



**Facultad de Ingeniería
Ingeniería Electrónica e Ingeniería Mecatrónica**

2024-I

SEÑALES Y SISTEMAS (EL231) – TRABAJO PARCIAL (TP) – EL63

**Tema:
Diseño de Filtros en el Dominio de Laplace**

APELLIDOS	NOMBRES	CÓDIGO	CARRERA
Carpio Tello	Camila Abigail	U202121759	Ing. Mecatrónica
Ludeña Macavilca	Christian Alexis	u202120042	Ing. Mecatrónica
Olivera Bohorquez	Enmanuel Marco	U202122437	Ing. Mecatrónica
Salcedo Tapara	Jose Efrain	U202120892	Ing. Mecatrónica
Valdez Olivares	Luis Miguel	U20201F035	Ing. Mecatrónica

Fecha Límite de Entrega: Domingo 5 de mayo de 2024, 2:00 pm
Profesor: César Daniel Salvador Castañeda

Objetivos

- Reducir el ruido en una señal de audio utilizando un filtro rechaza banda
- Comprender el proceso de diseño de un filtro rechaza banda en el dominio de Laplace

Materiales

- Computador personal con tarjeta de sonido
- Sistema operativo Windows 10 o superior
- Matlab 2023a o superior (basta con el kernel de Matlab, no es necesaria ninguna toolbox adicional)

Instrucciones

Seguir las instrucciones disponibles a lo largo de todo este documento.

Descargar los siguientes archivos del aula virtual del curso:

- Plantilla para el reporte: **EL231SYSTP2024IEL63Reporte.docx** (este documento)
- Plantilla para la presentación: **EL231SYSTP2024IEL63presentacion.pptx**
- Plantilla de script de Matlab: **EL231SYSTP2024IEL63Script.m**
- Archivo de audio de entrada: **EL231SYSTP2024IEL63Audio.wav**

Enviar como respuesta los siguientes archivos por separado, sin comprimir:

- Reporte en PDF: **EL231SYSTP2024IEL63ReporteApellidos.pdf**
- Presentación en PDF: **EL231SYSTP2024IEL63PresentacionApellidos.pdf**
- Script de Matlab: **EL231SYSTP2024IEL63ScriptApellidos.m**

- Archivo de audio procesado: **EL231SYSTP2024IEL63AudioApellidos.wav**

Un solo alumno de cada grupo debe subir los **cuatro (04) archivos**, **por separado y sin comprimir**. **Solo quien envía debe agregar sus apellidos al final del nombre de cada archivo**. No utilizar espacios en blanco ni caracteres especiales en los nombres de los archivos. El reporte, la presentación y el script deberán incluir los datos completos de cada integrante del grupo según cada plantilla.

El script de Matlab deberá ejecutarse sin errores ni advertencias y mostrar todos los resultados al presionar la tecla **F5**. Las figuras deben mostrar valores, unidades, leyendas e indicaciones con tamaños de fuente legibles. Es responsabilidad de cada miembro del grupo verificar que el script se ejecute sin errores ni advertencias. No serán considerados los trabajos con scripts que generen mensajes de error al ser ejecutados.

El audio procesado deberá ser creado con la misma frecuencia de muestreo asignada a la señal de audio de entrada. El audio procesado deberá estar correctamente escalado de manera que no hayan saturaciones al reproducirlo. Archivos de audio defectuosos no serán considerados.

Todas las gráficas en el dominio de la frecuencia deben utilizar frecuencia lineal en **Hertz**. Cuando sea conveniente, utilizar una escala logarítmica de frecuencia por octavas. No utilizar frecuencia angular ni frecuencia normalizada.

Cuando se requiera insertar imágenes en el reporte, estas deberán haber sido exportadas previamente desde Matlab en formato **PNG** utilizando el comando **EXPORTGRAPHICS**. No serán calificadas las imágenes insertadas mediante capturas de pantalla.

Calificación

Los criterios de calificación son los siguientes: Comprensión e interpretación de las instrucciones y de los enunciados. Claridad y rigor científico de la redacción, de los procedimientos, de los diagramas, de las formulaciones matemáticas, de los gráficos, de las escalas, de las observaciones y de las conclusiones. Precisión numérica y uso correcto de la notación científica y de las unidades físicas con prefijos.

Todos los archivos enviados deben cumplir con las especificaciones y los criterios mencionados a lo largo de toda esta guía para acceder a la siguiente calificación.

Contribución		Puntos
Reporte	Parte I: Análisis de la señal de audio de entrada	2
	Parte II: Diseño del filtro rechaza banda con el método elegido	6
	Parte III: Análisis de la señal de audio procesada	2
Script de Matlab		3
Audio Procesado		2
Presentación (usar 10 diapositivas para presentar en 10 minutos)		5
Total		20
Penalidad por minuto adicional a la fecha límite de entrega		-1
Penalidad por no seguir las instrucciones		-1

Diseño de Filtros en el Dominio de Laplace

Introducción

El archivo **EL231SYSTP2024IEL63Audio.wav** contiene un extracto de música con ruido gaussiano en una banda de frecuencias por identificar mediante un análisis en frecuencia.

