

PREDICCIÓN DEL COEFICIENTE DE SCATTERING MEDIANTE UN ESQUEMA FDTD

PACS: 43.20.Fn, 43.55.Ka, 43.55.Br, 43.58.Ta

J. Redondo¹, R. Picó¹, M. R. Avis², T. J. Cox²

¹Universidad Politécnica de Valencia.

Cr. Nazaret-Oliva s/n. Grao Gandía (Spain)

fredondo@fis.upv.es

²Acoustics Research Centre. University of Salford.

Salford M5 4WT. (UK)

ABSTRACT

The present work is focussed on the evaluation of the scattering coefficient that is based on the incoherency of the non specularly reflected sound. A new tool for the prediction of this parameter is proposed based on a Finite Difference Time Domain (FDTD) algorithm.

Two measurement configurations proposed by Mommertz and Vorländer [1] and standardized in ISO standards are simulated. Results are compared with experimental data and simulations based on the AES standard for sound diffusers characterization [2].

RESUMEN

El presente trabajo se centra en la evaluación del coeficiente de scattering que se basa en la incoherencia del sonido reflejado no especularmente. Se propone una nueva herramienta para la predicción de este parámetro basado en un esquema en diferencias finitas en dominio temporal (FDTD).

Dos configuraciones de medida propuestas por Mommertz y Vorländer [1] y recogidas en normas ISO son simuladas. Los resultados son comparados con mediciones experimentales y simulaciones basadas en el protocolo marcado por la AES para la caracterización de difusores [2].

INTRODUCCIÓN

El primer estándar para medida de medir difusores fue publicado por la AES [3] y se basa en medidas en campo libre del sonido reflejado para varios ángulos. Las medidas deben hacerse en campo lejano o utilizar holografía acústica para obtener indirectamente las condiciones de campo lejano [4]. En cualquier caso el número de mediciones es enorme y por lo tanto el proceso de medida es muy tedioso. Mediante esta técnica se obtiene un parámetro conocido como *Coefficiente de Difusión* que es una medida de lo uniformemente que el sonido es reflejado. Es útil para comparar diferentes superficies y por lo tanto interesante para

diseñadores de difusores, pero es inútil a la hora de predecir el efecto de un difusor en el interior de una sala.

En 1995, Mommertz y Vorländer [1] presentaron una técnica completamente diferente para la caracterización de difusores basada en la incoherencia del sonido reflejado de manera no especular. En realidad, se proponían dos alternativas bien diferentes, una llevada a cabo en campo libre y otra en cámara reverberante [5].

En la técnica de campo libre el coeficiente complejo de reflexión es dividido en sus partes especular y difuso mediante promediado de varias respuestas al impulso obtenidas durante el giro de la muestra. Es necesario el uso de la fórmula de Paris para promediar varios ángulos de incidencia [6]. Por otra parte, en el método de cámara reverberante se mide la respuesta impulsiva durante el giro de la muestra. A partir de dicha respuesta al impulso se obtiene un tiempo de reverberación del cual se extrae finalmente un coeficiente de pseudo absorción del que se deduce el *Coficiente de Scattering*. Este método ha sido recogido por la ISO [7].

En las últimas décadas se han implementado diferentes algoritmos de simulación basados en el estándar AES para caracterización de difusores. Cox, D'Antonio y otros autores han señalado tras una serie de comparaciones con medidas experimentales que el método de elementos de contorno es el más exacto [8]. En lo que se refiere al estándar ISO se han propuesto varias alternativas para simular el caso de campo libre [9-11]. Sin embargo, ninguno de estos métodos trabajaban en el dominio de tiempo. La principal contribución del presente trabajo consiste precisamente en realizar estas simulaciones directamente en el dominio de tiempos. Los dos métodos propuestos por Mommertz and Vorländer se basan en ciertas características temporales del sonido dispersado, y por lo tanto parece adecuado utilizar técnicas que trabajen en el dominio de tiempos para simular estos protocolos de medida. En particular hemos trabajado con una técnica conocida como Diferencias Finitas en Dominio de Tiempos (Finite Difference Time Domain (FDTD)) que es un método que está cada vez más extendido en acústica. Este método fue propuesto por Yee en 1966 [12] en el campo del electromagnetismo. Meloney y Cummings [13] adaptaron este método a la acústica a partir de las ecuaciones de continuidad y de conservación del momento. En el campo de la acústica de salas el método es utilizable utilizando una formulación de condiciones de contorno basada en la impedancia superficial de los cerramientos de la sala [14].

