

PROCESADORES DE AUDIO: FILTROS, GENERALIDADES.

FEDERICO BOCCO¹, FRANCISCO GIANA¹ y PAULO L. RAMOS¹

¹Estudiante de Ingeniería Electrónica. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba (UTN. FRC).
Maestro López esq. Cruz Roja Argentina, CP X5016ZAA, Córdoba, Argentina
fedebocco87@gmail.com, gianafrancisco@gmail.com, paulor222@gmail.com

Resumen – Cuando se hace referencia al “filtrado”, desde el punto de vista electrónico, habitualmente nos referimos a las operaciones que se realizan sobre una señal en el dominio de la frecuencia. Básicamente, lo que se propone en este trabajo es el estudio de los filtros electrónicos más importantes aplicados en audiofrecuencias, realizando una caracterización de los parámetros de diseño, una clasificación de los distintos tipos según criterios como el ancho de banda, la respuesta en frecuencia, el método de generación, los algoritmos intervinientes o la tecnología implicada en la implementación. Además se realiza una breve comparación de la funcionalidad de cada tipo, mostrando en qué circunstancias se torna óptima una eventual implementación.

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presentan en forma general los distintos tipos de filtros electrónicos aplicados en audiofrecuencias, sus características principales y aspectos comparativos entre sí que determinan las utilidades para las cuales resulta óptima su aplicación.

Los filtros son dispositivos que dejan pasar ciertas frecuencias del espectro de la señal de entrada, y bloquean las restantes frecuencias. Se utilizan para varias funciones: para enfatizar algunas frecuencias presentes en el espectro de la señal de entrada pero que por alguna razón sufren atenuaciones dentro del sistema; la aplicación en ecualizadores para realizar retoques en la señal que se va a procesar; crossover para la división por bandas de frecuencia para los sistemas de sonidos o cajas acústicas; para corregir problemas acústicos de la sala; en las etapas de amplificación como los de clase D que requieren de un filtrado a la salida para recuperar la banda base que viene modulada a la salida de la etapa de potencia; en la entrada de todo proceso de digitalización para evitar el aliasing; para lograr ciertos efectos especiales; para reducir el ruido total del sistema bloqueando las bandas de frecuencia en las cuales hay ruido pero no señal, etc.

2 CONCEPTOS GENERALES

2.1 Respuesta en Frecuencia

La respuesta en frecuencia de un filtro se representa en escala lineal o logarítmica. Esta expresa una función de ganancia o atenuación (dB en escala logarítmica) versus la frecuencia, cuya escala está en décadas u octavas (escala logarítmica).

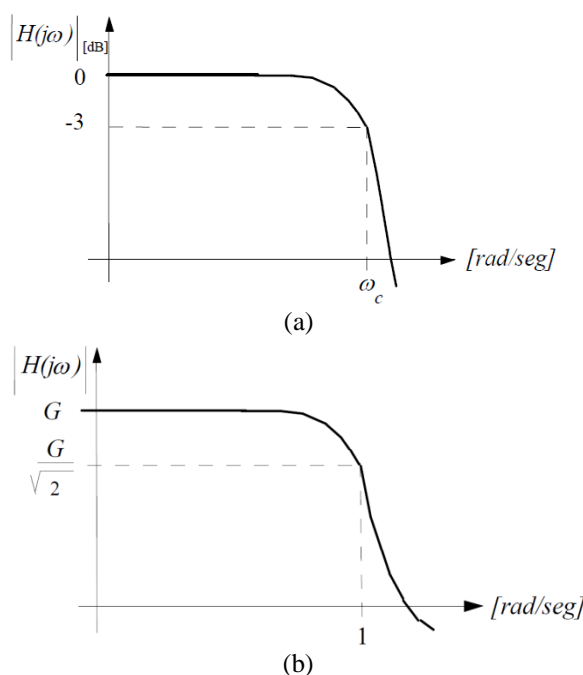


Figura 1: (a) Respuesta Normalizada en ganancia logarítmica; (b) Representación Lineal.

2.2 Especificación básica de un filtro

En los filtros analógicos, las especificaciones están dadas por rangos de valores. Se tienen cinco parámetros basados en las características de atenuación los cuales son mostrados en la Figura 2:

- Máxima atenuación en la banda de paso (A_{PB})
- Ripple de la banda de paso o Ancho de ripple (RW)
- Mínima atenuación de la banda de rechazo (A_{SB})
- Frecuencia de esquina de la banda de paso (ω_{PB})
- Frecuencia de esquina de la banda de rechazo (ω_{SB})

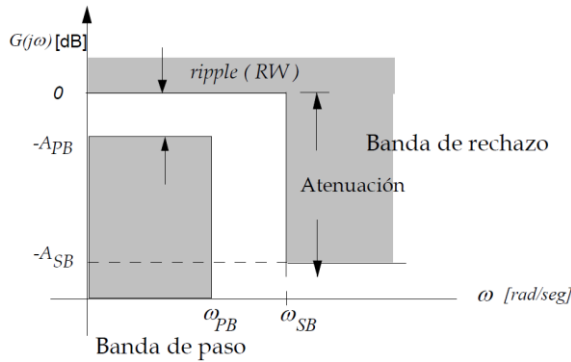


Figura 2: Ventana de diseño para un filtro pasabajos.

2.3 Relación con el ancho de banda.

En acústica normalmente se divide al espectro de frecuencias en octavas o fracciones de octavas para la medición de energía en las distintas bandas. Luego para analizar todo el espectro de audio en función del tipo de filtro que se seleccione vamos a necesitar una cantidad suficiente de filtros que permita cubrirlo en su totalidad.

