

REHABILITACIÓN ACÚSTICA DEL TEATRO PROVINCIAL DE LA CIUDAD DE CATAMARCA - ARGENTINA

Arturo Maristany, Leandra Abadía, Carlos Herrán

Centro de Investigaciones Acústicas y Luminotécnicas - CIAL, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
arturo.maristany@gmail.com, lea.abadia@gmail.com, cial@fau.unc.edu.ar

Resumen

En esta ponencia se presenta y detalla la propuesta de rehabilitación acústica para el Teatro de Catamarca "Julio Sánchez Gardel", cuyo objetivo fue optimizar su comportamiento acústico dentro del plan de reacondicionamiento general. Se describe el diagnóstico de las condiciones previas a la propuesta de intervención lo que permitió establecer criterios para el desarrollo del proyecto y el detalle de los materiales, tratamientos y dispositivos acústicos propuestos para optimizar su desempeño.

El cine - teatro, de arquitectura racionalista, fue inaugurado en el año 1952 y dañado por un sismo en el año 2004. La sala original fue diseñada para conciertos de música de cámara y orquesta, teatro y proyecciones de cine. De planta rectangular, posee una superficie aproximada de 1100 m² y un volumen de 9600 m³. La capacidad del auditorio se distribuye entre la platea y el pulman albergando 1103 butacas. Posee un escenario de 170 m² con caja para maquinaria escénica y foso de orquesta.

Se presentan los datos técnicos del proyecto realizado, los condicionantes acústicos iniciales y el resultado final, basado en sistemas de absorción selectiva según frecuencias, sistemas de resonadores de BF y nubes acústicas destinadas a la distribución uniforme del sonido.

Palabras-claves: salas, rehabilitación acústica, reverberación

Abstract

This paper presents and details the acoustic rehabilitation proposal of "Julio Sanchez Gardel" Theatre in Catamarca; its objective was to optimize its acoustic behavior within the general overhaul plan. The diagnosis of the preconditions to the intervention proposal is described, which allowed to establish the criteria for the development of the project and the detail of materials, treatments and acoustic devices proposed to optimize its performance.

The movie-theater, with rationalist architecture, opened in 1952 and was damaged by an earthquake in 2004. The original auditorium was designed for chamber music concerts and orchestra, theater and film screening. Rectangular in shape, it has a surface area of approximately 1100 m² and a volume of 9600 m³. The seating capacity of the auditorium is distributed between the stalls (orchestra) and the balcony with a total capacity of 1103 seats. It has a 170-m² stage, with a stage house for staging equipment and an orchestra pit.

We present the technical data of the completed project, the initial acoustic conditions and the final result, based on selective absorption systems according to frequencies, BF resonator systems and acoustic clouds for the even distribution of sound.

Keywords: rooms, acoustic rehabilitation, reverberation

PACS no. 43.55.Gx, 43.55.Fw

1 Introducción

El cine Teatro de Catamarca esta ubicado en el casco céntrico de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca y esta considerado como uno de los edificios mas importantes de la ciudad. Fue inaugurado en el año 1952 y dañado por un sismo en el año 2004. De planta rectangular, posee una superficie de 1100 m² y un volumen de 9600 m³. (Figura 1) Su arquitectura corresponde al período racionalista respondiendo a la concepción del estilo. El Terremoto provocó grietas importantes en este edificio (Figura 2). Debido a esto y a la necesidad de optimizar el comportamiento acústico de la Sala, la Dirección de Arquitectura de la Provincia encaró los trabajos de remodelación general del teatro.

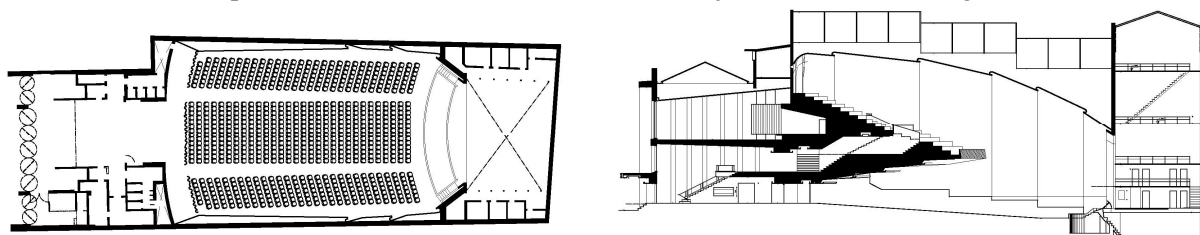


Figura 1 – Planta y corte situación original



Figura 2 – Imágenes estado original

La Sala posee platea, foso de orquesta, pullman y super pullman, así como salas de máquinas y 12 camarines. Su capacidad es de 1103 butacas repartidas en platea, pullman y super pullman, figura 3. El destino previsto es presentar conciertos de música de cámara y orquesta, recitales de todo tipo de género, obras de teatro y danza y eventuales proyecciones de cine.

