



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

FIA2008-A079

Interfaz gráfico de usuario para el diseño de absorbentes microperforados múltiples

Heidi Ruiz Villamil^(a),
Pedro Cobo Parra^(b).

Instituto de Acústica, CSIC, Serrano 144, 28006 Madrid, España.

(a) E-mail: heidiruizv@gmail.com.

(b) E-mail: pcobo@ia.cetef.csic.es.

Abstract

Microperforated panel (MPP) absorbers are systems which provide sound absorption without the need of using any porous or fibrous material. The absorption is yielded by visco-thermal losses inside sub-millimetric perforations carried out in a thin panel, in front of an impervious wall, with an air cavity between them. The absorption curve of these absorbers depends on several constitutive parameters, such as the thickness of the panel, the diameter of the perforations, the perforation ratio, and the air cavity thickness. Choosing properly these parameters, MPP absorbers can provide absorption in one or two octaves curve, centred at frequencies of interest in noise control applications. To widen the absorption curve, without decreasing the absorption peak, multiple layer MPP absorbers can be designed. Such a design depends on a lot of parameters. For instance, to design a triple-layer MPP absorber, 12 parameters need to be specified. To make easier the design of multiple-layer MPP absorbers, a Graphical User Interface (GUI) has been developed which allows choosing interactively the best combination of parameters. This paper presents the characteristics of this GUI and illustrates its application with some examples.

Resumen

Los absorbentes microperforados (MPP) son sistemas que proporcionan absorción sonora sin necesidad de usar ningún material poroso o fibroso. La absorción se produce por pérdidas visco-térmicas en una serie de perforaciones sub-milimétricas realizadas en un panel fino, enfrente de una pared rígida, con una cavidad de aire entre el panel y la pared. La curva de absorción de estos sistemas depende de una serie de parámetros, tales como el diámetro de las perforaciones, el espesor del panel, el porcentaje de perforación, y el espesor de la cavidad de aire. Eligiendo apropiadamente estos parámetros, se puede conseguir una curva de absorción de una o dos octavas, centrada en la banda de interés en aplicaciones de control del ruido. Para ensanchar la banda de absorción sin reducir el pico, se pueden diseñar absorbentes microperforados múltiples. El diseño de absorbentes microperforados múltiples depende de un gran número de parámetros. Por ejemplo, un absorbente microperforado triple requiere sintonizar 12 parámetros. Para facilitar esta tarea, se ha desarrollado una interfaz gráfica que permite elegir interactivamente los mejores parámetros del absorbente. En este trabajo presentamos las características de esta interfaz gráfica, e ilustramos su aplicación con algunos ejemplos.

1 Introducción

Los paneles microperforados (MPPs), propuestos por Maa (1987, 1998), surgieron como una buena alternativa a los materiales fibrosos para proporcionar absorción en aquellas situaciones donde el desprendimiento de partículas pueda producir intranquilidad. Por ejemplo, en hospitales, en la industria alimentaria, en cámaras limpias, etc. La gran ventaja de los MPPs es que son capaces de proporcionar absorción en una banda relativamente ancha sin necesidad de ningún material fibroso. Basta con que el sonido se propague a través de unos poros especialmente diseñados. La absorción en los poros se produce por pérdidas viscosas y térmicas.

El coeficiente de absorción en incidencia normal de un MPP depende de los parámetros (d, t, p, D, f) . Combinando adecuadamente los parámetros del sistema se pueden obtener curvas de absorción en una banda de más de dos octavas. Se puede incrementar la banda de absorción mediante absorbentes microperforados múltiples. Maa (1987) ya proponía el diseño de MPPs dobles. Lee y Swenson (1992) aplicaban el modelo de Maa para el diseño de MPPs compactos en el margen de frecuencias bajas. Lee y Kwon (2004) proponían recientemente un modelo de la matriz de transferencia que facilita la extensión de MPPs dobles a MPPs múltiples con más de dos capas. Esta extensión se puede hacer también mediante el método de las impedancias (Cobo *et al.*, 2008).

El diseño de absorbentes microperforados múltiples requiere el ajuste de un número elevado de parámetros (8 para MPPs dobles y 12 para MPPs triples). El objeto de este trabajo es la realización de una interfaz gráfica de usuario (GUI) que facilite el diseño interactivo de absorbentes microperforados múltiples. En la Sección 2 se describen las ecuaciones que rigen la curva de absorción de estos sistemas múltiples. En la Sección 3 se describen las características de la GUI desarrollada, ilustrándose su aplicación con algunos ejemplos.

