

CIRCUITO EQUIVALENTE Y PREVISION DE LA ABSORCION EN RESONADORES H

A. Moreno, F. Simón, C. de la Colina, P. T. Sanz

Instituto de Acústica, CSIC
Calle Serrano, 144
28006 Madrid

INTRODUCCION

La asociación de resonadores del tipo H produce elementos también resonantes con características que difieren de las de los elementos componentes. Las amplias posibilidades de los resultados obtenibles, hacen el tema del máximo interés desde el punto de vista de productos comerciales y una variante próxima, los paneles perforados, constituye uno de los productos más ampliamente difundidos en el mercado. Interesa explorar las posibilidades reales de la asociación de estos elementos, a efectos de diseño, para poder obtener en cada caso el producto que mejor se acomoda a una necesidad concreta. A este fin es necesario poder predecir los elementos característicos de las curvas de absorción acústica como son las frecuencias de resonancia, los valores máximos de la absorción en cada una de las resonancias y la anchura de éstas [1].

El planteamiento analítico de estas asociaciones suele resultar extremadamente complejo a la par que requiere el conocimiento de los factores de acople [2], que debe hacerse por otros métodos o por vía experimental, lo cual por su laboriosidad conduce a situaciones poco prácticas en diseño.

En este trabajo presentamos un método de previsión basado en el circuito equivalente de los resonadores H. Partiendo del caso más sencillo correspondiente a resonadores aislados, validado en otros trabajos [3], se profundiza en los circuitos equivalentes correspondientes a las tipologías de asociaciones posibles, ampliando y perfeccionando los modelos anteriormente propuestos por otros autores [4], e indicando los rangos de validez de la aproximación. Se usa como patrón de calidad la comparación de los resultados del modelo predictivo con los resultados experimentales obtenidos en un tubo de ondas estacionarias.

CARACTERISTICAS DEL CIRCUITO EQUIVALENTE

Resonadores aislados. Investigaciones anteriores [1],[3],[4], confirman la validez de modelar el comportamiento acústico de un resonador H, mediante un "circuito eléctrico equivalente". Es un circuito resonante serie, cuya impedancia tiene la expresión habitual $Z = R + j(L\omega - 1/C\omega)$ en donde los valores R , C y L , que se calculan mediante las expresiones

$$L = (l + 1.6a) / c\sigma ; C = \sigma l^3 / \pi c a^2 ; R = B(l + a) \sqrt{f / a\sigma}$$

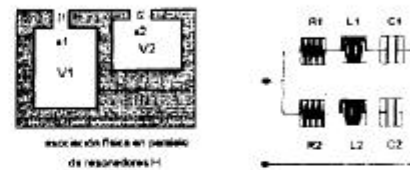
donde c es la velocidad del sonido, σ la relación de perforación [5], l la longitud del cuello, a el radio de éste y B una constante que vale $1.64 \cdot 10^{-4}$ cuando las dimensiones se expresan en metros [3].

La frecuencia de resonancia vale $f_0 = 1 / (2\pi \sqrt{LC})$; la absorción máxima $\alpha_{m\acute{a}x} = 4R / (1 + R)^2$, y el factor de calidad para el coeficiente de absorción $Q = \sqrt{L} / ((1 + R) \sqrt{C})$.

El modelo del circuito eléctrico equivalente aporta un elemento de predicción muy importante: la posibilidad de prever la curva completa de absorción, que debería ser válida no solo para un resonador aislado sino también para cualquier asociación de resonadores. Se fundamenta en la relación teórica entre el coeficiente de absorción y la impedancia acústica a incidencia normal: $\alpha = 1 - |(Z - 1) / (Z + 1)|^2$

Asociación de resonadores en paralelo. Corresponden a resonadores yuxtapuestos de modo que las entradas a los cuellos sean directamente accesibles desde el campo acústico incidente.

La figura indica este tipo de asociación, para dos resonadores, tanto desde el punto de vista físico como de su circuito equivalente.



La impedancia se calcula por las reglas usuales de la teoría de circuitos.

