

## MÉTODO PARA LA SIMULACIÓN ACÚSTICA DE LAS MEDIDAS CON TUBO DE IMPEDANCIA Y CABINA ALPHA DE MATERIALES MULTICAPA

PACS: 43.55.EV

González Ganso, Jose Andrés<sup>1</sup>; Martín Sánchez, Juan Sabas<sup>2</sup>; Sánchez Bragado, Angélica<sup>3</sup>  
Fundación CIDAUT

Parque tecnológico de Boecillo, P.209. 47151, Boecillo

Valladolid

España

Tel. +34 983548035

Fax: +34 983548062

E-mail: [josgon@cidaut.es](mailto:josgon@cidaut.es)<sup>1</sup>; [juasan@cidaut.es](mailto:juasan@cidaut.es)<sup>2</sup>; [angbra@cidaut.es](mailto:angbra@cidaut.es)<sup>3</sup>

### ABSTRACT

In this paper a method for acoustic simulation of Impedance Tube and Alpha Cabin Tests for multilayer by means of SIMAM (CIDAUT's software) is presented. This software is based on the Biot's equations for the propagation of plane waves in fluids and solids. The simulation of the tests will allow us to predict normal and random incidence absorption of the sound wave, the acoustic isolation, on a material for different thicknesses and multilayer configurations, and the number of experimental tests is dramatically reduced. This tool is very useful for the design of multilayers because it allows to obtain multilayer with an optimal configuration that fulfils acoustic and another type of requirements (thermal, weight...).

### RESUMEN

En este artículo se expone un método para la simulación acústica de los ensayos de Tubo de Impedancia y de Cabina Alpha de materiales multicapa, mediante SIMAM, un software desarrollado en CIDAUT, basado en las ecuaciones de Biot para la propagación de ondas en medios sólidos y fluidos. Con la simulación de los ensayos somos capaces de predecir la absorción acústica a incidencia normal y aleatoria de un material, además del aislamiento, para distintos espesores, sin fabricar los materiales ni realizar los ensayos experimentales. Esta herramienta es muy útil para el diseño de la configuración de un material multicapa ya que permite obtener unos insonorizantes optimizados que cumplan requerimientos acústicos, térmicos, peso,...

### 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en el sector del transporte y de la construcción, debido a las mayores exigencias de las especificaciones técnicas, normativas y a los deseos de los clientes, existe una demanda de productos con mejor confort acústico (principalmente que tengan un menor nivel de ruido), para lo cual, se tienen que eliminar los ruidos y las vibraciones en su origen (fuentes vibroacústicas), o si esto no es posible, limitar su propagación (medio), de ahí la necesidad de fabricar mejores materiales insonorizantes. Estos materiales además de cumplir su función acústica, deben cumplir otro tipo de requisitos, como los de seguridad, térmicos, peso o funcionalidad mecánica, de ahí que a menudo su diseño sea una cuestión de compromiso.

Hasta hace unos años, para realizar el diseño de un nuevo material insonorizante que tuviera un buen comportamiento acústico, se realizaban estudios previos de materiales y gracias a la experiencia del diseñador se fabricaban. Posteriormente, se medían la absorción y el aislamiento acústico para comprobar si su comportamiento era el esperado, de no ser así se volvía a repetir el proceso. En la actualidad, se han desarrollado programas con los que a partir de modelos matemáticos y propiedades intrínsecas de los materiales (propiedades que no dependen del espesor del material), se determina el comportamiento de materiales monocapas (espumas de poliuretano, lanas,...) y de materiales multicapa, es decir, materiales compuestos a su vez por capas de diversos materiales: sólidos, porosos, e incluso fluidos [1]. Con la simulación de los ensayos se puede predecir la absorción acústica a incidencia normal y aleatoria de un material, además del aislamiento, para distintos espesores, sin realizar los ensayos experimentales, y por tanto disminuyendo el número de prototipos físicos.