2 Absorbentes microperforados

2.1 Absorbentes sencillos

La impedancia de un MPP es (Maa, 1998)

$$Z_m = \frac{\sqrt{2}\mu y}{pd} + \frac{ik\rho\omega}{p} \left\{ 0.85d + t \left[1 - \frac{2}{y\sqrt{-i}} \frac{J_1(y\sqrt{-i})}{J_0(y\sqrt{-i})} \right]^{-1} \right\}, \quad (1)$$

donde

$$y = d/d_v = d\sqrt{\rho\omega/4\mu}, \quad (2)$$

es el cociente entre el diámetro del tubo y el espesor de la capa límite viscosa, μ es el coeficiente de viscosidad del medio, ρ es la densidad, ω es la frecuencia angular, $k = \omega/c$ es el número de onda, d , t y p son el diámetro de la perforación, el espesor del panel y el porcentaje de perforación, respectivamente y J_0 , J_1 son las funciones de Bessel de primera clase de orden 0 y 1, respectivamente.

Un absorbente superficial proporciona una absorción alta cuando su impedancia está adaptada a la del medio, $Z_0 = \rho c$. Esto requiere una parte resistiva lo más próxima a Z_0 y una parte reactiva lo más próxima a cero. Eligiendo apropiadamente los parámetros del MPP (d, t, p) podemos hacer que la parte resistiva de la Ec. (1) se aproxime a Z_0 . Para reducir la parte reactiva de la Ec. (1), que es positiva, hay que introducir una impedancia compleja

negativa adicional. Esto se puede hacer con una cavidad. La impedancia de entrada a un sistema absorbente tal en incidencia normal es

$$Z_i = Z_m - jZ_0 \cot(kD), \quad (3)$$

siendo D el espesor de la cavidad. El coeficiente de absorción de un MPP en incidencia normal es

$$\alpha(f) = 1 - |R(f)|^2, \quad (4)$$

siendo

$$R(f) = \frac{Z_i(f) - Z_0}{Z_i(f) + Z_0} \quad (5)$$

el coeficiente de reflexión. En resumen, el coeficiente de absorción en incidencia normal de un MPP depende de los parámetros (d, t, p, D) y de la frecuencia.

Eligiendo apropiadamente estos parámetros se puede sintonizar la curva de absorción a una banda de frecuencias determinada. Por lo general, para diseñar un MPP en la banda de interés en aplicaciones de control de ruido, se requieren agujeros de diámetro submilimétrico en paneles también submilimétricos. Pfretzschner *et al.* (2006) proponían combinar dos paneles, uno de espesor milimétrico, denominado portante, y otro micrométrico, dando lugar a una Unidad Microperforada de Inserción (MIU). Las ecuaciones de diseño de un MIU son

$$Z_m = \frac{\sqrt{2}\mu y_1}{p_1 d_1} + \frac{ik\rho\omega}{p_1} \left\{ 0.85d_1 + t_1 \left[1 - \frac{2}{y_1\sqrt{-i}} \frac{J_1(y_1\sqrt{-i})}{J_0(y_1\sqrt{-i})} \right]^{-1} \right\}, \quad (6)$$

$$+ \frac{\sqrt{2}\mu y_2}{p_2 d_2} + \frac{ik\rho\omega}{p_2} \left\{ 0.85d_2 + t_2 \left[1 - \frac{2}{y_2\sqrt{-i}} \frac{J_1(y_2\sqrt{-i})}{J_0(y_2\sqrt{-i})} \right] \right\}$$

donde

$$y_{1,2} = d_{1,2} / d_v = d_{1,2} \sqrt{\rho\omega / 4\mu}, \quad (7)$$

y (d_1, t_1, p_1) y (d_2, t_2, p_2) son el diámetro de los agujeros, el espesor del panel y el porcentaje de perforación del panel portante y la malla micrométrica, respectivamente.

2.2 Absorbentes dobles

La Figura 1 muestra el esquema de un MPP doble en incidencia normal. La impedancia de entrada a este sistema es (Cobo *et al.*, 2008)

$$Z_i = Z_{m1} + Z_0 \frac{Z_2 \cos(kD_1) + iZ_0 \sin(kD_1)}{Z_0 \cos(kD_1) + iZ_2 \sin(kD_1)}, \quad (8)$$

donde

$$Z_2 = Z_{m2} - iZ_0 \cot(kD_2), \quad (9)$$

siendo Z_{m1} y Z_{m2} las impedancias de cada uno de los MPPs. Sustituyendo las Ecs. (8) y (9) en las Ecs. (4) y (5) se obtiene el coeficiente de absorción en incidencia normal a un MPP doble. Las ecuaciones para un MIU doble serían análogas, considerando que cada una de las impedancias Z_{m1} y Z_{m2} se compondrían a su vez de dos MPPs, el portante y la malla micrométrica.

