



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE AGUASCALIENTES

Universidad Autónoma de Aguascalientes

Departamento de ingeniería biomédica

Ingeniería Robótica

Biomecánica y bioinstrumentación

8vo Semestre Grupo: A

PRÁCTICA 4. FILTROS ANALÓGICOS

Integrantes:

- [REDACTED]
- [REDACTED]
- Evelyn Lázaro Guerra
- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]

Profesor:

Alfredo Ramírez García

Fecha de entrega: 16 de mayo del 2025

FILTROS ANALÓGICOS

Objetivo

Analizar y comprobar experimentalmente el comportamiento de los filtros analógicos activos pasa bajas, pasa altas y de ranura, mediante el diseño, simulación y medición de sus respuestas en frecuencia y voltaje.

Introducción

En la electrónica analógica, los filtros activos son circuitos esenciales que permiten modificar el contenido en frecuencia de una señal eléctrica. Estos filtros están formados por componentes pasivos (resistencias y capacitores) y un elemento activo, generalmente un amplificador operacional (OpAmp), que proporciona ganancia, mejora la estabilidad y elimina la necesidad de inductores voluminosos. Gracias a estas características, los filtros activos son ampliamente utilizados en aplicaciones como sistemas de audio, procesamiento de señales, instrumentación médica, comunicaciones, entre otros.

En esta práctica se estudiarán tres tipos fundamentales de filtros analógicos activos: **pasa bajas, pasa altas y de ranura** (también conocido como **filtro notch o elimina banda**). A continuación, se describen sus características principales:

- **Filtro Pasa Bajas (Low-Pass Filter).** Este tipo de filtro permite el paso de señales de **baja frecuencia** mientras atenúa progresivamente las **frecuencias altas** por encima de una frecuencia de corte determinada, es útil para eliminar ruido de alta frecuencia, suavizar señales y recuperar señales lentes en sistemas de adquisición de datos.
- **Filtro Pasa Altas (High-Pass Filter).** Contrario al pasa bajas, este filtro deja pasar señales de **alta frecuencia** y atenúa aquellas con **baja frecuencia**, su función es eliminar componentes de corriente continua (DC) o eliminar ruido de baja frecuencia (como zumbido de red eléctrica o desplazamientos de señal).
- **Filtro de Ranura (Notch o Band-Stop Filter).** Este filtro está diseñado para **rechazar una banda estrecha de frecuencias específicas**, mientras permite el paso de las frecuencias por encima y por debajo de esa banda.

Durante la práctica, se diseñarán circuitos para cada uno de estos filtros, se simularán sus respuestas en el dominio de la frecuencia y se implementarán físicamente para evaluar su comportamiento con señales reales. Esto permitirá comprender cómo responden estos filtros ante distintos tipos de señales y cómo pueden ser utilizados para mejorar o limpiar señales en aplicaciones prácticas.

Materiales

Cantidad	Componente
1	Osciloscopio
1	Fuente de voltaje triple
1	Generador de señales
1	Protoboard
Varios	Cable para protoboard
2	Caimán
Varios	Capacitores
Varios	Resistencias
1	Opamp TL084

Tabla 1. Lista de componentes

Metodología

El desarrollo de esta práctica se llevó a cabo mediante el diseño, cálculo, simulación y montaje de tres filtros analógicos activos: pasa bajas, pasa altas y de ranura. Cada uno de estos filtros fue implementado utilizando amplificadores operacionales y componentes pasivos discretos, con el objetivo de analizar su comportamiento en el dominio de la frecuencia.

A continuación, se describen los procedimientos seguidos para la construcción y análisis de cada filtro.

1. Filtro Pasa Bajas

El primer filtro implementado fue el filtro pasa bajas en **configuración Sallen-Key**. Para su diseño, se determinaron los valores adecuados de resistencia y capacitancia que definen la frecuencia de corte deseada, $f_c = 500\text{Hz}$, utilizando las ecuaciones correspondientes:

$$Q = 0.5 \sqrt{\frac{C_2}{C_1}} = \frac{\sqrt{2}}{2} = 0.7071$$

Ecuación 1. Factor de calidad para pasa bajas.

El factor de calidad Q determina el nivel de resonancia o el pico en la respuesta de frecuencia cerca de la frecuencia de corte. Para un comportamiento críticamente amortiguado (sin pico), se suele usar $Q = 0.707$, que corresponde al filtro de Butterworth (respuesta plana en banda pasante).

$$f_c = K_c f_p$$

Ecuación 2. Frecuencia de corte para pasa bajas

Esta ecuación (2) ajusta la frecuencia de corte usando un factor de corrección K_c , que depende del tipo de filtro y del valor de Q. Además, se propone $K_c = 1$ como factor de corrección unitario, utilizado cuando no se necesita compensar la frecuencia de corte (como en el filtro pasa bajas Sallen-Key con ganancias unitarias).

$$f_p = \frac{1}{2\pi R \sqrt{C_1 C_2}}$$

Ecuación 3. Frecuencia de polo para pasa bajas.

