

## **ERRORES EN LA MEDIDA DEL ÍNDICE DE CLARIDAD**

Pedrero A., Minguez A., Recuero M.

E.U.I.T. Telecomunicación, U.P.M.  
Dpto. Ing. Audiovisual y Comunicaciones  
Carretera de Valencia Km. 7, 28031 Madrid

### **INTRODUCCIÓN**

Un gran número de parámetros utilizados para la evaluación de la calidad acústica de una sala se basan en la medida y el análisis de la respuesta impulsiva de la misma. Esta respuesta impulsiva se obtiene, normalmente, excitando el recinto con una señal de corta duración (una salva, un disparo, etc), producida en la posición en la que se supone se ubicará la fuente sonora, y registrando la evolución temporal de la energía sonora en la posición de los hipotéticos oyentes.

Dado que las características acústicas de un recinto variarán con la frecuencia, será necesario obtener la respuesta impulsiva de la sala para las distintas frecuencias de interés. Esto puede realizarse de dos formas: utilizando una señal de excitación limitada en frecuencia en la banda de interés, o bien utilizando una señal excitadora de banda ancha y realizando un filtrado en frecuencia de la señal recibida. El primer método presenta el inconveniente de que se necesita realizar una medida con una señal excitadora distinta por cada banda de interés. Por el contrario, el segundo método permite, si se dispone de un Analizador en Tiempo Real como instrumento de medida, registrar la respuesta impulsiva para todas las bandas de frecuencia mediante una única excitación del recinto, lo que supone un importante ahorro de tiempo.

El inconveniente principal que conlleva este segundo método es que los filtros utilizados en recepción presentan una determinada respuesta impulsiva que hará que la señal registrada no se corresponda con la respuesta al impulso de la sala, sino que será la convolución de las respuestas impulsivas del filtro y de la sala, por lo que se pueden cometer errores en la apreciación de los parámetros que se deriven del análisis de la señal registrada.

En trabajos recientes [1][2] se ha demostrado cómo el hecho de invertir la señal previamente a hacerla pasar por el filtro reduce dicho error a la hora de evaluar la pendiente del decrecimiento de la energía sonora.

En este trabajo se intenta cuantificar el error en la medida del Índice de Claridad  $C_{80}$ , que es uno de los parámetros más utilizados para caracterizar la relación de energía temprana/tardía en un recinto. Se estudiará el error cometido en función del tiempo de reverberación del recinto, y para filtros de 1/1 y 1/3 de octava. Además se investigará la mejora obtenida invirtiendo la señal antes de pasarla a través del filtro.

## ESTUDIO DEL ERROR PRODUCIDO POR LOS FILTROS PASO-BANDA

Se define Índice de Claridad ( $C_{80}$ ) como la relación entre la energía sonora que llega a una determinada posición en los primeros 80 ms desde la llegada del sonido inicial y la recibida a partir de ese momento. Su expresión matemática es:

$$C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{80\text{ms}} p(t)^2 dt}{\int_{80\text{ms}} p(t)^2 dt} \quad (1)$$

donde  $p(t)$  es el valor instantáneo de la presión sonora en la posición elegida.

A fin de cuantificar el error en la medida de  $C_{80}$  motivado por la inserción de un filtro paso-banda, se realizó una simulación basada en el programa LAB-VIEW® en la que se sintetizó una señal de entrada al filtro,  $X_e$ , consistente en una señal sinusoidal de la misma frecuencia que la frecuencia central del filtro a utilizar, y afectada por un amortiguamiento, semejando la respuesta impulsiva de una sala con un decrecimiento de energía exponencial. La expresión matemática de la señal sintetizada es:

$$X_e = A \cos \omega_0 t (e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (2)$$

donde  $A$  es la amplitud máxima,  $\omega_0$  es la pulsación angular correspondiente a la frecuencia central del filtro a utilizar, y  $\tau$  es un parámetro variable que nos permite seleccionar distintos tiempos de reverberación. Para este tipo de señal la relación entre el tiempo de reverberación de Sabine,  $T_{60}$ , y el parámetro  $\tau$  es:

$$T_{60} = 6 \ln(10) \tau \quad (3)$$

Sobre la señal así definida se midió el Índice de Claridad  $C_{80}$ , que denominamos  $C_0$ , y que utilizaremos como referencia para calcular los errores producidos por la inserción de los filtros paso-banda.