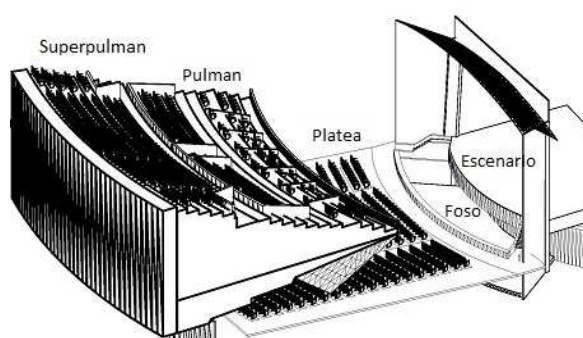


Figura 3 – Componentes de la sala

1.1 Diagnóstico de situación original

Se analizaron los aspectos técnicos en función al ruido de fondo, a la forma de las diferentes envolventes, así como también a las características de los materiales superficiales de las mismas elaborándose un diagnóstico a los fines de establecer requerimientos y objetivos. En relación al ruido de fondo, se adoptó la NC 20 como referencia. Se observó que el principal factor de ruido ambiente era el producido por el ruido de tránsito, debido al escaso aislamiento de las puertas de ingreso (ingreso a platea y a pullman). Debido al estado de deterioro de los revestimientos, de las estructuras dañadas por el sismo y a la falta de algunos componentes propios de la Sala, no fue posible medir las condiciones acústicas originales para fijar un punto de partida, efectuándose entonces una aproximación teórica del comportamiento de la misma, a partir de la cual se desarrolló el diagnóstico y la estrategia de intervención acústica. Se determinó que la geometría y el abundante uso de materiales reflectantes de las superficies internas impedían la adecuada difusión del sonido y facilitaban la generación de modos normales, además este uso excesivo de superficies lisas y duras podía dar lugar al fenómeno conocido como “coloración tonal”. En el caso de la palabra si bien la coloración no afecta la inteligibilidad, imprime a la voz una cierta tonalidad metálica. Los materiales existentes no actuaban como absorbedores en las frecuencias medias y altas, tampoco existían de absorbedores selectivos para bajas frecuencias (33, 63, 125 Hz). La forma original del cielorraso de la sala y del bajo pullman impedían el refuerzo gradual de la energía sonora hacia el fondo de la sala, generándose una distribución no homogénea. Se verificó que las dimensiones del escenario eran las adecuadas en relación al volumen de la sala y que su piso debía ser cambiado a los fines de alcanzar los requerimientos básicos necesarios para el desarrollo de las actividades ahora previstas. Se verificó la falta de definición en el diseño del proscenio para el aprovechamiento de las primeras reflexiones. El bajo pulman poseía una profundidad excesiva, generando una importante sombra acústica. Su relación proporcional estaba en el límite máximo aconsejado [1], una profundidad igual a la altura de la boca o la correspondiente al ángulo límite de visión de 45°.

2 Proyecto

2.1 Requerimientos y Objetivos

Del diagnóstico realizado se determinó la necesidad de intervenir en la geometría de las superficies laterales como así también en el cielorraso general de la sala y del bajo pulman, buscando incorporar y distribuir correctamente materiales que posean un adecuado comportamiento en la gama de frecuencias, en relación al uso y destino de la sala: o sea música y palabra. Repartir homogéneamente las reflexiones a los efectos de lograr una correcta distribución del sonido, principalmente en las áreas alejadas del pulman y en profundidad por debajo del mismo. Con esta propuesta se buscó disminuir el retardo inicial producido por la gran altura del cielorraso reflectante general original y lograr una respuesta tonal adecuada en relación al uso y destino. Se previó la verificación por medición y cálculo de algunos parámetros de Calidad de Salas.

Para la definición del TR óptimo se tomaron como referencia los valores medios aconsejados por Beranek en función del volumen de la sala. El destino y uso múltiple del teatro implicó fijar un TR de compromiso entre la situación ideal para palabra (aproximadamente 1 segundo) y los valores para concierto (1.2 segundos). De acuerdo a lo recomendado por Ahnert and Tennhardt [2] se efectuó un aumento progresivo del TR hacia las bajas frecuencias. En función de estos criterios se definió un rango aceptable de los TR según las frecuencias adoptándose los valores límites de TR que se muestran en la figura 4.

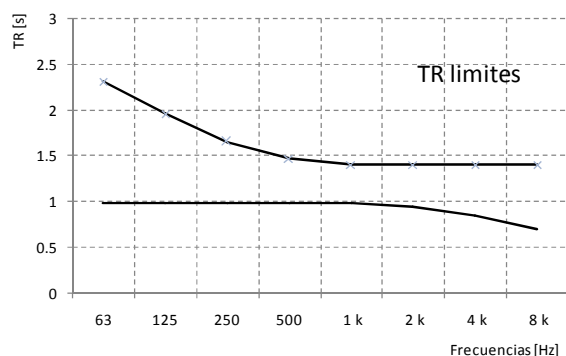


Figura 4 – Tiempos de reverberación límites

A los efectos caracterizar un espacio acústico es importante tener en cuenta no solo la geometría de la sala, su volumen en relación a la cantidad de espectadores, y el ruido de fondo sino también medir y encontrar los parámetros acústicos que se correlacionan con los aspectos subjetivos, tales como el Tiempo de Reverberación (T20, T30 y EDT), Claridad (C80), Definición (D50), siguiendo lo pautado por la ISO 3382 [4], como también aquellos que derivan del Tiempo de Reverberación tales como Brillo (IB) y Calidez (IC).