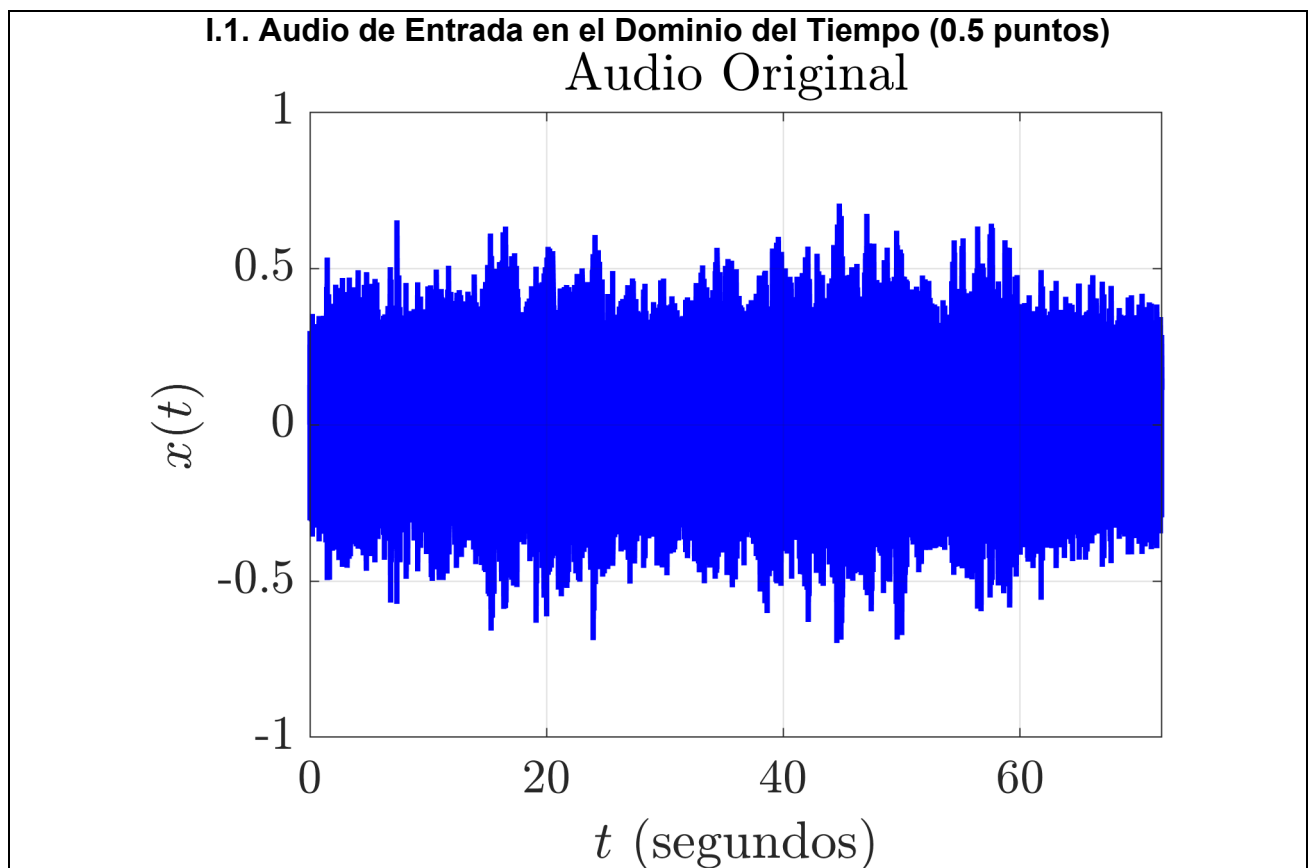
El propósito de esta actividad es **elegir un solo método** de diseño de filtros en el dominio de Laplace, entre los métodos Butterworth, Chebyshev 1, Chebyshev 2 y elípticos detallados en el material del curso, para obtener el filtro rechaza banda más adecuado que reduzca la mayor parte del ruido de manera que el contenido musical sea más inteligible.

En general, el diseño de filtros en el dominio de Laplace consta de las siguientes etapas:

- I. El análisis de la señal de entrada para definir los parámetros del filtro.
- II. El diseño del filtro:
 - La formulación de la función de transferencia en el plano complejo de Laplace.
 - La restricción de la función de transferencia al eje imaginario de Fourier.
 - El cálculo de la respuesta impulsiva mediante la transformación inversa de Fourier.
- III. La aplicación del filtro a la señal de entrada mediante el algoritmo de la convolución.