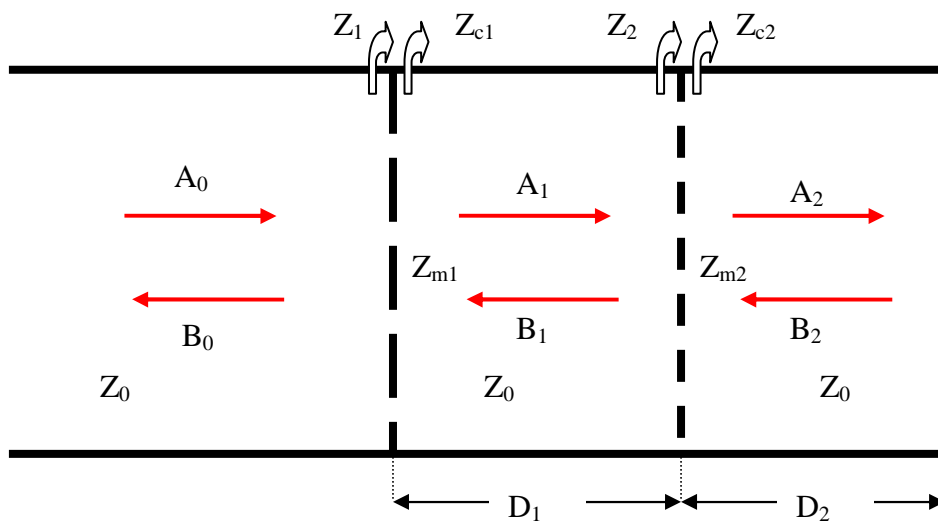


Figura 1. Esquema de un MPP doble en incidencia normal.

2.3 Absorbentes triples

La Figura 2 muestra el esquema de un MPP triple en incidencia normal.

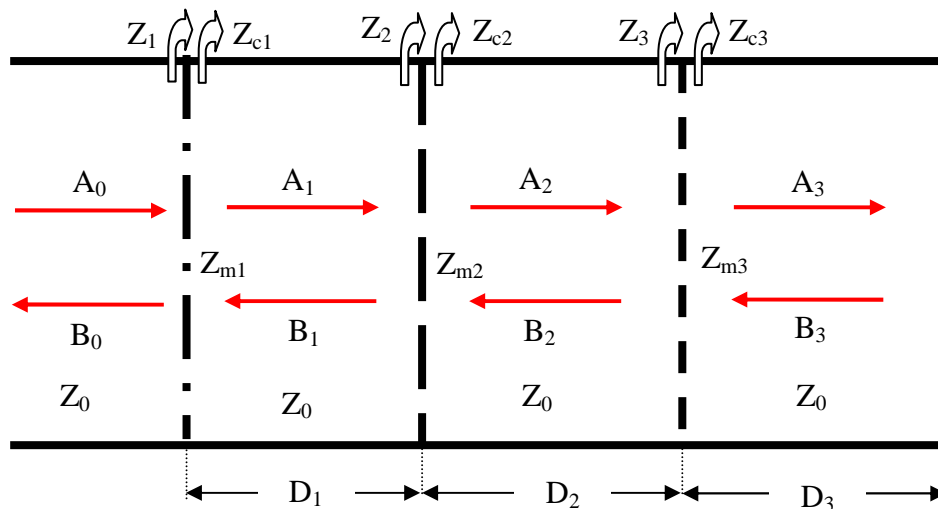


Figura 2. Esquema de un MPP triple en incidencia normal.

La impedancia de entrada a este sistema es

$$Z_i = Z_{m1} + Z_0 \frac{Z_2 \cos(kD_1) + iZ_0 \sin(kD_1)}{Z_0 \cos(kD_1) + iZ_2 \sin(kD_1)}, \quad (10)$$

donde

$$Z_2 = Z_{m2} + Z_0 \frac{Z_3 \cos(kD_2) + iZ_0 \sin(kD_2)}{Z_0 \cos(kD_2) + iZ_3 \sin(kD_2)}, \quad (11)$$

y

$$Z_3 = Z_{m3} - iZ_0 \cot(kD_3). \quad (12)$$

Sustituyendo las Ecs. (10)-(12) en las Ecs. (4) y (5) se obtiene el coeficiente de absorción en incidencia normal a un MPP triple. Las ecuaciones para un MIU triple serían análogas, considerando que cada una de las impedancias Z_{m1} , Z_{m2} y Z_{m3} se compondrían a su vez de dos MPPs, el portante y la malla micrométrica.