La ecuación 3 corresponde a la frecuencia de polo o frecuencia natural del sistema, definida por los valores de resistencias R y capacitores C1, C2.

Para encontrar los valores de resistencia y capacitancia, primero se propuso **C1=0.2μF** y **C2=0.1μF**, asegurándonos de que se cumpla ecuación 1, luego se despejó R de la ecuación 3, dando como resultado que, para este filtro, **R=1kΩ**.

Después de realizar los cálculos necesarios se construyó el circuito de la figura 1 utilizando un amplificador operacional, se simuló su respuesta en frecuencia y se procedió a su montaje en protoboard para realizar las mediciones experimentales.

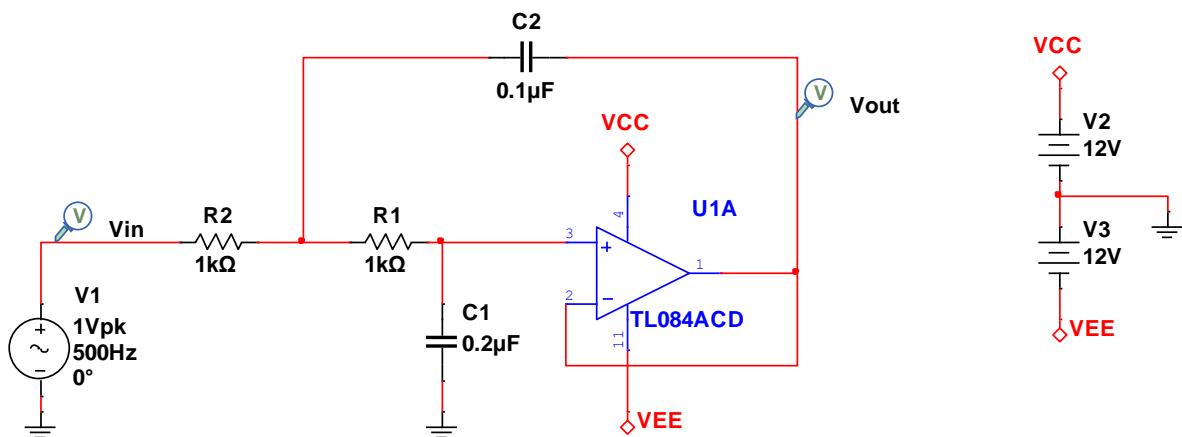


Figura 1. Diagrama de conexiones para el filtro pasa bajas

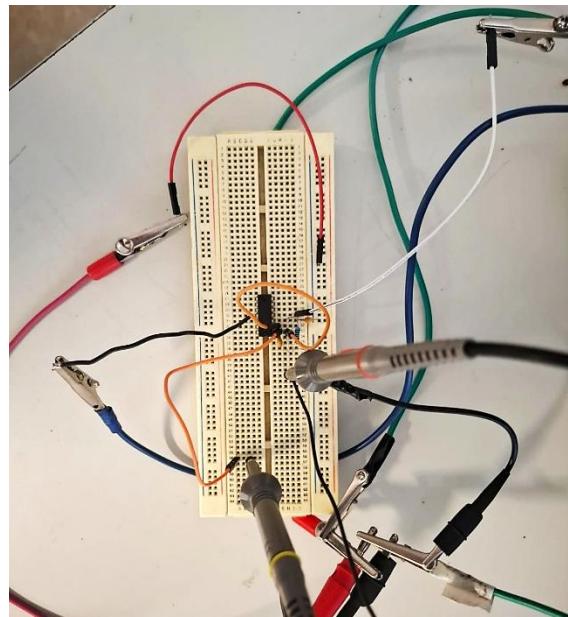


Figura 2. Filtro pasa bajas armado en protoboard

El opamp se alimentó con $\pm 12V$, la señal de entrada que se usó es de tipo senoidal, con $V_p = 1V$, y frecuencia de 500Hz.

2. Filtro pasa altas

Se continuó con el filtro pasa altas, para este se requiere una frecuencia de corte de 100Hz, $f_c = 100Hz$, primero se propusieron las resistencias **R1=1kΩ** y **R2=2kΩ**, y el valor de los capacitores se calculó con las ecuaciones 5 y 6, al igual que en el filtro pasa bajas, también se usó **K_c = 1** como factor de corrección unitario.

$$Q = 0.5 \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}$$

Ecuación 4. Factor de calidad para pasa altas.

$$f_c = \frac{f_p}{K_c}$$

Ecuación 5. Frecuencia de corte para pasa altas.

$$f_p = \frac{1}{2\pi C \sqrt{R_1 R_2}}$$

Ecuación 6. Frecuencia de polo para el pasa altas.

