

Consideraciones sobre el retraso grupal en sistemas al usar filtros HPF y LPF

por Mauricio (Magú) Ramírez

Por lo que veo el tema tiene suficiente "tela de donde cortar", ya que no solo se relaciona con Smart, sino con cualquier analizador que muestre Respuesta de Fase y Respuesta de Impulso (aparte de Smart, por ejemplo SIM, SATlive, MACFOH, TEF, WINMLS, Clio, por citar algunos)

Así que, pues, intentare aportar mi grano de arena. Debido a la gran cantidad de gráficos voy a dividir esta presentación en 8 partes.

Parte 1. Amplitud/Tiempo/Fase

La siguiente serie de graficas muestra mediciones de un cable balanceado, en otras palabras señal eléctrica sin procesamiento electrónico de ningún tipo:

Ilustración A

Amplitud vs. Frecuencia (Respuesta de Frecuencia)

La Respuesta de Frecuencia solamente muestra cambios de Amplitud (pero no de Fase ni de tiempo) 0dB en todas las Frecuencias

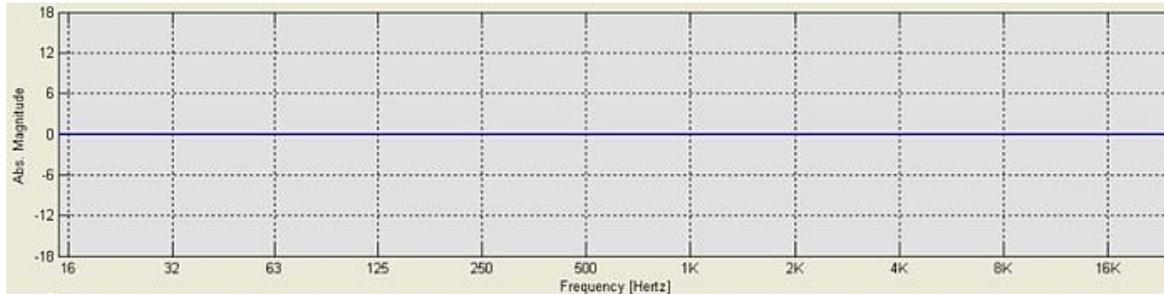


Ilustración B

Tiempo vs. Frecuencia (Respuesta de Tiempo)

La Respuesta de Tiempo solamente muestra cambios de Tiempo (pero no de Amplitud ni de Fase) 0ms de retraso en todas la Frecuencias

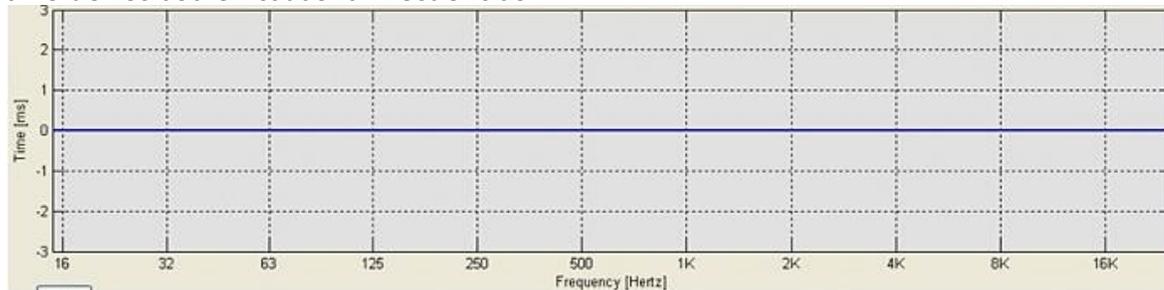


Ilustración C

Fase vs. Frecuencia (Respuesta de Fase)

La Respuesta de Fase solamente muestra cambios de Fase (pero no de Amplitud, ni de Tiempo) 0° de variación de Fase en todas las Frecuencias

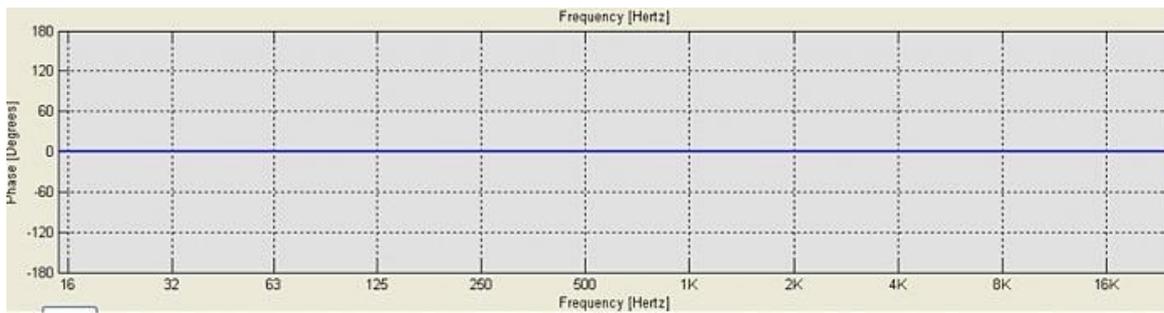
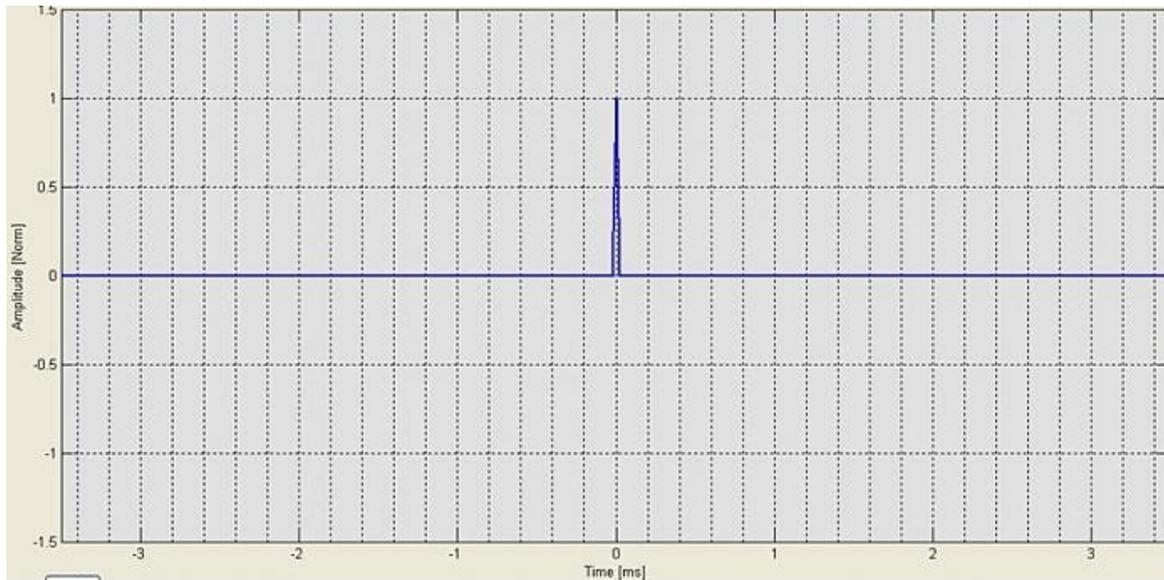


Ilustración D

Amplitud vs. Tiempo (Respuesta de Impulso)

La Respuesta de Impulso solamente muestra cambios de Tiempo y Amplitud (pero no de Fase)

0ms de retraso, la Amplitud es 1



Parte 2. Añadir Retraso

La siguiente serie de graficas muestra mediciones de señal de audio en 3 situaciones, sin procesamiento electrónico, con 0.1ms y con 1ms de retraso. La amplitud no se ha modificado en ninguno de los casos:

Amplitud vs. Frecuencia (Respuesta de Frecuencia) Ilustración A

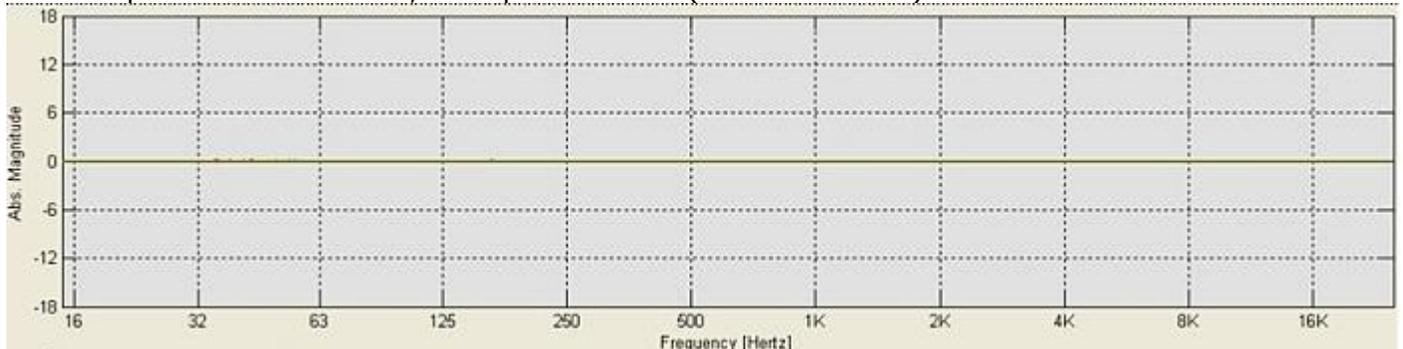
Tiempo vs. Frecuencia (Respuesta de Tiempo) Ilustración B

Fase vs. Frecuencia (Respuesta de Fase) Ilustración C

Amplitud vs. Tiempo (Respuesta de Impulso) Ilustración D

Se puede observar que:

En la Respuesta de Frecuencia, la amplitud es 0dB (no hubo cambio)