El objetivo de este trabajo es demostrar que la técnica FDTD puede ser utilizada para reproducir el estándar FDTD evitando así la necesidad de mediciones para obtener el coeficiente de Scattering de una superficie.

METODO DE CAMPO LIBRE

El método de Mommertz y Vorländer consiste en la medida de la respuesta impulsiva durante el furo de la muestra. A partir de ellos se obtienen los coeficientes de absorción especular y total (α_{spec} y α_{tot}). Finalmente se obtiene el coeficiente de scattering mediante la expresión:

$$s = 1 - \frac{E_{\text{spec}}}{E_{\text{tot}}} = \frac{\alpha_{\text{spec}} - \alpha_{\text{tot}}}{1 - \alpha_{\text{tot}}} \quad (1)$$

El esquema de simulación FDTD está basado en la propuesta de Mommertz y Vorländer [1&5] (ver figura 1). Las condiciones anecóicas son conseguidas mediante el uso de PML [15]. Los elementos de la malla tiene un tamaño aproximado de 1cm por lo que los reustaldos serán fiables para frecuencias por debajo de 8.4 kHz. La excitación se introduce en la parte derecha de la zona de integración mediante una fuente puntual. Se graban las respuestas temporales en una serie de puntos. En lugar de usar ventaneo temporal para separar el sonido incidente se resta a las respuestas impulsivas una referencia obtenida en una malla sin muestra., lo cual

es equivalente al uso de una formulación de campo total/campo dispersado (Total Field to Scattering Field formulation [16]).

Tal y como se ha comentado, debido a limitaciones computacionales, tan solo se presentan aquí resultados 2D. Por lo tanto el procedimiento exacto de la norma no es reproducido, substituyendo el giro de la muestra por una traslación tal y como ha sido sugerido por diferentes autores [11, 17]. El esquema de simulación se ilustra en la figura 1. El esquema B incluye un montaje para la eliminación de efectos de borde [18]

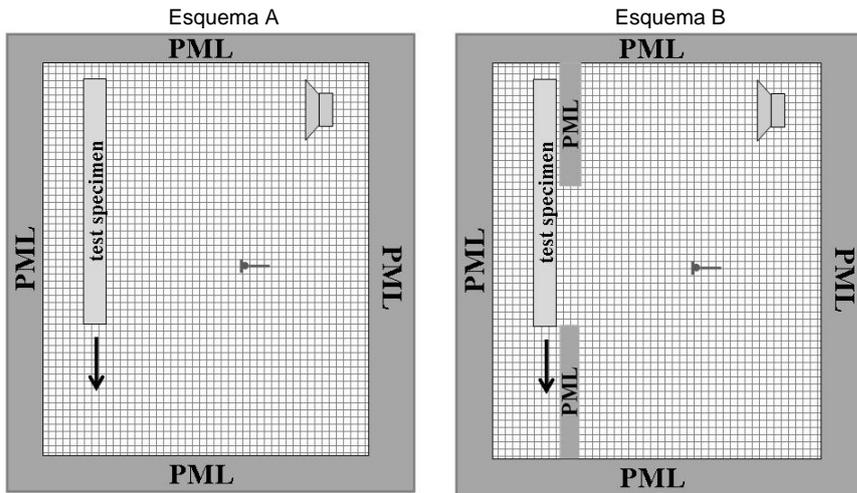


Figure 1.- Esquema de simulación adaptación del método de campo libre de Mommertz and Vorländer. La muestra es desplazada 42 veces en pasos de 2 cm. Se obtienen las respuestas al impulso y se promedian para obtener la reflexión especular y la reflexión difusa por separado.