2.2 Nubes acústicas y difusión de sonido

La forma e inclinación de los planos que conforman el cielorraso son de fundamental importancia para favorecer la audición directa del sonido en todo el ámbito de la sala. En este caso en particular y en razón de las dimensiones de la sala se estudió la posición y tamaño de distintos planos flotantes, “nubes acústicas” de cielorraso, a los fines de favorecer el refuerzo del sonido a las zonas más alejadas del auditorio, un refuerzo progresivo y uniforme, disminuir el retardo inicial y dar alcance de la difusión al bajo pulman a los efectos de reducir la sombra acústica existente.

La propuesta de trabajar con este sistema de nubes permite liberar el cielorraso existente a cualquier tipo de intervención que pueda influir negativamente, tanto en la resolución constructiva, como en su definición formal. En los cortes de la figura 5 se muestra el posicionamiento de las nubes en la sala. En la zona próxima al escenario se diseñó un primer plano reflectante, cuya posición es de fundamental importancia para generar las primeras reflexiones hacia el público.

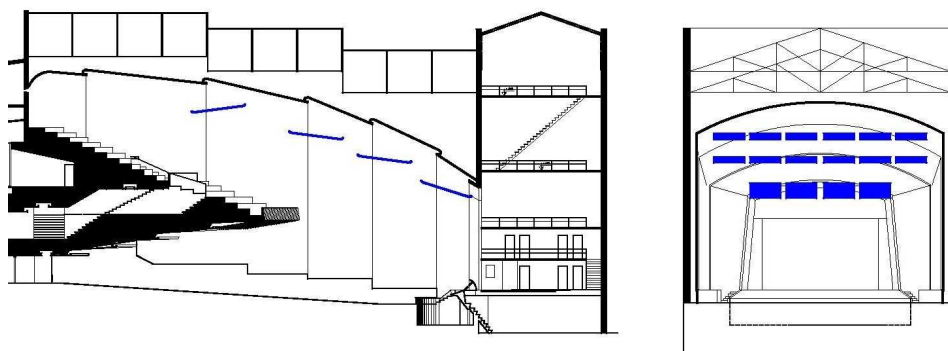


Figura 5 – Nubes acústicas

El resto de los planos que conforman la envolvente inferior de la cubierta de techo contribuyen al refuerzo del sonido de una manera gradual, generando la superposición de dicho refuerzo del sonido en las zonas más alejadas, logrando así una buena difusión acústica.

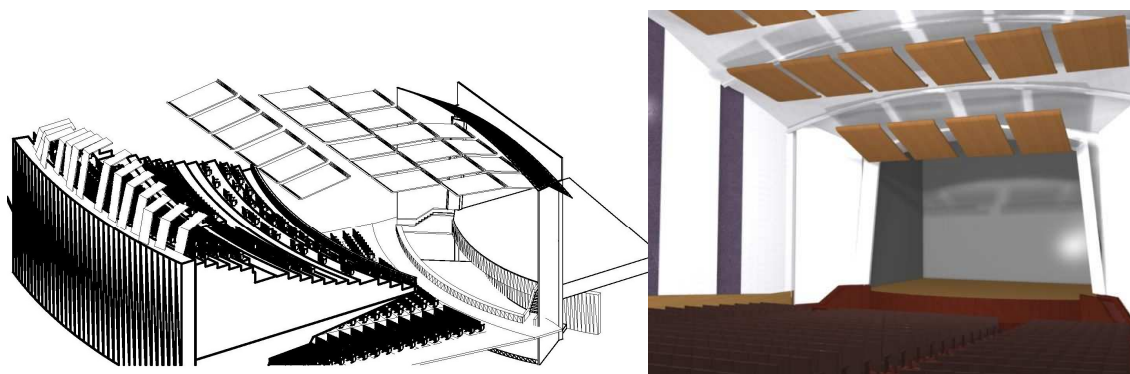


Figura 6 – Nubes acústicas y tratamiento fondo pulman

Cuando se utilizan nubes acústicas como superficies reflectoras del sonido es importante conocer cuál es la frecuencia mínima sobre la cual el elemento se comporta como reflector. La contribución al campo sonoro reflejado hacia un punto de la sala depende de la aportación de las zonas semiperiodicas de Fresnel de la onda reflejada a partir del punto de incidencia sobre la nube [3]. La frecuencia de corte inferior se calculó a partir de la longitud de la nube (L), el ángulo de incidencia (θ) y las distancias desde la fuente sonora al plano (a_1) y desde el plano al receptor (a_2), según la expresión (1)

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{(L \cdot \cos \theta)^2}{8} \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} \right) \quad (1)$$

