EL231-2024I-Trabajo Parcial (TP)-EL63

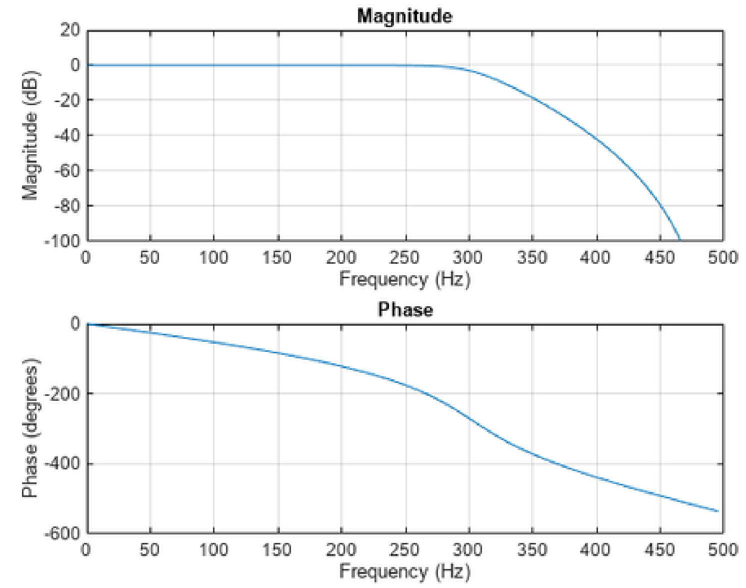
Diseño de Filtros en el Dominio de Laplace

Apellidos	Nombres	Código	Carrera
Carpio Tello	Camila Abigail	U202121759	Ing. Mecatrónica
Ludeña Macavilca	Christian	U202120042	Ing. Mecatrónica
Olivera Bohorquez	Enmanuel Marco	U202122437	Ing. Mecatrónica
Salcedo Tapara	Jose Efrain	U20212089	Ing. Mecatrónica
Valdez Olivares	Luis Miguel	U20201F035	Ing. Mecatrónica

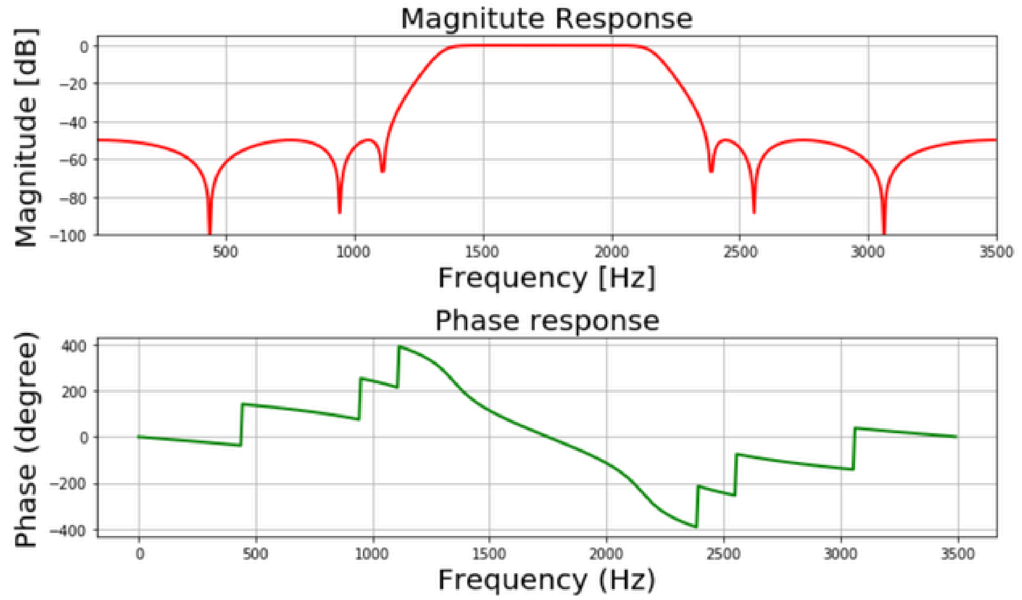
Outline

I. INTRODUCCIÓN

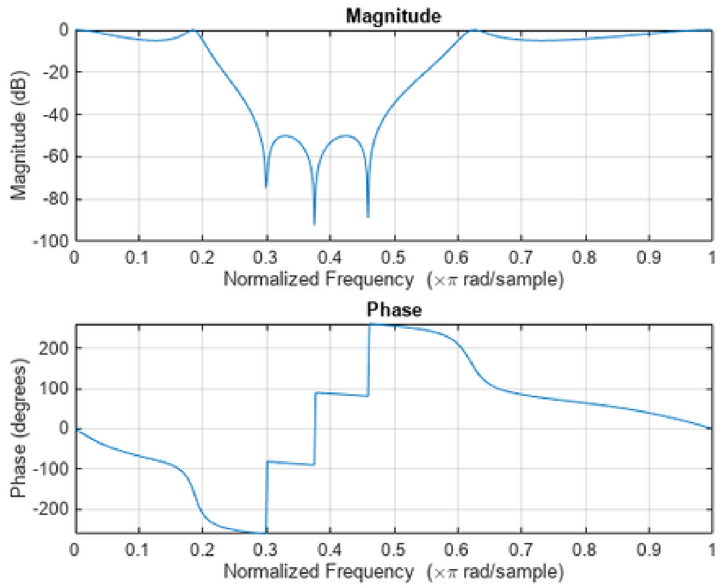
Este trabajo se concentra en un archivo de audio con música afectada por un tipo de ruido en ciertas frecuencias. El objetivo principal es elegir un método para diseñar un filtro que elimine eficientemente este ruido y mejore la calidad del sonido. Se explican las etapas básicas del diseño del filtro, desde analizar la señal original hasta aplicar el filtro resultante para limpiar la música.



