

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES

Trabajo Práctico Final Teoría de Circuitos - 2019

Grupo 1:

Farall, Facundo David
Gaytan, Joaquín Oscar
Kammann, Lucas
Maselli, Carlos Javier
Müller, Malena

Profesores:

Jacoby, Daniel Andrés
Belaustegui Goitia, Carlos
Iñaki Iribarren, Rodrigo

28 de noviembre de 2019

Índice

1. Resumen	3
2. Introducción teórica	3
3. Diseño del filtro	3
3.1. Obtención de polos, ceros y Q a partir de la aproximación de Legendre	3
3.2. Ordenamiento de etapas y selección de celdas	4
3.2.1. Celda Fleischer-Tow	4
3.2.2. Función transferencia y parámetros	4
3.2.3. Sensibilidades	5
3.3. Selección de componentes	5
3.3.1. Primera etapa: Filtro pasa altos - CR	5
3.3.2. Segunda etapa: Filtro pasa altos - Sallen-Key	6
3.3.3. Tercera etapa: Filtro pasa altos - Sallen-Key	6
3.3.4. Cuarta etapa: Filtro pasa altos - Sallen-Key	6
3.3.5. Quinta etapa: Filtro pasa altos - Sallen-Key	7
3.3.6. Sexta etapa: Filtro pasa altos - Fleischer-Tow	7
4. Mediciones y resultados obtenidos	8
4.1. Primera etapa	8
4.2. Segunda etapa	9
4.3. Tercera etapa	10
4.4. Cuarta etapa	11
4.5. Quinta etapa	12
4.6. Sexta etapa	13
4.7. Filtro completo	14
5. Conclusiones	15

1. Resumen

Este trabajo consiste en la realización de un filtro que cumpla con las siguientes especificaciones pautadas:

f_a	10kHz
f_p	13,75kHz
A_a	45dB
A_p	1dB
Rango dinámico	45dB

Tabla 1: Especificaciones del filtro pasa altos a realizar.

2. Introducción teórica

3. Diseño del filtro

3.1. Obtención de polos, ceros y Q a partir de la aproximación de Legendre

La finalidad de implementar un filtro a partir de una aproximación es adquirir presición y selectividad, como lo son las especificaciones de la tabla 1. Al aumentar la selectividad de un filtro, el mismo deja de poder ser realizado con un solo filtro de orden 1 ó 2, y es así como surge la necesidad de usar un filtro de un orden mayor. Para esto, existen distintas aproximaciones que permiten no solo realizar un filtro de orden mayor, si no que además brindan la posibilidad de realizar un filtro de orden mayor a dos a partir de la conexión en cascada de varios filtros de orden 2 ó 1, cuya cantidad depende del orden del circuito completo. Con la finalidad de cumplir la plantilla a partir de los valores de la tabla 1, se tomó un margen en el momento de utilizar la aproximación de Legendre, siendo los parámetros usados, los siguientes:

f_a	10kHz
f_p	13,75kHz
A_a	50dB
A_p	0,5dB
Rango dinámico	45dB

Tabla 2: Especificaciones usadas en la plantilla.

Además, se restringió el valor de los Q de forma que sean menores a 10 para que todas las etapas puedan ser realziadas sin muchos problemas de ajuste. Es así como se obtuvo que el filtro debía ser de orden 11, con los siguientes polos y ceros y sus respectivos Q, a partir de los cuáles luego se determinó que tipo de celda implementar para formar distintas etapas de segundo orden.

Singularidad	frecuencia (kHz)	Q	Ángulo (rad)	Parte real (kHz)	Parte imaginaria(kHz)
Polo complejo conjugado	13,46	9,93	1,52	0,68	$\pm 13,44$
Polo complejo conjugado	14,55	3,12	1,41	2,33	$\pm 14,36$
Polo complejo conjugado	17,00	1,65	1,26	5,15	$\pm 16,21$
Polo complejo conjugado	21,65	1	1,05	10,82	$\pm 18,75$
Polo complejo conjugado	29,56	0,63	0,65	23,46	$\pm 17,99$
Polo real simple	36,04	0,5	0	36,04	0
11 Ceros	0	-	0	0	0

Tabla 3: Polos y ceros desnormalizados de la $H(s)$.

En cuanto a los polos, como se ve en la tabla 3, hay 5 polos complejos conjugados y un polo real simple. Se trata de un filtro de orden 11. A su vez hay 11 ceros en el origen.