Se han caracterizado dos superficies (ver figura 2):

Seis periodos de un difusores de residuo cuadrático (QR) de 7 hendiduras con un frecuencia de trabajo en 500 Hz

Un conjunto de 9 triángulos (con ángulo de 45°) y anchura total de 3.66m.

Los resultados para el esquema A se ilustran en la figura 3 mientras que los resultados para el esquema 4 se ilustran en la figura 4. En la primera se ha introducido como referencia los resultados para el caso de una superficie plana. En el caso de la segunda se han incluido también en la figura los resultados para el coeficiente de scattering por correlación [19] obtenido a partir de unas simulaciones siguiendo el estándar AES para caracterización de difusores presentadas en [2]. Se observa una elevada similitud entre los resultados para el coeficiente de scattering y el coeficiente de scattering por correlación en el caso del difusor, pero no así para el caso del conjunto de triángulos. Sin embargo estas diferencias puede deberse perfectamente a una diferencia de entre ambos coeficientes y no a una deficiencia del esquema de simulación propuesto. Las diferencias entre esos parámetros han sido ya comentadas por otros autores. Ver por ejemplo la referencia [20]

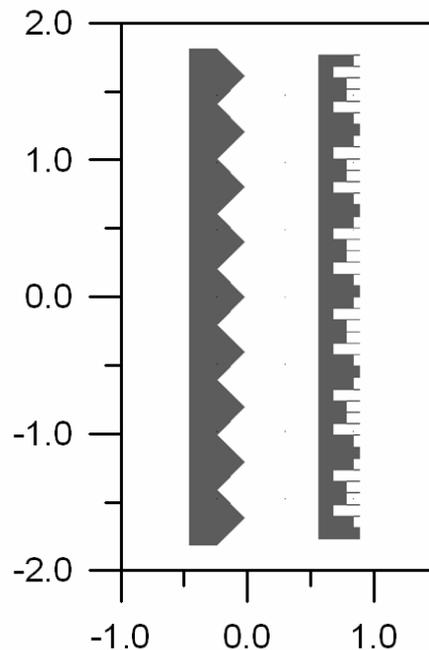


Figura 2.- Ilustración de las dos superficies evaluadas.

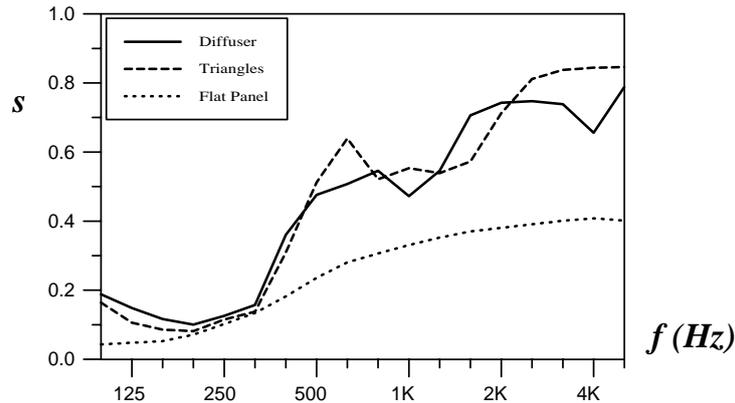


Fig. 3: Coeficiente de Scattering para las dos superficies evaluadas con el esquema A