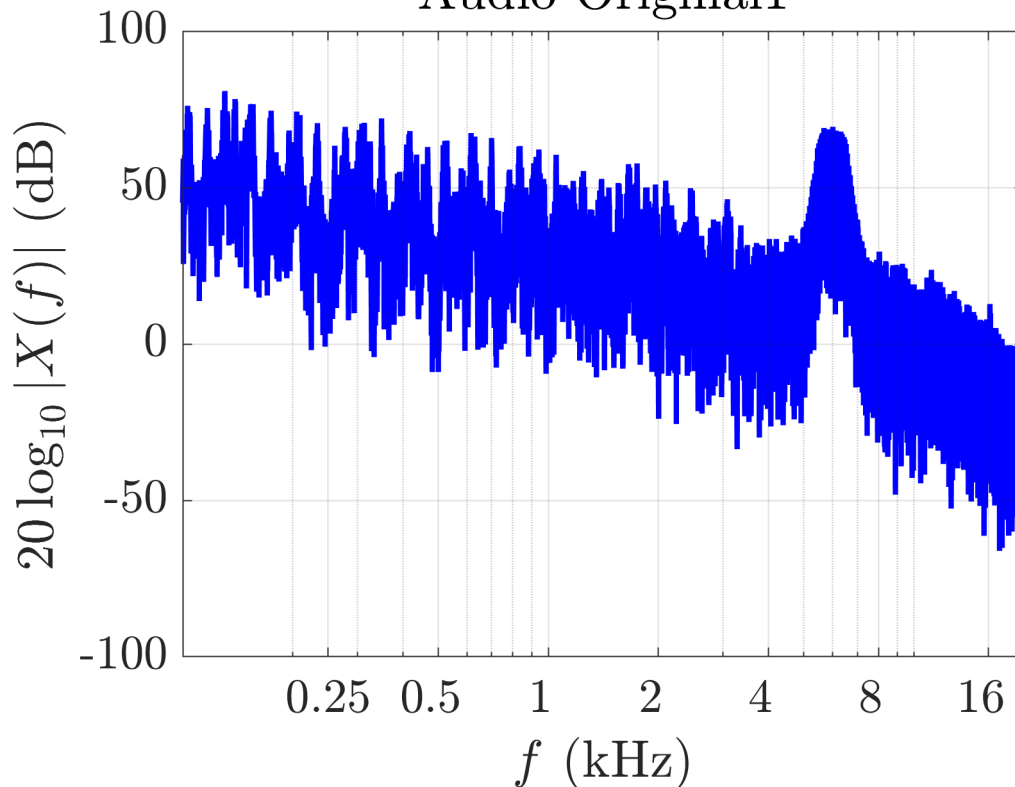
Parte I: Análisis de la Señal de Audio de Entrada (2 puntos)

En Matlab, leer el archivo de audio **EL231SYSTP2024IEL63Audio.wav**. Utilizar las funciones **plot** y **exportgraphics** para generar las siguientes gráficas.



I.2. Magnitud del Audio de Entrada en el Dominio de la Frecuencia (0.5 puntos)

Audio Original1



Escribir comentarios y observaciones acerca del contenido de la señal de audio de entrada tanto en el dominio del tiempo como en el dominio de la frecuencia. Identificar los parámetros relevantes para el posterior diseño del filtro tales como el ancho de banda de la señal y del ruido.

I.3. Observaciones sobre la Señal de Audio de Entrada (1 punto)

En la señal de audio de entrada en el dominio del tiempo se puede observar la presencia del ruido y la amplitud de la señal.

En el dominio de la frecuencia se puede llegar a analizar el espectro de frecuencia de la señal.

Los parámetros relevantes para el diseño de filtro son:

AP y AS: Atenuación de la banda de paso y de rechazo

FP1 y FP2: Frecuencia de rechazo inferior y superior

FS1 y FS2: Frecuencia de paso inferior y superior

WP1 y WP2: Frecuencia angular de rechazo inferior y superior

WS1 y WS2: Frecuencia angular de paso inferior y superior

Epsilon y Delta: Parámetros relacionados con la atenuación y selectividad del filtro.

Parte II: Diseño del Filtro Rechaza Banda (6 puntos)

En el siguiente recuadro, detallar el método y los parámetros del filtro elegido, incluyendo todos aquellos parámetros asociados a la banda de paso y de rechazo, así como también el orden y los polos en el dominio de Laplace. Durante el diseño, **mantener el orden del filtro pasa banda en un valor entero por debajo de 14**.

II.1. Parámetros del Filtro Rechaza Banda Diseñado (1 punto)

Para este filtro rechaza banda se ha utilizado el método elíptico donde según la gráfica (PONER GRÁFICA/NRO DE GRÁFICA) utilizamos nuestro criterio para elegir los parámetros que se ajusten a un mejor resultado. Siendo los objetivos eliminar el ruido sin sacrificar otras señales. Estos son los valores elegidos:

Los siguientes parámetros de igual manera fueron acotados y finalmente elegidos con la ayuda del gráfico I.2, en donde apreciamos que la perturbación se encuentra aproximadamente entre 0 y 75 (dB)

$A_p = 0.1$; Atenuación de la banda de paso (dB)
 $A_s = 70$; Atenuación de la banda de rechazo (dB)

Los siguientes parámetros de igual manera fueron acotados y finalmente elegidos con la ayuda del gráfico I.2, en donde apreciamos que la perturbación se encuentra aproximadamente entre 5 y 8 (kHz)

$f_{p1} = 5095$; Frecuencia de rechazo inferior (Hz)
 $f_{s1} = 5930$; Frecuencia de paso inferior (Hz)
 $f_{s2} = 7055$; Frecuencia de paso superior (Hz)
 $f_{p2} = 8290$; Frecuencia de rechazo superior (Hz)

Los siguientes son en relación al parámetro discriminante:

$$\epsilon: \text{epsil} = \sqrt{10^{\frac{A_p}{10}} - 1}$$

$$\delta: \text{delta} = \sqrt{10^{\frac{-A_s}{10}}}$$

$$\Delta: d = \frac{\epsilon}{\sqrt{\delta^{-2} - 1}} ; \text{ Parámetro discriminante}$$