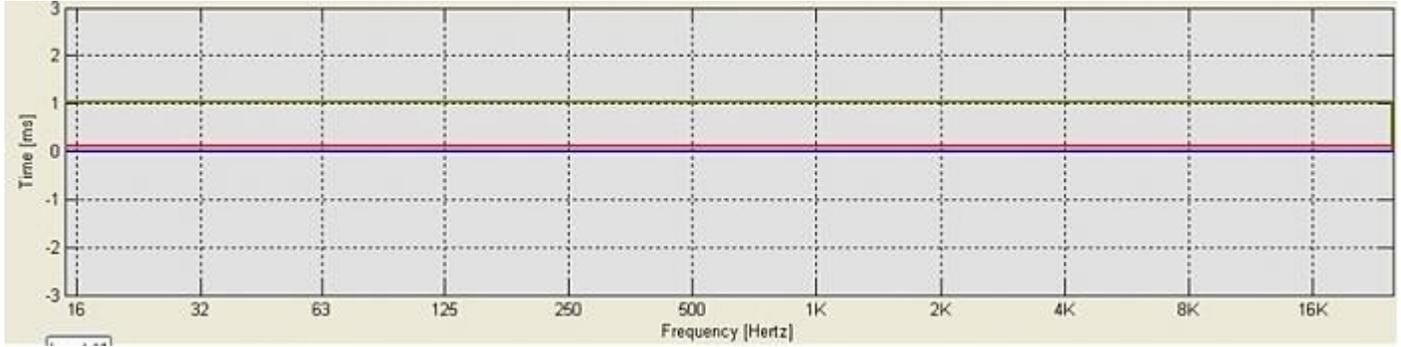


En la Respuesta de Tiempo:

La señal en color azul tiene 0ms de retraso

La señal en color rojo tiene 0.1ms de retraso

La señal en color verde tiene 1ms de retraso

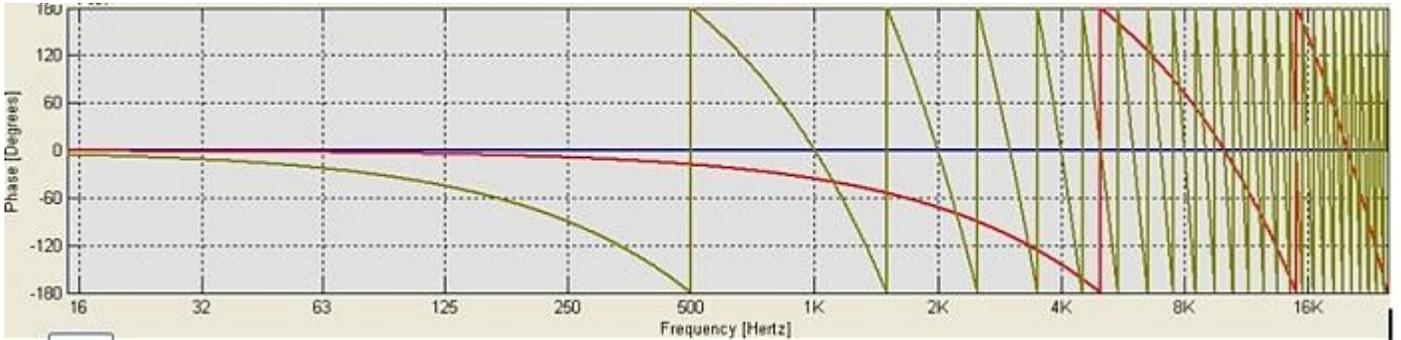


En la Respuesta de Fase:

La señal en color azul tiene 0° de variación de Fase en todas las Frecuencias

La señal en color rojo tiene 360° de variación de Fase en 10kHz

La señal en color verde tiene 360° de variación de Fase en 1kHz

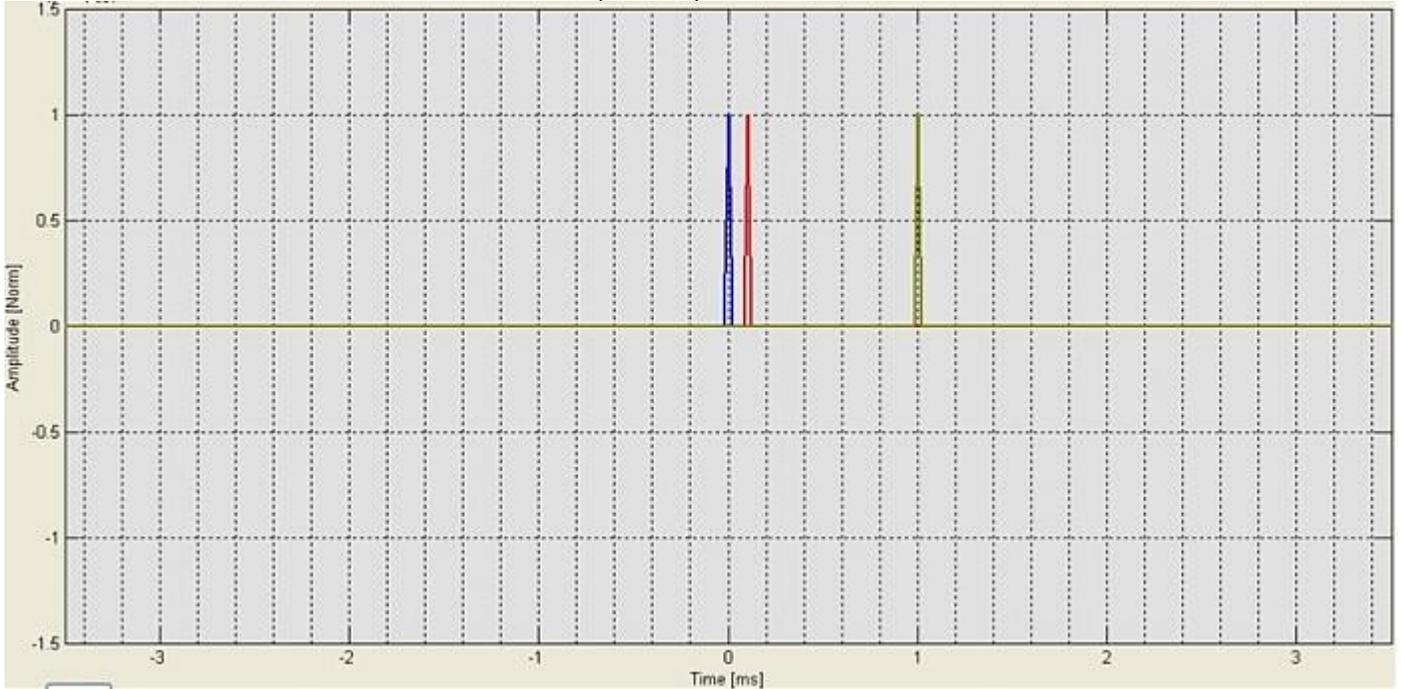


En la Respuesta de Impulso:

La señal en color azul tiene 0ms de retraso, la Amplitud es 1

La señal en color rojo tiene 0.1ms de retraso, la Amplitud es 1

La señal en color verde tiene 1ms de retraso, la Amplitud es 1



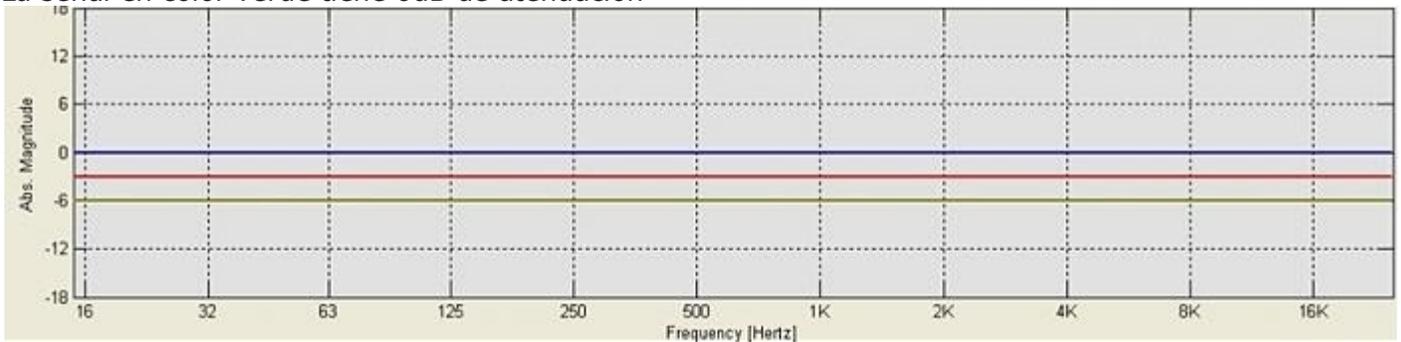
Parte 3. Cambio de Amplitud y Tiempo

La siguiente serie de graficas muestra mediciones de señal de audio en 3 situaciones, sin procesamiento electrónico, con 0.1ms y además 3dB de atenuación, y con 1ms de retraso y además 6dB de atenuación:

- Amplitud vs. Frecuencia (Respuesta de Frecuencia) Ilustración A
- Tiempo vs. Frecuencia (Respuesta de Tiempo) Ilustración B
- Fase vs. Frecuencia (Respuesta de Fase) Ilustración C
- Amplitud vs. Tiempo (Respuesta de Impulso) Ilustración D

