

SOFWARE ACÚSTICO DE MEDIDA Y EVALUACIÓN DE RECINTOS

PACS no. 43.55.Mc

Torres Sánchez, Jesús Javier⁽¹⁾; Martín Cruzado, Carlos⁽²⁾; Luna Ramírez, Salvador⁽¹⁾

⁽¹⁾: Dpto. Ingeniería de Comunicaciones. ETSI Telecomunicación. Universidad de Málaga
Campus de Teatinos. 29071. Málaga. España. Tel.: +34 952137186.
E-mail: jejatorres@gmail.com - sluna@ic.uma.es

⁽²⁾: Genuix. Sistemas electroacústicos avanzados. C/ Almonte 8. 29004. Málaga. España. Tel.:
+34 951212351. E-mail: carlos@genuix.es

ABSTRACT

This paper describes the development of an acoustic software application with the aim of evaluating auditoriums according to the ISO 3382 standard. Acoustic signal processing and software functional organization are detailed. Most common acoustic parameters can be obtained, and, as a novelty, the software offers new graphical ways to show the acoustical results (e.g. mapping/visualizing parameters in a two dimensional model room). This graphical representation avoids tedious data management when big rooms are analysed.

RESUMEN

En este trabajo se describe el procesado de señales y la organización estructural básica en el desarrollo de un nuevo software que permite la evaluación acústica de recintos mediante la obtención de parámetros acústicos descritos en la norma ISO 3382. El programa, a diferencia de los existentes en la práctica profesional, permite realizar de forma automatizada una caracterización completa de salas, ofreciendo resultados visuales ampliamente detallados. La forma de presentación de resultados implementada evita la tediosa gestión de datos que habitualmente es necesaria cuando se trata de analizar grandes salas y auditorios.

1 INTRODUCCIÓN

La acústica de recintos ha sido objeto de profundo estudio durante las últimas décadas. Si bien es conocida su importancia, las herramientas software disponibles en el mercado, que han tenido una gran evolución en muchos de sus aspectos, ofrecen capacidades poco prácticas en la presentación de resultados, especialmente a la hora de hacer evaluaciones completas de salas y la ubicación de las medidas realizadas en la sala.

Los programas existentes no gestionan la información espacial de los puntos de medidas realizadas en la sala objeto de estudio. Es por esto que se requiere una tediosa organización de datos, que inevitablemente ha de hacerse de forma no automatizada, para obtenerse resultados globales e intuitivos. Debido a ello, la solución que habitualmente se adopta en la práctica profesional es hacer estudios en los que se toman muy pocos puntos representativos de todas las posiciones espaciales del recinto a evaluar.

Los motivos anteriormente descritos crean la necesidad de un nuevo software que gestione y procese la información de forma diferente, y que replantee la metodología de medida para así ofrecer procedimientos que permitan la caracterización y evaluación acústica de recintos de forma completa y totalmente automatizada.

2 PROCESADO DE SEÑAL ACÚSTICA

En este apartado se describe el procesamiento de señales que realiza el software para obtener los parámetros acústicos del recinto objeto de estudio. Se debe destacar que el programa sigue las recomendaciones indicadas en la norma ISO 3382 [1], añadiendo ciertos algoritmos que agilizan los resultados.

2.1 Obtención de la Respuesta Impulsiva del Recinto

La respuesta impulsiva del recinto (IR) se obtiene mediante el método de *deconvolución por filtrado inverso* [2]. Este consiste en aplicar la transformada inversa de Fourier (IFT) a la respuesta en frecuencia del recinto, definida como el cociente espectral de la respuesta acústica de la sala y la excitación o estímulo aplicado. Matemáticamente se describe como sigue.

Sean $x(t)$ e $y(t)$ la señal de excitación y la respuesta acústica de la sala, respectivamente, y $X(f)$ e $Y(f)$ las transformadas de Fourier de dichas señales.

Sea $h(t)$ la IR que caracteriza la sala para los puntos de fuente y receptor considerados.

Entonces:

$$h(t) = IFT \left\{ \frac{Y(f)}{X(f)} \right\} \quad (1)$$

La señal de excitación utilizada por defecto será el barrido en frecuencia —comúnmente conocido del inglés “sweep”— de tipo logarítmico, ya que proporciona diversas ventajas sobre otras opciones disponibles [3].

Es conveniente destacar que una vez obtenida la IR según la Ecuación 1, se realiza un filtrado para eliminar cualquier señal residual ajena al proceso. Se utilizan filtros de Butterworth paso-banda según el rango de frecuencias de interés.

