

# ABSORBENTES ACÚSTICOS MICROPERFORADOS DE ESQUELETO REFORZADO

J. Pfretzschner, F. Simón, P. Cobo, M. Cuesta

*Instituto de Acústica, Serrano 144, 28006 Madrid España, iacjp36@ia.cetef.csic.es*

**RESUMEN:** Es conocida la capacidad y aplicabilidad de los paneles microperforados (MPP) como absorbentes acústicos en aquellas situaciones en que, por razones de salubridad o limpieza extremas, no deben utilizarse materiales fibrosos que por su degradación contaminen el aire circundante.

Los MPP utilizados hasta el momento actúan como absorbentes acústicos resonantes con amplio ancho de banda (de una a dos octavas), presentando sus mejores características cuando el espesor del panel es similar al diámetro de los orificios constituyentes (del orden de 0.5 a 1mm). El ancho de banda se puede incrementar disminuyendo el diámetro de los orificios (décimas de milímetro) lo que conduce a paneles extremadamente livianos, en realidad películas de muy reducido espesor y frágiles que es necesario proteger mediante adecuadas rejillas.

Este trabajo presenta una alternativa original a estas películas MPP a través de un nuevo concepto: "Unidades de inserción microperforadas" (Microperforated Insertion Units MIU) que incluyen rejillas submilimétricas (entre 25  $\mu\text{m}$  y 0.5mm) que pueden insertarse fácilmente en cualquier superficie reflectante, convirtiéndola en un absorbente con un espectro de absorción sintonizable a voluntad. Estos innovadores dispositivos (MIU) aventajan a los MPP tanto en características acústicas como en facilidad de ejecución y precio.

**ABSTRACT:** When porous materials cannot be used as absorbers due to their polluting properties, MPP's can play their role.

The MPPs used up to now act like broad band resonant absorbers (with one to two octaves), and they show optimal performances when the thickness of the panel equals to the diameter of the constituent orifices (of the order of 0,5 to 1mm). The bandwidth can be increased diminishing the diameter of the orifices (tenth of millimeter) what leads to extremely light panels, in fact weak films of very reduced thickness, that is necessary to protect by means of suitable grids.

This work proposes an original alternative to these MPP films through a new concept: "Microperforated Insertion Units" (MIU) made up of submillimeter grids (between 25  $\mu\text{m}$  and 0.5mm) inserted in a reflecting surface, so that they become absorbers with tunable absorption spectrum. These innovative devices surpass the MPP in acoustic characteristics both in execution facility and price.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los paneles acústicos absorbentes microperforados (MPP) fueron desarrollados en los años 60 por D. Y. Maa [1-3], con el propósito de obtener absorbentes acústicos eficaces en aquellos ambientes en donde se desaconseja utilizar materiales fibrosos debido a efectos de salubridad o extrema limpieza como es el caso de hospitales o salas blancas. Actualmente su aplicación se ha extendido a otros innumerables campos, dado que requieren volúmenes mucho menores que los materiales clásicos presentando buenas aplicaciones en la industria de la automoción y en especial en el caso de absorbentes activos [4]

Según Maa, un MPP consiste en un panel con perforaciones submilimétricas (diámetros de 0.5 a 1 mm) , que por si solo presenta una notable resistencia acústica con una baja reactancia acústica lo que le confiere características de absorbente acústico de banda ancha. Para su correcto funcionamiento necesita de una cavidad de aire posterior que es la que le confiere su carácter de absorbente sintonizado tipo resonador. Si se desea incrementar el ancho de banda de absorción puede recurrirse a la asociación en serie de dos o más MPP separados por una cierta distancia calculable sin dificultad.

Maa propone unas expresiones descriptivas del funcionamiento de estos materiales que están basados en los trabajos pioneros de Crandall, encontrando para la impedancia compleja del MPP la siguiente expresión, en la que las magnitudes se han normalizado a la impedancia característica del aire:

$$z = \frac{Z_c}{p\rho c} = re + j\omega m \quad (1)$$

siendo la parte real:

$$re = \frac{32\eta t}{p\rho cd^2} \left\{ \sqrt{1 + \frac{x^2}{32}} + \frac{\sqrt{2}xd}{32t} \right\} \quad (2)$$

y la parte imaginaria:

$$\omega m = \frac{\omega t}{pc} \left\{ 1 + \frac{1}{\sqrt{9 + \frac{x^2}{2}}} + 0.85 \frac{d}{t} \right\} \quad (3)$$

en las que los últimos términos de las llaves corresponden a los efectos de borde de los tubos capilares. La constante de perforación  $x$  se define a través de la expresión:

$$x = \frac{r_0}{\sqrt{\frac{\eta}{\rho_0 \omega}}} = 0.648 r_0 \sqrt{f} \quad [mm] \quad (4)$$

siendo:  $p$  el coeficiente de perforación del MPP,  $\rho_0$  la densidad del aire =  $1.21 \text{ kg/m}^3$  y  $\eta$  la viscosidad dinámica del aire =  $1.81 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$