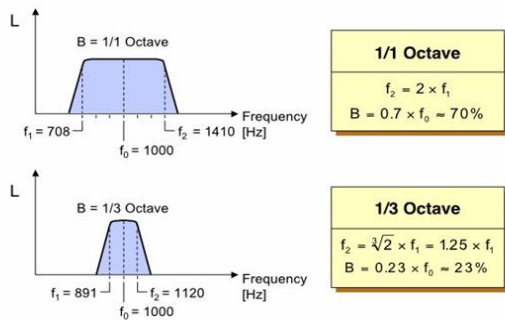


Figura 3: Características del filtro pasa banda para octava y tercio de octava [2].

Se puede decir entonces que el filtro posee una frecuencia central de ganancia constante durante una octava o fracción de octava y luego comienza a caer con una pendiente que generalmente es de -6 dB/oct, -12 dB/oct o -18 dB/oct.

Para un filtro que trabaja en una banda de octava de frecuencia, la siguiente figura muestra como está distribuido a lo largo del ancho de banda que debe trabajar el filtro.

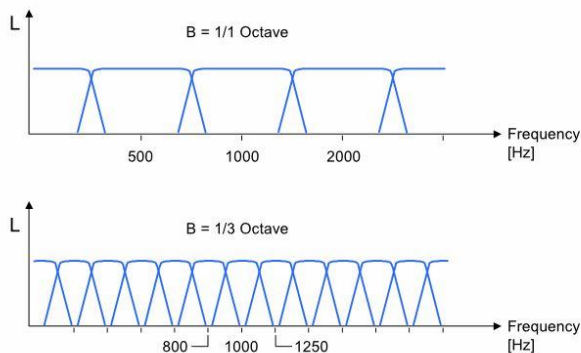


Figura 4: Filtro de banda de octava y de tercio de octava [2].

Si se habla de un filtro de octava se compone de una frecuencia central (f_0) y dos bandas de corte f_1 y f_2 que mantiene la relación $f_2 = 2f_1$ y el ancho de banda efectivo del filtro es de 70 % [2].

La figura 4 también describe como es la estructura de un filtro para tercio de octava. El ancho de banda del filtro es menor, por lo tanto se van a requerir una distribución mayor de filtros para cubrir todo el espectro de audio que típicamente es muy utilizado un espectro que va desde 31.5Hz hasta los 16kHz [13]. En audio se utilizan normalmente filtros de octava o tercio de octava como los que se muestran en las figuras anteriores, pero también es muy común en la actualidad de filtros de 1/12 octava y 1/24 octava, esto permite a la hora de hacer una análisis espectral obtener una mayor resolución en frecuencias.

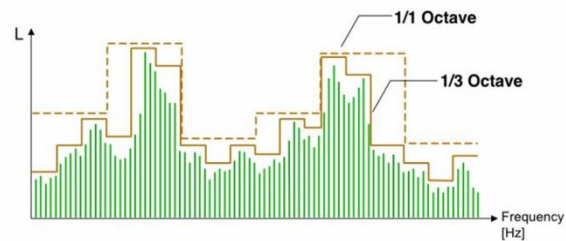


Figura 5: Distribución de filtros en el espectro de audiofrecuencias [2].

La relación que guarda la frecuencia central y las frecuencias de corte están especificados en el estandar IEC61260 "Electroacoustics - Octave-band and fractional-octave-band filters". Las siguientes expresiones expresan las relaciones que deben tener los filtros pasa bandas.

$$f_H = f_m 10^{\frac{3}{20b}} \quad (1)$$

$$f_L = f_m 10^{-\frac{3}{20b}} \quad (2)$$

La forma en que se determina la banda central es la siguiente

$$f_m = f_R 10^{\frac{3x}{20b}} \quad (3)$$

si b es impar

$$f_m = f_R 10^{\frac{3(2x+1)}{20b}} \quad (4)$$

si b es par

Donde f_R es la frecuencia de referencia de 1000 Hz y x puede tomar valores positivos, negativos y cero. [1]

En la Tabla 1 se presentan valores normalizados para bandas de tercio de octava y octava.

Band No.	Nominal Centre Frequency Hz	Third-octave Passband Hz	Octave Passband Hz
1	1.25	1.12 – 1.41	
2	1.6	1.41 – 1.78	
3	2	1.78 – 2.24	1.41 – 2.82
4	2.5	2.24 – 2.82	
5	3.15	2.82 – 3.55	
6	4	3.55 – 4.47	2.82 – 5.62
<hr/>			
27	500	447 – 562	355 – 708
28	630	562 – 708	
29	800	708 – 891	
30	1000	891 – 1120	780 – 1410
31	1250	1120 – 1410	
32	1600	1410 – 1780	
<hr/>			
40	10 K	8910 – 11200	
41	1.25 K	11.2 – 14.1	
42	16 K	14.1 – 17.8 K	11.2 – 22.4 K
43	20 K	17.8 – 22.4 K	

Tabla 1: Frecuencias normalizadas para tercio de octava y octavas [2].

2.4 Retardo de Fase y Retardo de Grupo

El desplazamiento en fase introducido por el filtro puede ser interpretado como un retardo, es decir que la salida está retrasada en tiempo con respecto a la entrada. En general, el retardo es diferente para las distintas frecuencias por lo tanto para una señal que está compuesta por muchas frecuencias a lo largo del espectro puede verse afectada en fase a la salida del filtro produciendo que los frentes de ondas que se transmiten no lleguen en fase al oyente en caso de un sistema de sonido que este emitiendo la señal. Dos tipos de retardos son de interés el de fase y grupo [4] definidos en las siguientes ecuaciones:

$$T_{\phi} = -\frac{\partial \phi}{\partial \omega} \quad (5)$$

$$T_g = -\frac{\partial \phi}{\partial \omega} \quad (6)$$

Estos dos parámetros son una medida de la linealidad de un filtro, lo ideal es que el filtro sea lo más lineal posible para lograr que todas las frecuencias presenten un retardo constante y no variable, evitando de esta forma la distorsión de fase a la salida.