Despejando de la ecuación 4:

$$f_p = \frac{f_c}{K_c} = \frac{100Hz}{1} = 100Hz$$

Despejando de la ecuación 6:

$$C = \frac{1}{2\pi f_p \sqrt{R_1 R_2}} = \frac{1}{2\pi(100)\sqrt{(1000)(2000)}} = 1.1\mu F$$

Por lo tanto, **C1 = C2 = 0.1μF**. El circuito para este filtro se muestra en la figura 3 y la conexión en protoboard en la figura 4.

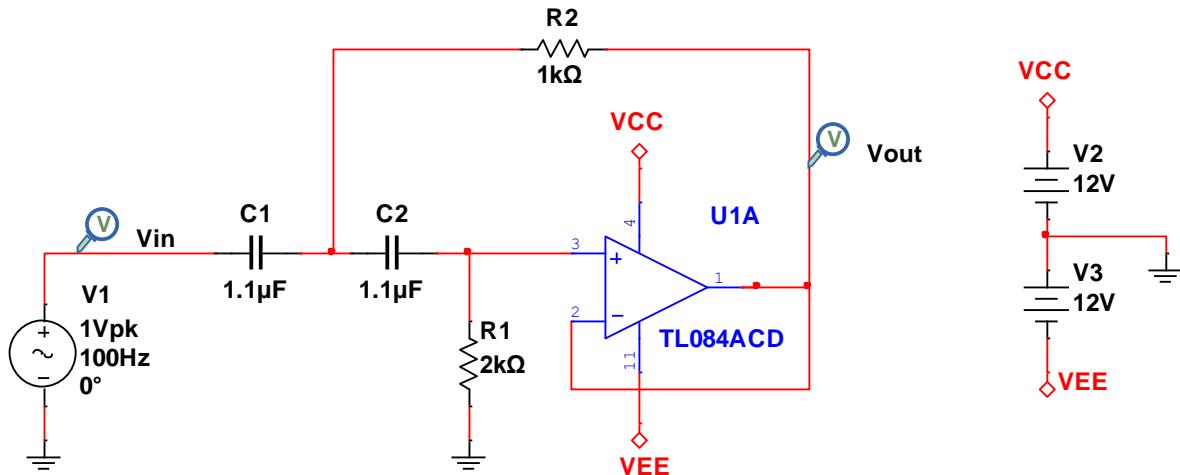


Figura 3. Diagrama de conexiones para el filtro pasa altas.

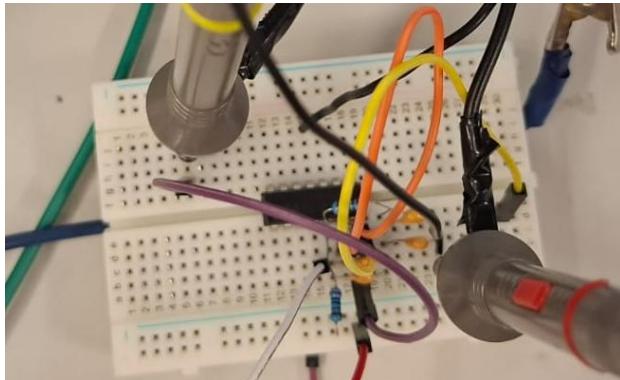


Figura 4. Filtro pasa altas armado en protoboard.

3. Filtro de Ranura

Por último, para el diseño del **filtro de ranura (notch filter)** activo de **segundo orden**, se propusieron los valores de capacitancia **C = C1 = C2 = 0.1μF** y **C3 = 2C = 0.2μF** y las resistencias se encontraron con las ecuaciones 7 y 8.

Para la ganancia del amplificador operacional en configuración no inversora. Se requiere que $G < 2$ para que el filtro tenga una respuesta estable y un valor real de Q.

$$G = \frac{R_2}{R_1} + 1, \text{ considere } G < 2$$

Ecuación 7. Ganancia.

La frecuencia de rechazo o “notch” del filtro, es donde se produce la máxima atenuación. Los valores de R y C determinan la ubicación de esa frecuencia, en este caso se requiere **f_o = 60Hz**.

$$f_o = \frac{1}{2\pi RC}$$

Ecuación 8. Frecuencia de rechazo.

El factor de calidad determina cuán angosta o ancha es la banda de frecuencias que se atenúan. A mayor Q, más angosta y selectiva es la ranura. Esta expresión está relacionada directamente con la ganancia del amplificador.

$$Q = \frac{0.5}{2 - G}$$

Ecuación 9. Factor de calidad para filtro ranura.

Proponiendo **G = 1.5** y despejando de la ecuación 7:

$$\frac{R_2}{R_1} = G - 1 = 1.5 - 1 = 0.5 = \frac{5}{10}$$

Por lo tanto, **R1 = 10kΩ** y **R2 = 5kΩ**.