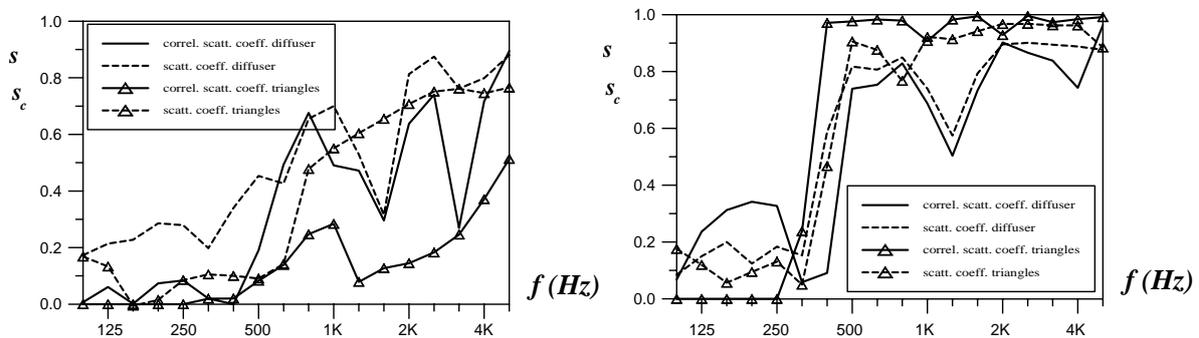


Fig. 4: Coeficiente de Scattering para las dos superficies evaluadas con el esquema B. A la izquierda ángulo de incidencia 0°, a la derecha 45°

Estos resultados preliminares demuestran que la incoherencia del sonido reflejado difusamente puede ser simulada mediante FDTD. En la siguiente sección comprobaremos si esto es extensible al método de cámara reverberante

METODO DE CÁMARA REVERBERANTE (ISO/DIS 17497-1)

La idea que subyace en la norma de medida de difusores en cámara reverberante es que el promediado de varias señales durante el giro de la muestra hace que el sonido reflejado no especularmente se cancele. De esta manera, la contribución de la dispersión es la de aumentar la absorción aparente de la sala y por lo tanto puede ser calculada a partir de la disminución en la reverberación en la misma.

Tal y como se ha señalado el presente trabajo se limita a simulaciones 2D. Por ello, las expresiones habituales que relacionan el coeficiente de absorción con el tiempo de reverberación deben ser adaptadas al caso 2D. Se puede demostrar que:

$$t_r = \frac{\pi \cdot 0.162 \cdot S}{4 \cdot L \cdot \alpha} \quad (2)$$

donde t_r es el tiempo de reverberación, S es la superficie de la sala 2D, L es el perímetro, y α es el coeficiente de absorción.

El esquema de simulación es similar al descrito en el apartado anterior a excepción de que ahora las superficies perimetrales son ahora reflectantes. Por simplicidad las paredes son paralelas, es decir, no se sigue en su totalidad la norma UNE EN-ISO 354 [23]. De nuevo el giro de la muestra es sustituido por una traslación de la misma. En el esquema B se introducen unas superficies que eviten los efectos de borde (ver figura 5).

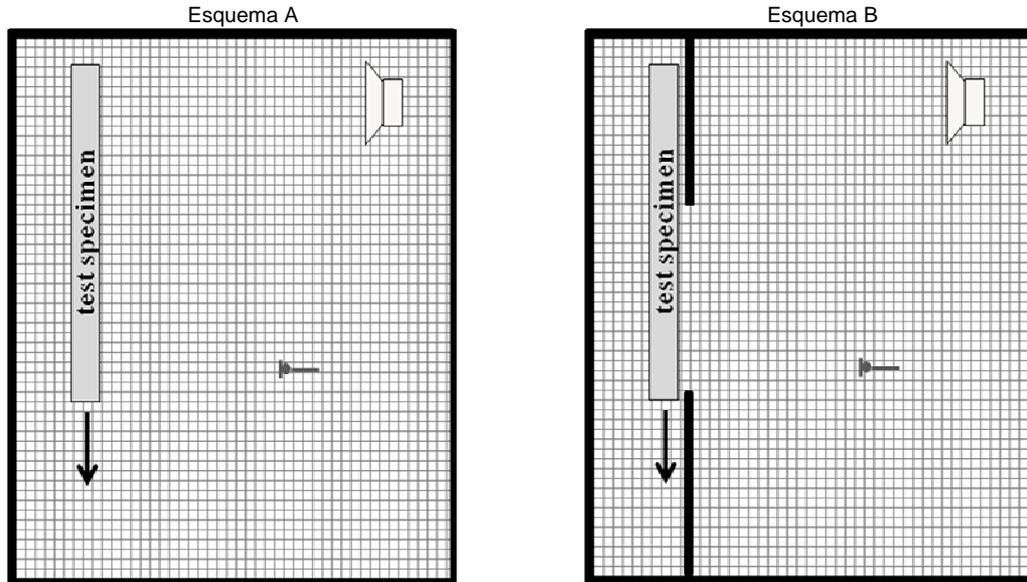


Figura 5.- Esquema de simulación reproduciendo básicamente el estándar ISO para caracterización de difusores en cámara reverberante. El esquema B incluye una ventana que elimina los efectos de borde.

