

LABORATORIO DE TEORÍA DE COMUNICACIONES 1 – PARTE PRÁCTICA
TEMA: SISTEMAS LINEALES E INVARIANTES EN EL TIEMPO

2024



HOJA DE LABORATORIO 4

¹ SISTEMAS LINEALES E INVARIANTES EN EL TIEMPO

Integrantes

NOMBRES Y APELLIDOS	CÓDIGO	GRUPO
Christopher Orlando Terrones Peña	20182048	1
Luis Salvador Yábar Reaño	20200408	1

ACTIVIDADES		PUNTAJE
Experiencia 1	Análisis de filtros ideales y reales	2 puntos
Experiencia 2	Análisis de un filtro RC pasa bajos	2 puntos
Experiencia 3	Análisis de un filtro RC pasa altos	2 puntos
Experiencia 4	Filtrado de señales de audio	1 punto
Conclusiones y Observaciones		1 punto

CORREGIDO POR	NOTA
<i>Nombre del JP</i>	0.0/8.0

6/8



El contenido de esta guía es de carácter estrictamente personal y aplicable solo para el curso de Teoría de Comunicaciones 1 (TEL133). Cualquier tipo de plagio será sancionado de acuerdo con el reglamento disciplinario de la PUCP.

¹ NOTA IMPORTANTE: CONSULTE A LOS JEFES DE PRÁCTICA ANTE CUALQUIER DUDA SOBRE EL MANEJO DE LOS EQUIPOS Y LAS CONEXIONES.

EXPERIENCIA 1: Análisis de filtros ideales y reales (2 puntos)



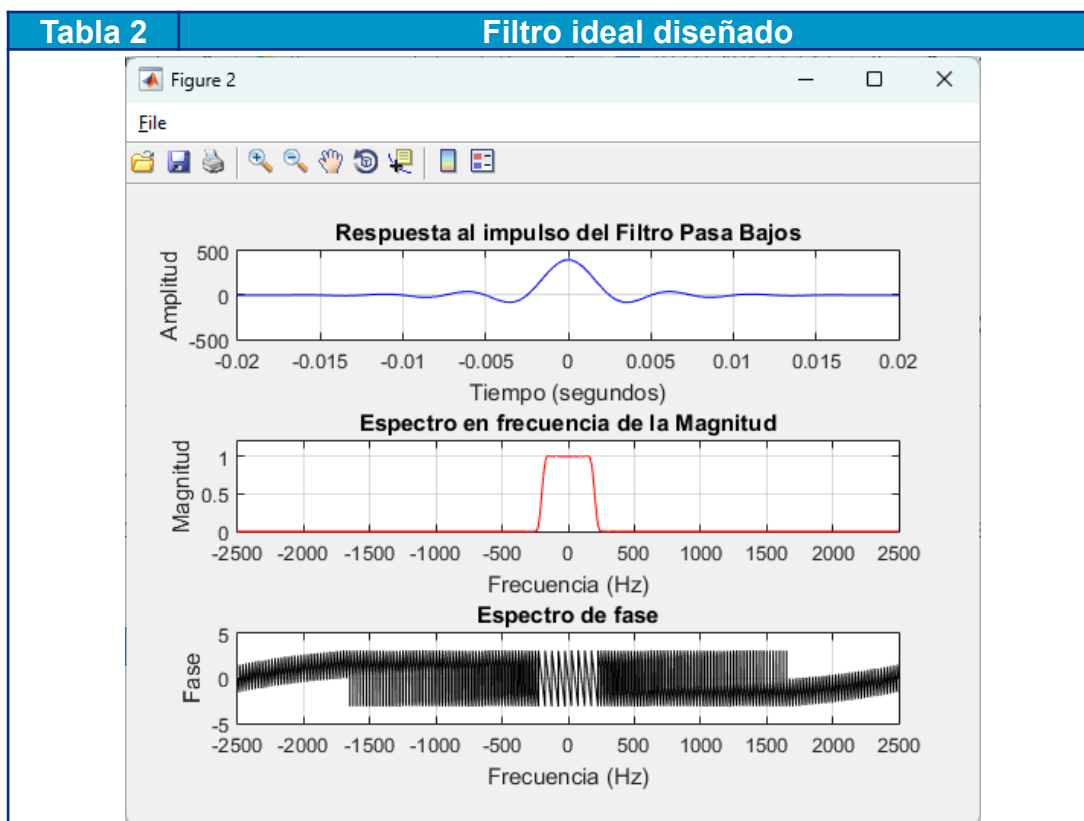
Objetivo de aprendizaje: Analizar mediante simulación la respuesta de filtros ideales y reales

Indicaciones:

- a) Realice los pasos de manera secuencial, tal y como se indican a continuación:
 - i. Abra el programa *Teo_Com1* e ingrese a la sección *Filtros* mediante la opción ()
 - ii. Seleccione *Filtro ideal* y configure los valores del filtro pasa bajos ideal de la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de configuración	
Frecuencia de corte	200 Hz
Magnitud	1

- iii. Verifique que no haya señal de entrada en el filtro (*Ninguno*).
- iv. Presione el botón *Calcular* para obtener el resultado del filtro diseñado.
- v. Agregue una captura de pantalla de los resultados obtenidos del filtro ideal diseñado en la tabla 2.