3.2. Ordenamiento de etapas y selección de celdas

Se agruparon los polos y ceros de forma que quedara primero una etapa de primer orden con el polo real simple y un cero, obteniendo un pasa altos pasivo RC, al cual se le agregó un buffer a la salida. Luego 4 etapas pasa altos mediante la implementación de la celda Sallen-Key, cada una con un par de polos (complejo conjugado) y dos ceros en el origen. Estas etapas fueron colocadas de forma que el Q de los polos queden en orden creciente (desde la entrada hacia la salida del filtro). Y finalmente, la última etapa, también pasa altos, fue realizada mediante una celda universal Fleischer-Tow debido a que contiene el par de polos complejo conjugado cuyo Q es de 9,93. La celda Sallen-Key no permite realizar filtros de un Q de este valor, mientras que la ventaja de las celdas universales es que permiten llegar a valores de Q altos (hasta 12 o 13, siendo 10 un valor hasta el cual no deberían haber inconvenientes para su ajuste). El criterio empleado de ordenar las etapas de forma que los Q de los ceros queden de forma creciente se debe a que cuanto mayor es el Q, pueden aparecer sobrepicos más grandes que los que pueden aparecer con Q's bajos. Si una de las primeras etapas tiene un sobreceso alto (debido a un Q grande), habrán sobrepicos con los cuales la siguiente etapa podría saturar si el sobreceso tiene un valor de tensión mayor al máximo con el que la siguiente etapa puede funcionar correctamente. Si no sucediera esto, igual disminuiría el rango dinámico ya que la tensión máxima de entrada disminuiría también.

3.2.1. Celda Fleischer-Tow

3.2.2. Función transferencia y parámetros

$H(s)$ genérica	ω_0	Q
$-\frac{\frac{R_8}{R_6}s^2 + \left(\frac{R_8}{R_6R_1C_1} - \frac{R_8}{R_4R_7C_1}\right)s + \frac{R_8}{R_3R_5R_7C_1C_2}}{s^2 + \frac{1}{R_1C_1}s + \frac{R_8}{R_2R_3R_7C_1C_2}}$	$\sqrt{\frac{R_8}{R_2R_3R_7C_1C_2}}$	$R_1C_1\sqrt{\frac{R_8}{R_2R_3R_7C_1C_2}}$

Tabla 4: Expresiones genéricas de la celda Fleischer-Tow.

Salida	Condiciones	$H(s)$	G	ω_p	Q	ω_z
HP	$R_5 = \infty$	$-\frac{\frac{R_8}{R_6}s^2}{s^2 + \frac{1}{R_1C_1}s + \frac{R_8}{R_2R_3R_7C_1C_2}}$	$-\frac{R_8}{R_6}$			

Tabla 5: Características de la configuración pasa altos de la celda Fleischer-Tow.

3.2.3. Sensibilidades

	ω_0	Q	G_{HP}
R_1	0	1	0
R_2	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0
R_3	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0
R_4	0	0	0
R_5	0	0	0
R_6	0	0	-1
R_7	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0
R_8	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
C_1	$-\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
C_2	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0

Tabla 6: Sensibilidades de la celda Fleischer-Tow

3.3. Selección de componentes

3.3.1. Primera etapa: Filtro pasa altos - CR

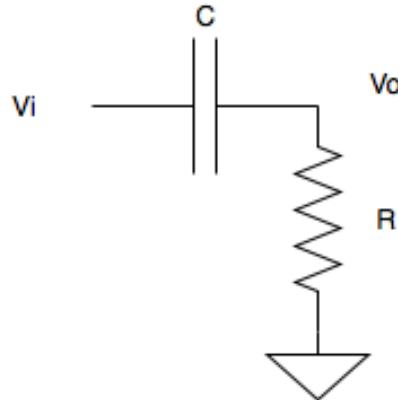


Figura 1: Filtro pasa altos CR

Componentes	
$R(\Omega)$	10k
$C(F)$	1n

Tabla 7: Valores elegidos para los componentes de la primera etapa.

3.3.2. Segunda etapa: Filtro pasa altos - Sallen-Key

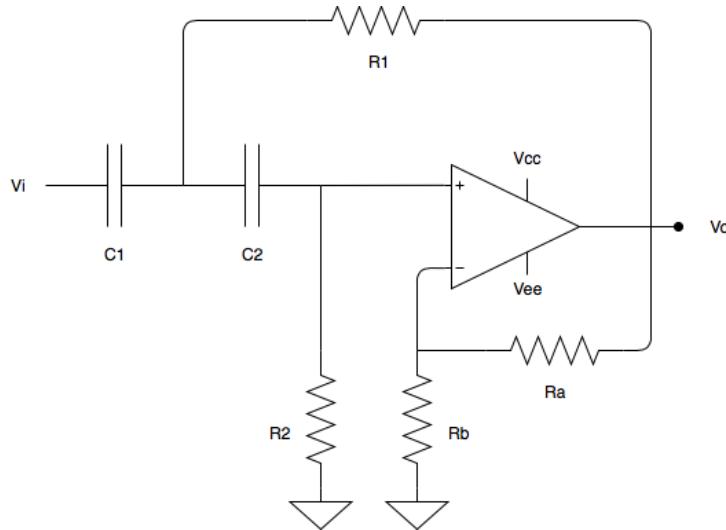


Figura 2: Filtro pasa altos con celda Sallen-Key

Los valores de los componentes elegidos para esta etapa, correspondientes a la figura 2 y a los valores de Q y de frecuencias de polos y ceros de la tabla 3 son los siguientes:

Componentes	
$R_a(\Omega)$	10k
$R_b(\Omega)$	24,23k
$R_1(\Omega)$	5,38
$R_2(\Omega)$	5,38
$C_1(F)$	1n
$C_2(F)$	1n

Tabla 8: Valores elegidos para los componentes de la segunda etapa.

