

Importancia del Control Acústico en la ejecución para alcanzar los objetivos de confort acústico. Estudio de una Escuela de Música

Ignacio Guillén

Vicente Gómez

Patricio Ramírez

José María Forteza

Jacobo Rangel

Universidad Politécnica de Valencia

Abstract

Acoustic comfort is of increasing importance for construction professionals nowadays. Recent modifications of the building legislation in Spain include new regulations dealing with protection against noise that provide new perspectives to acoustics professionals.

The present work constitutes a case study concerning the new building of a private, non-profit Musical School in Valencia (Spain). We supply the technical solutions for airborne and impact insulation, and address also the calculation of the materials and absorption needed in order to adjust the reverberation time of the different rooms to the musical uses designed. These technical solutions have been modified according to the requirements raised during the execution process. All changes have been tested through an *in situ* measurement program.

This measurement program has allowed us to define a protocol for the acoustical control during the building process.

Keywords: *Construction, Acoustics*

Resumen

Actualmente la importancia del confort acústico de los usuarios de las edificaciones ha impulsado en la mayor parte de los técnicos una creciente preocupación por todos los aspectos de la edificación relacionados con la acústica. Con la aprobación del Código Técnico de la Edificación y su documento básico de protección frente al ruido, la preocupación en el ámbito profesional se ha visto aumentada.

En el presente trabajo se realiza un estudio de caso sobre la obra de una Escuela de Música en la ciudad de Valencia. En el estudio se presentan las soluciones adoptadas en proyecto para el aislamiento y acondicionamiento acústico de todo el edificio. Estas soluciones se han ido adaptando a las necesidades de ejecución de la obra, comprobándose la eficacia de las mismas mediante un programa de mediciones *in situ*.

Este programa de mediciones *in situ*, ha permitido la elaboración de un protocolo de control acústico en la edificación. Esta metodología permite ajustar y comprobar las desviaciones que siempre se producen en la ejecución.

Palabras clave: *Edificación, Control de ejecución, Acústica. Código técnico de la edificación.*

1. Introducción

La reciente entrada en vigor del documento básico de protección frente al ruido del Código Técnico CTE-BD-HR junto con la mayor sensibilización por parte de la sociedad frente al problema del ruido y el confort acústico implica que todos los aspectos relacionados con la acústica en la edificación preocupen especialmente a técnicos y profesionales.

El comportamiento acústico de las distintas soluciones constructivas resulta muy sensible frente a la condiciones de ejecución. Además en determinadas frecuencias el comportamiento es de previsión poco fiable.

Estos problemas, que tienen un impacto reducido en el sector residencial, cuando la edificación tiene un programa con usos musicales previstos adquieren una dimensión que requiere un tratamiento específico. Este tratamiento no se debe de circunscribir únicamente en la fase de proyecto a un Estudio Acústico detallado, sino que se debe de extender a una supervisión de los aspectos acústicos durante la ejecución de las obras y al finalizar las mismas

En este trabajo se presenta un protocolo de control que no sólo incluye las Medidas Acústicas in Situ, sino que se incorpora la necesidad de visitas de obra programadas. Esta programación debe de ser coordinada en función de las distintas fases de ejecución. Un aspecto frecuentemente olvidado o bien poco sistematizado es la opinión sobre el confort de los usuarios últimos de las instalaciones así como su grado de satisfacción. En el protocolo aquí presentado se incluyen una serie de medidas para conocer estas opiniones y en la medida de lo posible en fases tempranas de la ejecución para así tomar las medidas correctoras para mejorar el confort acústico de los usuarios.

La sistematización del control acústico en la ejecución se presenta a través de una experiencia piloto aplicada en la ejecución de la nueva Sede del Ateneo Musical del Puerto en Valencia.

2. Descripción de la Nueva Sede del Ateneo Musical del Puerto

El proyecto de la nueva sede para el Ateneo Musical de Puerto de Valencia resuelve un programa complejo para un conservatorio de grado medio en un edificio compacto de cuatro plantas junto con la baja de acceso.

El programa se articula planta por planta de la siguiente forma:

- Planta baja: Acceso, secretaria, cafetería, aulas de educandos y cabinas de ensayo individual.
- Planta primera y segunda: Sala de interpretación y espacios anejos.
- Planta tercera: Administración, biblioteca y aulas musicales.
- Planta cuarta: Aulas musicales.