Despejando de la ecuación 8:

$$R = \frac{1}{2\pi f_o C} = \frac{1}{2\pi(60)(0.1\mu)} = 26525$$

Por lo que, **R=R3=R4=26.52kΩ**. Y **R6=R/2=13.26kΩ**.

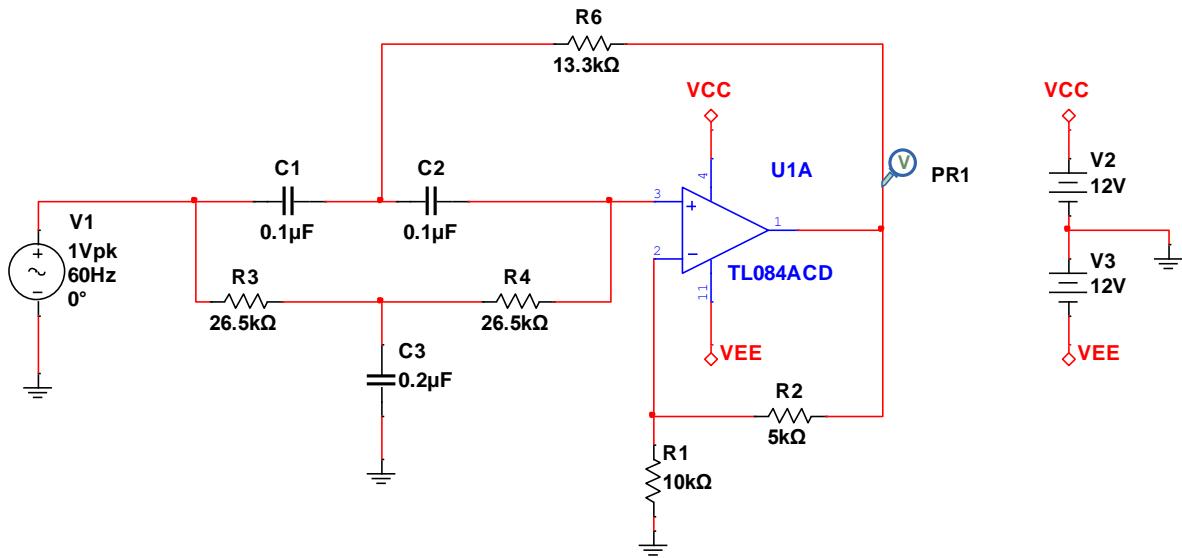


Figura 5. Diagrama de conexiones para el filtro de ranura.