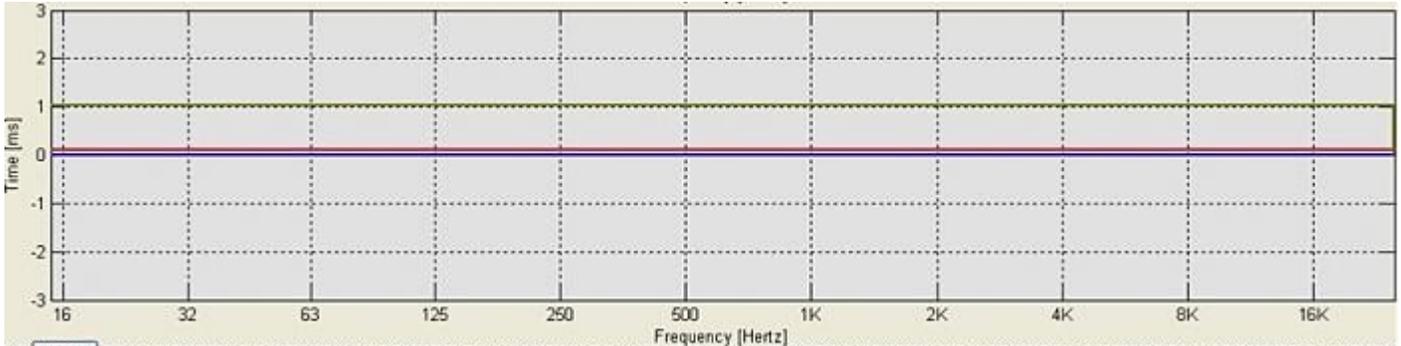
Se puede observar que:

- La señal en color azul tiene 0dB de atenuación
- La señal en color rojo tiene 3dB de atenuación
- La señal en color verde tiene 6dB de atenuación



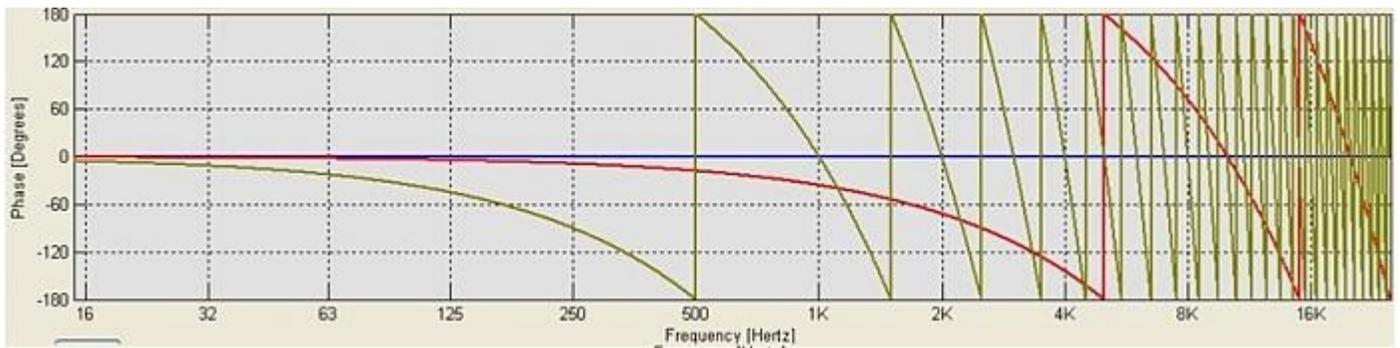
En la Respuesta de Tiempo:

- La señal en color azul tiene 0ms de retraso
- La señal en color rojo tiene 0.1ms de retraso
- La señal en color verde tiene 1ms de retraso



En la Respuesta de Fase:

- La señal en color azul tiene 0° de variación de Fase en todas las Frecuencias
- La señal en color rojo tiene 360° de variación de Fase en 10kHz
- La señal en color verde tiene 360° de variación de Fase en 1kHz

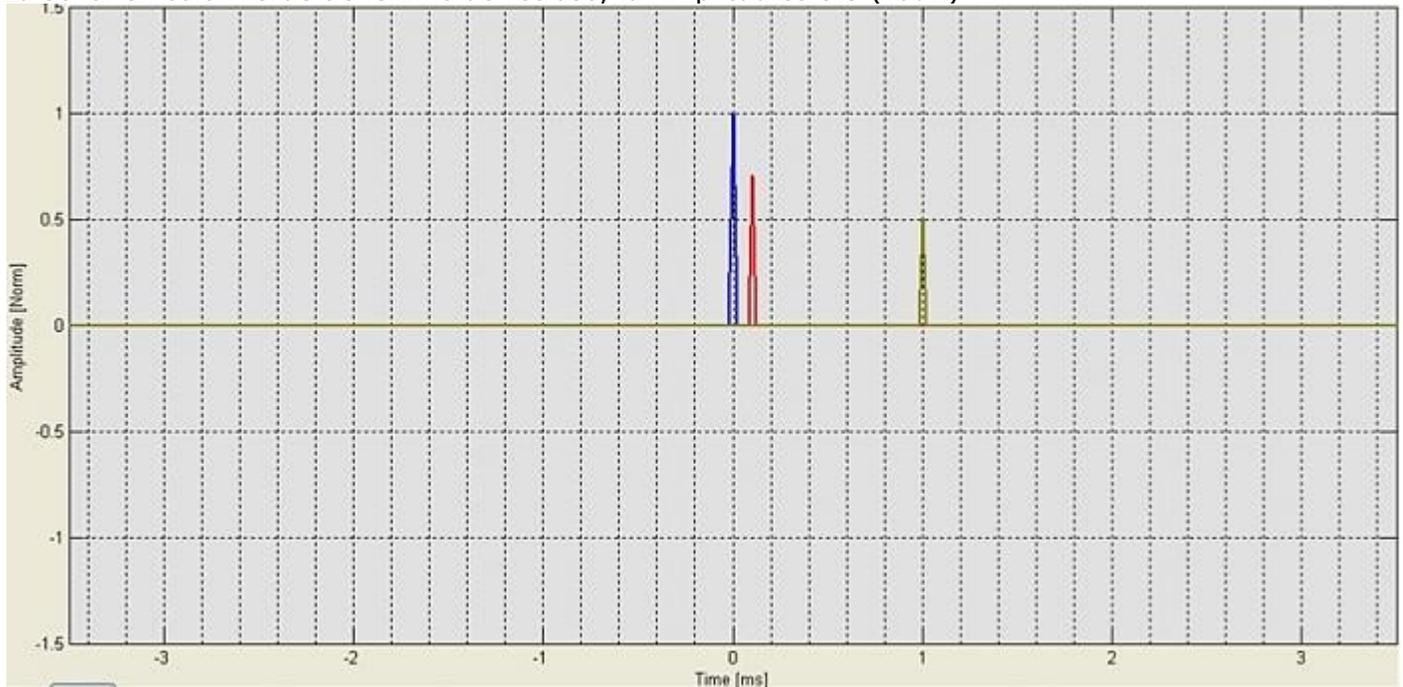


En la Respuesta de Impulso:

La señal en color azul tiene 0ms de retraso, la Amplitud es 1

La señal en color rojo tiene 0.1ms de retraso, la Amplitud es 0.707 (-3dB)

La señal en color verde tiene 1ms de retraso, la Amplitud es 0.5 (-6dB)



Parte 4. Pendientes de Atenuación vs Retraso Grupal

Las siguientes graficas muestran el comportamiento de Amplitud/Fase/Tiempo de los primeros 4 ordenes (6, 12, 18 y 24dB/octava) de la familia Butterworth.

Amplitud vs. Frecuencia (Respuesta de Frecuencia) Ilustración A

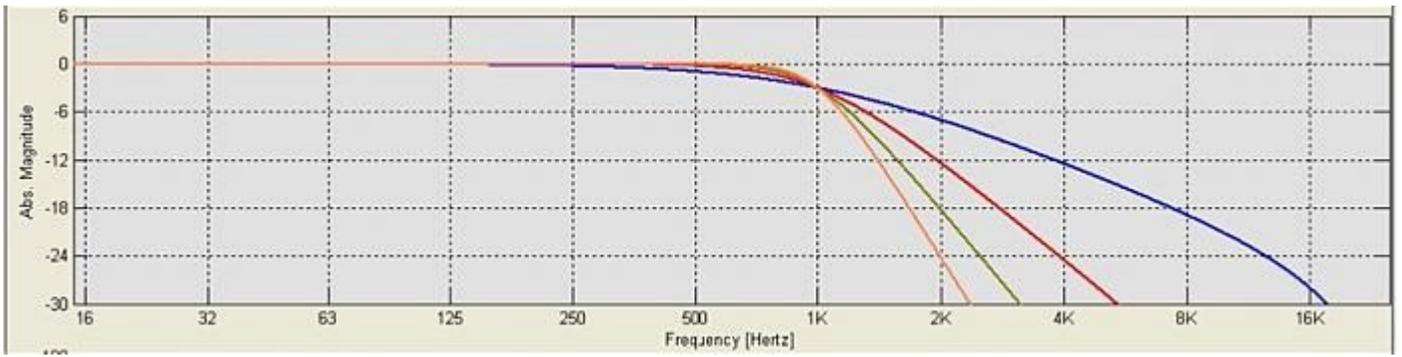
Tiempo vs. Frecuencia (Respuesta de Tiempo) Ilustración B

Fase vs. Frecuencia (Respuesta de Fase) Ilustración C

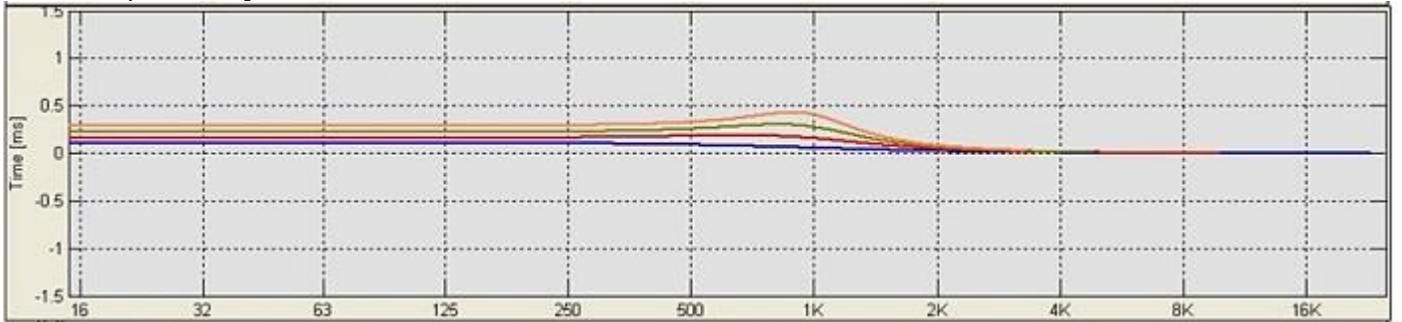
Amplitud vs. Tiempo (Respuesta de Impulso) Ilustración D

