

Clase 3: Filtros y Ecuiladores (primera parte)

Al haber estudiado las señales y su espectro, vimos la forma de poder analizarlas y estudiar su comportamiento. Ahora vamos a estudiar la forma de modificar su espectro, mediante el uso de **filtros y ecualizadores**.

Cuando necesitemos dejar de lado parte del espectro de la señal, ya sea porque es parte indeseada del espectro, o para estudiar mejor cierta porción (como hicimos con las funciones ventana), utilizaremos *filtros*, los cuales veremos que hay distintos tipos. Si necesitamos enfatizar o atenuar otra parte del espectro, mejorar la respuesta en frecuencia, etc., utilizaremos *ecualizadores*.

Tipos de Filtros

Existen muchas variedades de filtros, tanto en el dominio analógico como en el digital, los cuales permiten modificar el espectro de una señal. Originalmente, los filtros tenían el objetivo de transmitir, con la menor distorsión posible, las señales comprendidas dentro de una determinada banda de frecuencias, donde al mismo tiempo se atenuaban todas las frecuencias presentes en dicha señal que estuvieran fuera de las bandas. Hoy en día se utilizan para todo tipo de modificación de señales, e incluso con fines artísticos (como en nuestro caso), donde no sólo se busca atenuar ciertas bandas del espectro, sino que también enfatizarlas.

Los filtros son funciones de transferencia; en el campo analógico pueden ser:

Pasivos: cuadripolos que actúan como filtros pasivos compuestos por elementos no disipativos (inductores y capacitores), relegando el efecto de disipación al ámbito de ajustes y correcciones finales.

Activos: en este caso se utilizan componentes activos, como amplificadores operacionales. El resultado es mucho más preciso.

También se encuentran los filtros digitales, los cuales utilizan funciones de transferencia propiamente dichas, donde la respuesta final proviene de una fórmula matemática, funciones de punto impulsor-inmitancia terminal, etc. Estas funciones no sólo que son más precisas, sino que permiten topologías y configuraciones difíciles de lograr en el campo analógico. Además, permiten menores distorsiones, como los filtros “linear phase”.

El diseño de filtros excede a lo objetivos del curso, pero veremos ciertas generalidades de cada tipo de filtro, que nos serán útiles a la hora de aplicarlos al audio.

Filtros Pasa Bajos

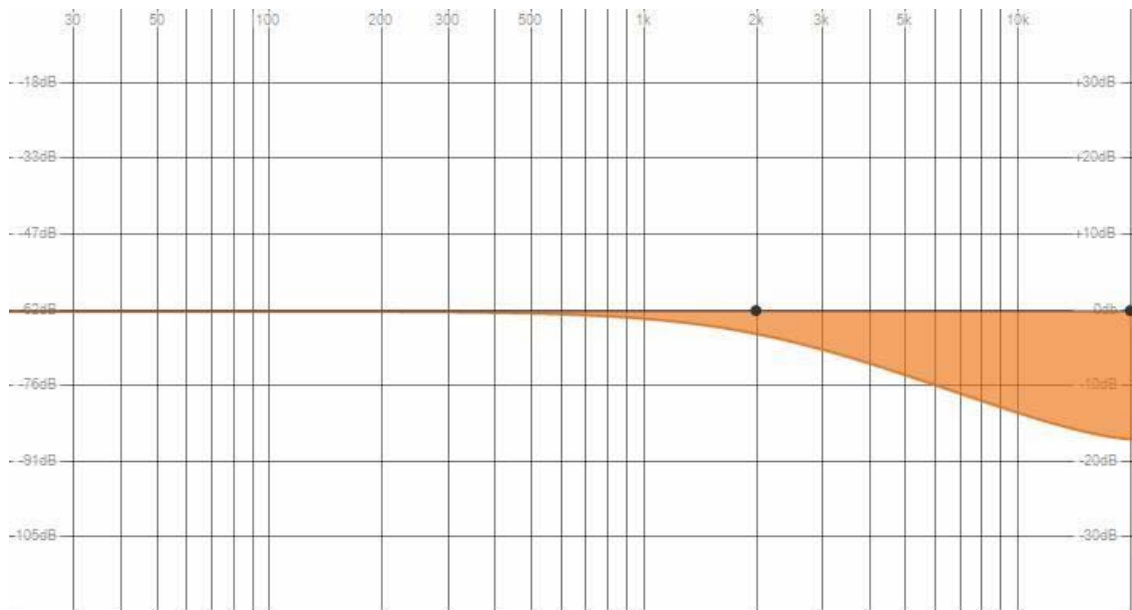


Fig. 1 -Filtro Pasa Bajos, Corte en 2kHz, Butterworth 1er Orden (-6dB/oct.)

Conocidos como Low-Pass Filters, estos filtros permiten dejar pasar sin alterar el espectro hasta una cierta frecuencia, y luego de ella comienzan a atenuar, con una determinada pendiente, las frecuencias que estén por encima. Se considera como frecuencia de corte f_c a la frecuencia para la que el filtro realiza una atenuación de 3dB. Luego, cuando la caída de la pendiente de la atenuación se convierta en una línea recta, podremos distinguir el orden del filtro, el cual siempre será múltiplo de -6dB/oct. Eso significa que para un filtro de orden N, tendremos una atenuación de -6.NdB/oct. En la Figura 2 podemos apreciar un filtro de primer orden y uno de segundo, ambos con $f_c=800\text{Hz}$. Si bien ambos filtros poseen distinto orden y por ende sus pendientes son distintas, como sus frecuencias de corte son las mismas, a 800Hz ambos producirán una atenuación de 3dB. A medida que crezca el orden del filtro, mayor será su pendiente de atenuación, pero también será mayor su efecto en la respuesta en fase del sistema, como veremos en la próxima clase.

La aproximación de Butterworth es el filtro más sencillo que utilizaremos. En la síntesis circuital, el Pasabajos de Butterworth es uno de los que se utilizan para sintetizar al resto de los filtros, tales como el Pasa-altos o el Pasa-Banda.

Otras de las aproximaciones que se suelen utilizar son las de Cheychev, Linkitz Riley, Elípticas, de Bessel, entre otras.