La impedancia superficial normalizada teniendo en cuenta la cavidad de aire es:

$$Z_s = z - j\cot(kD) = r_e + j(\omega m - \cot g(\omega D/c)) \quad (5)$$

El coeficiente de reflexión  $R$ :

$$R = \frac{Z_s - 1}{Z_s + 1} \quad (6)$$

y el coeficiente de absorción  $\alpha$  lo podemos expresar como (según convenga):

$$\alpha = 1 - |R|^2 \quad \text{ó} \quad \alpha = \frac{4r_e}{(1+r_e)^2 + (\omega m - \cot g \frac{\omega D}{c})^2} \quad (7)$$

La estructura resonante formada por el panel perforado antepuesto a una cavidad de aire de espesor  $D$  presenta un circuito eléctrico equivalente como el de la figura 1:

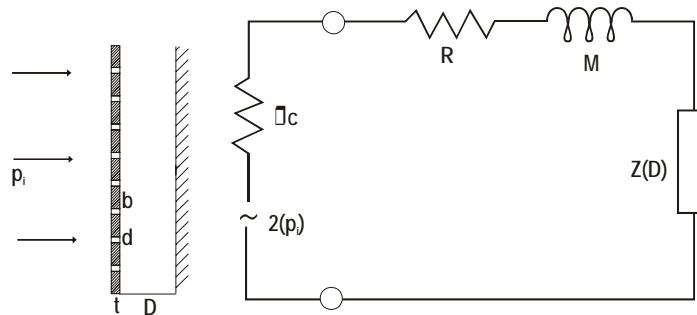


Figura 1. Circuito eléctrico equivalente de un MPP

El coeficiente de absorción de la ecuación 7 depende de cinco variables:  $f$ ,  $d$ ,  $t$ ,  $p$  y  $D$ . Incrementar el espesor de la cavidad de aire,  $D$ , produce un desplazamiento del máximo de absorción hacia las bajas frecuencias, y se obtiene un valor máximo del coeficiente de absorción ( $\alpha=1$ ) cuando  $p \approx 1\%$ .

En la bibliografía al uso se encuentra que las curvas de absorción corresponden a las típicas de un circuito resonador; es decir absorción en bandas más o menos estrechas (del orden de una octava) centradas alrededor de una frecuencia que depende fundamentalmente del valor de la cavidad  $D$ .

Si se reduce drásticamente el diámetro de los agujeros en un factor 10 y a la vez se incrementa el coeficiente de perforación en ese mismo factor, se puede expandir considerablemente el ancho de banda de absorción (curva c de la figura 2):

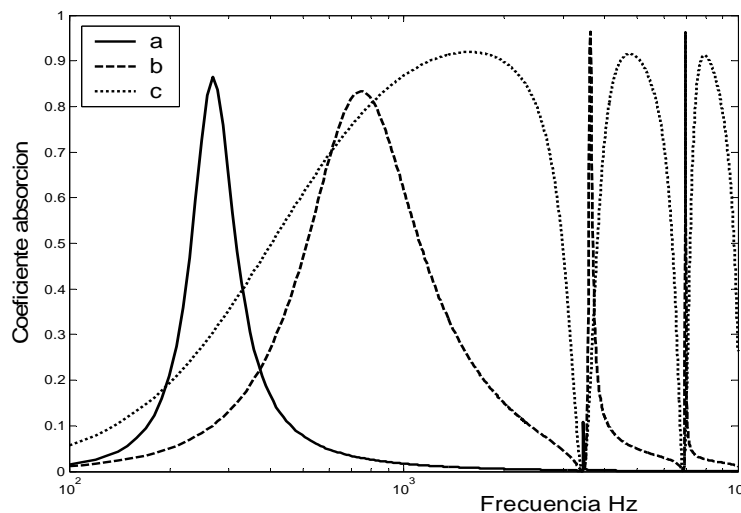


Figura 2. Coeficiente de absorción de un MPP con una cavidad de aire de 5 cm: a( $d=1.5\text{mm}$ ,  $t=1\text{mm}$ ,  $p=0.3\%$ ), b( $d=0.5\text{mm}$ ,  $t=1\text{mm}$ ,  $p=1.8\%$ ), c( $d=0.05\text{mm}$ ,  $t=0.05\text{mm}$ ,  $p=3\%$ ),

