



SISTEMA DE ECUALIZACIÓN AUTOMÁTICA DE RECINTOS UTILIZANDO LA TÉCNICA MLS

Fuentes, Joan. B; Vera, Jenaro; Gimeno, Encarna

Depto. de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la señal. E.P.S.A. - Universidad de Alicante – España
Teléfono: 965411440; 9655909756 joanfuentes@wanadoo.es jenaro@disc.ua.es

RESUMEN: En este trabajo se presenta una de las muchas aplicaciones de la técnica MLS en el mundo de la acústica. Particularmente vamos a abordar el problema que se presenta cuando se reproduce una señal de audio en una habitación estándar con reverberación determinada: tanto el propio recinto como el equipo de reproducción alteran espectralmente la señal de audio original. Este papel propone un sistema basado en la técnica MLS para ecualizar la respuesta de sistemas acústicos con las características anteriores. Con este fin se emplean técnicas de filtrado inverso de la respuesta impulsiva del recinto bajo estudio.

ABSTRACT: In this work one of the many applications, in the acoustics universe, of the MLS technical is presented. Particularly we will approach the problem in the reproduction of an audio signal in a standard room with moderate reverberation: as much the own enclosure as the reproduction chain alter spectrally the original audio signal. This paper proposes a system based on the MLS technical to equalize the response of acoustic systems with the previous characteristics. In the way are used inverse filters procedures to obtain the room-impulse response.

1. INTRODUCCIÓN

Un ecualizador es un dispositivo capaz de alterar deliberadamente el espectro de una señal de audio. El que se presenta en este trabajo compensará automáticamente el espectro de una señal de audio la cual ha sido alterada por un sistema acústico.

Mediante señales MLS podemos obtener fielmente la respuesta impulsiva de un sistema acústico, formado por un equipo de reproducción y una sala, tan sólo hace falta realizar la correlación cruzada entre una señal MLS grabada en ese sistema particular y la secuencia MLS original. Este método es muy utilizado por su sencillez y por su gran inmunidad frente al ruido.

La respuesta al impulso será la base de nuestro ecualizador, a partir de ella calcularemos un filtro digital de tipo FIR con fase lineal para que ecualice la señal de audio.

En la figura 1 y 2 vemos la respuesta al impulso de un sistema acústico y su correspondiente espectro, obtenidos con una MLS de grado 19:

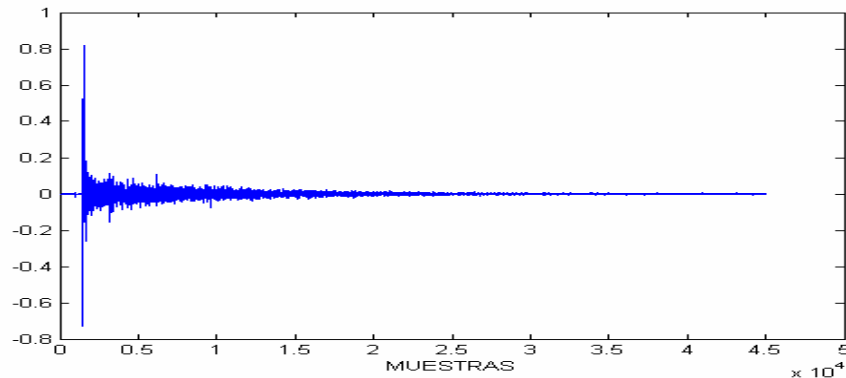


Figura 1: Respuesta al impulso de un sistema acústico formado por un equipo de audio y una sala.

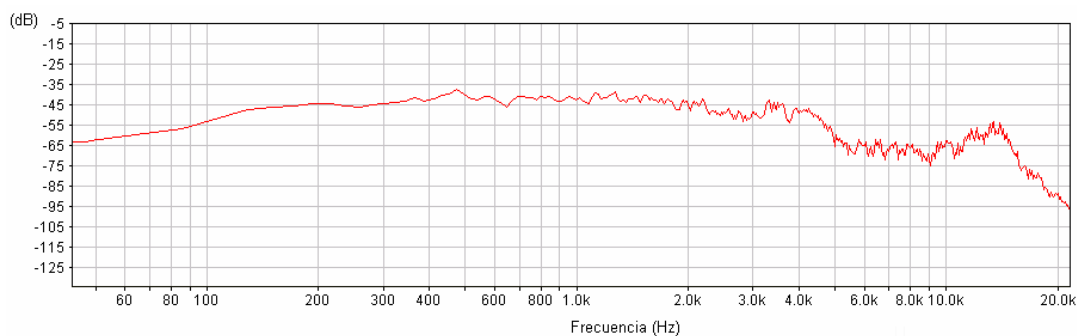


Figura 2: Respuesta en frecuencia de un sistema acústico formado por un equipo de audio y una sala.

