

COMPARATIVA DE DISTINTOS ALGORITMOS DE SIMULACIÓN DE PARTICIONES MULTICAPA PARA AISLAMIENTO A RUIDO AÉREO

REFERENCIA PACS: 44.55.Rg

Alba Fernández, Jesús; Ramis Soriano, Jaime
Departamento de Física Aplicada; Escuela Politécnica Superior de Gandía; Universidad Politécnica de Valencia
Carretera Nazaret-Oliva S/N
Grao de Gandia 46730 (Valencia). España
Tel: 34 962 849 314; 34 962 849 300
Fax : 34 962 849 309
E-Mail :jesalba@fis.upv.es, jramis@fis.upv.es

ABSTRACT

In this paper we present a comparative between two algorithms developed for the determination of insulation due to multilayer partitions. It was also done a comparative study between experimentally measured values and those obtained with prevision methods.

RESUMEN

Los algoritmos de simulación de particiones multicapa para el aislamiento a ruido aéreo son una herramienta importante e interesante ya que el coste de un montaje en cámara de transmisión suele ser alto y a veces los resultados no son todo lo precisos que se desearía. Existen distintas teorías que intentan predecir el comportamiento, desde el punto de vista del aislamiento acústico, de distintas configuraciones multicapa. Esto puede ser de ayuda de cara a poder predecir o, por lo menos, poder hacerse a la idea de cuál va ser el comportamiento de la partición sin necesidad de un montaje en un laboratorio y pudiendo realizar modificaciones de esa partición ahorrándose un programa de pruebas. En este trabajo se comparan distintos algoritmos de predicción entre sí y con medidas de aislamiento de laboratorio.

INTRODUCCIÓN

Diversas teorías describen el comportamiento de estructuras múltiples desde el punto de vista del aislamiento acústico [1]. Se puede observar una evolución desde la Ley de Masas que se refleja en distintos trabajos sobre el tema. Entre ellos destacan los modelos de Ookura & Saito [2] que se basa en el acoplo de impedancias entre distintas capas, los desarrollados por Trochidis & Kalaroutis [3] o Bruneau [4] que trabajan con la transformada de Fourier espacial, y otros trabajos como el de Lauriks basados en la teoría de Biot [5] o los basados en la técnica de los elementos finitos de Panneton & Atalla [6].

En este trabajo se comparan dos de estos métodos. Por un lado el desarrollado por Ookura & Saito [2] que se basa en el acoplo de impedancias entre las distintas capas que conforman la estructura. Por otro, aplicando directamente las condiciones de contorno entre materiales se han obteniendo distintas ecuaciones en derivadas parciales, que pueden transformarse en ecuaciones algebraicas mediante la Transformada de Fourier espacial y ser analizadas [4].

MODELO DE OOKURA & SAITO PARA ATENUACIÓN EN PAREDES MÚLTIPLES CON INCIDENCIA ALEATORIA [2]

En este trabajo se desarrolla un método de transferencia de impedancias parecido al propuesto por Beranek & Work [7], para el caso de ondas con incidencia oblicua y en campo aleatorio, que además es sencillo de implementar. Se obtienen las expresiones del índice de debilitamiento para paredes múltiples construidas con varias combinaciones de capas impermeables, cámaras de aire y materiales absorbentes. Bruneau [4] describe un método similar al que se va a comentar en este apartado, con algunas correcciones.

Modelo matemático

El modelo considera una estructura general de paredes múltiples infinitas, tal y como se observa en la figura 1. Dicha estructura está construida con N elementos y cada uno de estos elementos puede ser una capa impermeable, una cámara de aire o un material absorbente. Se denomina p_i a la onda de presión incidente y p_r a la onda de presión reflejada. Se supone que una onda plana incide sobre la cara izquierda del elemento N-ésimo con un ángulo de incidencia θ . La onda que incide por la parte izquierda continuará propagándose a través de la estructura y radiará por la cara derecha del primer elemento como una onda plana de presión p_t hacia un campo libre con un ángulo de transmisión θ_t .

En el análisis se numera con el subíndice $i=1, 2, \dots, n$ cada uno de los parámetros físicos del i-ésimo elemento, y se utiliza un segundo subíndice para indicar un parámetro de la cara izquierda del elemento (un 2) y la cara derecha (un 1), tal y como se aprecia en la figura 1.