Determinación del orden:

$$WS = \frac{(WP2 - WP1) \times WS1}{(WP1 \times WP2) - WS1^2} \frac{(WP2 - WP1) \times WS2}{WS2^2 - (WP1 \times WP2)} = 2.6788$$

$$K = \frac{1}{WS} = 0.3733 ; \text{ Parámetro de selectividad}$$

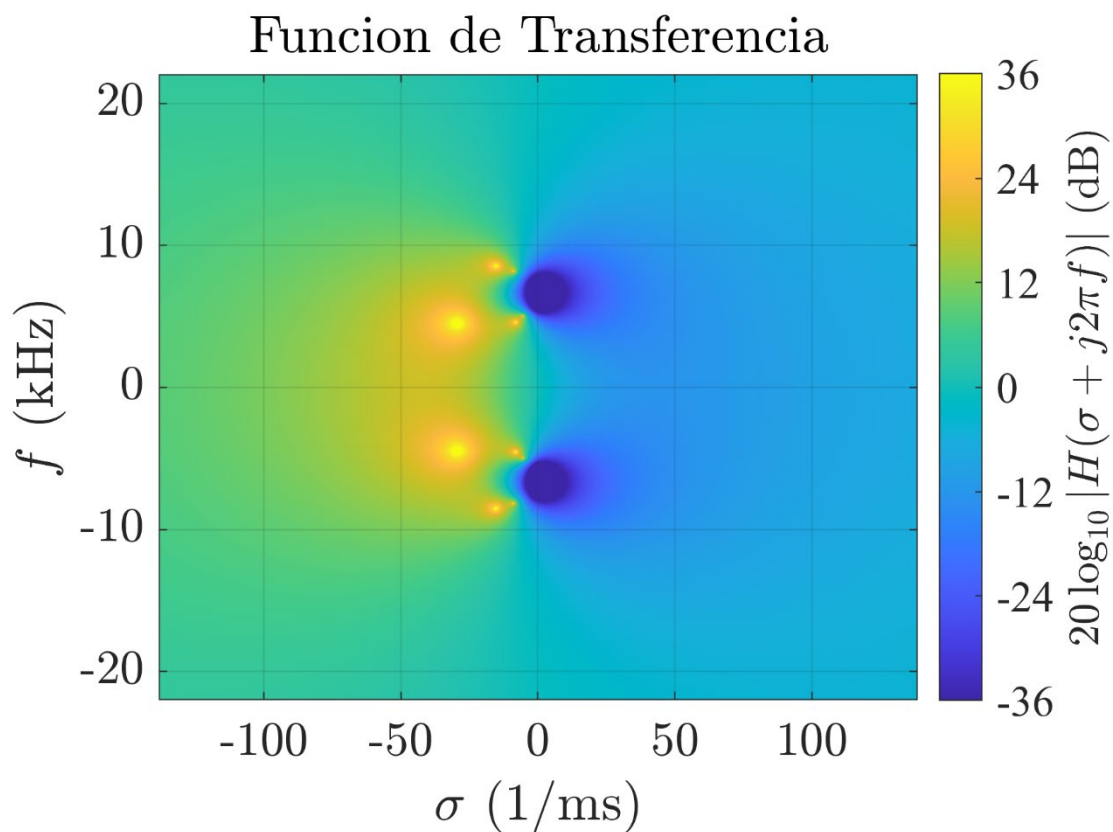
$$q_0 = 0.5 \times \frac{1 - (1 - k^2)^{0.25}}{1 + (1 - k^2)^{0.25}}$$

$$q = q_0 + 2 \times q_0^5 + 15 \times q_0^9 + 150 \times q_0^{13}$$

$$N = \frac{\log_{10}(\frac{16}{q^2})}{\log_{10}(\frac{1}{q})} = 5 ; N \text{ debe ser menor a } 7$$

