

## SISTEMA DE ABSORCIÓN DE BAJA FRECUENCIA PARA EL TRATAMIENTO ACÚSTICO DE UNA SALA DE GRABACIÓN

REFERENCIA PACS: 43.55.-n

Ivana Rossell; Mònica Ramírez; Fabiola Ordoyo.  
Departamento de Acústica  
Ingeniería La Salle  
Universidad Ramon Llull  
Pg. Bonanova 8  
08022 Barcelona  
E-mail: [ivana@salleURL.edu](mailto:ivana@salleURL.edu)

### ABSTRACT

This paper is about the acoustical design of an audio recording room. The room to be treated has serious problems at low frequency. In order to improve its response an absorption system it's been applied. We have implemented a perforated panel based on Helmholtz resonators. This project explains how we analyzed the room, designed the absorption system and how we made the measurements to verify the results.

### INTRODUCCIÓN

El tratamiento acústico necesario para una sala de grabación precisa de unos requisitos fundamentales. Como rasgos generales debe conseguirse que el recinto sea neutro, el tiempo de reverberación moderado y la insonorización rigurosa. Estas tres características presentan muchas veces serias dificultades de no fácil solución, refiriéndonos sobre todo a la actuación sobre la baja frecuencia, la cual obliga a buscar soluciones poco probadas en la teoría y guiadas en gran parte por la propia experimentación.

La sala a tratar presenta un grave problema de mala distribución de modos propios provocando una enfatización en las frecuencias bajas. Esta situación inicial es solucionada con un sistema de resonadores que actuarán en los picos críticos uniformando el comportamiento en todo el margen frecuencial. En este artículo se presentará un estudio de la respuesta de la sala en diferentes puntos de medida con diferentes puntos de excitación antes y después de implementar el sistema obteniendo las conclusiones pertinentes.

### CARACTERÍSTICAS DE LA SALA

La sala a tratar está destinada a ser utilizada como sala de grabación musical. Las salas de grabación son recintos delicados desde el punto de vista acústico. Deben ser salas de respuesta plana, un poco vivas, y con una buena distribución de modos propios y reflexiones.



El recinto destinado a sala de grabación tiene un volumen de 95 m<sup>3</sup>, tiene dimensiones irregulares, es de gran altura y paredes y techo antiparalelos. El único tratamiento acústico que poseía eran unas cortinas de terciopelo que cubrían parte de sus paredes. Nuestro objetivo era acondicionarla con el fin de obtener una sala idónea para realizar grabaciones de calidad, aprovechando sus características y salvando sus deficiencias. Pero era precisamente debido a ellas por lo que la sala presentaba un problema muy importante en las bajas frecuencias, que se manifestaba como una “pelota de graves” que permanecía varios segundos en ella al excitar esta parte del espectro. Podemos observar este fenómeno en los valores del TR60 obtenidos previamente al montaje del resonador. El tiempo de reverberación filtrando en bandas de octava presentaba valores de hasta 6 segundos cerca de los 100 Hz, dobles pendientes y largos tiempos de reverberación en las bandas de 250 y 500 Hz y cerca de un segundo en las bandas más altas, hasta 4 KHz. Estos resultados verificaban la mala acústica de la sala y los problemas que tenía. También se realizó una simulación con un programa de acústica de recintos y si bien no teníamos información suficiente para analizar la sala daba una idea de cómo era ésta obteniendo unos valores de tiempo de reverberación algo alejados de la realidad. La divergencia entre los resultados de las simulaciones y cálculos teóricos y la realidad, aparece precisamente en este tipo de salas; en lugares irregulares con pésimas distribuciones de modos propios y comportamientos “fuera de lo normal”.

Posteriormente se comprobó, con la medidas realizadas, que efectivamente, la sala presentaba una muy mala distribución de propios presentando picos muy pronunciados a las frecuencias de 36 Hz y 62Hz y 72 Hz. Es por ello que se decidió construir un sistema de absorción de baja frecuencia que absorbiera la energía enfatizada en estas bandas frecuenciales.