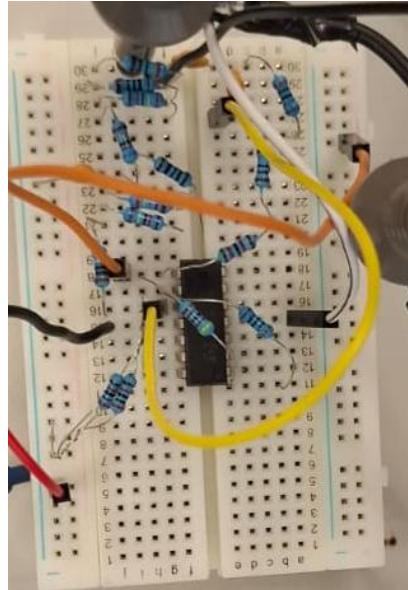
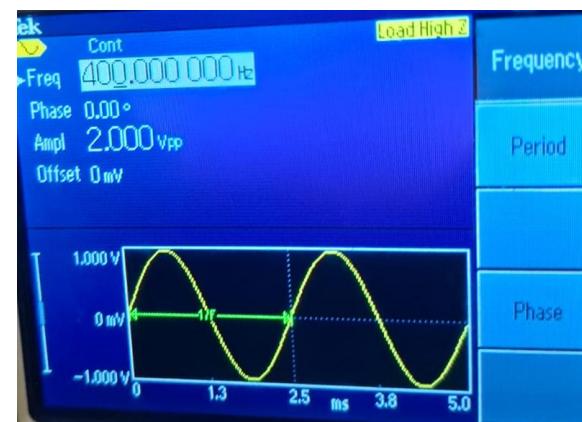
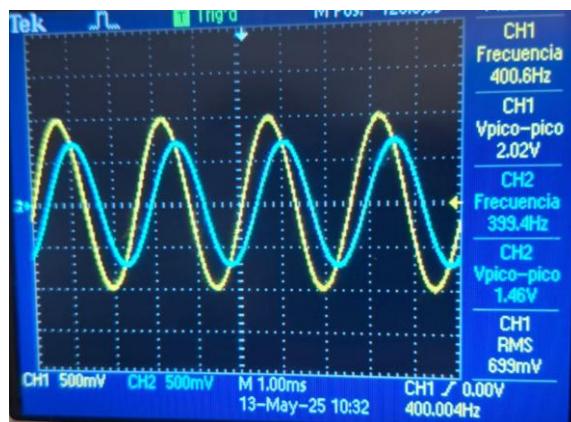
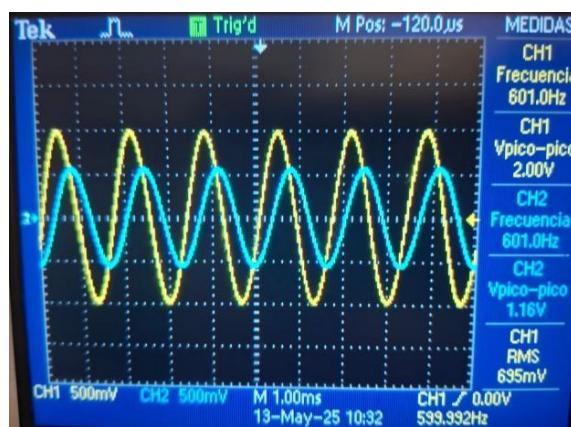
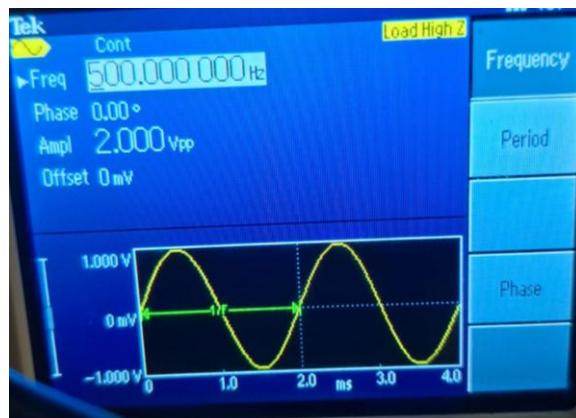
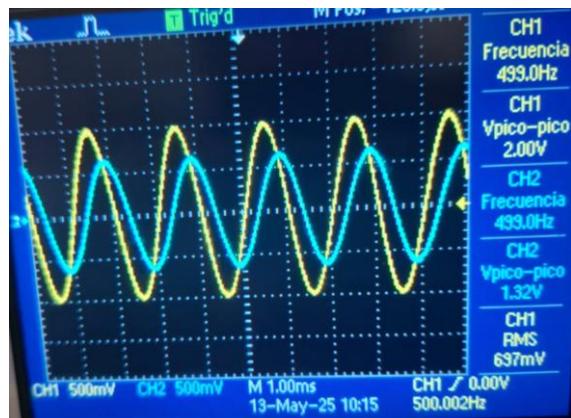


Figura 6. Filtro de ranura armado en protoboard.