3 GUI para el diseño de absorbentes microperforados múltiples

La interfaz gráfica de usuario es una herramienta ideal para facilitar el diseño de paneles microperforados y unidades de inserción MIUs. La aplicación es sencilla y funcional ya que brinda las opciones necesarias para conseguir un diseño preciso y óptimo de forma inmediata. La Figura 3 muestra la pantalla inicial de la GUI realizada. Esta primera pantalla permite elegir entre el diseño de un MPP o un MIU.



Figura 3. Pantalla inicial de la GUI.

La Figura 4 muestra una pantalla en donde se puede elegir entre un absorbente sencillo, doble o triple, así como las curvas que se pueden calcular para el caso de un MPP sencillo.

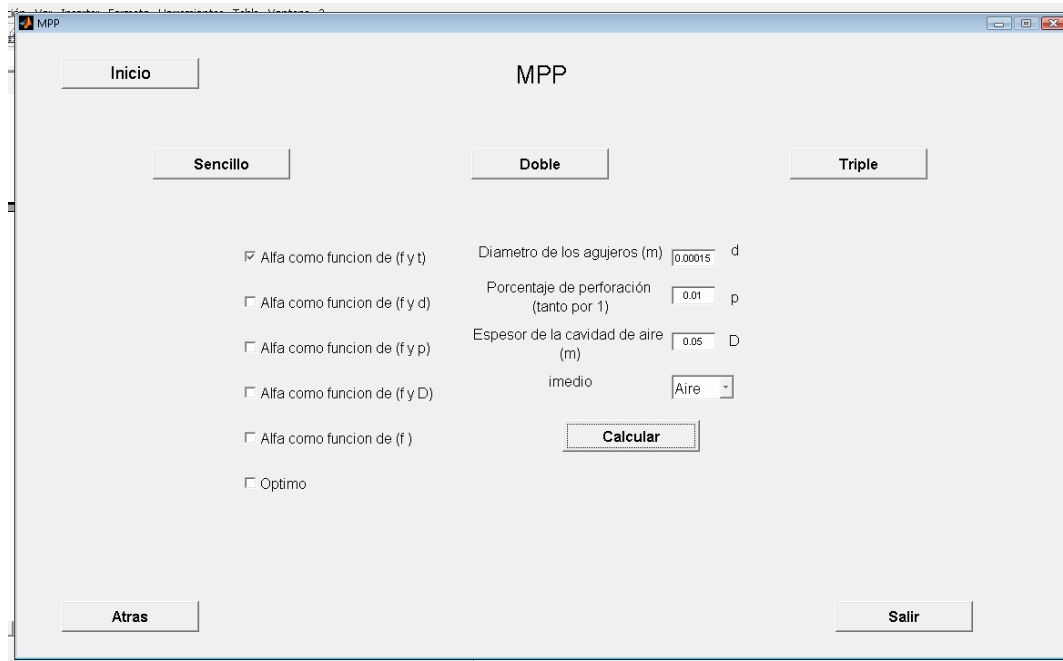


Figura 4. Opciones de diseño para un MPP sencillo.

La Figura 5 ilustra un resultado que puede ser obtenido con este programa. Se trata del diagrama de absorción de un MPP sencillo, como una función de (f,p) para unos valores fijos de los otros parámetros $(d,t,D)=(0.15\text{ mm}, 0.15\text{ mm}, 5\text{ cm})$.

