TECNIACUSTICA VALLADOLID·2013

44º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA
ENCUENTRO IBÉRICO DE ACÚSTICA
EAA EUROPEAN SYMPOSIUM ON ENVIRONMENTAL ACOUSTICS AND NOISE MAPPING

ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN A PARTIR DE RESPUESTAS IMPULSIVAS CON BAJA RELACIÓN SEÑAL RUIDO

PACS: 43.55.-n, 43.55.+p, 43.60.-c, 43.60.+d

J. Redondo, N. Jiménez, P.C. Iglesias

Instituto para la Gestión integral de Zonas Costeras.-Universidad Politécnica de Valencia. Campus de Gandía. C. Paranimf, 1. Grao Gandía (Spain) fredondo@fis.upv.es

ABSTRACT

In 1965 Schroeder suggested the possibility of measuring the reverberation time directly from the impulsive response. The main weakness of this method, in comparison to the interrupted noise, is that the signal to noise ratio is limited because all the frequencies are measured at the same time. MLS techniques can partially overcome this problem. Additionally, when measuring the impulse response of a room the user has to decide the temporal length of the signal used. In this work a detailed study of the uncertainty in the reverberation time caused by the limited signal to noise ratio is presented, taken into account the role of the length of the impulse response. Moreover, a study of possible data fitting, suggest that under some condition, the reverberation time can be correctly estimated from noisy impulsive responses.

RESUMEN

In 1965 Schroeder sugirió la posibilidad de medir el tiempo de reverberación directamente de la respuesta impulsiva. El principal punto débil de esta técnica, en comparación con la técnica de ruido interrumpido, es que la relación señal-ruido es limitada porque todas las frecuencias son medidas simultáneamente. Las técnicas MLS puede evitar este problema parcialmente. Adicionalmente, al medir la respuesta impulsiva de una sala el usuario debe decidir la duración temporal de la señal. En este trabajo se presenta un detallado estudio de la incertidumbre en el tiempo de reverberación debida a una limitación en la relación señal ruido, tomando en cuenta el papel de la longitud de la respuesta impulsiva. Además, un estudio de posibles ajustes de datos, sugieren que bajo ciertas condiciones, el tiempo de reverberación puede ser correctamente estimado a partir de respuestas impulsivas ruidosas.

INTRODUCCIÓN

Walter W. Sabine, definió el tiempo de reverberación [1] como el tiempo que transcurre en una sala desde que se desconecta la fuente sonora hasta que se alcanza un nivel de presión sonora 60 dB por debajo de este. Por lo tanto, para medirlo se debe introducir una señal continua y en un momento dado desconectarla. Este método es conocido como método de fuente interrumpida. No obstante, muchos de los parámetros acústicos hacen necesaria la medida de la respuesta impulsiva de la sala. Schroeder demostró en 1965 [2] que a partir de la respuesta impulsiva se podía obtener la curva de decaimiento energético en la sala, haciendo innecesario la medición de ruido interrumpido. Según Schroeder la curva de decaimiento puede ser obtenida a través de una integral hacia atrás (backward integration), hoy en día conocida como integrar de Schroeder.

$$R(t) = \int_t^\infty h^2(t) = \int_0^\infty h^2(t) - \int_0^t h^2(t) \quad (1)$$

siendo $R(t)$ proporcional al decaimiento energético, y $h(t)$ la respuesta impulsiva ($t = 0$ corresponde al momento de la desconexión de la fuente sonora).

En principio la respuesta impulsiva debería ser obtenida introduciendo un ruido impulsivo en la sala y realizando una o varias grabaciones en uno o más puntos. Para ello se suelen utilizar pistolas de detonación, globos, etc. Dado que la energía sonora se concentra en un corto espacio de tiempo, la relación señal ruido es muy débil y es aún peor cuando la respuesta impulsiva es larga. No obstante, hoy en día existen números dispositivos y software que permiten obtener rápidamente la respuesta impulsiva de la sala mejorando la relación señal ruido. La inmensa mayoría están basados en las técnicas MLS (maximum length sequences) y log-swept chirp. La fundamental ventaja de la segunda es que es mucho más robusta ante sistemas con distorsión, mientras que la primera suele proporcionar mejores relaciones señal ruido y está especialmente indicada en entornos ruidosos.