Según este criterio las frecuencias a partir de las cuales las nubes propuestas se comportan, desde un punto de vista geométrico, como reflectores están comprendidas entre las frecuencias de 160 a 250 Hz. Frecuencias suficientemente bajas que permiten disponer de un refuerzo importante y reflexiones en las bandas de frecuencias medias y altas. Por debajo de la estructura del pullman se modifica el primer tramo de cielorraso a los efectos de favorecer la reflexión del sonido por debajo del mismo. En cuanto a los planos pertenecientes a la baranda que limita el pullman, es de fundamental importancia evitar la generación de reflexiones indeseadas hacia las primeras butacas y hacia el escenario. Se propone que los mismos sean inclinados y con una terminación superficial de tipo irregular, evitando de este modo reflexiones directas y generando así la difusión del sonido. A los efectos de aumentar la difusión acústica y quebrar la posibilidad de generar reflexiones tardías desde el fondo del pullman se propone la conformación de una envolvente de madera que genera una superficie irregular formada por planos escalonados, desfasados y quebrados, que actúa a la manera de un difusor del sonido.

2.3 Tratamiento Superficiales Interiores

La propuesta del Acondicionamiento Superficial Interior de la Sala, contempló la variedad de usos, por lo que el estudio de las Absorciones y Tiempos de Reverberación, se realizaron para las frecuencias de cálculo normalizadas: 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz. Ello garantiza la respuesta de la Sala para todo el tipo sonido: desde graves a agudos y los medios para la palabra. El Tiempo de Reverberación de una sala varía con el grado de ocupación de la misma. Se estudió el Acondicionamiento Superficial Interior para las frecuencias citadas anteriormente y para tres grados de ocupación: sala vacía, sala media y sala completa. El Tiempo de Reverberación óptimo para 500 Hz y ocupación media se estimó entre 0,98 y 1,5 s, (siendo los aconsejados para palabra y música respectivamente). En el gráfico de la Figura 4 se muestran los valores de los Tiempos de Reverberación aconsejados según frecuencias, configurando el rango admitido para la Curva Tonal objetivo.

2.3.1 Absorción en baja frecuencia

Para la absorción acústica en bajas y medias frecuencias se analizó la solución de paneles perforados separados de la mampostería para conformar cavidades de volúmenes determinados. Esta conformación es apta y flexible y permite obtener buenos resultados en la zona de frecuencias a controlar. Por las limitaciones constructivas se adoptó la siguiente disposición: para sintonía en bajas frecuencias se utilizaron paneles perforados con resonadores tipo Helmholtz, dispuestos uniformemente en toda su superficie; para sintonía en medias frecuencias se utilizaron resonadores con paneles resonantes tipo membrana.

Se describen los resonadores Helmholtz, que se emplearon para el control de las bajas frecuencias. Están organizados en baterías, o sea en conjuntos distribuidos en un único panel superficial, sobre el cual se efectuaron los orificios circulares de diámetro definido por cálculo; inmediatamente por detrás de este panel se colocó un manto de material absorbente constituido por fibras inorgánicas. El panel conforma con la pared de mampostería una cavidad de volumen definido, y como este está inclinado con respecto a ella, resulta que este volumen es variable. Esta cavidad global puede, mediante una división virtual ser atribuido, a volúmenes individuales para cada orificio. Esta disposición permite una variación discreta de las frecuencias de sintonía utilizando diferentes diámetros en los orificios y una variación continua de las mismas por medio de un cambio progresivo en los volúmenes virtuales. Cómo se eligió una distribución regular y homogénea de orificios sobre cada panel, se define la relación de superficies (2).

$$P = n \frac{A_a}{A_t} \quad (2)$$

Donde A_a es la superficie de cada orificio, A_t la superficie total del panel y n la cantidad de orificios.

Para la determinación dimensional de los resonadores, se utilizó la clásica formula de la frecuencia de resonancia (3).

$$f_o = 5411 \sqrt{\frac{P}{L(d + 1.7r)}} \quad (3)$$

Donde L (cm) es la profundidad de la cavidad, d (cm) es el espesor del panel y r (cm) el radio del orificio. Para sistematizar el cálculo se desarrolló un programa, cuya practicidad quedó ampliamente demostrada. Se tuvo especial cuidado en la elección de la densidad del manto fibroso, para obtener una resistencia al flujo compatible con el Q de los resonadores, que en nuestro caso se optó por un valor bajo, a fin de que la sintonía tuviera característica de “banda ancha” o sea una sintonía no aguda.

Para la realización practica se utilizó placa de MDF (Medium Density Fiberboard) con una densidad de 800 Kg/m³, de 12,5 mm de espesor, perforada según calculo, separada de la pared con una distancia no constante, dando lugar a la cavidad variable para el cambio en la sintonía de los resonadores; como manto absorbente se utilizó paneles rígidos de lana de vidrio con densidad de 35 Kg/m³. Los orificios de los resonadores se ejecutaron con una distribución uniforme sobre toda la superficie. Los resonadores, organizados en baterías, fueron sintonizados en las frecuencias de 64, 125 y 250 Hz, o sea para las frecuencias bajas (sonidos graves) y se dispusieron tres de ellos en forma simétrica en cada lateral de la Sala. En la figura 7 se presenta una panorámica de un conjunto de resonadores. Para lograr una terminación estética de estos resonadores, se los recubrió con una tela liviana con baja resistencia al flujo.

