



ON ABSORPTION AND DIFFUSION COEFFICIENTS IN ACOUSTIC SIMULATION SOFTWARES: EFFECTS ON PARAMETERS

Reference PACS: 43.55 Ev

Cerdá, Salvador¹; Lacatis, Radu²; Segura, Jaume³; Montell, Radha²; Barba, Arturo²; Cibrián, Rosa⁴; Giménez, Alicia²

¹ Departamento Matemática Aplicada, Univ. Politécnica de Valencia (UPV), Camino de Vera s/n Valencia - SPAIN salcerjo@mat.upv.es

² E.T.S.I. Industriales., UPV, Valencia –SPAIN rala1@doctor.upv.es, radmonse@fiv.upv.es, agimenez@fis.upv.es, arturo@arturobarba.com

³ IRTIC - Universitat de València, C/Catedratic Dr José Beltrán, 2 - Paterna, SPAIN jsegura@uv.es

⁴ Facultad de Medicina. Universitat de València, SPAIN rosa.m.cibrian@uv.es

ABSTRACT

The aim of this paper is to show the results provided by ODEON and CATT-Acoustic, two simulation programs, for a very simple model: a cube with all sides with the same absorption and with different diffusion coefficients. Our intend is illustrate the functioning of both programs and show how sometimes, for this simple model, there are important differences in predictions for each one of the programs. These differences could approach the reader to the internal differences of both programs.

RESUMEN

El propósito de este trabajo es mostrar los resultados que proporcionan ODEON y CATT-Acoustic, dos programas de simulación, para un modelo muy simple: un cubo con todas sus paredes con la misma absorción y con diferentes coeficientes de difusión. Nuestro propósito es ilustrar el funcionamiento de ambos programas y mostrar cómo a veces, para este modelo simple, hay importantes diferencias en las predicciones para cada uno de los programas. Estas diferencias podrían aproximar al lector a las diferencias entre ambos programas.

1. INTRODUCCIÓN

Los programas de simulación acústica incluyen la elaboración del modelo geométrico, utilizando un conjunto de superficies, y la asignación de los materiales a cada una de las superficies utilizadas. Esto último se realiza indicando las absorciones por bandas de frecuencia y los coeficientes de difusión. Los coeficientes de difusión se interpretan como el porcentaje de energía que no es especularmente reflejada. La conservación de la energía viene dada por la relación [1]:

$$(1-s) \cdot (1-\alpha) + \alpha + s \cdot (1-\alpha) = 1$$

Specular Absorbed Scatterea

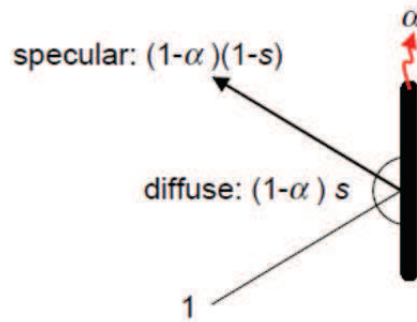


Figura 1. Conservación de la energía en una reflexión.

Desde el First International Round Robin on Room Acoustical Computer Simulations [2], se sabe que aquellos programas que incluyen la difusión son los que producen resultados de confianza. Además, el uso de coeficientes de difusión no es una simple forma de hacer los programas realistas, es también una herramienta que permite al usuario ajustar su modelo a los datos experimentales [3].

En este trabajo se han utilizado dos programas comerciales: CATT-acoustics v.8 y Odeon v10. Aunque ambos programas están basados en el trazado de rayos, su funcionamiento no es el mismo.

CATT-acoustics utiliza algoritmos de trazado de conos [4, 5]. La difusión es dependiente de la frecuencia, realizando trazado para cada octava. El sonido directo y la reflexión especular de primer orden son deterministas (en la figura en líneas continuas).