Aun cuando se utilice una de estas últimas técnicas para obtener la respuesta impulsiva, ésta contiene siempre una cierta cantidad de ruido, que se mezcla con la señal y que viene a limitar la exactitud del método. De hecho, la presencia de ruido en las medidas de tiempo de reverberación ha dado lugar a la definición de varias alternativas a la definición original. Se suele denominar T60 al tiempo de reverberación tal y como lo definió Sabine, mientras que en casos en los que la relación señal ruido no llega a los 60 dB se suelen utilizar T10, T20 y T30. El T10 se define como 6 veces el tiempo que se tarda desde -5 a -15 dB en la sala. Dicho de otra manera, es la estimación de cuál sería el T60 si la caída desde el estacionario siguiera la misma pendiente que el tramo entre -5 y -15 dB. De manera análoga se definen T20 y T30 como 3 veces el tiempo que se tarda en caer 20 dB desde -5 dB, y 2 veces el tiempo que se tarda en caer 30 dB desde -5 dB respectivamente.

La figura 1 ilustra la presencia de ruido de fondo en una medida de tiempo de reverberación. Dado el margen limitado de medición tan sólo se podrían medir T10 y T20 con ciertas garantías de que el ruido de fondo no altera la estimación.

En el caso de utilizar señales impulsivas y calcular la integral de Schroeder la presencia de ruido de fondo hace que se observe un tramo final de caída que está relacionado únicamente con el ruido de fondo siempre que la señal de la sala haya desaparecido por completo al final de la respuesta impulsiva. No obstante, su forma característica permite aislarla en las estimaciones de tiempo de reverberación. Esto es especialmente interesante cuando la respuesta impulsiva es de larga duración, en comparación al tiempo de reverberación, dado que su intensidad es mayor cuanto mayor sea la duración de la respuesta. Este hecho se ilustra en la figura 2. Por ejemplo, se puede ver como la señal de 4 segundos llega a 6 dB más que la señal de 2 segundos, tal y como cabía esperar.

En lo que se refiere a la señal de la sala propiamente dicha, ésta debería poder ajustarse a una exponencial, si bien es cierto que en algunos casos, es más adecuado ajustarla a dos exponenciales sumadas. Uno de estos casos es el de recintos acoplados con acondicionamientos marcadamente diferentes.

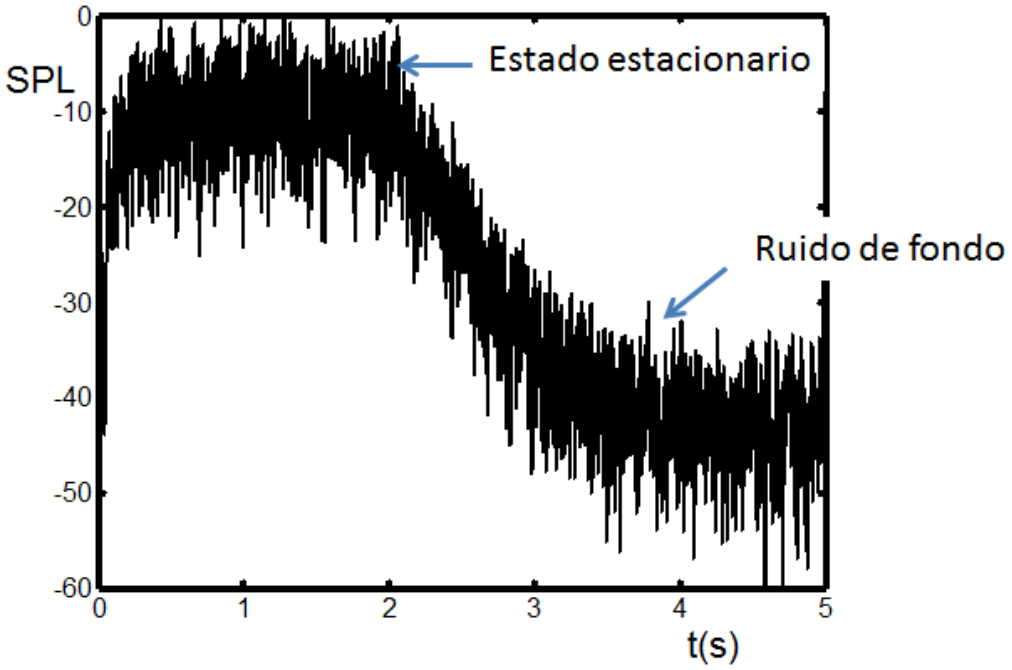


Figura 1. Caída desde el estado estacionario en presencia de ruido. SPL referido al máximo.