Se puede observar que:

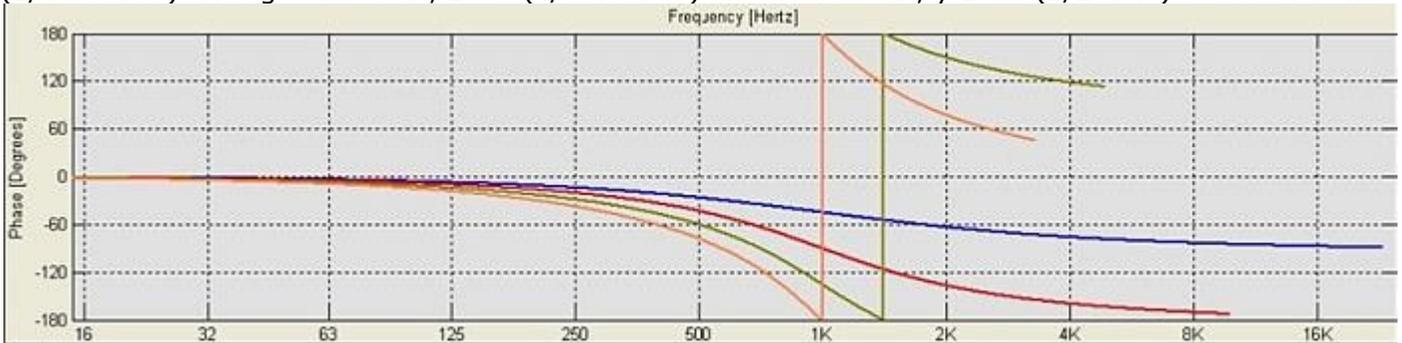
-En todos los casos la frecuencia de "corte" es -3dB (los filtros Butterworth atenúan 3dB mientras que los Linkwitz-Riley atenúan -6dB en el punto de corte).



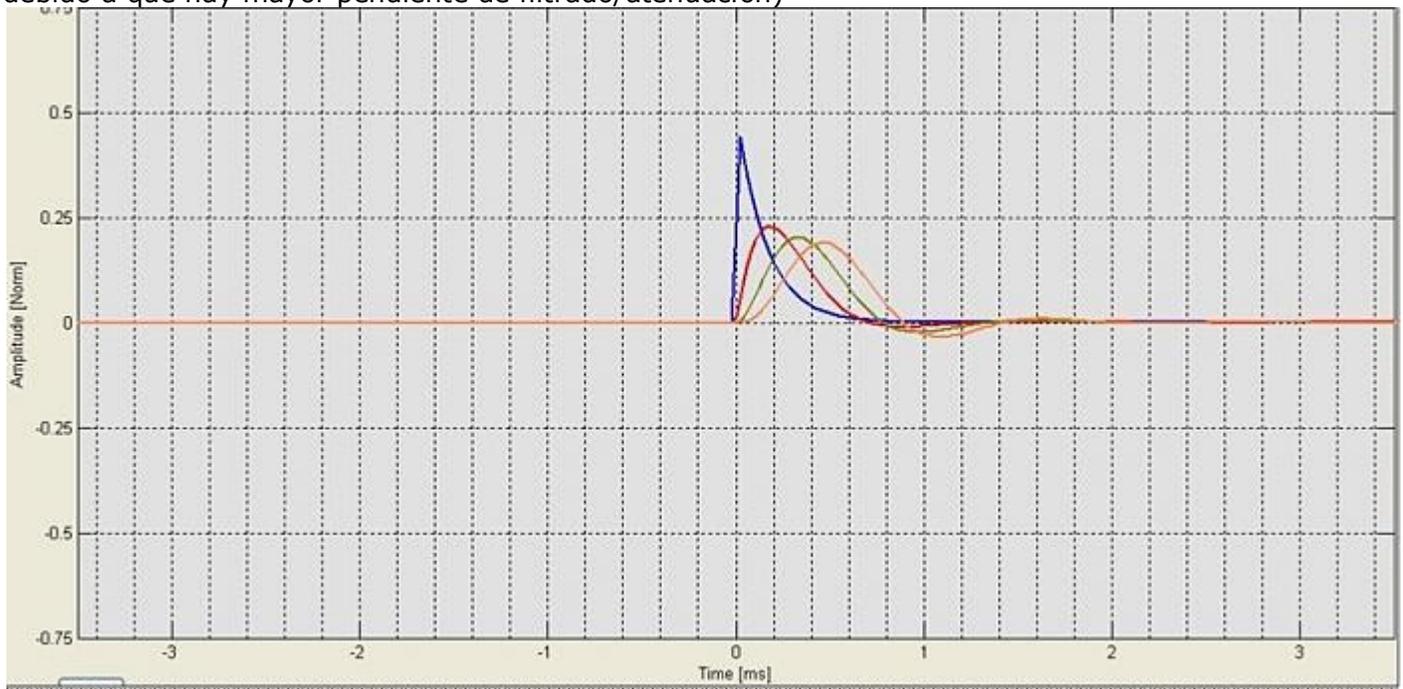
-El tiempo es 0ms en las frecuencias más altas en todos los ejemplos, pero se muestra que el tiempo aumenta por debajo de 1kHz al aumentar el orden.



-En 1kHz se producen 45° de cambio de fase por cada orden. 45° (1/8 de ciclo) en primer orden, 90° (1/4 de ciclo) en segundo orden, 135° (3/8 de ciclo) en tercer orden, y 180° (1/2 ciclo) en 4to orden.



-A mayor orden, la respuesta de impulso muestra mayor retraso (y la amplitud del impulso disminuye debido a que hay mayor pendiente de filtrado/atenuación)



Parte 5. HPF y LPF

Por lo tanto cuando se miden HPF y LPF se puede descubrir lo que muestran las siguientes ilustraciones:

HPF: Linkwitz-Riley, Frecuencia 1kHz, 24/oct

Ilustración A: Respuesta de Frecuencia, Tiempo y Fase

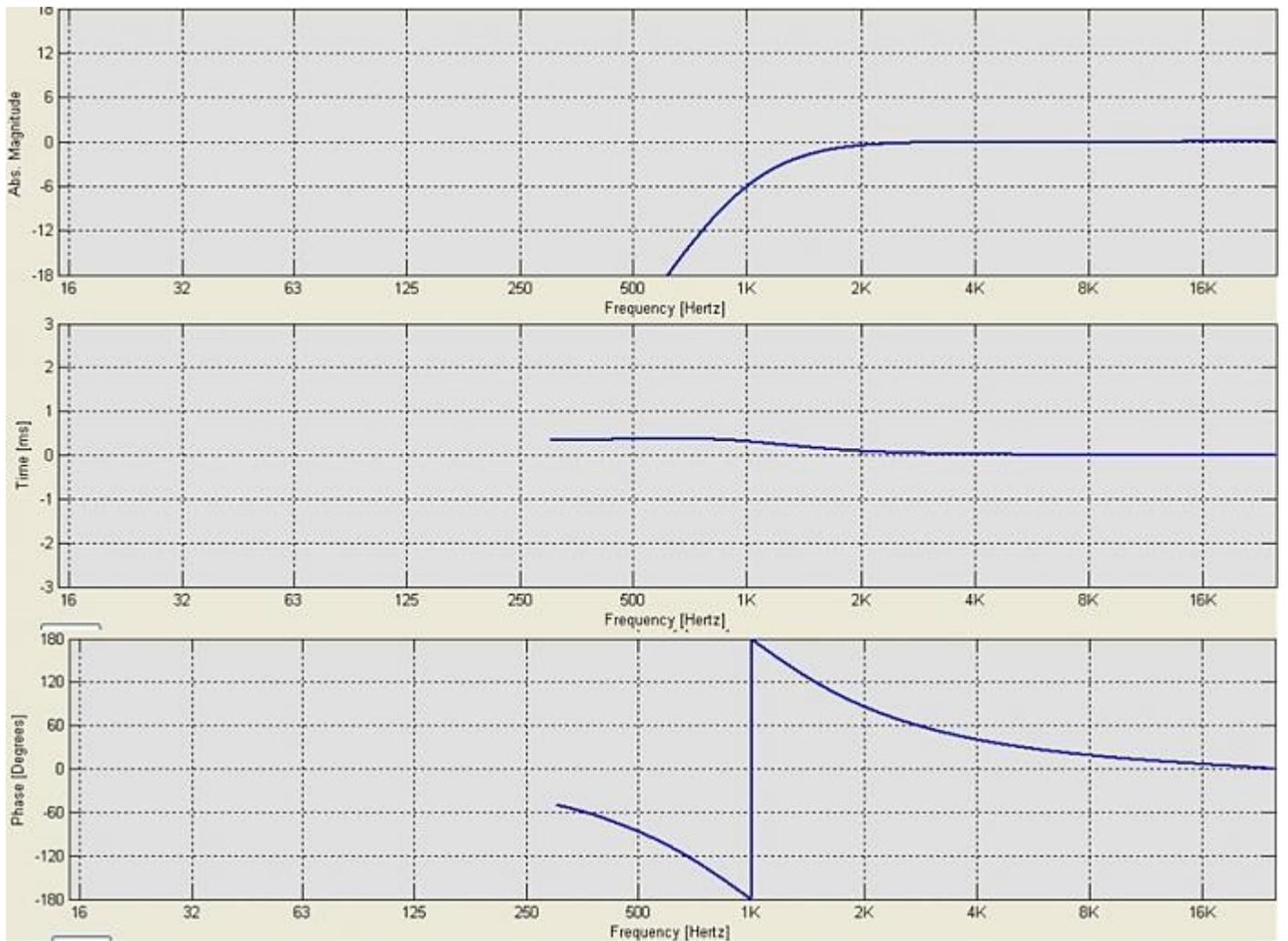
Ilustración B: Respuesta de Impulso

Se puede notar que:

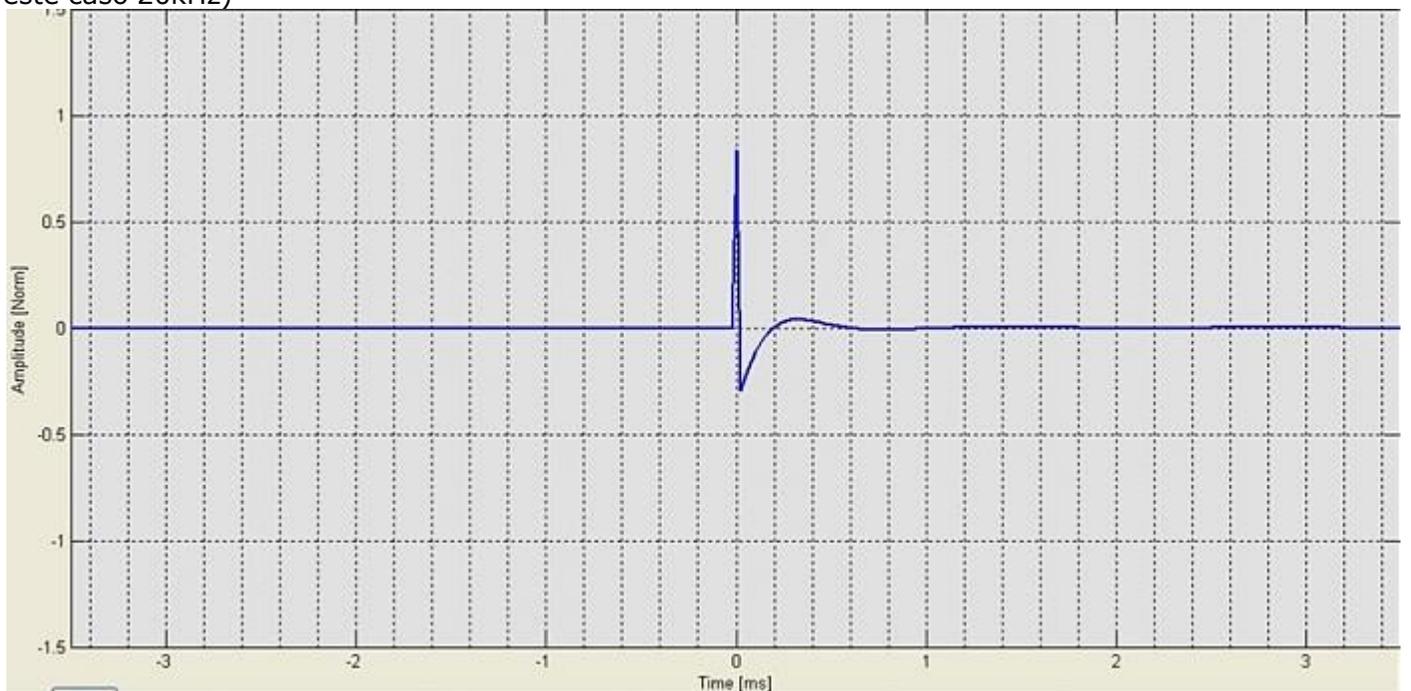
-1kHz tiene 6dB de atenuación en la Respuesta de Frecuencia

-1kHz tiene retraso mientras que 20kHz no tiene retraso en la Respuesta de Tiempo

-1kHz tiene 180° de cambio de fase en la Respuesta de Fase



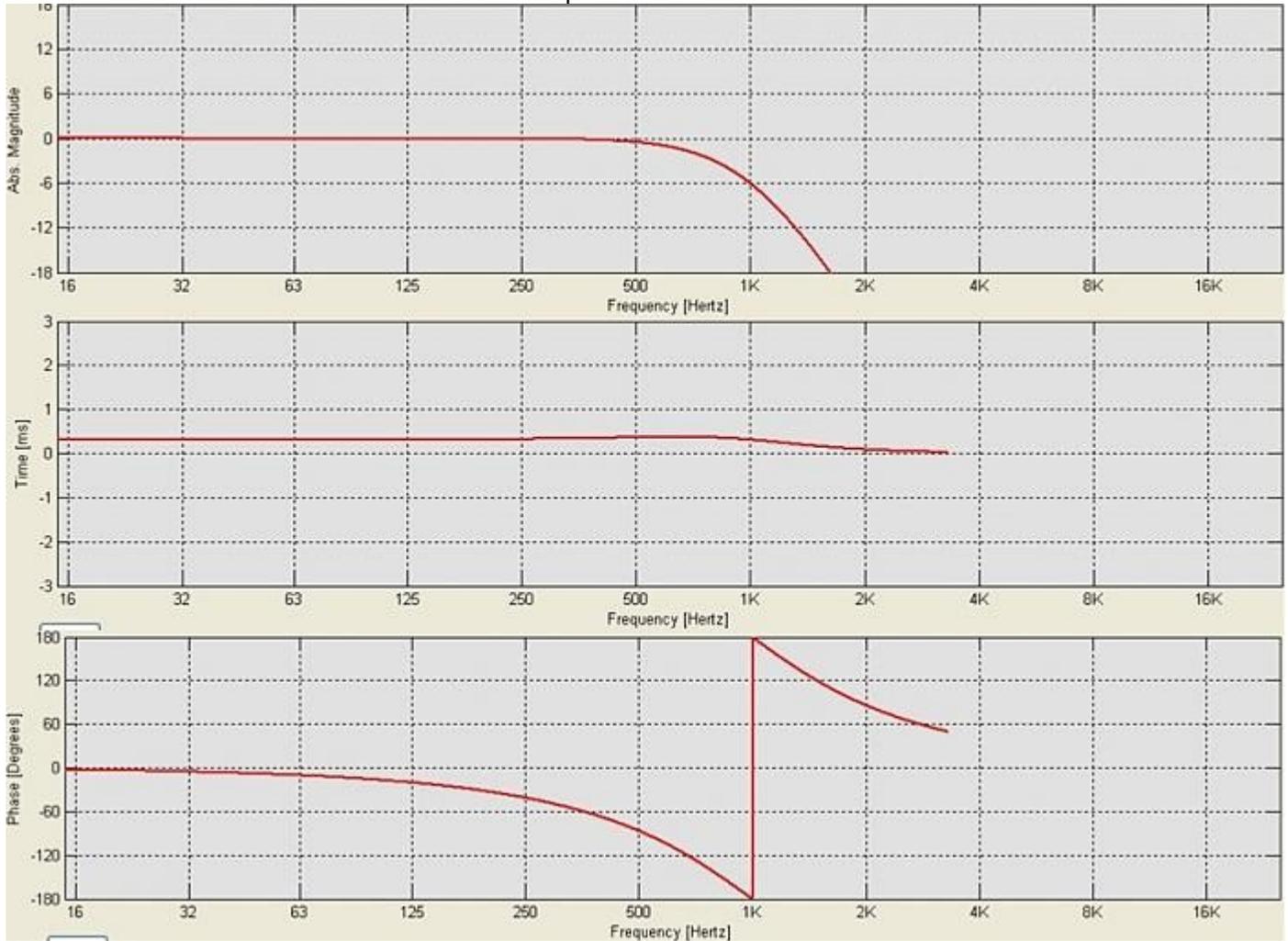
-La Respuesta de Impulso muestra el "pico" en 0ms, pero se ha "estirado" hasta cerca de 0.5ms. La amplitud del "pico" es menor a 1. Nota el Pico del impulso es la frecuencia más alta de la banda (en este caso 20kHz)



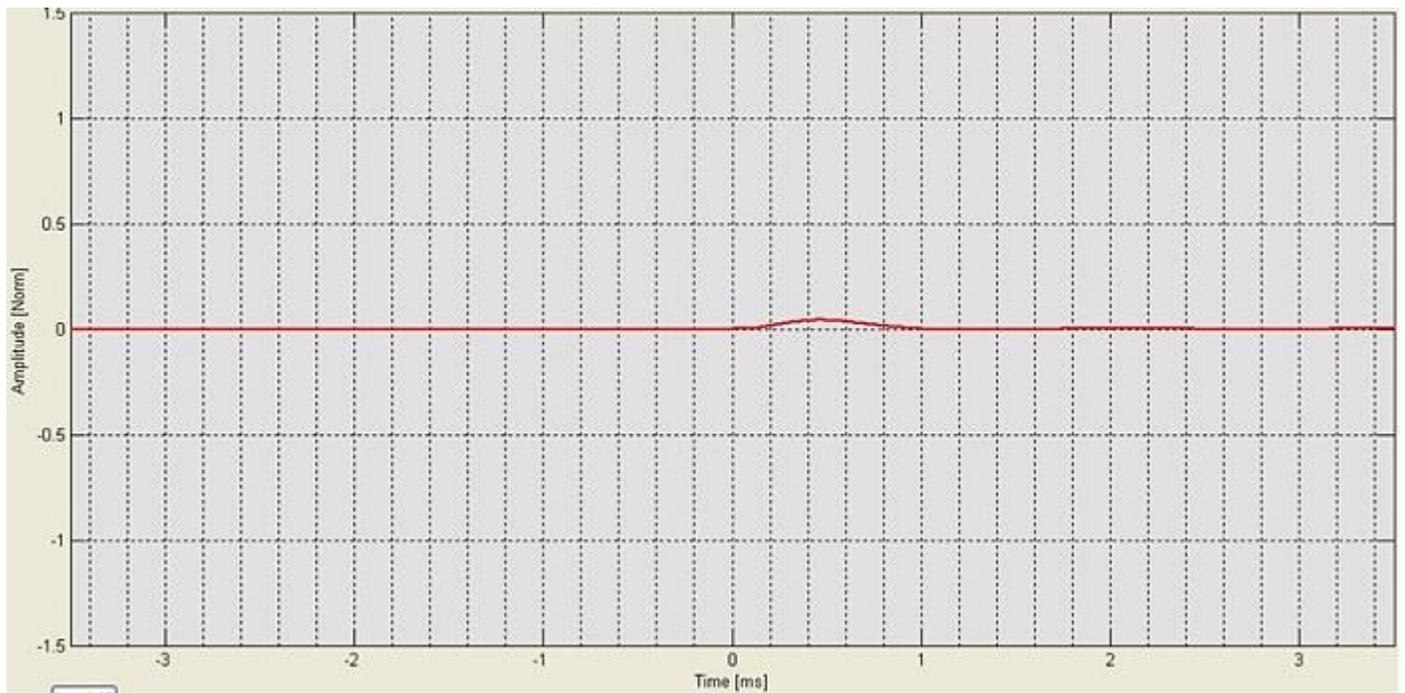
LPF: Linkwitz-Riley, Frecuencia 1kHz, 24/oct
Ilustración C: Respuesta de Frecuencia, Tiempo y Fase
Ilustración D: Respuesta de Impulso

