

## 0.1. Introducción

En esta sección se implementó un filtro Band-Pass utilizando una aproximación **Chebyshev** e implementandola con celdas **Rauch**, el filtro a diseñar deberá cumplir con la siguiente plantilla.

<i>Pendiente</i>	$-40 \frac{dB}{dec}$
$f_p$	28kHz
$B$	$\frac{1}{10}$
$A_p$	3dB
<i>Filtro</i>	BP
$ Z_{in} $	$\geq 50k\Omega$

## 0.2. Aproximación de Chebyshev.

Para esta sección se utilizó la aproximación de **Chebyshev**, además se propuso una plantilla mas restrictiva, con el fin de asegurar el cumplimiento de la original.

Se despejó el valor de  $f_p^+$  y  $f_p^-$

$$f_0^2 = f_p^+ \cdot f_p^- \quad (1)$$

$$B = \frac{\Delta f_p}{f_0} \quad (2)$$

$$f_p^+ = 29.435kHz \quad f_p^- = 26.635kHz \quad (3)$$

Luego teniendo en cuenta que la pendiente originalmente es de 40dB por decada se tomo la frecuencia de atenuación acorde talque mantenga las condiciones de simetría, siendo estas:  $f_a^+ = 294.35kHz$  y  $f_a^- = 2.635kHz$ .

Siendo esta la plantilla final.

$f_s^-$	2.6635 kHz
$f_p^-$	26.635 kHz
$f_p^+$	29.435 kHz
$f_s^+$	294.35 kHz
$A_s$	40dB
$A_p$	1dB

Obteniendo la siguiente función transferencia:

$$H(s) = \frac{s}{\left(\frac{s}{23728.54}\right)^2 + s \cdot \frac{23728.54}{3.23} + 1} \cdot \frac{s}{\left(\frac{s}{33052.25}\right)^2 + s \cdot \frac{33052.25}{3.23} + 1} \quad (4)$$

al cual le corresponde la siguiente respues en frecuencia:

Y el siguiente diagrama de polos y ceros:

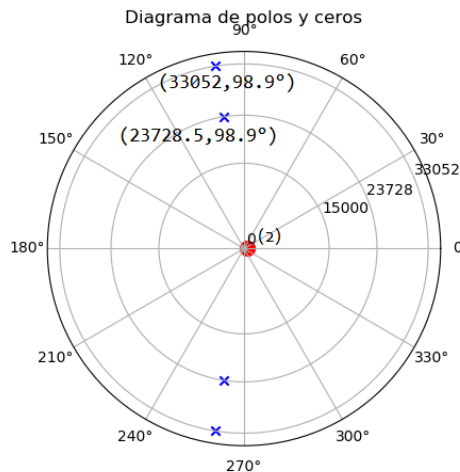


Figura 1: Diagrama Polos y Ceros

Teniendo los pares de polos conjugados un Q de 3.23

### 0.2.1. Elecciones de diseño

Se decidió armar etapas con celdas segundo orden en cascada dado a que el orden es 4. Para la asociación de polos se tomo criterio agrupar cada par de polos con 1 cero , agrupandolos de las siguiente forma.