En la siguiente sección se discuten los resultados de un ajuste a una y dos exponenciales de una señal a la que hemos añadido ruido estudiando de este modo hasta qué punto podemos estimar correctamente el tiempo de reverberación a partir de señales impulsivas ruidosas.

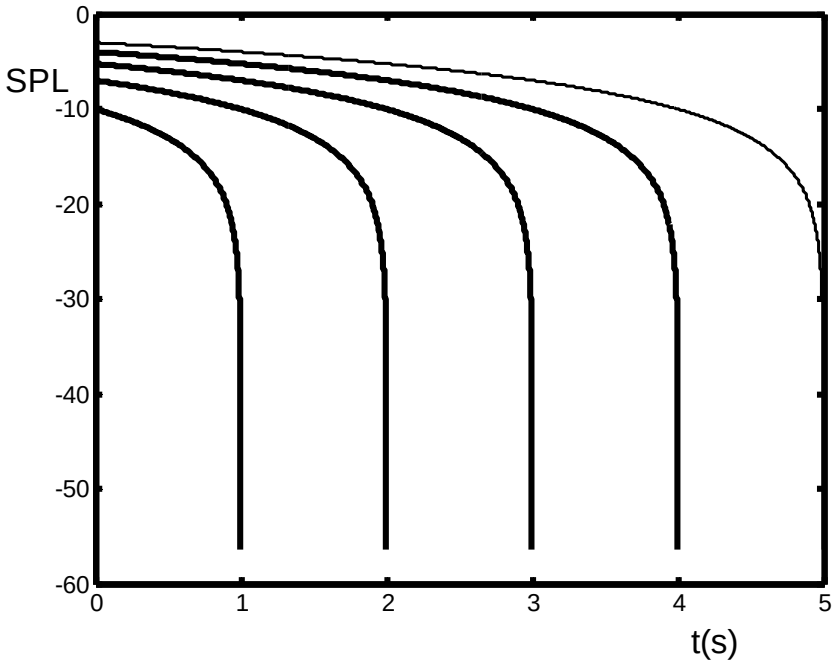


Figura 2. Integral de Schroeder de señal de ruido de varias duraciones. (entre 1 y 5 segundos).

ESTIMACIÓN DE TIEMPO DE REVERBERACIÓN MEDIANTE UN AJUSTE

En este apartado discutimos la posibilidad de obtener el tiempo de reverberación a partir de una ajuste por mínimos cuadrados de la señal integrada hacia atrás (integral de Schroeder) a una función tipo que incluya tanto la caída exponencial de la energía como la aportación del ruido en la respuesta al impulso grabada en una sala.

En la práctica, raramente se consigue medir T60, por lo que nuestro objetivo será siempre el T30. En principio, si la caída desde el estado estacionario sigue el modelo de Sabine, la caída sería una línea recta, es decir, la energía seguiría una ley exponencial, con lo podríamos tomar el valor de T10 como una buena aproximación al T30. Por ello no hemos considerado un recinto con elevada difusión, o lo que es lo mismo, un recinto en el que la caída siga una exponencial simple. Por el contrario hemos considerado un recinto en el que la caída desde el estado estacionario sufre fuertes oscilaciones.

Teniendo esto en cuenta se ha hecho un ajuste tomando como función objetivo una caída desde el estacionario siguiendo una ley que considere la posibilidad de oscilaciones. La más sencilla es la que encontramos en el modelo del campo difuso extrapolado al caso de recintos acoplados en el que la energía decae siguiendo dos exponenciales. También para poder comparar resultados, realizamos un ajuste a una exponencial simple. De este modo las funcione objetivo han sido la siguientes. En el ajuste a una exponencial:

$$Ajuste\ tipo\ I: SPL = 10*\log 10\left(\frac{1}{\sqrt{10}}\left(e^{-\gamma t}+\eta\left(t_{fin}-t\right)\right)\right) \quad (2)$$