## 2. UNIDADES DE INSERCIÓN MICROPERFORADAS

Como se ha descrito anteriormente, se requieren paneles con un gran número de perforaciones submilimétricas ( $d \approx 50\mu\text{m}$ ) con objeto de incrementar de forma notable el espectro de absorción de un MPP (figura 2). Esta condición implica reducir de manera apreciable el espesor del panel convirtiéndolo prácticamente en una película delgada que por su fragilidad deberá ser manipulada cuidadosamente y protegida del exterior mediante una rejilla o similar. Además deberá fijarse a algún soporte adecuado con objeto de evitar sus vibraciones que conducirían a deterioros en su espectro de absorción.

En los MPP las perforaciones están normalmente distribuidas en los nodos de una red regular, de forma que una unidad de la red multiplicada por el diámetro del agujero da el coeficiente de perforación,  $p$ , para un área determinada del panel.

Teóricamente la posición de los agujeros en el panel no juega ningún papel, pudiendo situarse en los nodos de una red o bien concentrarse en determinadas áreas del panel.

La combinación de ambas estrategias condujo a la idea de diseñar un panel con un espesor suficiente para ser manipulado, con perforaciones sub-submilimétricas y adecuado coeficiente de perforación con objeto de conducir a eficaces absorbentes de banda ancha. La fabricación de este tipo de paneles con perforaciones del orden de micras ( $40\mu\text{m}$ ) no es sencilla y resultaría muy cara debido a las dificultades inherentes. Sin embargo es relativamente fácil encontrar en el mercado una gran variedad de mallas con esas dimensiones de luz, pero que presentan el inconveniente de tener elevados coeficientes de perforación que las inhabilita como absorbentes acústicos.

Si se combina un panel de espesor adecuado, con mallas micrométricas dispuestas en un número adecuado de grandes perforaciones sobre el panel, puede obtenerse un excelente MPP, que hemos patentado con el nombre de MIU (Microperforated Insertion Unit) [6].

El circuito eléctrico equivalente de un MIU puede obtenerse a partir de la asociación en paralelo de dos MPP, figura 3, teniendo presente que la cavidad entre ambos tiende a un espesor cero:

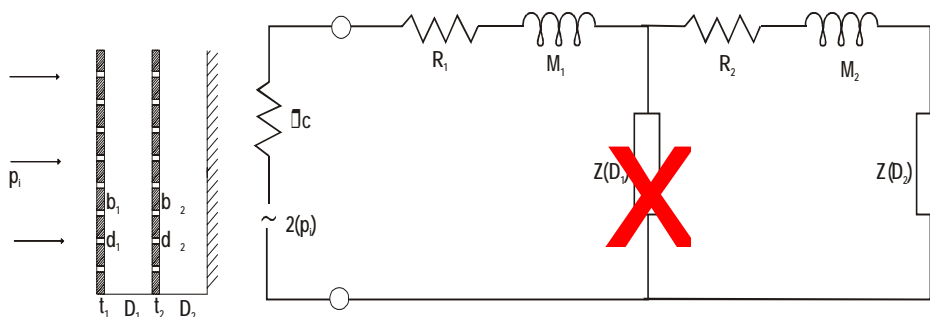
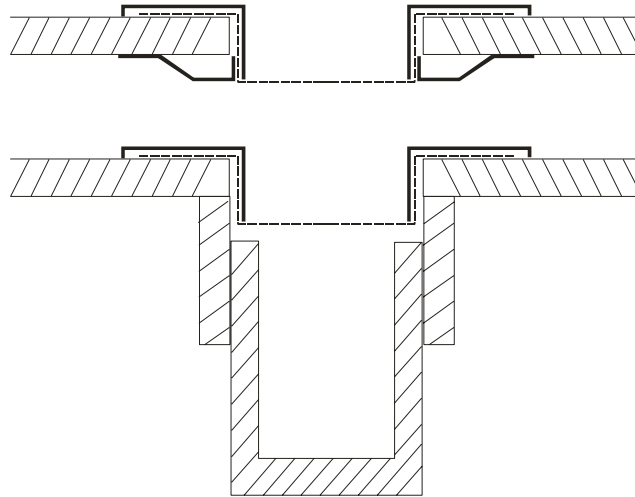