El auditorio con acceso directo desde el vestíbulo de la primera planta, se desarrolla en un patio de butacas con pendiente reducida y un anfiteatro escalonado con dos galerías laterales.

Una particularidad importante de este proyecto, radica en una configuración escénica que no permite la existencia de un peine escénico, limitando la multifuncionalidad del espacio pero favoreciendo el diseño de un escenario adecuado para las interpretaciones musicales.

La otra particularidad del proyecto está relacionada con la compacidad del mismo y su desarrollo en altura. Este hecho determina que para lograr el necesario confort acústico, la

correcta y minuciosa ejecución de las distintas soluciones constructivas diseñadas resulta primordial para no sufrir desviaciones en los resultados previstos.

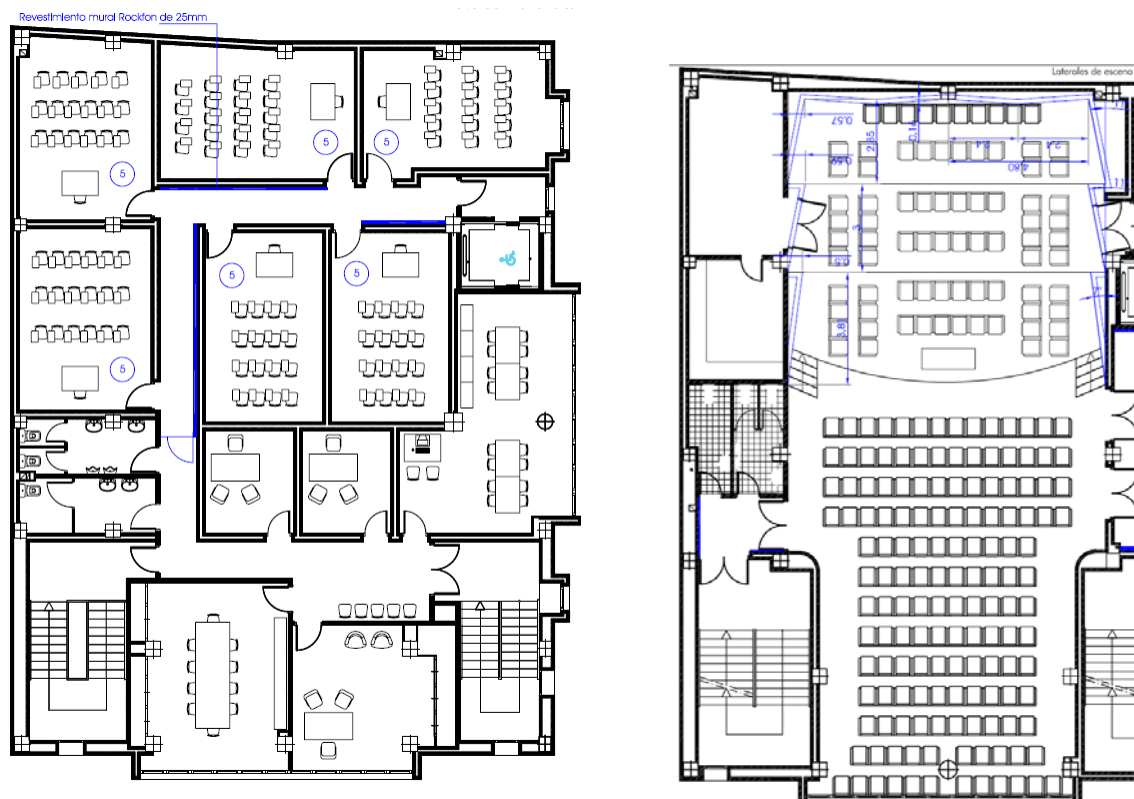


Figura 1. Plantas tipo del Conservatorio y Auditorio

3. Soluciones Constructivas de Aislamiento y Acondicionamiento Acústico.

3.1 Soluciones de Aislamiento Acústico

Las soluciones constructivas planteadas en el estudio acústico se basan en la resolución de las particiones interiores y de fachada con un sistema de cerramientos ligeros multicapa con la siguiente descripción

Cerramiento de fachada.