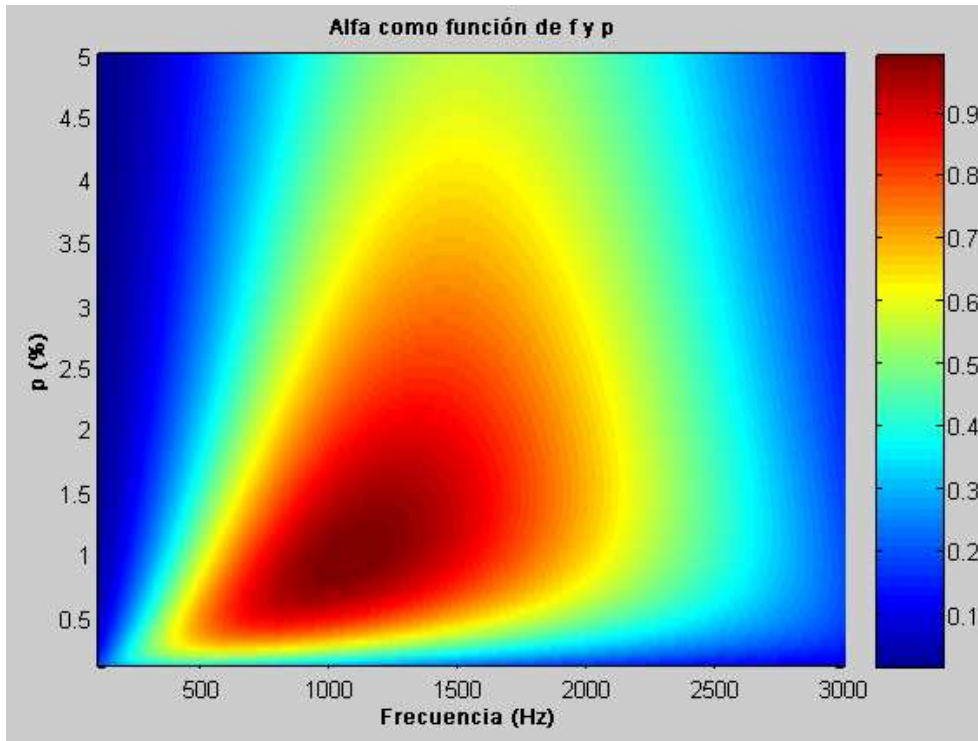


Figura 5. Coeficiente de absorción en incidencia normal como una función de la frecuencia y el porcentaje de perforación para $(d,t,D)=(0.15\text{ mm}, 0.15\text{ mm}, 5\text{ cm})$.

Otra aplicación posible de esta GUI es el cálculo de los parámetros óptimos de un MPP doble dentro de una banda de frecuencias determinada. La Figura 6 muestra la pantalla correspondiente para un MPP doble. La Figura 7 muestra la curva de absorción de un MPP doble óptimo, dentro de la banda de frecuencias (500, 10000) Hz, para unos paneles de espesor 0.5 mm.

El MPP doble óptimo tiene unos parámetros $(d_{o1}, t_{o1}, p_{o1}, D_{o1}, d_{o2}, t_{o2}, p_{o2}, D_{o2}) = (0.1 \text{ mm}, 0.5 \text{ mm}, 15 \%, 1 \text{ cm}, 0.1 \text{ mm}, 0.5 \text{ mm}, 6\%, 1 \text{ cm})$.

Eligiendo el botón 'triple', aparecerá la pantalla de la Figura 8. La Figura 9 muestra la curva de absorción que proporciona el programa para los parámetros $(d_1, t_1, p_1, D_1, d_2, t_2, p_2, D_2, d_3, t_3, p_3, D_3) = (0.1 \text{ mm}, 0.5 \text{ mm}, 25 \%, 1 \text{ cm}, 0.1 \text{ mm}, 1.5 \text{ mm}, 25 \%, 1 \text{ cm}, 0.8 \text{ mm}, 1 \text{ mm}, 15 \%, 3 \text{ cm})$.

La Figura 10 muestra la pantalla de diseño de un MIU sencillo. La Figura 11 muestra la curva obtenida para un MIU sencillo con parámetros $(d_1, t_1, p_1, d_2, t_2, p_2, D) = (6 \text{ mm}, 1 \text{ mm}, 23 \%, 35 \mu\text{m}, 39 \mu\text{m}, 14 \%, 5 \text{ cm})$.

4 Resumen y Conclusiones

El diseño de absorbentes microperforados múltiples (MPPs y MIUs) requiere el ajuste de un número alto de parámetros. Se ha presentado una interfaz gráfica de usuario que facilita un diseño tal con una herramienta sencilla e interactiva. Además de proporcionar la curva de absorción de un absorbente múltiple, conocidos los parámetros constitutivos de cada uno de los paneles que lo componen (problema directo), la GUI es capaz de suministrar los parámetros constitutivos óptimos de cada uno de los paneles que dan lugar a la curva de absorción máxima, dentro de una determinada banda de frecuencias (problema inverso).