2.2 Procesado IR

Una vez obtenida la IR, se debe procesar adecuadamente. Aunque los procedimientos que se deben realizar están descritos en la norma ISO 3382, hay cierta libertad a la hora de implementarlos. Se describen a continuación.

- **Enventanado**

El este proceso se realiza la búsqueda de un punto inicial adecuado para la respuesta impulsiva obtenida. Se considera el inicio de la IR aquel instante en el cual la señal sube significativamente por primera vez sobre el nivel de ruido, pero se mantiene a cierta distancia por debajo del máximo.

- **Filtrado**

Puesto que la mayoría de los parámetros acústicos dependerán entre otros factores de la frecuencia, hay que realizar una evaluación en toda la banda de interés. Para ello se le aplicará a la IR un filtrado en bandas de octava. Este se realiza según la norma IEC 61260, considerándose siete bandas de octava con las siguientes frecuencias centrales: 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000 Hz.

- **Eliminación de retardo**

El filtrado de la IR introduce un retardo en la señal resultante que se debe eliminar para evitar errores en el posterior cálculo de parámetros. Los retardos introducidos por el filtro de Butterworth dependerán de la banda de filtrado en cuestión, siendo mayor cuanto menor sea la frecuencia. Se define el retardo de cada filtro como el tiempo transcurrido hasta que se tiene la mitad de la energía del filtro cuando éste es alimentado con un impulso.

- **Truncamiento**

Uno de los principales problemas a la hora de obtener los parámetros acústicos a partir de la IR es la presencia del ruido de fondo. Este ruido perturba la señal e induce a errores en las consideraciones y cálculos posteriores. El truncamiento consiste en la búsqueda del instante final adecuado de la verdadera IR. Para este fin se deben realizar estimaciones de señal y ruido.

Hay multitud de estudios realizados sobre el truncamiento óptimo de la IR, sin embargo no hay un consenso sobre el mejor método o algoritmo a utilizar. Uno de los más conocidos es el método propuesto por A. Lundebj [4], en el que se realiza una estimación iterativa de la señal IR y el ruido de fondo aditivo. En este trabajo se propone el uso del método de Lundebj con algunas modificaciones que simplifican su operativa. Los pasos a seguir se describen a continuación:

1. Promediado de la IR cuadrática en intervalos locales de 10-50 ms según la banda en frecuencia a considerar. Los intervalos de mayor duración son aptos para IR filtradas en bandas de baja frecuencia, mientras que los de menor duración serán idóneos para bandas de frecuencias mayores.
2. Estimación inicial del nivel de ruido de fondo, evaluando el 10% final de la señal capturada. Esto dará un indicador razonable pues el ruido se considera estacionario y será predominante en la parte tardía de la señal.
3. Estimación de la pendiente de decaimiento de la IR cuadrática mediante una regresión lineal en el intervalo temporal comprendido entre el instante inicial y el instante en el cual la IR cuadrática es 5-10 dB superior al nivel de ruido. Por defecto se utiliza un margen de 5 dB, reservando el margen mayor para casos donde la presencia de ruido es mínima.
4. El punto de truncamiento inicial se calcula como la intersección de la pendiente de decaimiento y el nivel de ruido de fondo.
5. Cálculo de nuevos intervalos temporales de acuerdo con la pendiente estimada. Debe haber de 3-10 intervalos por cada caída de 10 dB. Un número menor de intervalos estará asociado a bandas de baja frecuencia, mientras que las frecuencias mayores requerirán más intervalos.

6. Promediado de la IR cuadrática en los nuevos intervalos temporales.
7. Nueva estimación del nivel de ruido de fondo. Se evalúa el intervalo temporal comprendido entre el punto correspondiente a una caída de 5-10 dB respecto al punto de truncamiento encontrado, y el final de la señal. Si dicho intervalo es menor que el 10% de la longitud total de la señal capturada, se evalúa el 10% final de la misma.
8. Estimación de la pendiente de caída tardía, evaluando un rango dinámico de 10-20 dB que comienza en el punto cuyo nivel es 5-10 dB superior al nivel de ruido. Rango dinámico y margen de ruido mayores deberían asociarse a casos de mínima presencia de ruido.
9. Determinar el nuevo punto de cruce y realizar nueva iteración de los pasos 7-9 hasta alcanzar la convergencia de dicho punto. Se alcanzará en un máximo de 5 iteraciones.