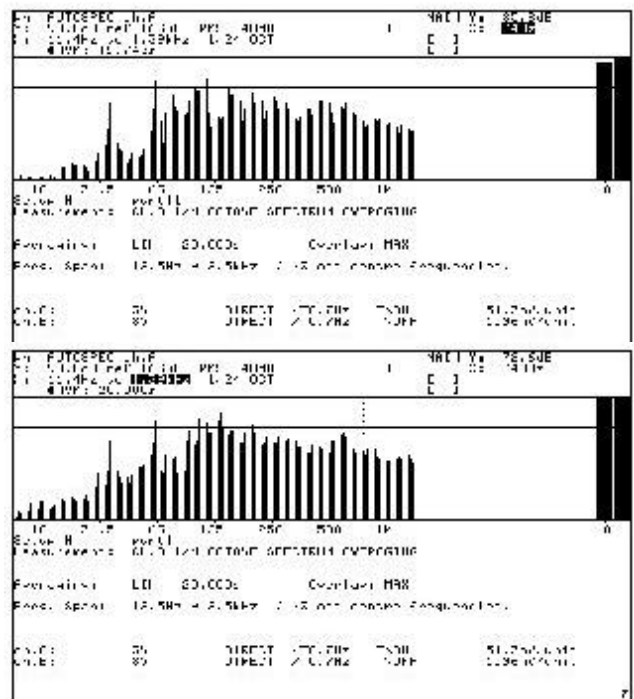
## PRIMERAS MEDIDAS

Previamente a la construcción del resonador se procedió a buscar su óptima ubicación, buscando los puntos de máxima presión de los modos propios. Para tal efecto se analizaron un total de 34 puntos, distanciados 50cm entre si, a 10cm de las paredes y a 1m de altura, con la fuente en el centro de la sala emitiendo ruido rosa. Se buscaron puntos próximos a las paredes ya que allí se encuentran los valores de presión sonora máximos.

Se registraron estas medidas en DAT y, posteriormente fueron analizadas con el analizador de espectros 2035 de Bruel & Kjaer.

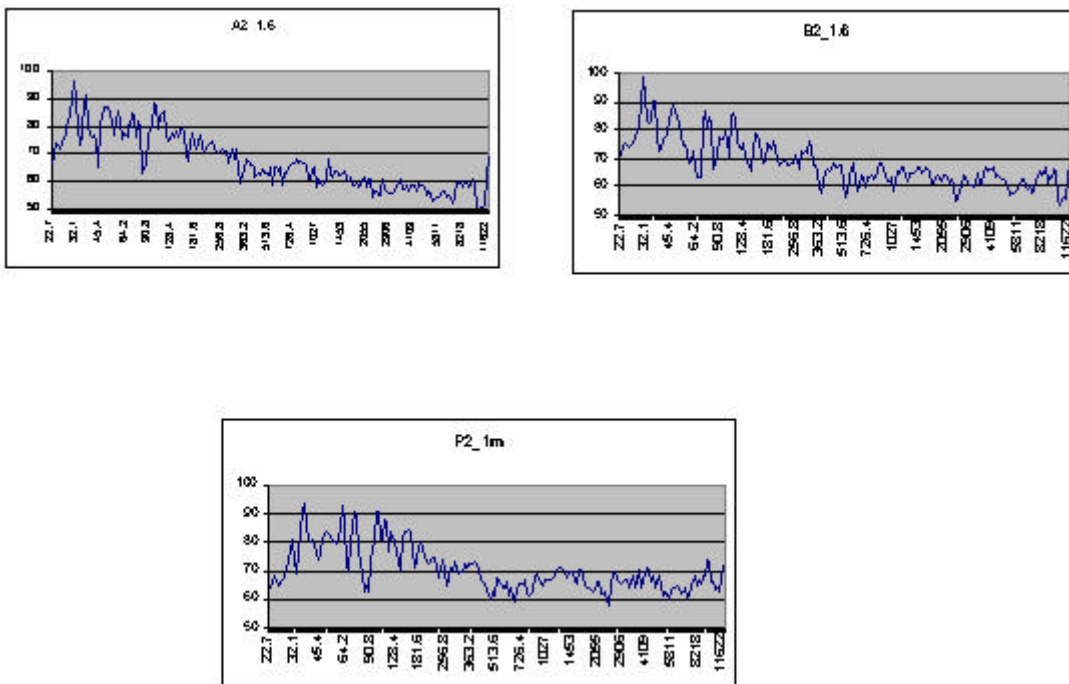
Algunos de los puntos que fueron analizados pueden verse en las siguientes gráficas correspondientes al punto 1 de medida y al punto 24:

Como se aprecia en el espectro mostrado los picos a 36 Hz, 62 Hz y 72 Hz sobresalen significativamente por encima del resto de frecuencias. Debemos tener en cuenta que la respuesta del altavoz utilizado para las medidas tienen un frecuencia de corte hacia los 100 Hz, por lo que estos picos, en realidad son



mayores de lo que aparecen en relación con todo el espectro. Más adelante mostraremos unas gráficas con la respuesta del transductor eliminada que nos permitirán poder establecer una comparación energética directa.

Después de estas medidas se optó por obtener una representación del comportamiento de toda la sala y se analizaron 15 puntos distribuidos a lo largo de ésta. Se escogieron 3 posiciones para la fuente de excitación y dos alturas diferentes para los puntos receptores. De esta forma veíamos como variaba el comportamiento de la sala en función de la posición de recepción y el punto de excitación. Algunos de los resultados obtenidos pueden verse en las siguientes gráficas:



En estos gráficos, esta vez con la respuesta del altavoz corregida, muestran las diferentes espectros obtenidos en un mismo punto excitando en tres posiciones diferentes; en el centro de la sala, y cerca de dos esquinas opuestas. Si bien los resultados difieren un poco, la enfatización en los puntos citados anteriormente aparece de forma clara y la enfatización en lo que se refiere a todo el espectro de baja frecuencia también resalta con respecto a todo el margen frecuencial analizado.

## DISEÑO DEL SISTEMA DE ABSORCIÓN

Para solucionar el problema de la sala, se optó por construir un resonador de Helmholtz en forma de placa perforada creando una cavidad con la pared. Antes de hablar de nuestro sistema en concreto haremos una pequeña introducción a la teoría básica de este tipo de absorbentes.

### El resonador de Helmholtz

Un resonador de Helmholtz consiste en una cavidad de paredes rígidas que comunica con el exterior



por un conducto estrecho, en cuya boca inciden las ondas sonoras. El aire comprendido en el interior actúa como elemento de rigidez, el aire del cuello como masa acústica y el aire que rodea el resonador, donde se disipa el sonido, se comporta como un elemento de resistencia.

En este sistema se consume energía para vencer las fricciones que se oponen al movimiento de la masa de aire en el cuello del resonador. La energía sonora se transforma en cinética al mover la masa, produciendo calor al friccionarse ésta contra las paredes del sistema. Para la frecuencia propia de resonancia del sistema el movimiento de la masa es máximo, y, por tanto, también lo será la absorción de energía sonora. No podemos olvidar que todo esto ocurre cuando cualquiera de las dimensiones del sistema es menor a la longitud de onda a la que está sintonizado.

La frecuencia de resonancia se puede calcular mediante la expresión:

$$f_{res} = \frac{c}{2p} \sqrt{\frac{S}{L' \cdot V}} = 5400 \sqrt{\frac{C}{V}} \text{ Hz}$$