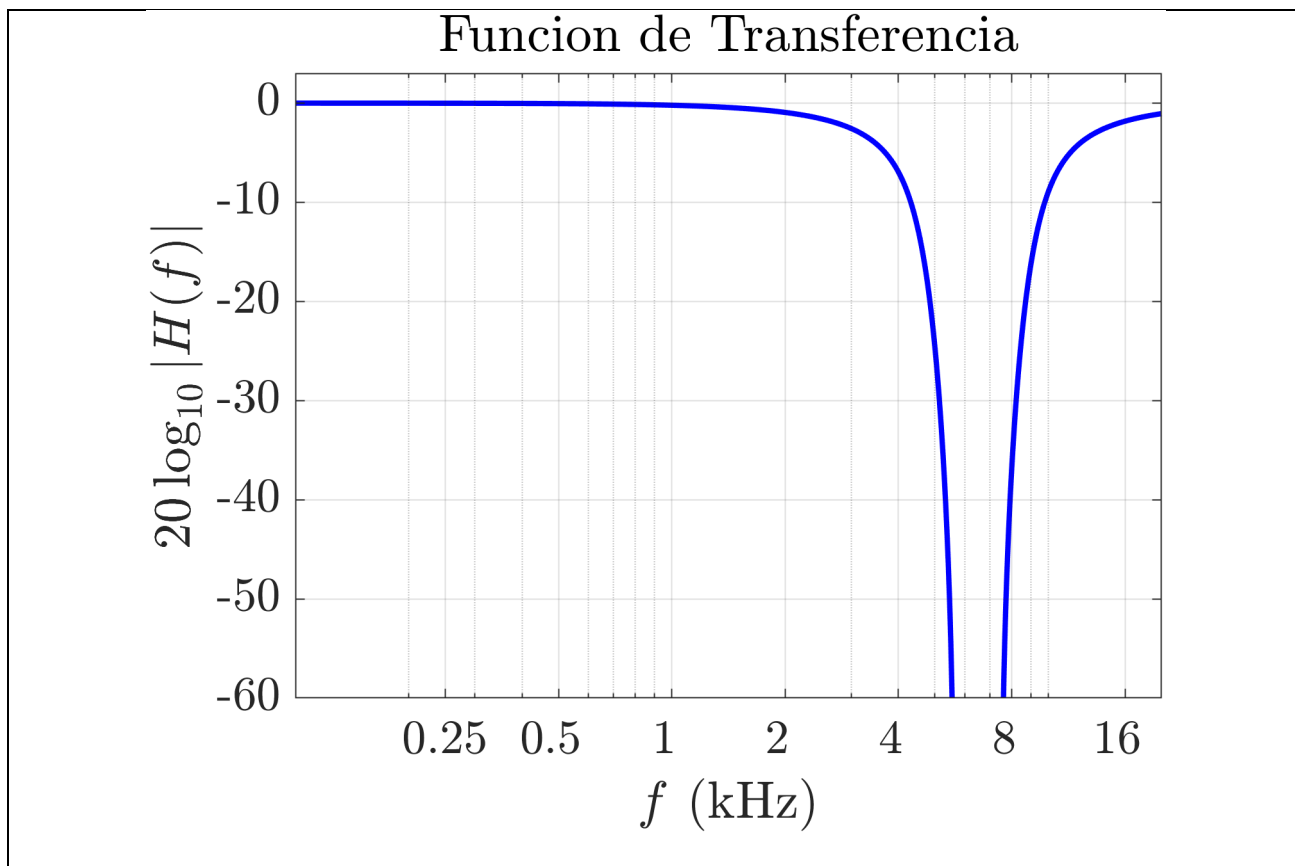
En Matlab, construir el plano complejo de Laplace para definir sobre él la función de transferencia del filtro a partir de sus polos. Utilizar las funciones **surf** y **exportgraphics** para generar la siguiente gráfica.

II.2. Magnitud de la Función de Transferencia del Filtro en el Dominio de Laplace (1 punto)