3 CLASIFICACIÓN

3.1 Clasificación según especificaciones de respuesta en frecuencia.

Los filtros se pueden representar mediante la función de transferencia $H(s)$, la cual se expresa en términos de su ganancia o atenuación en el plano complejo s , así se tiene.

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} \quad (7)$$

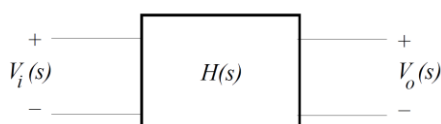


Figura 7: Red de dos puertas, filtro activo.

$$|V_o(j)| = |H(j)| |V_i(j)| \quad (8)$$

De acuerdo al criterio de selección de frecuencia de paso o de rechazo, existen cuatro tipos de filtros:

Filtros pasabajos (PB)

Son dispositivos que, intercalados en el camino de la señal, permiten pasar todas las frecuencias que están por debajo de cierta frecuencia llamada frecuencia superior de corte, bloqueando en cambio las frecuencias superiores a la misma. En la práctica, los filtros pasa bajos reales no bloquean totalmente las altas frecuencias, sino que las atenúan a razón de una cierta cantidad de dB por octava. Los valores típicos de atenuaciones son -6 dB/oct, -12 dB/oct y -18 dB/oct [3].

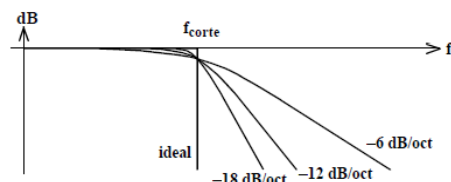


Figura 8: Respuesta en frecuencia de filtro pasa bajos ideal y de tres pasa bajos reales con diferentes pendientes de corte [3].

Filtros pasa altos (PA)

Cumplen la función opuesta que los filtros pasa bajos. Intercalados en el camino de la señal bloquean las frecuencias menores que la frecuencia inferior de corte, dejando inalterada la señal por encima de dicha frecuencia. Igual que los pasa bajos, los pasa altos reales permiten hasta cierto punto el paso de las bajas frecuencias atenuadas [3].

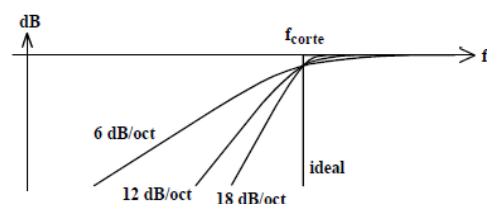


Figura 9: Respuesta en frecuencia de un filtro pasa altos ideal y de tres pasa altos reales con diferentes pendientes de corte. [3]

Filtros Pasa Banda (BandPass Filter)

Este filtro deja pasar las frecuencias que se encuentran dentro de una de banda B (expresado en rad/seg o en Hertz), centrado en ω_o , atenuando todas las otras frecuencias. La figura 10 muestra la respuesta en frecuencia del filtro centrado en ω_o cuyo ancho de banda está definido por:

$$B = \omega_2 - \omega_1 \quad (9)$$

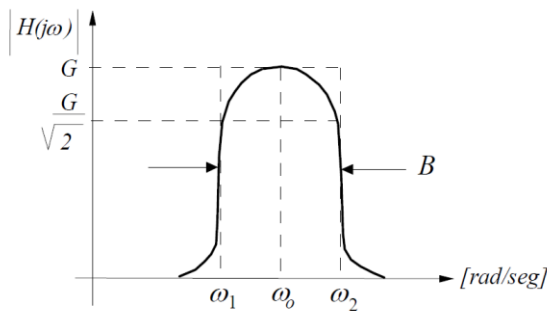


Figura 10: Respuesta en frecuencia de un filtro pasa bandas.

Se define el factor de calidad Q, el cual mide la selectividad del filtro (un Q muy alto indica que el filtro es muy selectivo con banda de paso muy pequeña) como:

$$Q = \frac{\omega_0}{B} = \frac{f_0}{B} \quad (10)$$

La ganancia será la amplitud de la función de transferencia a la frecuencia $\omega_0 = \sqrt{12}$. Note que ω_0 corresponde a la media geométrica, pues está en escala logarítmica.

Filtros Rechaza Banda (Band Reject Filter)

También llamado elimina banda y para algunas situaciones filtro Notch, deja pasar todas las frecuencias excepto una única banda, la cual está definida por B, como se indica en la Figura 11.

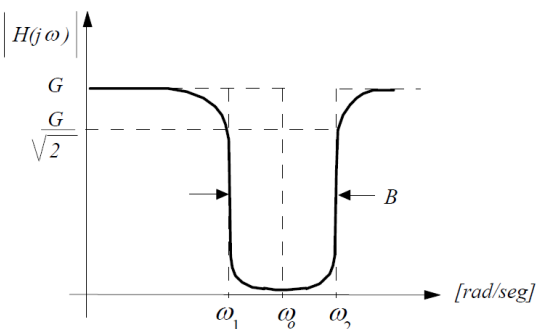


Figura 11: Respuesta en frecuencia de un filtro rechaza banda.

