



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

FIA2008-A203

## **Diseño acústico del Teatro de la Casa de la Cultura de la ciudad de Cuenca.**

Yolanda Carreño<sup>(a)</sup>,  
Guillermo Bolaños<sup>(b)</sup>,

(a) Profesora en la carrera de Ingeniería en Sonido y Acústica, Universidad de las Américas, Quito, Pichincha, Ecuador, Ingeniería Civil en Acústica, VIPRO, Chile. E-mail: ycarreno@gmail.com

(b) Egresado de Ingeniería en Sonido y Acústica, Universidad de las Américas, Quito, Pichincha, Ecuador. Email: lambdacoustics@mail.org

### **Abstract**

The rehabilitation project of the “Teatro de la Casa de Cuenca”, had as its main objective was to maintain current geometry of it and that the design is more conservative lines. Because it has three levels of amphitheatres ceiling had to be designed with convex panels to generate initial ideas in all sectors of theatre seats. To avoid targeting of sound in the side walls raises the installation of wooden panels carved by craftsmen from Cuenca, due to the work being done are full of irregularities and an aesthetic very valuable. The stage proscenium theatre is, when it raised the cash to cover the entire scene with absorbent material to maintain a stable T60 to be fixed between 1 and 1.1 s for the same volume of air, giving the possibility making theatrical events with a speech intelligibility optimal. This project aims to restore this city this cultural space so important for the same which is part of their cultural heritage.

### **Resumen**

El proyecto de rehabilitación del Teatro de la Casa de la Cultura de la municipalidad de Cuenca, tenía como objetivo principal era mantener la geometría actual del mismo y que el diseño sea con líneas más conservadoras. Debido a que cuenta con tres niveles de anfiteatros el cielo raso tuvo que se diseñado con paneles convexos para poder generar primeras reflexiones en todos los sectores de bancas del teatro. Para evitar focalizaciones de sonido en las paredes laterales se plantea la instalación de paneles de madera tallados por artesanos cuencanos, debido a los trabajos que realizan son llenos de irregularidades y de una estética muy valiosa. El escenario del teatro es proscenio, por lo que se planteó cubrir todo la caja del escenario con material absorbente para mantener un T60 estable que se lo fijo entre 1 y 1,1 (seg) por el volumen de aire del mismo, dando la posibilidad de realizar eventos teatrales con una inteligibilidad de la palabra óptima. Este proyecto pretende devolver a esta ciudad este espacio cultural tan importante para la misma que es parte de su patrimonio cultural.

## **1 Introducción**

El Teatro de la casa de la cultura de Cuenca fue construido en los años 1940 en el centro histórico de la ciudad ecuatoriana, con un aforo para 1200 personas fue uno de los principales centros culturales debido a su gran tamaño como ubicación, con el paso de los años el lugar fue perdiendo interés por parte de la gente y comenzó a presentar deterioro de sus componentes internos como estructurales hasta que en los años ochentas un incendio destruyó parte del escenario que al volver ser construido presentó una pendiente considerable por malas condiciones de isóptica anteriores, hasta que a mediados de los noventa presentó un total abandono y paso a ser hogar de personas callejeras. A principios del año 2000 la Municipalidad de Cuenca desalojó el lugar y comenzó con obras de restauración a lugares colindantes al mismo hasta que en el 2005 comenzó a realizar el proyecto de rehabilitación, debido a su experiencia en diseño de teatros importantes en la ciudad de Quito (Teatro Nacional Sucre y Teatro México) los arquitectos Guillermo Bolaños G. y Magdalena fueron invitados para ser los encargados de devolver a la ciudad este centro que en un tiempo fue el eje cultural. El proyecto estaba enfocado principalmente a las artes teatrales como orales ya que la ciudad no cuenta con un lugar específico para este tipo de actividades, pero debido a que la polifuncionalidad de los recintos en estos medios es importante para poder recuperar la inversión realizada se vio la necesidad de hacerlo también apto para llevar a cabo actividades musicales de toda índole.

