

INFLUENCIA DE LOS MEDIOS Y TÉCNICAS EXPERIMENTALES EN LA MEDIDA DE PARÁMETROS ACÚSTICOS DE SALAS DERIVADOS DE LA RESPUESTA AL IMPULSO

PACS: 43.55.Mc

Galech, Sonia; Aramendia, Emilio; San Martín, Ricardo; San Martín, Luisa; Vela, Antonio; Arana, Miguel

Laboratorio de Acústica. Departamento de Física. Universidad Pública de Navarra.

Campus Arrosadía

31006 Pamplona. España

Tel: +34 948 169 568

Fax: +34 948 169 565

E-mail: marana@unavarra.es

ABSTRACT

This article presents an analysis of the variability when measuring room acoustic parameters under fulfilment of the international standard UNE-EN-ISO 3382. It shows the deviations that turn up when measuring the Reverberation Time (TR_{30}), the Early Decay Time (EDT), the Definition (D) and the Clarity (C) and employing two different techniques as Sweeps and Maximum Length Sequences (MLS). The same study using different sources and varying the source orientation is also carried out.

RESUMEN

En este artículo se presenta un análisis sobre la variabilidad existente en la medida de los parámetros acústicos de salas bajo el cumplimiento de la norma UNE-EN-ISO 3382. Se muestran las dispersiones que aparecen en la medida del Tiempo de Reverberación (T_{30}), Early Decay Time (EDT), Definición (D_{50}) y Claridad (C_{80}) en el caso de utilizar una técnica de barridos (Sweeps) o una técnica de secuencias de máxima longitud (MLS). El mismo estudio se lleva a cabo para el caso de variar la fuente utilizada y para el caso de variar la orientación de la misma.

BREVE RESUMEN DE LA NORMA UNE-EN-ISO 3382

La medida de los parámetros acústicos en salas está estandarizada en la norma UNE-EN-ISO 3382 [1]. Esta norma especifica los métodos de medida del tiempo de reverberación en salas con referencia a otros parámetros acústicos. Para la obtención de la respuesta al impulso, la norma no excluye ningún método que lleve a su correcta obtención, permitiendo así que se puedan utilizar técnicas como el uso de disparos o petardos, el barrido de tonos o Sweeps o el uso de ruido pseudo-aleatorio como las secuencias de máxima longitud, MLS.

En referencia a la fuente, la norma exige que sea lo más omnidireccional posible, no siendo considerados como fuentes omnidireccionales los altavoces domésticos comerciales. El espectro debe ser razonablemente plano dentro de la banda de medida actual. En caso de tratarse de ruido de banda ancha, su espectro debe ser filtrado para proveer un espectro rosa

de ruido reverberante en estado estacionario dentro del rango de frecuencias desde 88 Hz hasta 5657 Hz.

Además, la fuente impulsiva que se utilice, debe ser capaz de producir un nivel de presión sonora de pico suficiente para asegurar una curva de caída que comience al menos 45 dB por encima del ruido de fondo en la banda de frecuencia correspondiente o de 35 dB si solo se pretende medir el T_{20} . Este requerimiento dinámico se reduce para el caso de utilizar barridos de tonos o secuencias de máxima longitud como fuente, dado que éstas dos técnicas permiten la obtención de la respuesta al impulso tras un procesado especial de la señal recogida por el micrófono que produce una mejora en la relación señal/ruido. En cuanto al micrófono y filtros utilizados en recepción, la norma exige que cumplan los requerimientos de un sonómetro de tipo 1, de acuerdo a la norma IEC 651. El micrófono debe ser lo más pequeño posible y preferiblemente tener un diámetro de diafragma máximo de 13 mm.

En referencia a las posiciones de medida, la norma dice que es necesario como mínimo realizar medidas con la fuente en tres posiciones. Sin embargo, para salas pequeñas (como es nuestro caso) acepta que se realicen medidas en una única posición.

Un mínimo de entre 6 y 10 posiciones representativas del micrófono son necesarias dependiendo del tamaño de la sala. El micrófono debe estar situado a 1,2 m. del suelo, a una distancia mínima de 1.5 m. de la fuente y a una distancia de más de 1 m. de la pared. Para cada una de posiciones fuente-micrófono un mínimo de tres medidas deben ser realizadas y el resultado promediado. Si la directividad de la fuente influye en el parámetro en más de un 5% del valor del parámetro, la medida debe ser repetida con la fuente girada en al menos tres posiciones distintas. Los resultados obtenidos para los distintos ángulos de la fuente deben ser aritméticamente promediados.