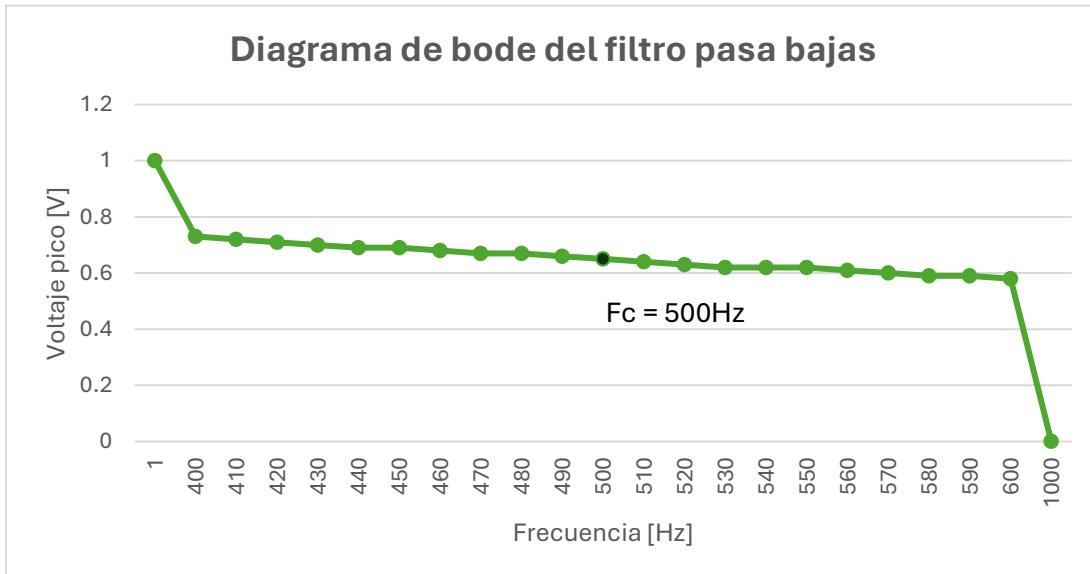
Resultados

Filtro pasa bajas



Frec	Vpp	Vp
1	2	1
400	1.46	0.73
410	1.44	0.72
420	1.42	0.71
430	1.4	0.7
440	1.38	0.69
450	1.38	0.69
460	1.36	0.68
470	1.34	0.67
480	1.34	0.67
490	1.32	0.66
500	1.3	0.65
510	1.28	0.64
520	1.26	0.63
530	1.24	0.62
540	1.24	0.62
550	1.24	0.62
560	1.22	0.61
570	1.2	0.6
580	1.18	0.59
590	1.18	0.59
600	1.16	0.58
1000	0.002	0.001

Tabla 2. Mediciones experimentales del pasa bajas.