Filtros Notch

Existen aplicaciones en audio en las cuales una frecuencia puntual se torna indeseable y debe ser rechazada. La frecuencia que se rechaza suele no ser parte de la señal original y resulta molesta para el oyente.

Estos filtros proveen la posibilidad de suprimir dichas frecuencias utilizando una banda de corte muy estrecha.

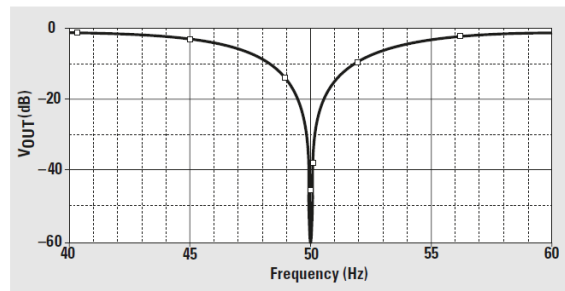


Figura 12: Filtro notch elimina interferencia de línea 50 Hz [10].

3.2 Clasificación según método de diseño

Filtros Butterworth

Este tipo de filtro está diseñado para tener una respuesta lo más plana posible en la banda pasante con un decrecimiento monótono en la banda que se quiere filtrar. La función de transferencia se puede observar en la siguiente ecuación:

$$H(s) = \frac{1}{\prod_{i=1}^n (s - s_i)} = \frac{1}{(s - s_1)(s - s_2) \dots (s - s_n)} \quad (11)$$

Donde s_i puede calcularse con la expresión siguiente

$$s_i = e^{j\pi \left[\frac{2i+n-1}{2n} \right]} \quad (12)$$

En las gráficas siguientes puede observarse el diagrama de bode del filtro. A medida que se incrementa el orden del filtro, la respuesta se aproxima a la de un filtro ideal. En la banda de paso posee una respuesta plana y tiende a mejorar el roll-off, mientras que en la banda de filtrado la pendiente se acentúa con el aumento del orden.

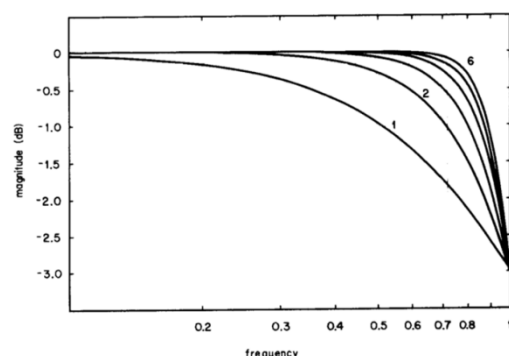


Figura 13: Respuesta en frecuencia en la banda pasante [8].

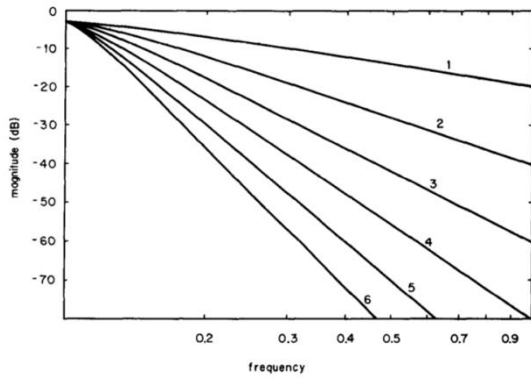


Figura 14: Respuesta en frecuencia en la banda a filtrar [8].

Uno de los problemas que se presentan con el filtrado o el procesamiento de las señales es el retardo que se produce en la fase. Como se puede observar en la Figura 14, este tipo de filtro en función del orden presenta un desplazamiento de fase mayor en la frecuencia de corte, y esto puede producir problemas, por ejemplo cuando se quiere hacer el diseño de crossover, debido a que cuando se quieren sumar las dos señales en la frecuencia de corte ambas señales van a presentar un desplazamiento de fase de 180° una respecto a la otra produciendo en ese punto del espectro interferencia destructiva.

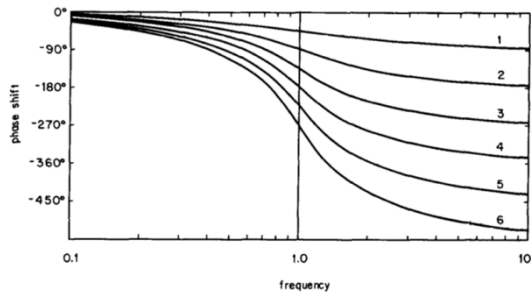


Figura 15: Diagrama de fase [8].

Algunas veces es necesario calcular el orden mínimo para asegurar que se produzca una atenuación A_1 en la frecuencia ω_{SB} , para esto recurrimos a la ecuación 13.

$$n = \frac{\log(10^{-A_1/10} - 1)}{2 \log(1/2)} \quad (13)$$

Filtro Bessel

Este tipo de filtro está diseñado para producir un retraso de grupo plano para la banda pasante. Tiene al igual que el filtro Butterworth una banda de paso plana, pero comparado con el filtro anterior la pendiente es menos pronunciada para un filtro del mismo orden.

