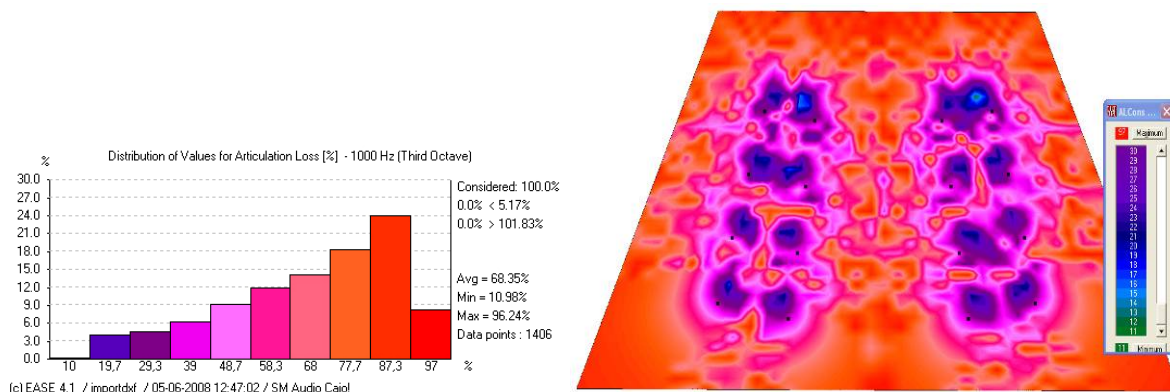


Figura 12. %ALCons en solución SD para la frecuencia de 1000 Hz.

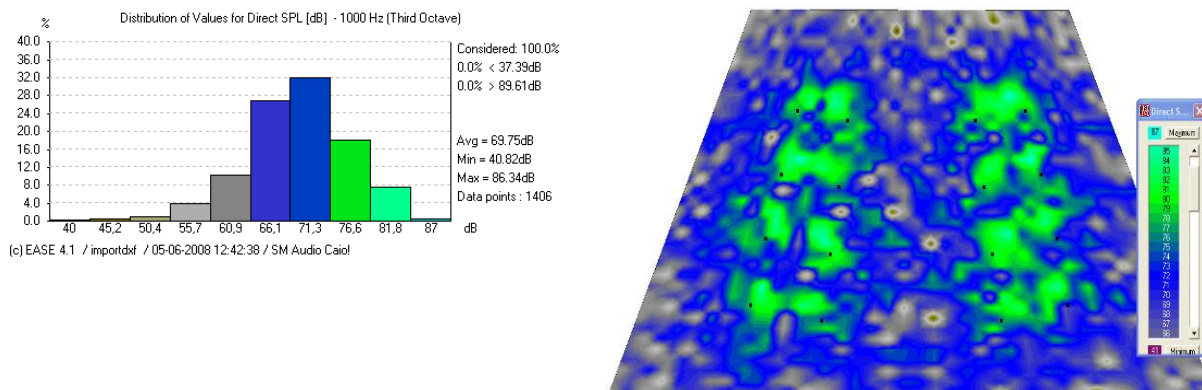


Figura 13. Nivel de Presión Sonora Directo en solución SD para la frecuencia de 1000 Hz.

Como podemos apreciar a simple vista, en ambos casos el %ALCons se aleja mucho de los recomendados por Davis en [6], sin embargo en la solución SD se aprecia una alta mejoría en las zonas cercanas a los altavoces, ya que están una distancia mucho menor que la propuesta en CA. En cuanto al NPS de funcionamiento se observa una gran diferencia entre los niveles debido a la cantidad de altavoces participantes en cada configuración.