A continuación se van a explicar los dos métodos que existen para la determinación de la absorción acústica de un material multicapa:

- 1) Experimentalmente por la aplicación de normas o procedimientos de ensayo
- 2) Mediante Simulaciones acústicas de materiales (es en la que más nos centraremos en este artículo)

## 2. DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN ACÚSTICA

El mecanismo de absorción consiste en una disipación térmica y viscosa de la energía incidente. La efectividad de un material absorbente se mide con el coeficiente de absorción acústica,  $\alpha$ , propiedad extrínseca ya que varía con la frecuencia y con el espesor del material:

$$a = \frac{E_{\text{absorbida}}}{E_{\text{incidente}}} \quad 0 \leq a \leq 1 \quad \text{con} \quad E_{\text{incidente}} = E_{\text{absorbida}} + E_{\text{reflejada}} + E_{\text{transmitida}}$$

Existen dos valores del coeficiente de absorción de un material (con una o varias capas):

- 1) Coeficiente de absorción a incidencia normal, determinación mediante el Tubo de Impedancia.
- 2) Coeficiente de absorción a incidencia aleatoria, determinación mediante Cámara Reverberante o mediante Cámara Alpha.

### 2.1. Coeficiente de Absorción Acústica a Incidencia Normal

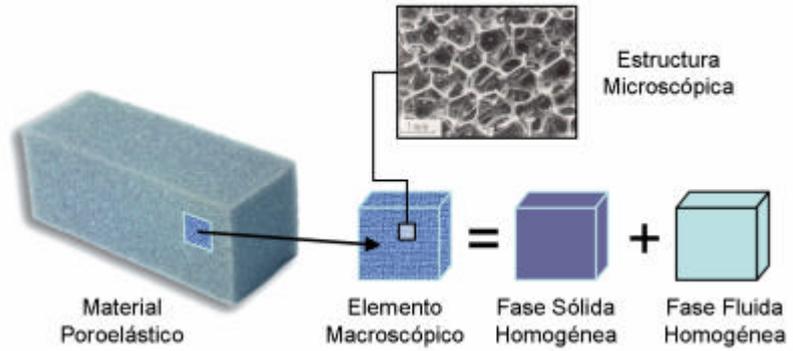
Es la fracción que es absorbida (o no reflejada) de la potencia acústica que incide perpendicularmente a la superficie del material. Existen varias normas o especificaciones de ensayo, p.e. ISO 10534 / ASTM E1050 [2] y ASTM C384. Para estas normas la muestra (de geometría cilíndrica con un diámetro entre 29 - 100mm) se dispone al final de un tubo de impedancias contra un reflector de metal pesado. Una onda plana, generada usando una fuente de ruido random, que se mueve en sentido longitudinal en el tubo de impedancias, es reflejada por la muestra, produciendo una onda estacionaria y mediante micrófonos se mide la presión acústica, a partir de la cual se determina la absorción acústica.



Tubo de Impedancia 4206 de B&K



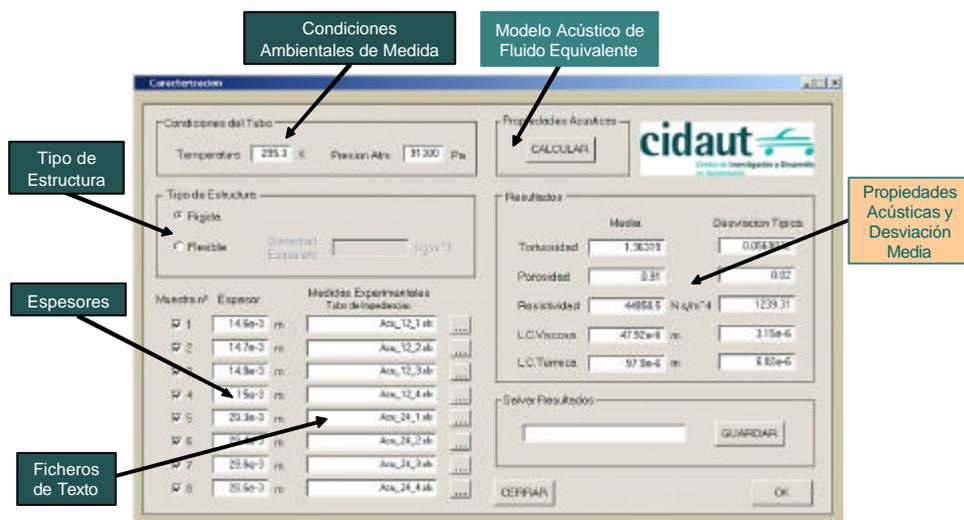
determinado por su estructura microscópica, pero debido a su complejidad, ya que la estructura microscópica no es homogénea, los materiales se estudiarán en base a su estructura macroscópica (homogénea).