La función de transferencia está representada por la ecuación 14.

$$H(s) = \frac{b_0}{q_n(s)} \quad (14)$$

donde,

$$q_n(s) = \sum_{k=1}^n b_k s^k \quad (15)$$

$$b_k = \frac{(2n-k)!}{2^{n-k} k! (n-k)!} \quad (16)$$

los términos q_n puede calcularse a partir de la recursión siguiente:

$$q_n = (2n-1)q_{n-1} + s^2 q_{n-2} \quad (17)$$

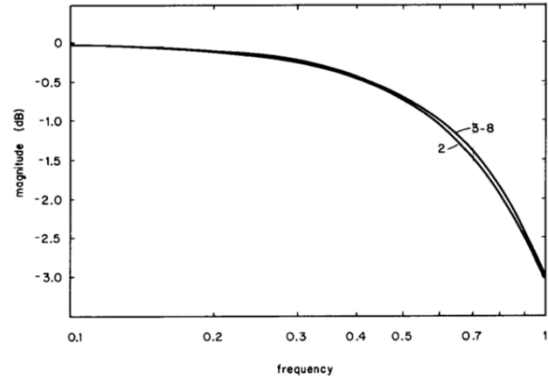


Figura 16: Respuesta en frecuencia en la banda pasante [8].

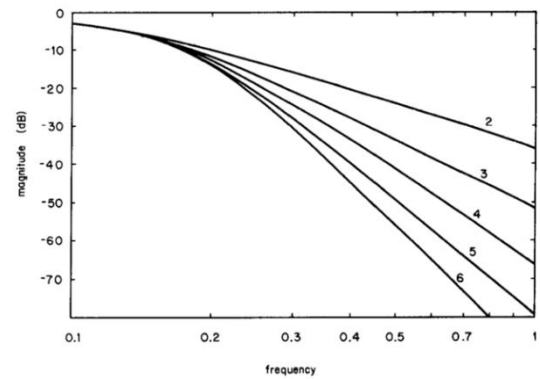


Figura 17: Respuesta en frecuencia en la banda filtrada.

En la figura 18 se pueden ver las características del retardo de fase producido por el filtro, el cual es lineal con el incremento de la frecuencia y no presenta cambios de fase variable con los otros filtros presentados en este texto.

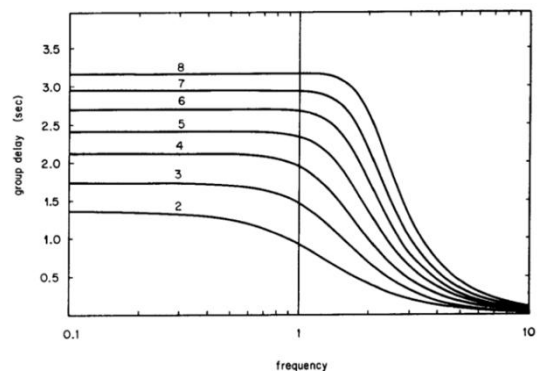


Figura 18: Diagrama de fase. [8]

Filtros Chebyshev

Con estos filtros, denominados así en honor al célebre matemático ruso Pafnuty Chebyshev, se consigue una caída más pronunciada entre la banda de paso y la banda de filtrado pero a su vez se tiene que pagar el precio de un rizado o ripple en la banda de paso. Este aspecto lo hace muy poco conveniente para el uso en aplicaciones donde se requiere que la respuesta sea plana. En la banda de filtrado no presenta una caída monótona como los filtros anteriores sino que se mantiene con una ganancia constante pero muy por debajo de la banda de paso.

La función de transferencia del filtro se presenta en la ecuación 18.

$$|H(j)|^2 = \frac{1}{1 + \epsilon^2 T_n^2(\omega)} \quad (18)$$

$$\text{con } \epsilon^2 = 10^{r/10} - 1 \quad (19)$$

$T_n(\omega)$ = polinomio Tchebyshev de orden n
 r = ripple de la banda pasante, en dB

POLINOMIOS DE CHEBYSHEV.

n	Polinomios de Chebyshev
1	ω
2	$2\omega^2 - 1$
4	$8\omega^4 - 8\omega^2 + 1$
6	$32\omega^6 - 48\omega^4 + 18\omega^2 - 1$

Figura 19: Polinomios de Chebyshev para distintos órdenes [8].

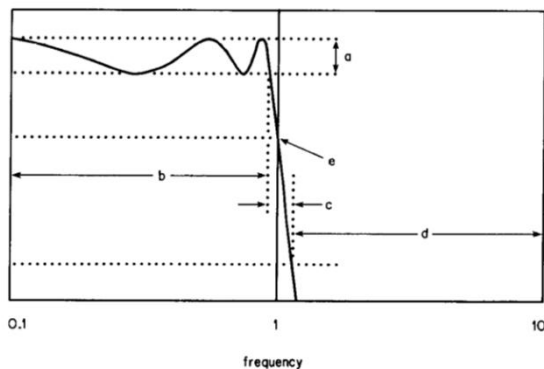


Figura 20: Respuesta normalizada del filtro Chebyshev a -3dB. (a) Banda de ripple, (b) banda pasante, (c) banda de transición, (d) banda de rechazo, (e) respuesta a -3dB [8].

En las figuras siguientes se presentan los diagramas de bode de módulo y fase que posee el filtro. El roll-off de este tipo de filtro es el que mejor performance presenta pero la salida va estar corrida en fase 180 grados en el punto de cruce produciendo a la salida de los 2 transductores interferencia destructiva.

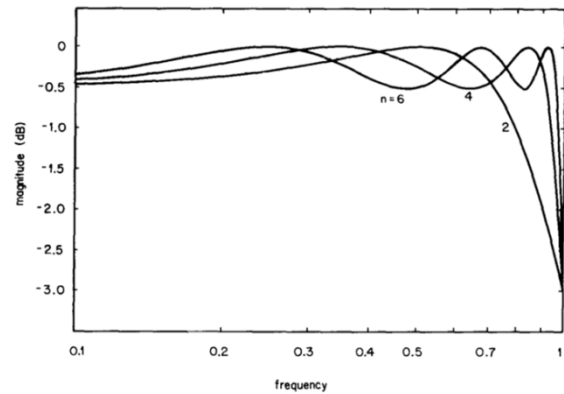


Figura 21: Respuesta en frecuencia en la banda pasante orden 2, 4, 6 [8].

