

## **CARACTERIZACIÓN ACÚSTICA DE RESONADORES DE HELMHOLTZ**

REFERENCIA PACS: 43.55.Ev

Ivana Rossell Turrull  
Departament d'Acústica, Enginyeria La Salle, Universitat Ramon Llull  
Pg Bonanova, 8  
08022 Barcelona. España  
Tel: 34 932 902 400 (ext. 202)  
Fax: 34 932 902 416  
E-Mail: ivana@salleurl.edu

### **ABSTRACT**

In this paper we study Helmholtz resonators used as low frequency absorbers in architectural acoustics. We have contrasted theoretical predictions in front practical results with some experiments analyzed in the laboratory. This experience will show what we can control and predict using these elements.

### **RESUMEN**

En este trabajo se ha intentado realizar un estudio práctico y detallado sobre la aplicación de los resonadores de Helmholtz en acústica de salas. Con los datos obtenidos se pretenden contrastar las expresiones teóricas con las implementaciones reales a fin de mejorar la predicción del comportamiento de estos elementos.

### **INTRODUCCIÓN TEÓRICA**

Ya advierte la bibliografía especializada en temas de absorción de baja frecuencia, que la mayor ayuda para el tratamiento acústico con elementos resonadores es la propia experimentación.

Las expresiones teóricas informan acerca del comportamiento del conjunto resonador; y, ateniéndose a ciertas restricciones, la formulación acierta en la frecuencia de sintonía del sistema pero flaquea en las previsiones de absorción.

Recordemos las principales fórmulas que modelan el funcionamiento de un resonador de Helmholtz así como las limitaciones de cada una.

### Frecuencia de resonancia

La frecuencia de resonancia de un resonador de Helmholtz puede obtenerse con la expresión  $f_0 = \frac{c}{2p} \sqrt{\frac{S}{L'V}}$ , donde  $S$  constituye la boca del resonador,  $L'$  la longitud efectiva del cuello y  $V$  el volumen que encierran las paredes de la cavidad. La fórmula anterior adquiere validez bajo restricciones de dimensionado y proporcionalidad, relacionando el cambio de sección de la boca a la sección de la cavidad, la longitud del cuello con la del volumen encerrado y las dimensiones del sistema con la longitud de onda de la frecuencia de resonancia.

### Ancho de banda

Un resonador de Helmholtz tiene un ancho de banda limitado a pocos hercios alrededor de la frecuencia de sintonía. La expresión adopta la forma:

$$Q = \frac{p}{V} \left( \frac{c}{w_0} \right)^3$$

Se advierte del cambio en el ancho de banda y de la disminución de la eficacia del resonador con la introducción, en la cavidad de éste, de material absorbente poroso, pero, ¿en qué medida varían los parámetros antes mencionados? Poca bibliografía completa el caso de sistemas con pérdidas.

### Absorción

La absorción de un resonador de Helmholtz es quizás el apartado más abandonado por la teoría y más necesitado en los casos prácticos. Si bien el ajuste de la frecuencia de resonancia es un hecho sin problemas, la predicción de la cantidad de absorción constituye un tema poco claro. Existe formulación para la absorción de un resonador individual en su frecuencia de resonancia y también para todo el margen, pero debemos remarcar su "validez" únicamente para el caso de un resonador aislado, cosa que en un tratamiento real no encontramos nunca. Así, la predicción de absorción para un conjunto de resonadores de Helmholtz (resonadores individuales no independientes), se hace casi imposible.

La fórmula que se encuentra para la absorción de un resonador es la siguiente:

$$A_{max} = \frac{I^2}{2p} \quad A(w) = \frac{A_{max}}{1 + Q_A^2 \left( \left( \frac{w}{w_0} \right) - \left( \frac{w_0}{w} \right) \right)^2}$$

La absorción máxima,  $A_{max}$ , usada algunas veces en trabajos teóricos, responde a la expresión mostrada para los casos en que la resistencia de fricción del resonador se iguala a la resistencia de radiación del mismo; para resonadores totalmente adaptados al medio [Kuttruff]. Muchas veces se usan aproximaciones de la fórmula cambiando el denominador por  $3.5\pi$  o  $4\pi$ .