Esta estructura macroscópica puede caracterizarse por parámetros intrínsecos (no dependen del espesor del material) que se relacionan con las propiedades acústicas extrínsecas del material por medio de los modelos matemáticos de comportamiento. Los parámetros de Biot que se deben introducir en los modelos se obtienen de las propiedades intrínsecas (o estructurales) que se dividen en dos tipos:

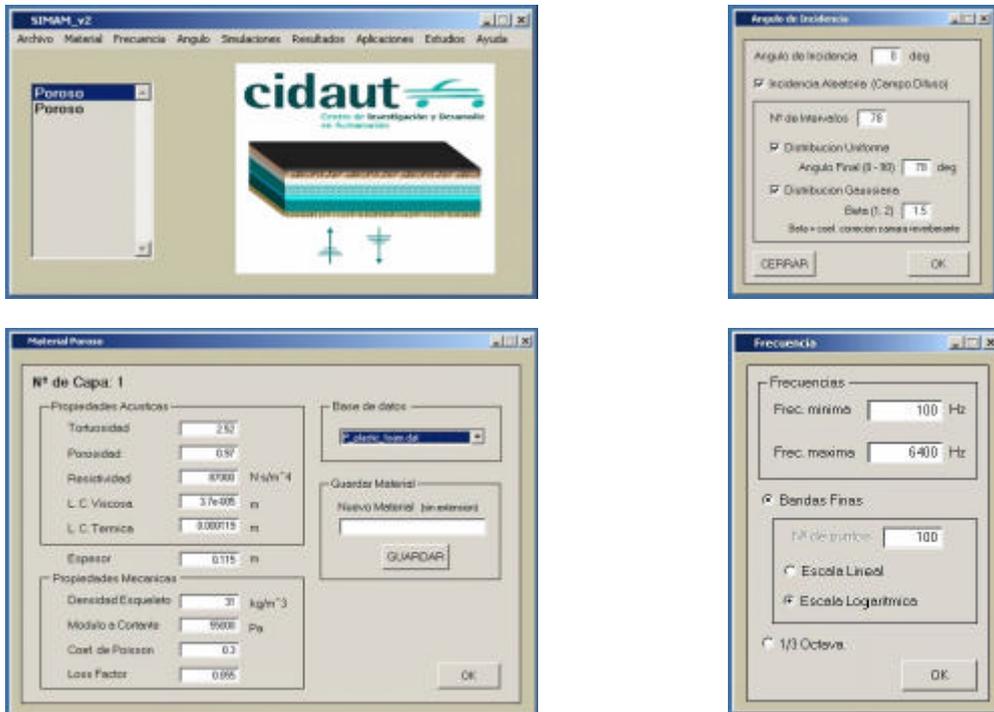
Propiedades estructurales mecánicas: densidad másica,  $\rho$ , módulo de Young,  $E$ , coeficiente de Poisson,  $\nu$ , y loss factor,  $\eta$ . Estas propiedades se pueden obtener por medio de ensayos experimentales basados en los métodos de masa resonante (ISO 6721-3/ASTM E756/98, [4] y [5]) o métodos de masa no resonante.

