

# Efficient models for building acoustics: combining deterministic and statistical methods

## Tribunal:

**Presidenta:** Irene Arias Vicente

**Secretario:** Oriol Guasch i Fortuny

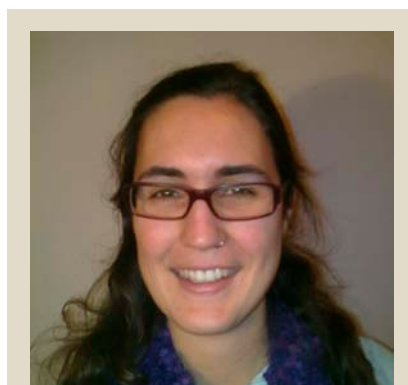
**Vocal:** Catherine Guigou-Carter

## Enlace al documento:

[www.lacan.upc.edu/sites/default/files/PhD\\_Thesis\\_CDC.pdf](http://www.lacan.upc.edu/sites/default/files/PhD_Thesis_CDC.pdf)

## Resumen:

La modelización de problemas vibroacústicos en el ámbito de la edificación supone un desafío debido al gran tamaño de los dominios y al amplio rango frecuencial requerido por las normativas. Las técnicas numéricas estándares, como por ejemplo el método de los elementos finitos (MEF), fallan al tratar de alcanzar las frecuencias más altas, puesto que el tamaño de elemento requerido es muy inferior a las dimensiones del problema y el coste computacional asociado es excesivo para tratarse de un cálculo tan cotidiano.



Autora:

**Cristina Díaz Cereceda**

Directores:

**Jordi Poblet Puig; Antonio**

**Rodríguez Ferran**

Exposición:

15 de noviembre de 2013

Lugar:

E.T.S. D'Enginyeria de Camins,  
Canals i Ports  
Universitat Politècnica de Catalunya

e-mail:

[cristina.diaz-cereceda@upc.edu](mailto:cristina.diaz-cereceda@upc.edu)

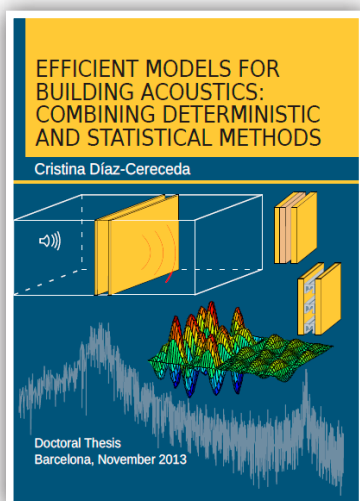
El análisis estadístico de energía (SEA) es un marco de análisis de problemas vibroacústicos basado en el comportamiento de las ondas a altas frecuencias. Trata directamente con magnitudes promediadas, tal y como requieren las normativas, y su coste computacional es muy bajo. Sin embargo, presenta numerosas limitaciones a la hora de analizar estructuras reales. Habitualmente la definición del modelo SEA necesita ser complementada con experimentos u otros datos añadidos.

Esta tesis se centra en la modelización de problemas de acústica de la edificación con un coste com-

putacional razonable. En ese sentido se han seguido dos líneas fundamentales de investigación.

En la primera parte de la tesis se analiza el potencial uso de simulaciones numéricas para extender la aplicabilidad del SEA. En particular, se tratan tres aspectos diferentes: en primer lugar, se desarrolla una metodología sistemática para la estimación de factores de acoplamiento a partir de simulaciones numéricas. Estos factores se estiman a partir de pequeñas simulaciones deterministas y posteriormente se aplican para la resolución de problemas mayores con SEA. En segundo lugar, se presenta un modelo basado en el SEA para acoplamientos no conservativos, así como una estrategia para obtener los factores de acoplamiento conservativos y no conservativos a partir de simulaciones numéricas. Finalmente, se propone una metodología para la identificación de subsistemas SEA con análisis modal. Esta técnica consiste en realizar un análisis clúster basado en los modos propios del problema, y permite la detección de subdivisiones óptimas para dominios complejos, incluso si varios subsistemas coexisten en la misma región geométrica.