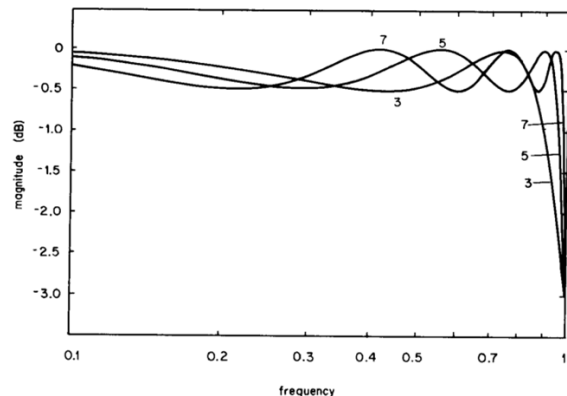


Figura 22: Respuesta en frecuencia en la banda pasante orden 3, 5, 7 [8].

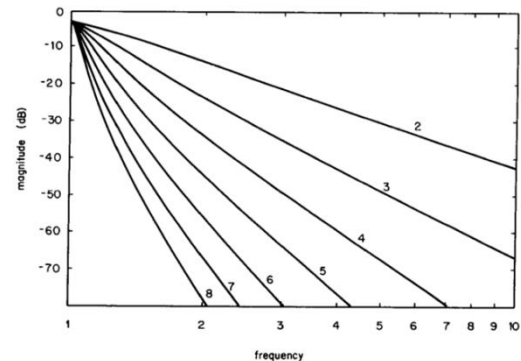


Figura 23: Banda de rechazo para un filtro con ripple de 0,5 dB [8].

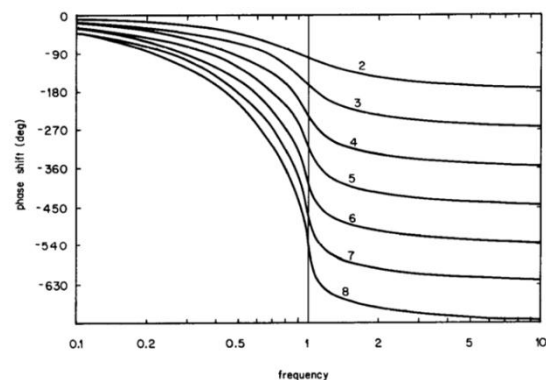


Figura 24: Diagrama de fase [8].

En aplicaciones como crossover los filtros más utilizados son los mencionados en los apartados anteriores Bessel, butterworth y Chebyshev. Cada

uno presenta sus características que los hacen adecuado para distintas aplicaciones, pero para resumir se puede expresar lo siguiente:

- Butterworth es un filtro diseñado para proporcionar una banda de paso plana en comparación con los filtros Bessel y Chebychev. [9]
- Chebychev es el filtro que mejor roll-off presenta para una misma pendiente de corte, pero a expensas de un ripple presente en la banda pasante, por eso es uno de los filtros menos populares para aplicaciones en audio. [9]
- Bessel es de los tres filtros el que tiene el roll-off menos pronunciado, para aplicaciones en crossover como mínimo se necesita un filtro de cuarto orden, pero la gran ventaja de este tipo de filtros es que presenta la mejor respuesta en fase. [9]

Filtro para redes de crossover Linkwitz-Riley

En 1976, Siegfried Linkwitz publica en su paper [12] “*active crossovers for non-coincident drivers*”. En el da crédito a su compañero de trabajo Russ Riley por contribuir con la idea de utilizar dos filtros en cascada butterworth que reunieron los requisitos para las redes de crossover propuestas por Linkwitz. En 1983 aparece la primera implementación comercial “Linkwitz-Riley active crossover”.

En la figura siguiente se puede observar la principal ventaja del filtro Linkwitz-Riley aplicado a dos transductores emitiendo a la misma frecuencia y medido a lo largo del plano vertical.

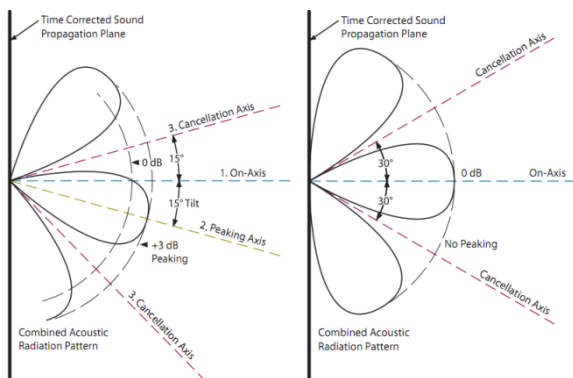


Figura 25: A la derecha es una red de crossover de segundo orden Butterworth. A la izquierda representa el lóbulo de radiación de una red de crossover Linkwitz-Riley [10].

Lo que soluciona el filtro Linkwitz-Riley es el problema de la fase en el punto de cruce cuando se trabaja con redes de crossover para la división de canales como en el caso de las cajas acústicas.

Las siguientes figuras muestran las configuraciones propuestas en el paper original (Siegfried Linkwitz) [12] para una configuración óptima del crossover.