Se sintetizaron filtros paso-banda digitales con características similares a los que incorporan los analizadores en tiempo real comerciales, siendo éstos de tipo Butterworth y de orden 6 y 14 para los anchos de banda de 1/3 y 1/1 octava respectivamente.

La señal  $X_e$  se hizo pasar por los filtros, calculando el Índice de Claridad  $C_{80}$  de la señal a la salida de éstos, que denominamos  $C_d$ .

Se calcularon los valores de  $C_0$  y  $C_d$  para filtros de 1/1 y 1/3 de octava con frecuencias centrales normalizadas entre 63 y 4000 Hz, ya que se consideró que estos eran los márgenes de frecuencia en los que este tipo de medidas era de aplicación.

En estas condiciones, y suponiendo que toda la energía de la señal de entrada se encuentra dentro del ancho de banda del filtro correspondiente, podemos decir que el error en la apreciación del Índice de Claridad  $C_{80}$ , debido a la inserción del filtro es:

$$E1 = C_0 - C_d \quad (4)$$

A fin de evaluar cómo influye en este error la velocidad del decaimiento de la energía en el recinto, se realizó el mismo proceso para distintos valores de  $\tau$ , en concreto los que dan lugar a tiempos de reverberación entre 0,3 y 3s, en pasos de 0,1s. Entendimos que gran parte de las salas sobre las que se estudian sus condiciones acústicas tienen tiempos de reverberación comprendidos entre estos márgenes.

Los resultados obtenidos se muestran en las figuras 1 y 2, que presentan el error  $E1 = C_0 - C_d$ , para filtros de 1/1 y 1/3 de octava, en función de la frecuencia central del filtro y del tiempo de reverberación.

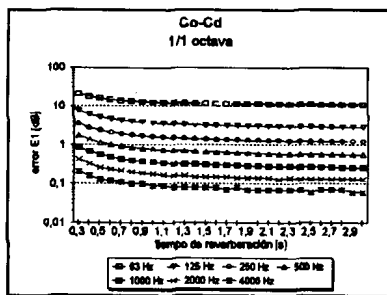


Fig.1 Error E1 para filtros de octava

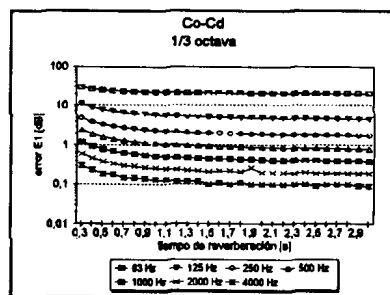


Fig.2 Error E1 para filtros de 1/3 de octava

Para minimizar este error, existe la posibilidad de compensar el retardo que, sobre la señal de entrada, produce el filtro, estableciendo el origen de tiempos para el cálculo de  $C_d$  en el instante en el que la señal de salida del filtro presenta su máximo nivel. Se midió el Índice de Claridad  $C_{80}$  según este criterio, denominando  $C_{dm}$  a los valores obtenidos. En las figuras 3 y 4 se presenta el error, para las mismas condiciones del caso anterior, calculado ahora como

$$E2 = Co - Cdm \quad (5)$$

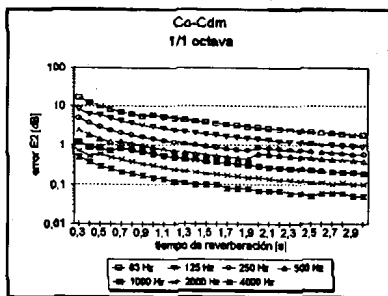


Fig. 3 Error E2 para filtros de octava

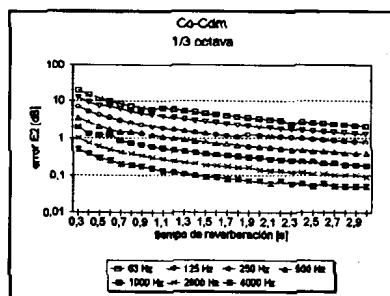


Fig.4 Error E2 para filtros de 1/3 de octava

## MEDIDA DEL ÍNDICE DE CLARIDAD CON SEÑALES INVERTIDAS EN EL TIEMPO

La distorsión producida por un filtro paso-banda sobre un decrecimiento de energía es inferior [2] si invertimos la señal en el tiempo antes de hacerla pasar por éste, que si la introducimos sin invertir, debido a la asimetría de la respuesta impulsiva del filtro.