- b) Según las gráficas obtenidas, mencione el tipo de respuesta temporal que tiene el filtro pasa bajos. Adicionalmente, en relación a la fase obtenida, explique si dicha fase es lineal o no. **(0.5 puntos)**

La respuesta temporal es una función Sampling. Esto tiene sentido, ya que la transformada inversa de una función rect, como es el filtro pasabajos, es la función Sampling. La fase es lineal dentro de la banda de paso del filtro, se observa como una secuencia periódica de rectas, que van de π a $-\pi$.

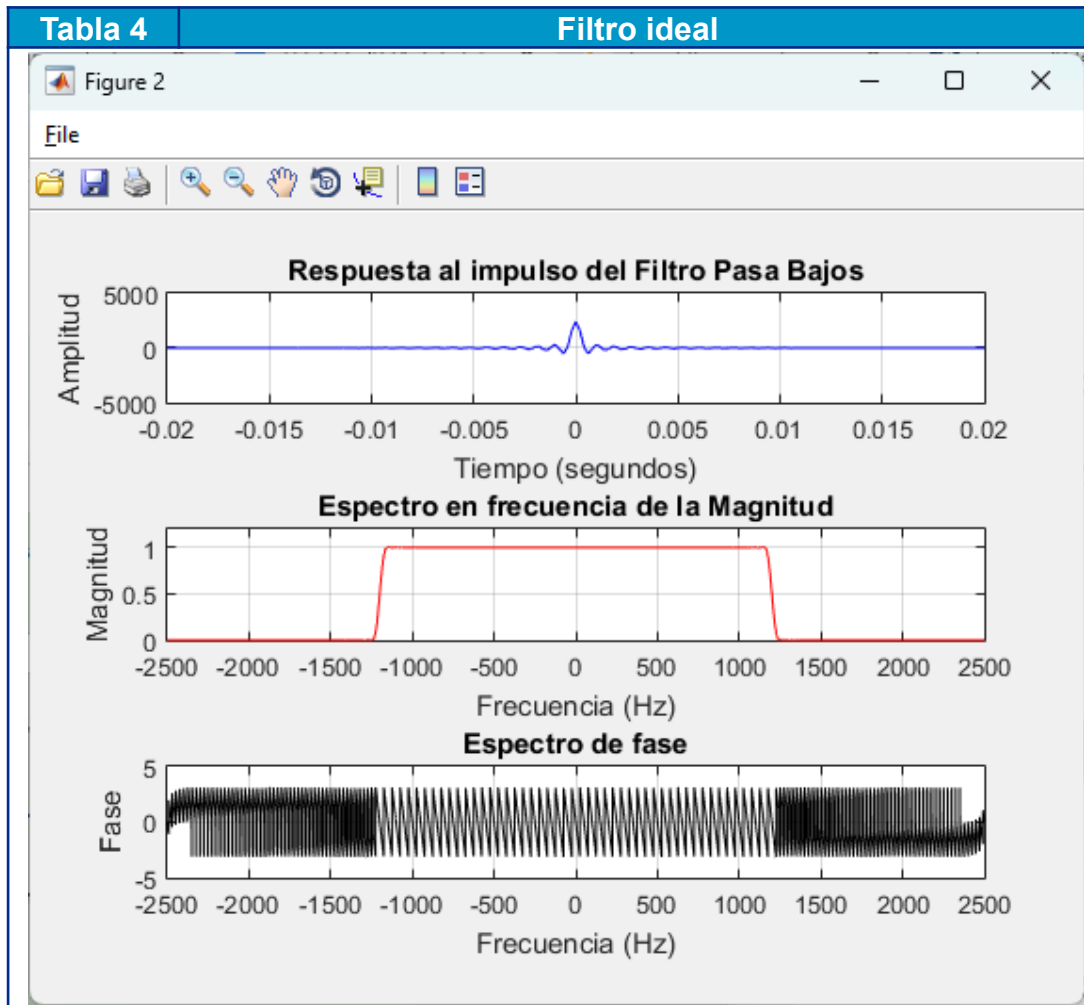
- c) De acuerdo a la figura de la tabla 2 ¿Por qué se le denomina filtro ideal y cuál es la diferencia con un filtro pasa bajos real? Analice y fundamente su respuesta. **(0.5 puntos)**