6 Acondicionamiento Acústico

Para conseguir nuestro objetivo se propone un tratamiento acústico no invasivo en la arquitectura del Templo, tratando con un material absorbente sólo los cielos del templo, que por lo demás se encuentran a gran altura, además la totalidad del cuarto de circunferencia que compone el altar principal, representando un 15 % del total de las superficies. Las siguientes gráficas muestran los materiales que componen la arquitectura interior, separados en porcentaje, y la modificación porcentual de la solución a utilizar:

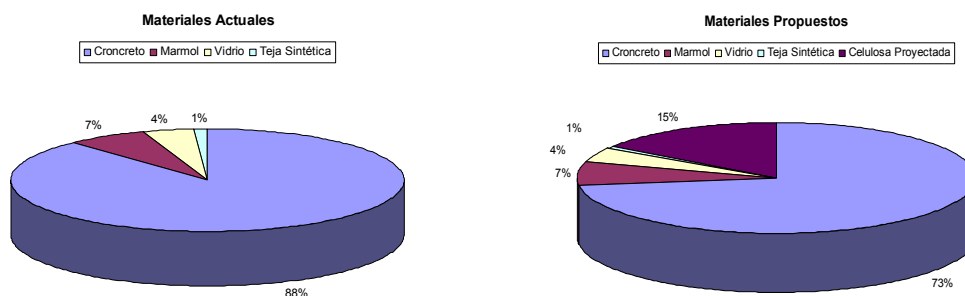


Figura 14. Gráficos de porcentajes de materialidad presente actualmente, y los propuestos.

El material propuesto es celulosa proyectada de 1'' de espesor (24 mm), que cubriría dicho 15 % de la superficie, que comprende unos 2700 m². La variación de los tiempos de reverberación es la siguiente:

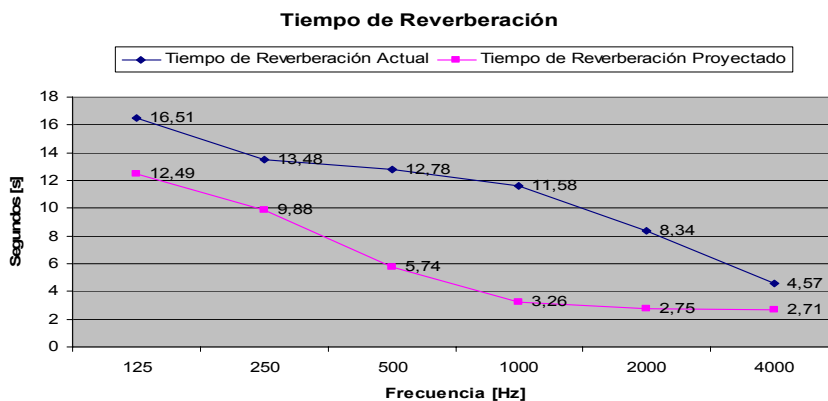


Figura 15. Diferencia en tiempos de reverberación actual versus el proyectado.

El nuevo RT_{mid} es el siguiente:

$$RT_{mid} = \frac{RT(500[Hz]) + RT(1000[Hz])}{2} = \frac{5.74 + 3.26}{2} = 4.5 \text{ s}, \tag{2}$$

consiguiendo una reducción considerable, y óptima para mejorar la condición acústica del Templo Votivo de Maipú

7 Resultados Post-Acondicionamiento Acústico

Se realizaron los cambios necesarios en nuestro modelo generado en EASE, ingresando nuestro material de prueba con sus respectivos coeficientes de absorción en las superficies seleccionadas, obteniendo así las graficas para nuestros descriptores en la frecuencia de prueba de 1000 Hz:

7.1 Cluster de Altavoces (CA)

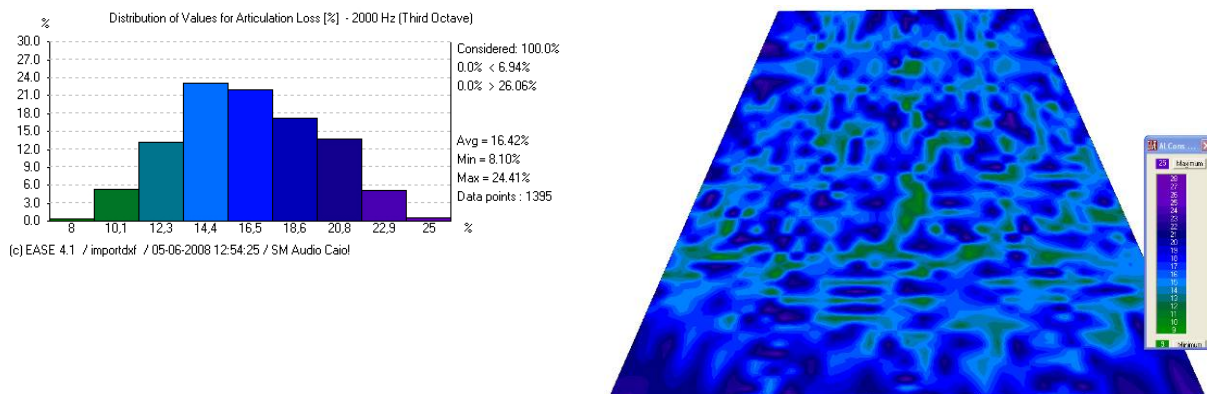


Figura 16. %ALCons en solución CA para la frecuencia de 1000 Hz con acondicionamiento.

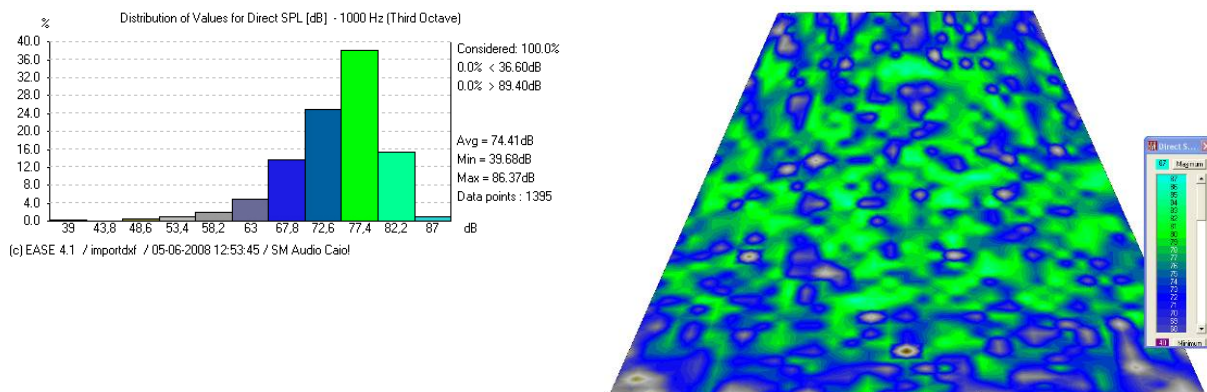


Figura 17. Nivel de Presión Sonora Directo en solución CA para la frecuencia de 1000 Hz con acondicionamiento.

7.2 Sistema Distribuido (SD)

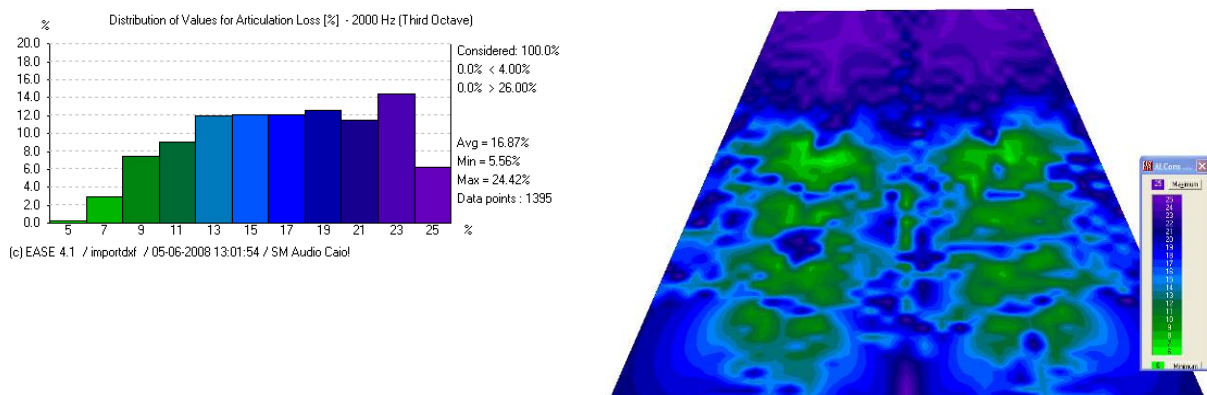


Figura 18. %ALCons en solución SD para la frecuencia de 1000 Hz con acondicionamiento.