## **2 Criterios de diseño.**

### **2.1 Diagnóstico previo del recinto.**

Realizada una visita preliminar al lugar de emplazamiento del Teatro de la casa de la cultura de la ciudad de Cuenca, aditivamente se percibieron problemas de eco flotante y focalizaciones sonoras producidas principalmente por las superficies limitantes que están construidas de forma paralela unas con otras sin ningún elemento que rompa este efecto no deseado, cielo raso construido con mortero cemento arena con varilla, techo en planchas de zinc, el piso de madera en malas condiciones acústicas como estructurales y dos sectores de graderías. La geometría de la sala poseía un volumen de aire interno elevado (superior a los 5000 m<sup>3</sup>), factores que sumados, generaban un campo reverberante alto, efecto peine en todos los sectores e incrementos naturales del NPS en bajas frecuencias lo que afectaba considerablemente a la inteligibilidad de la palabra, con lo que el local no se encontraba en condiciones mínimas para poder llevar a cabo cualquier actividad sonora dentro del mismo. Como el proyecto no implicaba un cambio radical en la morfología del interior se llevaron a cabo mediciones de control para saber que problemas se debían corregir y que aspectos favorables mejorar.

Las mediciones acústicas fueron ejecutadas con ruido rosa y un barrido de frecuencias desde 20 a 300 Hz. Se comprobó que la respuesta de frecuencia de la sala era muy deficiente, ya que de forma natural elevaba el nivel en frecuencias bajas desde 60 a 180 Hz en un promedio de 20 dB con respecto a la nominal y desde 200 a 600 Hz en un promedio de 10 dB sobre la nominal, desde los 600 hasta los 7000 Hz se puede considerar una respuesta relativamente plana con efecto peine en el rango de frecuencias medias altas y sobre los 7 kHz un decaimiento notable en el espectro de tercer orden. En el sector de la platea se apreciaba una baja de nivel de 8 dB en el rango de 1 a 2 kHz lo cual desmedraba la inteligibilidad de la palabra. El tiempo de reverberación ( $T_{60}$  mid) obtenido a partir de los tonos puros fue de 1,8 s, el cual está dentro de los estándares para salas de concierto en presentaciones teatrales se

generarían problemas donde el mensaje oral es lo más importante y se necesitan T60 inferiores a 1,2 s.

## 2.2 Diseño acústico.

Antes de aplicar cualquier criterio de diseño, fue necesario identificar los problemas existentes y los susceptibles de ser generados dentro del teatro, de acuerdo a las actividades que se lleven a cabo dentro de él.

Como primer punto, está el problema de Modos Normales de Vibración, que no son otra cosa que las frecuencias naturales asociadas a las estructuras que se encuentran dentro del recinto y que pueden entrar en resonancia cada vez que una fuente sonora ubicada dentro del teatro radie con una frecuencia igual o parecida a la de uno o varios de estos modos. En este caso la estructura comenzará a vibrar por efecto de resonancia, elevando en forma no deseada el Nivel de Presión Sonora ( $L_p$ ) en dichas bandas de frecuencia. El fenómeno de los Modos Normales sólo se transforma en “problema”, cuando dichos incrementos de nivel ( $L_p$ ) aparecen sólo para ciertas frecuencias y no de manera homogénea en el espectro. Ahora, como las estructuras tienen una gran masa, las frecuencias naturales asociadas a ellas son bajas y por lo tanto este fenómeno en términos generales, sólo es preocupante hasta 300 Hz, también considerando la sensibilidad del oído.

La solución a los problemas citados, se propuso diseñar y construir absortores de baja frecuencia, llamados Resonadores (porque funcionan también bajo el principio de la resonancia) una vez que el recinto este finalizado en su totalidad ya que estos dispositivos tienen un rango de acción muy limitado, debido a que el rango desde los 60 hasta 300 Hz se apreciaba un incremento homogéneo el diseño de estos dispositivos se planea realizarlo una vez que el lugar este construido en su totalidad para poder establecer que tipo de resonador de baja frecuencia sería el más adecuado.

Otro factor y dado que el recinto se va a usar como teatro y eventualmente como sala de conciertos, la Inteligibilidad de la Palabra juega un papel bastante importante. Cuando en un recinto no se logra una inteligibilidad óptima, ocurre que el mensaje oral no es comprendido o se comprende parcialmente. Esto se debe generalmente, a un excesivo campo reverberante dentro de la sala y a un refuerzo deficiente del sonido directo por parte de las primeras reflexiones (aquellas que ocurren en un tiempo inferior a 50 ms. Un error frecuente es reforzar el sonido directo con fuentes sonoras adicionales, que lejos de solucionar el problema, ayudan a agravarlo aun más, porque si bien es cierto el campo directo aumenta, el reverberante también lo hace y como resultado, sólo se logra un incremento desmedido del Nivel de Presión Sonora ( $L_p$ ).