La parte ciega del mismo se resolverá mediante un cerramiento multi-capas de doble hoja compuesto por dos placas de yeso laminado (13+13mm) selladas individualmente sobre perfilaría metálica independiente de 46mm con panel de lana de roca de 50mm y de 70 Kg/m³ en su interior, cámara de aire de 100mm y fábrica de ladrillo perforado de 1/2pie con enfoscado de mortero de cemento interior y revestimiento exterior monocapa, con un R_w estimado en laboratorio de 58dB.

La parte débil desde el punto de vista del aislamiento acústico se corresponde con los acristalamientos. Esta parte se resolverá con una carpintería estanca con clasificación A3 y vidrio Stadip SG Silence 8.4mm/12mm/10.4mm con un R_w de 41dB, estimado para el vidrio.

Particiones Interiores.

Cerramiento multi-capa de doble hoja compuesto por dos placas de yeso laminado (13+13mm) selladas individualmente sobre perfilera metálica independiente de 46mm con panel de lana de roca de 50mm y de 70 Kg/m³ en su interior, cámara de aire de 100mm y dos placas de yeso laminado(13+13mm) selladas individualmente sobre perfilera metálica independiente de 46mm con panel de lana de roca de 50mm y de 70 Kg/m³ en su interior, con un Rw estimado en laboratorio de 61dB

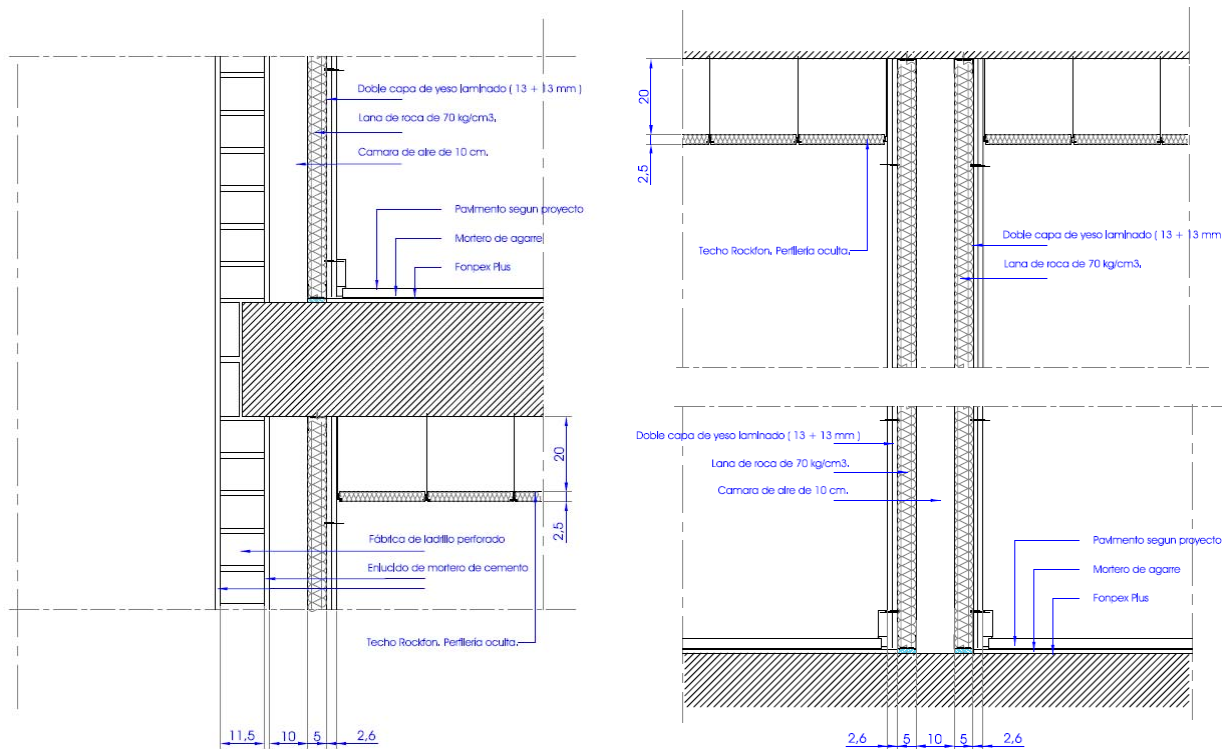


Figura 2. Detalle de Fachada y partición interior

3.2 Soluciones de Acondicionamiento Acústico

Las soluciones planteadas para el acondicionamiento acústico se estructuran en tres tipos de espacios, cada una con soluciones ajustadas a las necesidades acústicas diferenciadas en función de los usos previstos

- Espacios de enseñanza y estudio musical.
- Sala de Audición.
- Espacios de circulación y servicios.