Pese a todas estas indicaciones, el estándar UNE-EN-ISO 3382 no establece una cuantificación de la posible dispersión de los resultados para un dispositivo experimental que cumpla todos sus requerimientos. Por ello, en este artículo se va a realizar un estudio del grado de fiabilidad que la norma ofrece sobre los resultados experimentales de algunos parámetros acústicos.

DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

El dispositivo experimental se diseñó cumpliendo todos los requerimientos de la norma UNE-EN-ISO 3382, exceptuando la directividad de una de las fuentes utilizadas. Se llevó a cabo en un aula de dimensiones 8x8x3,5 metros y amueblada con cuatro mesas largas de laboratorio en el centro de la sala y varios armarios y estanterías en las paredes. La fuente se colocó en la posición habitual del hablante, el micrófono a una distancia de 2 metros de la fuente y ambos separados de las paredes al menos 1,5 metros. Dado que el recinto es una clase de tamaño reducido se tomaron medidas para una única posición de la fuente, siendo esto aceptado por la norma UNE-EN-ISO 3382.

Las variables elegidas fueron el tipo de fuente utilizado, la orientación de dicha fuente y la técnica utilizada para el análisis. Así, se utilizaron una fuente dodecaédrica DO12 y una fuente *SinMark BR 112 T/A*. Se consideraron cuatro orientaciones de la fuente, cada 90 grados y en cuanto a la técnica se utilizaron la técnica de secuencias de máxima longitud, MLS [2] y la técnica de barrido de tonos o Sweeps [3].

Para cada conjunto de variables, i.e. para cada situación posible de técnica, fuente y orientación, se realizaron 5 medidas con el fin de analizar la dispersión inherente del resultado. Los parámetros acústicos medidos fueron el Tiempo de Reverberación, T_{60} , el Early Decay Time, EDT, la Definición, D_{50} y la Claridad C_{80} .

Una vez obtenidos los parámetros acústicos se realizó un análisis estadístico de los resultados. En concreto se hizo un análisis de varianza de un factor, ANOVA. En el planteamiento más simple de análisis de varianza tenemos una variable numérica cuantitativa (resultado de los parámetros acústicos), y queremos determinar en qué medida se puede atribuir la variabilidad de ésta a otra variable nominal denominada factor (en nuestro caso factores son el tipo de fuente, su orientación y la técnica empleada). Se trata de un análisis de varianza de un solo factor, que puede tener dos o más categorías o niveles. Mediante este análisis se concluye si un determinado factor es influyente o no en los resultados de los parámetros.

RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se presentan las gráficas más relevantes que muestran la dispersión de los parámetros calculados. En la figura 1, podemos observar el tiempo de reverberación frente a la orientación de la fuente, para el caso de la fuente *SinMark* (S1) utilizando ambas técnicas. Con la fuente a noventa grados, la diferencia en los resultados del parámetro acústico ante la utilización de la técnica de barridos (Sweep) o de la técnica de secuencias de longitud máxima (MLS) es de hasta el 8%. En todo caso, los resultados obtenidos para el tiempo de reverberación en la banda de octava de 500 Hz son significativamente diferentes para tres de las orientaciones, en función de la técnica de emisión que se utilice.

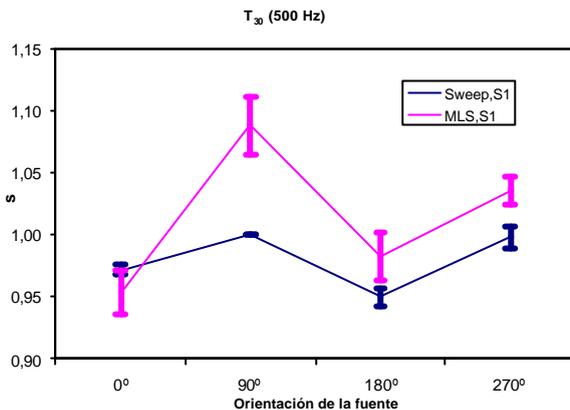


Figura 1. Tiempo de reverberación en la banda de 500 Hz para cada orientación de la fuente (S1) y utilizando las técnicas Sweep y MLS.