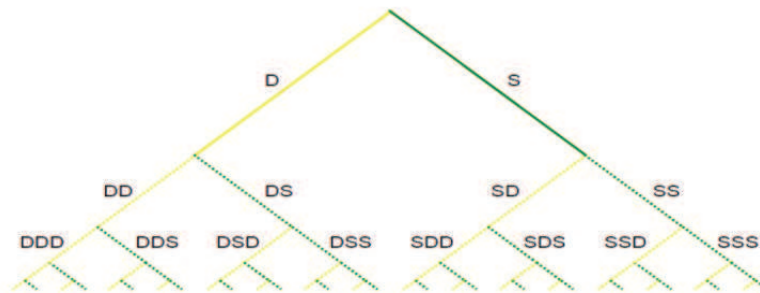


Figura 2. Esquema del algoritmo de CATT-acoustic.

A partir de la segunda reflexión, la reflexión especular y difusa se realiza aleatoriamente. Es decir, si se tiene un coeficiente $s=0.5$, la mitad de los rayos se refleja especularmente y la otra mitad lo hace siguiendo la distribución de Lambert (random ray split-up between diffuse and specular) [5].

Por su parte, Odeon utiliza un algoritmo híbrido [6]. Para las reflexiones tempranas, utiliza una mezcla de modelo de imágenes y trazado de rayos. Para las reflexiones tardías, utiliza un método especial de trazado de rayos con fuentes secundarias que irradian energía desde la superficie de las paredes. El parámetro TO (por defecto 2), es el que determina qué se considera una reflexión temprana o tardía. El programa también especifica el número de rayos que se incluyen como rayos tempranos que son emitidos por las fuentes que encuentra en la reflexión temprana.

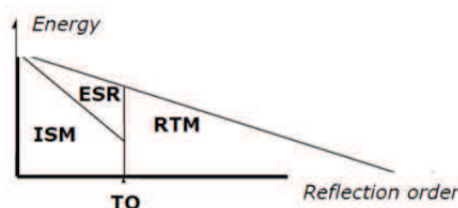


Figura 3. Esquema del algoritmo de ODEON.

Para las reflexiones de orden menor que TO, Odeon determina la fuente imagen y si es visible para la fuente, incluye la consiguiente reflexión en el reflectograma. La atenuación de la misma se realiza teniendo en cuenta absorción, distancia, difusión y absorción del aire. Se continúa con el método de las imágenes hasta el orden TO. Los rayos tardíos, se convierten en fuentes secundarias y se emite un rayo difractado según la distribución de Lambert. La resultante es la suma de los dos rayos con los pesos $1-s$ y s (ver Figura 4).

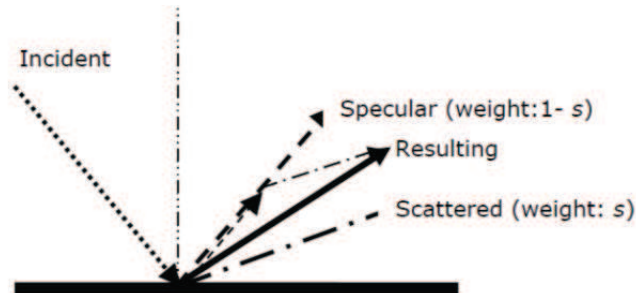


Figura 4. Conservación de la energía en el algoritmo de ODEON.

En resumen, la diferencia entre los dos programas se encuentra en las reflexiones de primer y segundo orden (según TO por defecto). En el caso de CATT (Algoritmo 1), se tratan de forma determinista las de primer orden, mientras que en el caso de ODEON, se utiliza una mezcla del método de las imágenes y el trazado de rayos.

2. OPCIONES POR DEFECTO

En la siguiente figura presentamos la ventana en la que se eligen las opciones que CATT-TUCT ofrece. Para nuestros cálculos hemos utilizado las opciones por defecto: Algoritmo 1, con 0 en la pestaña Max split order. Es decir, el tratamiento de la difusión para todos los rayos reflejados es estocástica. En cuanto al número de rayos hemos utilizado la opción Auto con el tipo Measures. De igual modo hemos seleccionado la opción Auto para la longitud de la respuesta impulsiva. También aparece marcada la opción de considerar la absorción del aire.