Para todas las celdas Sallen-Key se eligieron los componentes mediante el método de componentes iguales.

3.3.3. Tercera etapa: Filtro pasa altos - Sallen-Key

Los valores para esta celda correspondientes a la imagen 2 son los siguientes:

Componentes	
$R_a(\Omega)$	10k
$R_b(\Omega)$	10k
$R_1(\Omega)$	7,35
$R_2(\Omega)$	7,35
$C_1(F)$	1n
$C_2(F)$	1n

Tabla 9: Valores elegidos para los componentes de la tercera etapa.

3.3.4. Cuarta etapa: Filtro pasa altos - Sallen-Key

Los valores para esta celda correspondientes a la imagen 2 son los siguientes:

Componentes	
$R_a(\Omega)$	10k
$R_b(\Omega)$	7,17k
$R1(\Omega)$	9,36
$R2(\Omega)$	9,36
$C1(F)$	1n
$C2(F)$	1n

Tabla 10: Valores elegidos para los componentes de la cuarta etapa.

3.3.5. Quinta etapa: Filtro pasa altos - Sallen-Key

Los valores para esta celda correspondientes a la imagen 2 son los siguientes:

Componentes	
$R_a(\Omega)$	10k
$R_b(\Omega)$	5,95k
$R1(\Omega)$	10,94
$R2(\Omega)$	10,94
$C1(F)$	1n
$C2(F)$	1n

Tabla 11: Valores elegidos para los componentes de la quinta etapa.

3.3.6. Sexta etapa: Filtro pasa altos - Fleischer-Tow

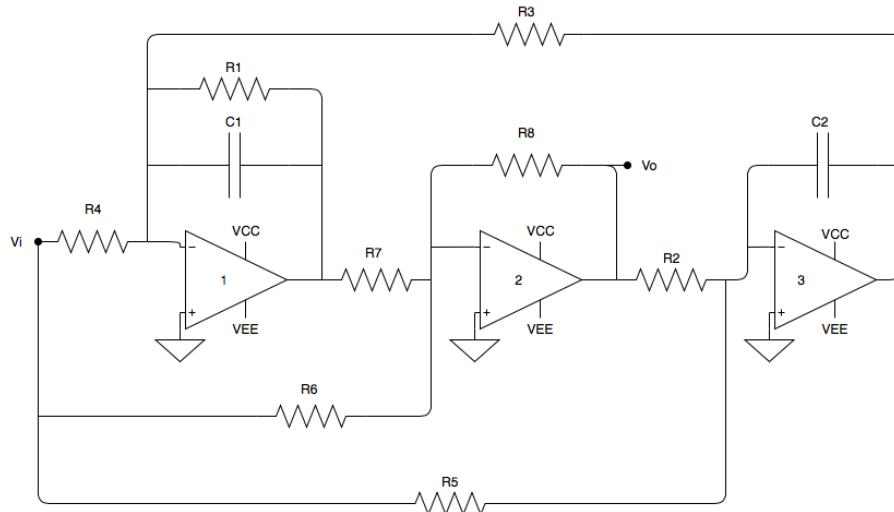


Figura 3: Celda Fleischer-Tow

Los valores para esta celda correspondientes a la imagen ?? son los siguientes:

Componentes
$R1(\Omega)$
$R2(\Omega)$
$R3(\Omega)$
$R4(\Omega)$
$R5(\Omega)$
$R6(\Omega)$
$R7(\Omega)$
$R8(\Omega)$
$C1(F)$
$C2(F)$

Tabla 12: Valores elegidos para los componentes de la sexta etapa.