BUTTERWORTH



CHEBYSHEV

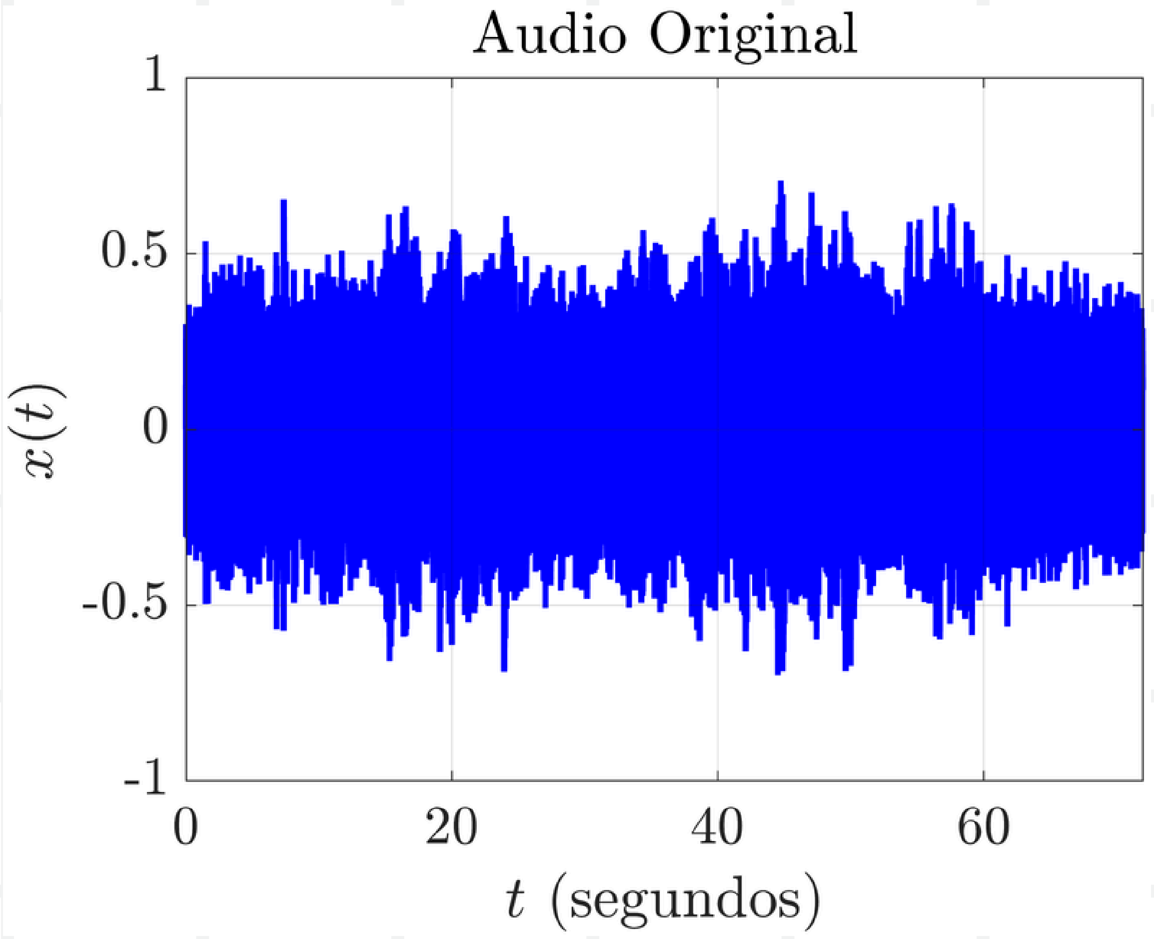


ELÍPTICO

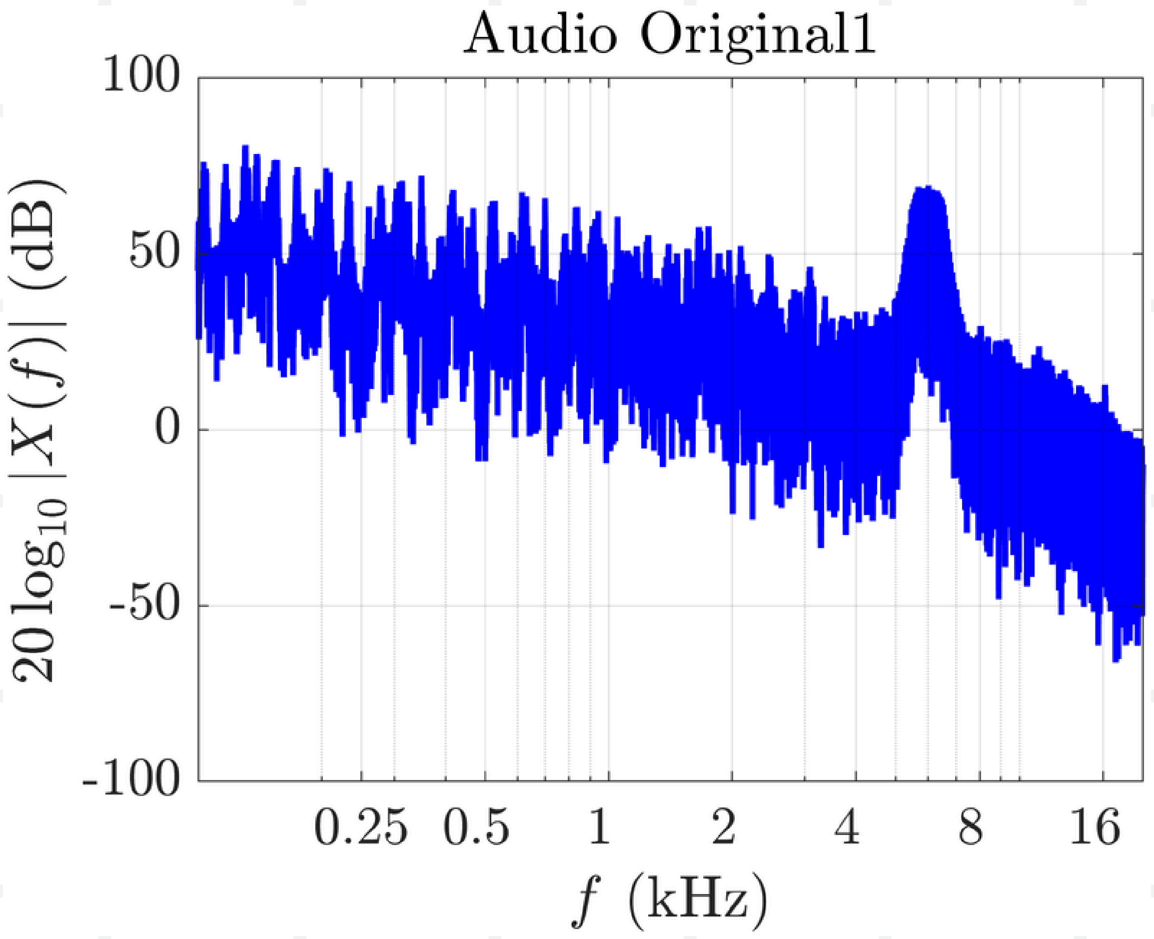
II. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El problema a resolver es mejorar la calidad de un fragmento de música que tiene ruido en una banda de frecuencias desconocida. La solución implica elegir y aplicar un método de diseño de filtros en el dominio de Laplace, como Elíptico u otros mencionados, para crear un filtro que rechace la banda y reduzca el ruido, haciendo que la música sea más clara y comprensible.

AUDIO DE ENTRADA EN EL DOMINIO DEL TIEMPO:

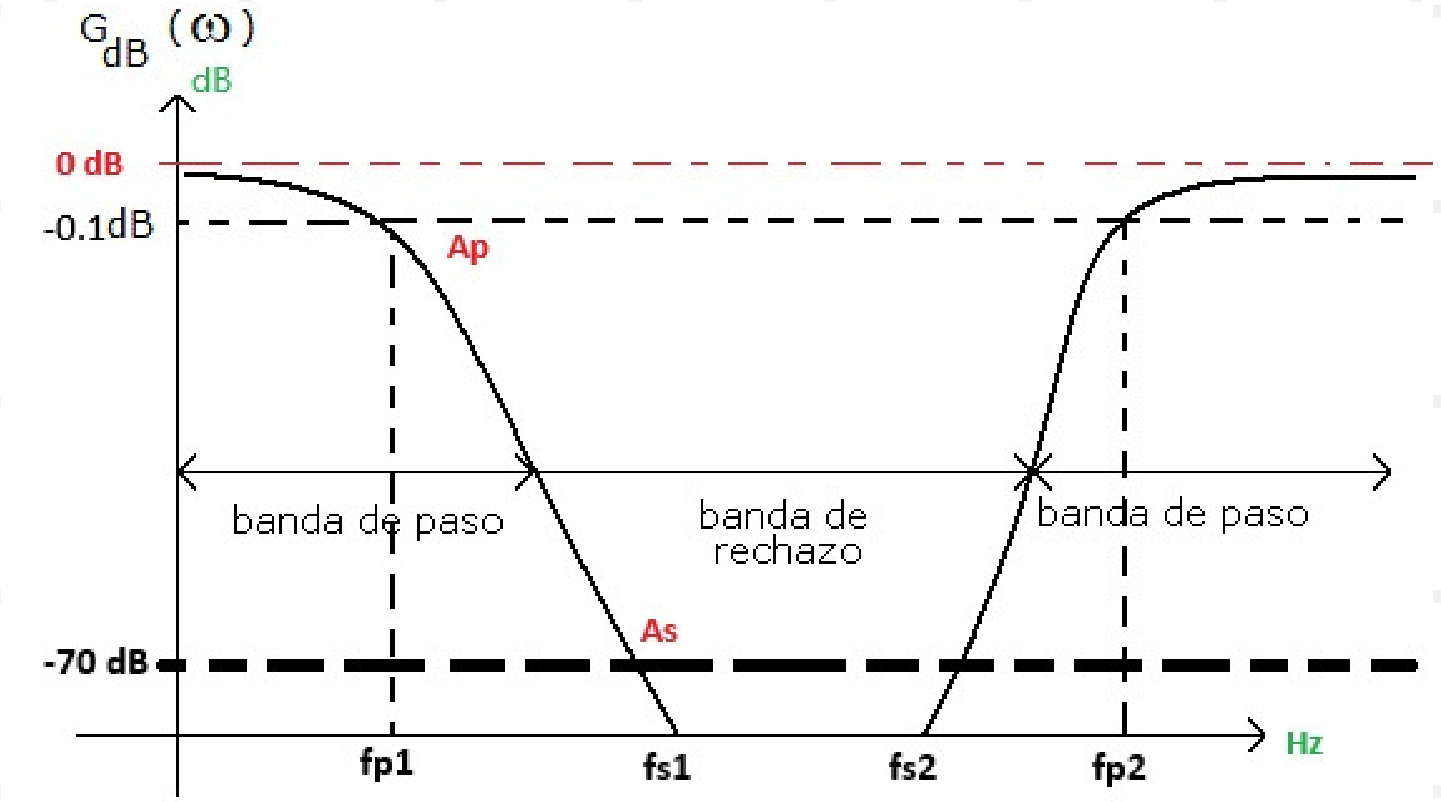


MAGNITUD DEL AUDIO DE ENTRADA EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA:



III. FORMULACIÓN DE LA SOLUCIÓN

1) Se eligió el Filtro Elíptico Rechaza banda.
2) Seleccionamos los parámetros de dicho filtro (Ap, AS, ωP, ωS).
3) Construimos el plano complejo (S) para luego hacer la transformación de frecuencia (Ts).
4) Verificamos que el valor de N sea menor o igual a 7 y definimos N polos.
5) Definimos la Función de Transferencia "H(s)" (Aplicamos el Filtro Elíptico).
6) Restringimos "H(s)" para trasladarnos a "H(ω)".
7) Realizamos la Transformada Inversa de Fourier para obtener "h(t)".



III. FORMULACIÓN DE LA SOLUCIÓN

FILTRO ELÍPTICO

Determinación del orden

$$N \geq \frac{\log_{10}(16/d^2)}{\log_{10}(1/q)}$$

Donde:

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

$$q_0 = \frac{1}{2} \times \frac{1-(1-k^2)^{1/4}}{1+(1-k^2)^{1/4}}$$

$$A_p = 10\log_{10}(1+\varepsilon^2)$$
$$A_s = -10\log_{10}(\delta^2)$$

$$k = \frac{\omega_p}{\omega_s{}^*}$$ **Parámetro de selectividad**

$$d = \left(\frac{10^{0.1A_p}-1}{10^{0.1A_s}-1}\right)^{1/2}$$ **Parámetro de discriminante**

Así mismo se tiene

$$\beta = \frac{1}{2N}\ln\left(\frac{\sqrt{1+\varepsilon^2}+1}{\sqrt{1+\varepsilon^2}-1}\right) \qquad U = \sqrt{(1+ka^2)\left(1+\frac{a^2}{k}\right)}$$

$$a = \frac{2q^{1/4}\sum_{m=0}^{\infty}(-1)^m q^{m(m+1)}\sinh[(2m+1)\beta]}{1+\sum_{m=1}^{\infty}(-1)^m q^{m^2}\cosh(2m\beta)}$$

$$\omega_i = \frac{2q^{1/4}\sum_{m=0}^{\infty}(-1)^m q^{m(m+1)}\sin[(2m+1)\pi\ell/N]}{1+2\sum_{m=1}^{\infty}(-1)^m q^{m^2}\cos(2m\pi\ell/N)} \qquad \begin{array}{ll} \ell = i, i = 1,2,\ldots,\frac{N-1}{2} & \text{si N es impar} \\ \ell = i-\frac{1}{2}, i = 1,2,\ldots,\frac{N}{2} & \text{si N es par} \end{array}$$

$$V_i = \sqrt{(1-k\omega_i^2)\left(1-\frac{\omega_i^2}{k}\right)}$$

$$a_i = \frac{1}{\omega_i^2} \qquad b_i = \frac{2aV_i}{1+a^2\omega_i^2} \qquad c_i = \frac{(aV_i)^2+(\omega_i U)^2}{(1+a^2\omega_i^2)^2}$$