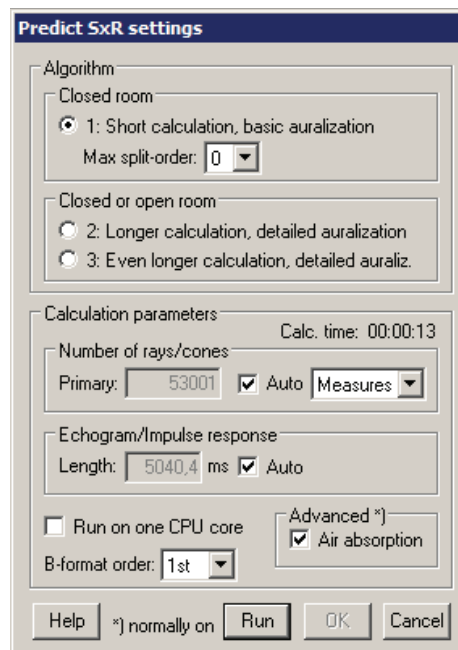


Figura 5. Opciones en CATT-TUCT.

En el caso de ODEON aparecen más opciones. Hemos utilizado las opciones que por defecto proporciona el utilizar el botón de Engineering. Una vez hecho esto, el programa nos pide que

seleccionemos la duración de la Respuesta Impulsiva. Hemos puesto 5000 ms, que es el tiempo que CATT-TUCT utiliza por defecto al seleccionar la opción Auto.

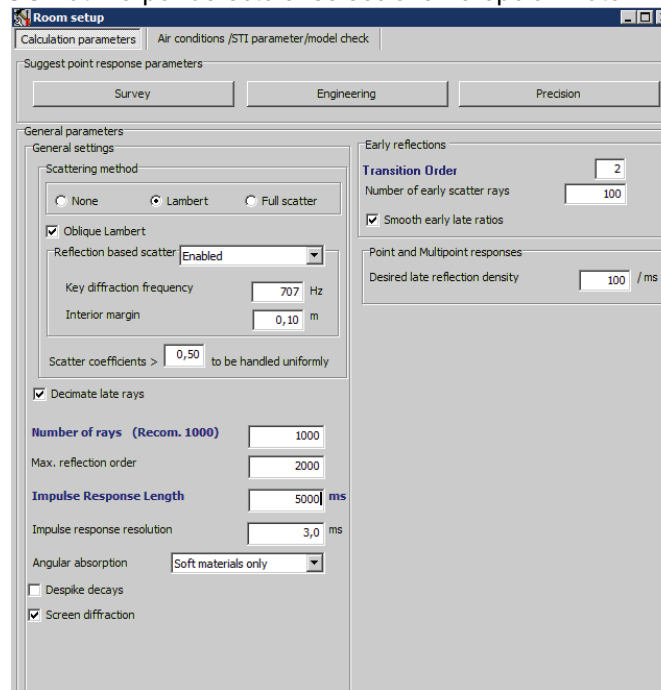


Figura 6. Opciones en ODEON.

3. UNA GEOMETRIA ELEMENTAL: EL CUBO DE 20 M DE ARISTA

Una de las geometrías más simples que se pueden estudiar es el cubo. Siguiendo la intención de los autores de comparar los resultados de ambos programas reduciendo al máximo la complejidad del modelo, hemos optado por utilizar el mismo coeficiente de absorción en todas las paredes y en todas las bandas de frecuencia. Además hemos utilizado el mismo coeficiente de difusión en todas las paredes. Ejemplos similares aparecen en [7], [8]. En este lugar los autores quieren hacer notar que no se pretende entrar a discutir en el funcionamiento de cada uno de los programas. Como hemos dicho con anterioridad, solo pretendemos comparar los resultados que proporcionan ambos programas en este modelo para que sirva de guía a los usuarios de ambos programas.

La comparación de las simulaciones se ha realizado para las siguientes absorciones: 10, 30, 50, 70 y 90. Para cada absorción, se han utilizado los coeficientes de difusión: 0, 20, 40, 60, 80 y 100.