Se puede notar que:

- 1kHz tiene 6dB de atenuación en la Respuesta de Frecuencia
- 1kHz tiene retraso similar a 20Hz en la Respuesta de Tiempo
- 1kHz tiene 180° de cambio de fase en la Respuesta de Fase



-La Respuesta de Impulso muestra el "pico" en 0.5ms, y se ha "estirado" desde 0ms hasta cerca de 1ms. La amplitud del "pico" es mucho menor a 1 (la amplitud del pico es menor en el LPF que en el HPF). Nota el Pico del impulso es la frecuencia más alta de la banda (en este caso 1kHz)



Parte 6. Combinación de HPF y LPF

Así que al combinar HPF y LPF se puede observar su comportamiento en las siguientes ilustraciones:

Amplitud vs. Frecuencia (Respuesta de Frecuencia) Ilustración A

Tiempo vs. Frecuencia (Respuesta de Tiempo) Ilustración B

Fase vs. Frecuencia (Respuesta de Fase) Ilustración C

Amplitud vs. Tiempo (Respuesta de Impulso) Ilustración D

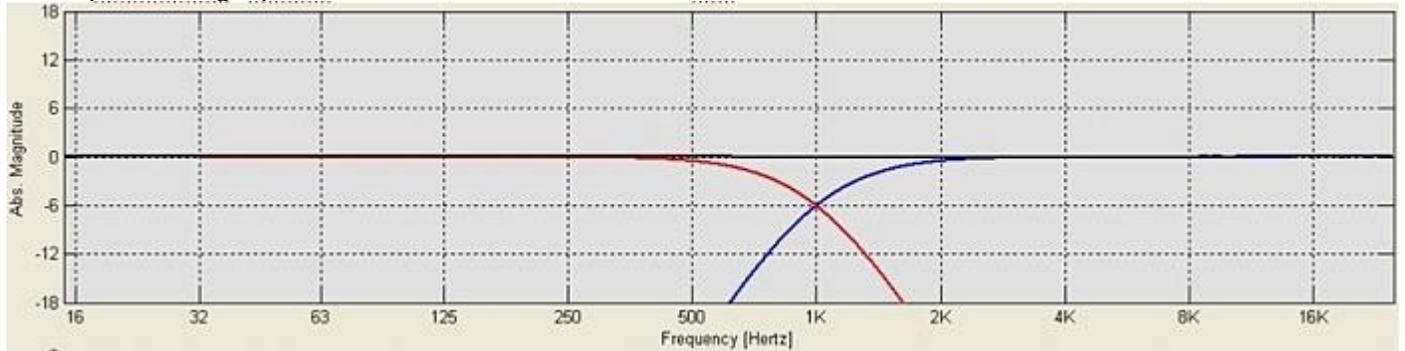
HPF: Linkwitz-Riley, Frecuencia 1kHz, 24/oct

LPF: Linkwitz-Riley, Frecuencia 1kHz, 24/oct

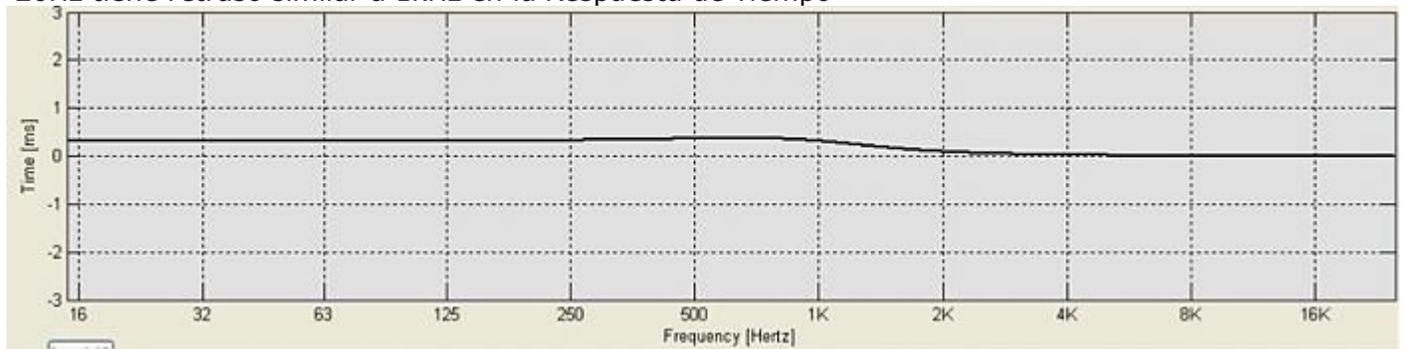
Se puede notar que:

-1kHz tiene 6dB de atenuación en el LPF y el HPF en la Respuesta de Frecuencia

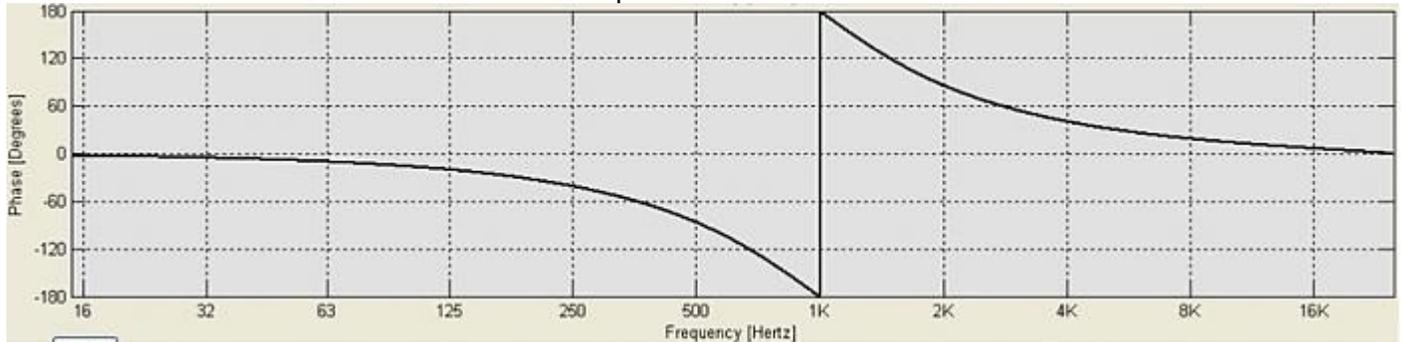
-La combinación del LPF y HPF en 1kHz suma 6dB, por lo tanto el resultado es Respuesta de Frecuencia Plana (Trazo Negro)



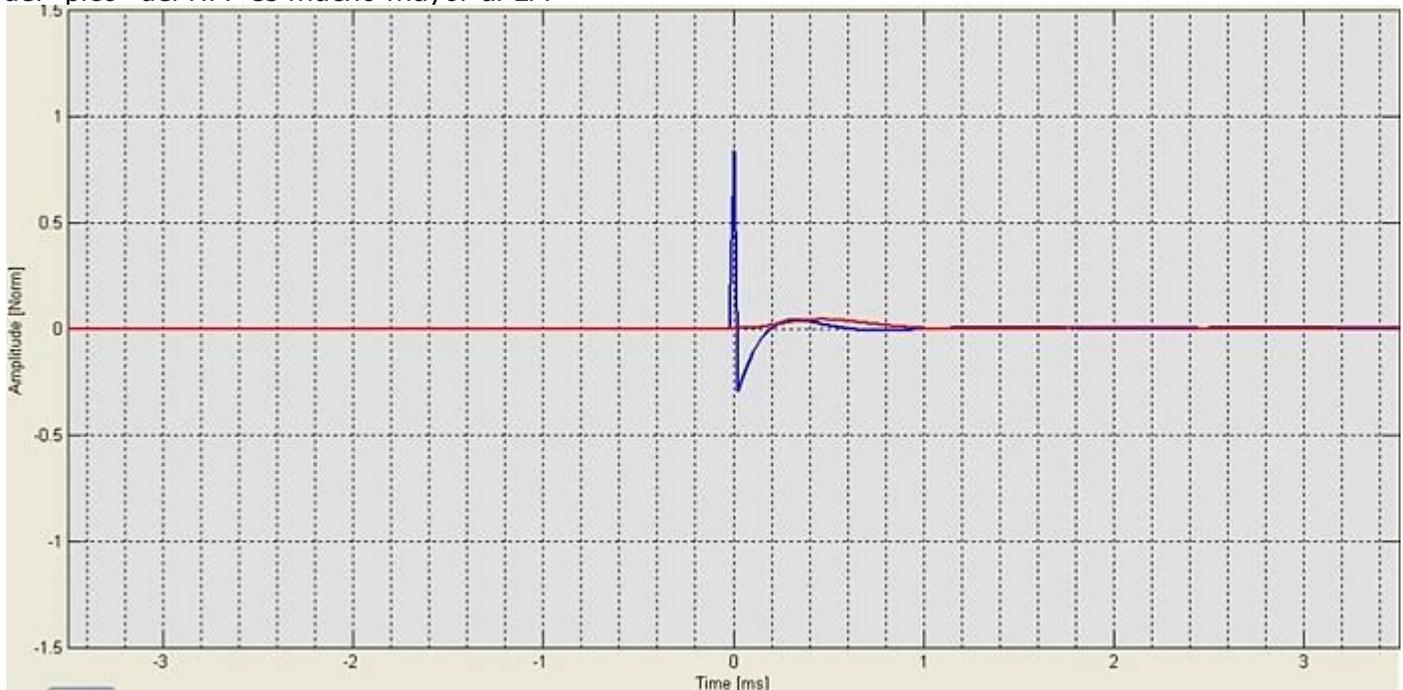
- 20kHz no tiene retraso en la Respuesta de Tiempo
- 1kHz tiene retraso en la Respuesta de Tiempo
- 20Hz tiene retraso similar a 1kHz en la Respuesta de Tiempo