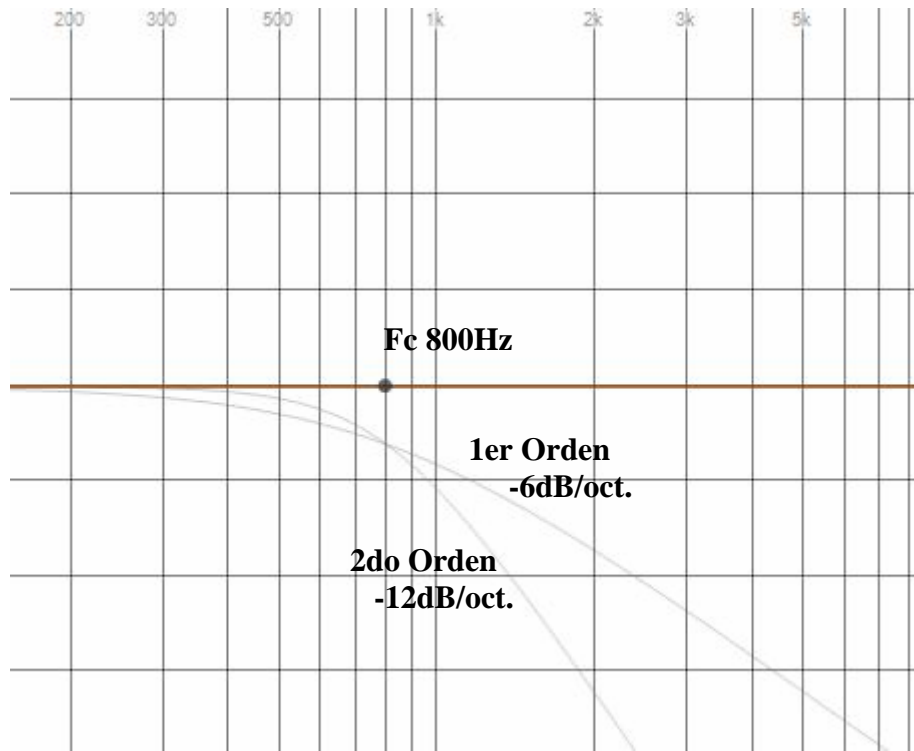


Fig. 2 - Filtros Pasa Bajos Butterworth de 1er y 2do orden, con $f_c=800\text{Hz}$

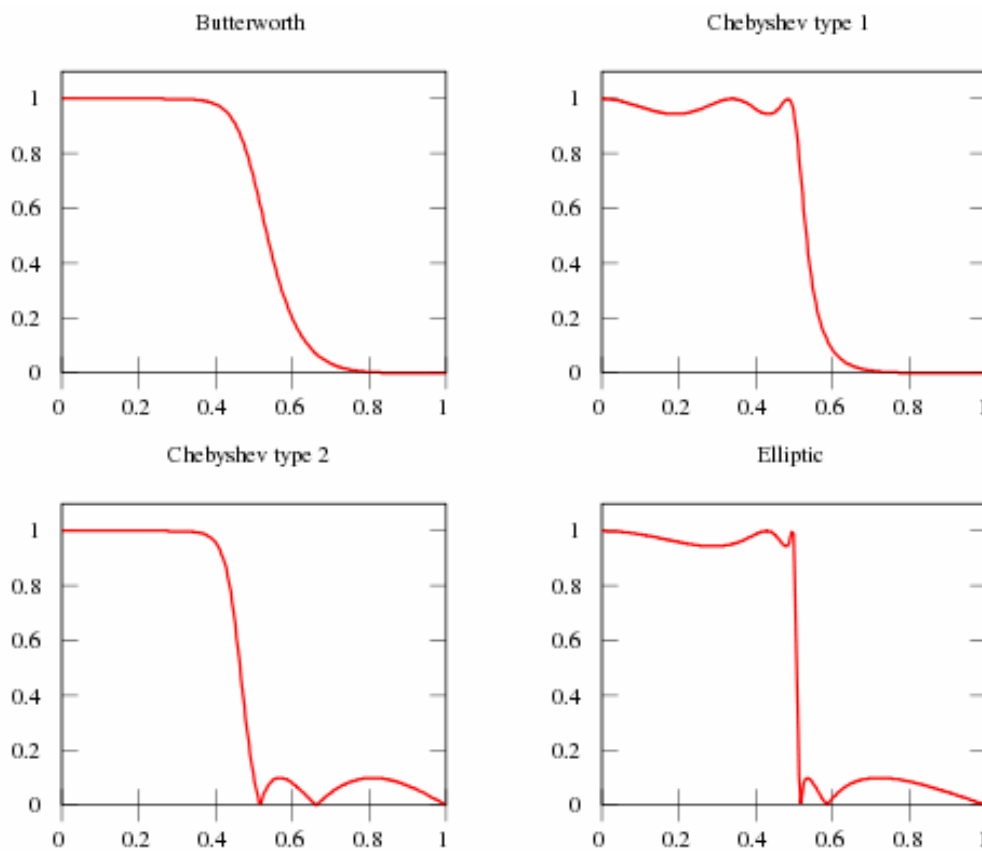


Fig. 3 - Respuesta en frecuencia de distintas aproximaciones de Pasabajos

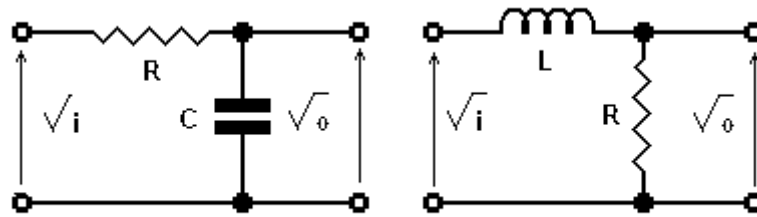


Fig. 4 - Topologías Circuitales de Filtros Pasabajos 2do orden

Filtros Pasa Altos

A diferencia del Pasa Bajos, los Filtros Pasa Altos atenúan el espectro hasta una determinada frecuencia, para luego dejar pasar con la misma intensidad al resto de las frecuencias más altas. Posee las mismas características que los Pasa Bajos (frecuencia de corte y pendiente), pero a la inversa, lo que no sorprende ya que en topologías circuitales la inversa del Pasa bajos es el Pasa altos (puede compararse la figura 4 con la figura 6). Es por ello que al invertirlos, la frecuencia de corte es exactamente la misma, por lo que nos puede ser muy útil al armar una red divisoria (crossover), donde podemos sintonizar la misma frecuencia de corte para ambos filtros, y así cubrir todo el espectro al sumar.

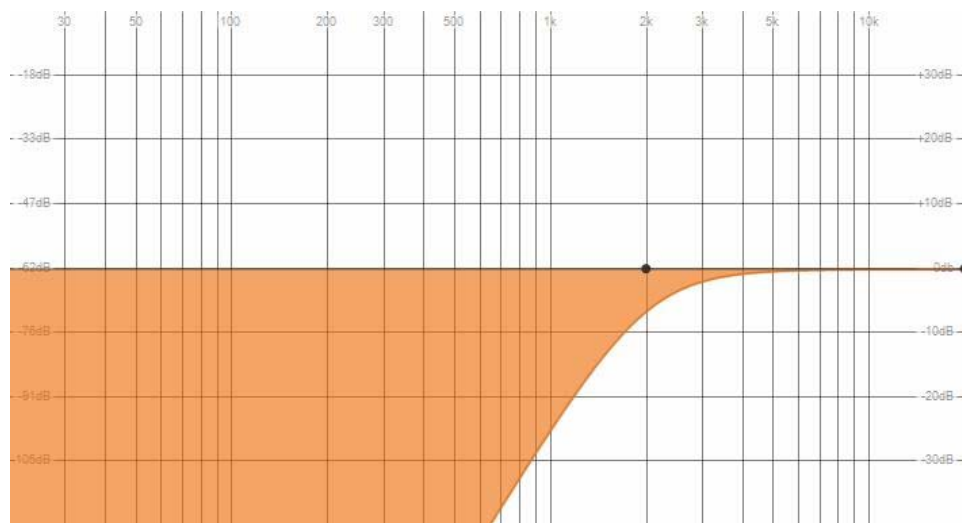


Fig. 5 -Filtro Pasa Altos, Corte en 2kHz, Butterworth 2do Orden (-12dB/oct.)