4. Mediciones y resultados obtenidos

4.1. Primera etapa

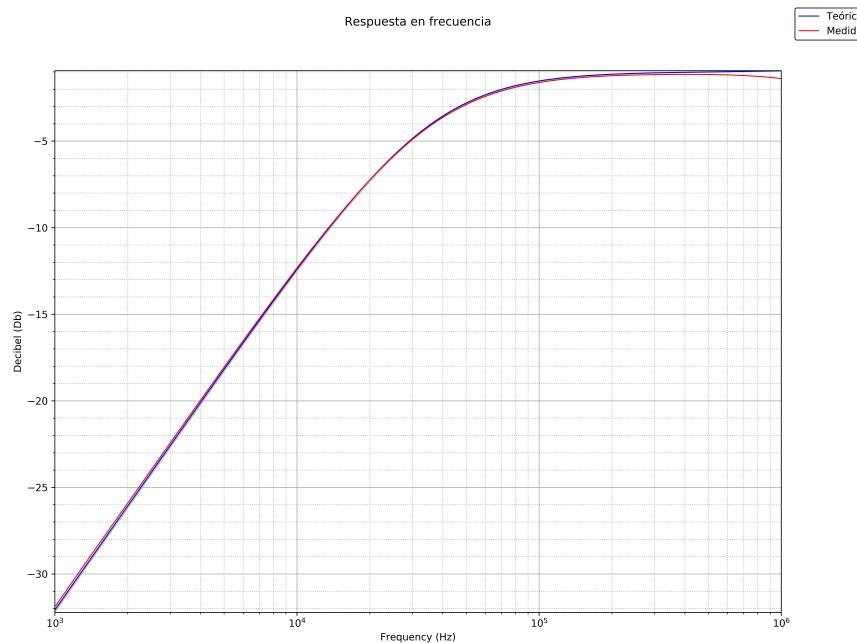


Figura 4: Primera etapa - Módulo

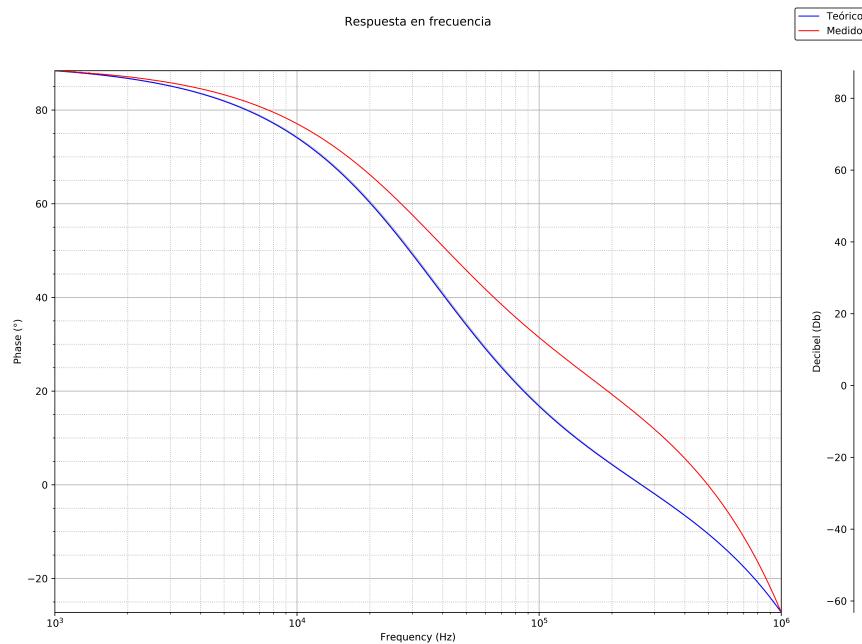


Figura 5: Primera etapa - Fase

4.2. Segunda etapa