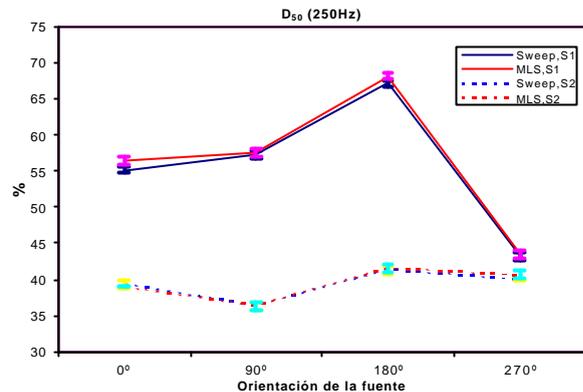


Figura 2. Definición en la banda de 250 Hz para cada orientación de las fuentes utilizando ambas técnicas, Sweeps y MLS, y ambas fuentes, *SinMark* (S1) y dodecaédrica (S2).

Las diferencias en la medida de los parámetros son más acusadas al variar la fuente empleada como se puede apreciar en la figura 2. En este caso, el valor obtenido para la definición en la banda de 250 Hz varía hasta en un 38% para una orientación de 180° e independientemente del tipo de técnica empleado. Como se volverá a apreciar más adelante al realizar el análisis de varianza, el tipo de fuente empleado va a ser el factor que más va a influir en los resultados obtenidos.

La figura 3 muestra el valor del EDT en la banda de 4 KHz frente a las distintas orientaciones de la fuente, utilizando la técnica MLS. En azul vemos representada la fuente dodecaédrica (S2) y en rosa la fuente *SinMark* (S1). Por un lado se vuelve a observar la variabilidad existente en los valores recogidos al utilizar una u otra fuente y por otro lado resalta la diferencia obtenida entre las distintas orientaciones de la fuente. Como vemos, para la fuente *SinMark* (rosa) la variación en el parámetro acústico es de hasta un 12,5%. Para la fuente dodecaédrica (azul) esta variabilidad es menor, de un 9%. Para todos los parámetros estudiados se ha encontrado que la orientación de la fuente es más influyente al utilizar la fuente *SinMark* que al utilizar la fuente dodecaédrica. En todos los casos, la dispersión de los resultados (n=5) es prácticamente nula.

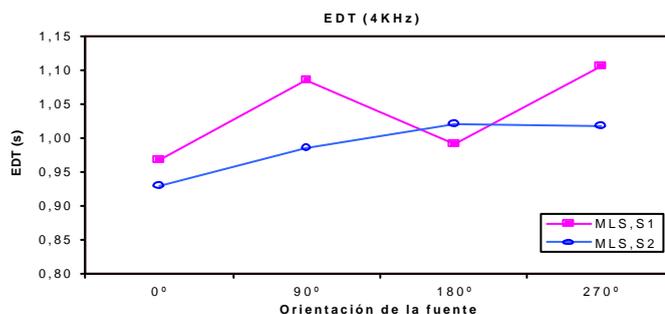


Figura 3. Early Decay Time, EDT en la banda de 4 KHz utilizando la técnica MLS para la fuente *SinMark* (S1) y la fuente dodecaédrica (S2).

Las siguientes tablas muestran los resultados de los análisis de varianza realizados. Como se ha comentado anteriormente, a la hora de realizar el análisis se han considerado como factores la orientación de la fuente, el tipo de fuente y la técnica empleada. Por tanto, las tablas que se representan a continuación muestran estas influencias para cada situación posible y para cada una de las bandas de tercios de octava. Por simplicidad, se ha marcado con una cruz los casos en los que, según el test, la varianza no es debida al azar, i.e los casos en los que el factor considerado sí es influyente en los resultados obtenidos.

La tabla 1 muestra la influencia de la orientación de la fuente en el EDT. La tabla 2 muestra la influencia de la fuente y la tabla 3 la influencia de la técnica empleada.

Influencia Orientación	63 Hz	125 Hz	250 HZ	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
S1, MLS	X	X	X	X	X	X	X	X
S2,MLS	X		X	X	X	X	X	X
S1, Sweeps	X	X	X	X	X	X	X	X
S2, Sweeps	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabla. 1. Resultados del ANOVA para el parámetro EDT considerando como factor de análisis la orientación de la fuente.

Influencia Fuente	63 Hz	125 Hz	250 HZ	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
0°, MLS	X		X	X	X		X	X
90°,MLS	X	X	X	X	X	X	X	X
180°,MLS	X	X	X	X	X	X	X	X
270°,MLS	X	X	X	X	X		X	
0°, Sweeps	X	X	X	X	X		X	X
90°,Sweeps	X	X	X	X	X	X	X	X
180°, Sweeps	X	X	X	X	X		X	X
270°, Sweeps	X	X	X	X	X		X	X

Tabla. 2. Resultados del ANOVA para el parámetro EDT considerando como factor de análisis el tipo de fuente.