En la Figura 1 se muestra gráficamente el proceso de truncamiento sobre una IR cuadrática en escala logarítmica —también denominada *curva temporal de energía* o ETC— y normalizada respecto a su valor máximo.

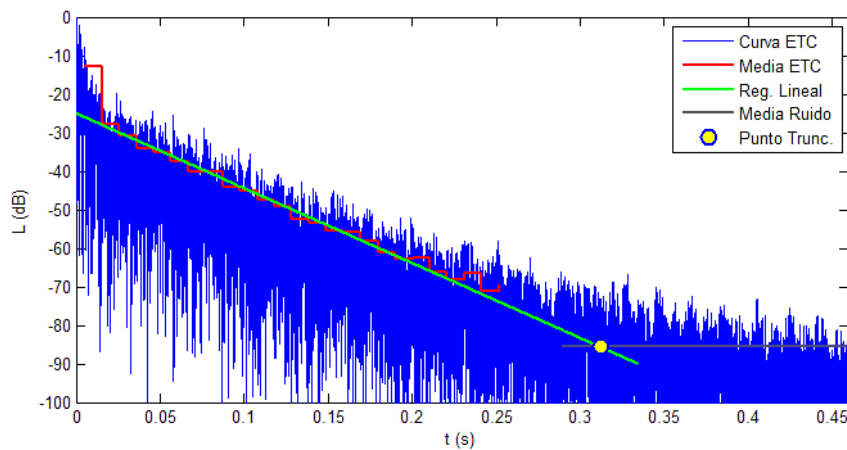


Figura 1. Truncamiento basado en el método de Lundebly

2.3 Obtención de Parámetros Acústicos

El programa obtiene a partir de la IR los parámetros acústicos más utilizados en la práctica. Para ello se siguen los procedimientos descritos en la norma ISO 3382. A continuación se listan los parámetros acústicos y la forma de obtenerlos.

- **Ganancia, G**

Se calcula como la diferencia entre el nivel de presión sonora producido por una fuente omnidireccional en un punto de la sala, y el nivel producido por la misma a 10 metros de ella en campo libre. Matemáticamente:

$$G = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T_0} \int_0^\infty \frac{h^2(t)}{p_0^2} dt \right] - 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T_0} \int_0^\infty \frac{h_{cl}^2(t)}{p_0^2} dt \right] \text{ (dB)} \quad (2)$$

En Ecuación 2, $h(t)$ es la IR de la sala en el punto de medida; $h_{cl}(t)$, la respuesta en campo libre medida a 10 metros de la fuente; T_0 corresponde a 1 s; y p_0 es 20 μPa .

- **Tiempo de reverberación, RT**

Es el tiempo requerido para que el nivel de presión acústica disminuya 60 dB. En la práctica no es posible la evaluación de un margen tan amplio debido a la presencia de ruido de fondo. Por ello se suele evaluar un margen más reducido, y posteriormente se extrapola el resultado

hasta el margen requerido. Así surgen varias aproximaciones de RT; T_{30} , T_{20} y T_{10} , según el margen reducido a considerar.

Para el cálculo de RT, se evalúa la *curva de decaimiento energético* (EDC), definida de la siguiente forma:

$$EDC(t) = \int_t^{\infty} h^2(\tau) d\tau = \int_0^{\infty} h^2(\tau) d\tau - \int_0^t h^2(\tau) d\tau \quad (3)$$

Las aproximaciones de RT se obtienen de la siguiente forma:

- T_{30} : Dos veces el tiempo entre 5 y 35 dB de caída respecto al inicio de la EDC.
- T_{20} : Tres veces el tiempo entre 5 y 25 dB de caída respecto al inicio de la EDC.
- T_{10} : Seis veces el tiempo entre 5 y 15 dB de caída respecto al inicio de la EDC.

• Tiempo de caída inicial, EDT

Se define como seis veces el tiempo requerido para que el nivel de presión acústica disminuya 10 dB. No es más que extrapolar el resultado en la caída inicial de 10 dB hasta completar el rango de 60 dB.