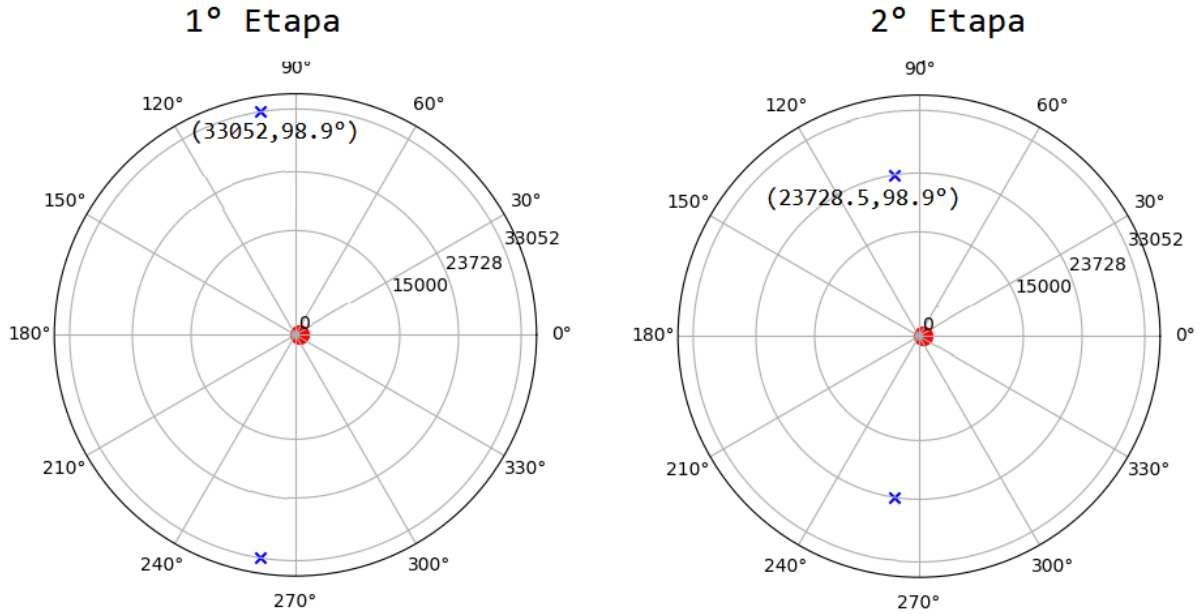


Figura 2: Diagrama Polos y Ceros para cada etapa

## 0.3. Celda Rauch.

### 0.3.1. Cálculo Analítico.

El circuito clásico para una celda Rauch pasa-banda (Deliyannis-Friend) es el siguiente:

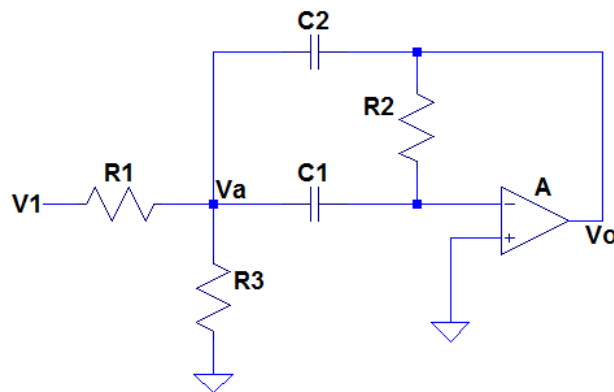


Figura 3: Circuito clásico celda Rauch Band-Pass(Deliyannis-Friend) .

De aquí, planteando los nodos y considerando el amplificador operacional ideal se pueden hallar las siguientes ecuaciones:

$$\frac{V_{out}}{R_2} = -V_a \cdot sC_1 \quad (5)$$

$$\frac{V_{in} - V_a}{R_1} + (V_{out} - V_a) \cdot sC_2 - V_a \cdot sC_1 = \frac{V_a}{R_3} \quad (6)$$

De aquí se puede despejar la función transferencia como:

$$H(s) = \frac{s \cdot C_1 R_2 R_3}{s^2 \cdot R_1 R_2 C_2 C_1 + s \cdot (C_3 R_1 R_3 + R_1 C_2 R_3) + R_3 + R_1} = \frac{H_0 \cdot \frac{s}{\omega_0 Q}}{\frac{s^2}{\omega_0^2} + \frac{s}{\omega_0 Q} + 1} \quad (7)$$

De aquí se pueden extraer los parámetros típicos del diseño de filtros siendo los siguientes:

$$H_0 = \frac{R_2 C_2}{R_1 C_2 + C_1 R_1} \quad (8)$$

$$\omega_0^2 = \frac{R_1 + R_3}{R_1^2 R_2 C_2 C_1} \quad (9)$$

$$Q = \frac{\sqrt{1 + \frac{R_3}{R_1}}}{\sqrt{\frac{R_3 C_1}{R_2 C_2}} + \sqrt{\frac{R_3 C_2}{R_2 C_1}}} \quad (10)$$

Luego para hacer facil la elección de componentes se suele tomar  $C_1 = C_2$ , por culpa de esto para obtener un Q relativamente alto se necesitan valores de resistencia altos, lo cual es un problema. Para solucionar dicho problema se hizo una modificación a la celda, incluyendo una realimentación positiva, permitiendo obtener un Q de mayor valor. La celda Rauch con Q mejorado le corresponde el siguiente circuito.