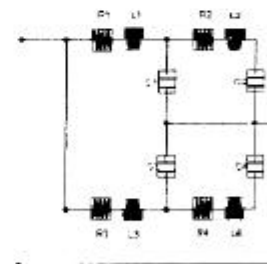
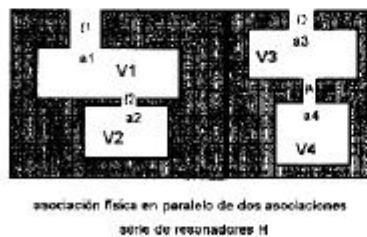
Asociación de resonadores en serie (ladder o en escalera). La asociación física de dos resonadores en serie y el circuito equivalente correspondiente se indica en la figura.



La impedancia se calcula por las reglas usuales de la teoría de circuitos.

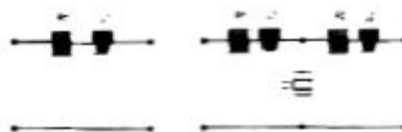
Para asociaciones de más de dos circuitos equivalentes se puede calcular la impedancia resultante aplicando reiteradamente las relaciones anteriores por parejas de circuitos.

Asociaciones serie-paralelo. Desde el punto de vista práctico casi siempre será mejor opción que las anteriores para obtener una curva de absorción que cubra una banda ancha de frecuencias. Aplicando reiteradamente las reglas anteriores se pueden encontrar las impedancias correspondientes.



Asociaciones híbridas (conexiones de escaleras). Otro tipo de asociación posible consiste en puentear asociaciones en paralelo de escaleras, mediante un cuello o mediante resonadores completos.

Los elementos de circuito equivalente de estas partes de puenteo entre escaleras, en los puntos de conexión de los condensadores, se muestran en la figura para un cuello y para un cuello mas un resonador completo.



CONTRASTACION EXPERIMENTAL

Reproducimos a continuación dos ejemplos, comparando los resultados predictivos obtenidos con el modelo del circuito equivalente expuesto, con los resultados experimentales obtenidos en un tubo de ondas estacionarias de 100 mm de diámetro, ($\sigma = (a/50)^2$). Estos ejemplos combinan asociaciones en serie y paralelo por lo cual representan ya un alto grado de complejidad, adecuado a una contrastación bastante completa del modelo predictivo. En [3] pueden verse ejemplos que incluyen resultados comparativos en asociaciones mas sencillas.

Ejemplo 1. Consideremos los dos resonadores definidos en la Tabla 1.1. Con estos valores nominales se construyó una asociación en serie. Semejantemente en la Tabla 1.2, se dan los valores nominales de tres resonadores, con los que se realizó también una asociación en serie.

Tabla 1.1

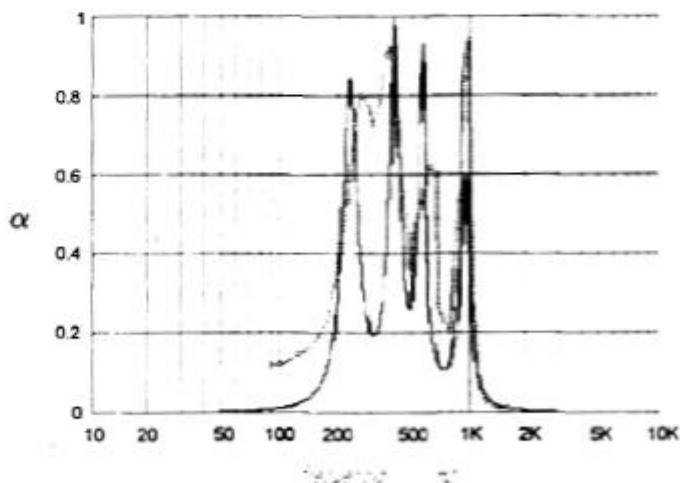
l (mm)	a (mm)	V (cm ³)
7.36	4.5	61.8
5	9.5	61.8

Tabla 1.2

l (mm)	a (mm)	V (cm ³)
7.5	3	61.8
7.36	4.5	61.8
5	9.5	61.8

Los valores de ambos conjuntos se han elegido para poder configurar una asociación en paralelo de las dos asociaciones en serie, fácilmente realizable desde el punto de vista constructivo en base a un ladrillo cerámico de hueco doble. Esto implica igualdad en las longitudes de los cuellos y en la profundidad de los volúmenes de los resonadores que ocupan el mismo orden en cada asociación. Las ondulaciones típicas de estos ladrillos en la cara produce cierta incertidumbre en la longitud del cuello de los primeros resonadores de cada serie.