La función transferencia de un filtro Elíptico análogo de orden N es:

$$H(s) = \begin{cases} H_0 \prod_{i=1}^{N/2} \dfrac{(s^2+a_i)}{(s^2+b_i s+c_i)} & \text{N es par} \\ \dfrac{H_0}{(s+a)} \prod_{i=1}^{(N-1)/2} \dfrac{(s^2+a_i)}{(s^2+b_i s+c_i)} & \text{N es impar} \end{cases}$$

Donde:

$$H_0 = \begin{cases} \dfrac{1}{\sqrt{1+\varepsilon^2}} \prod_{i=1}^{N/2} \dfrac{c_i}{a_i} & \text{N es par} \\ a \prod_{i=1}^{(N-1)/2} \dfrac{c_i}{a_i} & \text{N es impar} \end{cases}$$

TRANSFORMACION DE FRECUENCIA

Rechaza Banda	$T(s) = \dfrac{(\omega_{p2}-\omega_{p1})s}{s^2+\omega_{p1}\omega_{p2}} \qquad \omega_s{}^* = \min\left(\dfrac{(\omega_{p2}-\omega_{p1})\omega_{s1}}{\omega_{p1}\omega_{p2}-(\omega_{s1})^2}, \dfrac{(\omega_{p2}-\omega_{p1})\omega_{s2}}{(\omega_{s2})^2-\omega_{p1}\omega_{p2}}\right)$

IV. RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA

1. Definimos los parámetros para el diseño del filtro:

```
%% Parámetros del Filtro Rechaza Banda
Ap = 0.5;          % Atenuación de la banda de paso (dB)
As = 70;           % Atenuación de la banda de rechazo (dB)
fp1 = 5095;        % Frecuencia de rechazo inferior (Hz)
fs1 = 5930;        % Frecuencia de paso inferior (Hz)
fs2 = 7055;        % Frecuencia de paso superior (Hz)
fp2 = 8290;        % Frecuencia de rechazo superior (Hz)

% Conversión de frecuencias a radianes por segundo
wp1 = 2*pi*fp1; % Frecuencia de rechazo inferior (rad/s)
ws1 = 2*pi*fs1; % Frecuencia de paso inferior (rad/s)
ws2 = 2*pi*fs2; % Frecuencia de paso superior (rad/s)
wp2 = 2*pi*fp2; % Frecuencia de rechazo superior (rad/s)

% Cálculo del parámetro discriminante
epsil = sqrt(10^(Ap/10)-1);
delta = sqrt(10^(-As/10));
d = epsil/sqrt(delta^(-2)-1);   % Parámetro discriminante
```

2. Construcción del plano Complejo

```
%% Dominio de Laplace (plano complejo s)
Nh = 1024;                                % Número de muestras del filtro
fMax = Fs/2;                              % Frecuencia máxima (Fs/2)
f = (-Nh/2+1:Nh/2)'*Fs/Nh;                % Dominio de frecuencia lineal (Hz)
wi = 2*pi*f;                               % Dominio de frecuencia angular (rad/s)
sigma = wi';                               % Dominio sigma
s = ones(Nh,1)*sigma + 1j*wi*ones(1,Nh); % Plano complejo s
```

3. Transformación de la Frecuencia (Ts)

```
%% Transformación en Frecuencia: s --> Ts
Ts =((wp2-wp1)*s)./(s.^2+wp1*wp2);  % Transformación en Frecuencia: s --> Ts
wsStar = min(((wp2-wp1)*ws1)/((wp1*wp2)-(ws1^2)),((wp2-wp1)*ws2)/((ws2^2)-wp1*wp2));
k = 1/wsStar;   % Parámetro de selectividad

k1 = (1-(k^2))^0.25;  % Cálculo de Estrategia
q0 = 0.5*((1-k1)/(1+k1));  % Cálculo de qzero
q = q0 + 2*(q0^5) + 15*(q0^9) + 150*(q0^13);  % Cálculo de q
N = ceil(log10(16/(d^2)) / log10(1/q));  % Orden del filtro
```