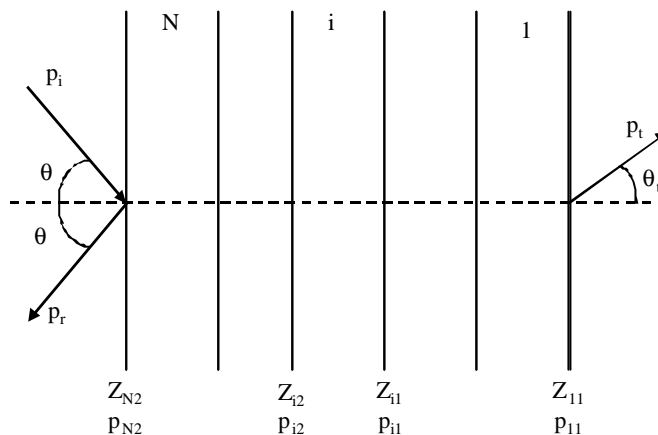


Figura 1: Modelo multicapa

El cociente entre la presión en la superficie de incidencia p_{N2} y la presión incidente p_i es la siguiente:

$$\frac{p_{N2}}{p_i} = \frac{p_i + p_r}{p_i} = \frac{2Z_{N2}}{Z_{N2} + \frac{\rho c}{\cos \theta}}$$

donde Z_{N2} es la impedancia acústica normal vista desde la cara izquierda de la superficie del n-ésimo elemento y $\frac{\rho c}{\cos \theta}$ es la impedancia acústica normal en campo libre de una superficie con incidencia oblicua, la cual es igual a la relación de impedancias del primer elemento Z_{11} como se puede ver en la figura 1. Usando las condiciones de presión en cada superficie, podemos escribir la expresión del coeficiente de transmisión para incidencia oblicua, de la cual obtener, mediante la integración adecuada, el índice de debilitamiento en incidencia aleatoria:

$$\tau(\theta) = \left| \frac{p_t}{p_i} \right|^2 = \left| \frac{p_{11}}{p_i} \right|^2 = \left| \frac{p_{N2}}{p_i} \right|^2 \left| \frac{p_{N1}}{p_{N2}} \dots \frac{p_{i1}}{p_{i2}} \dots \frac{p_{11}}{p_{12}} \right|^2$$

Las relaciones de presiones se pueden obtener a partir de las características de impedancia de cada elemento los cuales se clasifican en capa impermeable, material absorbente y cámara de aire. Las expresiones de estas impedancias se pueden consultar en el trabajo original.

MODELADO GENÉRICO DE PAREDES MÚLTIPLES MEDIANTE LA TRANSFORMADA DE FOURIER ESPACIAL[1]

Se supone una partición compuesta por n capas donde la primera y la última son capas impermeables y las capas intermedias pueden ser de cualquier tipo, con la condición de que no haya dos capas impermeables seguidas. En la figura 2 se muestra una configuración genérica. Para definir la configuración genérica se plantea un sistema de ecuaciones en el dominio de Fourier de la forma:

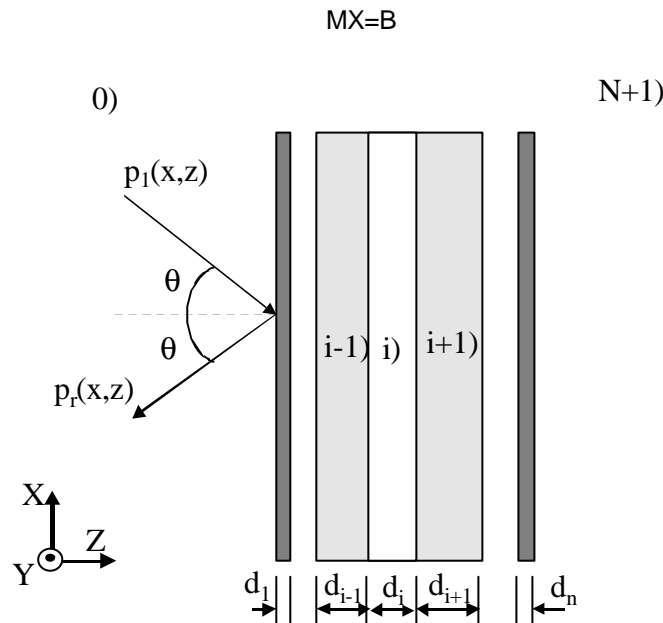


Figura 2: Configuración genérica

La matriz M que define la configuración tiene un tamaño que depende del número de capas y de la naturaleza de esta. En general, una capa impermeable en la posición i-ésima incluye como incógnita su desplazamiento $w_i(s)$ en el dominio de Fourier:

$$w_i(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} w_i(s) e^{-jsx} ds$$

y una cámara de aire o material absorbente en la posición j-ésima introduce dos incógnitas $A_j(s)$ y $B_j(s)$, que caracterizan la presión en su interior:

$$P_{II}(x, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} (A_2(s) \cos a_2 z + B_2(s) \sen a_2 z) \cdot e^{-jsx} ds$$

$$a_2 = \sqrt{s^2 - k_0^2}$$

donde k_j representa el número de onda dentro del material o la cámara. Además, las presiones en la zona 0 y en la zona N+1 son:

$$P_I(x, z) = P_{in}(x, z) + P_r(x, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} [P_{in}(s)e^{az} + P_r(s)e^{-az}] \cdot e^{-jsx} ds$$

$$P_{N+1}(x, z) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} p_t(s)e^{az} \cdot e^{-jsx} ds$$

$$a = \sqrt{k_o^2 - s^2}$$

Por tanto, si la configuración está formada por C capas impermeables y D cámaras de aire o materiales absorbentes, el tamaño de la matriz M será de C+2D+2 filas por C+2D+2 columnas. El vector de términos independientes es:

$$B = (ap_{in} \quad p_{in} \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad \dots \quad 0 \quad 0 \quad 0)^T$$

de tamaño 1 fila por C+2D+2 columnas. El vector de incógnitas tendrá la siguiente forma:

$$X = (p_r \quad w_1 \quad X_2 \quad X_3 \quad \dots \quad X_i \quad \dots \quad X_{N-1} \quad w_N \quad p_t)^T$$

donde X_i es un vector de tamaño 1x1 para capas impermeables y un vector de tamaño 1x2 para cámaras y materiales absorbentes. Para encontrar los valores no nulos de la matriz M hay que examinar las condiciones de contorno en todas las transiciones. Las transiciones placa – aire en las zonas 0 y N+1 son las siguientes:

$$\left. \frac{\partial p_0}{\partial z} \right|_{z=0} = \rho_o \omega^2 w_1(x)$$

$$\left. \frac{\partial p_{N+1}}{\partial z} \right|_{z=\sum_{i=1}^N d_i} = \rho_o \omega^2 w_N(x)$$

Si una capa impermeable ocupa la posición i-ésima se habrán de cumplir las siguientes condiciones:

$$\left. \frac{\partial p_I}{\partial z} \right|_{z=0} = \rho_o \omega^2 w_1(x)$$

$$\left. \frac{\partial p_{i+1}}{\partial z} \right|_{z=\sum_{k=1}^{i+1} d_k} = \rho_{i+1} \omega^2 w_i(x)$$

$$[D_i \nabla^4 - \rho_i d_i \omega^2] w_i(x) = p_{i-1}(x, \sum_{k=1}^{i-1} d_k) - p_{i+1}(x, \sum_{k=1}^i d_k)$$

donde ρ representa la densidad de la capa en cuestión y D_i representa la rigidez a flexión de la capa impermeable i. En el caso de que haya transiciones entre dos materiales absorbentes (o cámara de aire) que ocupen la posición j y j+1 se ha de cumplir que:

$$p_j(z = \sum_{k=1}^j d_k) = p_{j+1}(z = \sum_{k=1}^{j+1} d_k)$$

$$\frac{1}{\rho_o} \left. \frac{\partial p_{II}}{\partial z} \right|_{z=h_1+d_1} = \frac{1}{\rho_b} \left. \frac{\partial p_{III}}{\partial z} \right|_{z=h_1+d_1}$$

Las ecuaciones anteriores, trasladadas al dominio de Fourier permiten obtener los coeficientes no nulos de la matriz M, y por tanto se plantea un sistema del cual se puede obtener

entre otras variables, el coeficiente de transmisión de la estructura.