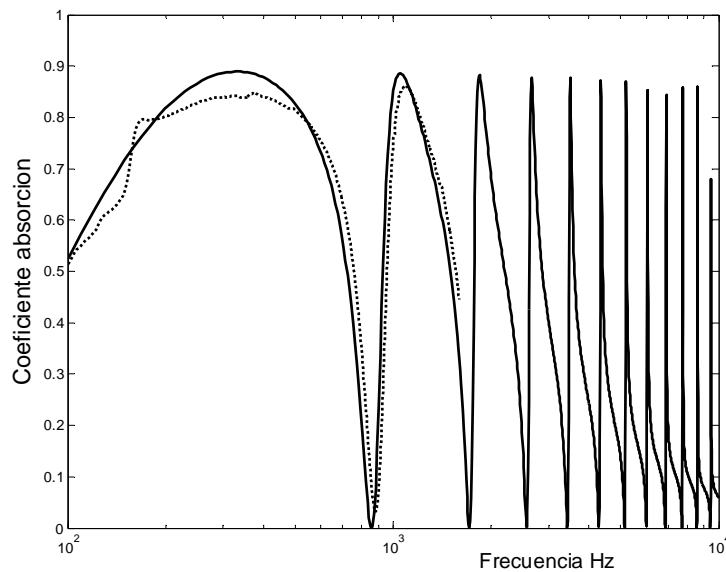
Figura 3 Circuito eléctrico equivalente de una unidad de inserción microperforada MIU

La figura 4 presenta dos ejemplos de implementación práctica de este tipo de dispositivos.



*Figura 4. Ejemplos de realización práctica de dos unidades de Inserción microperforadas (MIU). La inferior permite sintonizar la cavidad de aire detrás de la malla o velo acústico a la frecuencia deseada.*

Como un ejemplo de la buena aproximación entre los resultados experimentales y los correspondientes teóricos, en la figura 5 se presenta la curva de absorción de un MIU compuesto por 28 agujeros de 6 mm de diámetro situados en una placa de aluminio de 0.5 mm de espesor y cubiertos con una malla (comercial) de 36  $\mu\text{m}$  de luz. Los resultados experimentales se han obtenido en un tubo de impedancias de 10 cm de diámetro, razón por la cual la curva de absorción solo se explora hasta 1600 Hz.



*Figura 5 Curvas teórica (trazo continuo) y experimental (puntos) de un MIU compuesto por 28 agujeros de 6 mm de diámetro situados en una placa de aluminio de 0.5 mm de espesor y cubiertos con una malla (comercial) de 36  $\mu\text{m}$  de luz. Cavidad de aire 20 cm.*



### 3. CONCLUSIONES

- Se introduce y describe un nuevo concepto de MPP, a través de la tecnología MIU (en proceso de patente [6]) que permite el diseño y construcción práctica de absorbentes acústicos de gran ancho de banda en una forma rápida y sencilla de ejecución.
- Las características acústicas de los MIUs son comparables a las de los MPP, permitiendo convertir cualquier superficie reflectante en absorbente con espectros de absorción adaptables a cada necesidad.
- Dado que el espesor de las placas portantes no necesita ser del mismo orden que el de las mallas o velos acústicos empleados, los MIUs presentan unas propiedades mecánicas inalcanzables con los MPP al uso. Además por su estabilidad mecánica se pueden limpiar con métodos convencionales del polvo o partículas de suciedad que degradarían sus características absorbentes.
- Su posible campo de aplicación, no se limita al acondicionamiento acústico de locales sino que abarca también el control de ruido industrial e interior de vehículos y transportes.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca dentro del proyecto de investigación del PN I+D, N° DPI2001 - 1613 - 02 - 01, financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología

### BIBLIOGRAFIA

- [1] Maa, D.Y , “Wide band sound absorber on microperforated panels”, *Internoise 84 Proc.*,1984, 415 – 420
- [2] Maa, D.Y , “Microperforated panel wide – band absorber”, *Noise Control Eng. J*, Vol 29, 1987, 77 – 84
- [3] Maa, D. Y. “Potencial of microperforated panel absorber”, *J. Acoust. Soc. Am.* 104 (5), 1998, 2861-2866
- [4] Pfretzschner, J., Cobo, P., Bote, D., Fernandez, A. and Doutres, O., “Active control and micropeforated panels”, *Acta Acustica united with Acustica*, Vol 89 (Pt.1), 144
- [5] Kang, J., Fuchs, H.V., “Predicting the absorption of open weave textiles and micro-perforated membranes backed by an air space”, *J. of Sound and Vibration*, 220, (5), 1999, 905-920
- [6] J. Pfretzschner, P. Cobo, F. Simón Unidades de absorción microperforadas para su uso como absorbentes acústicos. Patente N° P200401350 (en trámite), 2004