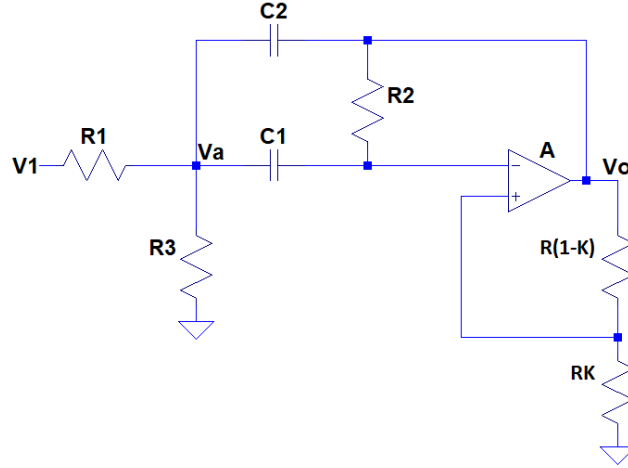


Figura 4: Circuito celda Rauch Band-Pass con Q enhancemnte.

para resolver el circuito basta con plantear los siguientes nodos:

$$\frac{V_{out} - K \cdot V_{out}}{R_2} = (K \cdot V_{out} - V_a) \cdot sC_1 \quad (11)$$

$$\frac{V_{in} - V_a}{R_1} + (V_{out} - V_a) \cdot sC_2 + (K \cdot V_{out} - V_a) \cdot sC_1 = \frac{V_a}{R_3} \quad (12)$$

Resolviendo la transferencia se llega a la siguiente expresión:

$$H(s) = \frac{1}{1 - K} \cdot \frac{H_0 \cdot \frac{s}{\omega_0 Q_0}}{\frac{s^2}{\omega_0^2} + \frac{s}{\omega_0 Q} + 1} \quad (13)$$

Donde  $Q_0$  es una constante de valor 1.5<sup>1</sup>, y el K es utilizado para ajustar el valor de Q del circuito, dado que quedarán

<sup>1</sup>[1]R. Schaumann, H. Xiao, M. Van Valkenburg, M. Van Valkenburg and M. Van Valkenburg, Analog filter design. New York: Oxford University Press, 2011, pp. 140-144.

así definidos los parámetros del filtro:

$$\omega_0^2 = \frac{R_1 + R_3}{R_1 R_3 R_2 C_2 C_1} \quad (14)$$

$$Q = \frac{Q_0}{1 - 2Q_0^2 \cdot \frac{K}{1-K}} \quad (15)$$

$$H_0 = \frac{R_3 R_2}{2(K-1)R_1 R_3 + K(R_1 + R_3)R_2} \quad (16)$$

### 0.3.2. Elecciones de diseño

## Tabla sensibilidades

En base a esta tabla se tomo especial cuidado en la elección de componentes y en el matcheo de impedancias. Los componentes utilizados fueron los siguientes:

Componente	1er Etapa	Composición	2da Etapa	Composición
$R_1$	$7.3k\Omega$	$10k//27k\Omega$	$5.24k\Omega$	$5.6k//82k\Omega$
$R_2$	$5.56k\Omega$	$5.6k//680k\Omega$	$3.99k\Omega$	$82 + 3.9k\Omega$
$R_3$	$1.43k\Omega$	$1.5k//33k\Omega$	$1.03k\Omega$	$27 + 1k\Omega$
$R_4$	$3.49k\Omega$	$3.9k//33k\Omega$	$3.49k\Omega$	$3.9k//33k\Omega$
$R_5$	$1k\Omega$	$1k\Omega$	$1k\Omega$	$1k\Omega$
$C_1$	2.2 nF	2.2 nF	2.35 nF	(4.7+4.7) nF
$C_2$	2.2 nF	2.2 nF	2.35 nF	(4.7+4.7) nF

Se calculó el error porcentual asociado a la aproximación de la resistencias viendose en la siguiente tabla.

Error Porcentual	1er Etapa	2da Etapa
$R_1$	0.1 %	0.038 %
$R_2$	0.1 %	0.2 %
$R_3$	0.4 %	0.1 %
$R_4$	0.1 %	0.1 %
$R_5$	$\approx 0$ %	$\approx 0$ %
$C_1$	$\approx 0$ %	$\approx 0$ %
$C_2$	$\approx 0$ %	$\approx 0$ %

Cabe destacar que todas las impedancias que fueron colocadas en el circuito fueron elegidas entre varias de su mismo tipo, con la finalidad de poner impedancias que sean realmente de los valores deseados.