Espacios de enseñanza y estudio musical.

Para el acondicionamiento acústico de las aulas se ha procedido a estudiar cada uno de los distintos tipos de aulas musicales que figuran en el proyecto, agrupadas en tres tipos de

recintos dadas sus similitudes geométricas y funcionales. Los recintos estudiados son los siguientes:

- Cabinas de estudio.
- Aulas de educandos.
- Aulas de enseñanza instrumental.

Geoméricamente, los tres recintos son similares, ya que se tratan de espacios paralelepípedicos. Las necesidades desde el punto de vista del acondicionamiento acústico son idénticas por tratarse de salas dedicadas al ensayo y estudio musical, individual o en pequeños grupos. El tiempo de reverberación adecuado debe de situarse por debajo de 0,5s en frecuencias medias, con un incremento de entre 20% a un 50% en frecuencias bajas. Junto con esta exigencia, se deben de evitar las resonancias por la aparición de ondas estacionarias en el interior de las salas. Como los cerramientos verticales y horizontales son paralelos dos a dos, en este caso se evitará su aparición con una adecuada distribución de la absorción acústica en las superficies, junto con una ligera inclinación de dos cerramientos laterales consecutivos.

Los acabados de los cerramientos de las salas previstos son los siguientes con el objeto de ajustar la curva tonal de las mismas a los usos previstos.

- Superficies laterales de las salas: Placa de yeso laminado de 13+13mm
- Techo de la salas: Techo registrable con paneles Rockfon de 25mm con y cámara de aire mínima de 200mm.
- Pavimento: Pavimento flotante pétreo.

Sala de Audición.

La sala de audición y ensayos con un volumen de 1500m³ y un aforo de aprox. 300 localidades se desarrolla en dos plantas con un pequeño anfiteatro.

La configuración de sala, por las limitaciones volumétricas del proyecto se aleja del tradicional modelo de sala polivalente próximo a una sala de teatro con dos volúmenes diferenciados. Para obtener unas condiciones acústicas adecuadas para los usos musicales se necesita el apoyo de una concha de escena diseñada para dar reflexiones tempranas tanto a los músicos como a todo el patio de butacas. La concha de escena se ha diseñado con tres tramos fijos en el techo. Junto con la intervención en el techo de la escena, en el escenario se han diseñado unos laterales reflectantes junto con un fondo difusor, la altura de estos elementos se reduce al nivel de la galería superior. Cuya finalidad última es redireccionar parte de la energía sonora generada al plano de audición.

El techo de la sala se ha diseñado en dos tramos, un primer tramo con funciones de tornavoz y una segunda zona horizontal. El primer tramo refuerza a la zona del patio de butacas con más altura, mientras que la zona horizontal proporciona reflexiones a toda la zona de público, dejando una zona final junto a la fachada reservada como absorbente para la regulación del tiempo de reverberación, durante la ejecución de la obra.

La absorción para el control de la reverberación se distribuye en los cerramientos posteriores de la sala, en la superficie del público y en las zonas posteriores de las galerías. Dejando el último tramo de techo como elemento de control durante la ejecución.

El tiempo de reverberación medio de la sala, dadas las características geométricas y el programa de usos previsto, así como considerando la multifuncionalidad propia del espacio,

debe quedar por debajo de 1,00 s. Esto es tanto para audiciones musicales como para la transmisión de la palabra.



Figura 3 Sala de audición y ensayo en Ejecución

Espacios de circulación y servicios.

Espacios administrativos y de uso general.

En esta categoría de espacios quedan englobados los espacios dedicados a usos de administración, biblioteca y cafetería. Estos espacios se encuentran distribuidos a lo largo de todas las plantas.

La recomendación para el acondicionamiento de estos espacios consiste en un techo a base de placas de Rockfon de 25mm con cámara de aire de 200mm en toda su superficie.

Espacios de circulación.

Por la especial configuración de los espacios de circulación y con el objeto de reducir el efecto del ruido ambiente sobre las condiciones de confort acústico de los distintos espacios, estas zonas deberán de ser lo más absorbentes acústicamente posible.

La solución propuesta consiste en un falso techo absorbente a base de paneles rockfon de 25mm y cámara de aire mínima de 200mm.