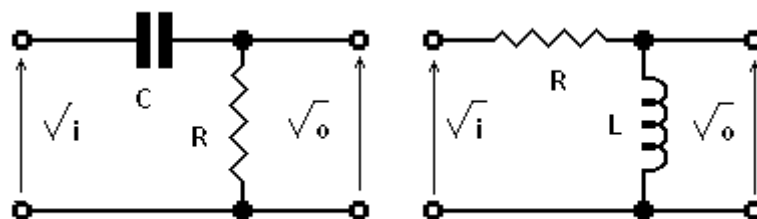


Fig. 6 - Topologías Circuitales de Filtros Pasaaltos básicos

Filtros Pasa Banda

De la combinación de Filtros Pasa Bajos y Pasa Altos obtenemos esta clase de filtros, donde en la Banda de Paso se encontrarán las frecuencias deseadas, y el resto de las frecuencias serán atenuadas.

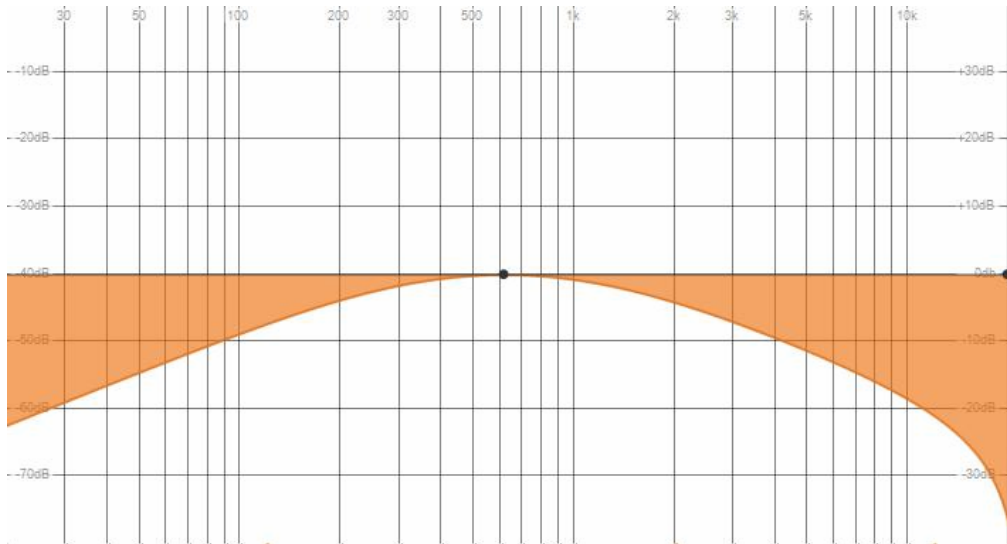


Fig. 7 - Filtro Pasabanda, $f_c=600\text{Hz}$, 1er Orden (-6dB/oct.)

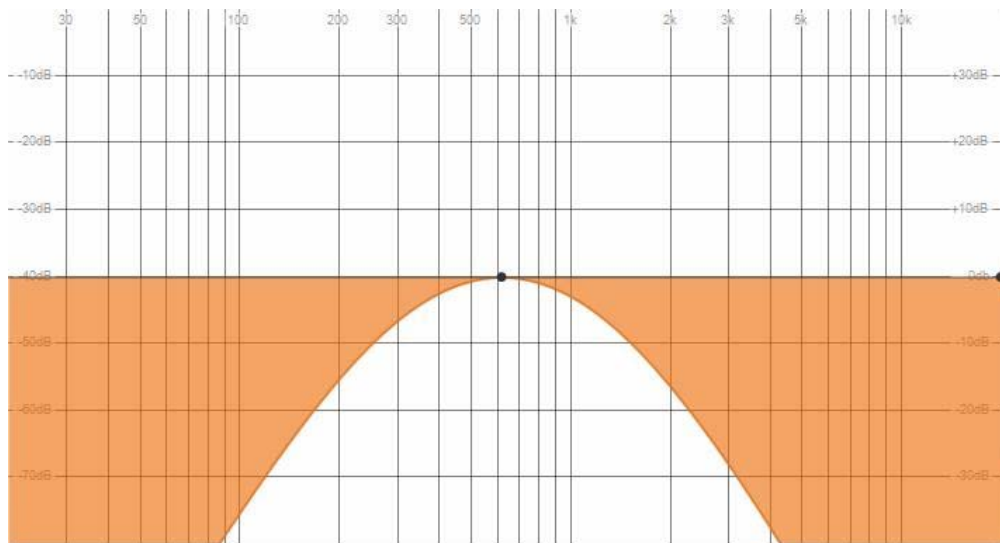


Fig. 8 - Filtro Pasabanda, $f_c=600\text{Hz}$, 2do Orden (-12dB/oct.)

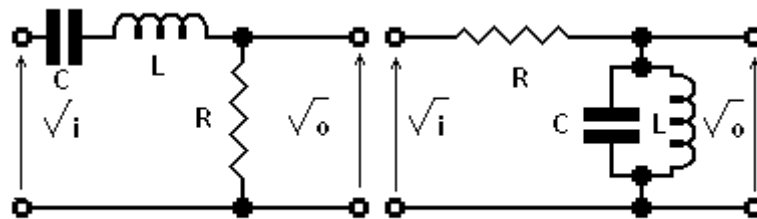


Fig. 9 - Topologías Circuitales de Filtros Pasa Banda básicos

Filtros Elimina Banda

Conocidos como Band-Reject o Notch, son el filtro inverso al Pasabanda. En la figura 10 veremos tres filtros Elimina Banda, con distintos *factores de calidad* Q .