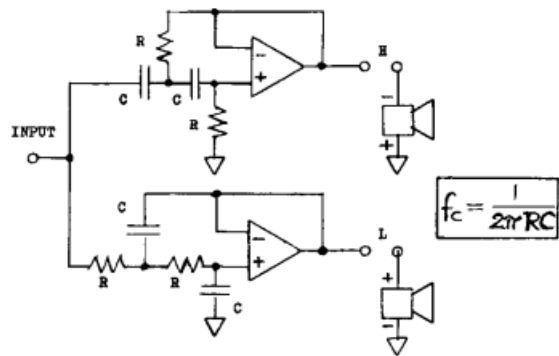


Figura 26: Red de crossover en configuración Sallen Key para orden 2 (12 dB por octava) [12].

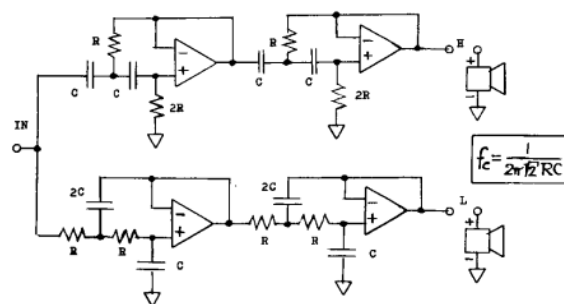


Figura 27: Red de crossover en configuración Sallen Key para orden 4 (24 dB por octava) [12].

4 FILTROS DIGITALES

Filtros digitales FIR

Los filtros digitales de Respuesta Finita Impulsiva o filtros FIR por sus siglas en ingles Finite Impulse Response, se trata de un tipo de filtros digitales en el que, como su nombre indica, si la entrada es una señal impulso la salida tendrá un número finito de términos no nulos. La estructura de señal a la salida del filtro se basa solamente en la combinación lineal de las entradas actuales y anteriores, esto es:

$$y[n] = \sum_{k=0}^{N-1} b_k x[n-k] = \sum_{k=0}^{N-1} h[k] x[n-k] \quad (20)$$

$$\text{con } h[k] = \{h_0 \ h_1 \ \dots \ h_{N-1}\}$$

donde N es el orden del filtro que coincide con el número de términos no nulos y con el número de coeficientes b_k del filtro. Observe que la expresión de la ecuación corresponde a la convolución de la señal de entrada $x[n]$ con la respuesta impulsional del filtro FIR $h[n]$. Aplicando la transformada Z a la respuesta impulsional del filtro FIR $h[n]$, se tiene:

$$H(z) = \sum_{k=0}^{N-1} h_k z^{-k} = (h_0 + h_1 z^{-1} + \dots + h_{N-1} z^{-(N-1)}) \quad (21)$$

En la Figura 28 se muestra el diagrama en bloques de la estructura básica del filtro FIR, para 12 coeficientes.[6]

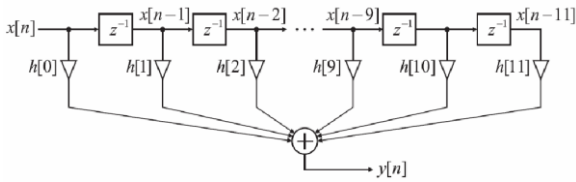


Figura 28: Diagrama de bloques de un filtro FIR

Filtros IIR

Los filtros con respuesta impulsional infinita (IIR) se distinguen de los filtros FIR por la presencia de una recursividad: la señal de salida del filtro se reinyecta a la entrada del mismo, constituyendo un circuito recursivo o con feedback.

Este método permite implementar filtros con respuesta más compleja y con menos datos. Como inyectamos constantemente energía en el circuito, la respuesta impulsional tiene una duración potencial infinita, y de ahí le viene el nombre.

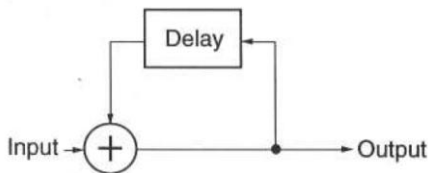


Figura 29: Diagrama de bloques de filtro IIR

FIR vs IIR

Los filtros FIR ofrecen en general una respuesta de fase más lineal y no entran jamás en oscilación (es decir, no se vuelven inestables), ya que no poseen realimentación. Por otro lado, requieren un gran número de términos en sus ecuaciones y eso les hace más costosos en cuanto a cálculo o carga computacional.

Un filtro FIR con un corte muy abrupto (es decir, que tenga una banda de transición muy corta) puede requerir hasta centenas de retardos.

En cuanto a los filtros IIR, son eficaces y pueden proporcionar pendientes de corte muy pronunciadas. Por otro lado, al poseer características de realimentación (o feedback), tienen tendencia a entrar en oscilación y en resonancia.[11]

Filtro adaptativo

El filtrado adaptativo puede ser considerado como un proceso en el que los parámetros utilizados para el procesamiento de señales cambian de acuerdo a algún criterio. Por lo general, el criterio es la estimación de error medio cuadrado o la correlación.

Los filtros adaptativos son variables en el tiempo ya que sus parámetros cambian continuamente con el fin de cumplir con una actuación requisito. En este sentido, una adaptación del filtro puede interpretarse

como un filtro que realiza el paso de aproximación en línea. Por lo general, la definición del criterio de desempeño requiere la existencia de una señal de referencia de la cual se va a valer el filtro.