- 1kHz tiene 180° de cambio de fase en la Respuesta de Fase



- La Respuesta de Impulso muestra el "pico" del HPF en 0ms, y el "pico" del LPF en 0.5ms. La amplitud del "pico" del HPF es mucho mayor al LPF



Nota: El pico del HPF muestra el tiempo de reproducción de 20kHz, mientras que el pico del LPF muestra el tiempo de reproducción de 1kHz.

Parte 7. Usando Respuesta de Impulso para Ajuste de Vías

Una práctica común (debido a interpretaciones erróneas) al usar analizadores (por ejemplo SIM, Smaart, SATlive, MacFohTEF, MLS, Clio, etc...) que muestran trazos de Respuesta de Fase y de Respuesta de Impulso es el ajuste del "tiempo" entre vías por medio de la respuesta de impulso.

Las siguientes ilustraciones muestran lo que sucede al ajustar 2 vías por medio de la Respuesta de impulso:

Ilustración A: Respuesta de Impulso

Puede observarse que debido a que el LPF de 4to orden (Link-Ril), @ 1kHz introduce retraso grupal de 0.5ms en 1kHz el pico de dicho impulso se localiza en 1kHz. Así que si "erróneamente" se añade 0.5ms de retraso electrónico en el HPF de 4to orden (Link-Ril), @ 1kHz los dos picos quedarán "alineados" en 0.5ms

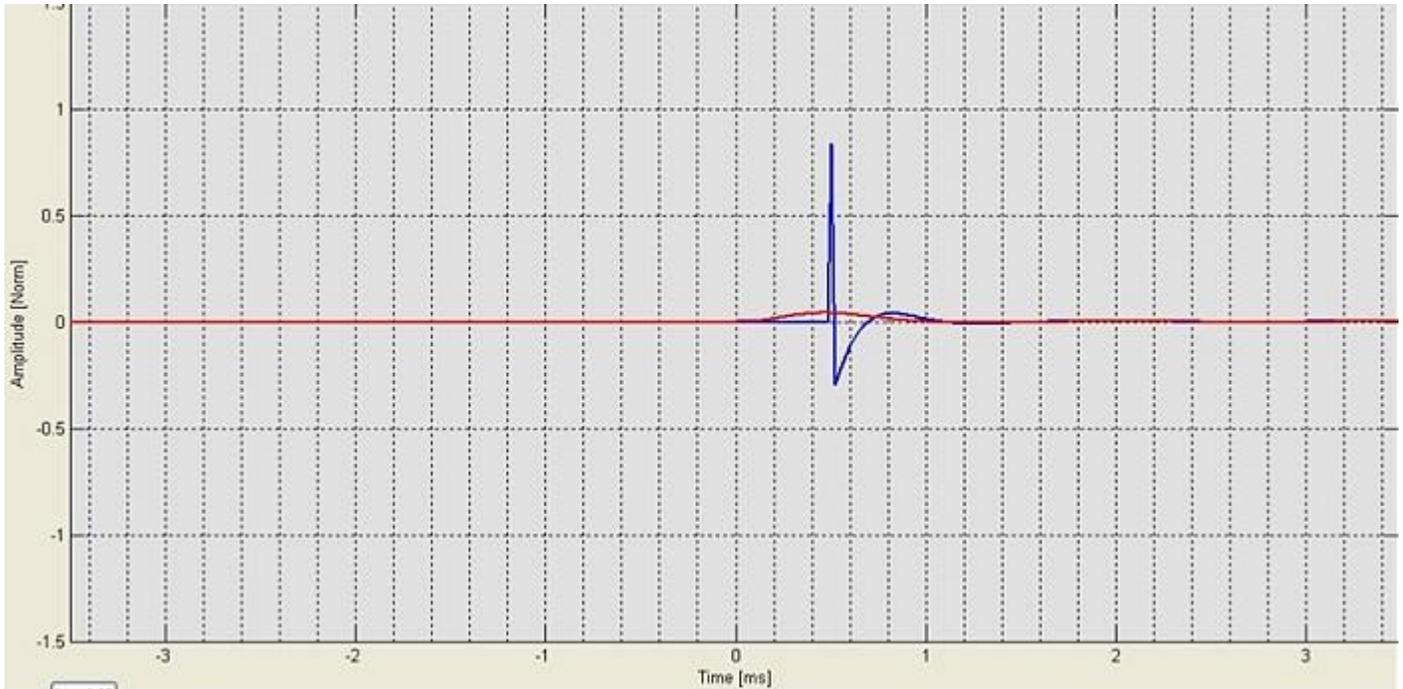


Ilustración B: Respuesta de Frecuencia, Tiempo y Fase

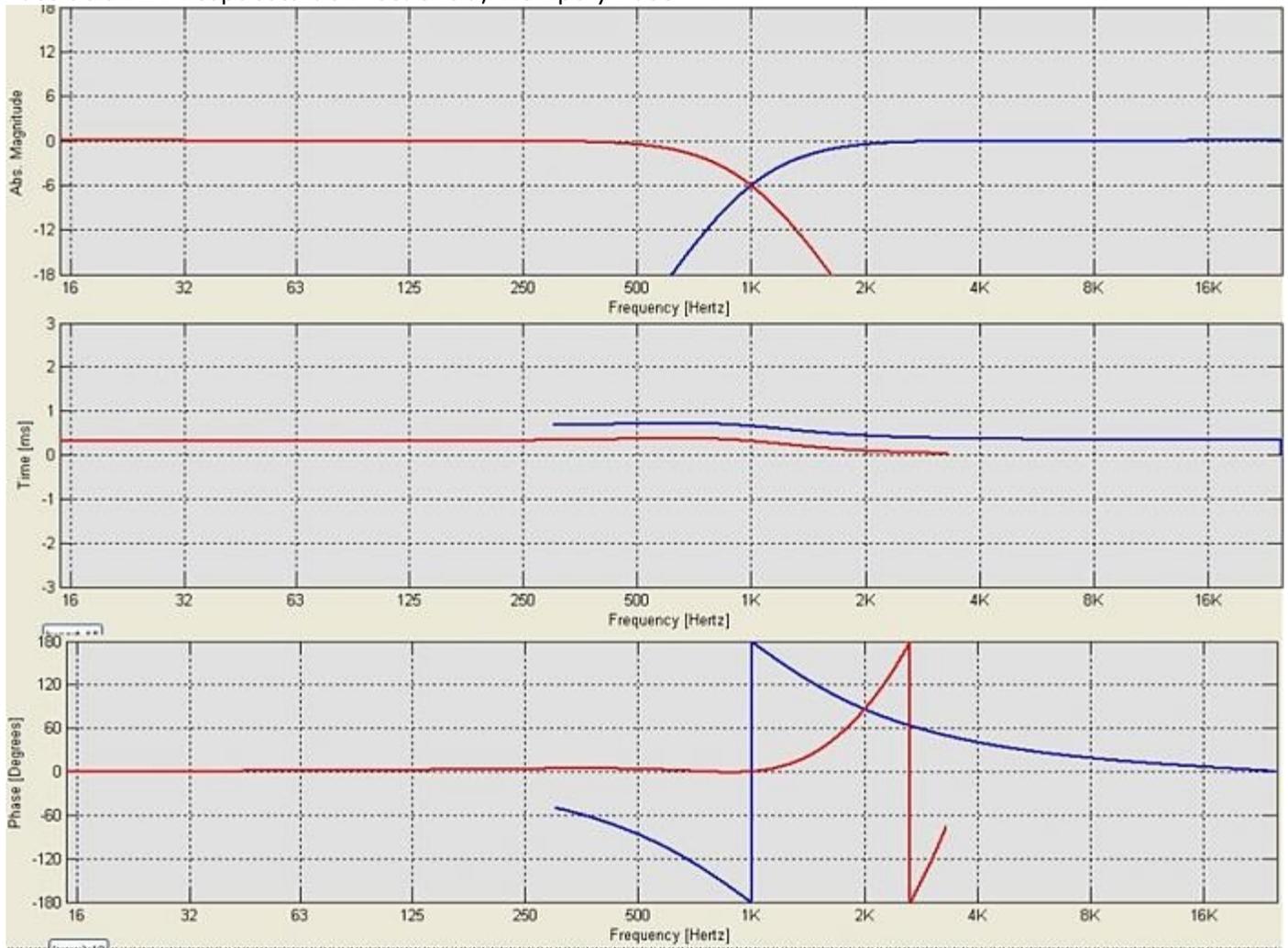
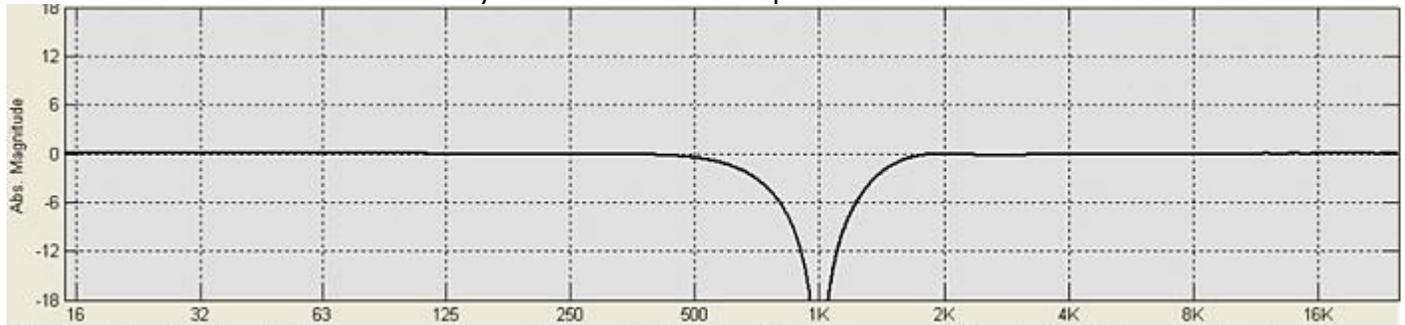