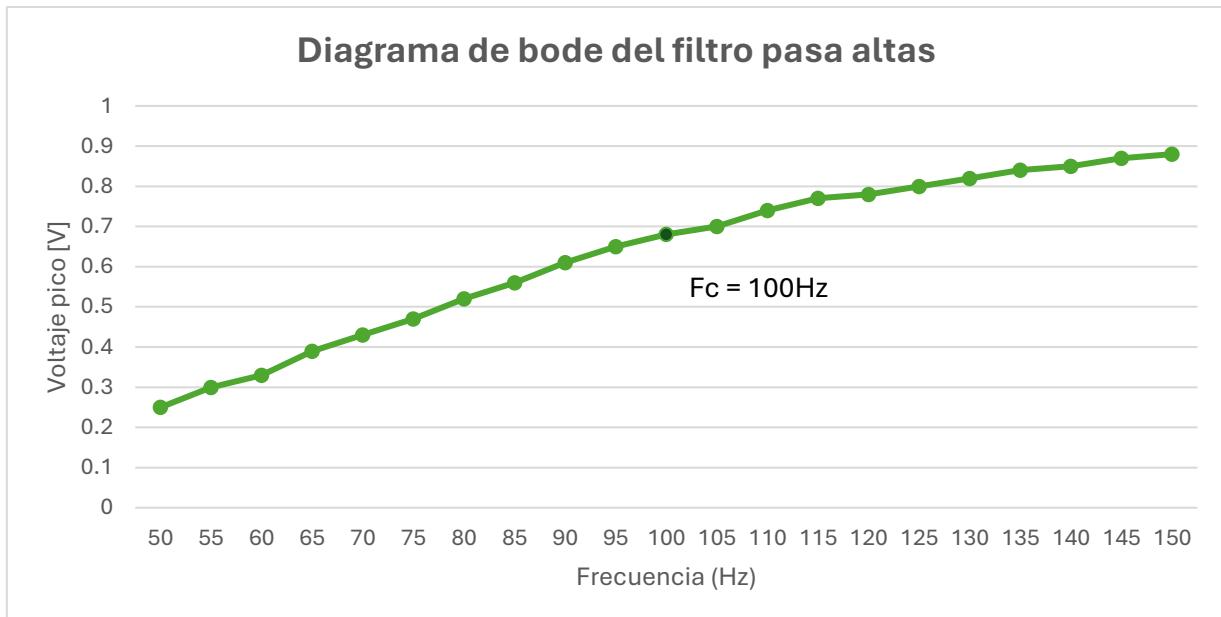
Filtro pasa altas



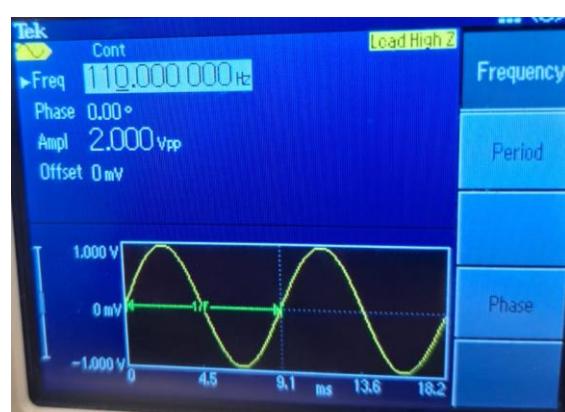
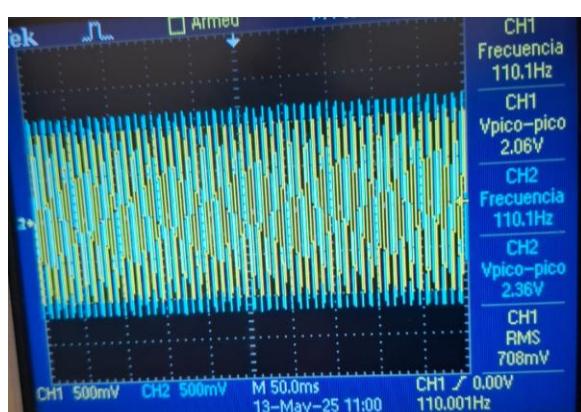
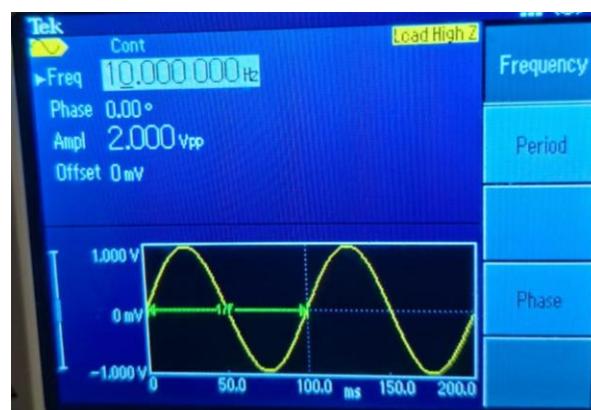
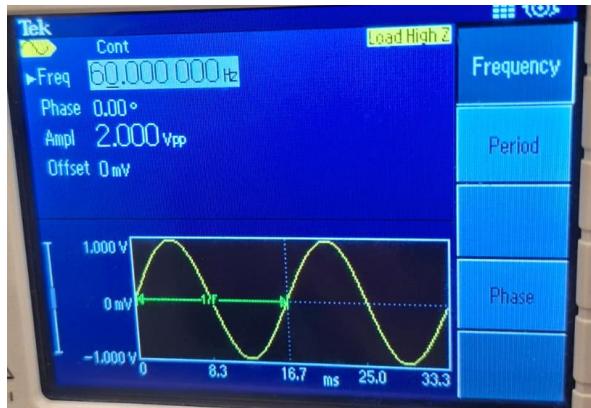
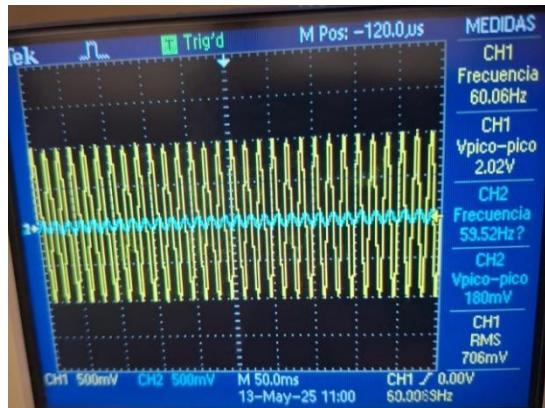
Frec	Vpp	Vp
50	0.5	0.25
55	0.6	0.3
60	0.66	0.33
65	0.78	0.39

70	0.86	0.43
75	0.94	0.47
80	1.04	0.52
85	1.12	0.56
90	1.22	0.61
95	1.3	0.65
100	1.36	0.68
105	1.4	0.7
110	1.48	0.74
115	1.54	0.77
120	1.56	0.78
125	1.6	0.8
130	1.64	0.82
135	1.68	0.84
140	1.7	0.85
145	1.74	0.87
150	1.76	0.88

Tabla 3. Mediciones experimentales del pasa altas.