COMPARACIÓN DE RESULTADOS

En este apartado se reflejan distintas gráficas comparativas que se han realizado entre los modelos de Ookura & Saito [2] y el basado en la transformada de Fourier espacial [1]. En la figura 3 se muestran y se comparan los resultados obtenidos (en simulación y en laboratorio) para pladur de 13 mm y en la figura 4, para hormigón armado de 30 cm. En la figura 5 se muestran los resultados obtenidos para dos placas de cartón yeso de 13 mm atornilladas, tomadas como capas impermeables y como partición doble con cámara de aire. En la figura 6 se compara la partición metálica descrita en un catálogo con 6 cm de lana de roca. Para modelar la lana se utilizan los modelos de Delany & Bazley [8], Miki [9] y Allard & Champoux[10].

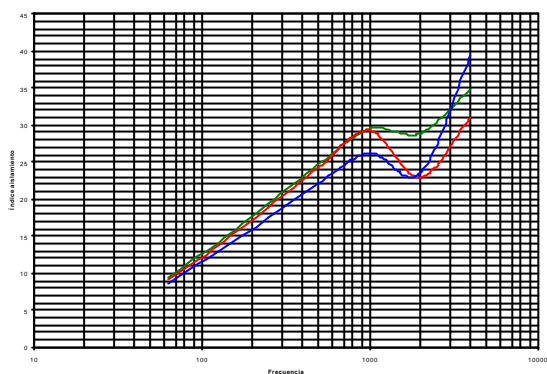


Figura 3: Comparativa para el pladur de 13 mm. En verde Ookura & Saito, en rojo mediante el método de la transformada y en azul las medidas de laboratorio

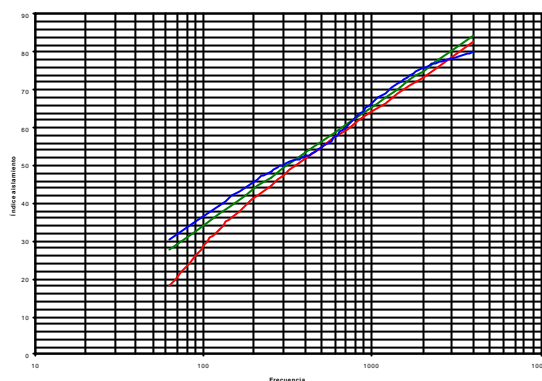


Figura 4: Comparativa para muro de hormigón armado de 30 cm. En verde Ookura & Saito, en rojo mediante la transformada y en azul las medidas de laboratorio.

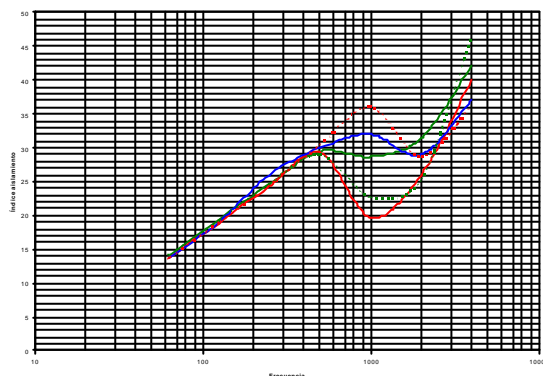


Figura 5: Comparativa para dos placas de cartón yeso de 13 mm atornilladas. En verde Ookura & Saito como capa impermeable, en verde y discontinua Ookura & Saito como doble placa, en rojo mediante la transformada como capa impermeable, en rojo y discontinua mediante la transformada como doble capa y en azul las medidas de laboratorio.