UPC
Universidad Peruana
de Ciencias Aplicadas

IV. RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA

4. Función de Transferencia (Hs) en el dominio de Laplace (s).

```
%% Función de Transferencia (Hs) en el dominio de Laplace (s)
if rem(N, 2) == 0   % Comprobación si el orden del filtro es par o impar
    Ho=1/sqrt(epsil^(2)+1);              % Inicialización de Hzero para el caso par
    for n = 1:0.5*(N)
        Ho = Ho*(ci(n)/ai(n));  % Multiplicación de coeficientes para Ho
    end

    Hs=Ho;  % Inicialización de la función de transferencia para el caso par
    for n = 1:0.5*(N)
        % Cálculo de la función de transferencia para cada término
        Hs=Hs.*(((Ts.^2)+ai(n))./((Ts.^2)+b1(n).*Ts+ci(n)));
    end

else
    Ho = a;              % Inicialización de Hzero para el caso impar
    for n = 1:0.5*(N-1)
        Ho = Ho*(ci(n)/ai(n));  % Multiplicación de coeficientes para Ho
    end

    Hs=Ho./(Ts+a);  % Inicialización de la función de transferencia para el caso impar
    for n = 1:0.5*(N-1)
        % Cálculo de la función de transferencia para cada término
        Hs=Hs.*(((Ts.^2)+ai(n))./((Ts.^2)+b1(n).*Ts+ci(n)));
    end
end
```

5. Transformación al dominio de Fourier y la respuesta impulsiva h(t).

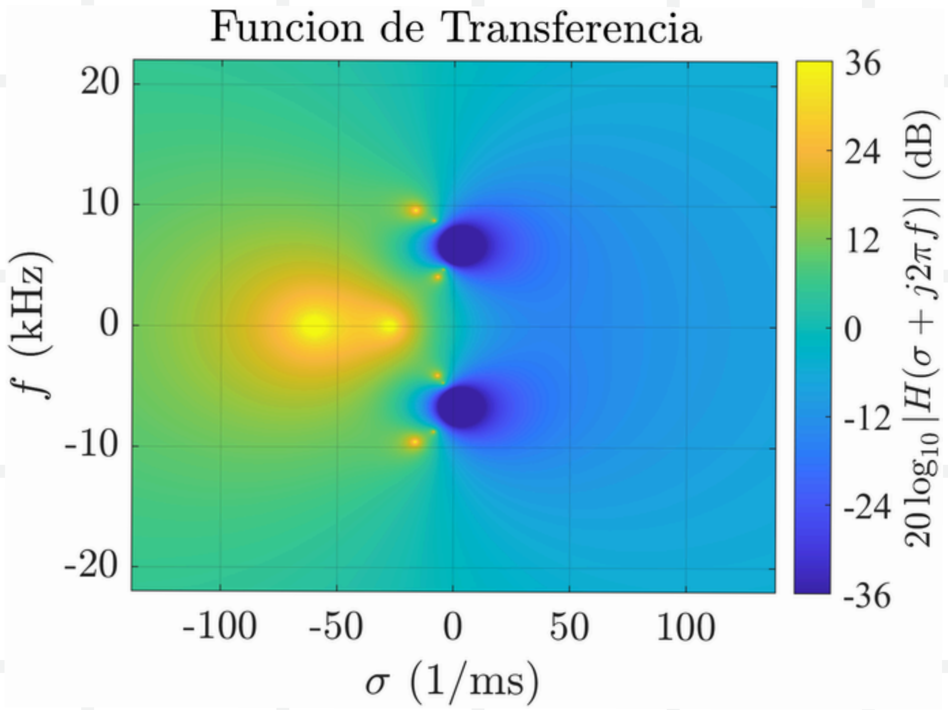
```
%% Función de Transferencia en el Dominio de Fourier
Hw = Hs(Nh/2:end, Nh/2);    % Restricción al eje imaginario positivo

%% Respuesta Impulsiva en el Dominio del Tiempo
h = real(ifft( [Hw; conj(Hw(end-1:-1:2))] ));   % Transformación inversa de Fourier para obter
h = circshift(h, Nh/2);                         % Retraso circular para hacer la respuesta imp
h = h / max(abs(h));                            % Normalización de la respuesta impulsiva
th = (0:Nh-1)' * 1/Fs;                          % Dominio de tiempo de la respuesta impulsiva
```