En las zonas de circulación entre las aulas y las cabinas de ensayo la solución propuesta para el techo se extenderá a lo largo de los cerramientos verticales.

4. Protocolo de Control Acústico de la Ejecución. Programa de mediciones in situ.

Cada vez más y fundamentalmente desde la entrada en vigor del documento básico de protección frente al ruido del Código Técnico CTE-DB-HR es más importante el control acústico de la ejecución de obras de edificación. En este caso al tratarse de un complejo con un programa musical muy exigente este control debe de ser más exhaustivo y consciente. La propuesta de nuestro equipo para acometer dicha labor abarca tres aspectos principalmente.

Visitas y asesoramiento a la dirección facultativa durante el proyecto y la ejecución.

Programa de mediciones acústicas objetivas in situ.

Programa de Pruebas subjetivas.

4.1 Programa de Visitas y asesoramiento.

Al inicio de la obra se tendrán reuniones con cada uno de los responsables de los distintos oficios e instaladores que afecten a cualquier aspecto relacionado con la Acústica.

Durante la ejecución de la obra en fase de estructura se realizarán visitas quincenales para conocer la evolución de las distintas soluciones. En esta fase resulta primordial la supervisión de la ejecución de las soleras flotantes independientes para cada recinto.

En fases posteriores, cerramientos instalaciones y acabados las visitas se intensifican para comprobar la correcta ejecución así como supervisar las modificaciones en base a los resultados intermedios del Plan de Mediciones In Situ.

4.2 Programa de Mediciones In Situ

Mediciones de parámetros acústicos en ciertos momentos de la ejecución, cuyo objeto es la verificación del grado de eficiencia conseguido, respecto a lo previsto en el estudio acústico del proyecto. En este caso se proponen las siguientes sesiones de medidas acústicas:

- Mediciones de parámetros acústicos durante la ejecución de la obra.

Una vez cerrado los volúmenes y antes de proceder a la colocación de revestimientos

Mediciones sobre el aislamiento acústico

Medición del índice de aislamiento acústico a ruido aéreo de todas las particiones entre locales sensibles.

Medición de índice de aislamiento acústico a ruido aéreo en forjados entre aulas.

Medición del índice normalizado a impactos de forjados entre aulas.

Mediciones sobre el acondicionamiento acústico

Una vez cerrado el volumen y antes de proceder a la colocación de revestimientos, se medirán los tiempos de reverberación de las diversas aulas y cabinas, de la sala de interpretación.

Con el resultado de estas mediciones se realizarán las correcciones oportunas para ajustar las soluciones de revestimientos para alcanzar los niveles de aislamiento y reverberación previstos en proyecto.

- Medición pre-inaugural.

Una vez finalizada la obra y antes de su inauguración se realizará una medición final de todos los parámetros acústicos, (aislamiento, curvas NC y reverberación) elaborándose el informe final que contemple las mediciones anteriores y la evolución de los parámetros durante la ejecución de las obras.

4.3 Programa de pruebas subjetivas.

Las pruebas subjetivas tienen por objeto conocer las opiniones de los usuarios expertos del conservatorio en fases tempranas de la ejecución para poder modificar aspectos puntuales relacionados con el acondicionamiento acústico de los espacios musicales.

Estas pruebas consisten en audiciones en las salas y mediante entrevistas personales con los profesores, directores de conjuntos e instrumentistas conocer su opinión subjetiva. Para un Conservatorio de este tipo resulta interesante realizar tres sesiones.

- Aula Instrumental.
- Aula de Percusión.
- Sala de Audición.

Para las aulas se adelantan los acabados en dos de ellas para poder realizar la audición a modo de sala piloto y para al sala de audición hay que esperar a tener casi acabado el recinto aunque con alguna superficie libre para poder modificar el comportamiento acústico.

5. Análisis de Resultados.

5.1 Programa de Visitas y asesoramiento.

Por la proximidad de la obra, las visitas se han desarrollado semanalmente junto con la dirección facultativa durante los dos años de desarrollo de la ejecución. Estas visitas nos han permitido conocer todas las implicaciones de los aspectos acústicos en la ejecución de la obra, así como ajustar las soluciones en función de los imprevistos surgidos a lo largo de la misma.



Figura 4 Ejecución de la Obra

5.2 Programa de Mediciones In Situ.

A continuación se presentan los resultados parciales del programa de mediciones in situ, centrados en las aulas musicales ya que la sala audición se encuentra en fase final de ejecución.