Para solucionar a este tipo de problemas se logra con paneles reflectantes distribuidos especialmente en los muros laterales y techo del recinto, de manera de generar primeras reflexiones útiles, que refuercen de forma natural al sonido directo. Asimismo, deben distribuirse por toda la sala, paneles absorbentes para mantener un tiempo de reverberación óptimo, por lo que se plantea la instalación de paneles convexos de 1 m de espesor con un ángulo de curvatura de 15 m para asegurar un máxima cobertura especialmente en el rango de 1 a 2 kHz donde el teatro presentó la mayor falencia en el espectro, para las paredes laterales se deben instalar series de 4 m para evitar cualquier efecto de metalización de la voz producidas por superficies reflejantes de gran tamaño, debido a la altura del teatro aproximadamente 25 m se planteó el uso de los mismo como cielo raso distribuidos de forma semi aleatoria para lograr distribuir primeras reflexiones de forma homogénea en los cuatro sectores de audiencia con los que cuenta el Teatro.

Respecto a la pérdida de energía en frecuencias medias altas comprendidas entre 600 en adelante esta se debe a las grandes dimensiones del recinto, su forma y la alta direccionalidad del sonido en dicho rango (contrario a lo que ocurre en bajas frecuencias) y que hace que el frente de ondas se atenúe muy rápidamente con la distancia que debe recorrer para llegar a los oyentes. Auditivamente el problema se percibe como la sensación de estar en una sala “poco brillante” o “apagada” y la solución es elevar la sonoridad (capacidad de la sala de reforzar o elevar el  $L_p$  total en forma natural para cierto rango de frecuencias) de estas frecuencias mediante paneles difusores especialmente que por el amplio rango de cobertura que se necesita de acción se planteó la instalación de piedra decorativa en las paredes intercalada con material absorbente.

Los difusores son un tipo especial de panel reflectante, que funciona en base al rompimiento del frente de ondas incidente sobre ellos, en múltiples frentes ondulatorios de menor nivel ( $L_p$ ), redistribuyendo la energía reflejada en el tiempo y el espacio, debido a las múltiples irregularidades propias del panel. Para el caso del Teatro de la casa de la cultura de cuenca, se propone paneles prefabricados de piedra que se caracterizan por difundir sonido aleatoriamente en un rango de frecuencias medias altas dependiendo de sus dimensiones de profundidad, brindando una difusión de sonido más natural haciendo que principalmente los sonidos con armónicos en este sector tomen más cuerpo lo que a la voz humana brinda una calidez haciendo más íntimas las presentaciones. Considerando las deficiencias (determinadas de manera teórica) que presenta el recinto en frecuencias medias y altas, estos paneles deberían ser colocados de forma aleatoria en las paredes laterales y cubrir en su totalidad las paredes posterior para evitar cualquier efectos de eco flotante con el escenario. Para la parte superior y como efecto decorativo se propone la instalación de paneles de madera tallada típicos de la ciudad que por sus grandes niveles de relieves como invalorable aspecto visual y decorativo brindarían mayor difusión del sonido reforzando frecuencias medias – medias altas en el sector de la tercera galería.

El Tiempo de Reverberación o  $T_{60}$  mide el decaimiento de la energía sonora en un recinto. Se dice que si dicho decaimiento es rápido, la sala se considera más bien “seca” es decir, con muy poca energía reverberante. En caso contrario, la sala se considera “viva”. Desde el punto de vista acústico, ambos extremos son igualmente malos porque el exceso de reflexiones irá en desmedro de la inteligibilidad de la palabra por ejemplo y en cambio si la sala es muy seca, el sonido directo se atenúa rápidamente y se hacen necesarias muchas más fuentes sonoras para lograr un nivel aceptable dentro de él. Por otra parte, el ser humano no está acostumbrado a escuchar sólo sonido directo y la sensación auditiva es bastante molesta. Los tiempos de reverberación recomendados (según criterios internacionales de diseño) para los distintos tipos de uso del teatro varían desde 0,7 ms a 1,3 ms. Ellos se logran distribuyendo correctamente tanto paneles reflectantes como absorbentes por todo el recinto y por supuesto, ofreciendo la posibilidad de reducir o aumentar el  $T_{60}$  mediante paneles móviles que sean capaces de cambiar sus características reflectantes/absorbentes por completo. Debido a que los contratistas querían paneles fijos sin posibilidad de moverlos se debía elegir un  $T_{60}$  fijo que se ajuste a las voz humana como la música, considerando que el proveedor de equipos electroacústicas presentó una concha acústica móvil para el escenario el  $T_{60}$  de la sala se fijo en 1,1 s, que con la instalación del dispositivo anteriormente mencionado se podrían llegar en nivel de 1,8 a 2 s con lo cual las representaciones musicales presentarían una mejor sonoridad.