Para cuantificar hasta qué punto el hecho de invertir la señal de entrada antes de introducirla al filtro puede reducir el error en la apreciación de  $C_{80}$ , se repitió el experimento anterior invirtiendo en tiempo el vector de puntos generado como señal de entrada y calculando el Índice de Claridad a la salida del filtro. Se fijó como origen de tiempo para el cálculo, el momento en el que la señal de salida alcanza su máximo nivel y se modificó el algoritmo de cálculo para tomar los intervalos de 80ms a partir de este momento pero en sentido inverso. Los valores de  $C_{80}$  así obtenidos se denominaron  $C_{im}$ .

Las figuras 5 y 6 muestran el error en la apreciación de  $C_{80}$  cuando se introduce al filtro la señal de entrada (decrecimiento de energía) invertida en el tiempo, para las mismas condiciones que en casos anteriores. El error viene dado como:

$$E3 = Co - C_{im} \quad (6)$$

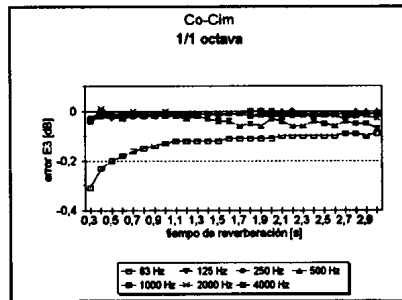


Fig. 5 Error E3 para filtros de octava

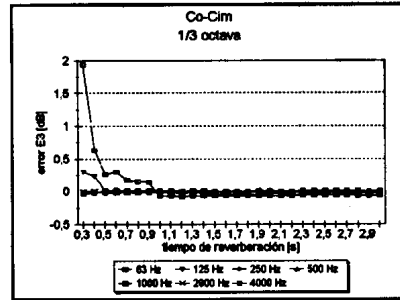


Fig. 6 Error E3 para filtros de 1/3 de octava

### CONCLUSIONES

1.- Tal y como se aprecia en las figuras 1 y 2, el hecho de insertar un filtro paso banda puede producir errores graves a la hora de evaluar el Índice de Claridad de un recinto. La causa de estos errores es la distorsión que la respuesta impulsiva del filtro causará sobre la señal del decrecimiento de energía.

2.- El error será mayor cuanto más grande sea, en cuanto a su duración, la respuesta impulsiva del filtro comparada con la de la sala. Esto implica errores mayores a bajas frecuencias que a altas frecuencias y también serán mayores para anchos de banda de 1/3 de octava que para anchos de banda de octava, reduciéndose conforme aumenta el tiempo de reverberación.

3.- El hecho de compensar el retardo producido por el filtro (figuras 3 y 4) reduce el error cometido al estimar  $C_{80}$ , sobre todo a bajas frecuencias, pero, aún en este caso, dicho error puede tener una magnitud importante.

4.- Cuando introducimos a los filtros la señal del decrecimiento de energía invertida en el tiempo, la distorsión producida por éstos es mucho menor, lo que implica que el error cometido en la evaluación del  $C_{80}$  también lo es (figuras 5 y 6).

Los resultados obtenidos, de los que se desprende la conveniencia de invertir la señal antes de filtrarla, tan solo son aplicables a decrecimientos de energía puramente exponenciales, aunque, de forma cualitativa son extrapolables a otros tipos de decrecimientos.

### REFERENCIAS

- [1] JACOBSEN F. *A note on acoustic decay measurements*. Journal of Sound and Vibration 115 (1987).
- [2] JACOBSEN F. & RINDEL J.H. *Time reversed decay measurements*. Journal of Sound and Vibration 117 (1987).