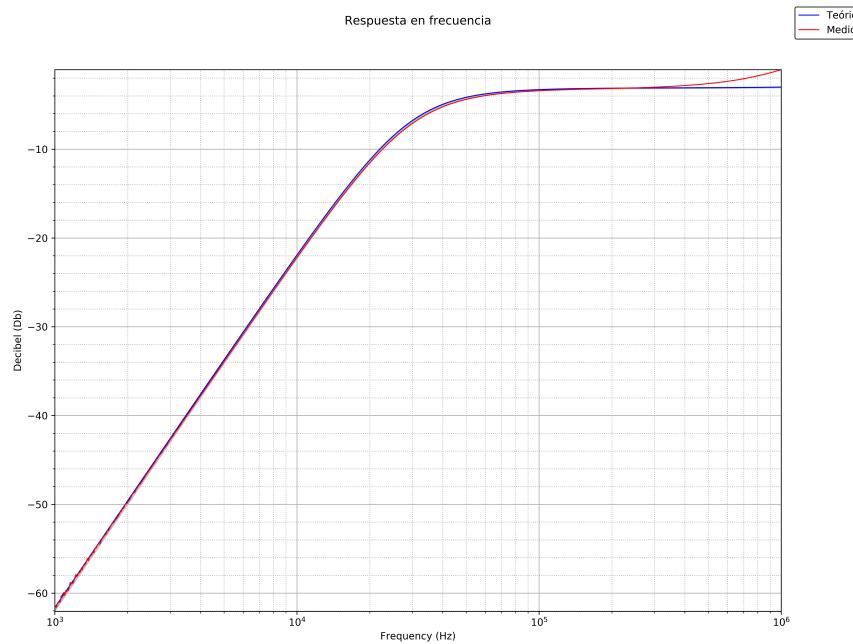


Figura 6: Segunda etapa - Módulo

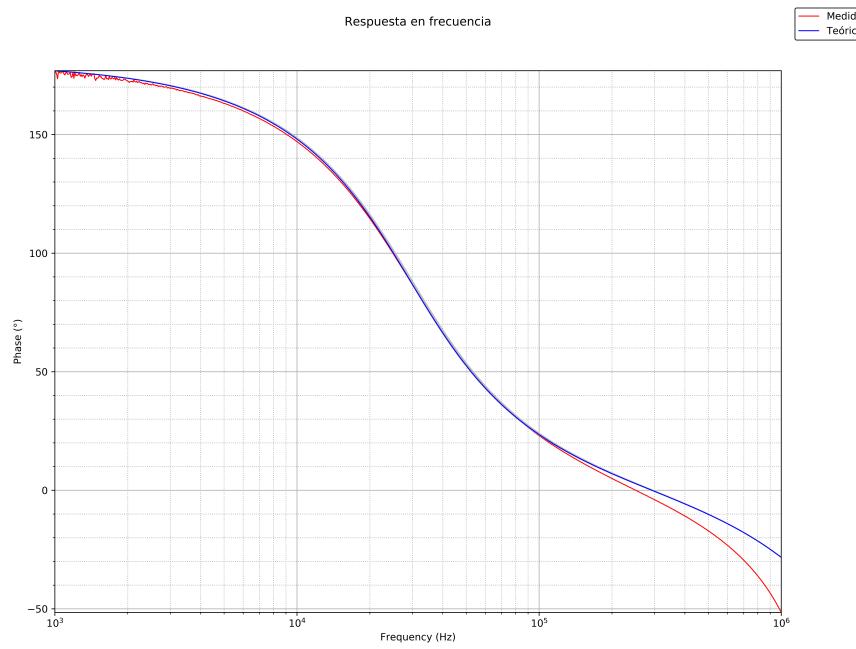


Figura 7: Segunda etapa - Fase

4.3. Tercera etapa

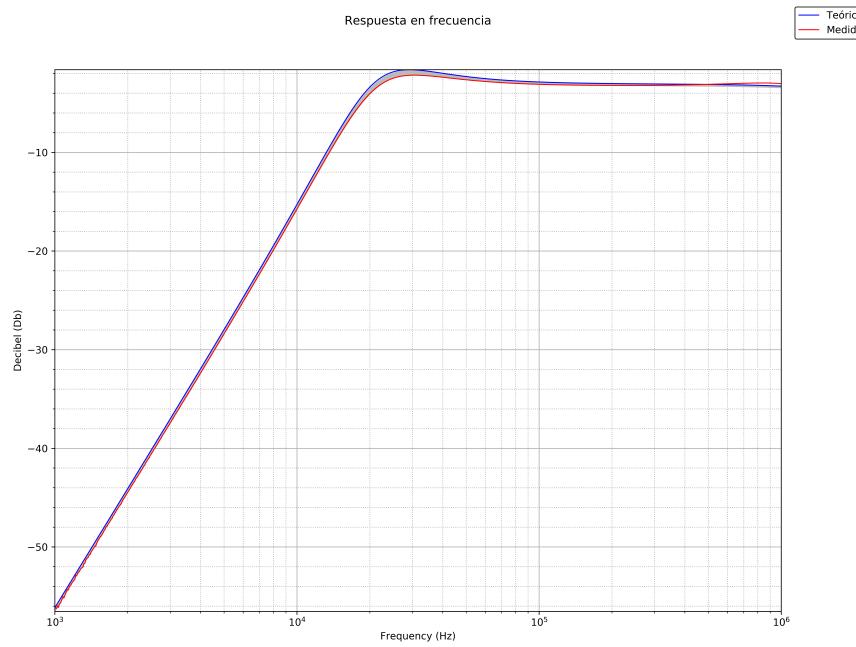


Figura 8: Tercera etapa - Módulo