3.1. EFECTO COMBINADO ABSORCIÓN-DIFUSIÓN

En este apartado estudiamos el efecto del coeficiente de difusión en la predicción de diferentes parámetros en cada uno de los programas fijada la absorción. Para ello comparamos los valores de cada parámetro con el valor obtenido para un coeficiente de difusión 0 [7].

En la Figura 7, presentamos los resultados para ODEON. Para poder comparar las diferencias obtenidas en este software, hemos utilizado la misma escala del eje del error. A continuación detallamos los comentarios para cada parámetro:

- EDT: Se observa que para una absorción baja (coeficiente 10), la variación con el coeficiente de difusión no supera 1 jnd. Para absorciones medias (30 y 50), las variaciones son del orden de 2 jnd y se aproximan a 5 jnd. Para absorciones altas, se observan grandes variaciones en el EDT con la difusión.
- RT30: Este parámetro permanece bastante estable con la variación de la difusión para absorciones bajas y medias. Incluso para absorciones altas su variación con la difusión no supera los 5 jnd.

- SPL: permanece estable en todos los casos. (Se ha considerado 1 dB como jnd)
- C80: Se aprecia una tendencia a aumentar su variación con el coeficiente de difusión para absorciones altas.
- D50: Se produce un fenómeno inverso al C80. Cuando las absorciones son bajas hay mayor dependencia con el coeficiente de difusión. La excepción es un coeficiente de difusión de 100 y absorciones muy altas.
- Ts: Ocurre algo similar a lo que ocurre con el D50: con el aumento de la absorción, la dependencia con la difusión es menor.