Influencia Técnica	63 Hz	125 Hz	250 HZ	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
0°, S1			X				X	
90°, S1		X					X	X
180°, S1		X		X		X	X	X
270°, S1		X			X		X	
0°, S2	X	X	X		X			X
90°, S2			X	X			X	
180°, S2							X	
270°, S2							X	X

Tabla. 3. Resultados del ANOVA para el parámetro EDT considerando como factor de análisis la técnica empleada.

Analizando las tablas anteriores, podemos deducir cómo la orientación de la fuente si parece ser un factor influyente en la obtención del EDT. El tipo de fuente utilizado también resulta influyente en la mayoría de los casos salvo para la banda de 2 KHz. En cuanto a la técnica, el test no resulta ser concluyente ya que hay casos en los que el resultado no se va a ver afectado por la utilización de barridos o de secuencias de máxima longitud, pero hay otros muchos casos en los que sí influye la técnica empleada, como por ejemplo se observa en la banda de 4 KHz.

Las tablas 4,5 y 6 muestran los resultados del ANOVA para el tiempo de reverberación T_{30} . La influencia de la orientación de la fuente para este parámetro no es tan clara como lo era para el EDT. En este caso vemos cómo por ejemplo para frecuencias medias-altas, utilizando una fuente dodecaédrica y la técnica MLS los resultados pueden considerarse idénticos. En cuanto a la influencia de la fuente utilizada observamos en la tabla 5 cómo para las bandas de 250 Hz, 500 Hz y 8KHz se puede concluir que el tipo de fuente utilizado variará las medidas recogidas, pero para el resto de bandas hay casos en los que no importa la fuente utilizada. Indudablemente, el parámetro EDT es más sensible a las técnicas y dispositivos experimentales que el T_{30} .

Al igual que ocurría con el EDT, el resultado del ANOVA a la hora de analizar la variabilidad en el tiempo de reverberación debida a la técnica empleada no es concluyente. Únicamente cabe resaltar que para altas frecuencias, 4 KHz y 8 KHz, ambas técnicas (MLS y Sweeps) aportan,

esencialmente, el mismo valor del parámetro T_{30} , independientemente del tipo de fuente y orientación de la misma.

Influencia Orientación	63 Hz	125 Hz	250 HZ	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
S1, MLS	X		X	X	X	X		X
S2,MLS		X	X					
S1, Sweeps	X	X	X	X	X	X	X	X
S2, Sweeps	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabla. 4. Resultados del ANOVA para el parámetro T_{30} considerando como factor de análisis la orientación de la fuente.

Influencia Fuente	63 Hz	125 Hz	250 HZ	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
0°, MLS	X		X			X		X
90°,MLS			X	X	X	X		X
180°,MLS	X		X	X	X	X		X
270°,MLS	X		X	X	X	X	X	X
0°, Sweeps	X	X	X	X			X	X
90°,Sweeps		X	X	X	X	X	X	X
180°, Sweeps	X		X	X	X	X		X
270°, Sweeps	X		X	X	X		X	X

Tabla. 5. Resultados del ANOVA para el parámetro T_{30} considerando como factor de análisis el tipo de fuente.

Influencia Técnica	63 Hz	125 Hz	250 HZ	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
0°, S1			X		X	X		
90°, S1		X			X			
180°, S1	X		X	X	X	X		
270°, S1				X	X	X		
0°, S2					X			
90°, S2		X	X					X
180°, S2			X					X
270°, S2						X		

Tabla. 6. Resultados del ANOVA para el parámetro T_{30} considerando como factor de análisis la técnica empleada.

La Definición, D_{30} , varía dependiendo del tipo de fuente empleada y de la orientación de la misma tal y como se desprende del resultado del análisis de varianza realizado y cuyos resultados se presentan en las tablas 7,8 y 9.

Influencia Orientación	63 Hz	125 Hz	250 HZ	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
S1, MLS	X	X	X	X	X	X	X	X
S2,MLS		X	X	X	X	X	X	X
S1, Sweeps	X	X	X	X	X	X	X	X
S2, Sweeps	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabla. 7. Resultados del ANOVA para el parámetro D_{30} considerando como factor de análisis la orientación de la fuente.