Se le denomina filtro ideal porque la magnitud decrece rápidamente en la frecuencia de corte (200 Hz), dejando pasar solo una banda de frecuencias, por lo que se asemeja a la función rect. En las frecuencias fuera de la banda de paso, la magnitud debe ser 0.
Por otro lado, en un filtro real la magnitud tarda más en decrecer a partir de la frecuencia de corte, dependiendo del orden del filtro. Además, no logra anular completamente las frecuencias fuera de la banda de paso.

- d) Cambie la configuración del filtro de acuerdo a la tabla 3.

Tabla 3. Parámetros de configuración	
Frecuencia de corte	1200 Hz
Magnitud	1

Luego de calcular el nuevo filtro, inserte el resultado en la tabla 4.



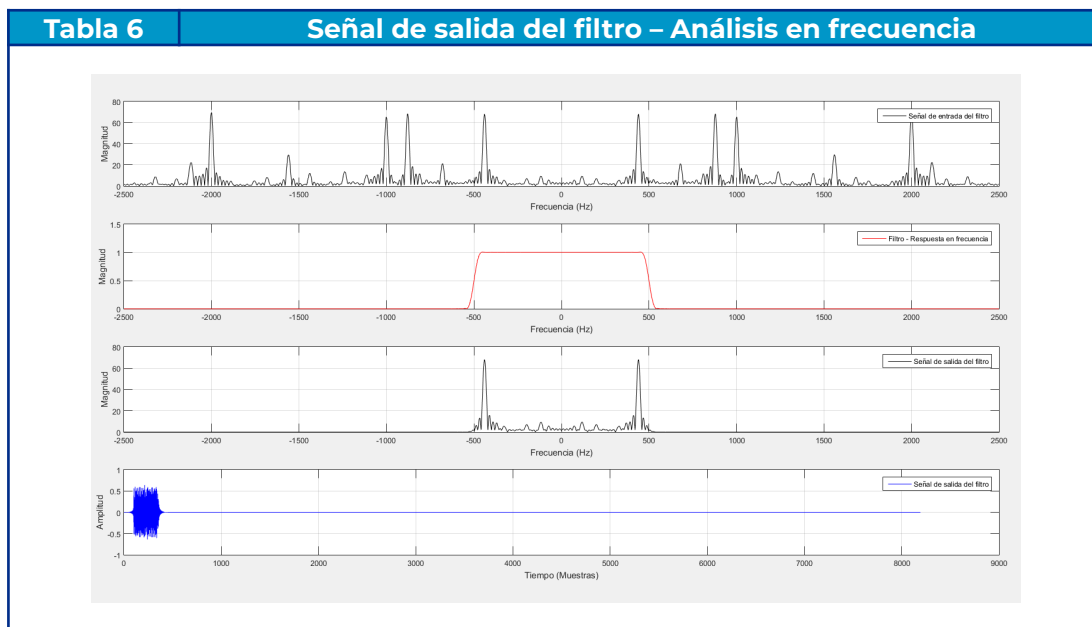
- e) Si la frecuencia de corte del filtro ideal tiende a infinito, ¿cuál es la respuesta temporal del filtro? ¿A qué función matemática se aproxima? Comente **(0.5 puntos)**

Como se aprecia en el gráfico, al aumentar la frecuencia, la respuesta temporal se contrae en el eje x. Si la frecuencia de corte tiende a infinito, el espectro en magnitud sería igual a 1 para todas las frecuencias. Matemáticamente, la transformada inversa de 1 es la función delta de Dirac. Por lo tanto, la respuesta temporal se aproxima a la delta de Dirac.

- f) Cargue el archivo correspondiente a la suma de señales sinusoidales (*senales_senoidales.wav*) mediante el ícono (). A continuación, procese el archivo (). Seguidamente, en la ventana principal, haga clic en *Mantener datos procesados* (), esto guardará la señal procesada en el **bloque de datos 1**.
- i. Ingrese a la sección *Filtros* mediante la opción ()
- ii. Seleccione *Filtro ideal* y configure la frecuencia de la Tabla 5 (f_{c1}) en el filtro pasa bajos ideal.

Tabla 5. Configuración de frecuencias de corte	
f_{c1}	500 Hz

- iii. Seleccione *Bloque 1* en la entrada del filtro ideal.
- iv. Presione el botón *Calcular* para obtener la respuesta a la salida del filtro pasa bajo ideal.
- v. Agregue una captura de la imagen resultante en la tabla 6.