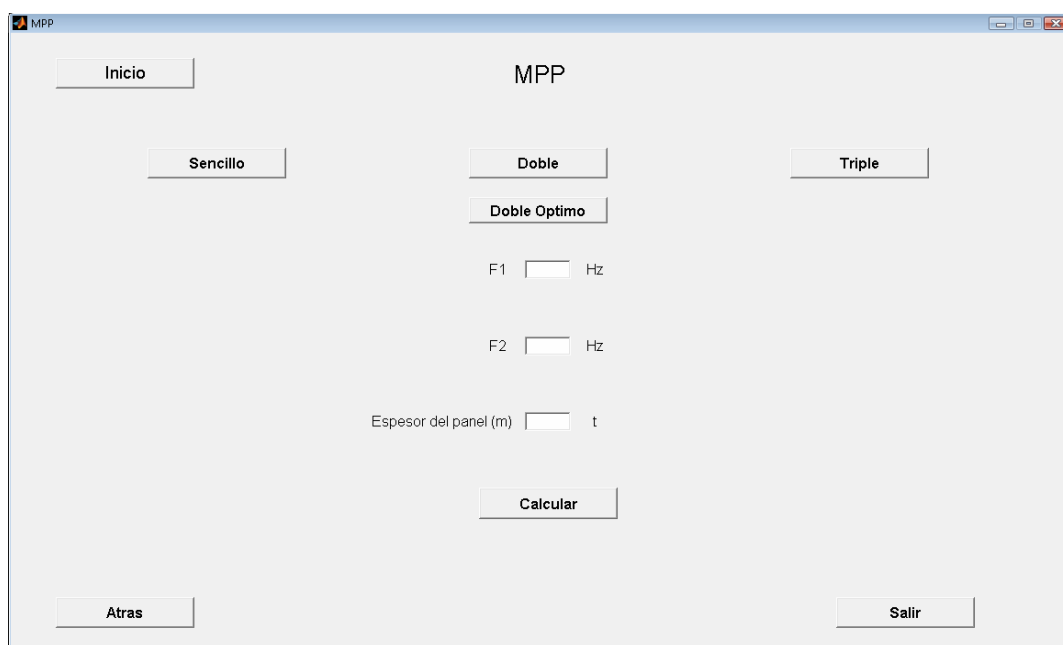


Figura 6. Pantalla para el diseño de un MPP doble óptimo.

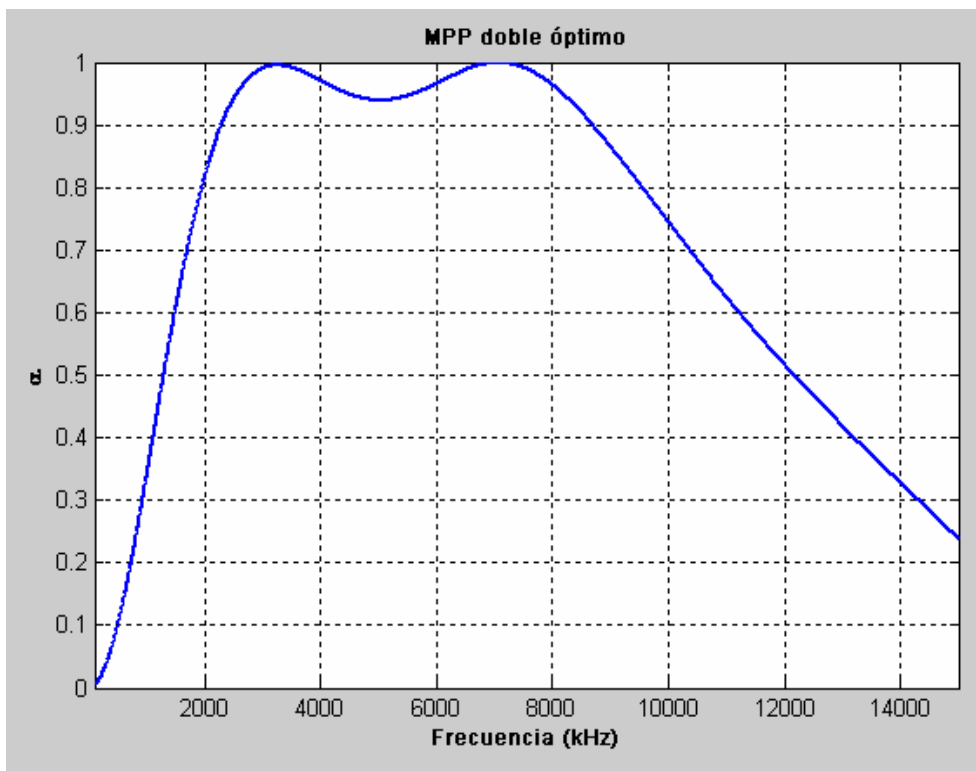


Figura 7. Coeficiente de absorción de un MPP doble óptimo para $f_1=500$ Hz, $f_2=10000$ Hz y $t=0.5$ mm.

MPP

Inicio Sencillo Doble Triple

Parámetros del primer panel	Parámetros del segundo panel	Parámetros del tercer panel
Diametro de los agujeros (m) <input type="text"/> d1	Diametro de los agujeros (m) <input type="text"/> d2	Diametro de los agujeros (m) <input type="text"/> d3
Espesor del panel (m) <input type="text"/> t1	Espesor del panel (m) <input type="text"/> t2	Espesor del panel (m) <input type="text"/> t3
Porcentaje de perforación (tanto por 1) <input type="text"/> p1	Porcentaje de perforación (tanto por 1) <input type="text"/> p2	Porcentaje de perforación (tanto por 1) <input type="text"/> p3
Espesor de la cavidad de aire (m) <input type="text"/> D1	Espesor de la cavidad de aire (m) <input type="text"/> D2	Espesor de la cavidad de aire (m) <input type="text"/> D3

Calcular

Atras Salir

Figura 8. Pantalla para el diseño de un MPP triple.