La figure 6 ilustra los resultados obtenidos para ambos esquemas. En el caso del esquema A el conjunto de triángulos parece ser más efectivo como dispersor del sonido que el propio difusor. Esto puede ser debido al efecto de borde, que como ya se ha comentado desaparece con el montaje B. Para dicho montaje, y con el propósito de validar las simulaciones, se ha construido una cámara reverberante 2D y un modelo de los triángulos (la superficie evaluada más fácil de construir) a una escala 1:5. La figura 6b ilustra los resultados tanto de las simulaciones como de las medidas. Las principales diferencias aparecen en alta frecuencia donde cabe esperar que el ruido numérico sea mayor y por lo tanto las simulaciones más inexactas. También aparecen diferencias notables a algunas frecuencias particulares, posiblemente debidas a resonancias de la cámara 2D.

En cualquier caso los resultados pueden ser considerados como muy prometedores, quedando demostrado que la técnica FDTD, dado que trabaja en dominio de tiempos, es un buen candidato para la simulación del estandar ISO para la caracterización de difusores de sonido

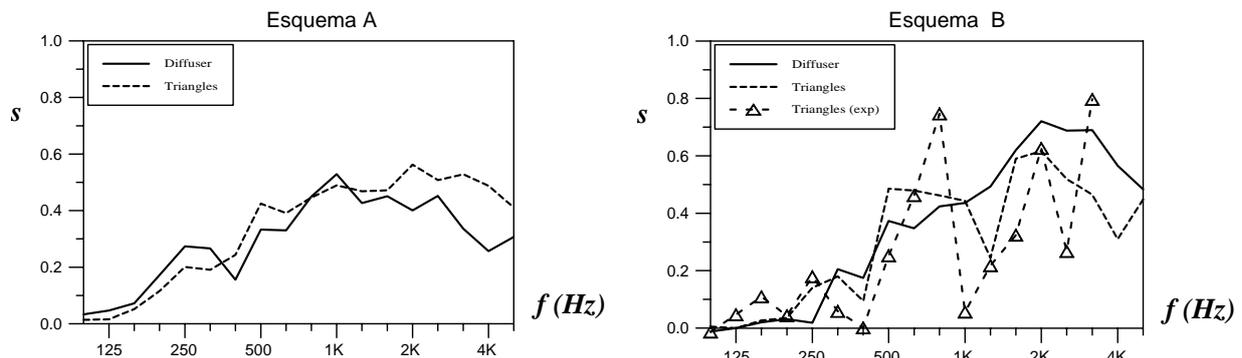


Fig. 6: Coeficiente de Scattering en incidencia aleatoria. El esquema B incluye una comparación con mediciones realizadas en un modelo real a escala

CONCLUSIONES

El presente trabajo ha demostrado que el método FDTD puede ser utilizado para obtener el coeficiente de scattering de una superficie evitando la realización de mediciones.

Agradecimientos

El trabajo de los autores J. Redondo y R. Picó ha sido subvencionado por el Programa de Apoyo a la Investigación y Desarrollo (PAID-06-08) de la Universidad Politécnica de Valencia.