$$C = \frac{S}{L + 0,8 \cdot d}$$

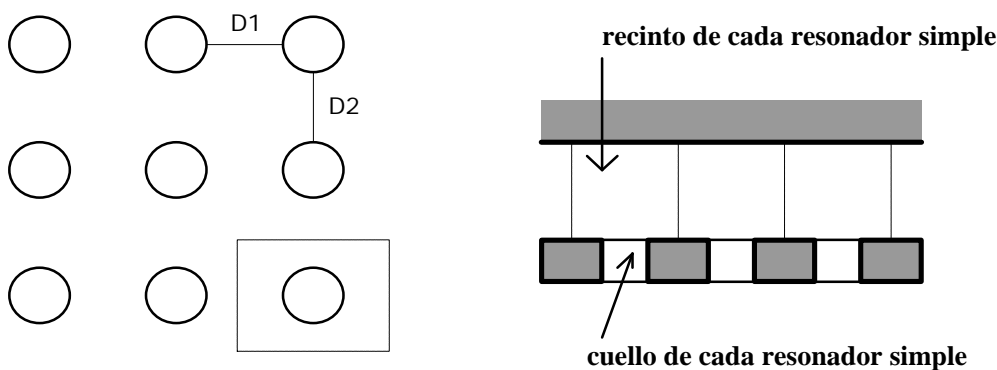
donde:

- C = conductividad
- c = velocidad del sonido (cm/seg)
- S = sección del cuello (cm<sup>2</sup>)
- L = longitud del cuello (cm)
- d = diámetro boca
- V = volumen de la cavidad (cm<sup>3</sup>).

### Resonador de Helmholtz de panel perforado o resonador acoplado

Se llama resonador acoplado a un conjunto de resonadores simples de volumen compartido. La frecuencia de resonancia se puede calcular de manera análoga a la de un resonador simple, pero ahora V representa el volumen en cm<sup>3</sup> correspondiente a cada perforación.

Acústicamente la longitud del cuello de la boca es mayor que sus dimensiones físicas, es por esto que se le aplica un factor de corrección que dependerá del radio de la apertura i de la terminación del cuello con el espacio exterior.



En el caso visto en el ejemplo y implantado en nuestra sala, la corrección será de 1.7 veces el radio de



la boca; valor a añadir a la longitud real del cuello (grosor de la placa en este caso).

El porcentaje de perforación se calcula con la expresión siguiente:

$$P = \frac{S_{\text{boca}}}{D_1 \cdot D_2} \times 100$$

El valor obtenido es 1.4%.

Puede conseguirse un aumento o disminución de la frecuencia de resonancia mediante la variación de los anteriores parámetros. Podríamos elevarla, por ejemplo, incrementando el porcentaje de perforación, disminuyendo el volumen de aire o utilizando paneles más estrechos. Se ha de tener en cuenta, no obstante, que la frecuencia calculada se trata de una aproximación, si bien se aproxima bastante a la realidad.

Las perforaciones pueden ser redondas, cuadradas o rectangulares. Con este sistema de resonadores puede alcanzarse el máximo coeficiente de absorción para cualquier frecuencia elegida.

-Dimensiones del resonador empleado:

En nuestro caso decidimos utilizar placas de madera conglomerada de 1,22 por 2,44 m de altura, separadas de la pared 18cm. Se realizaron perforaciones de 4cm de diámetro, separadas 30cm entre sí. Además se decidió añadir lana de roca en la cavidad para ensanchar la banda del pico de resonancia (disminuir la Q) y así abarcar también las frecuencias próximas a las más problemáticas.

Altura panel (cm)	244	
Amplitud panel (cm)	122	
Distancia a la pared (cm)	18	
Volumen	535824	
Nº perforaciones	32	
V de cada resonador simple	16744,5	
Diámetro agujero (cm)	4	
Distancia entre agujeros (cm)	30	
Longitud cuello (cm)	1,8	15
Conductividad	2,513274	0,690459
% perforación	1,396263	
<b>F resonancia (Hz)</b>	<b>66,15727</b>	<b>34,67583</b>

El panel resonador ha sido diseñado de tal forma que es capaz de absorber las 2 frecuencias ya que hemos situado el pico de resonancia entre los dos modos problemáticos. El sistema ha sido diseñado de tal forma para que pueda absorber, si se desea, el pico de 36 Hz añadiendo masa al sistema; es decir, insertando unos tubos de 15 cm de longitud en la boca de los resonadores.

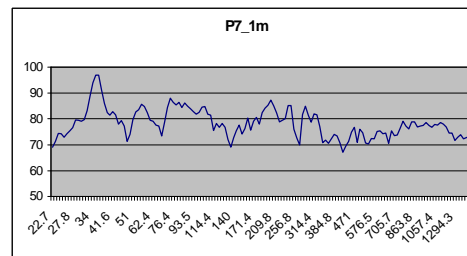
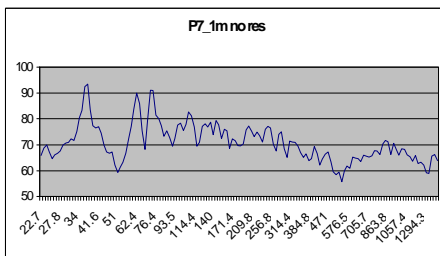
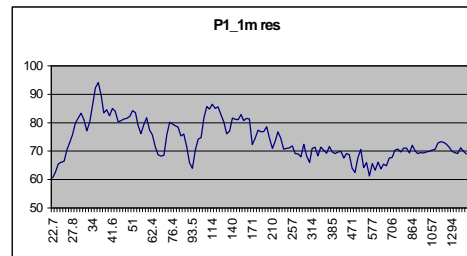
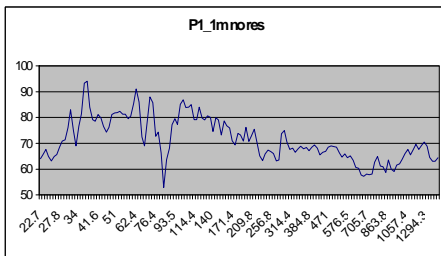
## RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez montado el resonador en la sala se procedió a observar las variaciones obtenidas en la respuesta frecuencial, en la que se observa una disminución importante en la zona de los 66 Hz. En estos momentos no están colocados los tubos y es por esto que no se aprecia una bajada significativa en la zona de los 36 Hz.

Tampoco se aprecia el fenómeno de “pelota de graves” comentado al inicio de este trabajo,



permaneciendo únicamente una reverberación superior a la deseada, en todo caso, que es reducible mediante tratamiento acústico convencional.



Los resultados conseguidos por el sistema pueden observarse en este grupo de figuras. Los gráficos de la izquierda corresponden a la respuesta estacionaria de la sala antes de la implementación del sistema, las gráficas de la derecha muestran la respuesta en los mismos puntos de medida, corregida por nuestro sistema de absorción. Vemos como desaparecen los picos de 62 y 72 Hz y se suavizan las diferencias en la parte baja del espectro.

## CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS

Como conclusión a nuestro trabajo queremos remarcar la importancia de la experimentación en el campo de la absorción de baja frecuencia. Si bien la sintonización de los resonadores es algo bastante controlable siguiendo las pautas teóricas y sus restricciones; la absorción generada por un sistema de estas características y su prevención antes de su montaje es algo difícil de determinar. Estamos comprobando los resultados con posibles predicciones según la teoría estadística y determinar su validez o su aproximación con respecto a los montajes reales. Queremos sintonizar parte de los paneles a 36 Hz, experimentar el cambio que produce y el comportamiento del sistema en general al convertir el panel en un multiresonador. También modificaremos la sala con el fin de proporcionar reflexiones más idóneas para las grabaciones y instalaremos bareras acústicas para cuando se realicen grabaciones de varios instrumentos simultáneamente.

## BIBLIOGRAFÍA

Pérez Miñana, J. *“Compendio práctico de acústica”*. Editorial Labor. Barcelona, 1969.

Recuero López, M. *“Características acústicas de recintos para grabación sonora”*. Instituto oficial radio y televisión. Madrid, 1984.



Bartí, R. *“Apuntes de acústica de recintos”*.

Di Marco, Silvia. Baschuk, B.J. *“Manual de acústica para arquitectos”*. Espacio editora. Buenos aires.

Varios autores. *“Handbook for sound engineers. The new audio cyclopedia”*. Second edition. Editorial SAMS, 1991.

Heinrich Kuttruff, *Room Acoustics*,  
Applied Science Publishers LTD 1979, England.

M. David Egan , *Architectural acoustics*  
*McGraw-Hill, Inc. 1998, USA.*