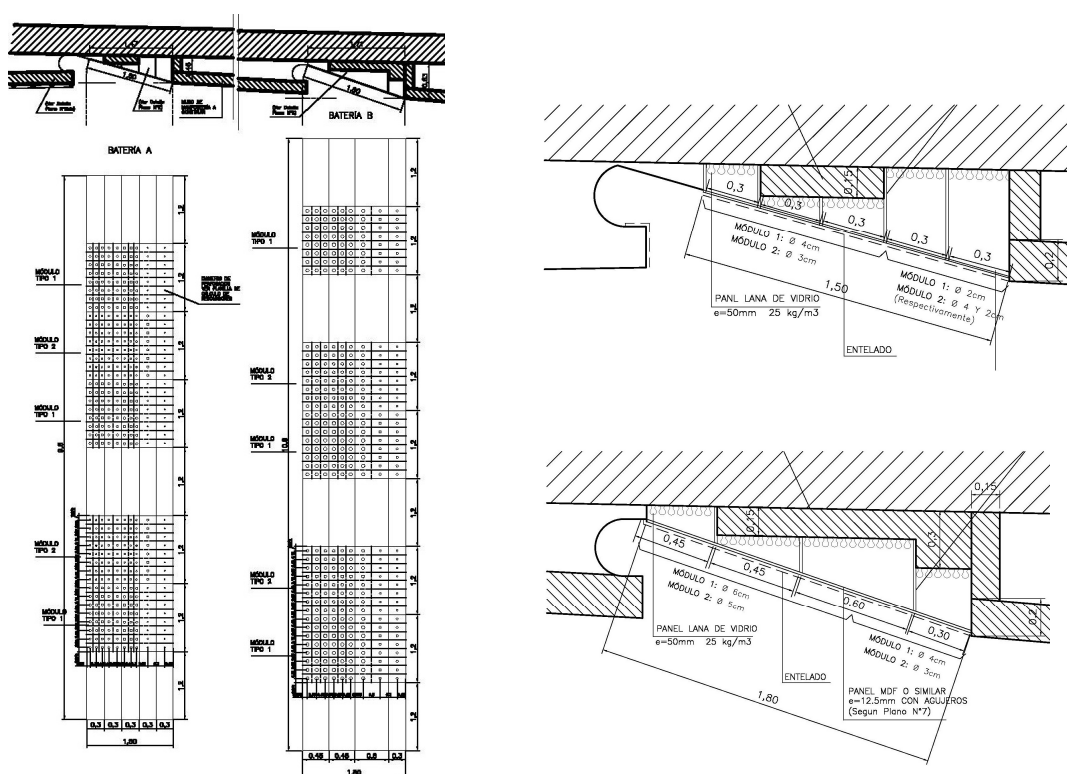


Figura 7 – Baterías de resonadores

2.3.2 Absorción en frecuencias medias

Para el control de las frecuencias medias se utilizó fundamentalmente los absorbentes resonantes tipo membrana, que están constituidos por paneles semiflexibles montados sobre un marco perimetral rígido, fijados a la mampostería del muro lateral, quedando una cavidad cerrada entre el panel y la pared. Para su diseño se hizo uso de la formula (4) a partir de su aproximación para incidencia normal.

$$f_o = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{\rho}{\rho_p e_p d}} \quad (4)$$

Estos resonadores fueron contruidos con marcos rígidos de madera dura, paneles resonantes constituidos en MDF de espesores varios, montados elásticamente sobre el marco, que junto con la mampostería definieron cavidades con diferentes profundidades. Dentro de esas cavidades se colocaron paneles rígidos de fibra de vidrio tanto en el fondo cómo en su perímetro interior, haciendo que el factor de merito de cada uno de ellos (Q) fuera bajo. Estos, según una distribución ordenada de sus sintonías, fueron agrupados en baterías, con una terminación estética constituida por un entelado.

2.3.3 Absorción en altas frecuencias

Para el control de las altas frecuencias se utilizaron materiales porosos en su totalidad. Teniendo en cuenta que ya se disponían de herramientas para controlar las bajas y medias frecuencias, no se utilizaron cavidades por detrás de los paneles absorbentes. Las soluciones adoptadas fueron el uso de cortinados y de “entelados”. Estos últimos fueron contruidos por paneles absorbentes dispuestos

directamente sobre la mampostería sujetos por una estructura reticular de madera dura (entramado) que permite alojar a estos paneles y también conformar los elementos de fijación de un manto de tela liviana dispuesto por delante con fines estéticos. Los paneles utilizados fueron paneles rígidos de fibra de vidrio con una densidad de 35 Kg./m^3 , de diversos espesores. Estos entelados se los ubicó en los laterales del local y los cortinados sobre los accesos, se los puede observar en las fotos de la figura 8.