donde γ es la constante de relajación (TR=13.8/γ). η es proporcional a la intensidad del ruido de fondo. Se ha utilizado una constante multiplicatoria para que la señal en t=0 valga -5 dB. El segundo tipo de ajuste es el siguiente:

$$Ajuste\ tipo\ II: SPL = 10*\log 10\left(\frac{1}{\sqrt{10}}\left(\beta\, e^{-\gamma_1 t}+(1-\beta)e^{-\gamma_2 t}+\eta\left(t_{fin}-t\right)\right)\right) \quad (3)$$

donde γ_1 y γ_2 son las constantes de relajación, y β es un coeficiente entre 0 y 1 que tiene en cuenta el peso de cada una de ellas en la caída desde el estado estacionario.

A continuación se representan los resultados de los dos ajustes y se discuten los mismos.

La figura 3 recoge un resumen de resultados comparando las estimaciones de TR obtenidas a partir de T30, T10, ajuste tipo I y ajuste tipo II. Se han considerado un total de 29 duraciones relativas para 37 relaciones señal ruido para 4 bandas de octava. Por lo tanto el número de casos considerado supera los 3000. La escala de grises elegida permite estimar cuando el error es menor que el 10%, que corresponderá a un gris, tanto más claro cuanto menor sea el error. Las zonas negras corresponden a errores mayores de 10 que son inadmisibles.

Se puede observar que la estimación a partir del T30 es extremadamente sensible a la duración de la señal. Esto es más evidente cuando la relación señal ruido baja de los 35 dB que es donde el T30 obviamente no puede estimarse.

En lo que se refiere al T10, dado que se ha escogido un recinto con curva quebrada donde el T10 es menor que el T30, la estimación del T30 a partir del T10 en principio siempre tenderá a ser una subestimación del mismo. Se puede observar en la figura 3 b que el T10 es una mala estimación a no ser que el ruido de fondo venga a añadir una reverberación ficticia. Por lo

tanto, la zona en grises correspondería a una corrección de errores casual que no puede ser considerada como satisfactoria.

El ajuste de tipo I muestra resultados francamente desalentadores dado que al estar considerando un recinto con caída quebrada la función de ajuste difícilmente puede seguir correctamente el comportamiento del sonido en el recinto. No obstante, con relaciones señal ruido suficientemente altas el ajuste es bastante robusto en lo que se refiere a la elección de la duración de la señal. Así, siempre que la señal tenga una duración de al menos el 80% del TR y la relación señal ruido supere los 28 dB, el error será menor que el 10%.

El ajuste de tipo II muestra resultados mucho más satisfactorios. Se pueden distinguir dos zonas claramente diferenciadas. La primera estaría en la ventana de duraciones relativas 80% a 150%. Dentro de esta ventana incluso con relaciones señal ruido de en torno a 15 dB se pueden hacer estimaciones del TR con errores por debajo del 10%. La segunda zona, para duraciones relativas entre los valores 160% a 200% en que se debe tener al menos una relación señal ruido de 25 dB.

Podemos concluir que en ningún caso el ajuste de la caída desde el estado estacionario puede ofrecer resultados razonables. Pero el margen en que se ofrece resultados razonables es mucho mayor que el no considerar ajuste alguno.