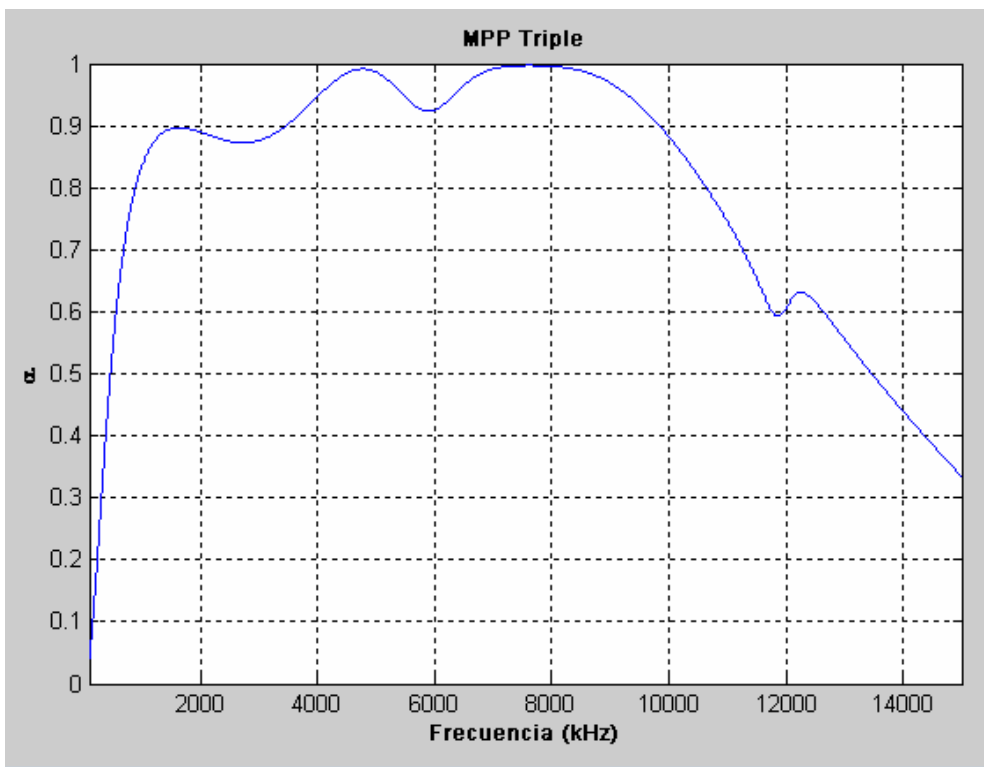


Figura 9. Coeficiente de absorción en función de la frecuencia para un MPP triple con $(d_1, t_1, p_1, D_1, d_2, t_2, p_2, D_2, d_3, t_3, p_3, D_3) = (0.1 \text{ mm}, 0.5 \text{ mm}, 25 \%, 1 \text{ cm}, 0.1 \text{ mm}, 1.5 \text{ mm}, 25 \%, 1 \text{ cm}, 0.08 \text{ mm}, 1 \text{ mm}, 15 \%, 3 \text{ cm})$.