- g) Analice la señal de salida del filtro y explique lo observado. Adicionalmente, indique si cumple con el principio de causalidad. Explique. **(0.5 puntos)**

Se observa que prácticamente se anulan los valores fuera de la banda de paso de 500 Hz. Si bien los valores no son exactamente 0, son bastante reducidos, en el orden de 10^{-7} . Sí cumple el principio de causalidad, ya que la señal en el tiempo empieza después de 0, y no depende de valores futuros.

EXPERIENCIA 2: Análisis de un filtro RC pasa bajos (2 puntos)



Objetivo de aprendizaje: Analizar la respuesta de un filtro RC pasa bajos de manera experimental y comparar los resultados con los conceptos aprendidos en clase.

Indicaciones:

- a) Realice los pasos de manera secuencial, tal y como se indican a continuación:
 - i. Mediante el generador de señales, configure una onda sinusoidal de 250 *Hertz* de frecuencia y 2 *Voltios* de amplitud pico a pico.

Frecuency/Period Ingresar valor Presionar botón de unidades
Amplitude/High Ingresar valor Presionar botón de unidades

- ii. Implemente en el protoboard el circuito de la figura 1.

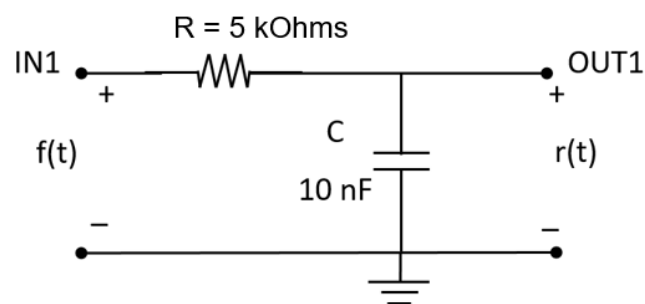


Figura 1. Filtro pasa bajos RC.

- iii. Conecte las salidas del cable coaxial-cocodrilo a la entrada del circuito RC y las puntas de osciloscopio a la entrada y salida del circuito.
- iv. Encienda la salida del canal uno del generador (0n) y verifique que se muestre *Load High Z* en la pantalla del generador y/o que el botón de encendido se muestre de color verde.
- v. Con ayuda de los cursores horizontales mida el voltaje pico a pico de la señal sinusoidal (salida del filtro).

- vi. Anote el valor obtenido en la tabla 7 y repita el procedimiento para todos los valores de frecuencia indicados en la tabla. **(0.5 puntos)**