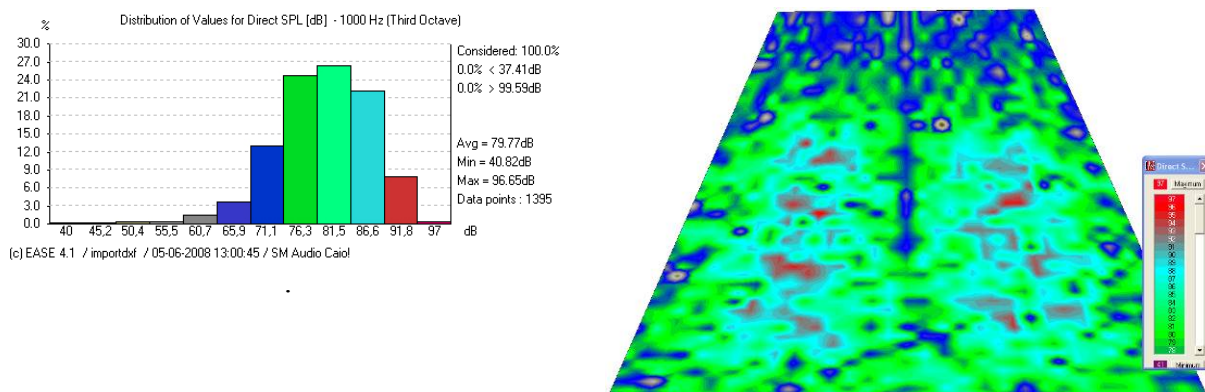


Figura 14. Nivel de Presión Sonora Directo en solución SD para la frecuencia de 1000 Hz con acondicionamiento.

8 Conclusiones

- El nuevo modelo, modificando la superficie interior proyectando la solución absorbente en un 15% del recinto, se comporta de buena manera, reduciendo considerablemente los tiempos de reverberación y homogeniza el espacio sonoro al interior del recinto

- Se consigue una reducción del 30 por ciento en el %ALCons, con la nueva materialidad propuesta. Por otro lado el RT_{mid} disminuye 7.68 s.

- Consideramos necesario realizar una modificación acústica del recinto, independiente de la solución que se lleve a cabo. Debido a que las características acústicas actuales hacen prácticamente imposible conseguir una buena inteligibilidad de la palabra al interior basándose solamente en la utilización de un sistema de altavoces.

- En términos de viabilidad de montaje electroacústico la solución número 2 de un sistema distribuido es ampliamente superior, tanto en términos de alimentación de potencia, como en montaje y costo. Ya que la primera solución utiliza un total de 80 parlantes que deben ser alimentados por 80 Watts cada uno, obteniendo así un total de 6400 Watts, una exageración en términos de amplificación para un Templo; Y el otro sistema solo utiliza 16 parlantes a 40 Watts, obteniendo un total de 640 Watts valor sumamente común y alcanzable hasta con un único amplificador de potencia. En resumen la primera solución propuesta requiere 10 veces la cantidad de potencia que la segunda.

Referencias

- [1] ISO/DIS 3382:1997, Acoustics - "Measurements of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters".
- [2] Undurraga, J.; Uribarri, M, (2004) "Multi channel Impulse response measurement of acoustics system by using sweeps". INGEACUS 2004, Valdivia, Chile
- [3] Eargle, J. (1989). "Souns system Design". ELAR, Publishing Company.
- [4] Carrión, Antoni. (1998). "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos". Ediciones UPC.
- [5] Dornwaldt, Carl. (2004) "EASE Tutorial", Reinkus-Heinz.
- [6] Davis, Don; Davis, Carolyn. (1989) "Sound System Engineering". Howard W. Sams & Co.