Influencia Fuente	63 Hz	125 Hz	250 HZ	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
0°, MLS	X		X	X	X	X	X	X
90°,MLS	X	X	X	X	X	X	X	X
180°,MLS	X	X	X	X	X	X		X
270°,MLS	X	X	X	X	X	X	X	X
0°, Sweeps	X	X	X	X	X	X	X	X
90°,Sweeps	X	X	X	X	X	X	X	X
180°, Sweeps	X	X	X	X	X	X	X	X
270°, Sweeps	X	X	X	X	X	X	X	X

Tabla. 8. Resultados del ANOVA para el parámetro D_{30} considerando como factor de análisis el tipo de fuente.

Influencia Técnica	63 Hz	125 Hz	250 HZ	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	8 KHz
0°, S1	X		X					
90°, S1								X
180°, S1			X	X	X			
270°, S1					X			
0°, S2	X	X				X		
90°, S2								
180°, S2	X					X	X	
270°, S2			X				X	X

Tabla. 9. Resultados del ANOVA para el parámetro D_{30} considerando como factor de análisis la técnica empleada.

La influencia tanto del tipo de fuente como de la orientación es sistemática. Sin embargo, la técnica no es, en general, influyente.

Por último, de los resultados del análisis de varianza para el parámetro acústico de la Claridad se obtienen conclusiones similares a las comentadas para el D_{50} . Se observa la influencia del tipo y orientación de la fuente y también se observa cómo la técnica empleada es menos influyente, llegando incluso a no importar si utilizamos Sweeps o MLS como método de obtención de resultados si nos encontramos en la banda de 1 KHz.

Si bien es cierto que una de las fuentes utilizadas (S1) no cumple con los requisitos de directividad establecidos por la UNE-EN-ISO 3382, al menos a partir de 1 kHz, la influencia de la orientación de las fuentes (incluida la dodecaédrica) es significativa en los resultados obtenidos para los parámetros acústicos analizados. La significación de la misma se evalúa por ofrecer diferencias superiores (en los parámetros acústicos) a los valores del *jnd* (just noticeable difference) [4]. Así mismo, aunque la técnica utilizada (Sweeps o MLS) es la variable menos influyente entre las estudiadas (con una gran repetitividad individual), ambas ofrecen resultados distintos en múltiples frecuencias y para diferentes parámetros.

CONCLUSIONES

De todo este estudio realizado se concluye que los resultados medidos para los parámetros acústicos EDT, Tiempo de Reverberación, Claridad y Definición, aun cumpliendo para su obtención todos los requisitos impuestos por la norma UNE-EN-ISO 3382 son significativamente diferentes, según la técnica o fuente u orientación de la misma que se tomen.

En concreto, hemos obtenido que el empleo de una técnica de barridos de frecuencia (Sweeps) o de una secuencia de máxima longitud (MLS) puede suponer una variabilidad del parámetro acústico de hasta un 8%. La orientación de la fuente puede influir de unas medidas a otras desde un 5% empleando una fuente dodecaédrica hasta un 17 % si usamos la fuente *SinMark*. Se observa cómo los resultados son muy sensibles al tipo de fuente empleada, algo menos a la orientación de ésta (especialmente si se trata de una fuente dodecaédrica) y menos sensibles (salvo en determinadas bandas o situaciones concretas) a la utilización de una u otra técnica. Las diferencias obtenidas, incluyendo las tres variables, pueden llegar a ser de hasta un 38%. La conclusión es, a nuestro entender, clara: si la norma UNE-EN-ISO 3382 pretende estandarizar la medida de parámetros acústicos derivados de la respuesta al impulso con precisión superior a los valores asumidos para el *jnd*, debe exigir mayores restricciones sobre las técnicas y dispositivos experimentales a utilizar.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] UNE-EN-ISO 3382. (2001) *Medición del tiempo de reverberación de recintos con referencia a otros parámetros acústicos*, AENOR.
- [2] Vanderkooy, J.; *Aspects of MLS measuring systems*, JAES 42(4); 219-31
- [3] A. Farina, (2000) *Simultaneous Measurement of Impulse Response and Distortion with a Swept-sine technique*, J.AES, Vol. 48, p.350, 108th AES Convention, Paris 2000, Preprint 5093
- [4] Bork, I. (2000), *A comparison of room simulation software. The 2nd Round Robin on Room Acoustical Computer Simulation*, ACUSTICA 86 (6): 943-956.