Ilustración C: Combinación del LPF y HPF en trazo de Respuesta de Frecuencia



Desafortunadamente esta errónea práctica lo que hace es que el punto de corte (1kHz en este ejemplo) no quede ajustado en tiempo (como se puede observar en la Respuesta de Tiempo), debido a que lo que se ha hecho al ajustar los impulsos es "sincronizar" 20kHz (la frecuencia del pico del impulso del HPF) con 1kHz (la frecuencia del pico del impulso del LPF). La Respuesta de Fase muestra 180° de diferencia de fase en el punto de corte. Como consecuencia el punto de corte se cancela (Ilustración C).

Nota: El ajuste de tiempo entre vías se debe realizar por medio de la Respuesta de Fase y **NO** de la Respuesta de Impulso. La Respuesta de Fase muestra la relación de Fase en el punto de corte, mientras que la Respuesta de Impulso no lo hace.

Parte 8. Ejemplo de Sistema de 3 vías

A continuación un ejemplo de un sistema de 3 vías:

HF: HPF Link-Ril, 24dB/oct, 1kHz

MF: HPF Link-Ril, 24dB/oct, 1kHz, LPF Link-Ril, 24dB/oct, 100Hz

LF: LPF Link-Ril, 24dB/oct, 100Hz

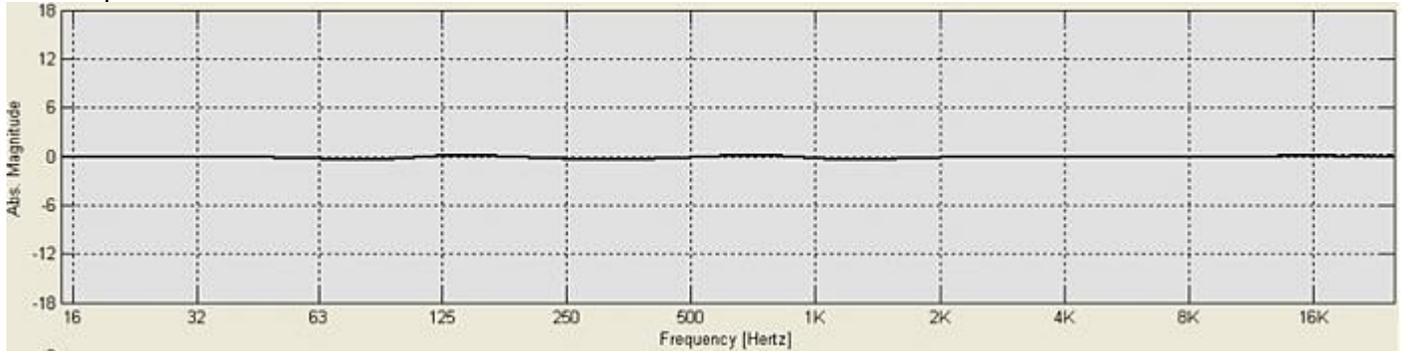
Amplitud vs. Frecuencia (Respuesta de Frecuencia) Ilustración A

Tiempo vs. Frecuencia (Respuesta de Tiempo) Ilustración B

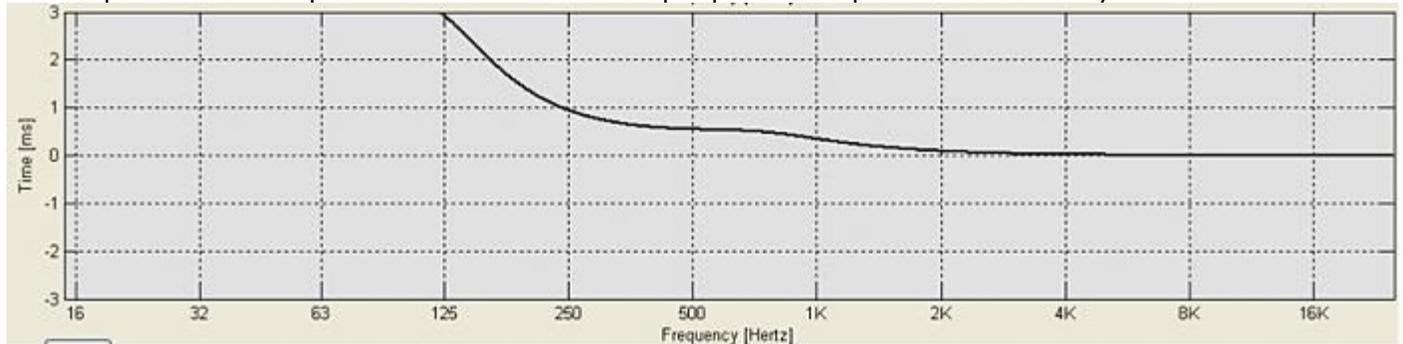
Fase vs. Frecuencia (Respuesta de Fase) Ilustración C

Amplitud vs. Tiempo (Respuesta de Impulso) Ilustración D

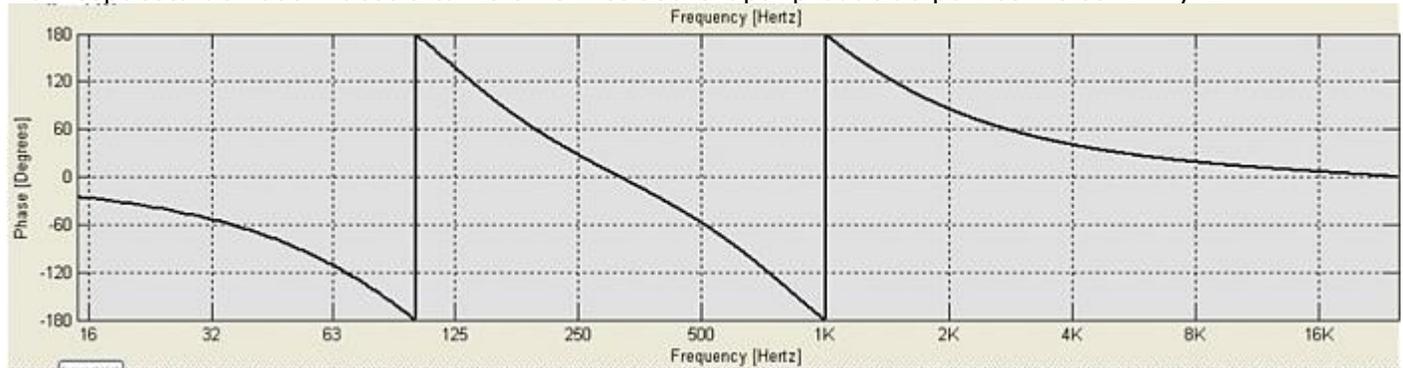
-La Respuesta de Frecuencia es Plana



-La Respuesta de Tiempo muestra el Retraso Grupal producido por los filtros HPF y LPF



-La Respuesta de Fase muestra también el Retraso Grupal producido por los filtros HPF y LPF



-La Respuesta de Impulso muestra nuevamente el Retraso Grupal producido por los filtros HPF y LPF. Nota: se ha aumentado la amplitud a LF y MF para que se puede apreciar el "pico" de dichos impulsos).



En un mundo perfecto, en donde los filtros no introduzcan retraso grupal es "teóricamente" posible ajustar las vías por medio de la respuesta de impulso. Pero de cualquier forma la amplitud de los impulsos será muy pequeña en MF y aun más pequeña en LF.

Por lo tanto, lo que ha sido, es y seguirá siendo a prueba de errores es ajustar las vías por medio del trazo de fase. Se debe igualar la pendiente de los trazos en el punto de corte y hacer que dichos trazos se solapen (por medio del uso de "delay" electrónico, cambio de pendientes de los filtros y en algunos casos inversiones de polaridad).

Lo que es un hecho es que si no se entiende la información proporcionada por el analizador, si no se sabe utilizar adecuadamente el analizador, no se lograrán resultados consistentes.

Pues esto es lo que pasa cuando me aparece un día libre (en este caso un lunes sin nada que hacer en Dublín). Así que me he entretenido desde las 12 del mediodía como hasta 6:30PM haciendo las capturas de pantalla y organizando los gráficos y haciendo los textos. Y mañana inicia el seminario.

Saludos!

Atte.: Mauricio Ramírez
Seminarios y Entrenamientos Meyer Sound