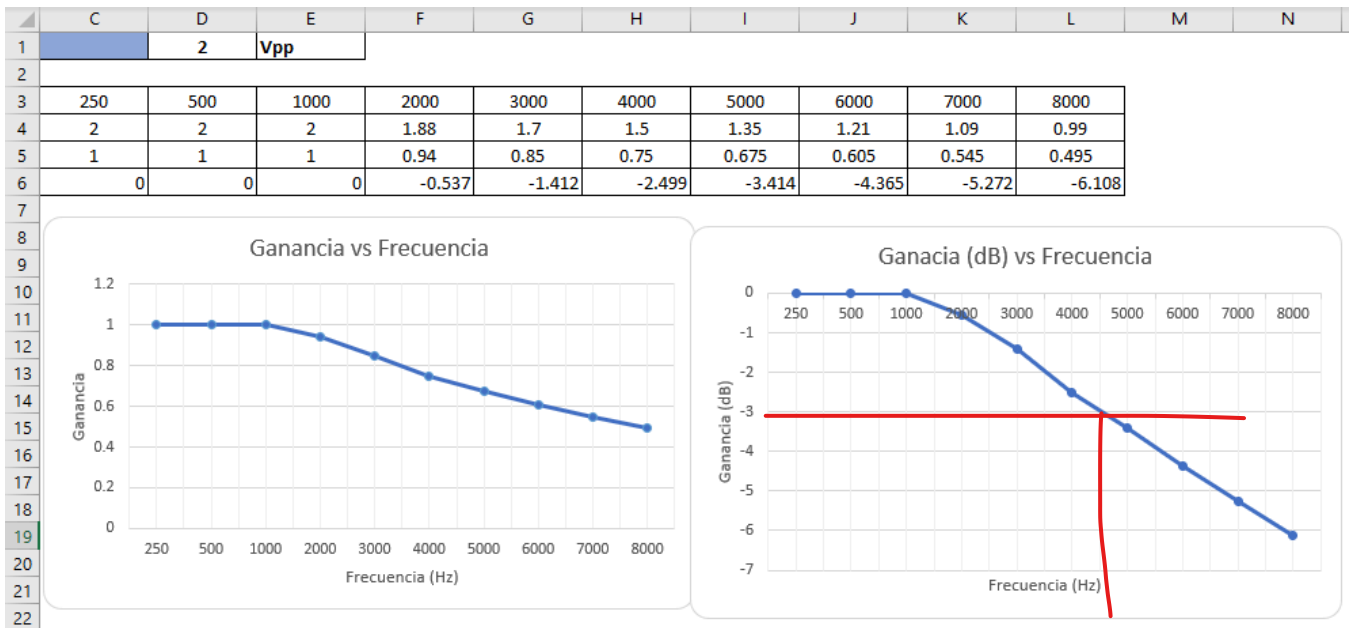


Tabla 7. Curvas de ganancia del filtro pasa bajos.

- b) Según la gráfica obtenida, ¿cuál es la frecuencia de corte o ancho de banda (BW)? (Utilice el criterio de -3 dB). Analice si el sistema es físicamente realizable. **(0.75 puntos)**

$$f_c = 4500 \text{ Hz} \quad BW = 4500 \text{ Hz}$$

En primer lugar, la ganancia no se hace 0 fuera de la banda de paso. En segundo lugar, bajo el criterio de Paley Wiener, la pendiente del filtro no es tan pronunciada, ya que es de -6 dB/década.

- c) Determine, a partir de la fórmula teórica, la frecuencia de corte y/o ancho de banda. Anexe sus cálculos. ¿Es el mismo valor que el obtenido en el punto anterior? Comente y explique comparativamente. **(0.75 puntos)**

(Anexar cálculos matemáticos)

0.5

$$|H(w)| = \frac{1}{\sqrt{1+w^2 R^2 C^2}} = \frac{1}{\sqrt{1+w^2 (5000)^2 (10n)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1+w^2 (2.5 \times 10^{-9})}}$$

Para $|H(w)| = 1/\sqrt{2}$

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{1 + w^2 (2.5 \times 10^{-9})}$$

$$1 + w^2 (2.5 \times 10^{-9}) = 2$$

$$w = 20000 \text{ rad/s}$$

$$f = 3183 \text{ Hz}$$

Para obtener la frecuencia de corte se deben considerar los valores reales de los componentes utilizados (medir R y C).



El valor difiere ligeramente del punto anterior, esta diferencia se puede atribuir a la tolerancia de los componentes empleados, en particular del capacitor.

EXPERIENCIA 3: Análisis de un filtro RC pasa altos (2 puntos)



Objetivo de aprendizaje: Analizar la respuesta de un filtro RC pasa altos de manera experimental y comparar los resultados con los conceptos aprendidos en clase.

Indicaciones:

- a) Realice los pasos de manera secuencial, tal y como se indican a continuación:
- Mediante el generador de señales, configure una onda sinusoidal de 250 *Hertz* de frecuencia y 2 *Voltios* de amplitud pico a pico.

Frecuency/Period Ingresar valor Presionar botón de unidades
Amplitude/High Ingresar valor Presionar botón de unidades

- Implemente en el protoboard el circuito de la figura 1.

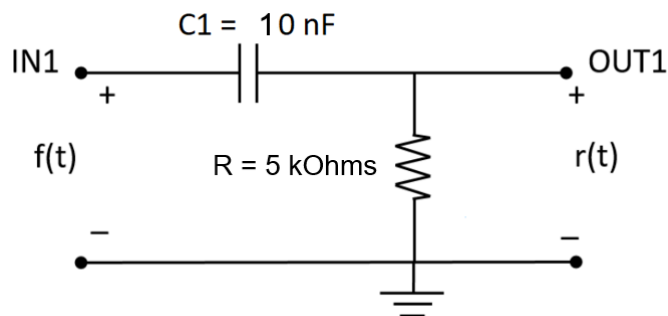


Figura 2. Filtro pasa altos RC.

- iii. Conecte las salidas del cable coaxial-cocodrilo a la entrada del circuito RC y las puntas del osciloscopio a la entrada y salida del circuito.
- iv. Encienda la salida del canal uno del generador (On) y verifique que se muestre *Load High Z* en la pantalla del generador y/o que el botón *On* se muestre de color verde.
- v. Con ayuda de los cursores horizontales mida el voltaje pico a pico de la señal sinusoidal (salida del filtro).
- vi. Anote el valor obtenido en la tabla 8 y repita el procedimiento para todos los valores indicados en la tabla. **(0.5 puntos)**