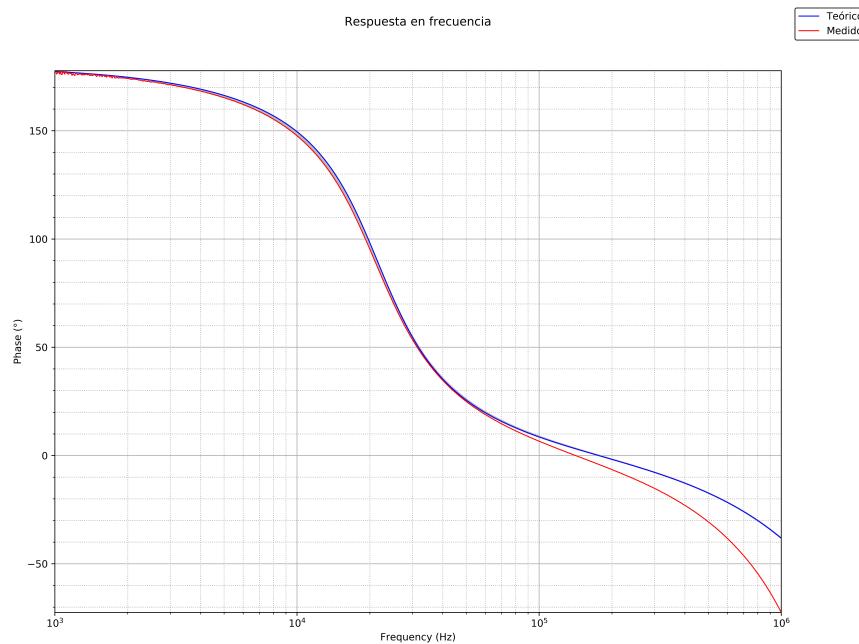


Figura 9: Tercera etapa - Fase

4.4. Cuarta etapa

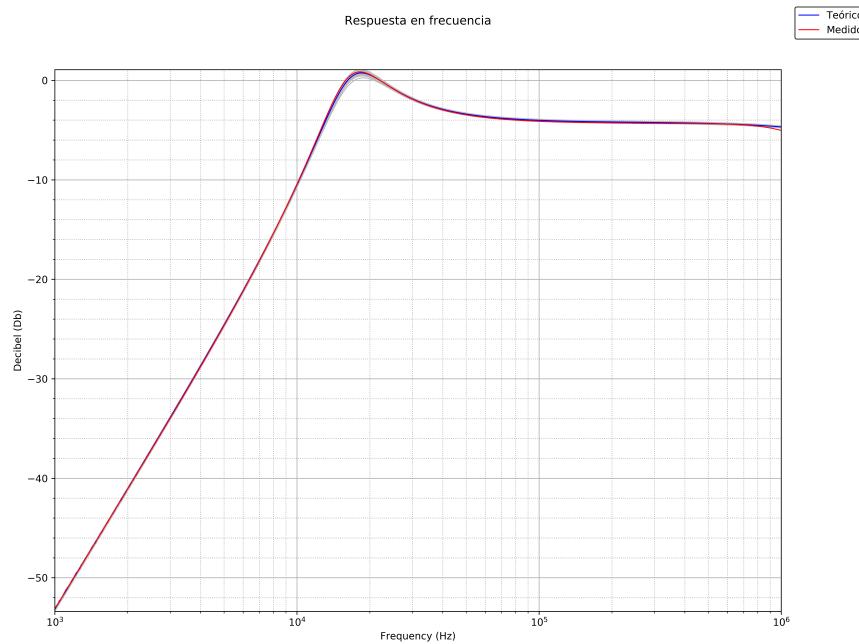


Figura 10: Cuarta etapa - Módulo

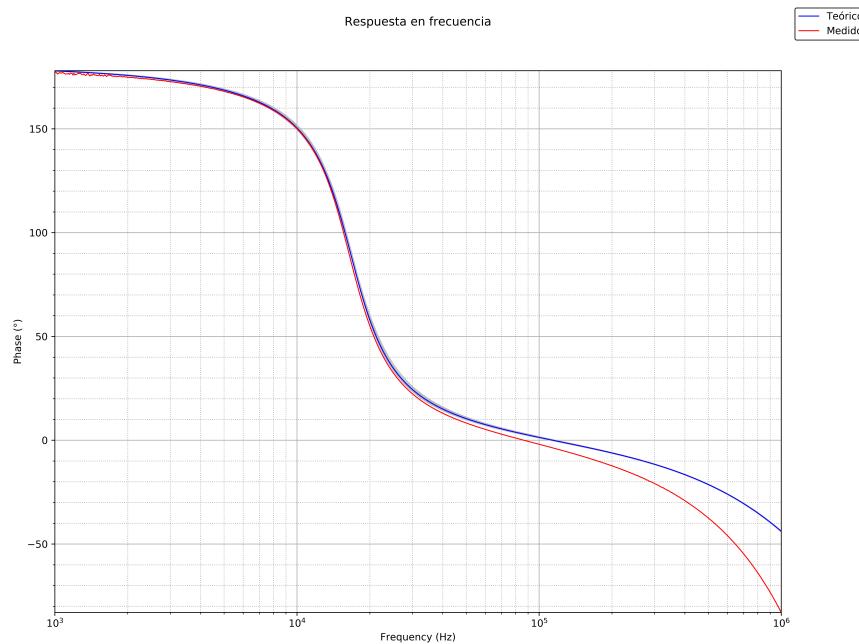