Aislamiento acústico

Aula Prototipo.

El aula ensayada estaba acabada a falta de instalar el techo absorbente, correspondiente al acondicionamiento acústico.

Se ensayo el aislamiento a ruido aéreo con el aula contigua, con el pasillo y con el recinto de la planta inferior, los resultados obtenidos se presentan en las siguientes gráficas:

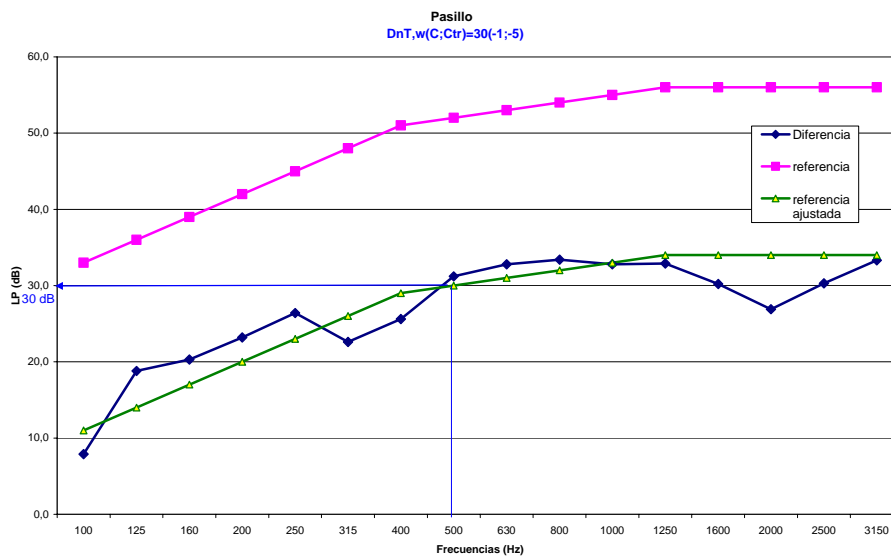


Figura 5 Aislamiento entre Aula y Pasillo

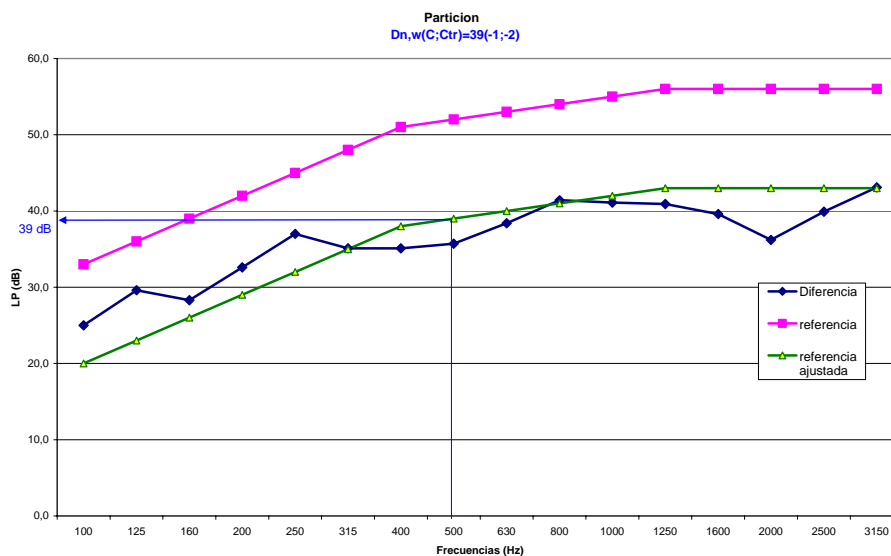


Figura 6 Aislamiento entre Aulas

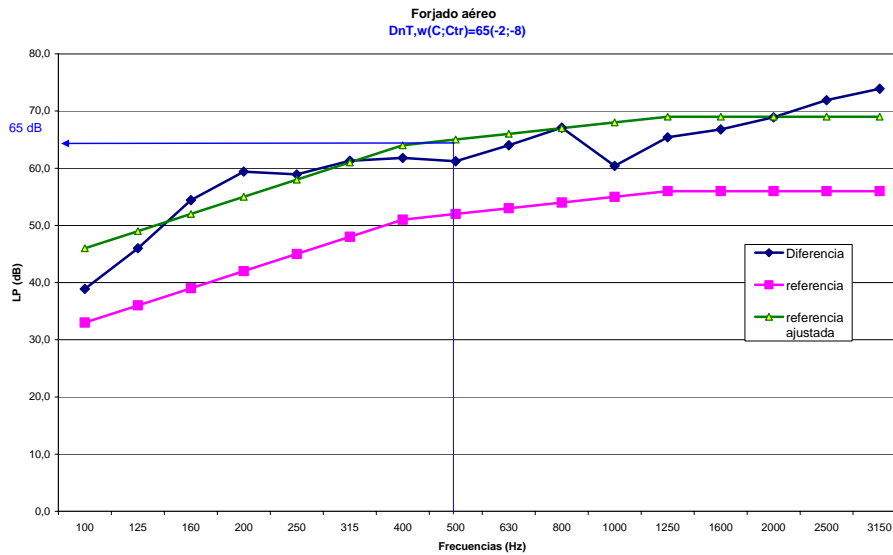


Figura 7 Aislamiento Forjado Aulas

Aislamiento con el pasillo	DnT,w(C;Ctr)=30(-1;-5)
Aislamiento con el local contiguo	Dn,w(C;Ctr)=39(-1;-2)
Aislamiento con el local inferior	DnT,w(C;Ctr)=65(-2;-8)
Nivel normalizado de ruido de impacto	L'nT,w=52

Tabla 1 Resumen Resultados Aislamiento.

Acondicionamiento acústico

Aula Prototipo.