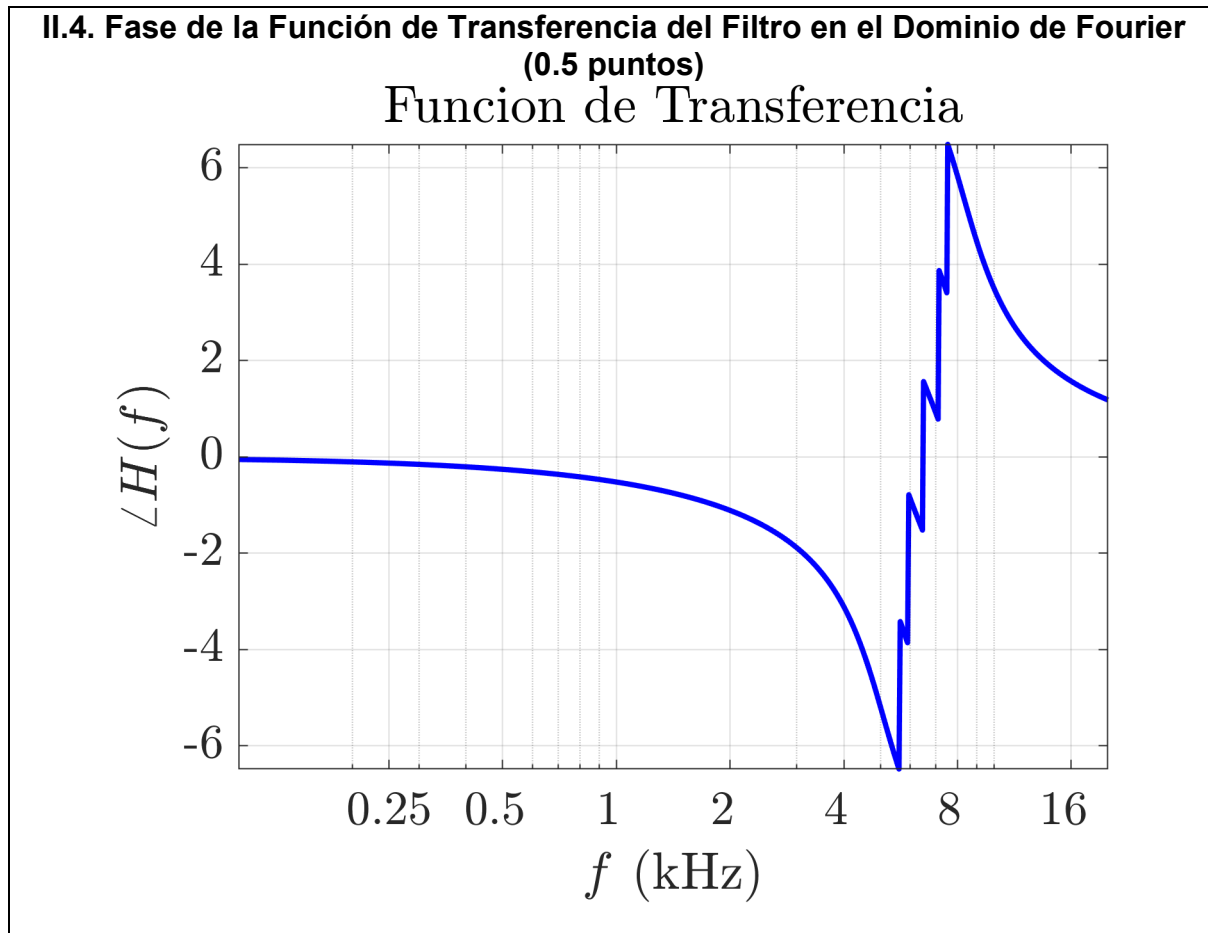


Restringir la función de transferencia del dominio de Laplace al dominio de Fourier, es decir, al eje imaginario positivo del plano complejo. Utilizar las funciones **plot** y **exportgraphics** para generar las siguientes gráficas.

II.3. Magnitud de la Función de Transferencia del Filtro en el Dominio de Fourier (0.5 puntos)

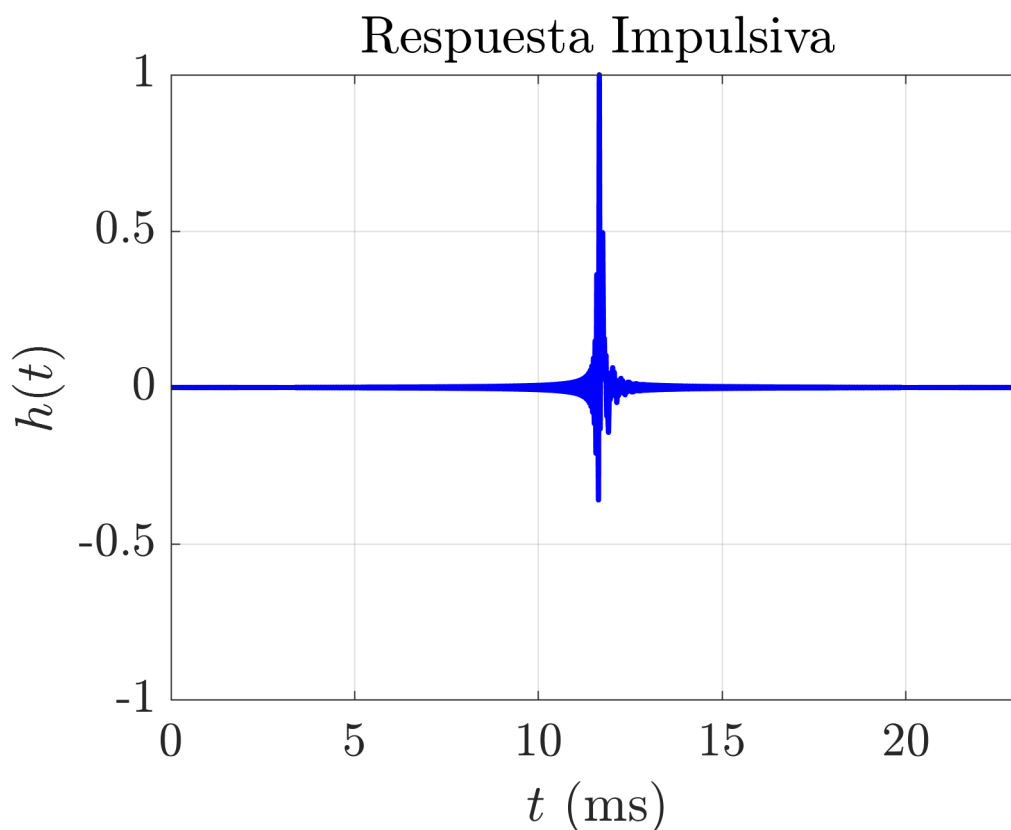


**II.4. Fase de la Función de Transferencia del Filtro en el Dominio de Fourier
(0.5 puntos)**



Con la transformación inversa de Fourier, calcular la respuesta impulsiva del filtro. Verificar la causalidad de la respuesta impulsiva de manera que ella tienda a cero en los bordes y la energía se concentre en la parte central. Utilizar las funciones **plot** y **exportgraphics** para generar la siguiente gráfica.

II.5. Respuesta Impulsiva del Filtro en el Dominio del Tiempo (1 punto)



Escribir comentarios y observaciones acerca de cada etapa del proceso de diseño y del resultado final. De ser necesario, incluir tablas, fórmulas, cálculos y gráficos adicionales que sustenten las discusiones, conclusiones y recomendaciones acerca del filtro diseñado.

II.6. Comentarios y Observaciones sobre el Filtro Rechaza Banda (2 puntos).