Observando la forma de la respuesta al impulso y su curva espectral, podemos afirmar que el sistema acústico medido afecta considerablemente a cualquier señal de audio que pase a través de él.

2. EQUIPOS DE MEDIDA

Los aparatos utilizados para realizar las experiencias son los siguientes:

- Ordenador personal portátil Gericom. - Micrófono interno del ordenador portátil.
- Tarjeta de sonido full-duplex VIA AC'97. - Amplificador Lab Gruppen lab300.
- Altavoz montado en caja cerrada.

Hay que tener en cuenta, que estamos trabajando con equipos de baja calidad, ya que utilizamos un ordenador portátil comercial (con su tarjeta de sonido y su micro) para hacer las medidas, así y todo veremos posteriormente como los resultados obtenidos son aceptables.

A la hora de trabajar con señales de audio empleamos una frecuencia de muestreo de $F_s=44100$ Hz con una cuantificación de 16 bits. Tomamos estos valores por que son unos valores estándar en la conversión digital del audio, y por que según los resultados obtenidos no es necesario utilizar más resolución para implementar este sistema.

La disposición de los equipos quedaría tal y como muestra la figura 3:

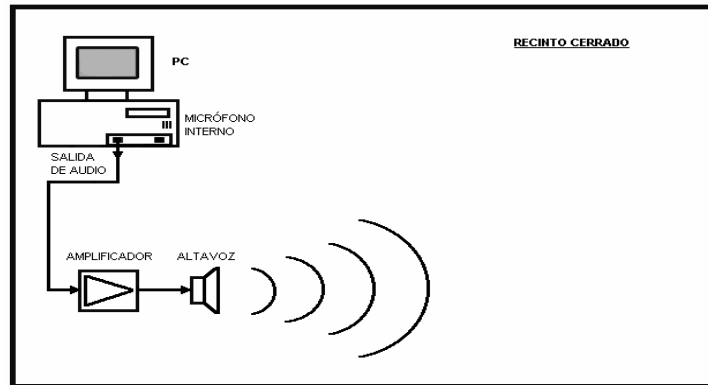


Figura 3: Distribución e interconexión de los equipos de medida utilizados.

FILTRO ECUALIZADOR

Para poder ecualizar el conjunto formado por un equipo de audio y el recinto, calcularemos un filtro digital tipo FIR mediante el cual podamos compensar por completo la curva espectral de este sistema acústico.

El filtro ecualizador se calculará a partir de la respuesta al impulso usando la técnica MLS. Esta respuesta contendrá el efecto introducido por el equipo de audio y la sala conjuntamente, por lo tanto estaremos ecualizando ambos sistemas. La técnica empleada para calcular el filtro se basa en la obtención del sistema inverso.

En el siguiente diagrama de bloques resumimos el método de obtención del filtro ecualizador, a partir de la MLS grabada en el entorno que queremos ecualizar:

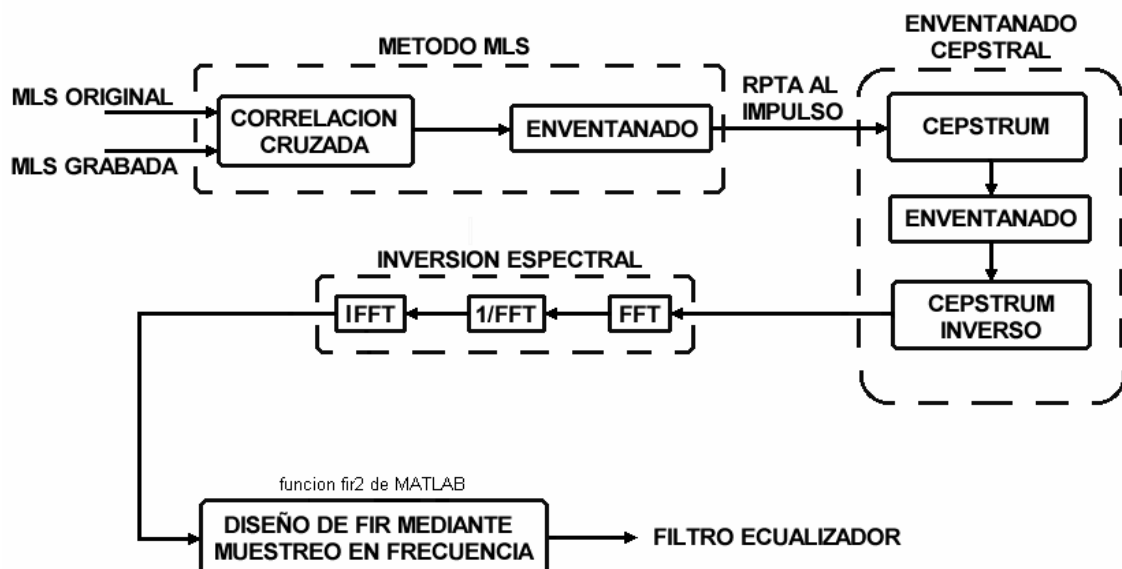


Figura 4: Diagrama de bloques para el cálculo del filtro ecualizador.

En la primera parte de este diagrama de bloques se calcula la respuesta impulsiva del sistema. Partiendo de ella calculamos un filtro que contenga el espectro invertido de ésta.

La inversión consta de 2 pasos:

- En el primer paso se realiza un enventanado en el dominio cepstral de la respuesta al impulso medida. Este método se suele utilizar para eliminar las reflexiones introducidas en una grabación acústica, y separarlas de la señal directa. Sin embargo nosotros utilizamos este método de enventanado por otra propiedad, ya que a la hora de obtener el sistema inverso de una respuesta de una sala, si calculamos este sistema como $1/FFT$, el resultado obtenido es un filtro inestable en el cual su respuesta en frecuencia no es la inversa de la deseada. Pero, si esta inversión espectral la aplicamos a una respuesta a la cual previamente se le ha enventanado el cepstrum, obtenemos que la curva espectral si que es la curva que buscábamos. Para realizar el enventanado cepstral seleccionamos las 500 primeras muestras del cepstrum y ponemos el resto de señal con un valor igual a cero, con este tamaño de ventana estamos teniendo en cuenta todas las reflexiones de la sala en cuestión, y además estamos concentrando toda la energía de la respuesta al impulso en el centro de la señal. Es debido a esto último por lo que la inversión espectral se hace de forma correcta. Por lo tanto, en este trabajo utilizamos el cepstrum como una herramienta para poder invertir espectralmente una respuesta al impulso. Observando la siguiente figura podemos ver la mejora al aplicar este método:

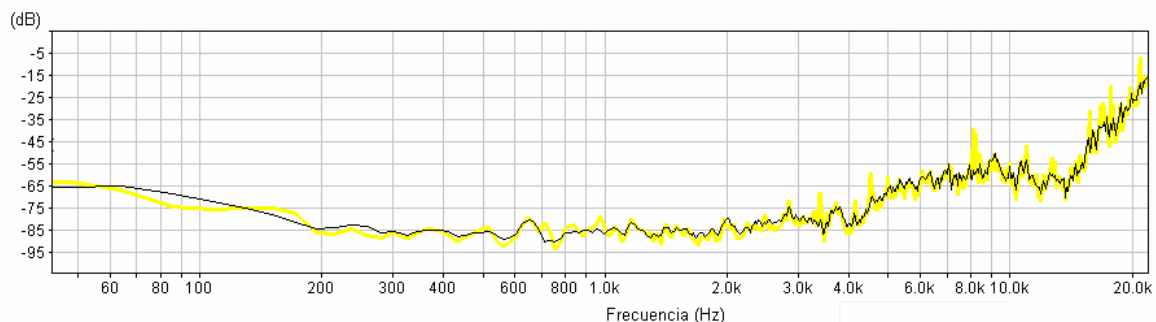


Figura 5: *Respuesta en frecuencia del sistema inverso sin enventanar (curva gruesa) y respuesta en frecuencia del sistema inverso con el cepstrum enventanado (curva fina).*

- En el segundo paso, partiendo del módulo del espectro obtenido mediante el enventanado cepstral se calcula un filtro FIR de fase lineal mediante el método de muestreo en frecuencia. Para ello utilizamos la función “*fir2*” de MATLAB.

Es muy importante tener en cuenta que el filtro que hemos obtenido va a tener niveles muy elevados a alta frecuencia, ya que al invertir el espectro (el cual tenía poca energía en esa región) estamos aumentando de una forma muy considerable estas frecuencias. Por esta razón se produce un enmascaramiento del resto del espectro en la señal ecualizada. Esto se soluciona aplicando a la señal un filtrado paso bajo con una frecuencia de corte de unos 16KHz para compensar todo el espectro y evitar este enmascaramiento.