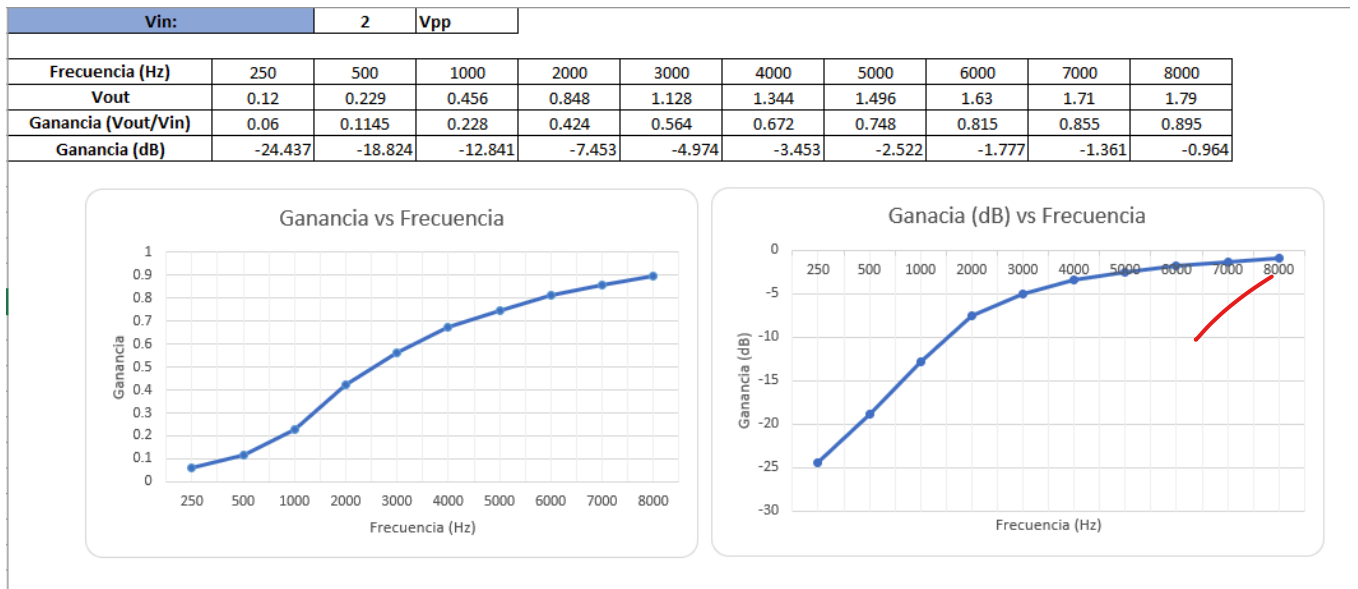


Tabla 8. Curvas de ganancia del filtro pasa altos.

- b) Según la gráfica obtenida, ¿cuál es la frecuencia de corte del filtro? (Utilice el criterio de -3 dB). Compare con la frecuencia de corte del filtro pasa bajos e indique cual es el ancho de banda del filtro pasa altos. **(0.75 puntos)**

0.5

$$f_c = 4500 \text{ Hz} \quad BW = \text{Infinito} \text{ Hz}$$

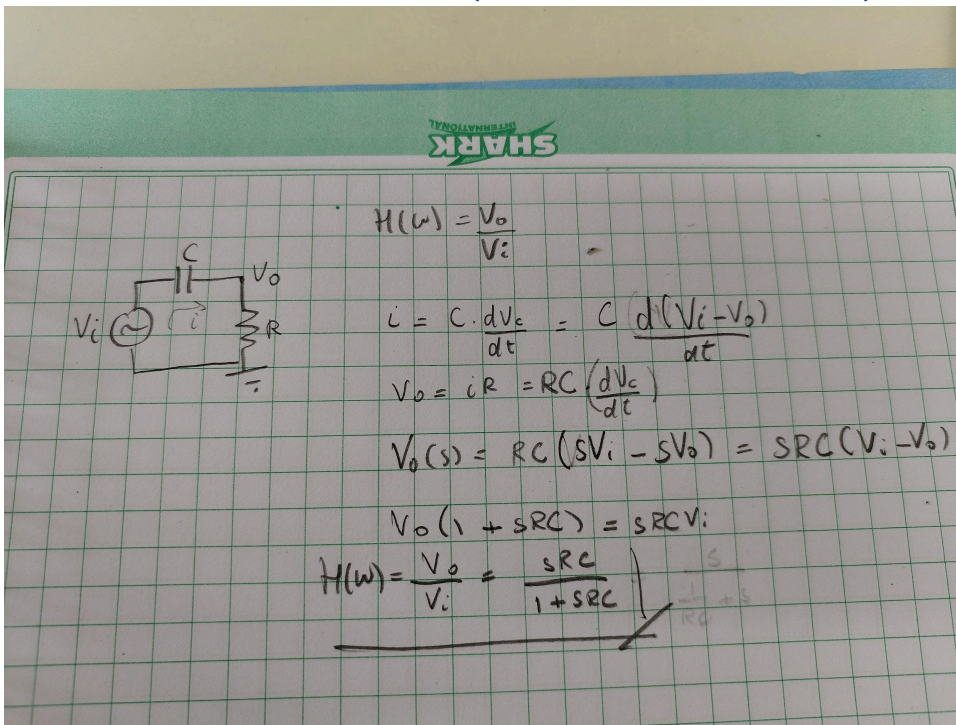
Teórico: $f_c = 1/(2\pi RC) = 3183 \text{ Hz}$