En pos de conseguir un audio limpio revisamos el audio pasado por una transformación de Fourier para encontrar valores aproximados para nuestros parámetros y según los resultados obtenidos fuimos acotando y fijando los dígitos.

A su vez fue muy importante mantener el orden menor a 14, esto para evitar el exceso de polos que podrían generar pérdida de las señales que queremos en nuestro resultado final.

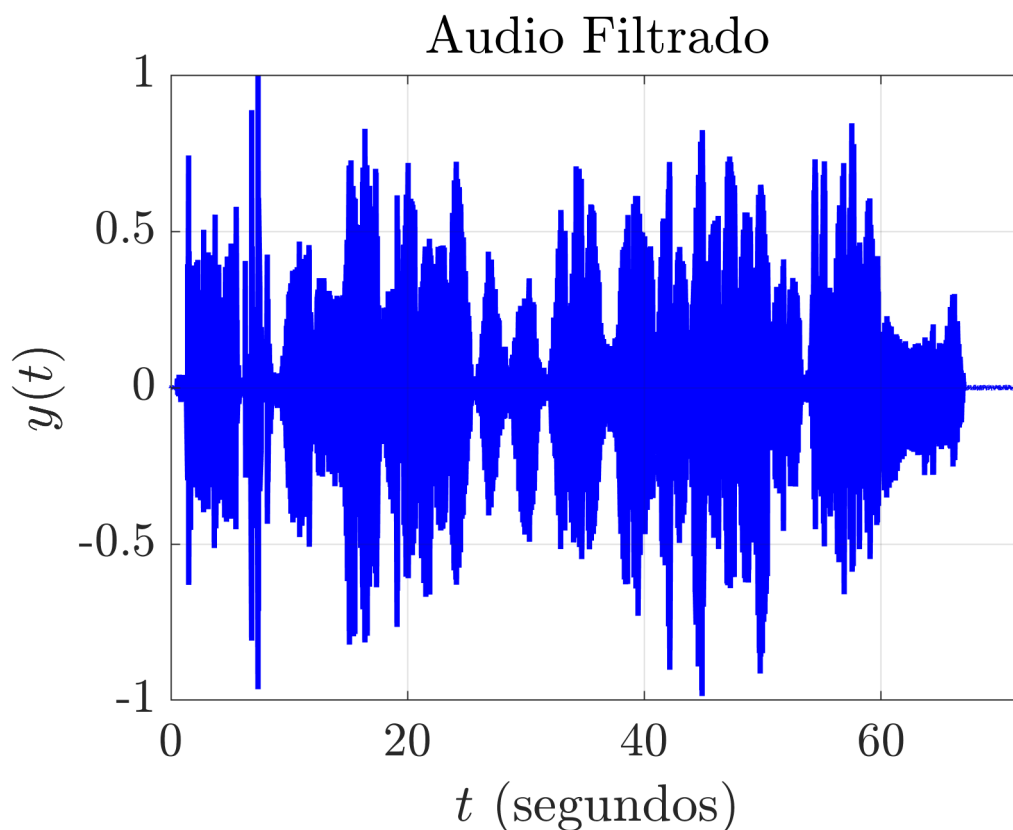
En el siguiente listado se detallan algunas herramientas utilizadas en el desarrollo del filtro rechaza banda:

- **Función de Transferencia de Fourier:** Esta herramienta fue la base de la elección de valores para los parámetros. Nos entrega un gráfico (gráfico I.2) que muestra cómo el filtro atenúa o permite pasar diferentes frecuencias. El eje Y se compone de la magnitud (dB), mientras que el eje X representa la frecuencia en (kHz)
- **Respuesta Impulsiva en el Dominio del Tiempo:** La respuesta impulsiva de un filtro se deriva de su función de transferencia, representada por “Hw”, y se utiliza para mostrar cómo el filtro reacciona ante un impulso en el tiempo. Esta respuesta es esencial para entender cómo el filtro funciona en tiempo real y su eficacia para eliminar ciertas señales mediante el filtrado.