Propiedades estructurales acústicas: resistividad estática al flujo de aire,  $\sigma$ , porosidad,  $\phi$ , tortuosidad,  $\alpha_{\infty}$ , longitud característica viscosa  $\Lambda$ , longitud característica térmica,  $\Lambda'$ . Estas propiedades determinan cómo se comporta el aire en interior del material, por lo tanto, sólo las poseen los materiales porosos (fieltros, espumas, tejidos,...) pues son los que tienen una parte sólida y otra fluida. Estas propiedades se pueden obtener de forma experimental o de forma indirecta. El método indirecto, consiste en medir primero mediante el tubo de impedancias según la norma ISO 10534-2 [2] el coeficiente de absorción en función de la frecuencia para un material monocapa (no materiales multicapa) en distintos espesores. En segundo lugar, mediante el programa CARAM (CARacterización Acústica de Materiales), desarrollado en CIDAUT, se calculan las propiedades estructurales acústicas. Este programa consiste en la minimización de funciones (modelos de comportamiento basados en las ecuaciones de Biot) a partir de las propiedades extrínsecas acústicas obtenidas con el tubo de impedancias.



Una vez obtenidas las propiedades estructurales mecánicas y acústicas, se pueden llevar a cabo las simulaciones acústicas de los ensayos de absorción mediante SIMAM, SIMulación Acústica de materiales Multicapa. Este programa, desarrollado en CIDAUT, realiza

una resolución analítica mediante el método de las matrices de transferencia a partir de modelos matemáticos de comportamiento de materiales basados en las ecuaciones de Biot [1]. Este programa permite introducir diferentes tipos de materiales (porosos, sólidos y fluidos), distintas configuraciones de capas de materiales, espesores, ángulos de incidencia,... Las hipótesis en las que se basa este programa son: resolución de problemas bidimensionales (materiales con dimensiones laterales infinitas), las capas del material son homogéneas e isotrópicas transversalmente y la onda de incidencia es plana (con un ángulo de incidencia cualquiera, incluso campo difuso).

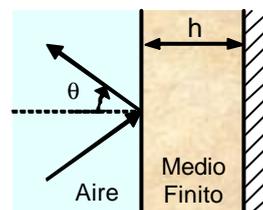


#### 4. RESULTADOS COMPARATIVOS EXPERIMENTACIÓN VS SIMULACIÓN

Para analizar los resultados de las simulaciones, se compararon con los experimentales de unas medidas de absorción acústica, a incidencia normal y aleatoria, que se realizaron de espumas rígidas poliuretano de diferentes espesores.