Figura 11: Cuarta etapa - Fase

4.5. Quinta etapa

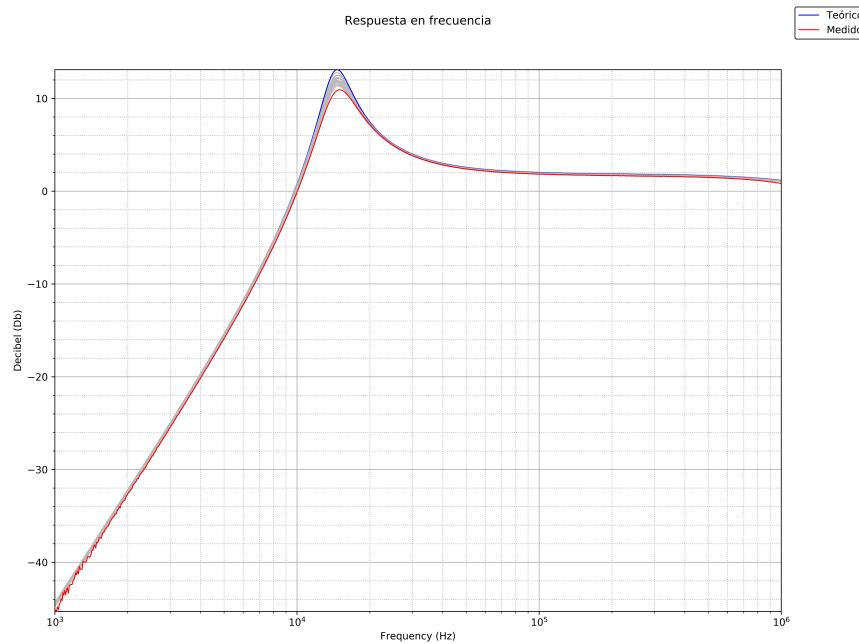


Figura 12: Quinta etapa - Módulo

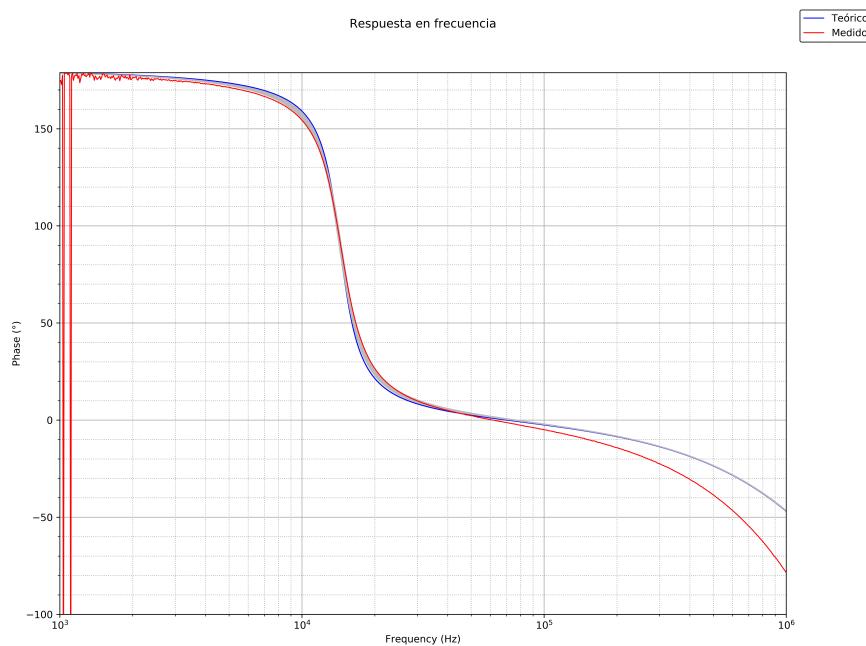


Figura 13: Quinta etapa - Fase

4.6. Sexta etapa

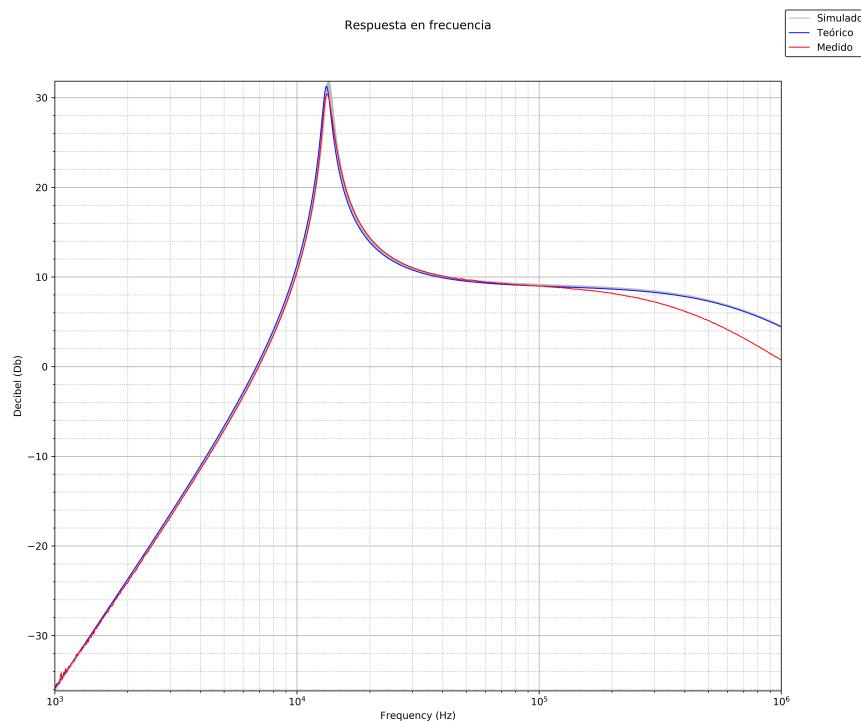