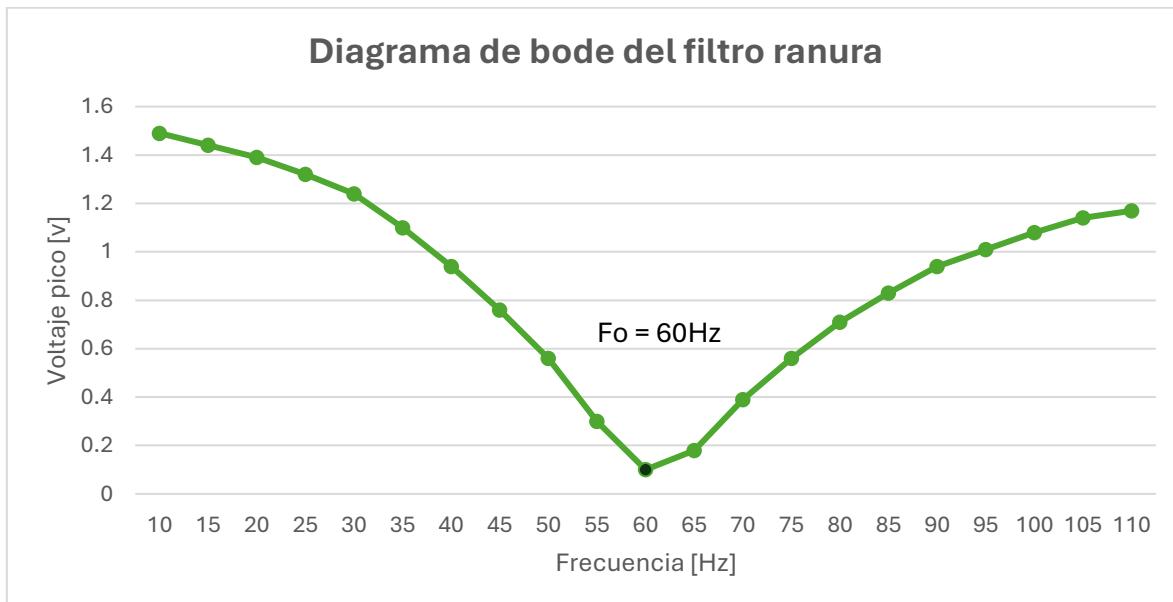
Filtro Ranura



Frec	Vpp	Vp
10	2.98	1.49
15	2.88	1.44
20	2.78	1.39
25	2.64	1.32
30	2.48	1.24

35	2.2	1.1
40	1.88	0.94
45	1.52	0.76
50	1.12	0.56
55	0.6	0.3
60	0.2	0.1
65	0.36	0.18
70	0.78	0.39
75	1.12	0.56
80	1.42	0.71
85	1.66	0.83
90	1.88	0.94
95	2.02	1.01
100	2.16	1.08
105	2.28	1.14
110	2.34	1.17

Tabla 4. Mediciones experimentales del filtro ranura.



Conclusión

Los resultados obtenidos en la práctica permitieron verificar correctamente el funcionamiento de los tres tipos de filtros analógicos activos de segundo orden: pasa bajas, pasa altas y de ranura (notch), implementados en configuración Sallen-Key. Se logró observar la respuesta esperada de cada filtro en función de la frecuencia, lo cual valida que el diseño y montaje fueron correctos. Por lo tanto, se puede concluir que el objetivo de la práctica fue cumplido satisfactoriamente.

En caso del filtro de ranura, la respuesta mostró una atenuación clara en la frecuencia de rechazo determinada, aunque se identificó una leve desviación en la frecuencia central, probablemente debido a tolerancias en los componentes pasivos utilizados (resistencias y capacitores).

Durante el desarrollo de la práctica, uno de los principales problemas encontrados fue la dificultad para obtener capacitores con los valores exactos requeridos para alcanzar las frecuencias teóricas. Para resolverlo, se optó por utilizar combinaciones en paralelo o en serie de capacitores, y en algunos casos, se recalcularon los valores de resistencias para compensar. Otro inconveniente fue el ruido presente en las mediciones de señal de salida, especialmente en frecuencias altas. Esto se resolvió mejorando las conexiones a tierra del circuito y verificando la correcta alimentación del amplificador operacional TL084, así como utilizando cables de menor longitud en el protoboard para minimizar interferencias. Finalmente, se presentó un desfase inesperado en la salida del filtro pasa altas, el cual fue corregido revisando las conexiones del amplificador operacional y asegurando que no se estuviera invirtiendo accidentalmente la entrada no inversora con la inversora.

En general, la práctica permitió aplicar de manera efectiva los conceptos teóricos sobre filtros activos y reforzar el análisis de circuitos en el dominio de la frecuencia.

Tabla de participación

Integrantes.	Colaboración.
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]

[REDACTED]	[REDACTED] AÑO
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]

Bibliografía

(N.d.). Gob.Pe. Retrieved May 14, 2025, from https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/index.php/Record/UCSP_2f509de84443b64a4329f6ed2e8c95c9

Electronica, W. (2019, January 29). Filtros Rechaza banda. *Blogspot.com*. <https://wilaebaelectronica.blogspot.com/2017/01/filtros-rechaza-banda.html>

Electronica, W. (2018b, September 25). Filtro Pasa bajos Activo de 2do Orden MFB. *Blogspot.com*. <https://wilaebaelectronica.blogspot.com/2017/01/filtro-pasa-bajos-activo-de-2do-orden-mfb.html>

Electronica, W. (2018a, September 23). Filtro Pasa altos Activo de 2do Orden Sallen Key. *Blogspot.com*. <https://wilaebaelectronica.blogspot.com/2017/01/filtro-pasa-altos-activo-de-2do-orden-sallen-key.html>

Anexos



TL084

General purpose JFET quad operational amplifier

Features

- Wide common-mode (up to V_{CC}^+) and differential voltage range
- Low input bias and offset current
- Output short-circuit protection
- High input impedance JFET input stage
- Internal frequency compensation
- Latch up free operation
- High slew rate: 16V/ μ s (typ)

Description

The TL084, TL084A and TL084B are high-speed JFET input quad operational amplifiers incorporating well matched, high voltage JFET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

The devices feature high slew rates, low input bias and offset currents, and low offset voltage temperature coefficient.