Medir R y C

La frecuencia de corte es aproximadamente la misma que la del filtro pasabajos. Esto se debe a que se están empleando los mismos componentes, por lo que el resultado esperable es que sea el mismo valor.

- c) Determine la función de transferencia $H(\omega)$ del circuito RC de forma matemática. Anexe sus cálculos. Compare con la curva de ganancia del filtro pasa altos. Comente sus resultados. **(0.75 puntos)**

(Anexar cálculos matemáticos)



Estos resultados concuerdan con la curva de ganancia, ya que para valores reducidos de frecuencia, la ganancia tiende a 0. Para valores mayores, tiende a la unidad.

EXPERIENCIA 4: Filtrado de señales de audio (1 punto)



Objetivo de aprendizaje: Analizar cuantitativa y cualitativamente la respuesta de un filtro real

Indicaciones:

- a) Implemente el sistema de la figura 3 (Realice las conexiones al parlante de la PC mediante cables de audio, Jack-banana \square banana-cocodrilo). Utilice un capacitor de 10 nF y un potenciómetro para diseñar el filtro RC, de tal forma que se logren atenuar (lo máximo posible) las componentes de alta frecuencia de una señal de audio.

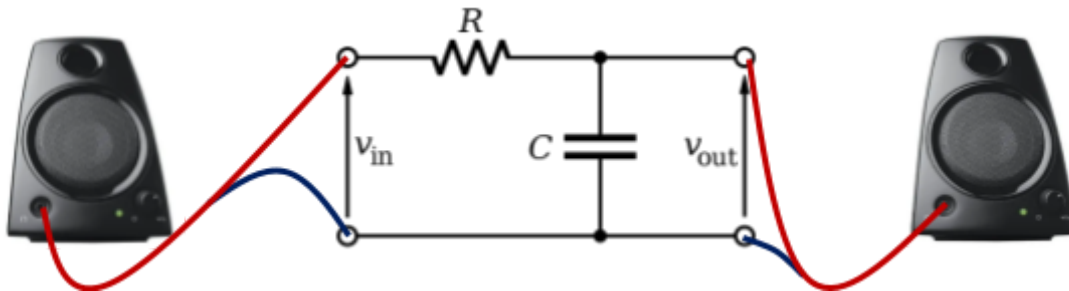
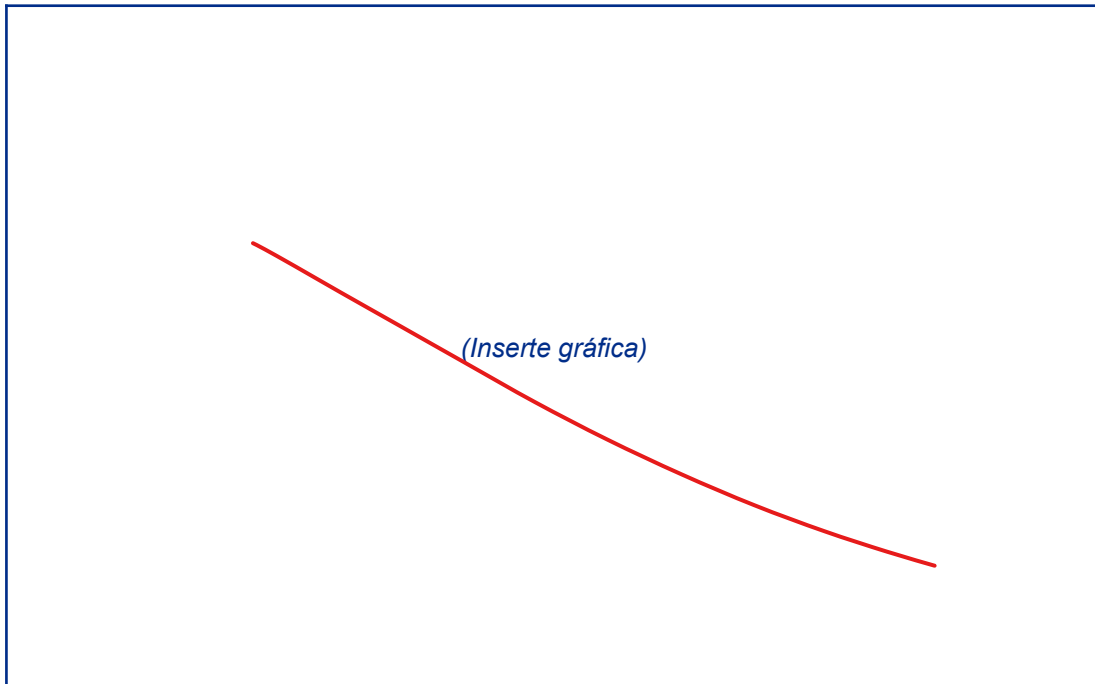