### 0.3.3. Acoplamiento de Impedancias.

Para que ambas etapas no se carguen entre si la impedancia de entrada de la segunda etapa debe ser mucho mayor a la de salida de la primera, para lo siguiente se obtuvieron las impedancias de entrada de ambas celdas, incluyendo la de salida de la primera.

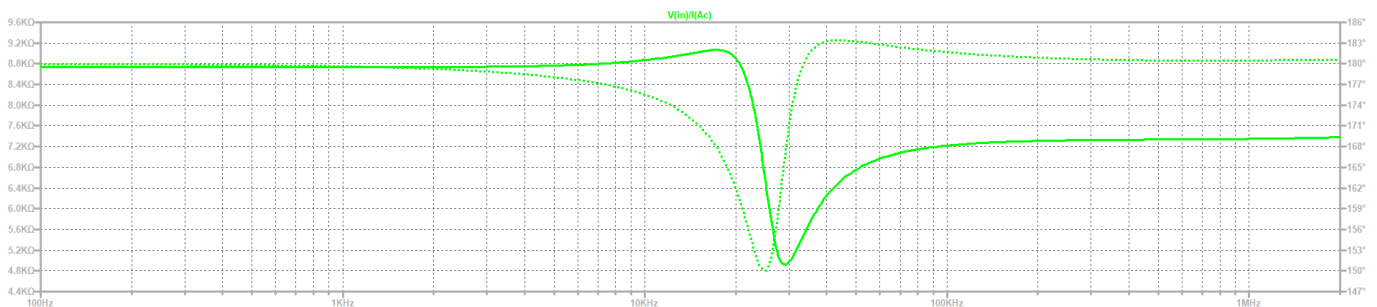


Figura 5: Impedancia de entrada 1er etapa.

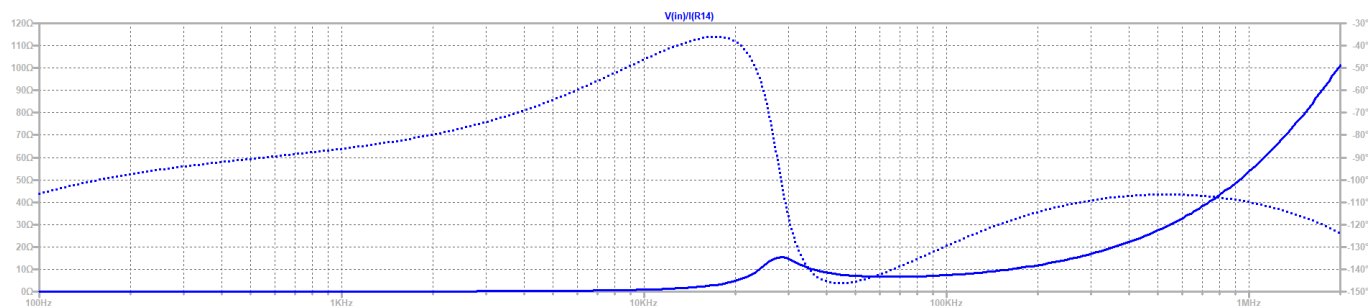


Figura 6: Impedancia de salida 1er etapa.