### **2.3 Construcción e instalación.**

. El proyecto necesitaba un cambio total del cielo raso como del techo debido a que los materiales que lo conformaban no brindaban ningún aporte a aislación sonora como estructural ya que el techo estaba construido en planchas de zinc, el sonido de la lluvia se filtraba libremente al interior del teatro afectando considerablemente la sonoridad del mismo, por lo que, se planteó la instalación de una estructura metálica de soporte así también de planchas de poliuretano expandido de 10 cm de espesor de cielo raso, pero por efectos de aislación sonora como de acondicionamiento acústico se debe instalar un cielo raso fonoabsorbente, el elegido para este proyecto fue Black Theater de 5 cm, el cual por medio de un enrejado metálico estilo americano el cual fue sujetado directamente a la estructura metálica debido a que el peso de este material no es considerable, para evitar cualquier efecto de resonancia entre este y las placas del techo se lo hizo lo más irregular posible respetando las medidas determinadas en el proyecto de diseño.

Para las paredes laterales y posterior los paneles de madera debería ser instalados en placas prefabricadas de roca de 60 x 60 cm, unidas a la pared por medio de aditivos y sujeción mecánica por medio de tornillos especialmente en las zonas más altas por normas de seguridad, los paneles convexos generadores de primeras reflexiones deberían ser construidos en policarbonato de 5 mm de espesor para un fácil manejo como instalación por su liviana peso y alta reflexión de sonido, para evitar cualquier reflejo de luz indeseado se propuso que sean pintados con pinturas acrílica mate con lo que el anterior problema sería eliminado.

### **3. Criterios de aislación acústica.**

Las paredes del teatro eran los únicos elementos que se conservarían de la estructura original, construida en paredes dobles de ladrillo de 20 cm con 20 cm de cámara de aire entre ambas, la cual presentaba suficiente atenuación a la transmisión sonora por lo que ningún tipo de modificación se planteó a los mismos.

Con respecto al techo, el proyecto contemplaba el cambio total de este, para lo que se propusieron planchas metálicas inyectadas con poliuretano expandido de alta densidad formando una placa de 10 cm de espesor, con el objetivo de atenuar el ruido y vibraciones que pudieran ser susceptible de ingresar o salir del teatro durante su funcionamiento y que pudieran generar molestias en el interior como en zonas aledañas que se encuentran habitadas. El espesor de las planchas se determinó considerando espectro de ruido molesto principalmente entre 50 y 300 Hz, y sobre todo la disponibilidad de material en el mercado ecuatoriano.

Además de las galerías existentes se planteó la instalación de balcones laterales para abarcar un mayor número de espectadores sin tener una variación muy grande en la morfología interna, las cuales deben ser construidos de hormigón sobre la cual se colocaron dos capas de madera triplex de 18 mm con material elastómero en su parte inferior para amortiguar cualquier transmisión estructural y sobre esta capa colocar la madera de revestimiento interno que por efectos de diseño fue duela de eucalipto.

### **4. Resultados.**

El proyecto todavía no ha comenzado su etapa de construcción por lo que no se han podido llevar ninguna medición acústica real del recinto.