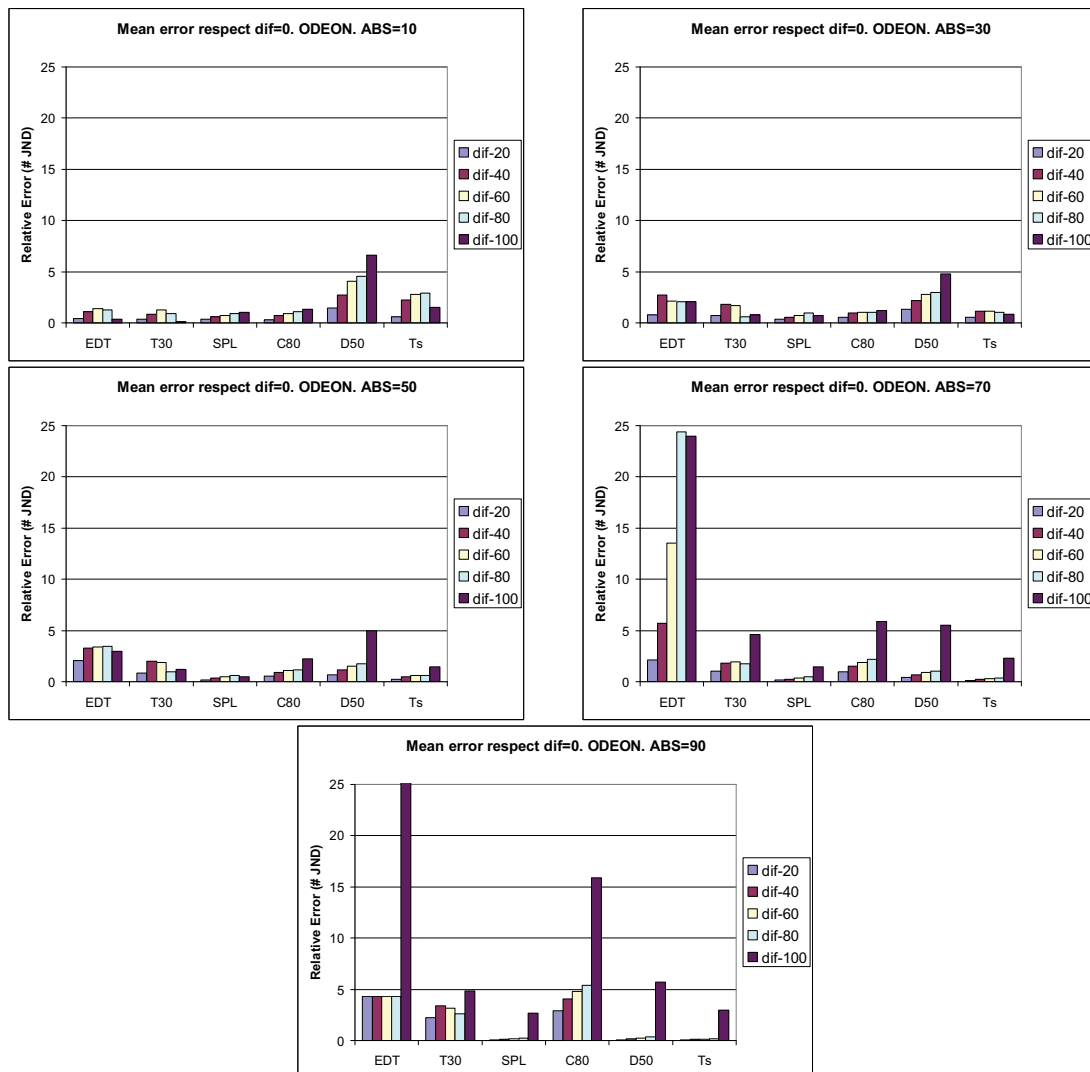


Figura 7. Variación de los parámetros con el coeficiente de difusión para una absorción dada. ODEON.

En la Figura 8, presentamos los resultados para CATT-acoustic. Para poder comparar las diferencias obtenidas en este software, hemos utilizado la misma escala del eje del error. A continuación detallamos los comentarios para cada parámetro:

- EDT: Se observa que para una absorción baja (coeficiente 10), la variación con el coeficiente de difusión no supera 1 jnd. Para absorciones medias (30 y 50), las variaciones se aproximan a 5 jnd. Para absorciones altas, se observan grandes variaciones en el EDT con la difusión.
- RT30: Este parámetro permanece bastante estable con la variación de la difusión para absorciones bajas y medias. Solo en el caso de muy alta absorción su variación con la difusión supera los 5 jnd.
- SPL: Para absorciones bajas hay variaciones del orden de 5 jnd (se ha considerado 1 dB como 1 jnd). A medida que aumenta la absorción disminuye menos con la difusión.

- C80: Se aprecia una ligera tendencia a aumentar su variación con el coeficiente de difusión al aumentar las absorciones. Sin embargo no supera los 5 jnd.
- D50: Para absorción baja y alta no muestra mucha variación con la difusión. Sin embargo para absorciones medias supera los 5 jnd llegando incluso a los 20 jnd.
- Ts: No muestra variaciones superiores a 5 jnd y al aumentar la absorción, la dependencia con la difusión disminuye.

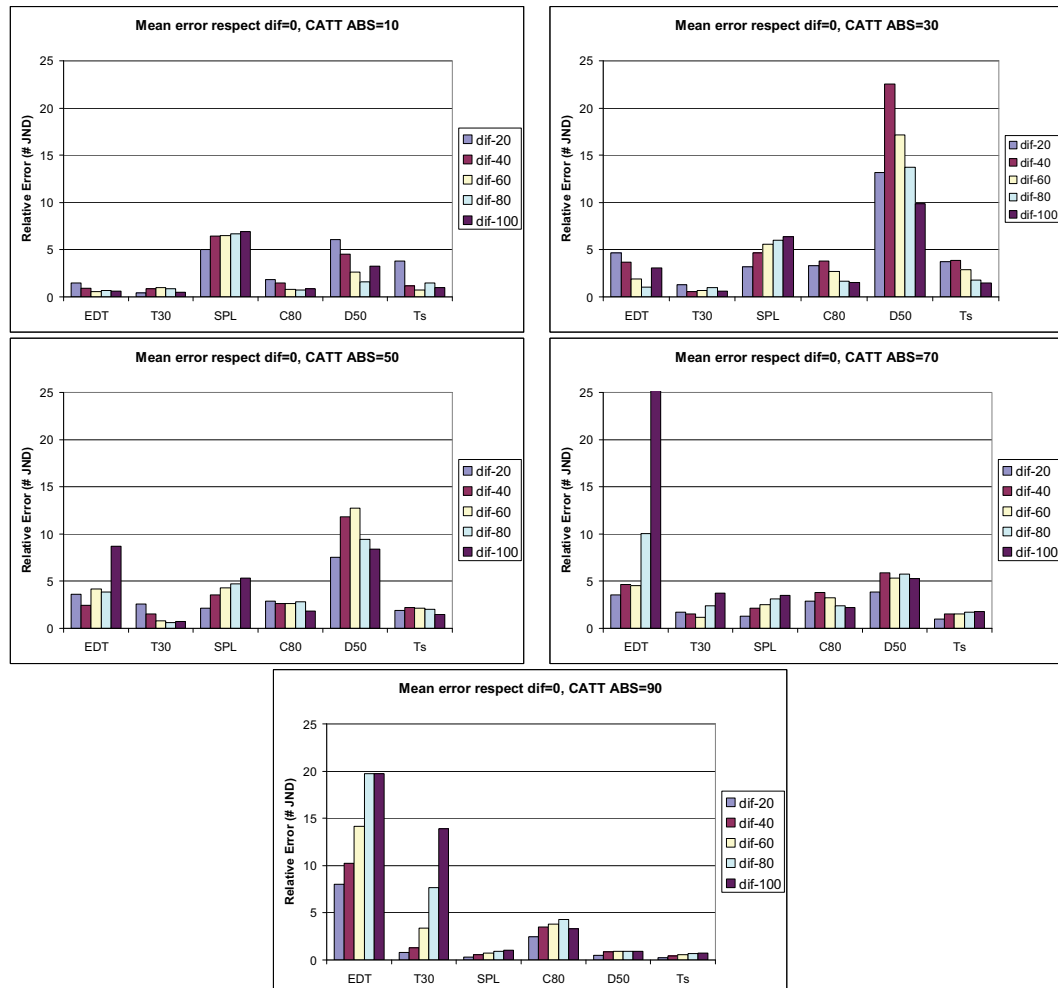


Figura 8. Variación de los parámetros con el coeficiente de difusión para una absorción dada. CATT-acoustic

En las figuras anteriores no hemos incluido el LF por su comportamiento especial. En la Figura 9 mostramos la variación que se produce en ODEON y en CATT-acoustic. Como se aprecia, en el caso de ODEON la dependencia con la difusión sólo es muy importante para la mayor absorción. Sin embargo, en el caso de CATT-acoustic la variación con la difusión es grandísima. Solo para la absorción más pequeña la variación es semejante a la de ODEON. Se explica esto dado que la predicción de LF que proporciona CATT-acoustic con un coeficiente de difusión 0 es un valor del parámetro muy próximo a cero. Lo que conlleva que los errores relativos con respecto a la predicción sin difusión sea tan grande por comportarse como una división por cero.

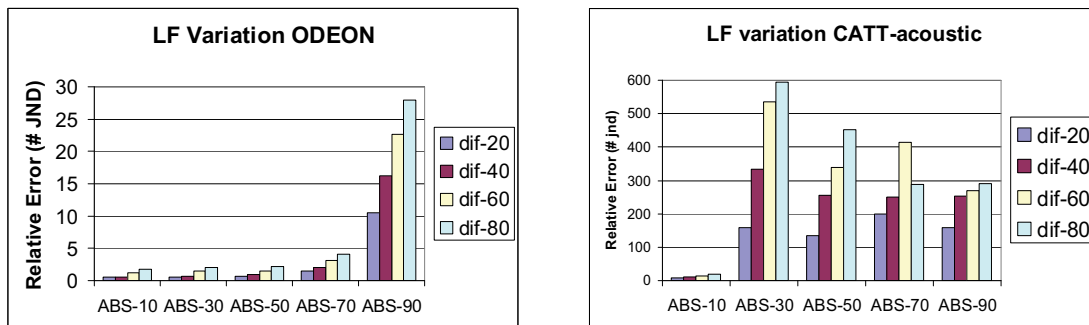


Figura 9. Variación del parámetro LF con el coeficiente de difusión para una absorción dada en ambos programas.