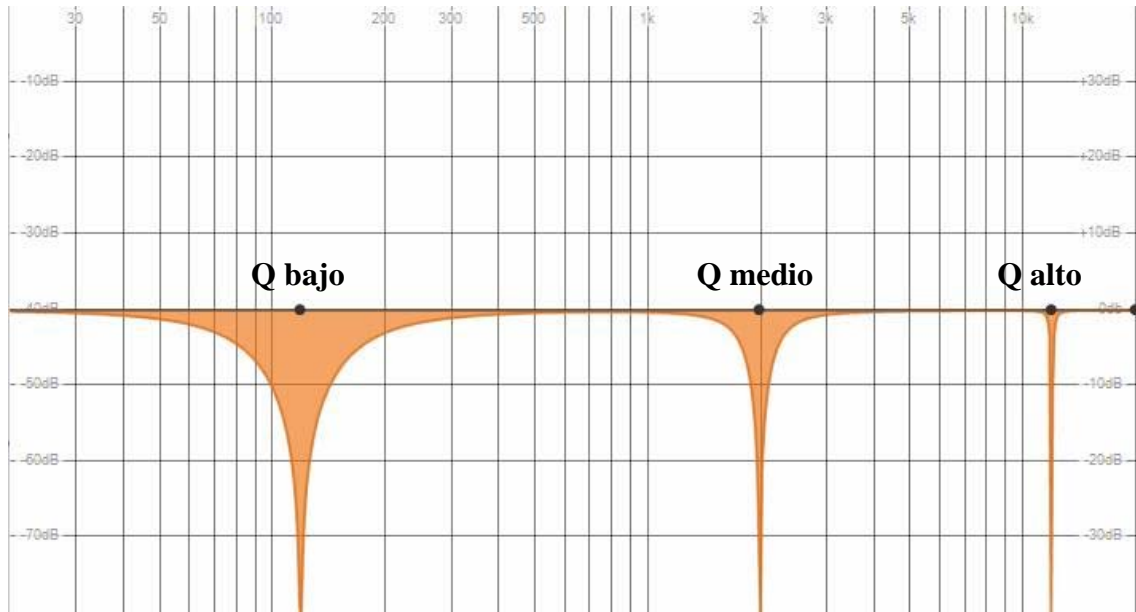


Fig. 10 - Band Reject con distinto factor de calidad

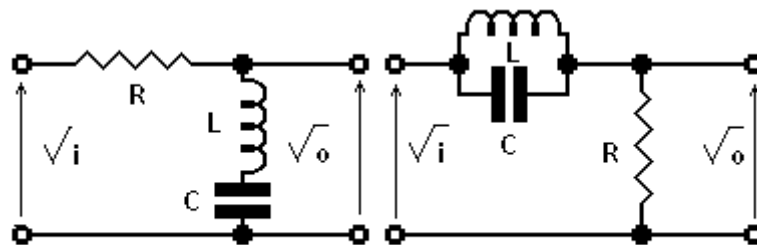


Fig. 11 - Topologías Circuitales de Filtros Elimina Banda

Factor de Calidad Q

El factor de calidad refiere a la relación entre la frecuencia central de una banda enfatizada o atenuada, y su ancho de banda en ciertos filtros. Responde a la fórmula $Q = \frac{f_0}{AB}$, donde f_0 es la frecuencia central y AB es el ancho de banda. El ancho de banda está definido por la diferencia de entre la frecuencia superior e inferior a la cual el filtro atenúa (o enfatiza, como en un ecualizador) 3dB. Vemos que a mayor ancho de banda, menor Q posee el filtro.

Ecualizadores

Un ecualizador es un tipo de filtro, que además de atenuar, nos permite enfatizar una porción del espectro, con una envolvente en frecuencia que depende del tipo de filtro a utilizar. A continuación veremos distintos tipos.

Filtros Shelving

Estos filtros son de gran utilidad, ya que permiten enfatizar o disminuir ciertas porciones del espectro, donde para determinados factores de calidad Q , la ganancia en un determinado ancho de banda será la misma para todas las frecuencias que lo comprendan. Un control de tono de Graves-Medios-Agudos posee 2 Shelvings, para bajas y altas frecuencias respectivamente.