Referencias

- [1] Mommertz E., Vorländer M., Measurement of Scattering coefficient of surfaces in the reverberation chamber and in the free-field, Proceedings 15th ICA, Trondheim, 1995, p. 577-590
- [2] J. Redondo, R. Picó, B. Roig, M. R. Avis, "Time domain simulation of sound diffusers using finite-difference schemes", Acta Acustica united with Acustica. 93, 4, 611-622, (2007)
- [3] AES information document for room acoustics and sound reinforcement systems — Characterization and measurement of surface scattering uniformity. Audio Engineering Society. (2001)
- [4] Mendel Kleiner, Hans Gustafsson, Joakim Backman, Measurement of directional scattering coefficients using Near-Field Acoustic Holography and Spatial Transformation of Sound fields. J. Audio Eng. Soc. 45, No. 5, 1997
- [5] Vorländer M., Mommertz E., Definition and Measurement of Random-incidence Scattering Coefficients, Applied Acoustics 60 (2000), p. 187-199.
- [6] Kuttruff H., Room Acoustics. 3rd ed. London: Elsevier Applied Science, 1991.
- [7] ISO 17497-1:2004, "Acoustics -- Sound-scattering properties of surfaces -- Part 1: Measurement of the random-incidence scattering coefficient in a reverberation room"
- [8] T.J. Cox and Y W Lam. Prediction and Evaluation of the Scattering from Quadratic Residue Diffusers. J. Acoust.Soc.Am. 95(1). 297-305. (1994).
- [9] J.-J. Embrechts, L. De Geetere, G. Vermeir, M. Vorländer, T. Sakuma, " Calculation of the Random-Incidence Scattering Coefficients of a Sine-Shaped Surface", Acta Acustica United with Acustica, 92, pp. 593-603, 2006.
- [10] Y. Kosaka, T. Sakuma, Numerical examination on scattering coefficients of architectural surfaces using the Boundary element method, Acoust. Sci. Tehnol. 26,(2) pp. 136-144, 2005.
- [11] T. J. Cox, B.I. L. Dalenback, P. D'Antonio, J. J. Embrechts, J. Y. Jeon, E. Mommertz, M. Vorländer, "A Tutorial on Scattering and Diffusion Coefficients for Room Acoustic Surfaces", Acta Acustica united with Acustica. 92, 1 – 15 (2006)
- [12] K. S. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media," IEEE Transactions on Antennas Propag., 14, 302-7, (1966).
- [13] J. G. Meloney and K. E. Cummings, "Adaptation of FDTD techniques to acoustic modelling", 11th Annu. Rev. Prog. Applied Computational Electromagnetics, 2, 724 (1995).
- [14] D. Botteldooren, "Finite-difference time-domain simulation of low-frequency room acoustic problems," J.Acoust.Soc.Am., 98, 3302-8, (1995)
- [15] X. Yuan, D. Borup, J. W. Wiskin, M., Berggren, R. Eidens, S. Johnson, Formulation and Validation of Berenger's PML Absorbing Boundary for the FDTD Simulation of Acoustic Scattering;. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency control, Vol 44, No. 4, 816-822, July 1997
- [16] K. Umashankar and A. Taflove, "A novel method to analyze electromagnetic scattering of complex objects," IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility, vol. 24, pp. 397-405, 1982.
- [17] A. Farina. "Measurement of the surface scattering coefficient: comparison of the Mommertz/Vorländer approach with the new Wave Field Synthesis method". International Symposium on Surface Diffusion in Room Acoustics - Liverpool (GB) 16 April 2000
- [18] Vorlander M, Embrechts JJ, De Geetere L, et al., Case studies in measurement of random incidence scattering coefficients, Acta Acustica united with Acustica 90 (5): 858-867 SEP-OCT 2004
- [19] E. Mommertz, "Determination of scattering coefficients from reflection directivity of architectural surfaces," Applied Acoustics, 60(2), 201-204, (2000).
- [20] Embrechts, J.J.; Archambeau, D.; Stan, G.B.; "Determination of the Scattering Coefficient of Random Rough Diffusing Surfaces for Room Acoustics Applications" Acta Acustica united with Acustica, Volume 87, Number 4, July/August 2001 , pp. 482-494(13)

- [21] A. Taflove, "Computational electrodynamics: The finite-difference time-domain method," 6, vol. 1995, pp. 107-144, Artech House.
- [22] J.J. Lopez, J. Escolano, B. Pueo, "On the Implementation of a Room Acoustics Modeling Software using Finite- Differences Time-Domain Methods", Proceedings of AES 122th Convention (Audio Engineering Society), Viena (Austria), 2007
- [23] ISO standard 354:2003 "Acoustics- Measurement of sound absorption in a reverberation room"