### CASOS PRÁCTICOS

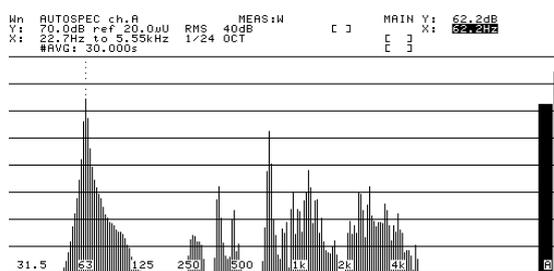
Para estudiar el comportamiento de los resonadores de Helmholtz se han analizado en el laboratorio diferentes montajes realizando medidas en cámara anecoica y reverberante.

**MEDIDAS EN CÁMARA ANECOICA**

En la cámara anecoica se midió la frecuencia de resonancia, el ancho de banda de los resonadores construidos y la variación de ambos parámetros cuando se introducían pérdidas en el sistema.

**Medida de la  $f_0$**

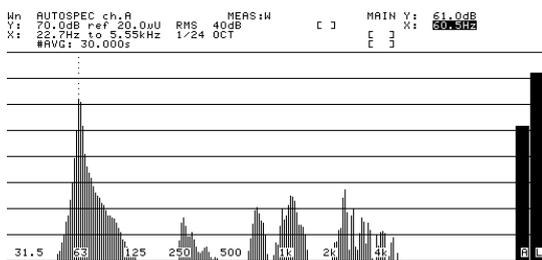
La frecuencia de resonancia se obtuvo excitando con ruido rosa en el exterior del resonador y obteniendo el espectro de la excitación en el interior de su cavidad. Los resultados obtenidos convergen a una buena previsión teórica de la frecuencia de resonancia cuando las restricciones de dimensionado y proporcionalidad son respetadas.



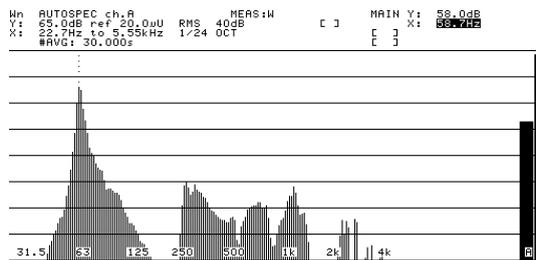
17

En las figuras anteriores mostramos uno de los resonadores analizados y la medida de su frecuencia de resonancia. Para este caso, la frecuencia teórica predecía 59.42 Hz y la frecuencia real ha resultado de 62.2 Hz. Las medidas realizadas en los 15 sistemas analizados han presentado variaciones relativas máximas del 5%.

**Medida de un sistema con pérdidas**



17

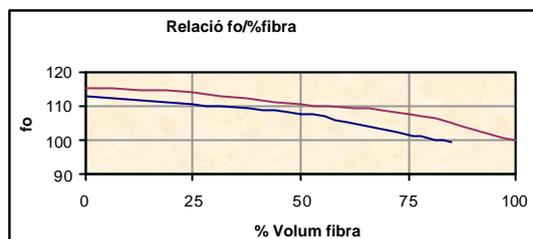
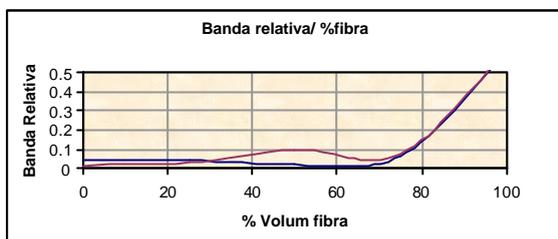


17

Para el caso del resonador presentado anteriormente, al añadir material absorbente en el volumen encerrado, la frecuencia de resonancia varía disminuyendo, hasta los 60.5 Hz para un 40% de fibra de vidrio en la cavidad y hasta 58.7Hz para un 70% de fibra en un segundo caso. El material absorbente también contribuye a reducir el nivel de las frecuencias propias de la cavidad del resonador así como a disminuir la energía del pico de la resonancia.

La variación del ancho de banda es visible pero éste se extiende, en muchos casos, por debajo del ancho definido a -3dB.

A continuación se muestran, para diferentes experimentos, las variaciones en la frecuencia de resonancia y en el ancho de banda relativo según el porcentaje de volumen ocupado por material absorbente.