6. Aplicación al audio original para filtrarlo.

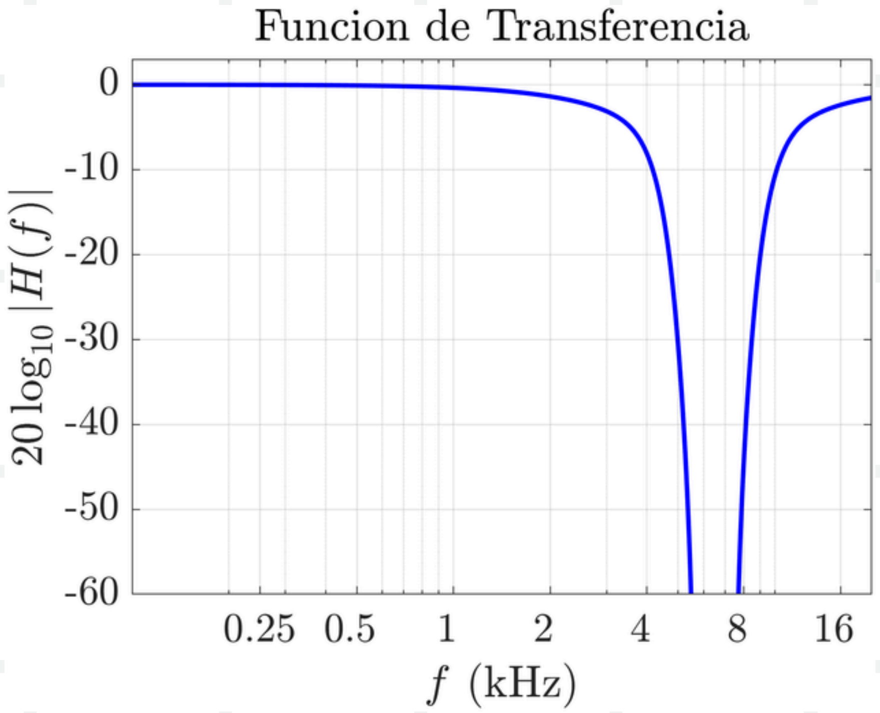
```
%% Aplicación de la Respuesta Impulsiva al Audio Original
y = fftfilt(h, x);      % Convolución rápida entre la respuesta impulsiva y el audio orig
y = y / max(abs(y));    % Normalización de la señal resultante

%% Transformación de Fourier de la Señal de Audio Filtrada
Y = fft(y);        % Transformación de Fourier de la señal filtrada
Y = Y(1:Nx/2+1);   % Selecciona las frecuencias positivas

%% Escritura de la Señal de Audio de Salida
audiowrite('Filtrado.wav', y, Fs); % Guarda la señal de audio filtrada en un archivo WAV
```

IV. RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA

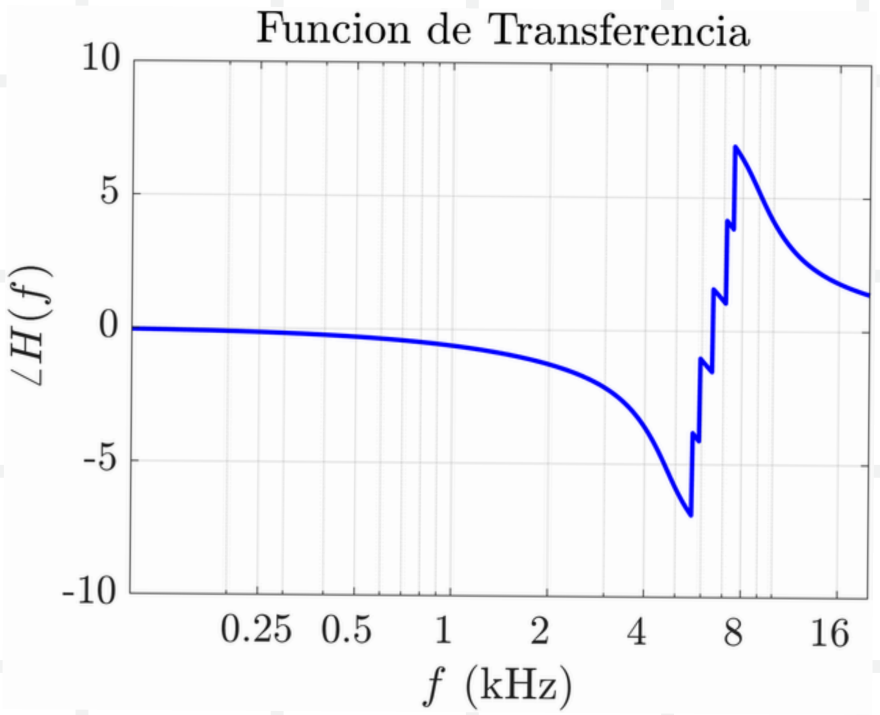
MAGNITUD DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DEL FILTRO EN EL DOMINIO DE LAPLACE.
NÚMERO DE POLOS: 5



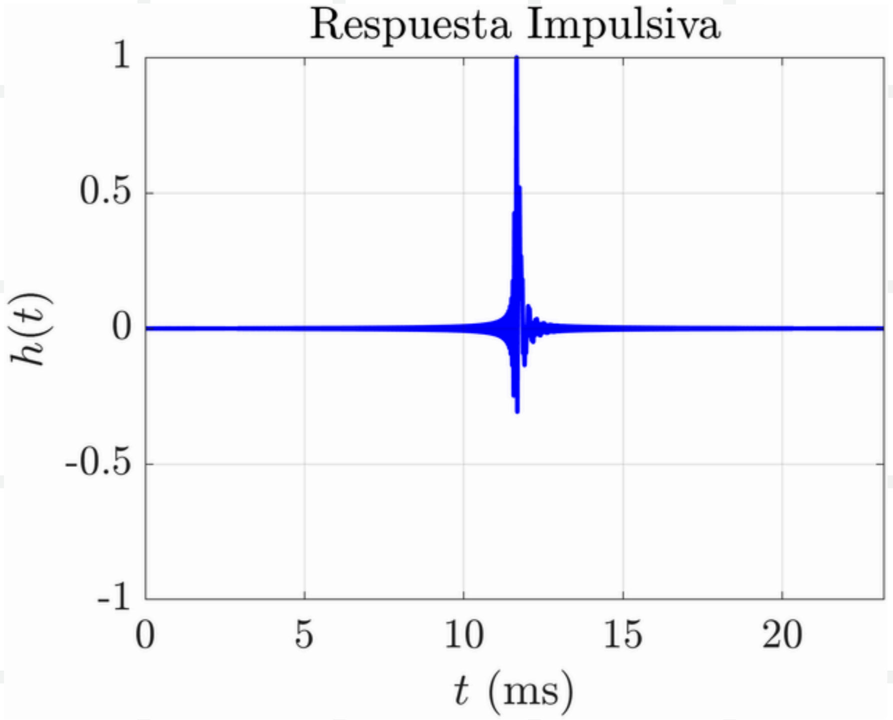
MAGNITUD DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DEL FILTRO EN EL DOMINIO DE FOURIER