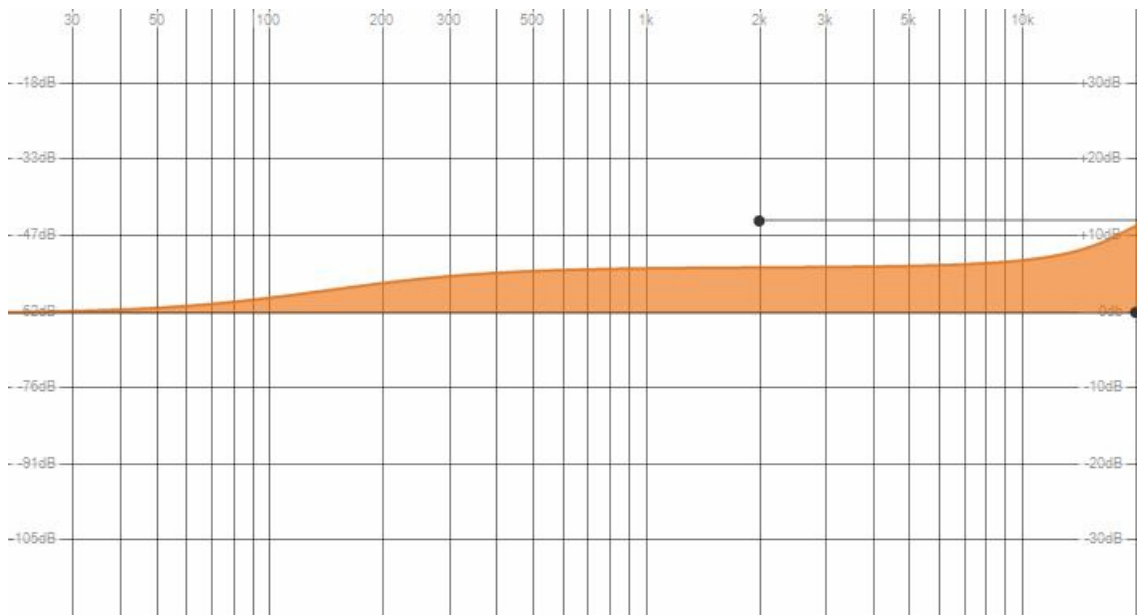


Fig. 12 - Shelving de Agudos, +12dB, $f_c=2\text{kHz}$, $Q=0.07$

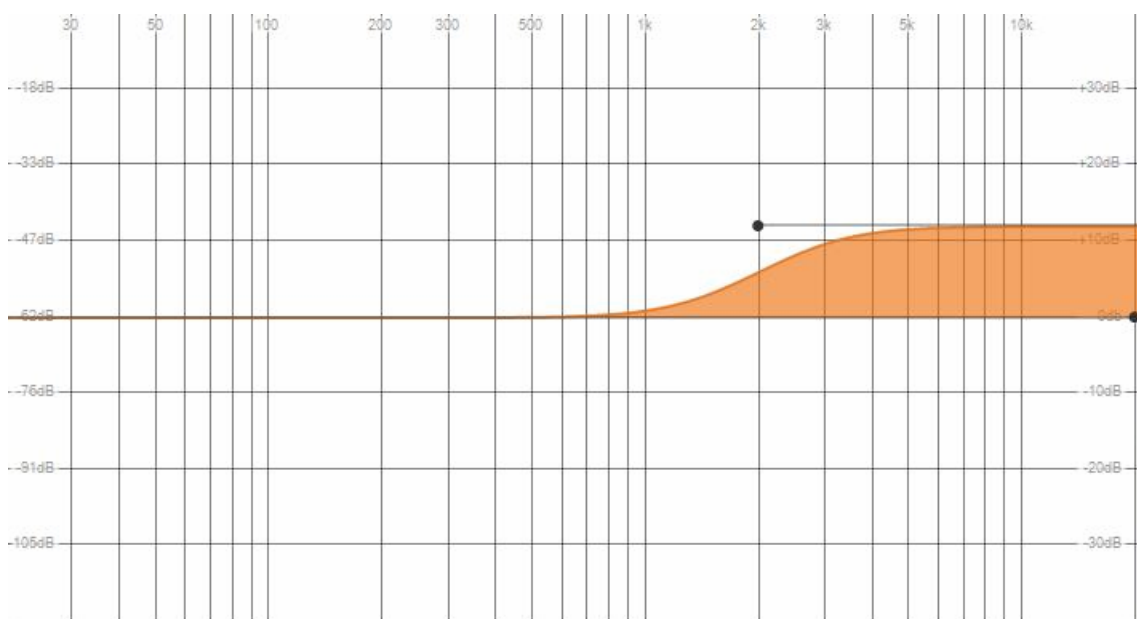


Fig. 13 - Shelving de Agudos, +12dB, $f_c=2\text{kHz}$, $Q=0.7$

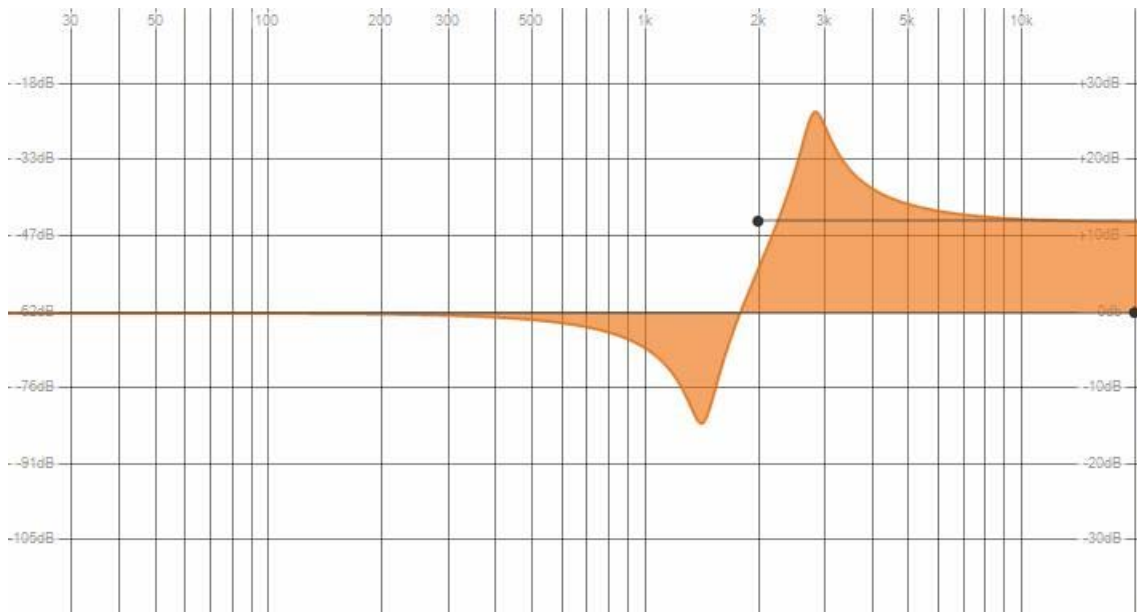


Fig. 14 - Shelving de Agudos, +12dB, $f_c=2\text{kHz}$, $Q=7$

Ecualesadores Paramétricos

También conocidos como Filtros de Campana (Bell), nos permiten enfatizar o atenuar cierta porción del espectro, pudiendo ajustar tanto la ganancia y la frecuencia central como el ancho de banda. En la figura 15 podremos observar dos filtros de campana, uno de Q grande (atenúa 18dB en 100Hz) y otro de Q pequeño (enfatisa 18dB en 1300Hz)

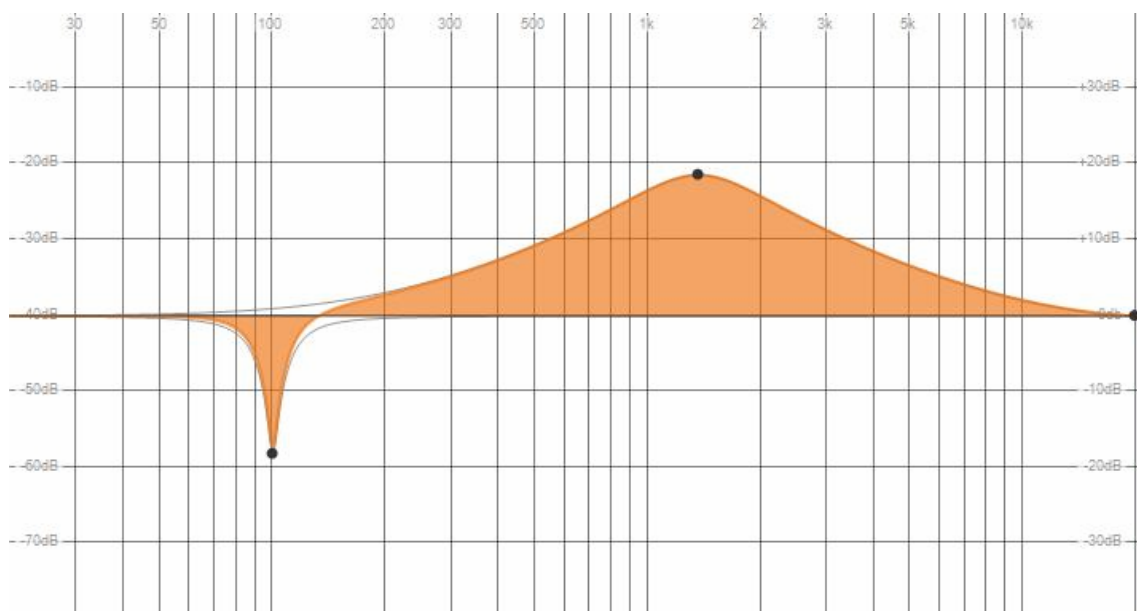


Fig. 15 - Filtros de campana

Los filtros de campana tienen algunas características particulares. Una de ellas es la *simetría y proporción a la octava*, donde el ancho de banda ajustado se mantiene, pero en proporción a la octava o porción de octava seleccionada. Para

entender mejor este concepto, veamos la Figura 16, donde para una campana de ancho de banda de 100Hz con $f_c=100\text{Hz}$, realizando un barrido hacia frecuencias mayores, obtenemos anchos de banda también mayores, manteniendo la proporción en octavas del ancho del filtro inicial.

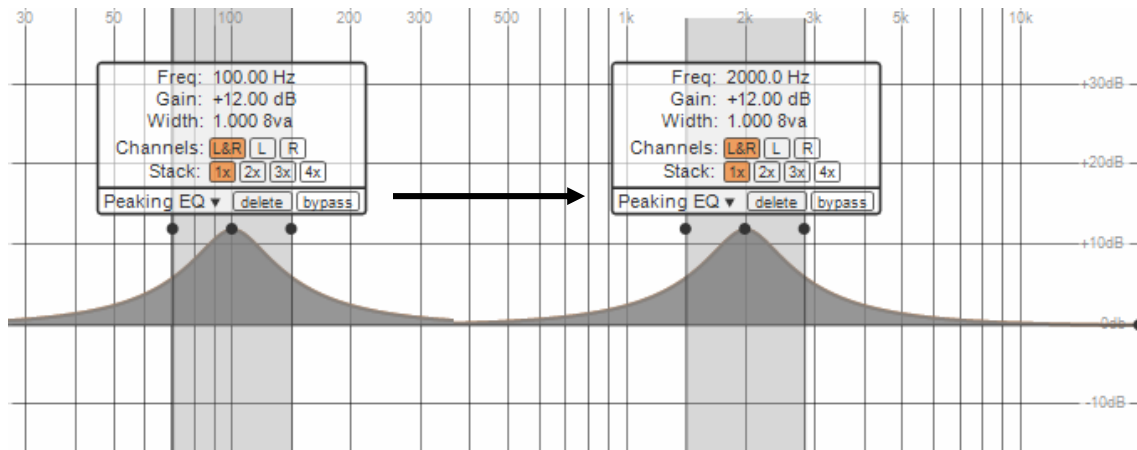


Fig. 16 – Al cambiar el corte crece el ancho de banda, pero sigue manteniendo el ancho correspondiente a una octava

Ecuilibradores Paragráficos

Estos ecualizadores son similares a los Paramétricos, donde uno puede ajustar la ganancia deseada en una frecuencia ajustable, pero no puede variar el Q de la campana. Es muy común encontrarlos en las consolas analógicas.