Para ajustar las soluciones de acondicionamiento acústico se procedió a medir el tiempo de reverberación de la sala a falta de instalar el techo absorbente. Los resultados obtenidos se muestran en la gráfica siguiente.

La curva tonal resultante presenta un comportamiento uniforme con valores entre los 0,7 y los 0,8 segundos. Sobre estos resultados se ha realizado una simulación presentando dos hipótesis de acondicionamiento, un techo de paneles Rockfon de 25mm y un techo Rockfon de 40mm con plenum de 200mm en ambos casos.

A la vista de los resultados obtenidos en la medición inicial se procedió a la autorización a la instalación del techo de 25mm de paneles Rockfon.

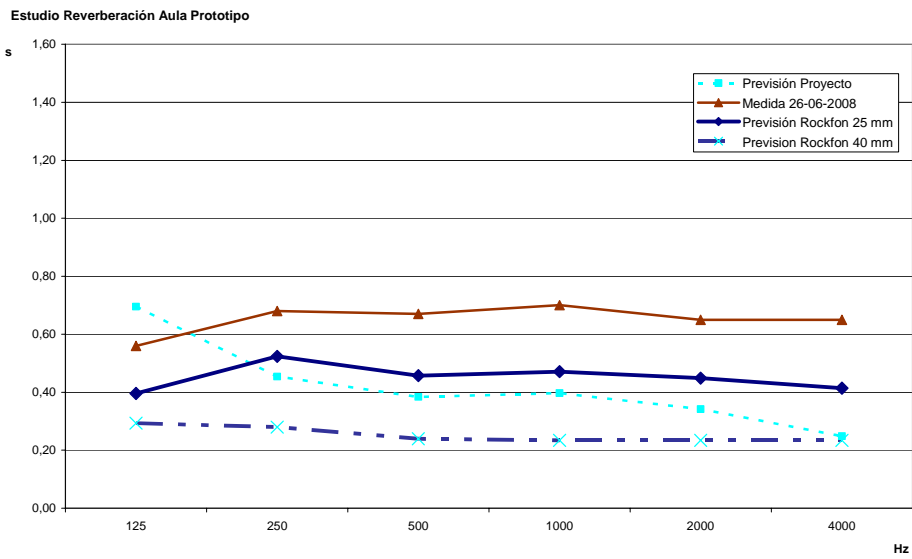


Figura 8 Previsión Final Curva Tonal Aula Tipo

Una vez instalado el techo correspondiente al acondicionamiento se procedió a realizar una sesión de medidas de control sobre su efectividad. La curva tonal resultante se muestra a continuación.