FASE DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA DEL FILTRO EN EL DOMINIO DE FOURIER



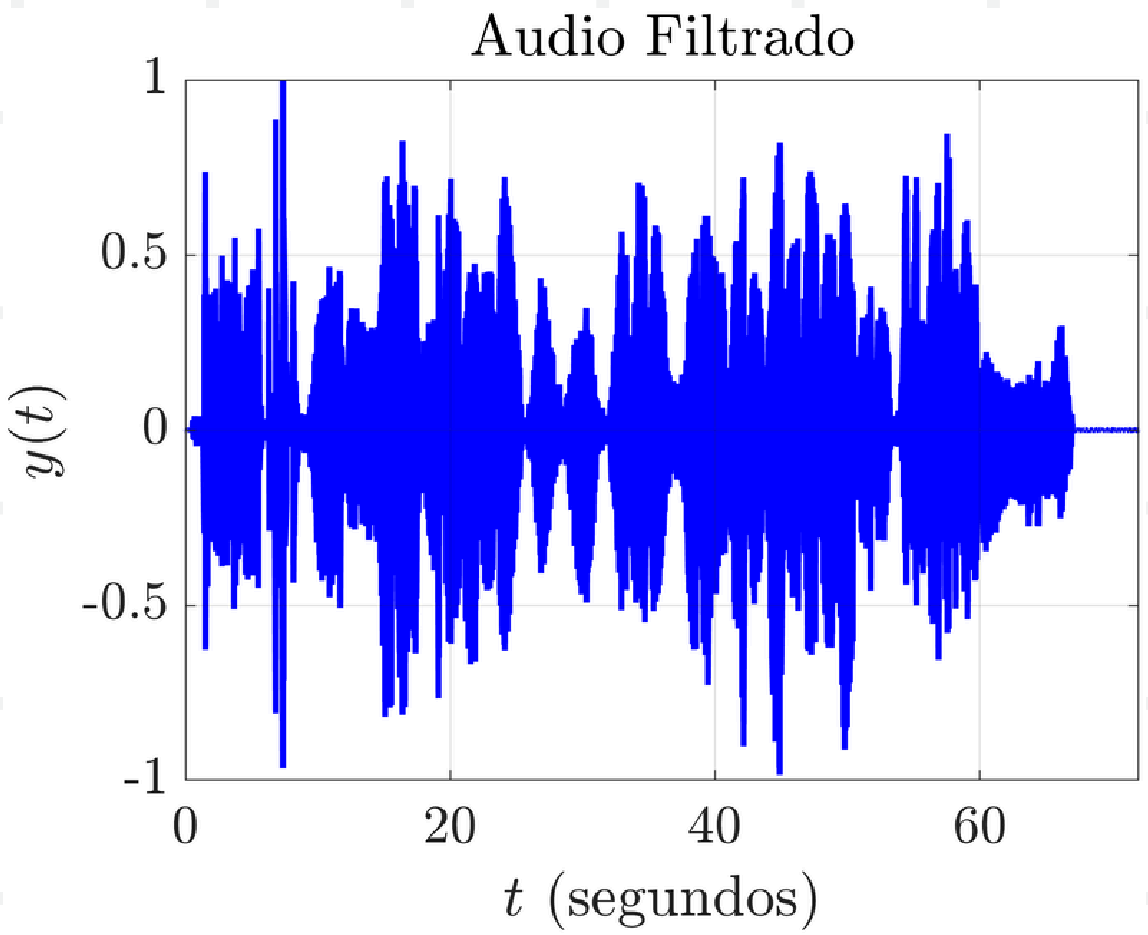
RESPUESTA IMPULSIVA DEL FILTRO EN EL DOMINIO DEL TIEMPO



V. CONCLUSIONES

El uso de un filtro de rechazo de banda en el procesamiento de audio mejora la calidad de la señal al eliminar frecuencias no deseadas, suavizar picos y reducir componentes de alta frecuencia. En resumen, es una herramienta eficaz para eliminar interferencias y mejorar la claridad del sonido.

AUDIO PROCESADO EN EL DOMINIO DEL TIEMPO:



MAGNITUD DEL AUDIO PROCESADO EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA