

ARETO 1.0: SOFTWARE PARA LA CARACTERIZACIÓN ACÚSTICA DE RECINTOS.

PACS: 43.55.Mc

Machín, J.; Arregui, A.; San Martín, R.; Arana, M.
Universidad Pública de Navarra. Departamento de Física.
Campus de Arrosadía. 31006. Pamplona. Spain
Tel.: 948 169568
Fax: 948 169565
E-mail: marana@unavarra.es

ABSTRACT

There is in the market several acoustics software to characterize a room. Due to its high degree of sophistication this software is used only by acoustic researchers, which prevents other sectors like architects, musicians... approach to the field of measurement and analysis of impulse response and their derived acoustic parameters. In this paper, preliminary results on the validation test of a new software developed at the Acoustics Department of the Public University of Navarra is shown. The main goal is to find the balance between effectiveness and utility without decreasing in the necessary quality requirements demanded by standards.

RESUMEN

Existen en el mercado diversos programas utilizados para caracterizar acústicamente un recinto. Por su alto grado de sofisticación, suelen estar dirigidos a público especializado, lo que impide a otros sectores (arquitectos, músicos...) acercarse con confianza al campo de la medida y análisis de respuestas impulsivas y sus parámetros acústicos derivados. En esta comunicación se presentan los resultados preliminares del proceso de validación de un software creado en el Laboratorio de Acústica de la Universidad Pública de Navarra. Su objetivo es el de encontrar el equilibrio entre operatividad y eficacia sin disminuir los requisitos de calidad exigibles por los estándares.

1. INTRODUCCIÓN.

La evaluación de los parámetros acústicos que caracterizan un recinto es una de las tareas más comunes a las que se enfrenta un ingeniero acústico. Para medirlos es habitual contar con un software específico encargado de facilitar tanto la obtención como el posterior procesado de la respuesta al impulso de la que se derivan. La elección de dicho software, junto con la experiencia del usuario, juegan un papel fundamental en la fiabilidad de los resultados obtenidos.

Lundeby et al. [1] observaron cómo distintos programas para el cálculo de parámetros acústicos introducen diferencias en los parámetros debido al enventanado y filtrado de la señal, a la integración inversa y a la compensación por ruido. También observaron que incluso siguiendo las indicaciones de la ISO-3382 [2] las diferencias entre programas podían llegar a límites de diferencias perceptibles (JND), por lo que propusieron un algoritmo iterativo para estandarizar el proceso de truncamiento. Existen también diversos estudios que evalúan diferencias entre los distintos sistemas de medida, bien cambiando el tipo de señal de emisión (señal impulsiva, sweep logarítmico) [3], la directividad de la fuente sonora [4], o comparando sistemas de medida, como el caso de los Round Robin [5] o un reciente estudio llevado a cabo en la Universidad de Sevilla [6].

En este trabajo se muestra una nueva herramienta desarrollada en el Laboratorio de Acústica de la Universidad Pública de Navarra que nos permite caracterizar recintos a través de respuestas al impulso (RI). Dicho software se divide en dos partes, la primera dedicada a obtener dichas RIs mediante un módulo de grabación-reproducción, mientras que la segunda se encarga de obtener los parámetros acústicos de la RI. Se desarrolló en dos etapas. En la primera, a modo de toma de contacto, se utilizó como herramienta de programación Matlab. Posteriormente se desarrolló la aplicación en C, lo que permite, entre otras ventajas, un mayor control del software, una mayor libertad a la hora ejecutarlo sobre distintas plataformas (Windows, Macintosh y Linux), y obtener tantas respuestas al impulso simultáneamente como entradas disponga la tarjeta de sonido (probada con resultado positivo con 12 canales frente a los uno o dos habituales de los programas comerciales más populares).

El software se encuentra en una primera versión, por ello, en este documento se pretende validar tanto el proceso de medición como el de cálculo. En este proceso de validación se estudian dos características del software, la repetibilidad y la reproducibilidad, conceptos que se relacionan con la variación entre mediciones realizadas consecutivamente con el sistema propuesto y con la diferencia en el promedio de grupos de mediciones repetidas realizadas con diferentes sistemas respectivamente.

2. CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE

En ambas versiones del software se ha utilizado como medio de comunicación con la interfaz de audio la librería Portaudio, una librería de código libre para la grabación y reproducción de audio. Esta opción nos permite trabajar con la mayoría de las tarjetas de audio existentes, ya que puede utilizar distintos drivers de audio como CoreAudio, ASIO, MME, etc. Asimismo, permite seleccionar el interfaz de entrada y salida de audio, la frecuencia de muestreo, el número de bits de la grabación, etc. Además, se han utilizado varias librerías externas, todas ellas bajo licencia GPL, con el objetivo de poder difundir al máximo el software.

El software ha sido programado para que cumpla toda la normativa aplicable a las mediciones de parámetros acústicos en recintos. Todos los filtros de octava cumplen los requisitos de la norma IEC 61260 [7] y a la hora de calcular los parámetros se sigue la propia ISO 3382 [2]. En cuanto al punto de truncamiento necesario para el cálculo de la pendiente de la curva de decaimiento energético, se ha utilizado el algoritmo iterativo descrito por Lundeby [1].

3.- METODOLOGIA Y DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

Para la validación del software desarrollado se programó una serie de mediciones en el Auditorio de Barañain, en Navarra (Figura 1.izda). Se trata de un auditorio mediano, con dos zonas de audiencia ligeramente inclinadas, separadas en palco y platea, y un aforo de 640 butacas. Todas las paredes están revestidas de madera en la parte inferior y moqueta en la mitad superior. La principal característica del local es el gran escenario del que dispone al tratarse de un auditorio preparado para representaciones teatrales (Figura 1.dcha).

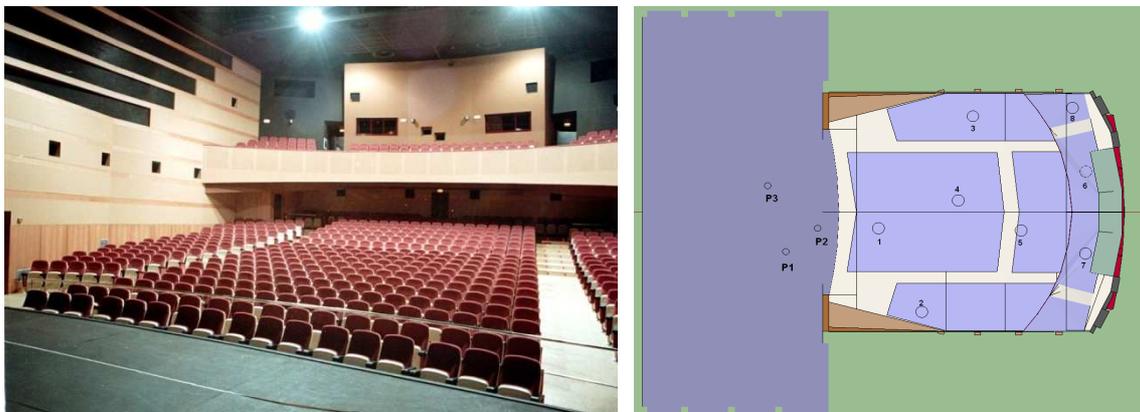


Figura. 1 Fotografía del interior del auditorio (izda) y plano con posiciones de fuentes y receptores (dcha).

El proceso consistió en dos series de medidas. En la primera, con el objetivo de evaluar la estabilidad del software creado, se analizó la variabilidad de diez mediciones consecutivas con una misma configuración. En la segunda se realizó la caracterización de la sala según ISO 3382, con tres programas diferentes; Areto (software desarrollado), WinMLS y Odeon que en su última versión (v.12) dispone de un módulo para la obtención de respuestas al impulso. Aunque el objetivo del proceso era la validación del software creado, se pretendió recrear una situación real, por lo que todas las medidas se llevaron a cabo siguiendo el procedimiento marcado por la ISO-3382. Así pues, para dicha caracterización se eligieron 8 posiciones de medida (ver figura 1.dcha), las mismas para cada sistema, y tres posiciones de fuente. Para elegir la posición de los receptores se dividió la sala en ocho regiones y se eligió una butaca representativa de cada una de las regiones. Se eligieron 3 posiciones estratégicas para la fuente emisora, una posición de músico solista, posición representativa de la cuerda y otra del viento. La fuente se colocó a una altura de 1.5 metros y los receptores a una altura de 1.2 metros distribuidos por cada una de las 8 zonas en las que se dividió el aforo.

Con el objetivo de minimizar los errores, no se movieron los micrófonos ni la fuente emisora entre las medidas realizadas con distinto software. Tampoco se realizó ninguna conexión/desconexión, es decir, se trata del mismo hardware en los tres casos, únicamente variaba el software. El hardware estuvo formado por un ordenador portátil, PC Toshiba Satellite, tarjeta de sonido profesional (vxPocket V2), amplificador ElectroVoice Q44-II, preamplificador Norsonic 335, micrófonos GRAS y fuente dodecaédrica (omnidireccional) DO12. Como señal de excitación fue elegida un sweep logarítmico de 20 segundos de duración entre 20 Hz y 20 kHz. La sala se encontraba vacía durante las mediciones, aunque el escenario estaba dispuesto para un concierto de banda sinfónica.

4. RESULTADOS: VALIDACIÓN DEL SOFTWARE

4.1 Repetibilidad de la medida

El primer paso consistió en analizar la repetibilidad de la medida con los distintos sistemas para estudiar su grado de fiabilidad. También nos interesaba comprobar si los resultados obtenidos con el software desarrollado estaban dentro del margen de error de un sistema ampliamente utilizado en el campo de la acústica como es WinMLS. En la figura 3 se muestra un estudio realizado sobre diez medidas consecutivas, en la misma posición, con cada uno de los tres sistemas. En la figura 3 izq. se pueden observar los promedios de las 10 mediciones de los parámetros T_{30} , EDT y C_{80} para cada uno de los sistemas utilizados. A la derecha se observan las desviaciones típicas y máximas de las 10 mediciones para los parámetros T_{30} , EDT y C_{80} . Para facilitar la cuantificación de las diferencias, en rojo aparece marcado el valor de un JND y en azul la resolución de la medición (última cifra significativa con la que se obtiene el parámetro).

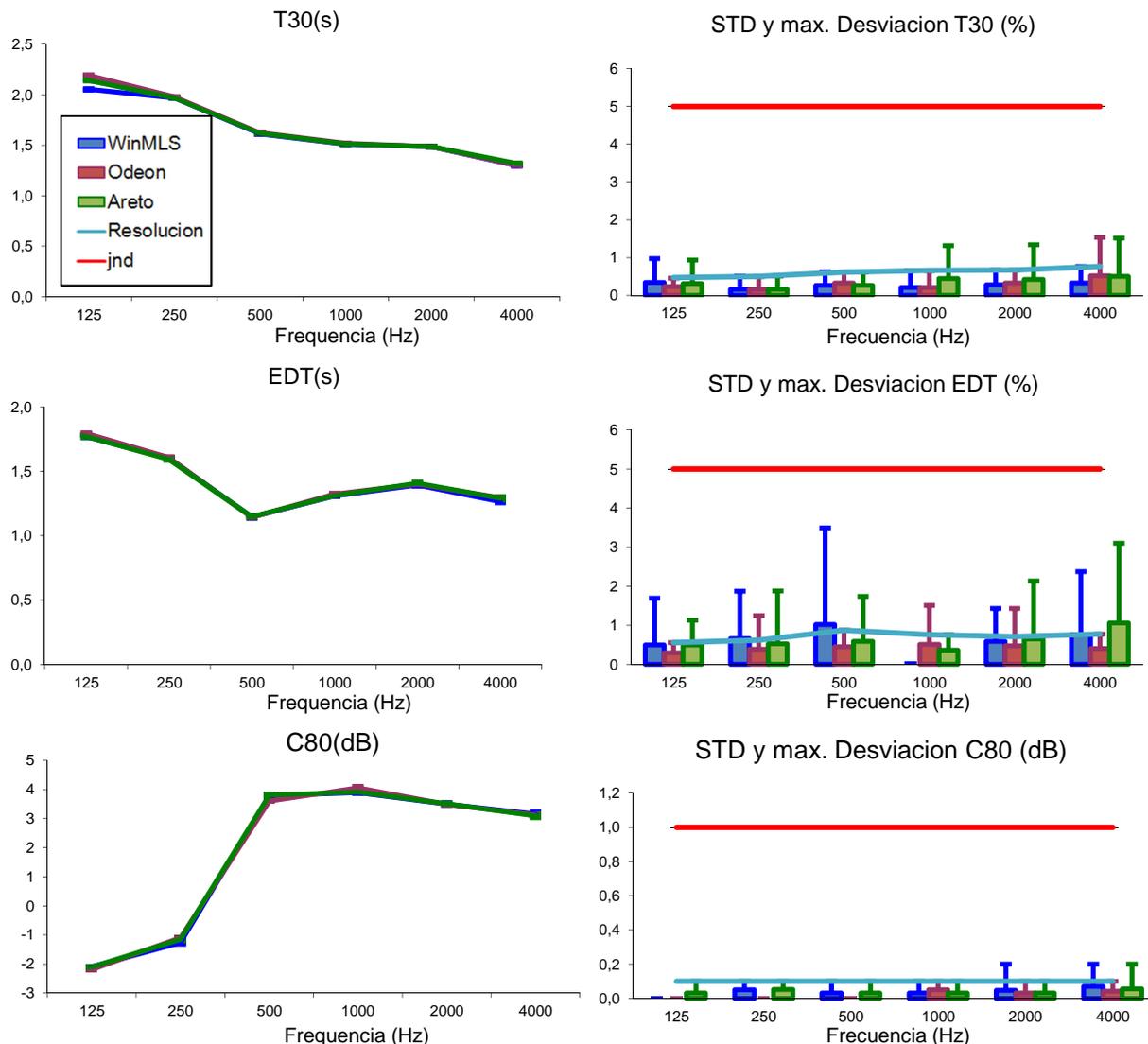


Figura 3. Promediado de 10 medidas para las tres aplicaciones (izda). Desviaciones típicas de las 10 medidas y diferencia entre el valor máximo y el mínimo (dcha).

En primer lugar observamos cómo los promedios de los tres sistemas dan resultados muy similares. También se observa que las desviaciones estándar y máximas de los tres sistemas tienen una distribución muy parecida. En los tres sistemas y para los parámetros T_{30} y C_{80} las desviaciones máximas son muy pequeñas, muy similares a la cifra menos significativa. Por su parte, el parámetro EDT tiene una desviación mayor, sobretodo en el caso de diferencias entre máximo y mínimo, llegando hasta el medio JND, por lo que se trata del parámetro con mayor variabilidad para los tres sistemas. Cabe destacar que en ningún caso la diferencia máxima llega al JND.

4.2 Reproducibilidad de la medida

Una vez realizado el estudio de la repetibilidad se pasó a analizar la reproducibilidad. Para ello, como primer paso, se realizó una comparación entre los diferentes sistemas mediante un análisis según ISO 3382. Los parámetros seleccionados para este primer estudio fueron el T_{30m} , EDT_m , T_{Sm} , C_{80m} y D_{50m} , todos ellos calculados con el promedio entre 500 y 1000 Hz de las ocho posiciones de medida con la fuente situada en la posición 1.

Tabla 1. Media y desviación típica entre 500 y 1000 Hz de 8 receptores (de la fuente 1) para los parámetros T_{30} , EDT, T_s , C_{80} y D_{50} .

	Media			Desviación típica		
	WinMLS	Areto	Odeon	WinMLS	Areto	Odeon
T_{30m}	1,63	1,64	1,64	0,03	0,04	0,03
EDT_m	1,47	1,48	1,48	0,19	0,18	0,18
T_{sm}	89	89	90	10	12	11
C_{80m}	2,3	2,3	2,3	1,2	1,3	1,3
D_{50m}	50	50	49	9	10	10

Tras el primer análisis según ISO (ver tabla 1) se puede ver que todos los parámetros son similares entre los 3 sistemas. Esta similitud también se observa en la figura 4 en la que aparecen los promedios espaciales y las desviaciones típicas para las bandas de frecuencia entre 125 y 4000 Hz de los parámetros T_{30} , EDT, C_{80} y D_{50} de las ocho posiciones de medida de la fuente 1.

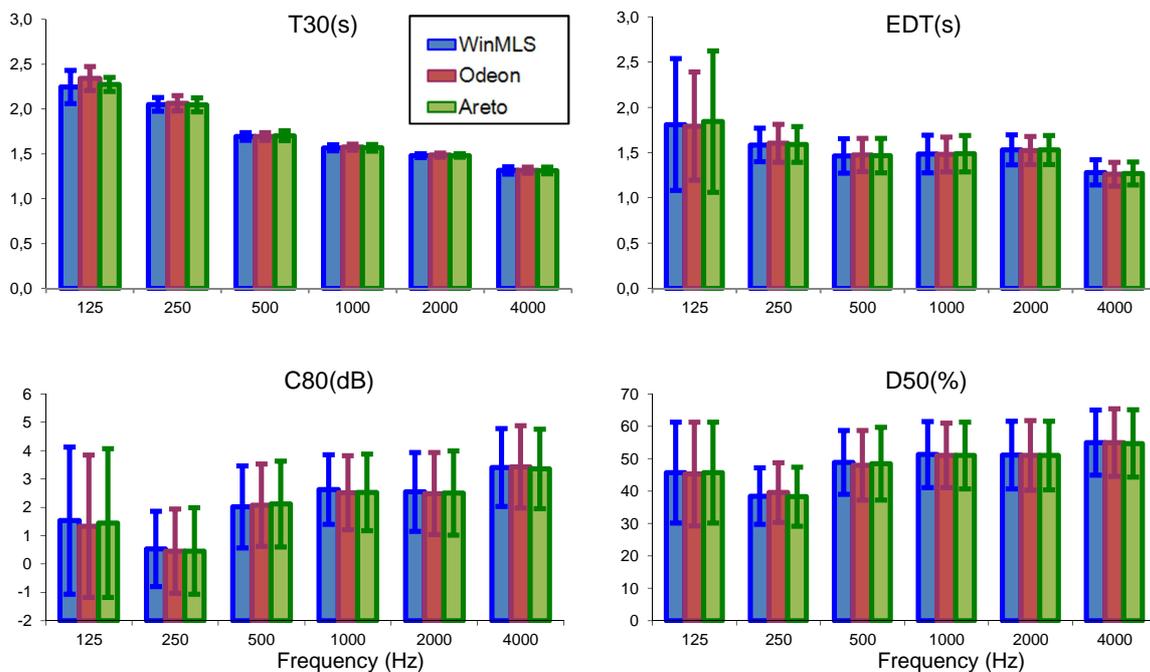


Figura 4. Media y desviación típica de los parámetros T_{30} , EDT, C_{80} y D_{50} para los 3 sistemas de medida entre las frecuencias de 125 y 4000 Hz de 8 receptores (fuente 1).

Para realizar un estudio con mayor detalle sobre la reproducibilidad se programó un análisis basado en los errores cuadráticos medios (RMSE en inglés) de los parámetros T_{30} , EDT, C_{80} y D_{50} de cada uno de los sistemas de medida expresados según el criterio del JND (ver figura 5). El cálculo del RMSE se ha llevado a cabo por parámetro y frecuencia, es decir, se obtiene el RMSE de ocho posiciones de medida entre los tres programas.

N = número de medidas
 f = parámetro obtenido con software A
 O = parámetro obtenido con software B

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (f_i - o_i)^2}$$

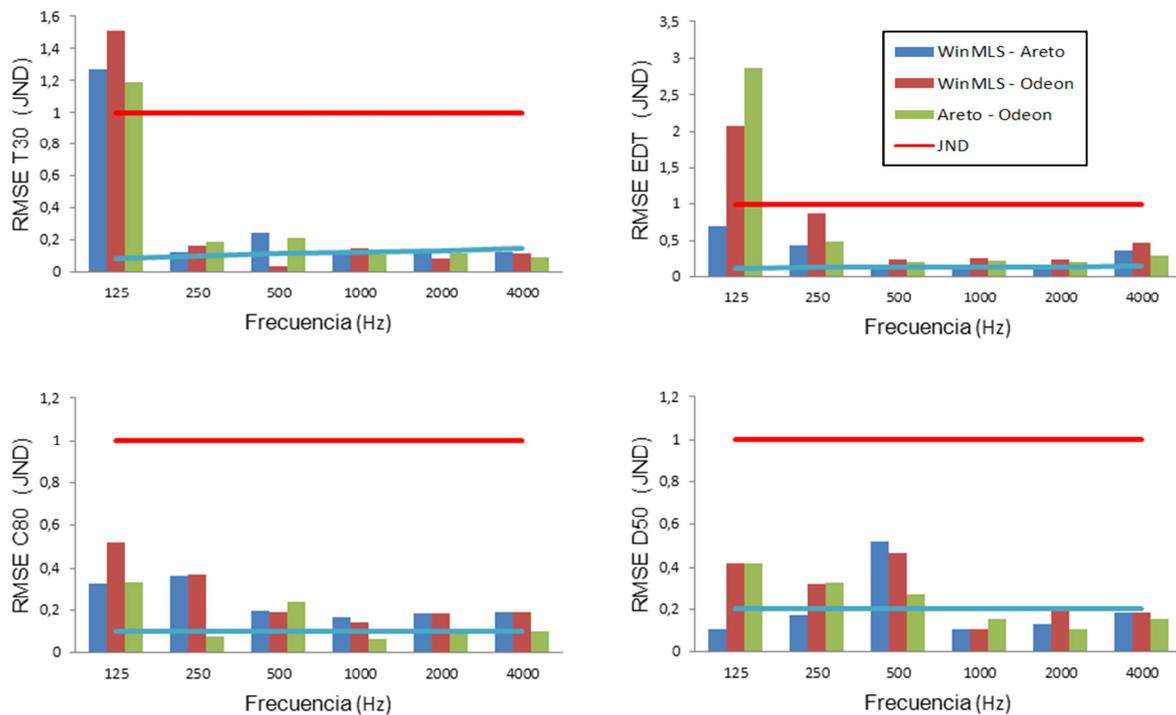


Figura 5. Diferencias entre sistemas de medición expresado en JNDs de las 8 posiciones de medida y fuente en la posición 3. Azul: WinMLS-Areto; Rojo: WinMLS-Odeon; Verde: Areto-Odeon. En rojo aparece marcado un JND y en azul la resolución de la medida.

Como se observa en la figura 5, la mayoría de las diferencias se concentran en torno a la línea que representa la resolución de la medida, por lo que se puede decir que las variaciones entre sistemas son pequeñas, solo ligeramente superiores al error que se comete a la hora del redondeo. Sin embargo, las diferencias entre sistemas se acentúan a baja frecuencia, sobre todo a 125 Hz, donde pueden llegar a ser superiores a un JND para los parámetros relacionados con el tiempo de reverberación.

4.3 Comparación cruzada. Estudios del módulo de grabación y cálculo.

Una vez evaluadas las diferencias entre los 3 programas se analizó el origen de dichas diferencias. Como ya se ha comentado el software se divide en dos módulos, obtención de la RI y cálculo de parámetros acústicos. Por ello se realizaron dos pruebas. En la primera se cruzan las RIs obtenidas con los distintos programas y se calculan con un único programa (ver figura 6). En la segunda se calculan los parámetros acústicos con los tres programas a partir de una única RI (figura 7).

4.3.1 Módulo grabación

Para evaluar el proceso de cálculo a partir de la RI, se calculó con el programa desarrollado (Areto) las RIs obtenidas por los distintos programas. Al tratarse de distintas RIs pero todas ellas procesadas con el mismo software se entiende que las diferencias entre los parámetros procederán del proceso de obtención de dicha IR. La figura 6 representa el RMSE de las diferencias entre los 3 sistemas para los parámetros T_{30} , EDT, C_{80} y D_{50} . De nuevo en rojo aparece marcado un JND y en azul la resolución del parámetro.

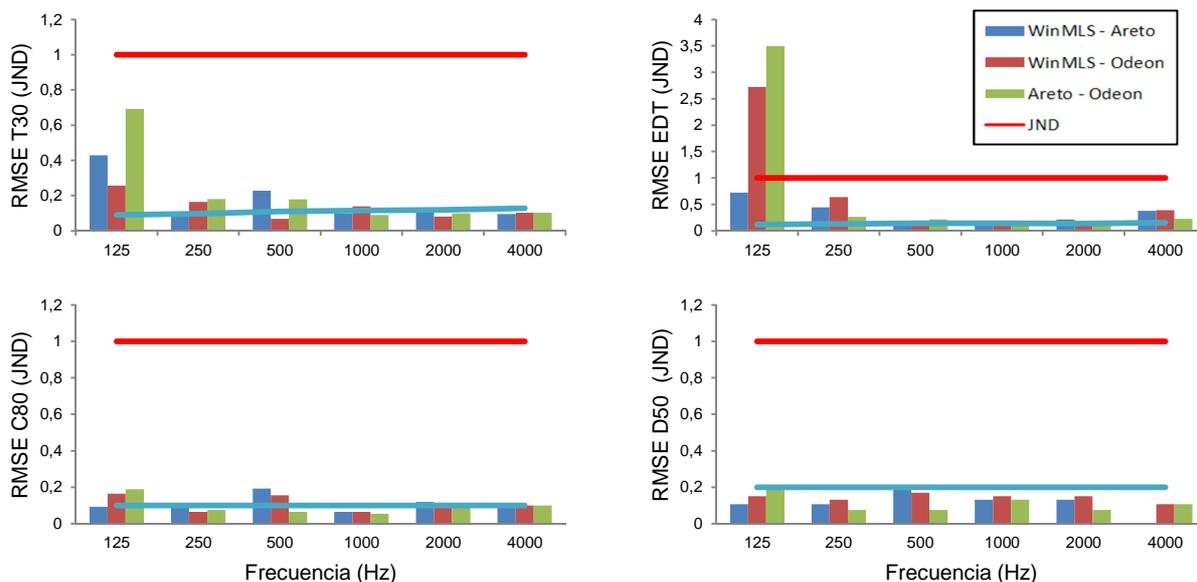


Fig. 6. Diferencias entre sistemas de medición expresado en JNDs de las 8 posiciones de medida y fuente en la posición 1. Cálculos realizados con Areto.

4.3.2 Módulo cálculo

Para realizar el estudio del módulo de cálculo se procesó las mismas IR por los tres sistemas. En la figura 7 se muestran los resultados del RMSE entre los tres sistemas para los parámetros T_{30} , EDT, C_{80} y D_{50} . Al tratarse de las mismas RIs (grabadas por Odeon) y calculadas con los tres programas, las diferencias procederán del módulo de cálculo.

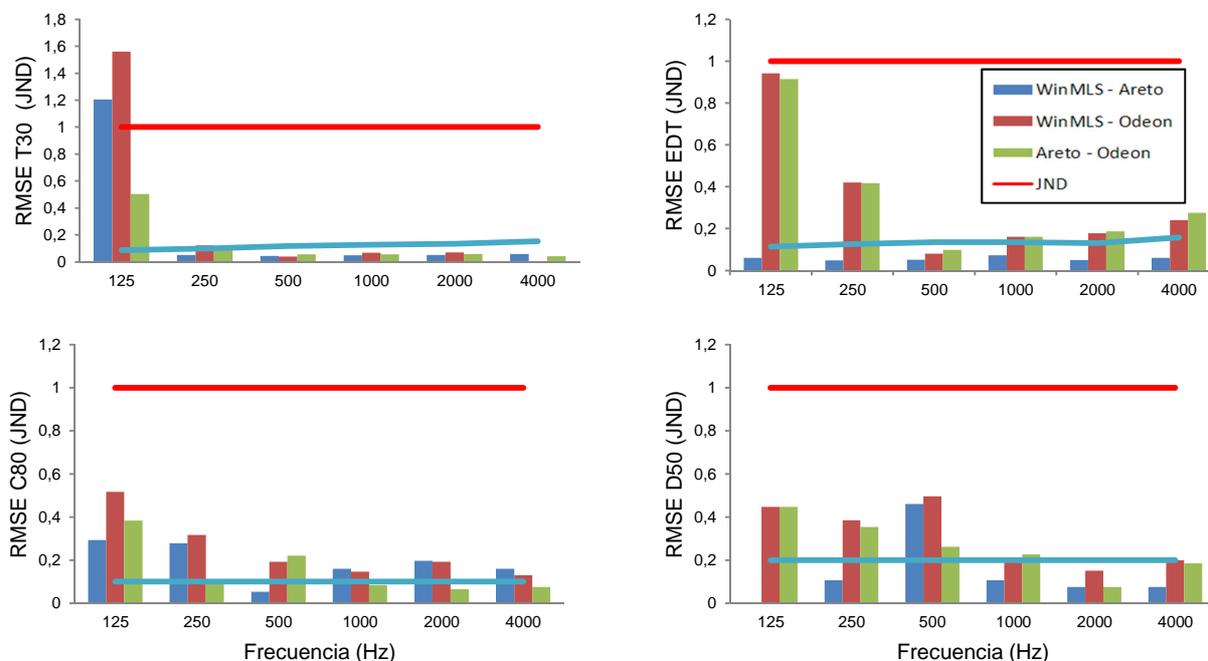


Fig. 7. Diferencias entre sistemas de medición expresado en JNDs de las 8 posiciones de medida y fuente en la posición 1 grabadas con Odeon y cálculos realizados con los 3 software.

Tras estas dos pruebas se obtienen dos conclusiones. Por un lado, la mayoría de las diferencias del módulo de grabación se sitúan en torno a la resolución de la medida, lo que

puede deberse a la propia variabilidad de la medida. Por otro lado, parece evidente las mayores diferencias entre sistemas vienen a la hora de realizar los cálculos. A esta misma conclusión llegó Katz [5] donde se achacan estas variaciones a las diferencias en cálculo del punto de inicio de la RI y al uso de distintos filtros.

5. CONCLUSIONES

Se ha cumplido el objetivo principal de este trabajo que era crear una herramienta para la obtención de la respuesta al impulso y un módulo para el cálculo de parámetros acústicos según ISO-3382. Tras las pruebas realizadas podemos concluir que este software es estable y funciona correctamente.

Tras el análisis comparativo entre los sistemas de medida consideramos que los resultados obtenidos con nuestro software están dentro del margen de error de los otros dos software comerciales. Debido a la utilización de formatos de audio compatibles entre software se han comparado los resultados de análisis cruzados, siendo los resultados muy similares entre ellos, si bien es cierto que las mayores diferencias se encuentran a baja frecuencia. Es importante remarcar que no se han encontrado diferencias significativas que destaquen un sistema por encima de los otros.

REFERENCIAS

- [1] Lundeby, A.; Virgan, T.E.; Bietz, H.; Vorländer, M. Uncertainties of Measurements in Room Acoustics. *Acustica* vol. 81, 1995, pp. 344-355.
- [2] ISO 3382-1 Acoustics-Measurement of room acoustic parameters. Part1: Performance spaces. 2009.
- [3] Fausti, P.; Farina, A. Acoustic measurements in opera houses: comparison between different techniques and equipment. *Journal of Sound and Vibration* vol. 232, 2000, pp. 213-229.
- [4] San Martin, R.; Witew, I.B.; Arana, M.; Vorländer, M. Influence of the source orientation on the measurement of acoustic parameters. *ActaAcustica, united with Acustica* vol 93, 2007, pp. 387-397.
- [5] Katz, B.F.G. International Round Robin on Room Acoustical Impulse Response Analysis Software 2004. *AcousticsResearchLetters Online*, 23 August 2004.
- [6] Álvarez, L.; Galindo M.; Zamarreño, T.; Girón, S. Análisis comparativo de tres sistemas para la medida de respuestas impulsivas. *Tecnicacústica* 2012.
- [7] IEC 61260 Electroacoustics – Octave Band and Fractinal Octave Band Filters. 1995.