Figura 14: Sexta etapa - Módulo

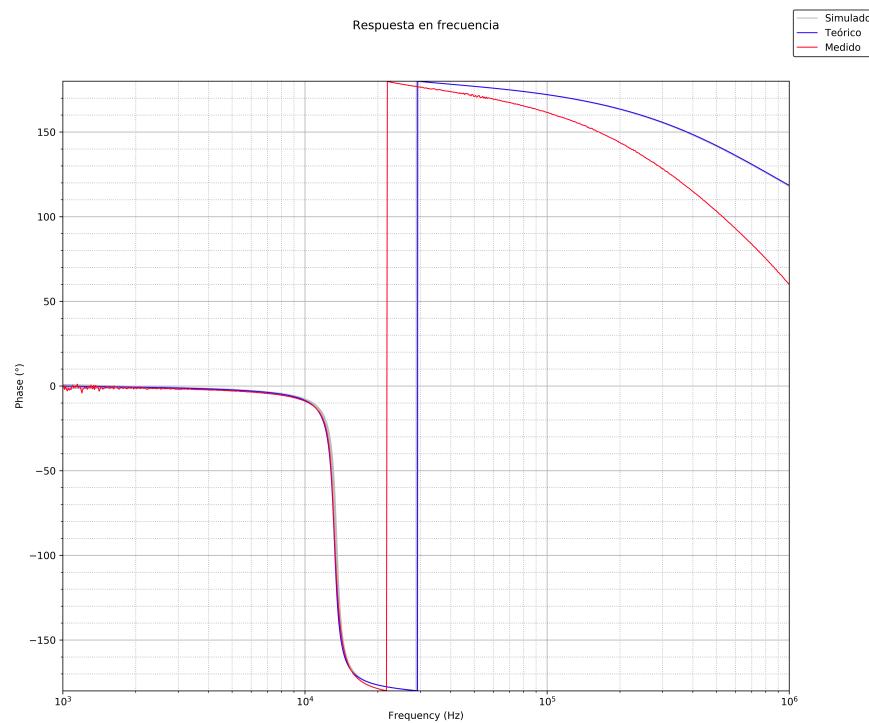


Figura 15: Sexta etapa - Fase

4.7. Filtro completo

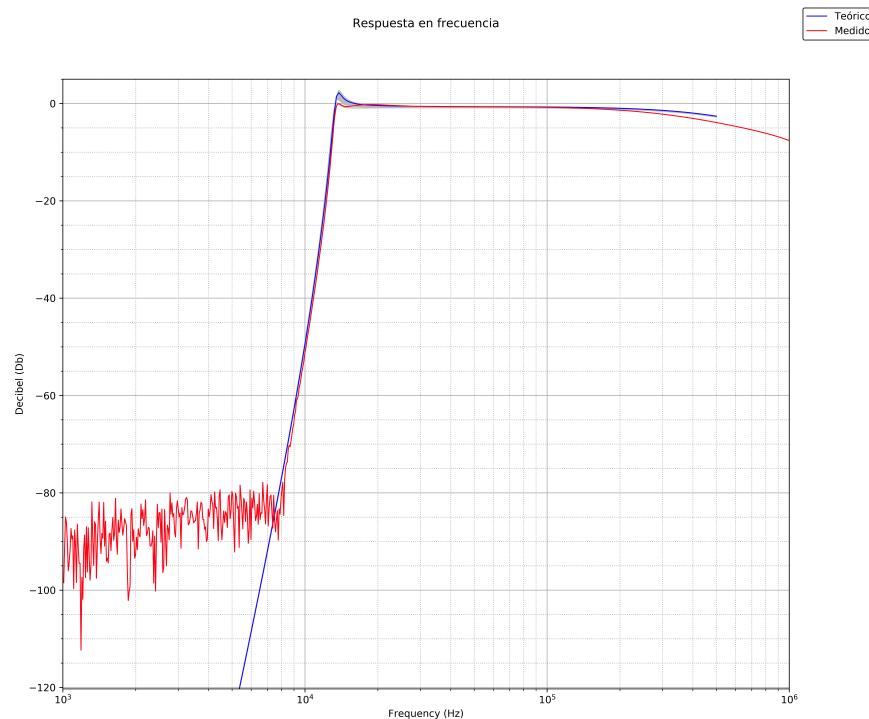


Figura 16: Filtro completo - Módulo

5. Conclusiones