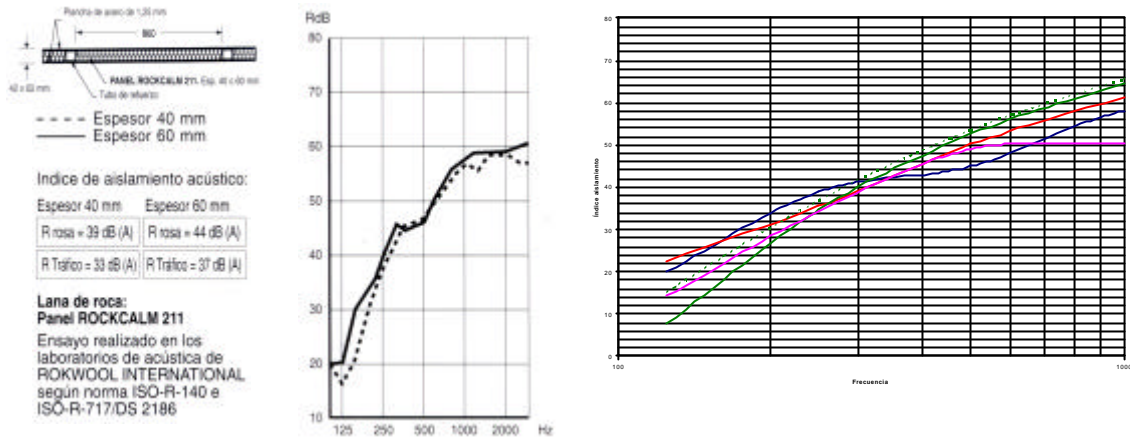


Figura 6: Comparativa de la partición de catálogo En verde Ookura & Saito combinado con Delany & Bazley, en rojo mediante el método de la transformada, en verde y discontinua Ookura & Saito combinado con Miki, en rosa Ookura & Saito combinado con Allard & Champoux, y en azul las medidas de catálogo.

CONCLUSIONES

Se han podido extraer las siguientes conclusiones de los resultados obtenidos. En primer lugar, los materiales más pesados parecen ajustarse mejor con Ookura & Saito y los más ligeros con el método de la transformada de Fourier. Esto se podría justificar si se piensa que Ookura & Saito trabaja con impedancias y el método de la Transformada se basa en la constante de propagación. Además, si el material es demasiado heterogéneo (caso del bloque de hormigón) se ha comprobado que los ajustes no son buenos.

En el caso de las placas atornilladas el modelo que mejor parece ajustarse es el de doble capa con cámara de aire utilizando la transformada de Fourier. Siguiendo en la línea de lo anterior, las placas son materiales ligeros. En el caso de placas pegadas, los resultados de las pruebas efectuadas indican un comportamiento como el de una capa impermeable.

Para el caso de particiones con absorbente, los resultados evidencian la necesidad de obtener la resistencia específica al flujo del material absorbente en función de la frecuencia para obtener unos resultados aceptables.

REFERENCIAS

- [1] Alba Fernández, Jesús, "Algoritmos De Modelado De Particiones Multicapa Para La Predicción De Su Aislamiento Acústico A Ruido Aéreo", Tesis Doctoral (2000)
- [2] Ookura K., Saito Y., "Transmission Loss Of Multiple Panels Containing Sound Absorbing Materials In A Random Incidence Field", *Internoise* 78, 637-642
- [3] Trochidis A., Kalaroutis A., "Sound Transmission Through Double Partitions With Cavity Absorption", *Journal Of Sound And Vibration* 107 (2), (1986) 321-327
- [4] Bruneau M., "Manuel D'acoustique Fondamentale", Editions Hermès (1998)
- [5] Panneton R., Atalla N., "Numerical Prediction Of Sound Transmission Through Finite Multilayer Systems With Poroelastic Materials", *J. Acoust. Soc. Am.* 100 (1), (1996) 346-354
- [6] W. Lauriks, P. Mees & J. F. Allard, "The Acoustic Transmission Through Layered Systems", *Journal Of Sound And Vibration* (1992) 155 (1), 125-132
- [7] Beranek L. L., Work G. A., "Sound Transmission Through Multiple Structures Containing Flexible Blankets", *J. Acoust. Soc. Am.* 21, (1949) 419
- [8] Delany M. E., Bazley E. N., "Acoustical Properties Of Fibrous Absorbent Materials", *Applied Acoustics* 3, (1970), 105 -116
- [9] Miki Y., "Acoustical Properties Of Porous Materials – Modifications Of Delany-Bazley Models-", *J. Acoust. Soc. Jpn (E)* 11, 1 (1990) 19-24
- [10] Allard J. F., Champoux Y., "New Empirical Equations For Sound Propagation In Rigid Frame Fibrous Materials", *J. Acoust. Soc. Am.* 91 (6), (1992) 3346 -3353