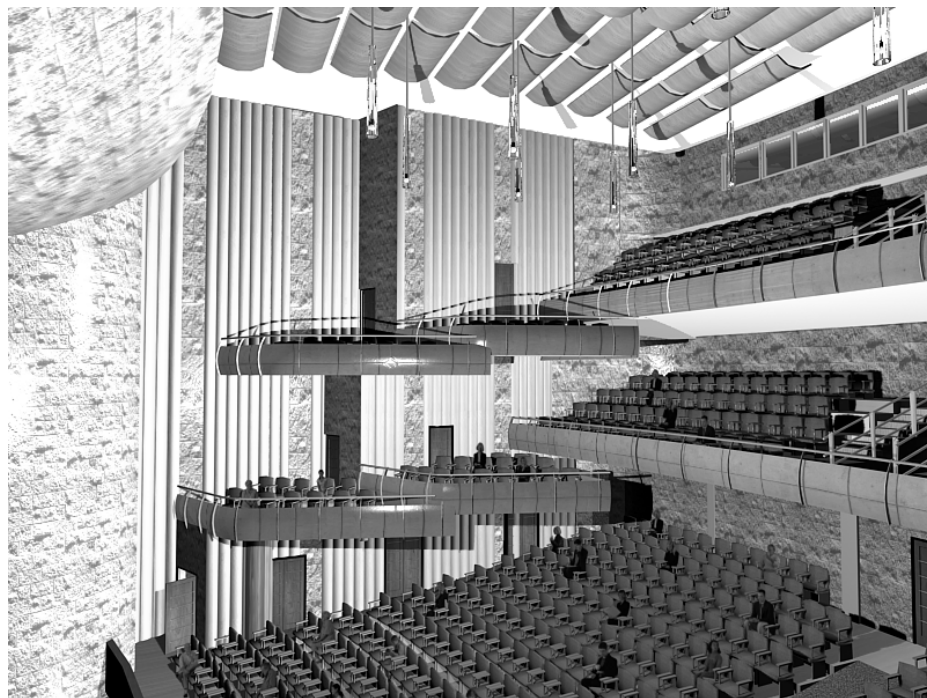


Figura 4.1. Modelo tridimensional del teatro.

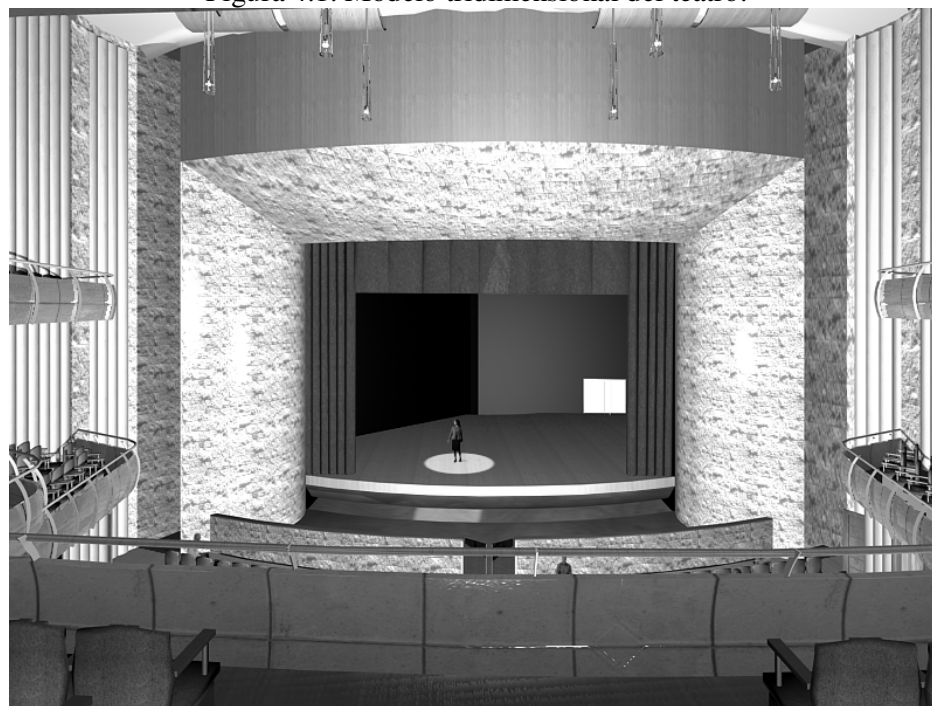


Figura 4.2. Vista frontal del escenario

#### Referencias

- Carión, Antoni; (1998). "Diseño Acústico de Espacios Arquitectónicos". Edicions UPS, Barcelona, España.
- Miyara, Federico; (2000) "CONTROL DE RUIDO". Laboratorio de Acústica y Electroacústica, Argentina.