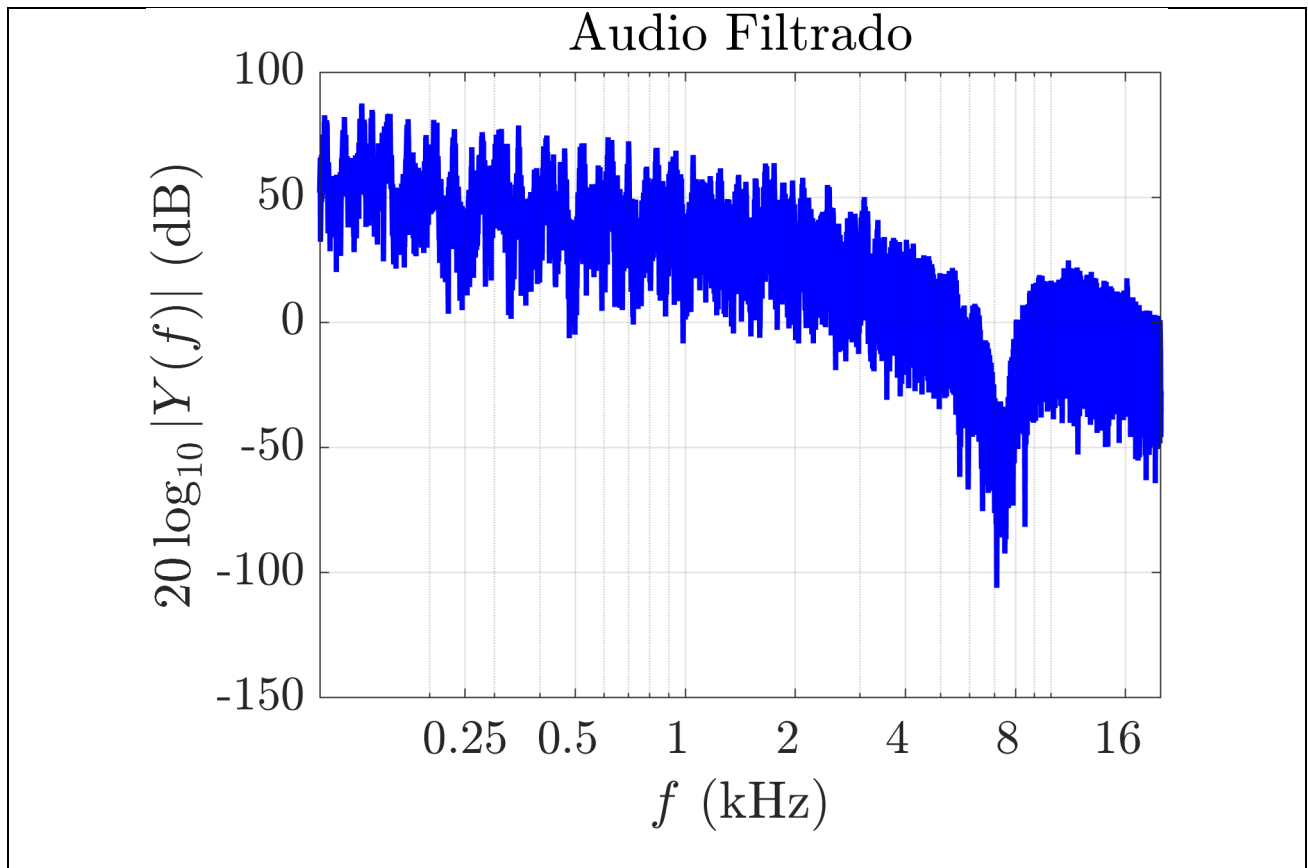
Parte III: Análisis de la Señal de Audio Procesada (2 puntos)

En Matlab, generar la señal de audio procesada mediante la convolución de la señal de audio de entrada analizada en la Parte I con la respuesta impulsiva obtenida en la Parte II. Guardar el resultado en el archivo **EL231SYSTP2024IEL63AudioApellidos.wav**. Utilizar las funciones **plot** y **exportgraphics** para generar las siguientes gráficas.

III.1. Audio Procesado en el Dominio del Tiempo (0.5 puntos)



III.2. Magnitud del Audio Procesado en el Dominio de la Frecuencia (0.5 puntos)



Escribir comentarios y observaciones finales sobre la señal de audio procesada considerando los resultados tanto en el dominio del tiempo como en el dominio de la frecuencia. De ser necesario, incluir tablas, fórmulas, cálculos y gráficos adicionales que sustenten las discusiones, conclusiones y recomendaciones sobre el resultado final.

III.3. Observaciones sobre la señal de Audio Procesada (1 punto).

El audio filtrado es el resultado de aplicar un filtro que elimina ciertas frecuencias no deseadas de la señal de audio original. Lo que implica que las señales de audio procesada muestran una reducción en el ruido no deseado, mostrando una señal más clara y nítida. Al utilizar la transformada de Fourier para analizar la señal y elegir los parámetros, se llegó a identificar las frecuencias específicas que se deseaba eliminar o atenuar, contribuyendo a la limpieza general de la señal.

La disminución de la amplitud de los picos de señal, suavizan los cambios bruscos y mejora la claridad, esto se ve en términos del tiempo. Mientras que en los de frecuencia, se relaciona con la reducción de las partes de alta frecuencia, las cuales están asociadas al ruido, reduciéndolas resulta en una menor presencia de estos componentes no deseados.

Y como se mencionó, el mantener un filtro por debajo de 14 es para evitar la pérdida de señales deseadas. Ya que uno demasiado alto podría introducir distorsiones no deseadas en la señal de audio.

Referencias

1. A.V. Oppenheim, A. S. Willsky, y S. H. Nawab, Signals & Systems, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ, USA, 1996.
2. P. Z. Peebles, Principios de Probabilidad, Variables Aleatorias y Señales, 4th ed. Boston, MA, USA: McGrawHill, 2006.
3. A. V. Oppenheim & G. C. Verghese, Signals, Systems & Interference, Global Edition. Boston, MA, USA: Pearson Education, 2017.
4. A. Bruce Carlson, Communication Systems, 4th ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2002.

[1] Incluir las referencias citadas a lo largo del reporte usando el estilo IEEE (estilo numerado en orden de citado).

[2] Revisar el siguiente enlace para mayores detalles sobre el estilo IEEE:

https://journals.ieeeauthorcenter.ieee.org/wp-content/uploads/sites/7/IEEE_Reference_Guide.pdf