En la segunda parte de la tesis, se analiza la transmisión sonora a través de paredes dobles desde diferentes puntos de vista, por ser éste un ejemplo paradigmático de las complejidades asociadas a las simulaciones vibroacústicas. En primer lugar, se presenta una compilación de modelos clásicos para este problema. A continuación, se propone la utilización del método de las



capas finitas como una nueva manera de discretizar el campo de presiones en la cavidad interior de las paredes dobles, especialmente cuando esta se encuentra parcialmente llena con material absorbente. Este método combina una discretización de tipo MEF en la dirección perpendicular a la pared con funciones trigonométricas en las dos direcciones coplanarias con la misma. El coste computacional

de esta técnica es inferior al del MEF, pero también permite la aplicación de las condiciones de continuidad y equilibrio entre capas fluidas. Seguidamente, esta técnica se compara tanto con datos experimentales como con otros modelos predictivos, con objeto de verificar la influencia de distintas simplificaciones habituales en estos modelos.

Por último, se presenta la combinación de métodos deterministas y

estadísticos como una posible solución para la modelización de problemas vibroacústicos compuestos por paredes dobles y otros elementos. El análisis global se realiza con SEA, pero se utilizan simulaciones numéricas de pequeñas partes del problema para obtener los parámetros necesarios. La combinación de ambas técnicas permite la realización de simulaciones con un coste computacional razonable.

## Abstract:

Modelling vibroacoustic problems in the field of building design is a challenging problem due to the large size of the domains and the wide frequency range required by regulations. Standard numerical techniques, for instance finite element methods (FEM), fail when trying to reach the highest frequencies. The required element size is too small compared to the problem dimensions and the computational cost becomes unaffordable for such an everyday calculation.

Statistical energy analysis (SEA) is a framework of analysis for vibroacoustic problems, based on the wave behaviour at high frequencies. It works directly with averaged magnitudes, which is in fact what regulations require, and its computational cost is very low. However, this simplified approach presents several limitations when dealing with real-life structures. Experiments or other complementary data are often required to complete the definition of the SEA model.

This thesis deals with the modelling of building acoustic problems with a reasonable computational cost. In this sense, two main research lines have been followed.

In the first part of the thesis, the potential of numerical simulations for extending the SEA applicability is analysed. In particular, three main points are addressed: first, a systematic methodology for the estimation of coupling loss factors from numerical simulations is developed. These factors are estimated from small deterministic simulations, and then applied for solving larger problems with SEA. Then, an SEA-like model for non-conservative couplings is presented, and a strategy for obtaining conservative and non-conservative coupling loss factors from numerical simulations is developed. Finally, a methodology for identifying SEA subsystems with modal analysis is proposed. This technique consists in performing a cluster analysis based on the problem eigenmodes. It allows detecting optimal SEA subdivisions for complex domains, even when two subsystems coexist in the same region of the geometry.

In the second part of the thesis, the sound transmission through double walls is analysed from different points of view, as a representative example of the complexities of vibroacoustic simulations. First, a compilation of classical approaches to this problem is presented. Then, the finite layer method is proposed as a new way of discretising the pressure field in the cavity inside double walls, specially when it is partially filled with an absorbing material. This method combines a FEM-like discretisation in the direction perpendicular to the wall with trigonometric functions in the two in-plane directions. This approach has less computational cost than FEM but allows the enforcement of continuity and equilibrium between fluid layers. It is compared with experimental data and also with other prediction models in order to check the influence of commonly assumed simplifications.

Finally, a combination of deterministic and statistical methods is presented as a possible solution for dealing with vibroacoustic problems consisting of double walls and other elements. The global analysis is performed with SEA, and numerical simulations of small parts of the problem are used to obtain the required parameters. Combining these techniques, a realistic simulation of the vibroacoustic problem can be performed with a reasonable computational cost.