Como se aprecia en la gráfica, la frecuencia de sintonía disminuye debido al material absorbente asociando el fenómeno a un aumento virtual del volumen del resonador. Los datos obtenidos coinciden con los resultados de *Beranek* llegando a una reducción máxima de la  $f_0$  de un 85%.

## MEDIDAS EN CÁMARA REVERBERANTE

### Medida de la absorción

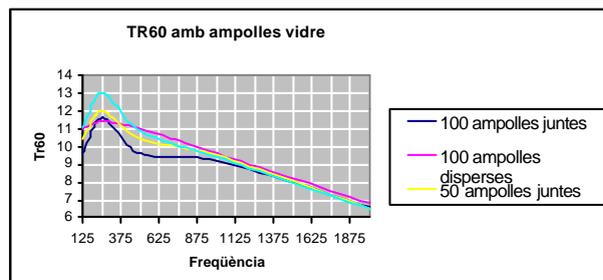


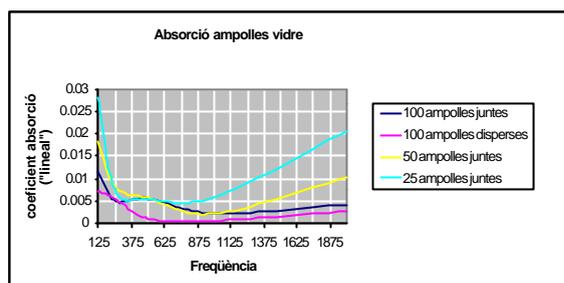
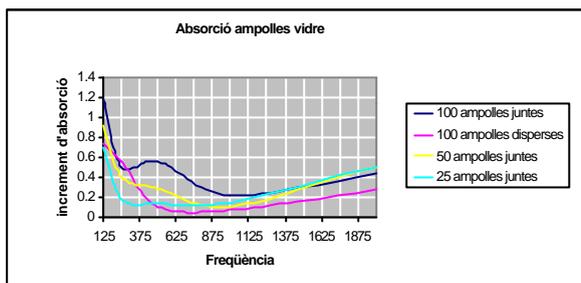
Para los ensayos de coeficiente de absorción se midieron dos conjuntos de resonadores. Uno de ellos formado por botellas ( $f_0$  de 116 Hz) y realizando medidas con grupos de 25, 50 y 100 resonadores. Un segundo sistema se observa en la fotografía superior y se basa en un conjunto de 8 resonadores de madera sintonizados a 90.5Hz.

Los resultados obtenidos se muestran en los gráficos siguientes. Para la obtención del incremento de absorción se aplicó la Normativa ISO 354 para el cálculo del coeficiente de absorción en cámara reverberante.

#### Características resonadores:

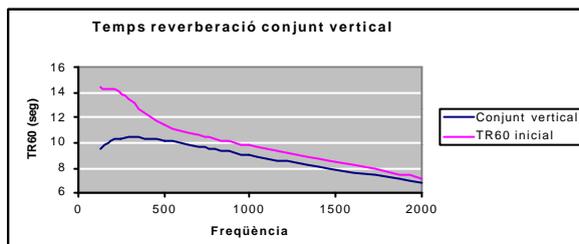
Diámetro de la boca	1.9 cm
Longitud del cuello	7 cm
Longitud corregida	8.3 cm
Volumen	750 ml
Frec. Resonancia	115.96 Hz
Longitud de onda	2.97 m



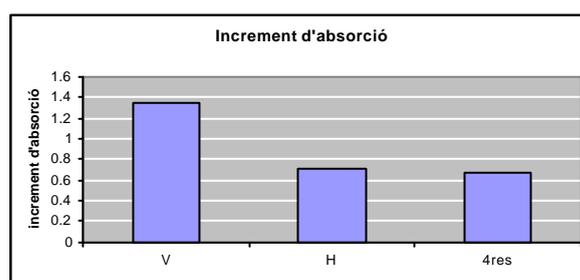
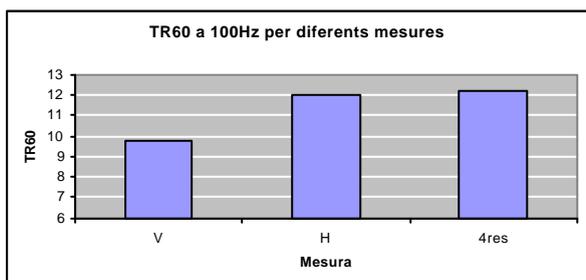


Apreciamos en los la variación del incremento de absorción en función del número de resonadores y de la colocación de éstos. Este incremento, evidentemente, no es lineal con el número de elementos absorbentes y por tanto es imposible extrapolar un coeficiente de absorción para un único resonador. La absorción proporcionada por el conjunto de 100 botellas es considerable, rebajando el tiempo de reverberación de la sala de 15 segundos a 9.6 segundos en la banda de 125Hz.