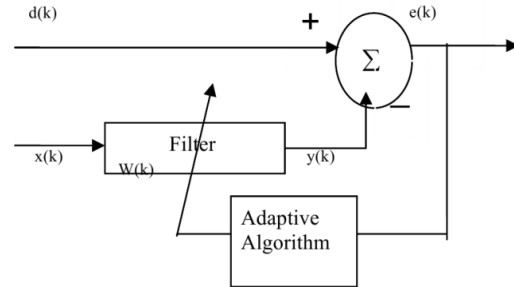


Figura 30: Diagrama de bloques de un filtro IIR adaptativo

Como puede apreciarse en la Figura 30 k es el número de la iteración, $x(k)$ denota la señal de entrada, $y(k)$ es el filtro adaptativo de salida, y $d(k)$ define la señal deseada. La señal de error $e(k)$ se calcula como $d(k) - y(k)$. El error se utiliza para formar una función requerida por el algoritmo de adaptación con el fin de determinar la correspondiente actualización de los coeficientes del filtro. La minimización de la función objetivo, implica que la señal de salida del filtro adaptativo “se pongan a tono” con la señal deseada, en cierto modo.

Este tipo de filtro es muy utilizado para la cancelación de ruido. En un cancelador de ruido adaptativo Figura 31, dos señales de entrada, $d(k)$ y $x(k)$, se aplican simultáneamente a la adaptación del filtro.

La señal $d(k)$ es la señal contaminada que contiene tanto la señal deseada, $s(k)$, y el ruido $n(k)$, asumiendo que no correlacionan entre sí. La señal, $x(k)$, es una medida de la señal de contaminantes que se correlaciona en forma exclusiva con $n(k)$, $x(k)$ es procesada por el filtro digital para producir una estimación $y(k)$, de $n(k)$. Una estimación de la señal deseada $e(k)$ es entonces obtenida restando la salida del filtro digital, $y(k)$, de la señal contaminada.

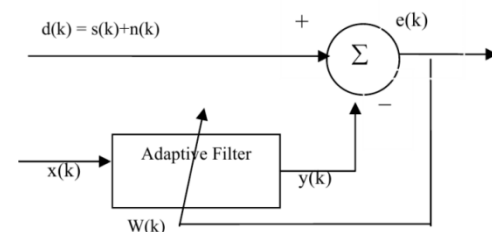


Figura 31. Filtro adaptativo

La salida del filtro $y(k)$ y el error $e(k)$ viene dado por las siguientes ecuaciones:

$$y(k) = X^T(k)W(k) \quad (22)$$

$$e(k) = d(k) - y(k) \quad (23)$$

CONCLUSIONES

Un filtro electrónico es un sistema (circuito) cuya función es modificar, deformar o manipular en general, el espectro en frecuencia de una señal de entrada (excitación) de acuerdo con unos determinados requerimientos (especificaciones).

Existen numerosas variantes, en cuanto a filtros electrónicos se refiere, por optar a la hora de brindar soluciones en aplicaciones en el rango de las audiofrecuencias. Por tanto, es menester conocer las principales características que cada uno ofrece y los eventuales requerimientos de dichas aplicaciones para poder discernir entre las alternativas existentes de forma óptima.

REFERENCIAS

- [1] Havelock David, Kuwano Sonoko, Vorländer Michael. *"Handbook of Signal Processing in Acoustics"*. Volumen 1, pp 107-125, Springer, 2008
- [2] Brüel & Kjær Sound and Vibration Measurement A/S, *"Basic Frequency Analysis of Sound"*, Presentación, 1998
- [3] Miyara Federico. *"Acústica y Sistemas de Sonido"*. pp.131-133. UNR Editora, Rosario, 2006.
- [4] Rossing Thomas D., *"Springer Handbook of Acoustics"*, pp 504 – 530, Springer 2007.
- [5] P. Kanagasapathy, V. R. Vijaykumar, P. T. Vanathi, *"Modified Adaptive Filtering Algorithm for Noise Cancellation in Speech Signals"*. Publicación. ISSN 1392 – 1215, India 2007.
- [6] dspLab
- [7] J.I.Huircán. *"Filtros Activos, Conceptos Básicos y Diseño"*.
- [8] C. Britton Rorabaugh. *"Digital Filter Designer's Handbook"*. TAB Book división of McGraw-Hill.
- [9] Richard Chinn. *"Crossover Networks from A to Linkwitz-Riley"*. AudioControl 1986.
- [10] Bruce Carter *"An audio circuit collection, Part 2"*. Texas Instrument Incorporated. Advanced Linear Products, Op Amps Applications. Dallas, Texas, 2005.
- [11] Gómez Gutierrez, E., *"Introducción al filtrado Digital"*. Síntesi i Processament del So I Departament de Sonologia. Escola Superior de Musica de Catalunya. 2009
- [12] Linkwitz Siegfried H., *"Active Crossover Networks for Noncoincident Drivers"*. Paper, Hewlett-Packard Company, Santa Rosa, Calif. Journal Of The Audio Engineering Society.
- [13] Havelock David, Kuwano Sonoko, Vorlander Michael. *"Handbook of Signal Processing in Acoustics"*. Volume 1, pp 107-125, Springer, 2008.

DATOS BIOGRAFICOS

Federico Bocco, nacido en Morteros, Córdoba el 24/04/1987. Estudiante de ingeniería en electrónica,

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina. Actualmente es becario de investigación en el Laboratorio de Sensores e Instrumentación, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Sus intereses son: Procesamiento digital de señales, Telecomunicaciones y Electroacústica.

E-mail: fedebocco87@gmail.com

Francisco Giana, nacido en Berrotarán, Córdoba el 28/05/1984. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina. Actualmente trabaja en Tecnoled S.A. Sus intereses son: Procesamiento digital de señales, sistemas embebidos y actividades de programación bajo linux.

E-mail: gianafrancisco@gmail.com

Paulo Luciano Ramos, nacido en Lozada, Córdoba el 05/07/1987. Estudiante de ingeniería en electrónica, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba. Argentina. Sus intereses son: contaminación acústica y Procesamiento digital de señales.

E-mail: paulor222@gmail.com