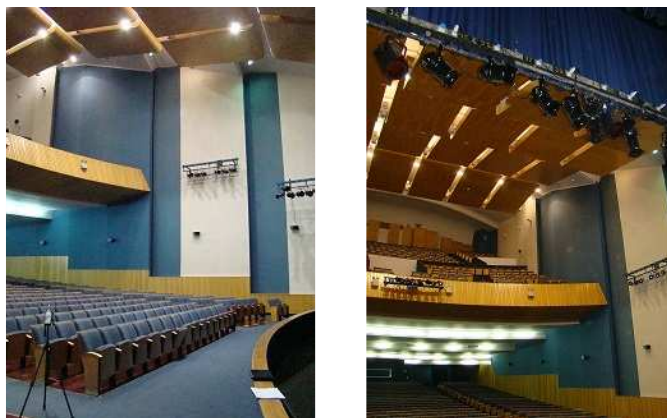


Figura 8 – Vistas interiores

Para el piso de la Sala se propuso el siguiente criterio: alfombra en las circulaciones con el uso de bajo alfombra; parquet sobre hormigón en la superficie de la platea; alfombra en el pullman en toda su superficie y piso de madera en el superpullman. Se adoptaron butacas acolchadas y para el piso del escenario se utilizó una terminación superficial de madera compuesta por entablonado de $\frac{1}{2}$ " de espesor de madera machihembrada de eucaliptus grandis, colocada sobre la fuerte estructura de madera existente.

3 Mediciones

Con el objetivo de verificar las condiciones acústicas del recinto se realizaron mediciones destinadas básicamente al relevamiento de los tiempos de reverberación (T20, T30 y EDT). Las mediciones fueron realizadas con el recinto totalmente vacío y sin personas, exceptuando los profesionales actuantes en la medición. Para medir el tiempo de reverberación se ha utilizado el método impulsivo, que se lleva a cabo en forma automática. El instrumento utilizado fue un medidor de nivel sonoro (SLM) marca Brüel & Kjaer, modelo 2250 equipado con software para medición de tiempo de reverberación marca Brüel & Kjaer modelo BZ7227 Versión 2.0.4. Los impulsos fueron generados en dos posiciones en el escenario, mediante la explosión de globos con un amplio contenido de energía espectral y con la suficiente intensidad que permitió excitar el local. Las mediciones se realizaron por $1/1$ y $1/3$ de octava desde los 100 Hz a los 8000 Hz. Esta técnica es muy apropiada para este tipo de tareas dada su rapidez de ejecución y gran certeza en los datos relevados. Se efectuaron mediciones distribuidas en toda el área de interés. En la planta de sala de la figura 9 se encuentran representados los puntos de medición distribuidos en todo el recinto.

Paralelamente los impulsos fueron grabados para su posterior análisis siguiendo los criterios de la ISO 3382-1:2009 [4]. El equipamiento utilizado para la grabación y procesamiento de los impulsos se corresponde con un micrófono de medición omnidireccional de condensador electret de $\frac{1}{2}$ " pulgada, interfase de audio y PC. El análisis de los datos se realizó mediante el software AuroraTM.

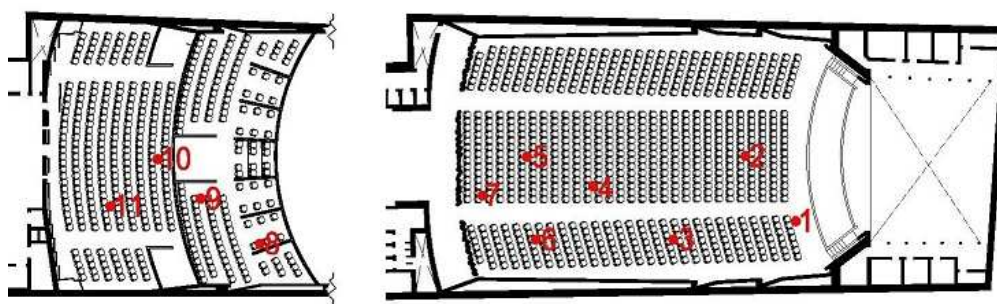


Figura 9 – Ubicación de puntos de medición

3.1 Criterios Temporales

3.1.1 Tiempos de Reverberación

Los parámetros usuales destinados a caracterizar el tiempo de reverberación TR de un recinto, basados en la medición dentro de un rango dinámico inferior a los 60 dB necesarios por definición, son: el T_{20} y el T_{30} . Ambos parámetros fueron medidos en la sala con los resultados que se muestran en la figura 10. Los tiempos de reverberación alcanzados, representados en la figura 11, se encuentran dentro de los márgenes establecidos como referencia.