4. CONCLUSIONES

Mediante el estudio de una geometría simple con unas muy particulares características acústicas, hemos mostrado las diferencias que dos programas de simulación ODEON y CATT-acoustic presentan al trabajar con las opciones por defecto. Dado que los algoritmos utilizados por los programas no son los mismos, el hecho de que aparezcan diferencias puede parecer justificado de antemano. La intención de los autores no es discutir sobre las causas de las diferencias ni debatir si alguno de los programas es superior al otro. Con este trabajo queremos hacer hincapié en que existen modelos para los que hay diferencias notables en las predicciones.

Sin poder ser generalizadas a otros modelos, para el caso estudiado se observan los siguientes hechos que exponemos como conclusiones o notas finales:

1. En el caso de ODEON, para difusiones bajas solo D50 muestra variaciones del orden de 5 jnd con la difusión. Para absorciones altas son EDT y C80 quienes muestran variaciones importantes con la difusión.
2. CATT-acoustic, en general, muestra mayor variación de sus predicciones con la difusión para todos los parámetros. Para absorciones bajas, SPL y D50 son los parámetros que muestran mayores variaciones. Como en ODEON, al aumentar la absorción el EDT muestra mayor variación con la difusión.
3. Para el LF hemos visto que ODEON produce predicciones muy estables, salvo para la máxima absorción estudiada. CATT-acoustic solo presenta una predicción estable para la absorción más baja. En las otras absorciones las variaciones son extremas dado que el valor del parámetro LF con difusión 0 está próximo a cero.
4. Existen dos grupos de parámetros que muestran comportamientos antagónicos: EDT, TR30 y C80 aumentan sus diferencias con la difusión al aumentar la absorción. D50 y Ts disminuyen las diferencias con la difusión al aumentar la absorción.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está financiado por fondos FEDER y el Ministerio de Ciencia e Innovación Español, dentro del proyecto BIA2008-05485.

6. REFERENCIAS

- [1] Dalenbäck Bl. "Room acoustic prediction based on a unified treatment of diffuse and specular reflection". *J. Acoust. Soc. Am.* (1996).
- [2] Vorländer M. "International round robin on room acoustical computer simulations". ICA'95 1995:689.
- [3] Bistafa, S. R., and Bradley, J. S. "Predicting reverberation times in a simulated classroom" *J. Acoust. Soc. Am.* 108, 1721–1731. (2000).
- [4] CATT-Acoustic v8g. Room Acoustics Prediction and Walkthrough Auralization. User's Manual. CATT, Mariagatan 16A, 41471 Gothenburg, Sweden. <http://www.catt.se>, 2007.

- [5] TUCT v1.0e. User's Manual. Mariagatan 16A, 41471 Gothenburg, Sweden. <http://www.catt.se>, 2007.
- [6] C. L. Christensen: ODEON room acoustics program, version 10.1. Industrial, Auditorium and Combined Editions, ODEON A/S, c/o Acoustic Technology, Ørsted.DTU, Ørsteds Plads, Technical University of Denmark, Building 352, DK-2800 Lyngby, Denmark. www.odeon.dk, 2009.
- [7] Lily M. Wang, Jonathan Rathsam. "The influence of absorption factors on the sensitivity of a virtual room's sound field to scattering coefficients". *Applied Acoustics* 69 (2008) 1249–1257.
- [8] B.-I. Dalenbäck CATT, Sarah G. Brown. "Characterizing rooms regarding reverberation time prediction and the sensitivity to absorption and scattering coefficient accuracy". ASA Baltimore, April 2010. (<http://www.catt.se/papers.htm>)
- [9] Ingolf Bork. "A comparison of Room simulation software- The 2nd Round Robin on Room Acoustical Computer Simulation". *Acta Acustica united with Acustica*. Vol. 86 (2000) 943-956.
- [10] Bengt-Inge Dalenbäck. Engineering principles and techniques in room acoustics prediction. Bergen, Norway. BNAM 2010. May 10-12.