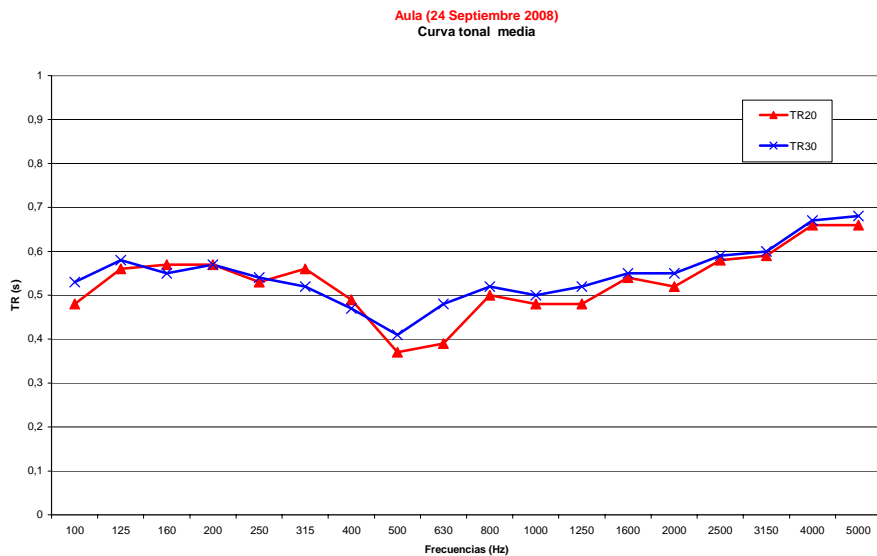


Figura 9 Curva Tonal Final Aula Tipo

Los resultados finales muestran unos resultados uniformes en frecuencias pero con un ligero incremento en frecuencias altas. Antes de tomar las medidas correctoras correspondientes basadas en aumentar la absorción porosa en los cerramientos verticales y con el objetivo de controlar las desviaciones en el presupuesto de ejecución material se realizó la audición subjetiva.

5.3 Programa de pruebas subjetivas.

De las aportaciones de los directores de los distintos conjuntos instrumentales, profesores e instrumentistas presentes en la audición se desprende que la variación en frecuencias altas no es perceptible por los profesionales con oídos expertos. Por lo que opción de aumentar la absorción en el aula fue desestimada. Junto con esta primera audición están programadas dos sesiones más para ajustar la sala de percusión y la sala de audición.

Por parte de los miembros de la Sociedad Musical ha sido muy bien acogida esta iniciativa ya que la percepción musical tiene un componente.

6. Conclusiones.

En el marco edificatorio y normativo en el que nos situamos los aspectos relacionados con la acústica cobran una significación especial. Esta puesta en valor de la Acústica Arquitectónica no se circunscribe exclusivamente a programas terciarios con usos musicales, el sector residencial presenta problemáticas similares así como un interés creciente.

Resulta fundamental sistematizar el control acústico en la ejecución.

El control acústico no se debe limitar exclusivamente a las mediciones al finalizar la obra, ya que no permiten libertad para mejorar el confort acústico. La incorporación de visitas periódicas así como una preocupación sobre las opiniones subjetivas de los usuarios resulta fundamental de cara a lograr una mayor eficiencia.

En el caso estudiado, la aplicación del protocolo ha permitido, ajustar las soluciones de aislamiento acústico y acondicionamiento. Estos ajustes de soluciones constructivas han implicado un ajuste presupuestario sin bajar las exigencias ni las condiciones de confort acústico percibidas.

Actualmente, estamos trabajando en los ajustes finales para lograr una adecuada afinación de la Sala de audición, ya que se dice que una sala es la última caja de resonancia de la música

Agradecimientos

Queremos mostrar nuestro agradecimiento por el apoyo prestado especialmente a D. Joaquin Martínez, Presidente de la Sociedad Musical Ateneo Musical del Puerto así como la paciencia mostrada durante la ejecución de la obra.

Agradecer a D. Jacobo Rangel, Arquitecto Técnico de la ejecución, las ganas de aprender y colaborar.

A la colaboración con el Arquitecto autor y director de las obras D. Jose Enrique Esteve

Por último a los responsables de la empresa Construcciones Mocholí

Corespondencia (Para más información contacte con):

Ignacio Guillén Guillamón.

ACARMA. Centro de Tecnologías Físicas: Acústica, Materiales y Astrofísica.

Universidad Politécnica de Valencia

Cº de Vera s/n 46021 Valencia

Phone: +34 3877522

Fax: + 34 963877525

E-mail : iguillen@fis.upv.es