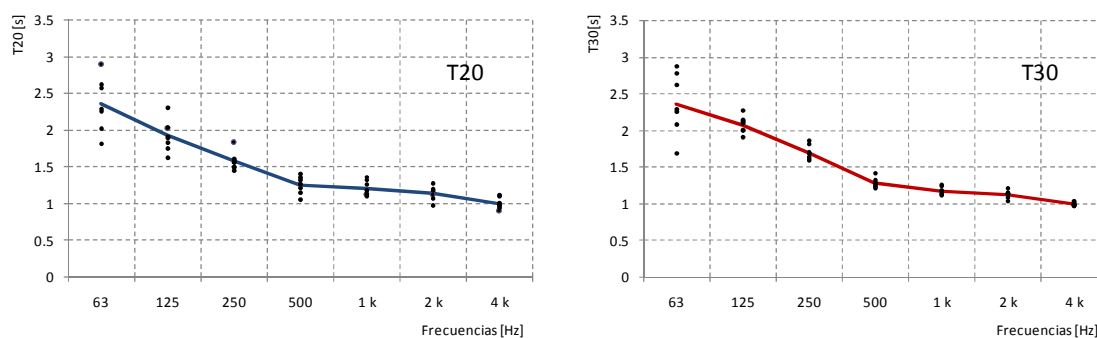


Figura 10 – Tiempos de reverberación T20 – T30

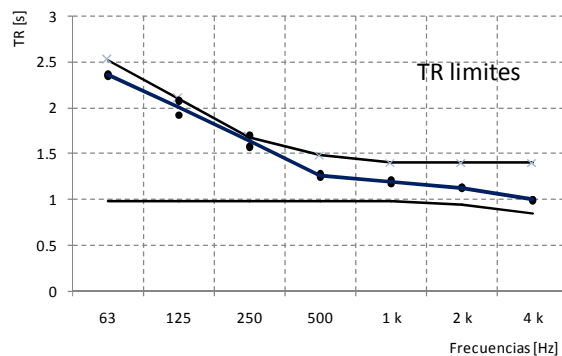


Figura 11 – Comparación de TR con limites propuestos

3.1.2 Tiempo de Caída inicial (EDT)

El EDT (Early Decay Time) o tiempo de caída inicial es el tiempo de reverberación que corresponde a la caída de los diez primeros milisegundos. Este indicador está más relacionado con la impresión subjetiva de la reverberación de un recinto que el TR, lo que implica que una sala con EDT sustancialmente menores que TR sonará desde el punto de vista subjetivo más apagada para la música pero más inteligible para la voz [3]. En la figura 12 se muestran los valores promedio de EDT medidos.

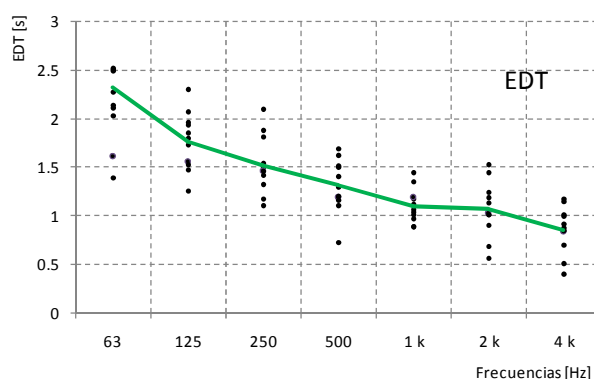


Figura 12 - EDT (seg) Promedio de todos los puntos de medición

Según las referencias bibliográficas [5], [3] el EDT_{mid} correspondiente a las frecuencias centrales debería ser aproximadamente igual a T_{mid} en el caso de la música. En el caso de palabra se considera un valor comprendido entre $0,8 < EDT_{mid} < 1$. Para la sala se alcanza una relación $EDT_{mid}/T_{mid} = 0.94$ (considerando un $EDT_{mid} = 1.42$ s y un $T_{mid} = 1.51$ s)

3.1.3 Índice de Brillo – IB

El brillo depende de la reverberación en las frecuencias altas, e indica si un sonido es claro y rico en armónicos, es el sostenimiento de las frecuencias por encima de 500 Hz. En una sala brillante los agudos se destacan con nitidez sobre el fondo de los sonidos graves [6]. El brillo de una sala depende fundamentalmente de la relación entre el valor medio de los tiempos de reverberación a frecuencias altas (2000 Hz y 4000 Hz) y el valor medio de los tiempos correspondientes a frecuencias medias.

Las referencias indican un valor de IB recomendando comprendido entre 0.8 y 1. El valor alcanzado para la sala $IB=0,87$ se encuentra dentro de los márgenes fijados presentando una buena respuesta para frecuencias altas.

3.1.4 Índice de Calidez – IC

El índice de calidez representa la riqueza en bajas. Un sonido cálido es aquel que está relleno por la reverberación a bajas frecuencias, particularmente en las bandas de 125 Hz y 250 Hz. Como medida objetiva de la calidez se utiliza la relación entre el valor medio del tiempo de reverberación a frecuencias graves (125 Hz a 250Hz) y el valor medio del tiempo de reverberación en frecuencias medias (500 Hz y 1000 Hz).

Para un $T_{mid}=1,5s$ se puede considerar [5] un valor de IC adecuado comprendido entre 1.1 y 1,45. El valor alcanzado para la sala $IC=1,46$ se encuentra en el límite del valor tomado como referencia.