• Claridad, C_X

Su valor depende del umbral temporal elegido; se consideran 50 u 80 ms dependiendo de la naturaleza de la fuente: diálogo o música. Se obtiene de la siguiente forma:

$$C_X = 10 \cdot \log \left[\frac{\int_0^{t_X} h^2(t) dt}{\int_{t_X}^{\infty} h^2(t) dt} \right] \quad (4)$$

• Definición, D_{50}

La definición relaciona las energías acústicas inicial y total. Se calcula de la siguiente forma:

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50 \text{ ms}} h^2(t) dt}{\int_0^{\infty} h^2(t) dt} \quad (5)$$

• Tiempo central, T_S

Este parámetro se define como el tiempo del “centro de gravedad” de la IR cuadrática. Se calcula de la siguiente forma:

$$T_S = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot h^2(t) dt}{\int_0^{\infty} h^2(t) dt} \quad (6)$$

3 METODOLOGÍA DE MEDICIÓN

La principal ventaja que ofrece el software desarrollado es la caracterización completa de salas de forma global y gestionada íntegramente por el propio programa. Esto permite la obtención de resultados finales de forma rápida y cómoda. Para ello, el programa proporciona al usuario una nueva forma de introducir la información, realizar las medidas y analizar los resultados. Se describe a continuación.

3.1 Construcción de Sesión de Medidas

El procedimiento previo a la realización de medidas se ha organizado en las siguientes fases:

1. Introducción de la información espacial. En esta fase el usuario introduce el tamaño de la sala y define los planos de medida.

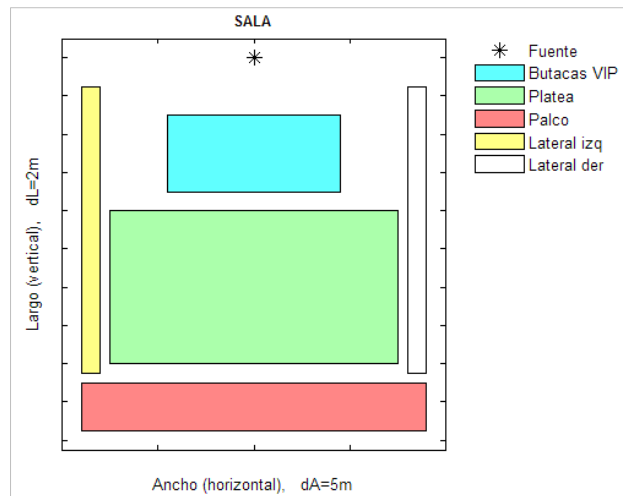


Figura 2. Definición espacial de sala. Ejemplo

2. Definición del itinerario de medida. El usuario indica los puntos de medida y el recorrido espacial que se realizará en la sala para la ejecución de medidas. Se dispone de multitud de opciones: barridos, posiciones manuales, configuración de salas simétricas, etc.

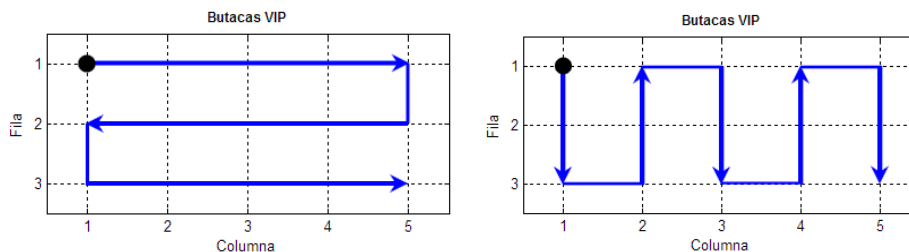


Figura 3. Itinerario de medida. Ejemplos

3. Ejecución de medidas. El programa automatiza el proceso indicando al usuario la posición dónde debe colocar el micrófono y realizando las medidas.

3.2 Elaboración de Resultados

Una vez realizada la fase de medidas, el programa permite definir todas las tareas que se deseen realizar. Se entiende como tarea el mostrar un resultado específico. Un resultado quedará determinado por tres características: parámetro a representar, tipo de gráfico y plano/s de medida. Se tienen las siguientes posibilidades:

- Parámetro: SNR, G, T_{10} , T_{20} , T_{30} , EDT, C_{50} , C_{80} , D_{50} y T_s .
- Tipo de gráfico: estadístico, distancia a fuente, distribución estadística y mapeado.
- Plano/s de medida: todos o un subconjunto de ellos.

Una vez programado el conjunto de tareas, el programa ejecuta las mismas obteniendo los resultados finales. Se ofrecen multitud de opciones tales como el guardado de imágenes o la exportación a Excel.