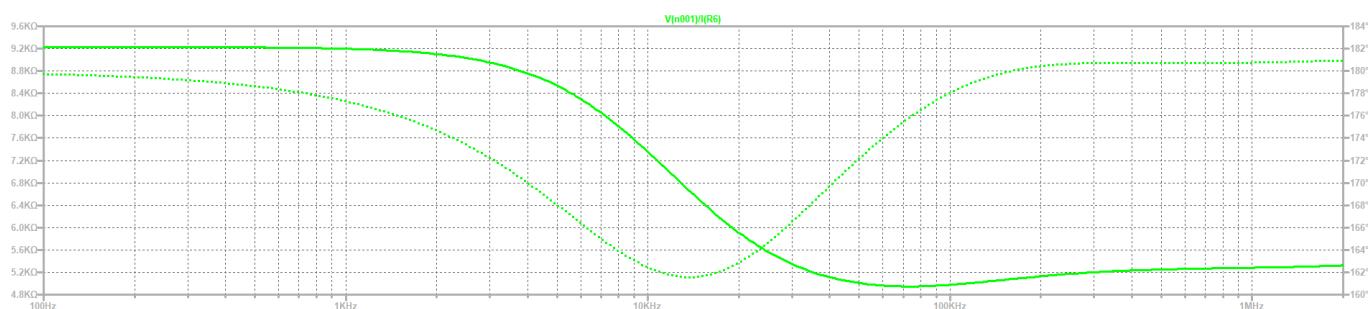
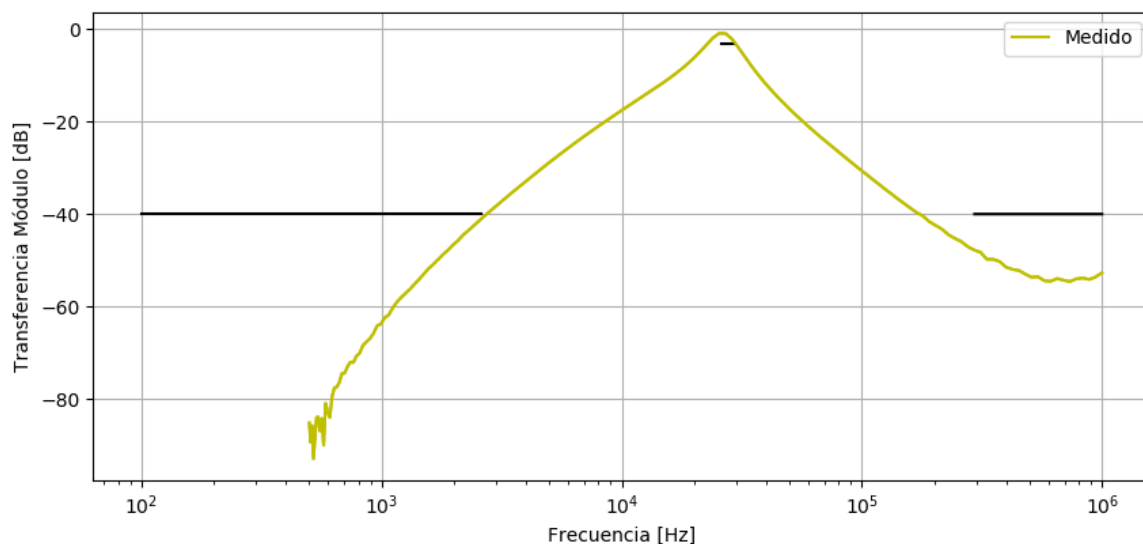
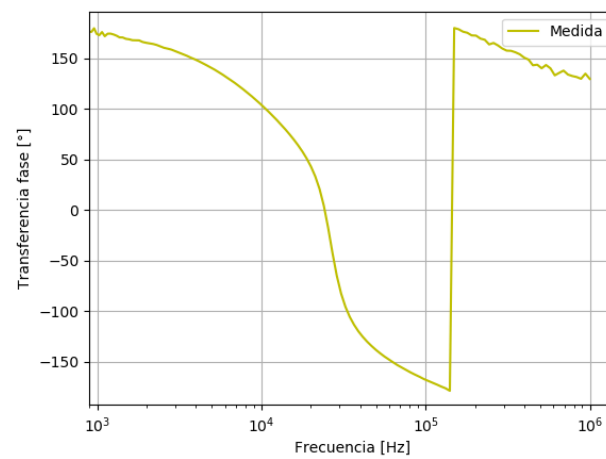


Figura 7: Impedancia de entrada 2da etapa.

#### 0.4. Respuesta en Frecuencia.

Se realizó un análisis de Montecarlo a la respuesta en frecuencia del circuito, utilizando una tolerancia de las resistencias al 1 % y capacitores al 10 % obteniendo la siguiente dispersión. También se midió la respuesta en frecuencia del filtro y se cotejó con la simulación.





#### 0.4.1. Etapas.

Se realizaron 2 etapas, ambas siendo el mismo tipo de celda, pero con distintos parámetros.

#### 0.4.2. Filtro definitivo.