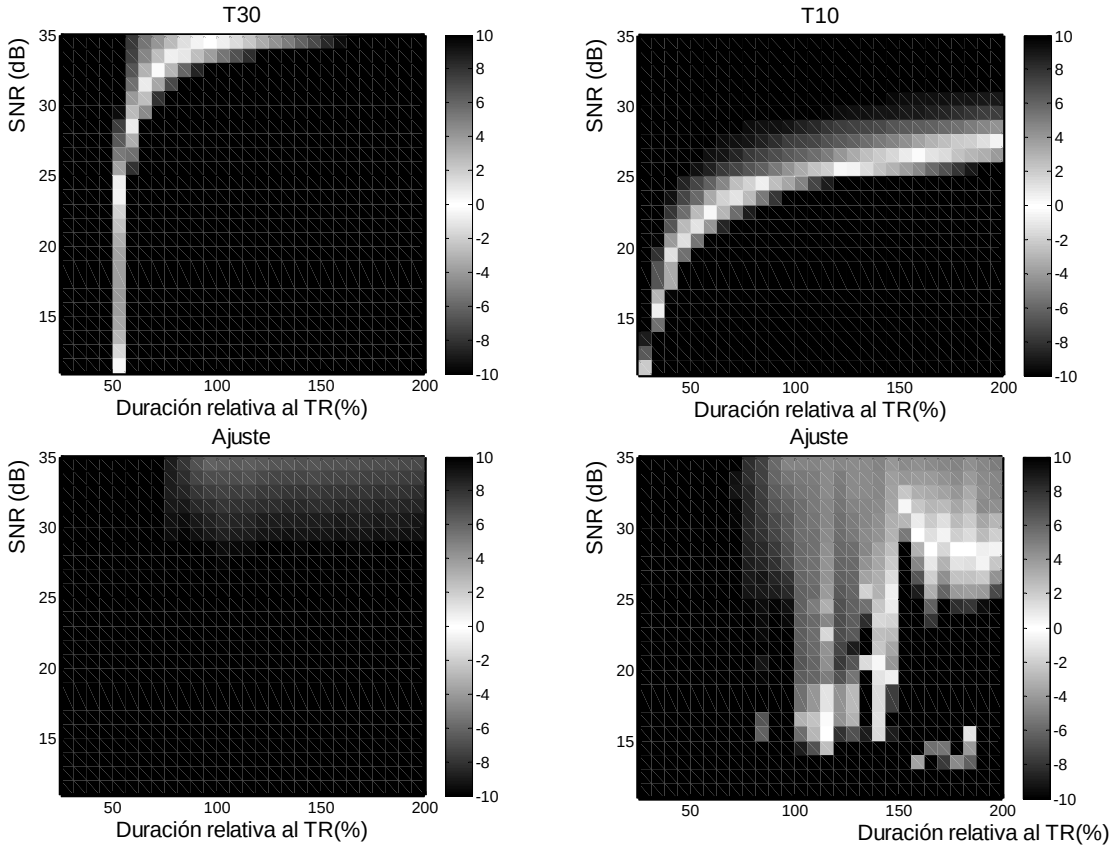


Figura 3. Error del ajuste frente a relación señal ruido (SNR dB) y frente a la duración relativa al TR. Arriba a la izquierda estimación del TR a través de la definición de T30. Arriba a la derecha ídem para T10. Abajo, a la izquierda ajuste tipo I. Abajo, a la derecha ajuste tipo II.

CONCLUSIONES

El presente trabajo ha demostrado que es conveniente realizar ajustes de las curvas de caída que consideren la acción del ruido de fondo en la señal grabada.

El ajuste es sensiblemente mejorado si se consideran dos exponenciales en la función de ajuste llegándose a considerar adecuadamente el T30 incluso con relaciones señal ruido de 15dB. Es de destacar que con una relación señal ruido tan baja incluso el T10 se vería afectado y tan sólo considerando duraciones muy ajustadas, levemente inferiores al TR, se puede llegar a resultados satisfactorios.

Se ha demostrado que con duraciones relativas de la señal por encima del 100% del TR se pueden conseguir resultados óptimos con el ajuste a dos exponenciales con errores inferiores al 2% para relaciones señal ruido de hasta 20dB, hecho que puede facilitar la obtención de TR bajo circunstancias adversas.

En futuros trabajos se tendrán en cuenta otros factores, tales como el método de ajuste (mínimos cuadrados, media ponderada, algoritmos genéticos), la consideración de varios recintos con curvas más o menos quebradas, etc.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación y la Unión Europea FEDER a través del proyecto FIS2011-29731-C02-02.

REFERENCIAS

1. Wallace C. Sabine: Collected Papers on Acoustics. 1993, Trade Cloth ISBN 0-932146-60-0 Peninsula Publishing, Los Altos, U. S.. LCCN: 93-085708
2. Schroeder, M.R., "New Method of Measuring Reverberation Time". J. Acoust. Soc. Am., vol. 37 (1965)
3. ISO 3382:2012- Medición del tiempo de reverberación de recintos con referencia a otros parámetros acústicos.
4. ISO 18233:2006- Aplicación de nuevos métodos de medición en la acústica de edificios y recintos.