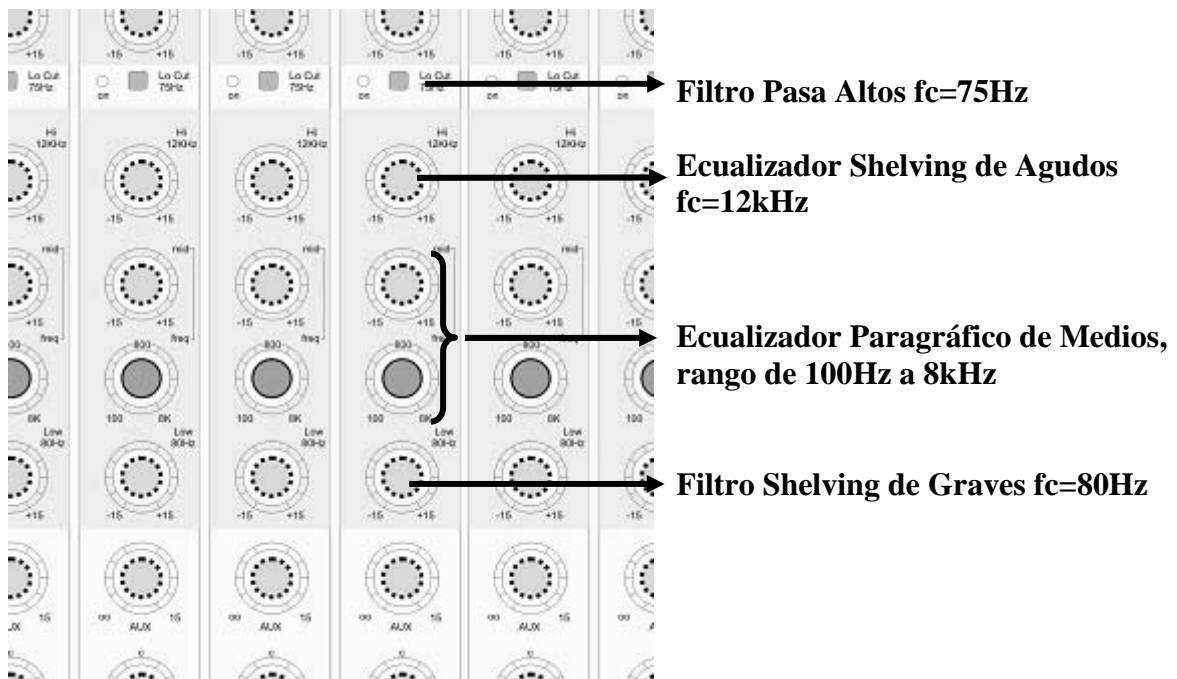


Fig. 17 – Plantilla de Consola Analógica

En la Figura 17 podemos apreciar una configuración de ecualizador de canal de una consola analógica estándar, donde el filtro de medios corresponde a un ecualizador paragráfico.

Ecuiladores Gráficos

Este tipo de ecualizadores se encuentra dividido en bandas de frecuencias (octava, 1/3 octava, etc.), donde cada banda está centrada en una frecuencia determinada, y nosotros podemos únicamente ajustar la ganancia de dicha banda. Generalmente las frecuencias centrales de cada banda corresponden a la división estándar de octavas y tercios de octava desde los 20Hz hasta los 20kHz. Se los llama “Gráficos” porque en el panel frontal, uno puede intuir la envolvente del espectro (la respuesta en frecuencia) generada por el ecualizador siguiendo los valores de ganancia de las bandas. Los Ecualizadores Gráficos más comunes de encontrar en el mercado son los de Octava y los de Tercios de Octava.

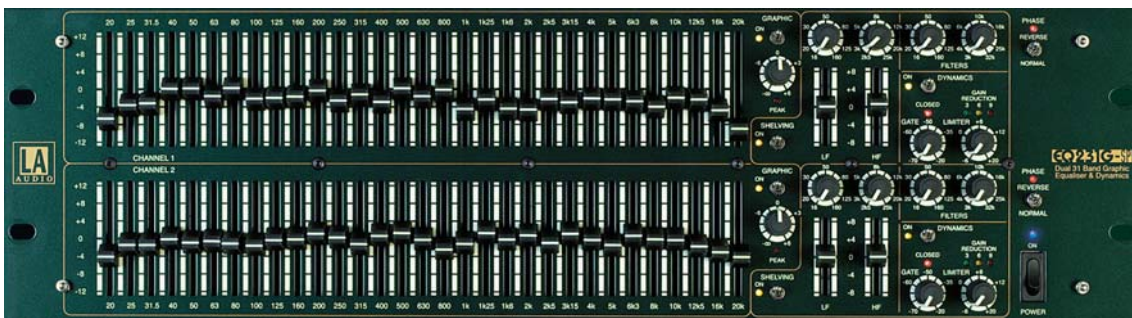


Fig. 18 - Ecualizador gráfico 1/3 Oct. de 31 Bandas Dual



Fig. 19 - Ecualizador gráfico 2/3 Oct. de 15 Bandas Dual

Sin embargo, muchas veces la visual confunde, y lo que vemos en los potenciómetros no es lo que en verdad se escucha. Veamos la Figura 20, donde al enfatizar en 3dB la banda de 1kHz, también arrastramos frecuencias fuera de la banda de tercio de octava en cuestión. El gráfico de respuesta en frecuencia nos muestra claramente que fuera del intervalo indicado, todavía se enfatizan hasta 1.5dB las frecuencias que no están comprendidas en dicha banda.

Otras veces, cuando la calidad del ecualizador es inferior (en este caso no hablamos del factor Q sino de calidad propiamente dicha), puede que las frecuencias centrales de las bandas estén perfectamente sintonizadas con los intervalos normalizados de 1/3 de Oct., como indica el panel frontal, pero que el ancho de banda sea mucho mayor de lo que esperamos (hasta incluso una Octava, como sucede en un conocido ecualizador de marca muy popular en el mercado).

Volviendo al tema del gráfico, planteamos que la respuesta en frecuencia excede a la banda en cuestión. Ahora bien, si consideramos dos bandas, puede entonces que estas tengan mutua interacción, lo que una vez más hará que la respuesta en frecuencia vuelva a alejarse de lo que supuestamente muestran los

potenciómetros. En la Figura 21 podemos observar el solapamiento entre la respuesta en frecuencia de cada filtro, donde claramente hay una interacción entre ellos.