En la figura 5 tenemos la respuesta en frecuencia de un sistema acústico y el de su correspondiente filtro FIR ecualizador.

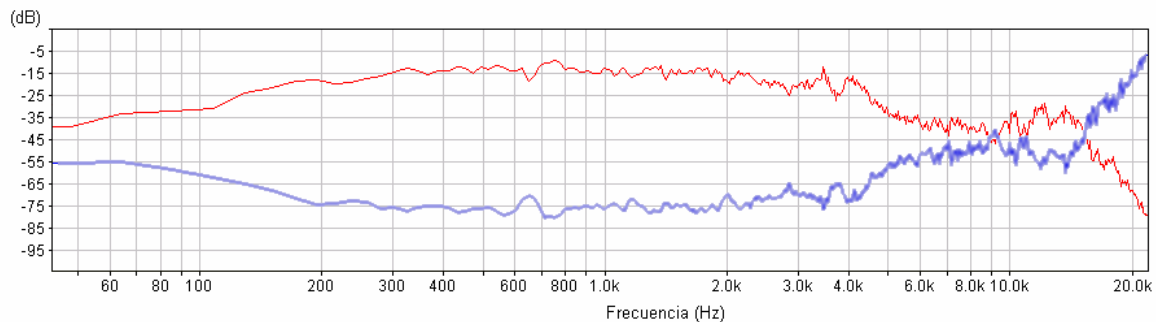


Figura 6: *Respuesta en frecuencia de un sistema acústico determinado (curva roja) y de su sistema inverso correspondiente (curva azul más gruesa).*

Podemos observar como el filtro obtenido compensa el espectro de su sistema acústico y como las frecuencias con mayor nivel del filtro ecualizador son dichas frecuencias altas.

RESULTADOS OBTENIDOS

Para comprobar la validez de este sistema de ecualización, primero se calcula la respuesta del sistema (altavoz + amplificador + recinto + micrófono + tarjeta de sonido) con una señal MLS, luego con la respuesta obtenida hemos pre-ecualizado un fragmento de música cualquiera. Se emite esta señal en el mismo entorno que habíamos extraído la respuesta al impulso. Si el espectro de la señal que hemos grabado coincide con el espectro de la señal original, podremos afirmar que la ecualización aplicada es correcta.

En la siguiente figura vemos las diferencias entre los espectros de la señal de audio original y de la señal de audio reproducida (sin pre-ecualizar) y grabada con este sistema. Se observa que las variaciones espectrales son notables:

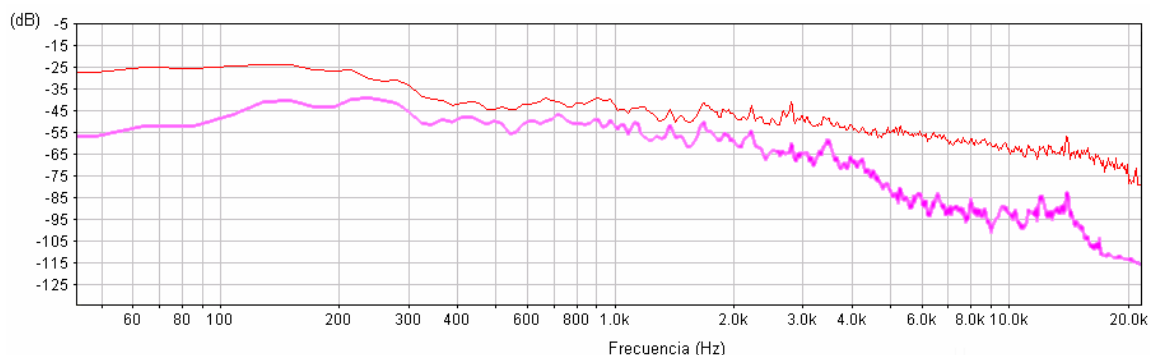


Figura 7: *Respuesta en frecuencia de la señal de audio original (curva roja) y de esta misma señal al pasar por un sistema acústico (curva rosa más gruesa).*

Seguidamente comparamos la señal de audio original con la señal de audio ecualizada grabada en el mismo sistema:

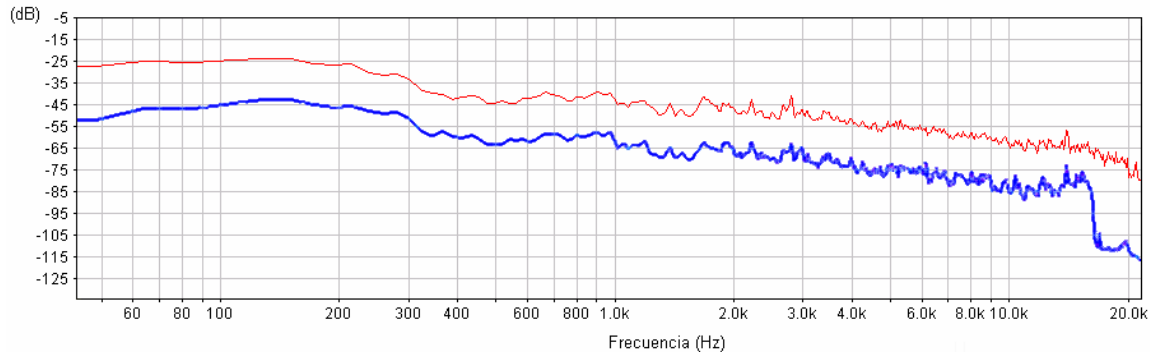


Figura 8: Respuesta en frecuencia de la señal de audio original (curva roja) y de esta misma señal ecualizada y pasada por el mismo sistema acústico (curva azul más gruesa).

Se puede conjeturar que ambas curvas espectrales son idénticas, salvo a partir de los 16KHz donde tenemos una caída abrupta en la señal grabada, debido como ya se explicó con anterioridad al filtro paso bajo aplicado para evitar el enmascaramiento de la señal. Dicha carencia espectral no es muy importante ya que tanto para nuestro sistema auditivo como para la inmensa mayoría de cadenas de reproducción sonora la contribución de esta zona del espectro en la calidad acústica no es muy relevante.

CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos en el apartado anterior podemos afirmar que el sistema de ecualización propuesto, supera en resolución a los ecualizadores gráficos existentes en la actualidad, ya que con este método no estamos ecualizando unas bandas determinadas del espectro audible, sino que estamos ecualizando por completo todo el espectro audible.

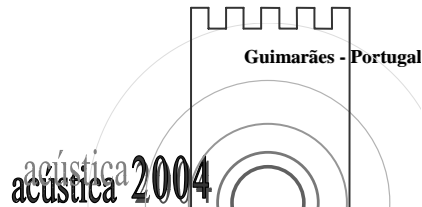
Debido a la fuerte inmunidad frente al ruido del método MLS, hemos podido implementar este sistema de ecualización utilizando equipos comerciales de bajo nivel como son la tarjeta de sonido de un ordenador portátil, y su micrófono incorporado.

Lo ideal de esta implementación sería que el sistema trabajase en tiempo real utilizando técnicas de procesamiento digital de señal (DSP). Esta implementación se queda para un trabajo posterior, ya que sería muy interesante que el sistema filtrase, por ejemplo, la señal de salida de un reproductor de CD, en tiempo real, para que escuchásemos música perfectamente ecualizada en el salón de nuestra casa.

Este sistema de ecualización puede ser utilizado en muchas aplicaciones, como por ejemplo la perfecta audición de música en recintos, compensación del espectro de altavoces, ecualización rápida y sencilla de instrumentos o voz en espectáculos, simulaciones de entornos acústicos, etc...

REFERENCIAS

[1] John Bemserderfer; James Glettler & otros. "Adaptive Audio Room Equalizer". Digital Signal Processing Laboratory. Universidad de Michigan (2003)



- [2] **Pedro Cobo; Carlos Ranz.** “*Cualificación in situ de dispositivos antirruido por el método de Adrienne*”. Revista de acústica, Vol. Nº 30 pp. , (1999)
- [3] **Joan Baptiste Fuentes Andreu.** “*Sistema de ecualización automática en recintos cerrados*”. Proyecto final de carrera, Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones [Sonido e Imagen] (2004). Universidad de Alicante.
- [4] **Ole Herman Bjor.** “*Maximum Length Sequences*”. Norsonic (2000)
- [5] **M. Kob; M. Vorlander.** “*Practical aspects of MLS measurements in building acoustics*”. Applied Acoustics Vol. 52 (1997)
- [6] **D. Manolakis; J. Proakis.** “*Tratamiento digital de señales*”. Prentice hall (1998)
- [7] **G. Niedrist.** “*Echo Suppression for Loudspeaker-Microphone System Measurements*”. J. Audio Eng. Soc., Vol 41, Nº. 3, (1993). Páginas 143-153.
- [8] “*Anechoic Orchestral Music Recording*”. PG-8008. PCM-Digital. DENON.