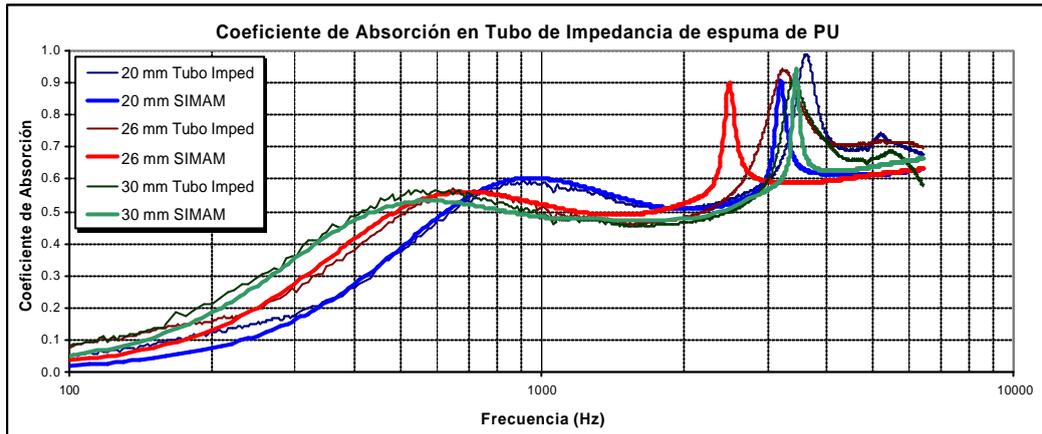
Espuma rígida de PU



Esquema de los ensayos

##### 4.1. Coefficiente de Absorción Acústica de Incidencia Normal

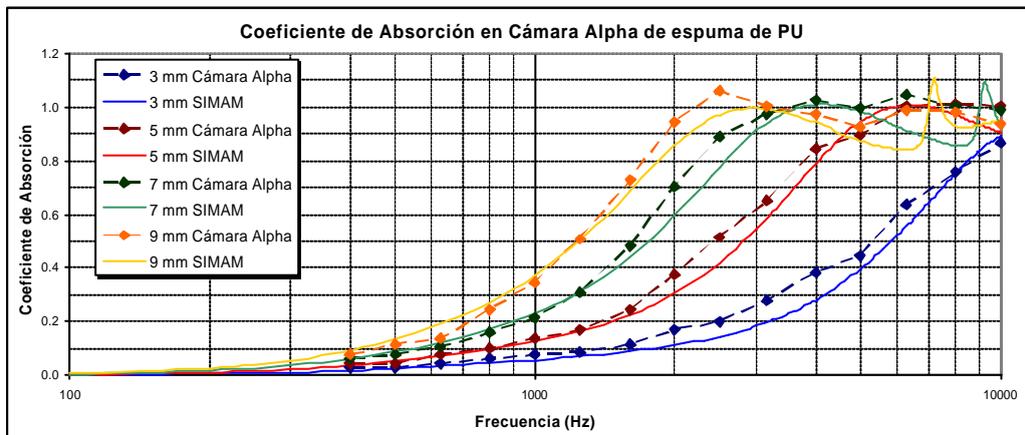
Se ensayaron muestras de 29mm de diámetro de 15, 20, 26 y 30mm de espesor en un tubo de Impedancia. A continuación se muestran algunos de los resultados que se obtuvieron tanto en los ensayos experimentales como en simulación mediante el SIMAM:



#### 4.2. Coeficiente de Absorción Acústica de Incidencia Aleatoria

Se ensayaron muestras de  $1.2\text{m}^2$  de superficie de 3, 5, 7, 9, 11, 13 y 15mm de espesor en una cámara alpha. Antes de realizar las simulaciones del ensayo, fue necesario estudiar la cámara alpha que se utilizó en los ensayos: arquitectura de la cámara: si es más o menos reverberante (estudio del campo difuso) y la forma y tamaño de la muestra (apropiados para la cámara).

Suponiendo que la onda acústica incide sobre el material con una ley de distribución normal, se ajustaron los parámetros para esta cámara en particular. A continuación se muestran algunos de los resultados que se obtuvieron tanto en los ensayos experimentales (Cámara Alpha) como en simulación mediante el SIMAM:



### 5. CONCLUSIONES

En este artículo se muestra la metodología para la simulación con el SIMAM de la absorción acústica a incidencia normal o aleatoria de materiales multicapa, gracias a la cual se reducen el número de prototipos. Además, mediante el empleo de bases de datos de materiales caracterizados con el CARAM, se pueden diseñar multicapas optimizados capaces de cumplir además de los requerimientos acústicos, otros como los estructurales, peso,...

### 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Propagation of Sound in Porous Media. J.F. Allard. Elsevier Applied Science (1993)
- [2] ISO 10534-2: Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 2: Método de la función de transferencia

- [3] ISO 354:1985: Acoustics - Measurement of sound absorption a reverberation room
- [4] ASTM E756/98: Standard Test Method for Measuring Vibration-Damping Properties of Materials.
- [5] ISO 6721-3: Plastics - Determination of dynamic mechanical properties. Part 3: Flexural Vibration - Resonance-curve method