Figura 3. Sistema de filtrado de audio.

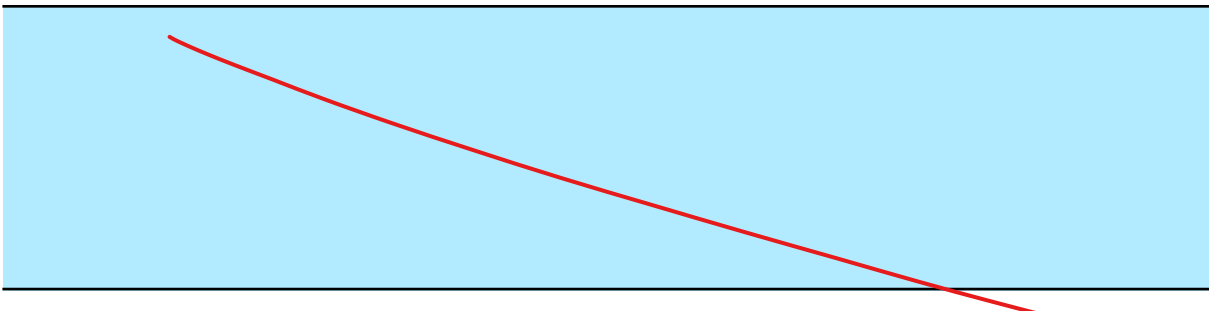
- b) Realice la transformada de Fourier para las señales de entrada y salida del filtro y analice el espectro de la señal de audio para un mismo intervalo de tiempo determinado. **(0.5 puntos)**

Tabla 9	Señal de entrada del filtro – Análisis en frecuencia
	<div data-bbox="571 1256 1002 1518" data-label="Figure"> </div>

Tabla 10	Señal de salida del filtro – Análisis en frecuencia
----------	---



- c) Realice la comparación a nivel auditivo y de análisis del espectro para las señales de entrada y salida del filtro, explicando las diferencias a partir del efecto de filtrado. **(0.5 puntos)**



CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES. (1 punto)

Mejorar conclusiones

Se simuló el filtro pasabajos y se interpretó la diferencia entre un filtro ideal y uno real. También se implementaron filtros pasabajo y pasaalto mediante un circuito RC, en los cuales se observó una ligera diferencia entre la frecuencia de corte teórica y la real. Se determinó la función de transferencia para un filtro pasa altos de manera matemática.

Faltan conclusiones y observaciones

0.5

INSTRUCCIONES PARA LA ENTREGA

- La guía debe ser entregada con el formato **LABX_H69Y_GZ.PDF**, donde las letras de color rojo corresponden a los números de laboratorio, horario y grupo respectivamente.
- La entrega de la guía debe realizarse dentro del tiempo indicado en la actividad correspondiente en la plataforma PAIDEIA.
- Es responsabilidad de los integrantes del grupo verificar el documento enviado.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Criterios	Puntaje
Mencionar tipo de respuesta y explicar mediante análisis	0.5 puntos
Responder adecuadamente mediante análisis teórico y experimental	0.5 puntos
Responder adecuadamente mediante el análisis teórico	0.5 puntos
Analizar y explicar lo observado en la experiencia	0.5 puntos
Realizar la experiencia con distintas frecuencias	0.5 puntos
Analizar en base a los resultados obtenidos	0.75 puntos
Validar los conceptos teóricos con resultados experimentales	0.75 puntos
Realizar la experiencia con distintas frecuencias	0.5 puntos
Analizar en base a los resultados obtenidos	0.75 puntos
Comparar conocimientos teóricos con resultados experimentales	0.75 puntos
Mostrar y analizar los espectros de las señales de entrada y salida del filtro	0.5 puntos
Responder en base a comparación experimental y explicar diferencias	0.5 puntos
Concluir correctamente a partir de lo experimentado y observado	1 punto
Puntaje total	8 puntos