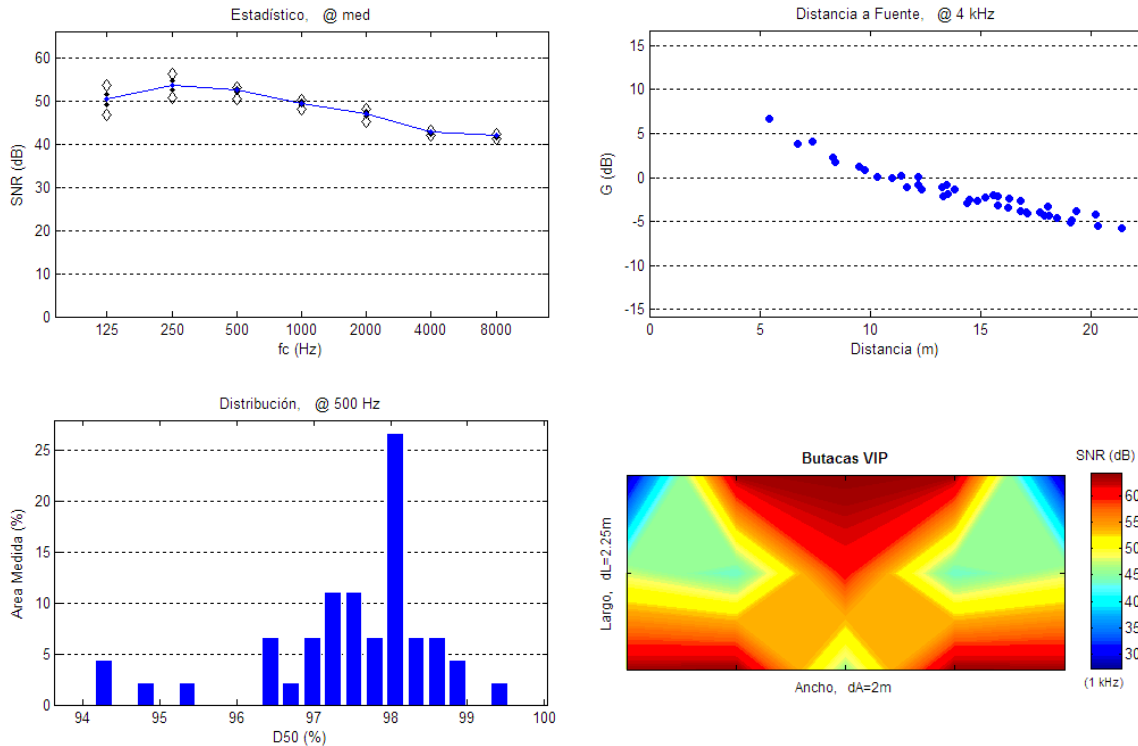


Figura 2. Tipos de resultados. Ejemplos

4 CONCLUSIONES

En esta contribución se han descrito los fundamentos de procesamiento de señal y la organización estructural básica que se han llevado a cabo en el desarrollo de un nuevo software que, a diferencia de otros disponibles en el mercado, evoluciona en el modo de procesar la información y ofrecer resultados finales al usuario.

La nueva capacidad de gestión y procesamiento de la información espacial, unida a una ejecución de algoritmos eficientes, permite la caracterización acústica de salas de forma completa y totalmente automatizada. De esta forma es posible la generación autónoma de resultados globales que, en última instancia, será los más relevante y demandado por las empresas del sector.

La versatilidad y simplicidad del procedimiento propuesto ofrece un enfoque diferente en las herramientas software de evaluación acústica de recintos. A su vez, abre nuevas opciones de desarrollo en esta línea, en la que se ha puesto de manifiesto la posibilidad de eliminar cualquier fase de gestión y procesamiento de datos por parte del usuario.

REFERENCIAS

- [1] ISO 3382-1, "Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 1: Performance spaces", Junio, 2009.
- [2] A. J. Berkhout, D. de Vries, M. M. Boone, "A new method to acquire impulse responses in concert halls", Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 68, N° 1, Julio, 1980, pp. 179-183.
- [3] S. Müller, P. Massarani, "Transfer Function measurement with sweeps", Journal of the Audio Engineering Society, Vol. 49, N° 6, Junio, 2001, pp. 443-471.
- [4] A. Lundeby, T. E. Vigran, H. Bietz, M. Vorländer, "Uncertainties of Measurements in Room Acoustics", Acta Acustica united with Acustica, Vol. 81, N° 4, Julio, 1995, pp. 344-355.