3.2 Criterios energéticos

3.2.1 Índice de Definición D50

Se conoce como la relación entre la energía recibida en los primeros 50 ms a partir de la emisión del sonido directo y la energía total. Se correlaciona con la inteligibilidad de la palabra [6]. Un recinto con un Índice de Definición bajo se percibe como poco íntimo y normalmente esto se debe a que el Tiempo de Reverberación es excesivo, es decir que el recinto es muy vivo. En la figura 13 se muestran los valores calculados de D_{50} correspondientes.

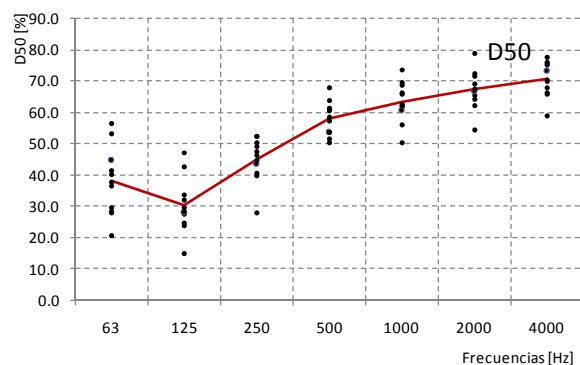


Figura 13 - D_{50} (%) Valores promedio de todos los puntos de medición

Los valores representativos de la definición para frecuencias medias (500 y 1000Hz) depende del destino. Según los criterios tomados como referencia para música y palabra el valor de D_{50} esta debería estar comprendido entre el 50 y el 65%. El valor calculado para la sala es de D_{50} (500Hz–2KHz) = 61%.

3.2.2 Índice de Claridad C80

Un valor de C_{80} alto significa que la energía sonora inmediata es muy superior a la tardía, lo que implica que el sonido es muy claro. Este índice es la relación logarítmica entre la energía inicial en los primeros 80 ms y la superior a ese tiempo.

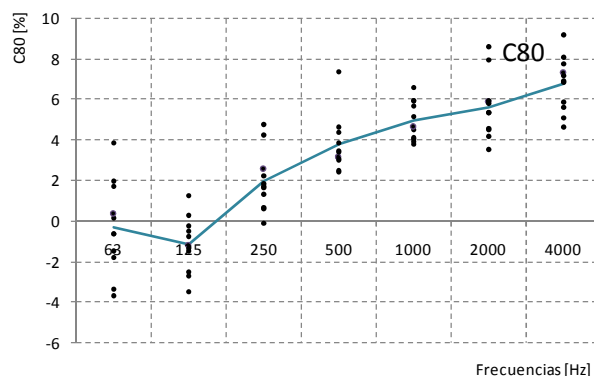


Figura 15 - C_{80} (dB) - Valores promedio de todos los puntos de medición

En la bibliografía existe bastante disparidad en relación a los valores de C_{80} a tomar como referencia. Como criterio general amplio se puede adoptar para música y palabra un entorno aconsejado de 2 a 6dB [3]. La sala alcanza un valor de C_{80} (500Hz – 2KHz) = 4.3 dB.

4 Conclusiones

De todo el análisis realizado se demuestra que los valores medidos responden a las premisas, requerimientos y objetivos de diseño en lo referido al acondicionamiento acústico interior. En general la totalidad de los parámetros medidos responden a los criterios tomados como referencia de la literatura especializada. Se destaca que los parámetros han sido relevados en la condición de sala vacía, se estima que un aumento de la absorción provocada por la presencia de espectadores contribuirá positivamente en el ajuste de criterios temporales (T20, T20, EDT) y principalmente de los criterios energéticos (D50, C80) que se encuentran en los valores límites superiores.

El correcto uso que se realizó de los materiales acústicos, con respuesta funcional diferentes en función de las distintas frecuencias, tales como absorbedores selectivos, difusores y materiales porosos, distribuidos adecuadamente en el recinto según el proyecto, resultaron eficaces para el uso y destino previsto de la sala. En las fotos de la figura 16 se muestran imágenes de la sala terminada y en uso.



Figura 16 – Imágenes de la sala terminada

Referencias

- [1] Beranek, L.L., Music, Acoustics and Architecture, Willey, New York, 1962.
- [2] Everest, F. Alton, Pohlmann, Ken C., Master Handbook of Acoustics. McGraw-Hill, NY, 2009.
- [3] Arau, Higini. ABC de la Acústica Arquitectónica, Ediciones CEAC, Barcelona, 1999.
- [4] UNE EN, ISO 3382-1, Acoustics-Measurements of room acoustic parameters. Part 1: Performance spaces. 2010.
- [5] Carrión Isbert, Antoni. Diseño acústico de espacios arquitectónicos, Grupo editor Alfaomega, Barcelona, 2001.
- [6] Ottobre, D., Bases de Datos para el Análisis y Comparación de parámetros Acústicos y Piscoacústicos en Teatros y Salas de Concierto. Tesis Doctoral. ETSII-UPM. España. 2006.