La figura reproduce los resultados predictivos (trazo continuo). Se incluyen, en trazo discontinuo, los resultados experimentales correspondientes. Se observan discrepancias en los posicionamientos de las frecuencias de resonancia y de las absorciones en éstas, si bien la concordancia general en bastante buena. La evolución con la frecuencia del ancho de la curva de α es concordante en ambos casos y bien distinta de resultados de otros autores [4].



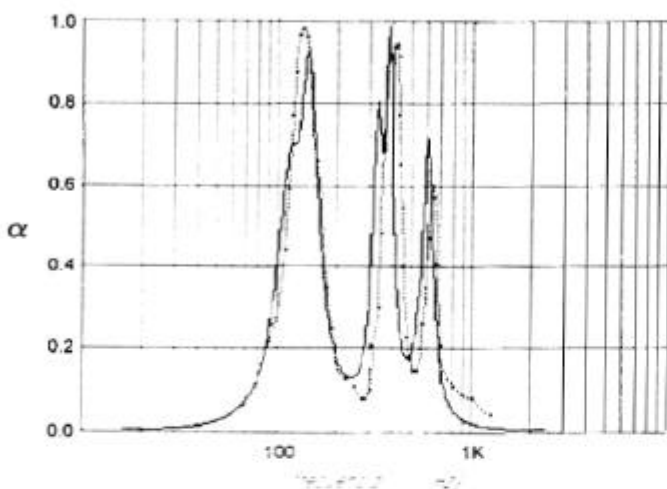
Ejemplo 2. Consideremos los resonadores definidos en las Tablas 2.1, y 2.2.

Tabla 2.1

l (mm)	a (mm)	V (cm ³)
17.5	3	149
18.7	4	89
6.8	9	119

Tabla 2.2

l (mm)	a (mm)	V (cm ³)
17.5	4	149
18.7	6	89
6.8	6	119



Como en el ejemplo anterior las dimensiones de cuellos y cavidades se han elegido de modo que con los resonadores de ambas tablas, se pueda configurar una asociación en paralelo de dos asociaciones en serie, de fácil construcción. En este segundo caso se mejoró la mecanización de los resonadores, realizados en PVC, consiguiendo una mejor aproximación a las características nominales.

La figura incluye los resultados del modelo predictivo, en trazo continuo, superpuestos a los resultados experimentales obtenidos en un tubo de Kundt, trazo discontinuo.

La concordancia de ambas series de resultados en las frecuencias de resonancia, absorciones máximas y anchura de las resonancias permite concluir en la gran calidad del modelo de predicción. No obstante están en curso trabajos para su optimización.

BIBLIOGRAFIA

[1] A. Moreno, C. de la Colina, F. Simón, *Término resistivo y absorción en resonadores H*. Resúmenes XXIV Biental RSEF, Vol I. (1993)

[2] E.G. Richardson, *Technical aspects of Sound*, Elsevier (1953), Vol I, Chap. 1

otros mas modernos, quizá el de Crighton, en sistemas acoplados

[3] A. Moreno, C. de la Colina, F. Simón, J. Pfitzschner, *Predictions of maximum absorption and resonance width in H's resonators*. FASE Symposium 1994.

[4] S. N. Rshvskin, *Hochfr. u. Electroak.* 67(1959)128, según menciona L.L. Cremer and H. A. Müller, *Principles and Applications of Room Acoustics*, Applied Sciences (1982). Vol 2, Chap.IV.9

[5] A. Moreno, C. de la Colina, *Elementos de Edificación Aislamiento Acústico*. Ed. Fundación E. de la Edificación. UNED. Madrid 1988

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el proyecto PB 91-0884 de la DGICYT