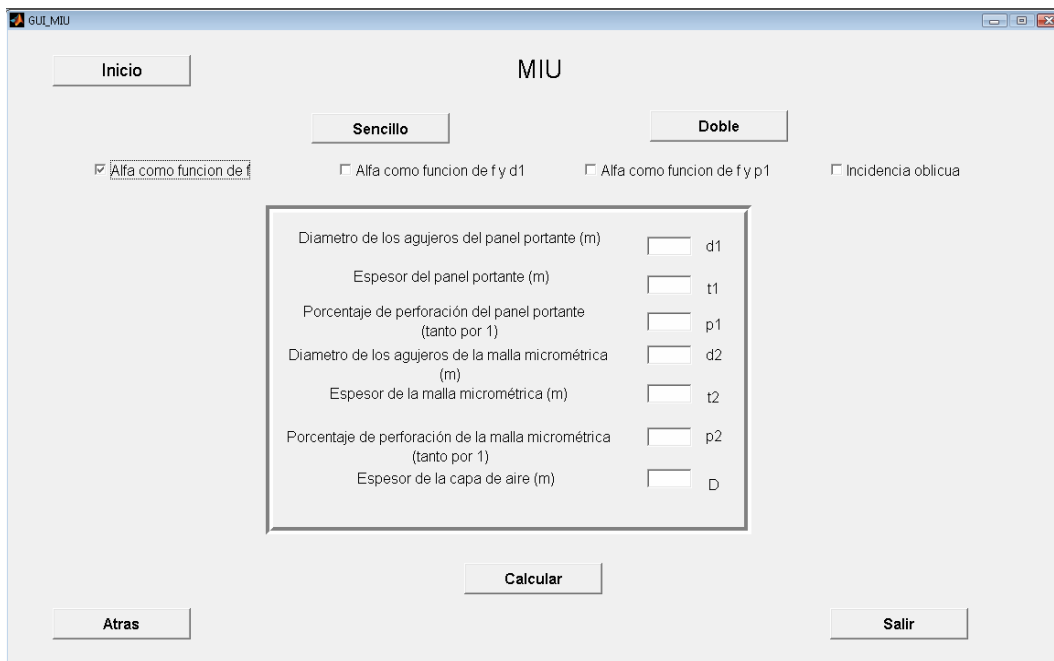


Figura 10. Pantalla para el diseño de un MIU sencillo.

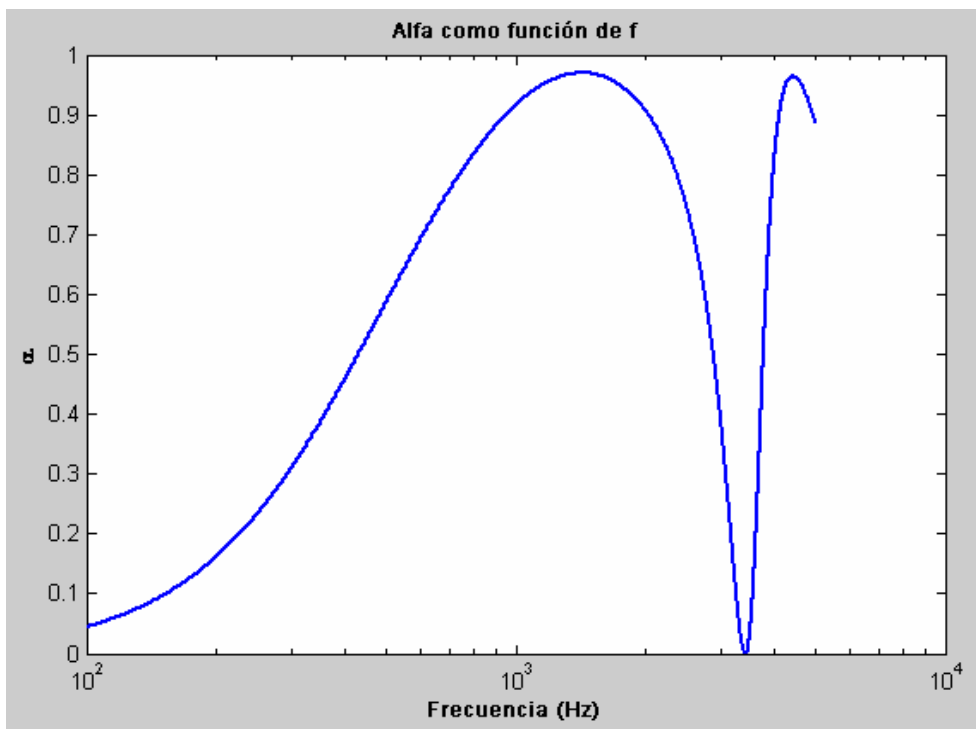


Figura 11. Coeficiente de absorción en función de la frecuencia de un MIU sencillo para $(d_1, t_1, p_1, d_2, t_2, p_2, D) = (6 \text{ mm}, 1 \text{ mm}, 23 \%, 35 \mu\text{m}, 39 \mu\text{m}, 14 \%, 5 \text{ cm})$.

Referencias

- Cobo P.; Cuesta M.; Siguero M. (2008). "Comparison of models describing double layer microperforated absorbers". Sent to Noise Control Engineering Journal.
- Lee, J.; Swenson, G.W. (1992). "Compact sound absorbers for low frequencies". Noise Control Engineering Journal, 38, 109-117.
- Lee D.H.; Kwon Y.P. (2004). "Estimation of the absorption performance of multiple layer perforated panel systems by transfer matrix method". Journal of Sound and Vibration, 278, 847-860.
- Maa D.Y. (1987). "Microperforated-panel wideband absorbers". Noise Control Engineering Journal, 29, 77-84.
- Maa D.Y. (1998). "Potential of microperforated panel absorber". Journal of Acoustical Society of America, 104, 2861-2866.
- Pfretzschner J.; Cobo P.; Simon F.; Cuesta M.; Fernández A. (2006). "Microperforated Insertion Units: an alternative strategy to design of microperforated panels". Applied Acoustics, 67, 62-73.