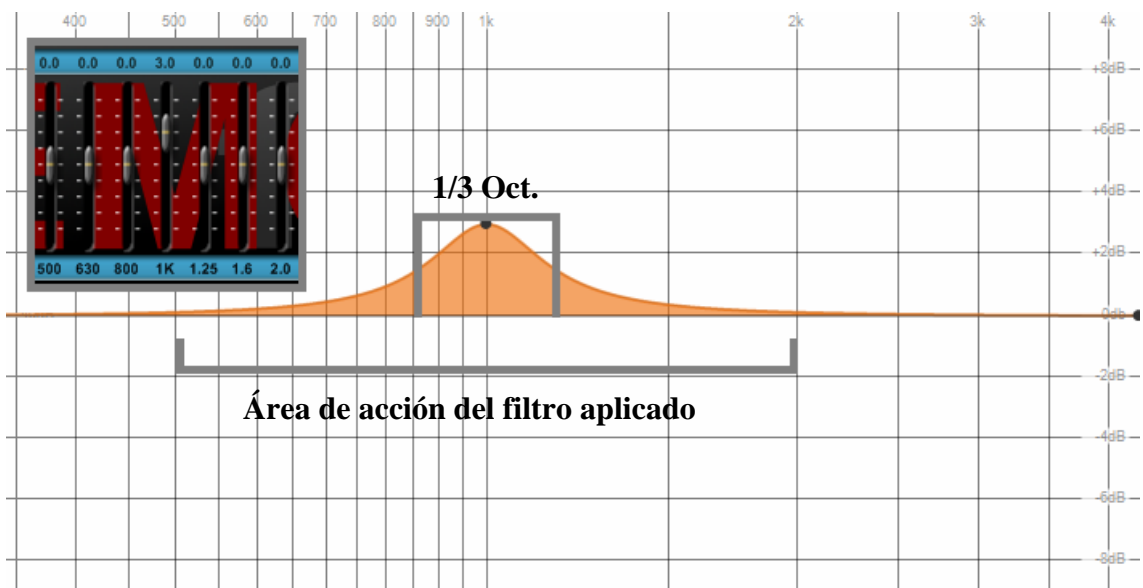


Fig. 20 - Énfasis de 3dB en banda de 1kHz

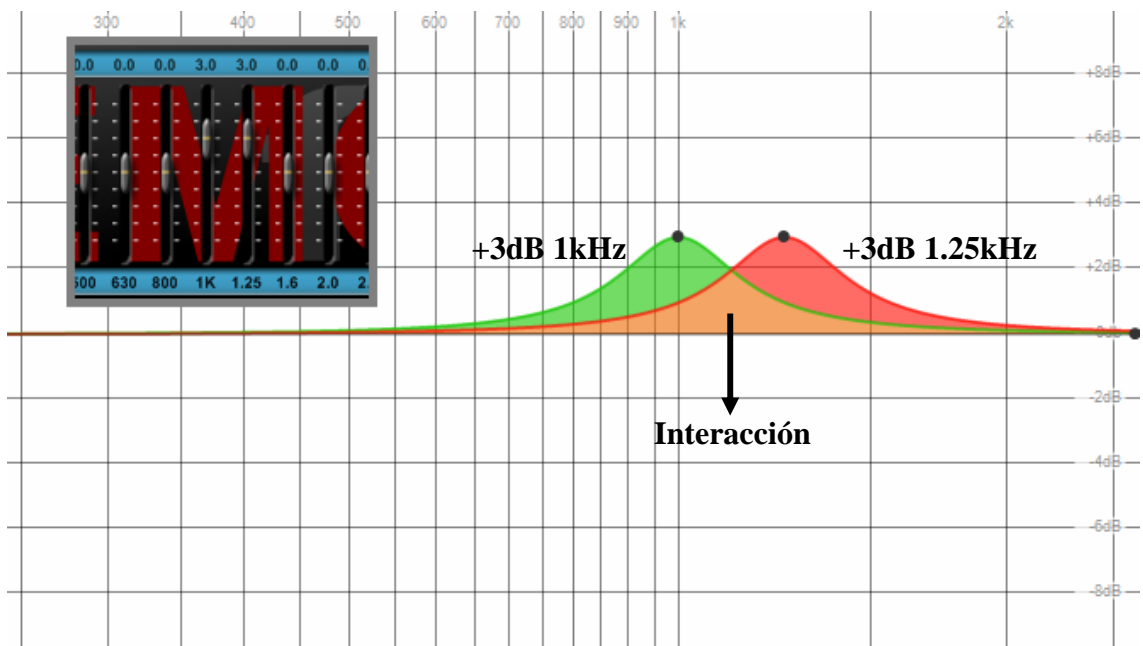


Fig. 21 - Énfasis de 3dB en las bandas de 1kHz y 1.25kHz

Esta interacción producirá un énfasis mayor al estimado, y en nuestro caso, para los 3dB que esperamos tener en ambas bandas, ahora tendremos 4dB, junto con un muy pequeño ripple entre las dos frecuencias centrales de los filtros (Figura 22).

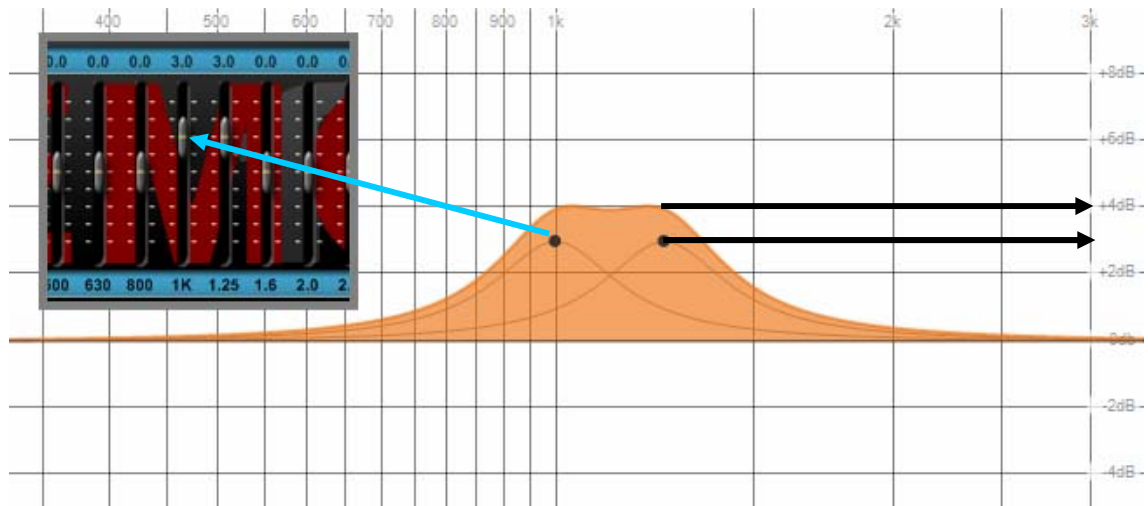


Fig. 22 - Respuesta en frecuencia real, producto de la interacción de los filtros

En bajas frecuencias, dependiendo de la calidad de los componentes y el tipo de filtro (e incluso en el campo digital, dependiendo de la precisión de los algoritmos) podremos tener solapamientos tales que lo que realmente veamos en los potenciómetros realmente no tenga nada que ver con la respuesta en frecuencia del ecualizador. En la figura 23 podemos observar cómo para las frecuencias más altas, la respuesta en frecuencia se ajusta sin problemas a las ganancias por banda, mientras que para las bajas frecuencias, hemos logrado una respuesta casi plana en frecuencia, si bien hicimos una serie de ajustes de ganancia en cada banda.