Los datos conseguidos con el conjunto de 8 resonadors se muestran a continuación.



En el gráfico anterior se representa la curva tonal de la cámara reverberante vacía (línea rosa) y la curva tonal después de colocar en medio de la cámara el conjunto resonador en posición vertical (línea azul).



Estos dos gráficos representan la variación del TR60 y del incremento de absorción en función de la posición del conjunto de resonadores (posición horizontal y posición vertical) y el incremento de absorción provocado por sólo 4 resonadores del conjunto, invalidando los 4 restantes. Como se observa en los resultados obtenidos, el resonador colocado en posición vertical presenta el máximo incremento de absorción mientras que en posición horizontal la absorción disminuye acercándose al caso de los 4 resonadores.

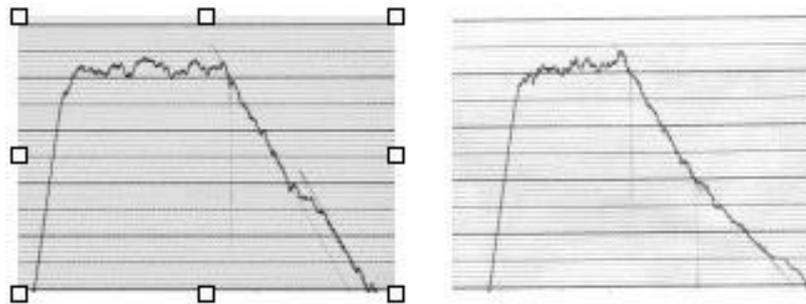
Es interesante destacar que la cantidad de absorción que se obtuvo con estos 8 resonadores sintonizados a 90.5Hz, fue la misma que la obtenida por los 100 resonadores del experimento anterior, sintonizados a 116 Hz. Este resultado confirma, como anunciaba la

formulación presentada en la introducción teórica, la dependencia de la absorción con la longitud de onda de la frecuencia de resonancia.

### Efectos secundarios

Otros efectos previsibles medidos en algunos casos prácticos, son la actuación de estos elementos resonadores en el campo sonoro que los rodea. El sistema resonador, no sólo provoca una absorción determinada sino que puede contribuir a aumentar la difusión del campo acústico de su alrededor gracias a la reradiación de energía que se produce a través de la boca del mismo.

En cámara reverberante y en ambiente anecoico se han medido estos efectos apareciendo en los espectros de la señal captada en la zona que envuelve el resonador, o en las gráficas de tiempo de reverberación. En este último caso, la actuación del resonador aparecía creando una doble pendiente en la caída de la energía o creando un pico energético que provocaba una discontinuidad en la curva.



### CONCLUSIONES

La frecuencia de sintonía de los resonadores construídos se calcula con exactitud con la ayuda de la formulación existente. Se debe tener en cuenta la disminución de esta frecuencia, hasta un 85%, cuando se añade material absorbente en la cavidad del resonador y la variación del comportamiento cuando no se respetan las condiciones de dimensionado.

La absorción de estos elementos puede llegar a ser elevada y aumenta con la longitud de onda de la frecuencia de resonancia. La fórmula de absorción para el caso de un resonador aislado no sirve en implementaciones reales.

La colocación en la sala del sistema resonante así como su posición, pueden influir de forma considerable en la absorción del sistema. Es máximamente eficaz la colocación de estos absorbentes en los lugares de máximos de presión.

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Room Acoustics*, Heinrich Kuttruff
- [2] *Principles and Applications of Room Acoustics Volume 1 y 2*, L.Cremer, H. Müller
- [3] *Acústica de Recintos. Ingeniería La Salle*. Robert Barti
- [4] *Master Handbook of Acoustics*.