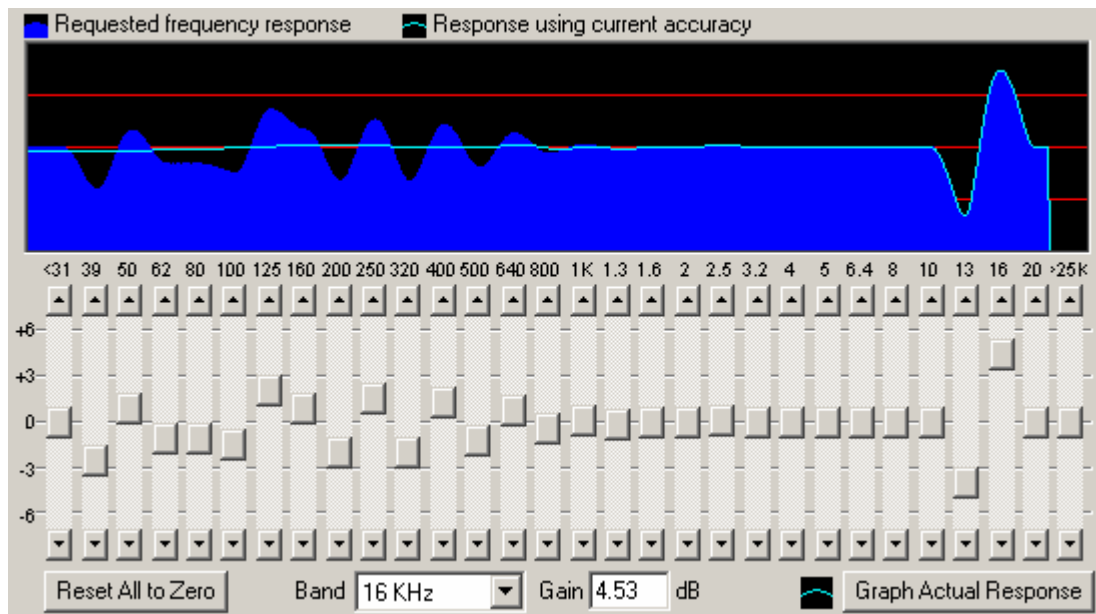


Fig. 23 - Ejemplo de respuesta en frecuencia de un ecualizador de 31 bandas por 1/3 Oct.

Otros tipos de filtros

Además de los filtros que hemos mencionado, hay infinidad de otros tipos, los cuales pueden tener usos particulares en el audio o no. Hay otros que son

producto del audio o del manejo de señales. En las próximas clases profundizaremos sobre 3 tipos de filtros muy importantes: los *filtros anti-alias*, los *filtros de peine* (comb-filters) y los *linear phase filters*.

Para que tengamos una breve idea de cuáles son estos filtros, solo mencionaremos que los *filtros anti-alias* son Pasabajos de pendientes muy abruptas, que poseen su frecuencia de corte muy cercano al límite de la respuesta en frecuencia de un dispositivo digital, con el fin de eliminar todas las frecuencias que estén por encima de esta respuesta, para que no generen una señal espuria, como veremos más adelante.

Otros de los filtros que nombramos son los famosos *filtros de peine*, los cuales suelen aparecer cuando superponemos dos señales similares que no se encuentran alineadas temporalmente, lo que en ciertos puntos del espectro puede generar muchas cancelaciones, cuando una de las señales posea valores positivos para una determinada frecuencia, y la otra señal, valores negativos. En la Figura 24 podemos observar un ruido rosa superpuesto al mismo ruido, pero con un desfase de 6 samples –muestras- ($6/44100=0.136\text{ms}$).

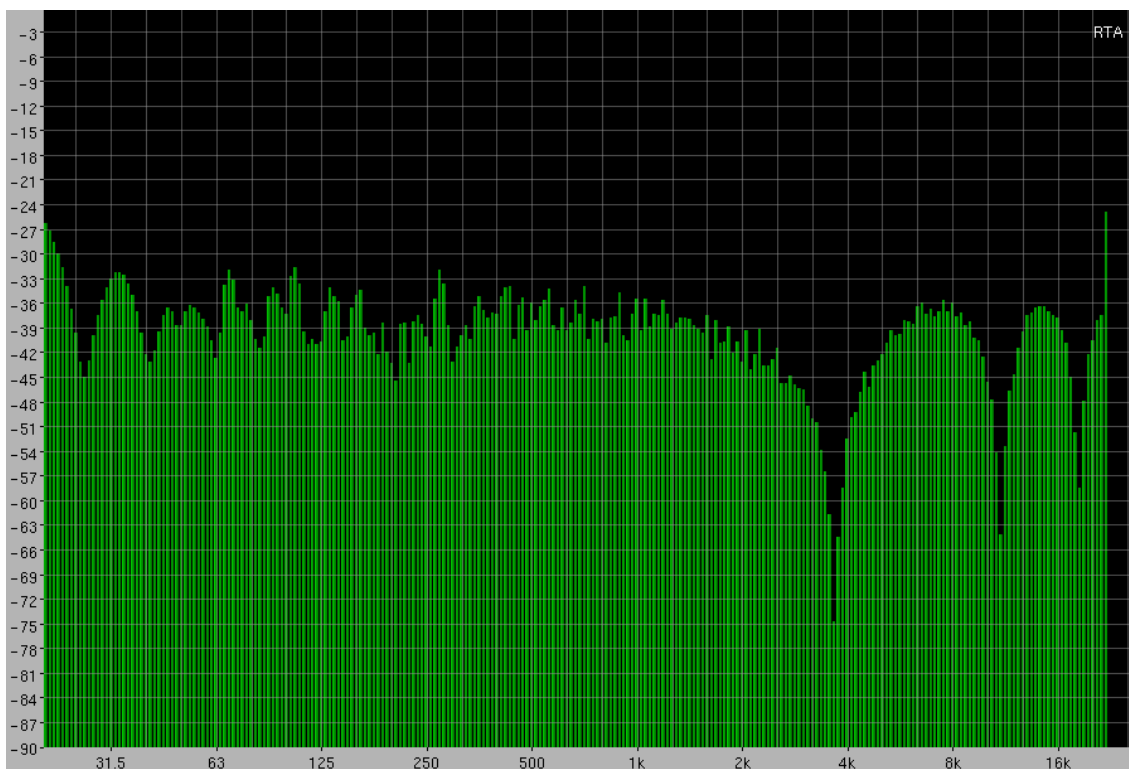


Fig. 24 – Comb Filter en ruido rosa, para superposición desfasada 0.136ms

Por último, a breve introducción de la temática de las siguientes clases, hay ciertos procesos digitales que pueden mejorar el corrimiento en fase que cada filtro provoca. Mediante técnicas de sobremuestreo de la señal y cambios internos del *sample rate*, o mediante diferentes procesos de modificación del espectro por FFT se consigue alterar lo menos posible la respuesta en fase del ecualizador.

Bibliografía

Basso, Gustavo. Análisis Espectral, La transformada de Fourier en la Música, Ed. Al Margen, 2001.

Miyara, Federico. Acústica y Sistemas de Sonido, UNR Editora, 2006.

Salvador Castañeda Valdés, El mal hábito de lo gráfico, www.sonotribe.com

Wikipedia, Free Encyclopedia, 2009.

http://www.electronica2000.net/curso_elec/leccion61.htm

<http://www.behringer.com>