



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL
DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Implementación de filtros FIR utilizando la plataforma de
simulación MatLab**

AUTOR:

Díaz Puertas, Daniela Michelle

Componente práctico del examen complejo previo a la
obtención del título de **INGENIERA EN
TELECOMUNICACIONES**

REVISOR:

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

16 de Marzo del 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente **componente práctico del examen complejo**, fue realizado en su totalidad por la Srta. **Díaz Puertas, Daniela Michelle** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERA EN TELECOMUNICACIONES**.

REVISOR

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DE CARRERA

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 16 del mes de Marzo del año 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Díaz Puertas, Daniela Michelle**

DECLARÓ QUE:

El **componente práctico del examen complejo, “Implementación de filtros FIR utilizando la plataforma de simulación MatLab”** previo a la obtención del Título de **Ingeniera en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 16 del mes de Marzo del año 2017

EL AUTOR

DÍAZ PUERTAS, DANIELA MICHELLE



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, Díaz Puertas, Daniela Michelle

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del **componente práctico del examen complejo, “Implementación de filtros FIR utilizando la plataforma de simulación MatLab”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 16 del mes de Marzo del año 2017

EL AUTOR

DÍAZ PUERTAS, DANIELA MICHELLE

REPORTE DE URKUND

URKUND

Documento [Daniela Diaz EC.docx](#) (D26836294)

Presentado 2017-03-29 02:27 (-05:00)

Presentado por fernandopm23@hotmail.com

Recibido edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com

Mensaje Revisión Final Díaz Puertas Daniela [Mostrar el mensaje completo](#)

1% de esta aprox. 14 páginas de documentos largos se componen de texto presente en 1 fuentes.

Lista de fuentes Bloques

Categoría	Enlace/nombre de archivo	
>	TT-EDWIN-PINARGOTE-FINAL-2016.docx	<input checked="" type="checkbox"/>
	cinthia tesis.docx	<input type="checkbox"/>
Fuentes alternativas		
	TESIS-PARTE2.docx	<input type="checkbox"/>
	caratula.docx	<input type="checkbox"/>

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUATAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA
DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES
TEMA:
Implementación de filtros FIR utilizando la plataforma de simulación MatLab
AUTOR: Díaz Puertas,
Daniela Michelle
Componente práctico del examen complejo
previo a la obtención del grado
de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES
REVISOR: Palacios Meléndez, Edwin Fernando

1 Advertencias

Reiniciar Exportar Compartir

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado para mis padres por la paciencia y su ayuda brindada durante casi toda la formación de Ingeniera en Telecomunicaciones.

A mis amigos con los que inicié el proceso de formación en ingeniería, por su insistencia en lograr este propósito, que ha sido esquivo en algún momento, y hoy pude lograr culminar esta etapa de mi vida.

EL AUTOR

DÍAZ PUERTAS, DANIELA MICHELLE

AGRADECIMIENTO

Primero agradecer a Dios, nuevamente a mis padres y amigos que supieron apoyar de una u otra manera para culminar la Carrera en Telecomunicaciones.

Al decano de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, M. Sc. Manuel Romero Paz, a los docentes de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo (FETD), en especial al Ing. Efraín Suarez Murillo, y al Coordinador de UTE Telecomunicaciones, M. Sc. Fernando Palacios Meléndez.

EL AUTOR

DÍAZ PUERTAS, DANIELA MICHELLE



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____
LUIS SILVIO CORDOVA RIVADENEIRA
REVISOR

f. _____
MANUEL DE JESUS ROMERO PAZ
DECANO

f. _____
EDWIN FERNANDO PALACIOS MELÉNDEZ
COORDINADOR DE TITULACIÓN

Índice General

Índice de Figuras	XI
Resumen	XIII
CAPÍTULO 1: Descripción del Trabajo de Titulación.....	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes.	3
1.3. Definición del problema.	3
1.4. Justificación del problema.	4
1.5. Objetivos	4
1.5.1. Objetivo General.....	4
1.5.2. Objetivos Específicos.....	4
1.6. Hipótesis.	4
1.7. Metodología de investigación.	5
CAPÍTULO 2: Fundamentación Teórica.....	6
2.1. Fundamentos de los filtros de señales.	6
2.2. Prototipos de los filtros analógicos.	7
2.2.1. Filtro analógico Butterworth.	7
2.2.2. Filtro analógico Chebyshev.....	9
2.3. Diseño del Filtro IIR.....	13
2.4. Ejemplo de diseño de filtro IIR.....	14
CAPÍTULO 3: Simulación y resultados obtenidos del filtrado FIR	17
3.1. Elaboración del método de función de ventana por Matlab.	17
3.1.1. Diseño de FIR pasa bajo usando la ventana Hamming.	18
3.1.2. Diseño de FIR pasa bajo usando la ventana Kaiser.	21
3.1.3. Diseño de FIR pasa banda múltiple usando la ventana Kaiser.	23
3.2. Elaboración del método de muestreo de frecuencia por Matlab.	25

3.2.1. Diseño de FIR pasa bajo usando el método de muestreo de frecuencia.	25
3.2.2. Diseño de FIR pasa alto mediante el método de muestreo de frecuencia.....	27
3.3. Elaboración del método de optimización Equiripple por Matlab.	29
3.3.1. Diseño de FIR pasa bajo Equiripple usando la función Remez.	29
3.3.2. Diseño de FIR pasa banda Equiripple con función Remez.	32
3.3.3. Diseño de FIR eliminación de banda Equiripple con función Remez.	34
3.4. Elaboración del método de optimización CVX por Matlab.	36
CAPÍTULO 4: Conclusiones y Recomendaciones.	38
4.1. Conclusiones.....	38
4.2. Recomendaciones.....	38
Bibliografía.....	39

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2. 1: Respuesta en frecuencia para un filtro pasa bajo.	6
Figura 2. 2: Ejemplo de respuesta en frecuencia para filtros pasa altos.....	6
Figura 2. 3: Ejemplo de respuesta de frecuencia para filtros de elimina banda.	7
Figura 2. 4: Ejemplo de respuesta de frecuencia para filtros pasa banda.	7
Figura 2. 5: Respuesta en frecuencia de un filtro pasa bajo Butterworth.....	9
Figura 2. 6: Respuesta de frecuencia de un filtro pasa bajo Chebyshev tipo I de segundo orden con frecuencia de corte 1 rad/s.....	10
Figura 2. 7: Respuesta de frecuencia de un filtro de Chebyshev tipo II de segundo orden con frecuencia de corte 1 rad/s.....	11
Figura 2. 8: Respuesta en frecuencia del filtro IIR.	16

Capítulo 3

Figura 3. 1: Respuesta de ganancia del filtro pasa bajo usando la ventana Hamming.	19
Figura 3. 2: Gráficas en el dominio de tiempo y frecuencia antes del filtrado.	20
Figura 3. 3: Dominio de tiempo y dominio de frecuencia después de filtrar..	20
Figura 3. 4: Respuesta de ganancia del filtro pasa banda usando ventana Kaiser.	21
Figura 3. 5: Dominio de tiempo y dominio de frecuencia antes de filtrar.	22
Figura 3. 6: Dominio de tiempo y dominio de frecuencia después de filtrar..	22
Figura 3. 7: La respuesta de ganancia del filtro de paso múltiple usando la ventana de Kaiser.....	23
Figura 3. 8: Dominio de tiempo y dominio de frecuencia antes de filtrar.	24
Figura 3. 9: Dominio de tiempo y dominio de frecuencia después de filtrar..	25
Figura 3. 10: Respuesta de ganancia del filtro pasa bajo utilizando el método de muestreo de frecuencia.	26
Figura 3. 11: Diagrama en el dominio de tiempo y frecuencia antes del filtrado.	26

Figura 3. 12: Diagrama en el dominio de tiempo y frecuencia después de ser filtrada.....	27
Figura 3. 13: Respuesta de ganancia del filtro pasa alto utilizando el método de muestreo de frecuencia.	28
Figura 3. 14: Diagrama en el dominio de tiempo y frecuencia antes de ser filtrada.....	28
Figura 3. 15: Diagrama en el dominio de tiempo y frecuencia después de ser filtrada.....	29
Figura 3. 16: Respuesta de ganancia del filtro equiripple pasa bajo.	30
Figura 3. 17: Diagrama en el dominio de tiempo y frecuencia antes de ser filtrada.....	31
Figura 3. 18: Diagrama en el dominio de tiempo y frecuencia después de ser filtrada.....	31
Figura 3. 19: Respuesta de ganancia del filtro equiripple pasa banda.	32
Figura 3. 20: Diagrama en el dominio de tiempo y frecuencia antes de ser filtrada.....	33
Figura 3. 21: Diagrama en el dominio de tiempo y frecuencia después de ser filtrada.	33
Figura 3. 22: La respuesta de ganancia del filtro de parada de banda equiripple.	34
Figura 3. 23: Dominio de tiempo y dominio de frecuencia antes de filtrar. ...	35
Figura 3. 24: Dominio de tiempo y dominio de frecuencia después de filtrar.	35
Figura 3. 25: Respuesta de impulso con $CVX H\Omega^\infty$	36
Figura 3. 26: Respuesta de impulso con $CVX H\Omega^2$	37

Resumen

Para el componente práctico del examen complejo, se realizaron varias propuestas para la implementación de simulaciones en sistemas de telecomunicaciones. Estos sistemas manejan señales, y que existe siempre el interés de cambiar las amplitudes de los componentes, de la frecuencia en la señal, o tal vez eliminar algunas características de la misma, a todo esto, se lo denomina como filtración. Los filtros son condicionadores de señal, cada uno de ellos funciona aceptando una señal de entrada, bloqueando componentes característicos y pasando la señal original menos esos componentes a la salida, tal cual se presenta en la implementación de filtros FIR, que, por sus siglas en inglés, significa respuesta al impulso finita. Se aprendió a utilizar correctamente la herramienta de simulación de MatLab específicamente en el modelado de filtros digitales FIR. Las simulaciones implementadas de filtros FIR fueron evaluadas y sus resultados están acordes a los parámetros requeridos en el filtrado de respuesta impulsional finita.

Palabras claves: **SEÑALES, SISTEMAS, FILTROS, RESPUESTA, IMPULSIONAL, FINITA.**

CAPÍTULO 1: Descripción del Trabajo de Titulación

1.1. Introducción

El filtrado de datos digitales es la técnica más fundamental y más antigua en el campo del procesamiento digital de señales. El filtrado es el proceso de cambiar el contenido espectral original de la señal procesándolo en el dominio del tiempo. Típicamente implica permitir que ciertas frecuencias dentro de la señal pasen mientras se atenúan otras frecuencias, denominadas filtrado selectivo de frecuencia. Estos filtros digitales pueden clasificarse en filtros de respuesta impulsional finita (*Finite Impulse Response, FIR*) y de respuesta de impulso infinita (*Infinite Impulse Response, IIR*).

Como su nombre indica, los filtros FIR tienen una respuesta de impulso de longitud finita, es decir, un impulso de entrada producirá una respuesta que eventualmente se convertirá en ceros. La operación aritmética fundamental utilizada por los filtros FIR para calcular la salida es la multiplicación y la adición y la forma más simple de un filtro FIR es la operación de promedio. En comparación con los filtros IIR, se garantiza que los filtros FIR son estables, pueden diseñarse para tener una respuesta de fase lineal y requerir longitudes de palabra de datos más cortas. Sin embargo, estos filtros requieren órdenes de filtro más altas, lo que resulta en un mayor costo de implementación para cumplir con las mismas especificaciones en comparación con los filtros IIR.

Los filtros FIR son uno de los filtros más utilizados y han desempeñado un papel destacado en la frecuencia de filtrado digital selectivo desde su creación. Son inherentemente estables y libres de oscilaciones de ciclo límite causadas por el uso de la longitud finita de la palabra, siempre y cuando no se implementen de manera recursiva. Como ya se mencionó, pueden ser fácilmente diseñados para ser de fase lineal y, por tanto, lograr un retardo de grupo constante, que ayuda a preservar la integridad de la información que transporta señales y es crucial en las señales de comunicaciones.

Sin embargo, los filtros FIR sufren una desventaja importante, ya que requieren un orden superior para conseguir bandas de transición estrechas en comparación con filtros de respuesta de impulso infinito (IIR). Esto resulta en más operaciones aritméticas como multiplicadores y sumadores y también un aumento en el número de elementos de retardo. Dado que el orden de filtrado de un filtro FIR es inversamente proporcional al ancho de banda de transición, cualquier disminución en el ancho de banda aumenta la complejidad computacional de los filtros FIR significativamente.

Debido a esta alta complejidad computacional de los filtros FIR, la investigación ha estado en marcha durante décadas para reducirlo. Las técnicas propuestas para reducir la complejidad computacional pueden ser ampliamente divididas con respecto a las metas de optimización; Reducción del número de multiplicadores y reducción de la complejidad del multiplicador.

1.2. Antecedentes.

Los filtros digitales FIR son requeridos en la mayoría de sistemas de comunicaciones, a través del procesamiento digital de señales. En el repositorio de la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones se pudo verificar que existen trabajos relacionados al filtrado digital, y que sirvieron de guía para el correcto desarrollo del componente práctico. Aunque existen otras herramientas de simulación para filtros FIR, tales como, LabWindows, LabView y Simulink.

1.3. Definición del problema.

Déficit de herramientas de simulación que aborden el tratamiento de señales digitales junto con el respectivo filtrado utilizando plataformas de simulación virtual. De acuerdo a lo explicado, es necesario realizar la implementación de filtros de respuesta impulsional finita utilizando la plataforma de simulación MatLab.

1.4. Justificación del problema.

El diseño del filtro FIR se refiere principalmente a la obtención de coeficientes de filtro que cumplen ciertas especificaciones de diseño. Estas especificaciones de diseño pueden ser una magnitud de respuesta o fase de respuesta. Se establece una medida de "buena calidad" mediante la cual se determina la proximidad de la respuesta aproximada a la respuesta dada. Los filtros FIR también se diseñan utilizando la técnica de ventana donde la serie de Fourier de un filtro ideal se trunca y se suaviza usando una función de ventana. Sin embargo, esta técnica no produce filtros óptimos en términos de complejidad. Uno de los métodos más comunes para diseñar el filtro FIR de fase lineal es utilizar procedimientos de optimización numéricos como la programación lineal.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General.

Implementar filtros digitales de respuesta impulsional finita utilizando la herramienta de simulación MatLab.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- ✓ Describir la fundamentación teórica del tratamiento de filtros digitales de respuesta impulsional finita.
- ✓ Diseñar los modelos de simulación del filtrado FIR digital utilizando la plataforma Matlab.
- ✓ Evaluar el desempeño de los modelos de simulación del filtrado FIR digital que fueron previamente diseñados.

1.6. Hipótesis.

Mediante la implementación de filtros digitales de respuesta impulsional finita utilizando la herramienta de simulación MatLab se logrará demostrar la eficacia del filtrado y que sirva como herramienta didáctica de ayuda para seguir realizando nuevas propuestas de trabajo a través de la simulación de varios escenarios en el área de Telecomunicaciones.

1.7. Metodología de investigación.

De acuerdo a la investigación realizada y lo explicado por el Coordinador de Titulación, el presente trabajo tiene como tipo de investigación, el descriptivo, explicativo y exploratorio. Así como el enfoque de investigación es netamente cuantitativo, y el diseño de investigación, es propio y que sigue la visión de la simulación virtual.

CAPÍTULO 2: Fundamentación Teórica

2.1. Fundamentos de los filtros de señales.

El propósito de un filtro es aceptar cierto tipo de señales y rechazar otras. Un filtro puede caracterizarse por su respuesta de frecuencia, tales como los siguientes filtros: pasa bajo, pasa alto, elimina banda, pasa banda. Para un filtro pasa bajo, las características de respuesta de frecuencia se muestran en la figura 2.1. Los otros filtros se muestran en las figuras 2.2, 2.3 y 2.4.

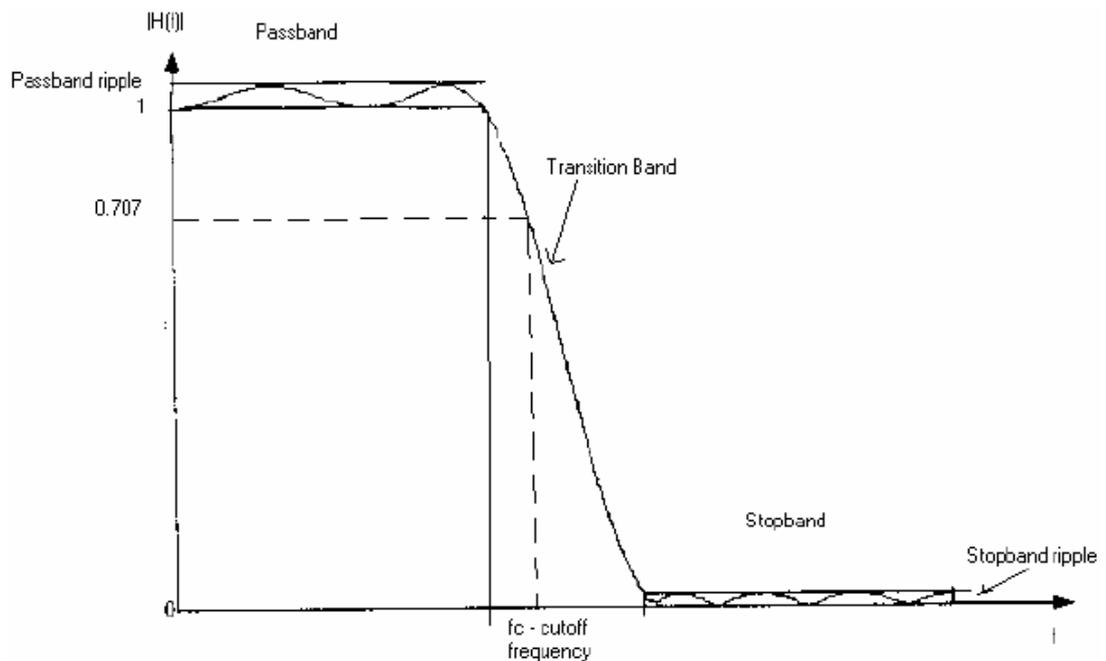


Figura 2. 1: Respuesta en frecuencia para un filtro pasa bajo.

Fuente: (Khorsheed, 2014)

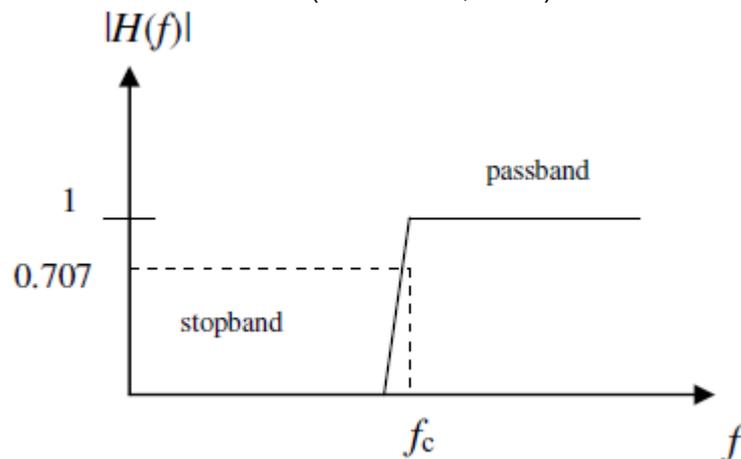


Figura 2. 2: Ejemplo de respuesta en frecuencia para filtros pasa altos.

Fuente: (Zaki R., 2013)

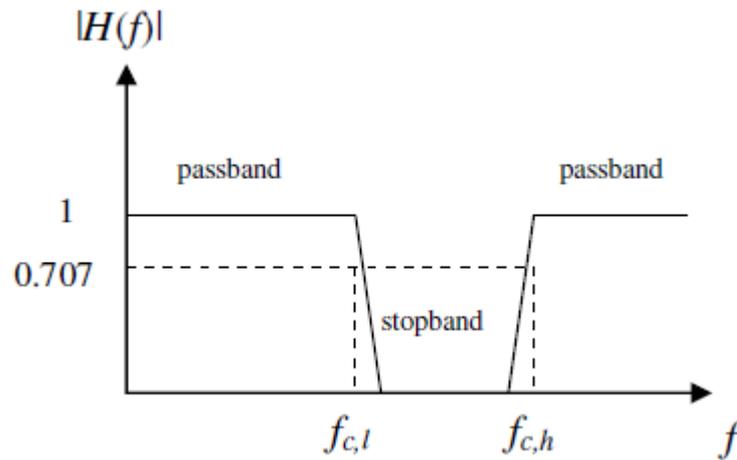


Figura 2. 3: Ejemplo de respuesta de frecuencia para filtros de elimina banda.
Fuente: (Kolawole et al., 2015)

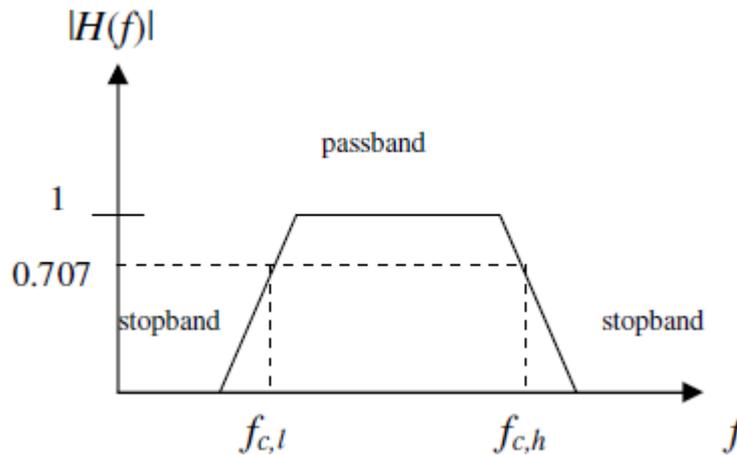


Figura 2. 4: Ejemplo de respuesta de frecuencia para filtros pasa banda.
Fuente: (Kolawole et al., 2015)

2.2. Prototipos de los filtros analógicos.

En esta sección se describen ejemplos de los modelos de filtros analógicos básicos, tales como: Butterworth, Chebyshev y Elíptico. Estos modelos son importantes al momento de diseñar filtros IIR. En la sección 2.2.1. se describen los filtros analógicos Butterworth y Chebyshev.

2.2.1. Filtro analógico Butterworth.

La respuesta en frecuencia de M-ésimo orden de un filtro Butterworth puede expresarse como:

$$|H(w)| = \frac{1}{\sqrt{1 + w^{2M}}}$$

La figura 2.5 se muestra la respuesta de frecuencia para $M = 2, 4$ y 6 . La función de transferencia para el filtro Butterworth pasa bajo de orden M puede escribirse como

$$H(s) = \frac{1}{(s - s_1)(s - s_2) \dots (s - s_M)}$$

Mientras, que los polos del plano en el dominio de la frecuencia "s", son asociados con la respuesta de frecuencia Butterworth y que están dados por:

$$s_k = e^{j\left[\frac{(2k+M-1)\pi}{2M}\right]} \quad 1 \leq k \leq 2M$$

Los polos se presentan como pares conjugados complejos s_k y s_{M+1-k} que se pueden usar para formar secciones de segundo orden. Una sección de segundo orden k se puede escribir como:

$$H_k(s) = \frac{1}{(s - s_k)(s - s_{M+1-k})}$$

$$H_k(s) = \frac{1}{s^2 - 2s \cos\left(\frac{(2k+M-1)\pi}{2M}\right) + 1}$$

La función de transferencia analógica para un filtro Butterworth de paso bajo se puede escribir como:

$$H(s) = \prod_{k=1}^{M/2} H_k(s) \quad \text{para } M \text{ par}$$

$$H(s) = \frac{1}{s+1} \prod_{k=1}^{(M-1)/2} H_k(s) \quad \text{para } M \text{ impar}$$

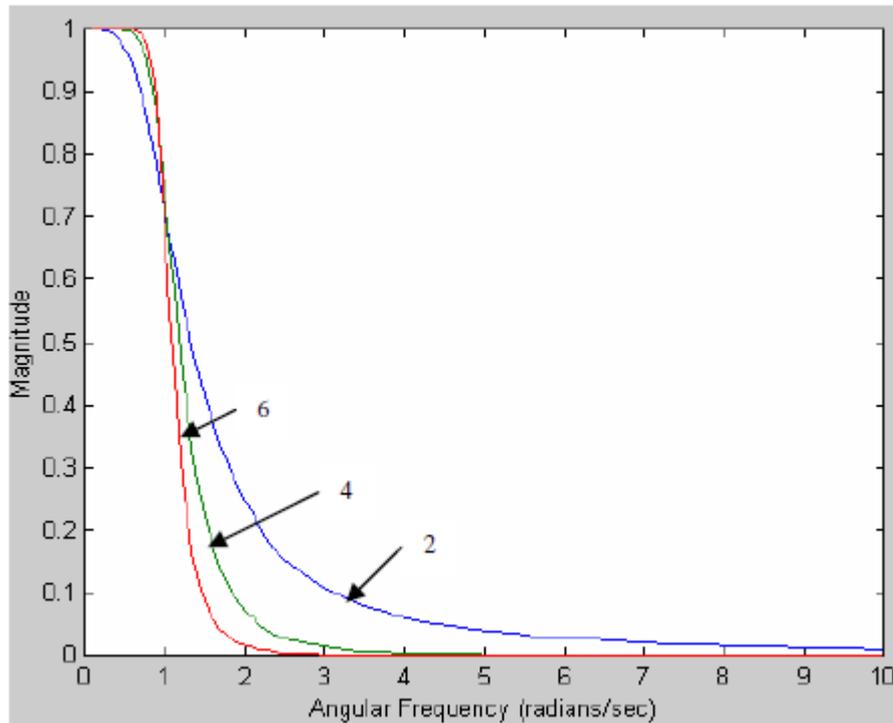


Figura 2. 5: Respuesta en frecuencia de un filtro pasa bajo Butterworth.

Fuente: (Anju & Mamta, 2012)

2.2.2. Filtro analógico Chebyshev.

Dado el mismo orden del filtrado, los filtros Chebyshev tienen características de transición más nítidas, si realizamos la comparación con un filtro Butterworth. Sin embargo, esto es a expensas de la introducción de señales en la banda de paso (Tipo I) o en la banda de parada (Tipo II). La respuesta en frecuencia de un filtro Chebyshev Tipo I de M-ésimo orden y que puede expresarse como:

$$|H(w)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 V_M^2(w)}}$$

Donde $V_M(w)$ es el polinomio de orden M para el filtro Chebyshev.

$$\begin{aligned} V_M(w) &= \cos(M \cos^{-1}(w)) & w \leq 1 \\ V_M(w) &= \cosh(M \cosh^{-1}(W)) & w \geq 1 \end{aligned}$$

Donde ε es el parámetro que controla la señal de banda paso. La magnitud de la banda paso oscila entre 1 y $1/\sqrt{1 + \varepsilon^2}$. En la figura 2.6 se

muestra la respuesta en frecuencia de un filtro Chebyshev tipo II de 2 órdenes con ondulación 0,04, 0,06 y 0,1.

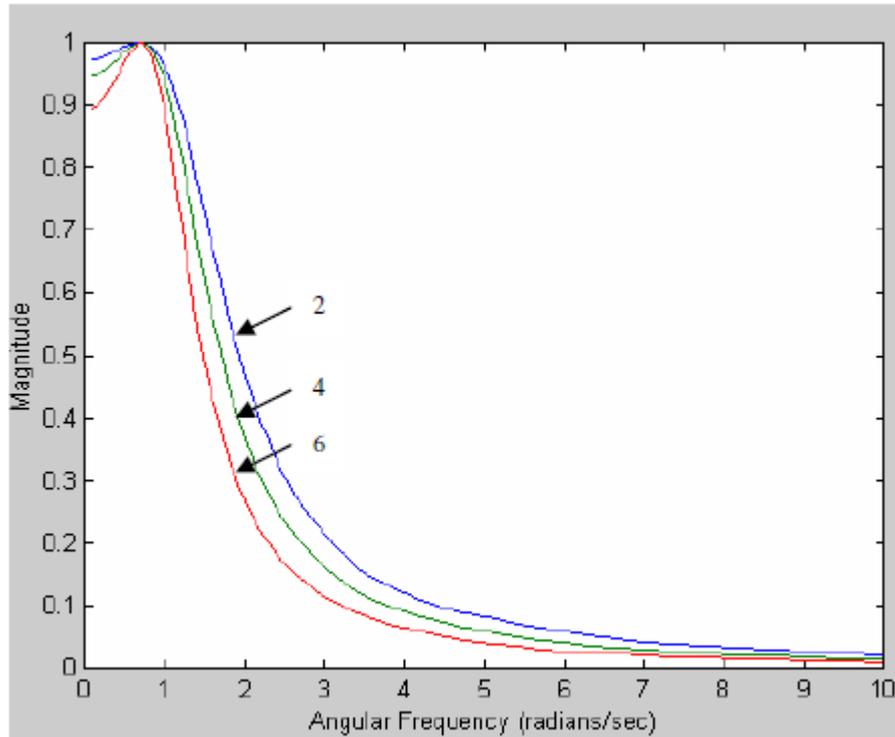


Figura 2. 6: Respuesta de frecuencia de un filtro pasa bajo Chebyshev tipo I de segundo orden con frecuencia de corte 1 rad/s.

Fuente: (Anju & Mamta, 2012)

A diferencia del filtrado Chebyshev tanto de Tipo I, y el Tipo II se caracteriza por señales en la banda de parada. La respuesta en frecuencia del filtro Chebyshev Tipo II de orden M puede ser expresada como:

$$|H(w)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 (V_M(w_s)/V_M(w_s/w))^2}}$$

Donde: $V_M(w)$ es el polinomio Chebyshev de orden M , mientras que, w_s especifica el extremo inferior de la banda de parada y determina la ganancia en la frecuencia de corte normalizada para $w_c = 1 \text{ rads}$. Ahora, el parámetro λ puede utilizarse para especificar el tipo de filtro Chebyshev, para regular la atenuación de eliminación de banda. Para el filtro pasa bajo de Tipo II, la respuesta de magnitud de la banda de interrupción oscila entre $1/\lambda$ Y 0 para

$w \geq w_s$. Los parámetros de especificación del filtro están relacionados por la siguiente ecuación

$$M \geq \frac{\cosh^{-1}\left(\sqrt{(\lambda^2 - 1)/\varepsilon}\right)}{\cosh^{-1}(w_s)}$$

La figura 2.7 se muestra la respuesta en frecuencia del filtro Chebyshev tipo II para un valor de $\varepsilon = 0.95, 0.8$ y 0.3 .

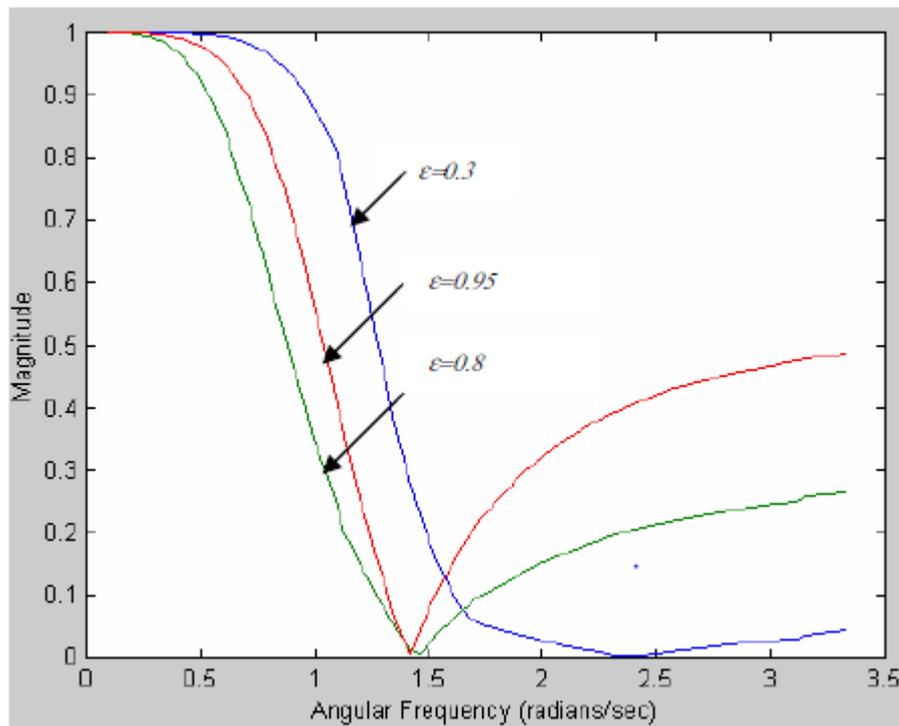


Figura 2. 7: Respuesta de frecuencia de un filtro de Chebyshev tipo II de segundo orden con frecuencia de corte 1 rad/s.

Fuente: (Anju & Mamta, 2012)

La función de transferencia para el filtro pasa bajo Chebyshev de tipo I de orden M puede escribirse como:

$$H(s) = A \frac{s_1 s_2 \dots s_M}{(s - s_1)(s - s_2) \dots (s - s_M)}$$

Donde A es un factor escalar, definido como:

$$A = -1 \quad M \text{ es impar}$$

$$A = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2}} \quad M \text{ es par}$$

Donde ε es la señal del filtro pasa banda. Los polos se definen como:

$$s_k = \sigma_k + jw_k \quad k = 1, 2, \dots, M$$

$$\sigma_k = -\sinh \phi \sin\left(\frac{2k-1}{2M}\pi\right) \quad w_k = -\cosh \phi \sin\left(\frac{2k-1}{2M}\pi\right)$$

$$\sinh \phi = \frac{\gamma - \gamma^{-1}}{2} \quad \cosh \phi = \frac{\gamma + \gamma^{-1}}{2}$$

$$\gamma = \left(\frac{1 + \sqrt{1 + \varepsilon^2}}{\varepsilon}\right)^{1/M}$$

Al igual que el filtro Butterworth, el filtro Chebyshev tipo I se puede realizar como una cascada de secciones de segundo orden. Para cuando M sea par, el factor escalar $1/\sqrt{1 + \varepsilon^2}$ ya fue incorporado en la sección anterior. La sección final $K = (M + 1)/2$ es de primer orden para cuando M sea impar y el coeficiente de numerador se modifica para incluir el factor de escala -1.

La función de transferencia del filtro pasa bajo Chebyshev de Tipo I de orden M puede escribirse como

$$H(s) = \frac{s_1 s_2 \dots s_M (s - t_1)(s - t_2) \dots (s - t_M)}{t_1 t_2 \dots t_L (s - s_1)(s - s_2) \dots (s - s_M)}$$

Los ceros de la función de transferencia están situados en el eje imaginario y se definen como:

$$t_k = j \frac{w_s}{\cos[\pi(2k-1)/(2L)]} \quad k = 1, 2, \dots, M$$

Donde se especifica el extremo inferior de la banda de parada. Para cuando, M es impar, el cero asociado con $K = (L + 1)/2$ miente en $s = -\infty$. Por lo tanto, la ubicación de los polos sería: $s_k = \sigma_k + jw_k$

$$k = 1, 2, \dots, M$$

$$\sigma_k = \frac{w_s a_k}{a_k^2 + \beta_k^2} \quad w_k = \frac{-w_s \beta_k}{a_k^2 + \beta_k^2}$$

$$a = -\sinh \phi \sin[\pi(2k - 1)/(2M)] \quad \beta = \cosh \phi \cos[\pi(2k - 1)/(2M)]$$

$$\sinh \phi = \frac{\gamma - \gamma^{-1}}{2} \quad \cosh \phi = \frac{\gamma + \gamma^{-1}}{2}$$

$$\gamma = (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})^{1/M}$$

La ganancia de amplitud es igual a $1/\lambda$. En $w = w_s$, varía entre $1/\lambda$ Y 0 para $w > w_s$. Similar al filtro Chebyshev Tipo I, el filtro puede realizarse como una cascada de secciones de segundo orden.

2.3. Diseño del Filtro IIR.

Se puede diseñar un filtro IIR basado en prototipos de filtros analógicos que se describieron anteriormente. El procedimiento de diseño para el filtro de paso bajo es el siguiente

1. Definición de las especificaciones del filtro: frecuencia de corte f_c , frecuencia de muestreo $f_{s\text{amp}}$, características de la banda de paso, características de transición, características de la banda de parada y orden del filtro.
2. Elija el prototipo de filtro analógico $H(s)$.
3. Calcular la frecuencia de corte del filtro análogo equivalente Ω_c donde $f_{c,\text{norm}}$ es la frecuencia de corte normalizada del filtro digital deseado donde

$$\Omega_c = 2 \tan\left(\frac{w_{c,\text{norm}}}{2}\right) = 2 \tan(\pi f_{c,\text{norm}})$$

$$f_{c,\text{norm}} = \frac{f_c}{f_{s\text{amp}}}$$

4. Aplicar escala de frecuencia $H(s) = H(s)|_{s=s/\Omega_c}$
5. Determine la función de transferencia para el filtro digital $H(z)$ haciendo la sustitución $H(z) = H(s)|_{s=2(z-1)/(z+1)}$ [Nota: esto es válido si la frecuencia de corte se normaliza a la frecuencia de muestreo]

6. Verifique la respuesta de frecuencia resultante del filtro digital reemplazando $z = \exp(j2\pi f)$ en la función de transferencia $H(z)$.

El procedimiento anterior es aplicable al diseño de filtros paso alto, paso de banda y filtros de banda con las siguientes modificaciones en la etapa 4

Pasa alto $s \rightarrow \frac{1}{s}$

Pasa banda $s \rightarrow \frac{s^2 + \Omega_0^2}{W_s}$

Eliminar banda $s \rightarrow \frac{1}{s}, s \rightarrow \frac{s^2 + \Omega_0^2}{W_s}$

Dónde

$$\Omega_0^2 = \Omega_{c,h}\Omega_{c,t}, W = \Omega_{c,h} - \Omega_{c,l}$$

$$\Omega_{c,h} = 2 \tan\left(\frac{W_{c,h,norm}}{2}\right) = 2 \tan(\pi f_{c,h,norm})$$

$$\Omega_{c,t} = 2 \tan\left(\frac{W_{c,l,norm}}{2}\right) = 2 \tan(\pi f_{c,l,norm})$$

2.4. Ejemplo de diseño de filtro IIR

El procedimiento descrito se utiliza para diseñar un filtro de paso bajo. Dada la especificación de un filtro de Butterworth de segundo orden como

$$f_c = 1,000 \text{ Hz}$$

$$f_s = 10,000 \text{ Hz}$$

El prototipo del filtro analógico de paso bajo de Butterworth es

$$H(s) = \frac{1}{s^2 + 1.4142s + 1}$$

La frecuencia de corte para un filtro analógico es

$$\Omega_c = \frac{2}{T_s} \tan(\pi f_c T_s)$$

Si f_c se normaliza a la frecuencia de muestreo entonces $T_s = 1$ y

$$\begin{aligned}\Omega_c &= 2 \tan(\pi f_{c,norm}) \\ &= 2 \tan(\pi/10) \\ &= 0.65\end{aligned}$$

La escala de frecuencia se realiza, por lo tanto

$$s = \frac{s}{\Omega_c} = \frac{s}{0.65}$$

La transformación bilineal se utiliza para calcular su respuesta de frecuencia.

$$\begin{aligned}H(s) &= \frac{1}{s^2 + 1.4142s + 1} \\ &= \frac{1}{\left(\frac{s}{0.65}\right)^2 + 1.4142\left(\frac{s}{0.65}\right) + 1}\end{aligned}$$

Sustituir $s = \frac{2(1-z^{-1})}{(1+z^{-1})}$ En $H(s)$ para calcular $H(z)$, por lo tanto

$$\begin{aligned}H(z) &= \frac{0.4225}{\left[\frac{2(1-z^{-1})}{1+z^{-1}}\right]^2 + 0.9192\left[\frac{2(1-z^{-1})}{1+z^{-1}}\right] + 0.4225} \\ &= \frac{0.4225 + 0.845z^{-1} + 0.4225z^{-2}}{6.261 - 7.155z^{-1} + 2.584z^{-2}}\end{aligned}$$

Al normalizarlo, resultará como:

$$H(z) = \frac{0.0675 + 0.1349z^{-1} + 0.0675z^{-2}}{1 - 1.14528z^{-1} + 0.4127z^{-2}}$$

La figura 2.8 muestra las gráficas de magnitud y fase de la respuesta de frecuencia.

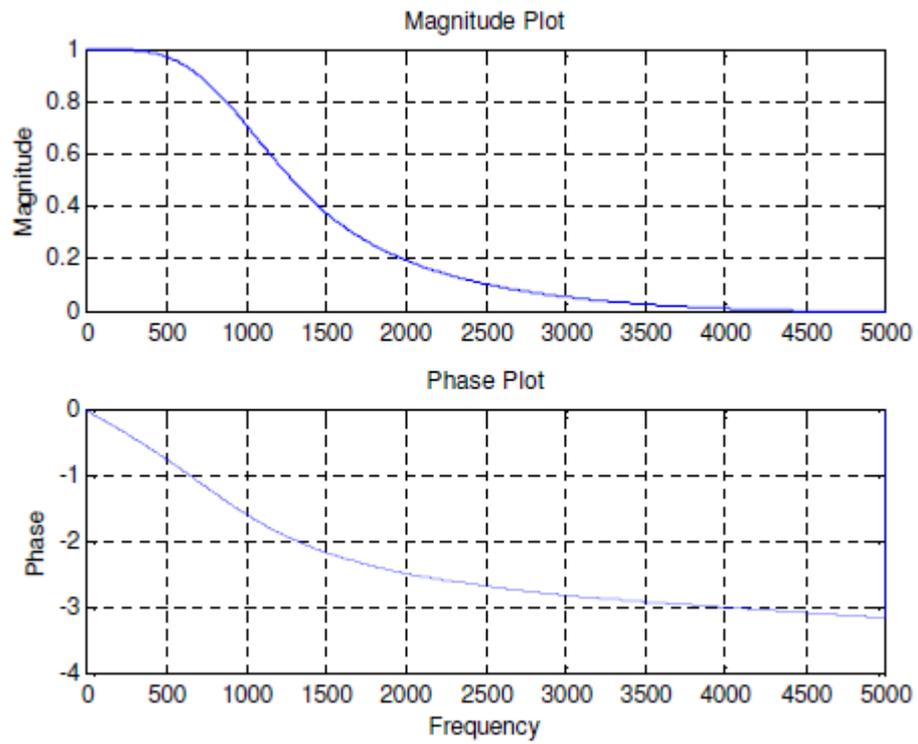


Figura 2. 8: Respuesta en frecuencia del filtro IIR.
Fuente: (Kim, Adeli, Ramos, & Kang, 2011)

CAPÍTULO 3: Simulación y resultados obtenidos del filtrado FIR

3.1. Elaboración del método de función de ventana por Matlab.

A menudo usamos el comando **firl** y **kaiserord** en la elaboración de la función de ventana en Matlab. A continuación, se presentan algunas definiciones de estas dos funciones.

Función **firl**: **b=firl(n,Wn, 'ftype', window)**

Donde, n es el orden del filtro; W_n Es frecuencia de corte, frecuencia normalizada entre 0 y 1, donde 1 corresponde a la frecuencia de Nyquist. Si W_n es un vector de dos elementos, $W_n = [w1 \ w2]$, entonces retorna a un filtro de paso de banda con una banda de paso de $w1$ a $w2$. Si W_n es un vector multi-elemento, $W_n = [w1 \ w2 \ w3... \ w_n]$, devuelve un orden de n filtro multibanda con bandas de 0 a $w1$, $w1$ a $w2, \dots, w_n$ a 1; **ftype** es el tipo de filtro, por ejemplo, **ftype** = 'high', representa un filtro de paso alto; **Ftype** = 'stop', representa un filtro de banda de parada.

El tipo predeterminado es filtro de paso bajo cuando no hay ninguna indicación; **Windows** es la ventana de Hamming, **blackman (n)** es ventana de Blackman, **kaiserord (n, beta)** es ventana de Kaiser, y la ventana de Hamming Por defecto es Hamming ventana cuando no hay ninguna indicación.

Función **kaiserord**: **[n, Wn, beta, ftype]=kaiserord (f, a, dev, fs)**

Donde, f es un vector, representa el punto inicial y final de la banda de transición del filtro; a es un vector, significa la amplitud de la frecuencia especificada; dev es un vector, la misma longitud con a , representa para el error de amplitud máxima de cada banda de paso y banda de parada; n es el orden mínimo del filtro que puede satisfacer los requisitos; W_n es la frecuencia de corte del filtro; y **ftype** es el tipo de filtro.

3.1.1. Diseño de FIR pasa bajo usando la ventana Hamming.

A continuación, se muestran los requisitos necesarios para diseñar un filtro FIR pasa bajo.

- Uso de la ventana Hamming y frecuencia de muestreo es 2000 Hz.
- La frecuencia de corte de la banda de paso es $0,1\pi$, y la frecuencia de corte de la banda de parada es $0,17\pi$.
- La atenuación de la banda de paso es menor o igual a 0,1dB, y la atenuación de la banda de parada es mayor o igual a 50dB.

Aquí, la frecuencia de corte es toda la frecuencia normalizada, para lo cual obtenemos esto $\omega = 2\pi f/f_s$, donde f_s es la frecuencia de muestreo. El código de programación en Matlab se muestra a continuación:

```
f1=100;f2=200;
fs=2000;
m=(0.3*f1)/(fs/2);
M=round(8/m);
N=M-1;
b=fir1(N,0.5*f2/(fs/2));
figure(1)
[h,f]=freqz(b,1,512);
plot(f*fs/(2*pi),20*log10(abs(h)))
xlabel('frequency/Hz');ylabel('gain/dB');title('The gain response of
lowpass filter');
figure(2)
subplot(211)
t=0:1/fs:0.2;
s=sin(2*pi*f1*t)+sin(2*pi*f2*t);
plot(t,s);
xlabel('time/s');ylabel('amplitude');title('Time-domain diagram before
filtering');
axis([0 0.1 -2 2]);
subplot(212)
Fs=fft(s,512);
AFs=abs(Fs);
f=(0:255)*fs/512;
plot(f,AFs(1:256));
xlabel('frequency/Hz');ylabel('amplitude');title('Frequency-domain
diagram before filtering');
figure(3)
sf=filter(b,1,s);
subplot(211)
plot(t,sf)
xlabel('time/s');ylabel('amplitude');title('Time-domain diagram after
filtering');
axis([0.1 0.2 -2 2]);
subplot(212)
Fsf=fft(sf,512);
AFsf=abs(Fsf);
f=(0:255)*fs/512;
```

```
plot(f,AFsF(1:256))
xlabel('frequency/Hz');ylabel('amplitude');title('Frequency-domain
diagram after filtering');
```

Posteriormente, este código es ejecutado para obtener la respuesta de ganancia del filtro FIR pasa bajo, tal como se muestra en la figura 3.1.

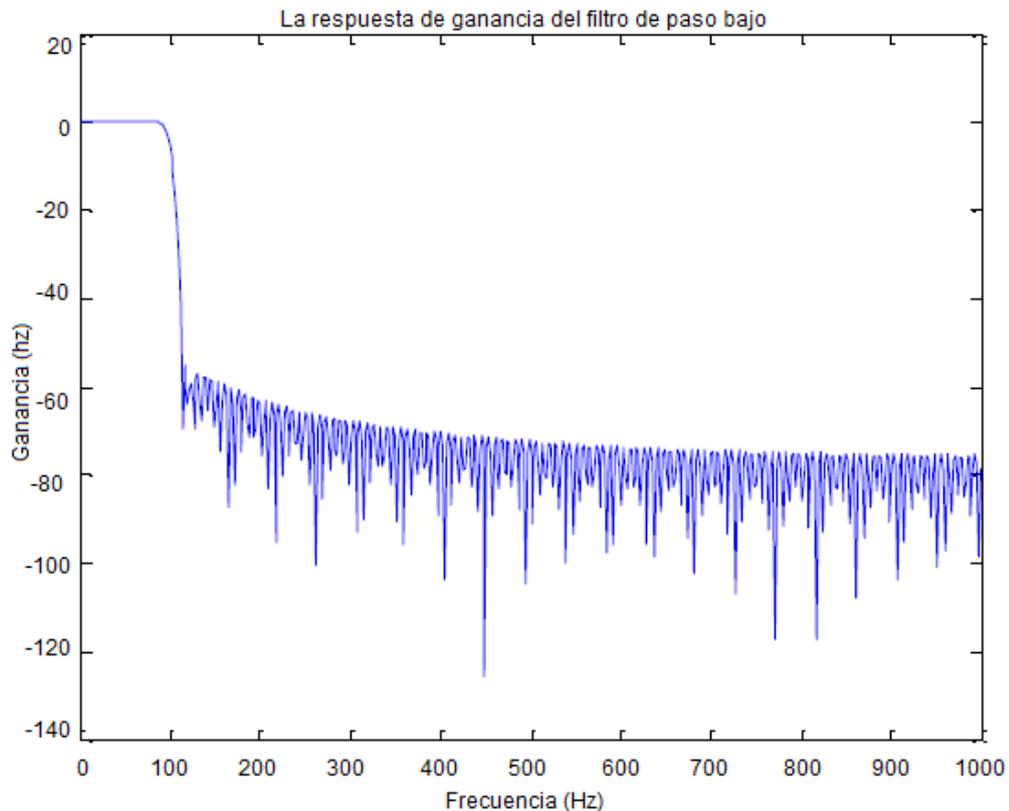


Figura 3. 1: Respuesta de ganancia del filtro pasa bajo usando la ventana Hamming.

Elaborado por: Autor

Comparando las figuras 3.2 y 3.3, es fácil ver que la señal de entrada está formada por dos señales de superposición con frecuencias diferentes. La banda de paso está entre 0 y 100 Hz, y la banda de parada comienza a partir de 170 Hz, y hay dos frecuencias de 100 Hz y 200 Hz que necesitan ser filtradas. La señal con frecuencia de 100 Hz que está en el rango de banda de paso, se mantiene, mientras que la señal con frecuencia 200 Hz está en el rango de banda de parada se filtra. Según los valores mínimos de atenuación de la banda de parada para la ventana de Hamming es de 53 dB, que es superior a 50 dB, y este resultado cumple exactamente con los requisitos.

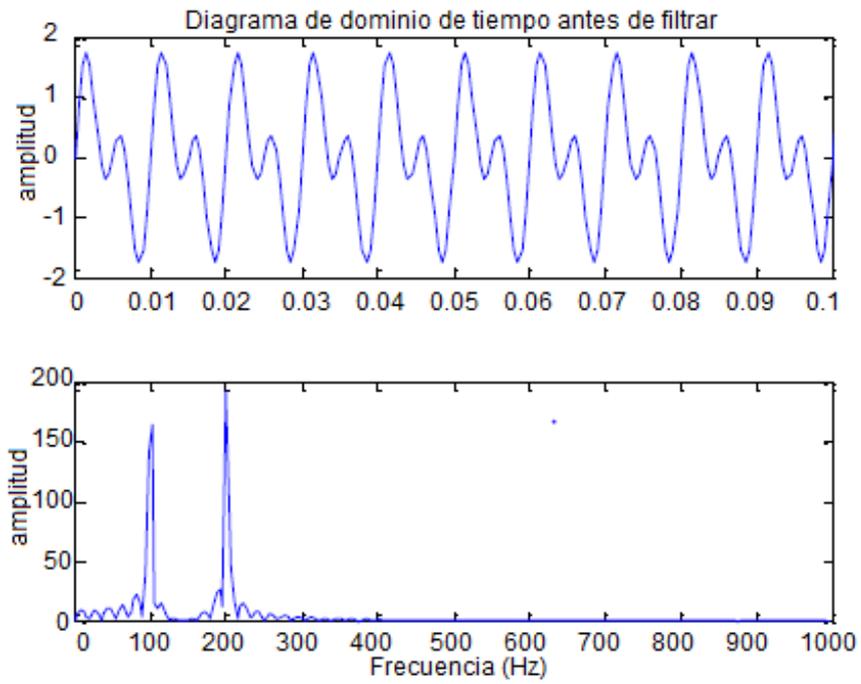


Figura 3. 2: Gráficas en el dominio de tiempo y frecuencia antes del filtrado.

Elaborado por: Autor

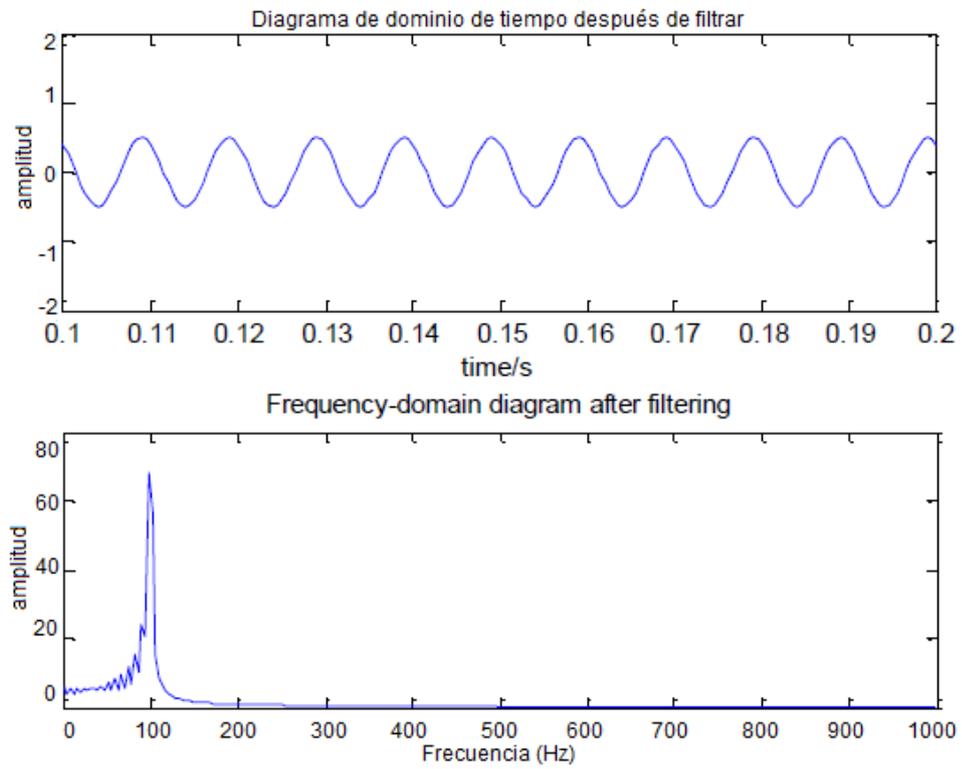


Figura 3. 3: Dominio de tiempo y dominio de frecuencia después de filtrar.

Elaborado por: Autor

3.1.2. Diseño de FIR pasa bajo usando la ventana Kaiser.

A continuación, se muestran los requisitos básicos para el diseño de filtros pasa bajo mediante el método de la función de ventana Kaiser.

- El uso de la ventana Kaiser y la frecuencia de muestreo es 8000 Hz.
- La frecuencia de corte de la banda de paso es 0.325π y 0.5525π , y la frecuencia de corte de la banda de parada es 0.25π y 0.6025π .
- La atenuación de la banda de parada es mayor o igual a 40dB, y la ondulación de la banda de paso y de la banda de parada es 0,01.

Después de unos cambios que se realizan en el algoritmo implementando en MatLab, en la figura 3.4 se muestra el resultado final de la respuesta de ganancia del filtro FIR pasa banda.

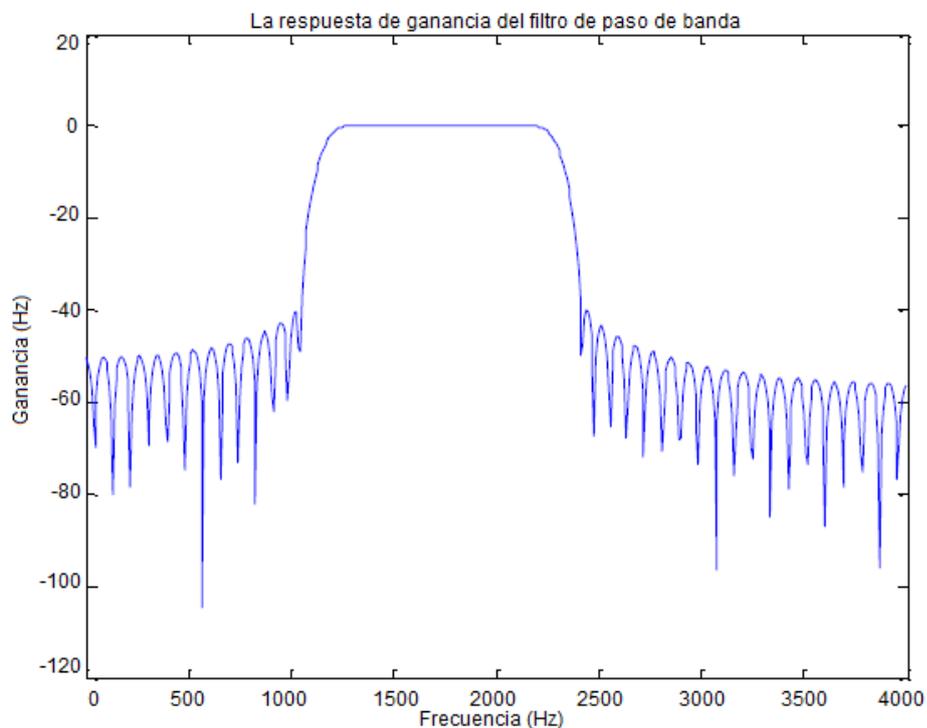


Figura 3. 4: Respuesta de ganancia del filtro pasa banda usando ventana Kaiser.
Elaborado por: Autor

Comparando las figuras 3.5 y 3.6, podemos ver que la señal de entrada está formada por cuatro señales de superposición con cuatro frecuencias diferentes. La banda de paso es de 1300 Hz a 2210 Hz, y la banda de parada es de 0 a 1000Hz y 2410 a 4000Hz. También, se dispone de al menos cuatro

señales con las frecuencias 500, 1500, 2000, y 3000 Hz que necesitan ser filtradas.

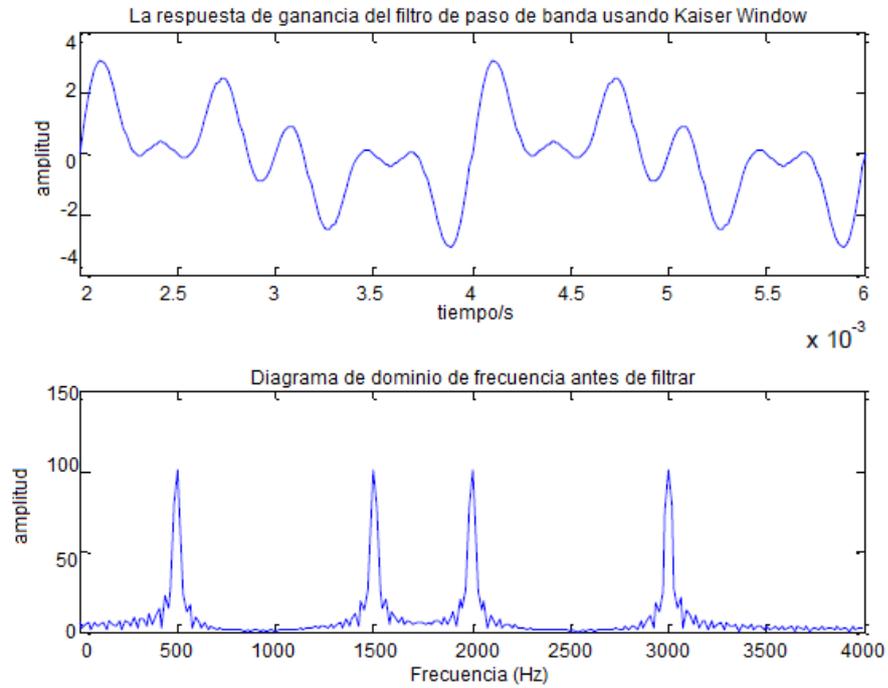


Figura 3. 5: Dominio de tiempo y dominio de frecuencia antes de filtrar.
Elaborado por: Autor

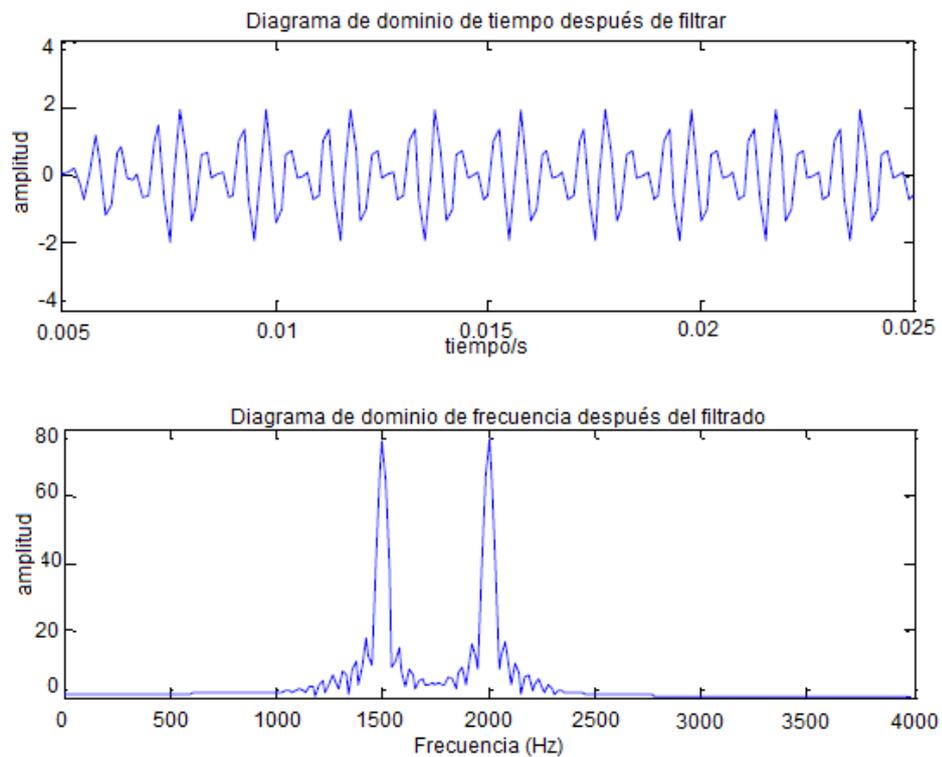


Figura 3. 6: Dominio de tiempo y dominio de frecuencia después de filtrar.
Elaborado por: Autor

En la figura 3.6, podemos ver fácilmente que sólo hay dos señales con las frecuencias de 1500 Hz y 2000 Hz que están en el rango de banda de paso mantenida, mientras que las señales con las frecuencias de 500 Hz y 3000 Hz que están en el rango de banda de parada son filtradas. Las cifras antes y después indican que el filtro que se diseñó, realmente si funciona.

3.1.3. Diseño de FIR pasa banda múltiple usando la ventana Kaiser.

A continuación, se muestran los requisitos básicos para el diseño de filtros pasa banda múltiple mediante el método de la función de ventana Kaiser:

- El uso de la ventana Kaiser y la frecuencia de muestreo es de 200Hz.
- La frecuencia de corte de la banda de paso es $0,2\pi$, $0,4\pi$, $0,7\pi$ y $0,8\pi$, y la frecuencia de corte de la banda de parada es de $0,1\pi$, $0,5\pi$, $0,6\pi$ y $0,9\pi$.
- La atenuación de la banda de parada es mayor o igual a 30dB, y la ondulación de la banda de paso y de la banda de parada es 0,01.

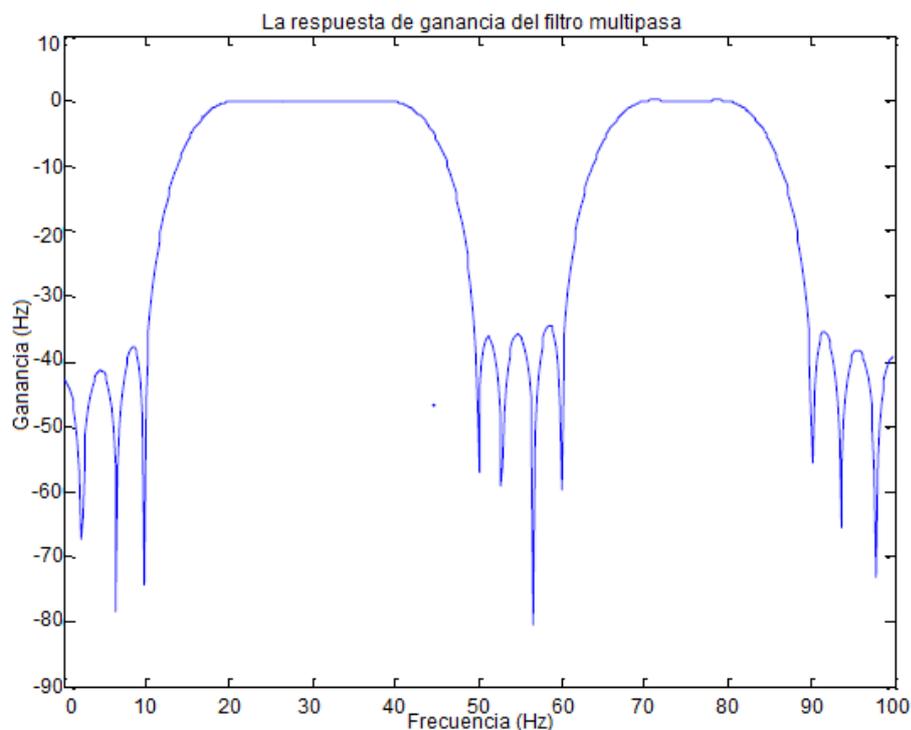


Figura 3. 7: La respuesta de ganancia del filtro de paso múltiple usando la ventana de Kaiser.

Elaborado por: Autor

Después de unos cambios que se realizan en el algoritmo implementando en MatLab, en la figura 3.7 se muestra el resultado final de la respuesta de ganancia del filtro FIR pasa banda. En esta simulación, existen dos bandas de paso y tres bandas de parada, las bandas de paso son de 20 a 40 Hz y de 70 a 80 Hz, y las bandas de parada son de 0 a 10, 50 a 60 y 90 a 200 Hz. De la figura 3.8, podemos ver seis señales de superposición antes de ser filtradas, cuyas frecuencias son 5, 20, 30, 55, 75 y 95 Hz respectivamente.

Según la figura 3.9, es obvio encontrar que sólo se mantienen las señales con frecuencias de 20, 30 y 75 Hz que están en el rango de bandas de paso, mientras que las otras son filtradas debido a la banda de parada.

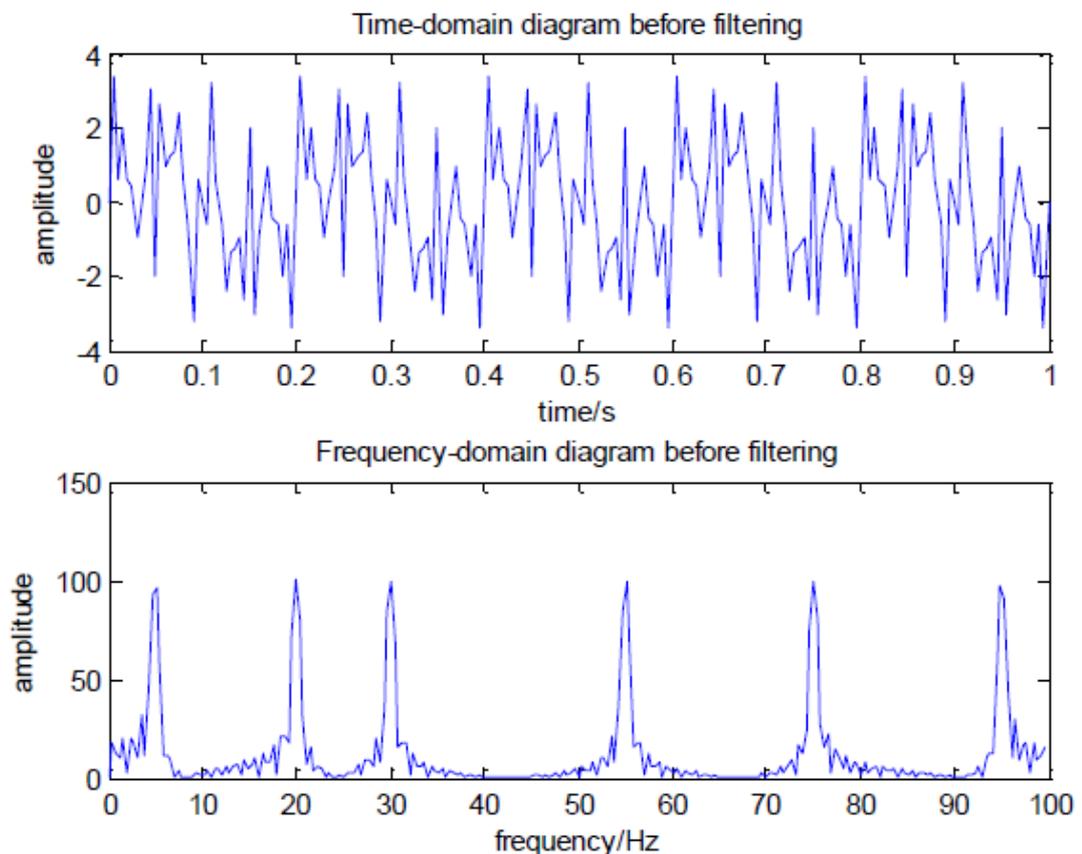


Figura 3. 8: Dominio de tiempo y dominio de frecuencia antes de filtrar.
Elaborado por: Autor

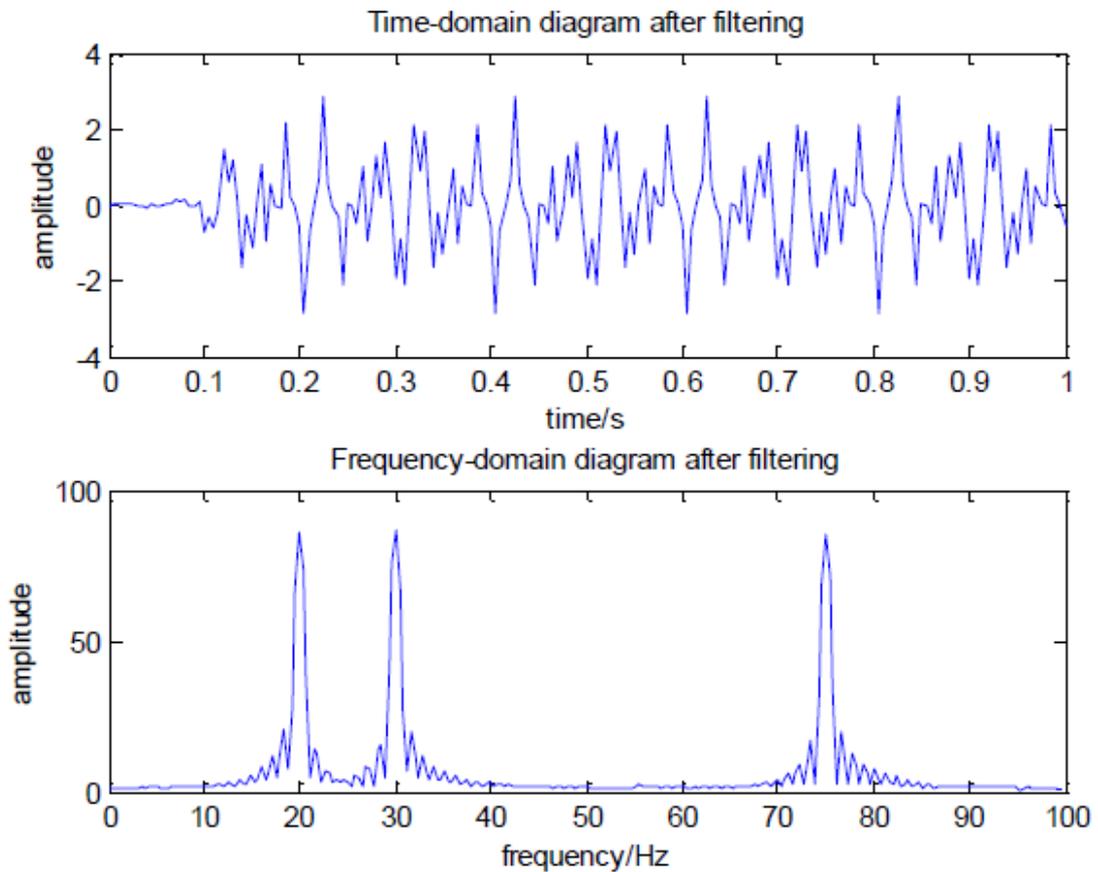


Figura 3. 9: Dominio de tiempo y dominio de frecuencia después de filtrar.
Elaborado por: Autor

3.2. Elaboración del método de muestreo de frecuencia por Matlab.

En esta sección se desarrollan dos escenarios de simulación mediante el muestreo de frecuencia.

3.2.1. Diseño de FIR pasa bajo usando el método de muestreo de frecuencia.

A continuación, se muestran los requisitos básicos para el diseño de filtros pasa bajo mediante el método de muestreo de frecuencia:

- La frecuencia de corte de la banda de paso es 0.5π , y la frecuencia de corte de la banda de parada es 0.6π .
- La atenuación de la banda de parada es mayor o igual a 15 dB.

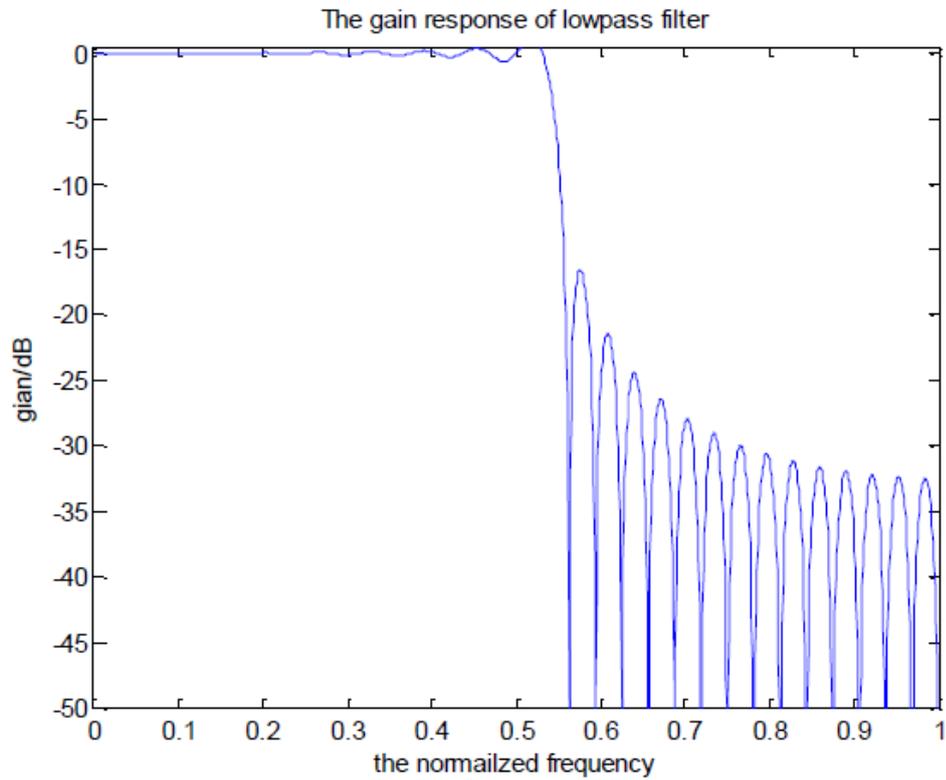


Figura 3. 10: Respuesta de ganancia del filtro pasa bajo utilizando el método de muestreo de frecuencia.
Elaborado por: Autor

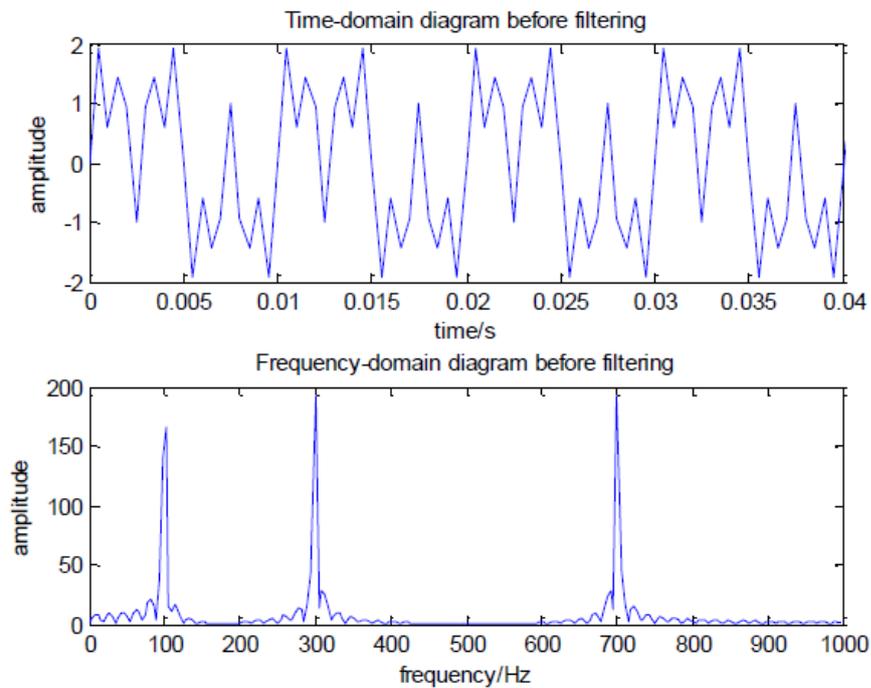


Figura 3. 11: Diagrama en el dominio de tiempo y frecuencia antes del filtrado.
Elaborado por: Autor

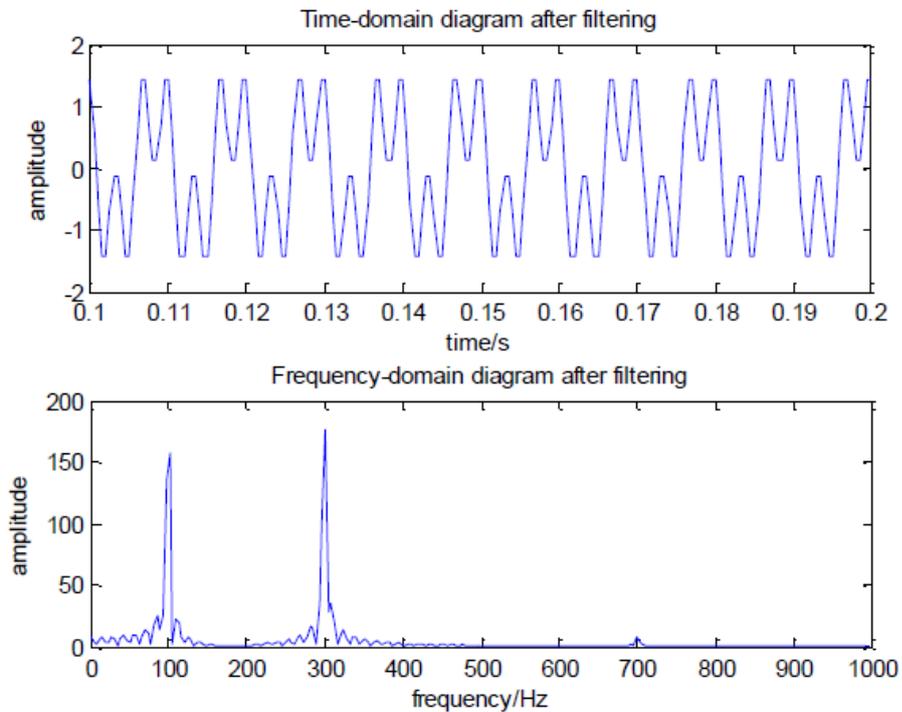


Figura 3. 12: Diagrama en el dominio de tiempo y frecuencia después de ser filtrada.

Elaborado por: Autor

3.2.2. Diseño de FIR pasa alto mediante el método de muestreo de frecuencia.

A continuación, se muestran los requisitos básicos para el diseño de filtros pasa alto mediante el método de muestreo de frecuencia:

- La frecuencia de corte de la banda de paso es 0.5π , y la frecuencia de corte de la banda de parada es 0.6π .
- La atenuación de la banda de parada es mayor o igual a 15 dB.

En la figura 3.12 se muestra la respuesta de ganancia del filtro pasa alto utilizando el método de muestreo de frecuencia. En las figuras 3.13 y 3.14, podemos ver que la señal de entrada consta de tres señales de superposición con frecuencias diferentes. Dado que se trata de un filtro pasa alto, la banda de paso es de 500 a 1000 Hz, por lo que las señales con frecuencias de 700 y 800 Hz que están en el rango de banda de paso se mantienen, mientras que la señal con frecuencia de 200 que está en la banda de parada se ha filtrado.

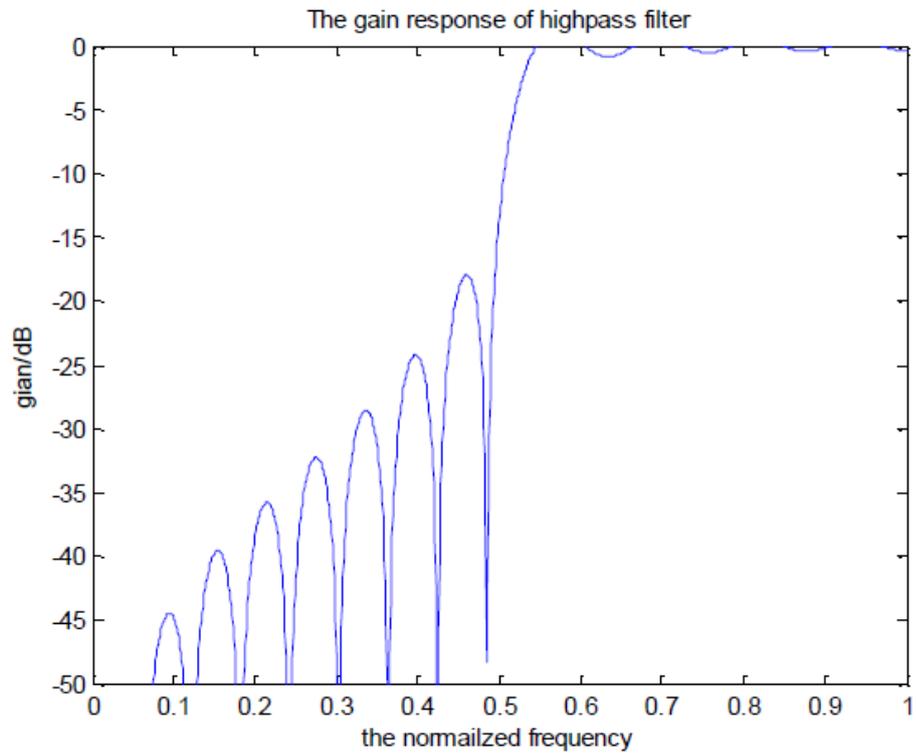


Figura 3. 13: Respuesta de ganancia del filtro pasa alto utilizando el método de muestreo de frecuencia.
Elaborado por: Autor

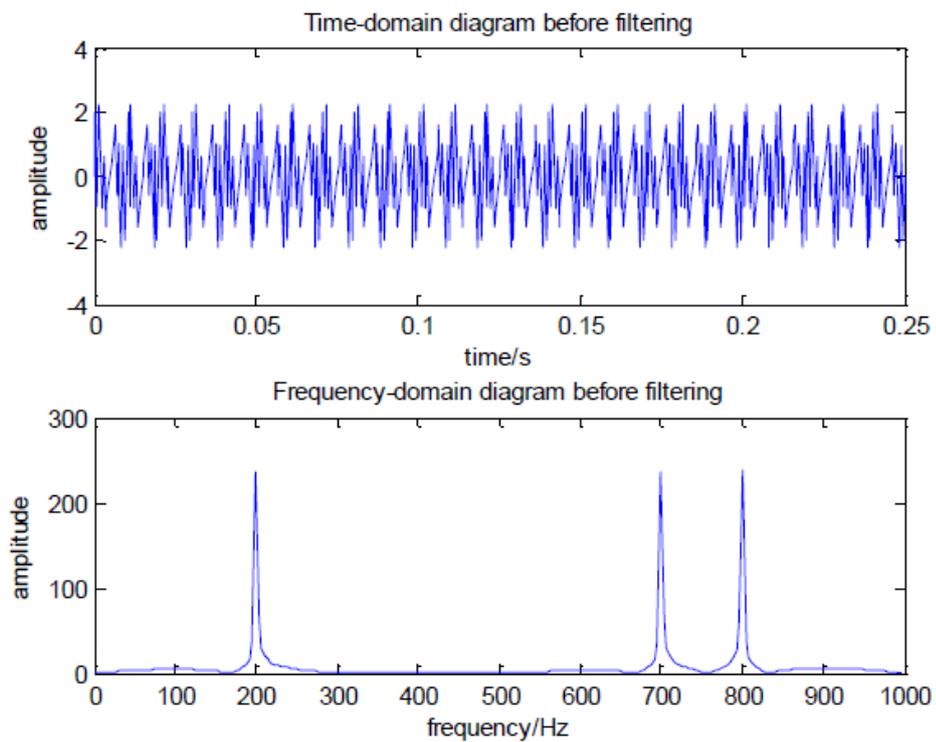


Figura 3. 14: Diagrama en el dominio de tiempo y frecuencia antes de ser filtrada.
Elaborado por: Autor

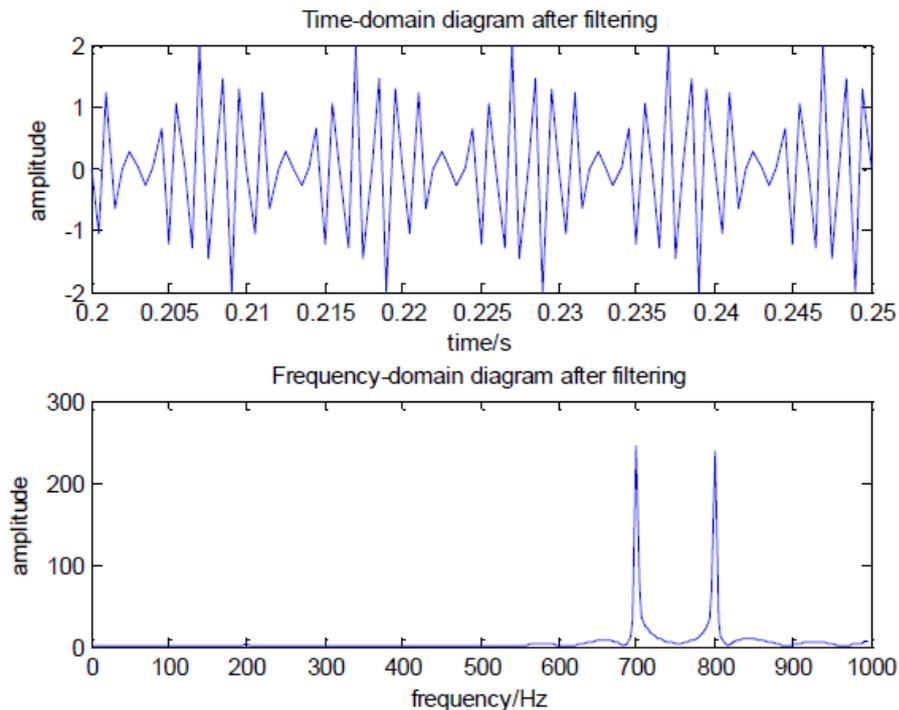


Figura 3. 15: Diagrama en el dominio de tiempo y frecuencia después de ser filtrada.

Elaborado por: Autor

3.3. Elaboración del método de optimización Equiripple por Matlab.

En esta sección se desarrollan tres escenarios de simulación mediante el método de optimización Equiripple. A menudo se utiliza la función <<remez>> en el método optimizado equiripple, es decir:

Función **b=remez(n,f,a,w,'ftype')**

Donde, n es el orden del filtro; F es un vector, que representa un número positivo entre 0 y 1; a es un vector, que representa la amplitud en el dominio de frecuencia especificado; w corresponde al valor ponderado de cada banda de frecuencia; b es un vector cuya longitud es n+1, y es el coeficiente del filtro.

3.3.1. Diseño de FIR pasa bajo Equiripple usando la función Remez.

A continuación, se muestran los requerimientos básicos para el diseño de filtros Equiripple pasa bajo utilizando la función Remez:

- La frecuencia de corte de la banda de paso es de $0,5\pi$, la frecuencia de corte de la banda de parada es de $0,6\pi$ y la frecuencia de la muestra es de 2000 Hz.
- La atenuación de la banda de parada es mayor o igual a 40dB, la ondulación de la banda de paso es 0.1710, y con una ondulación de la banda de interrupción de 0.01.

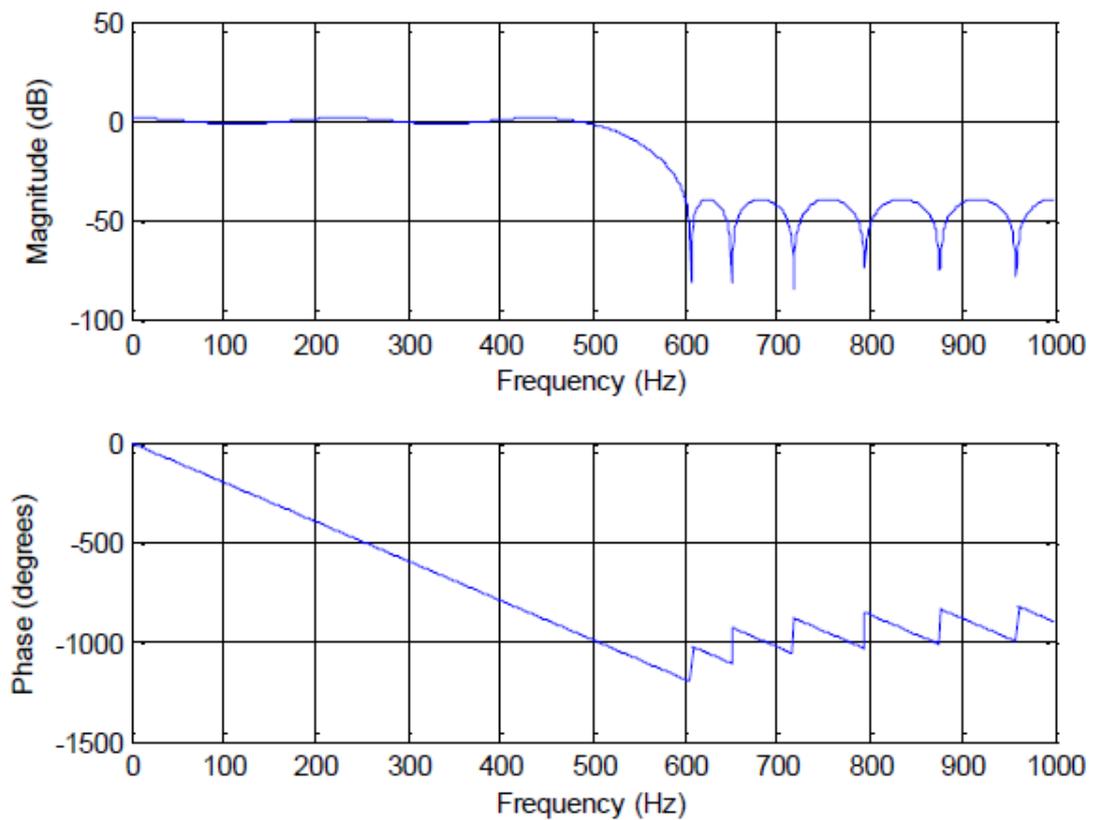


Figura 3. 16: Respuesta de ganancia del filtro equiripple pasa bajo.
Elaborado por: Autor

En la figura 3.16 se muestra la respuesta de ganancia del filtro pasa alto utilizando el método de muestreo de frecuencia. De las figuras 3.17 y 3.18, es fácil ver que la señal de entrada está formada por dos señales de superposición con frecuencias distintas. La banda de paso es de 0 a 500 Hz, y la banda de parada es de 500 a 1000 Hz. Después de filtrar, se mantiene la señal con frecuencia de 400 Hz, mientras que la señal con frecuencia de 700 Hz que está en la banda de parada ha sido filtrada.

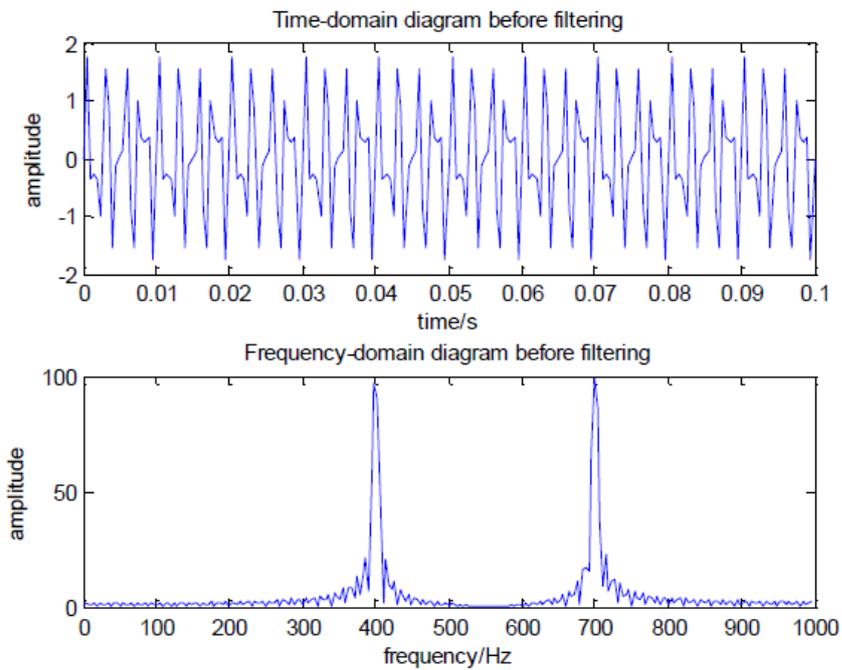


Figura 3. 17: Diagrama en el dominio de tiempo y frecuencia antes de ser filtrada.
Elaborado por: Autor

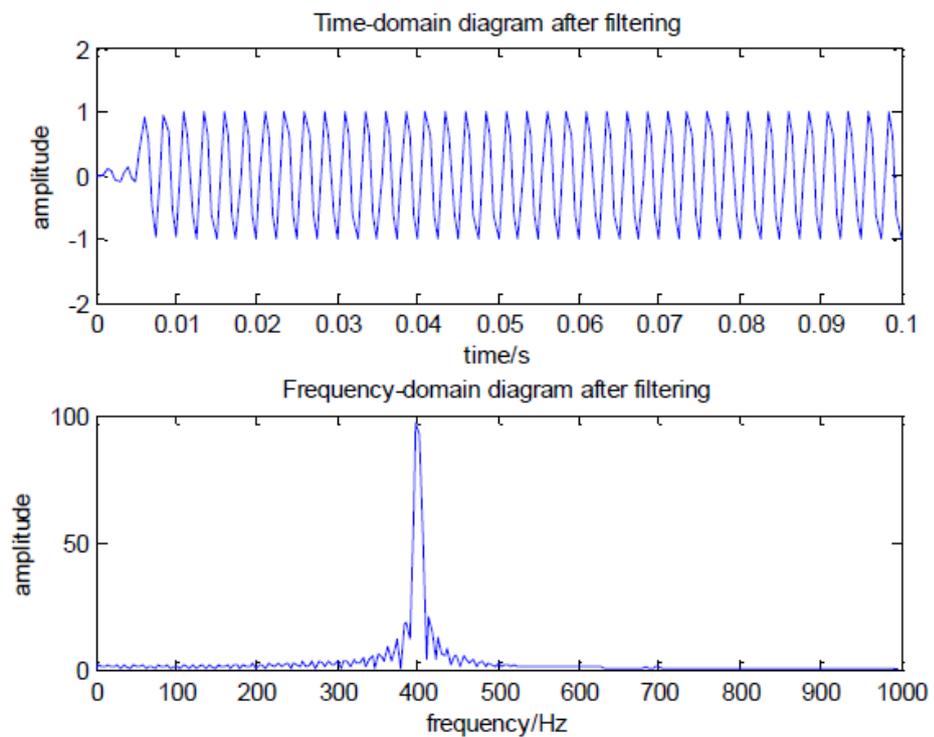


Figura 3. 18: Diagrama en el dominio de tiempo y frecuencia después de ser filtrada.
Elaborado por: Autor

3.3.2. Diseño de FIR pasa banda Equiripple con función Remez.

A continuación, se muestran los requerimientos básicos para el diseño de filtros Equiripple pasa banda utilizando la función Remez:

- La frecuencia de corte de la banda de paso es $0,3\pi$ y $0,6\pi$, la frecuencia de corte de la banda de parada es $0,2\pi$ y $0,7\pi$, y la frecuencia de la muestra es de 2000 Hz.
- La atenuación de la banda de parada es mayor o igual a 40dB, la ondulación de la banda de paso es 0.1710, y con ondulación de la banda de interrupción de 0.01.

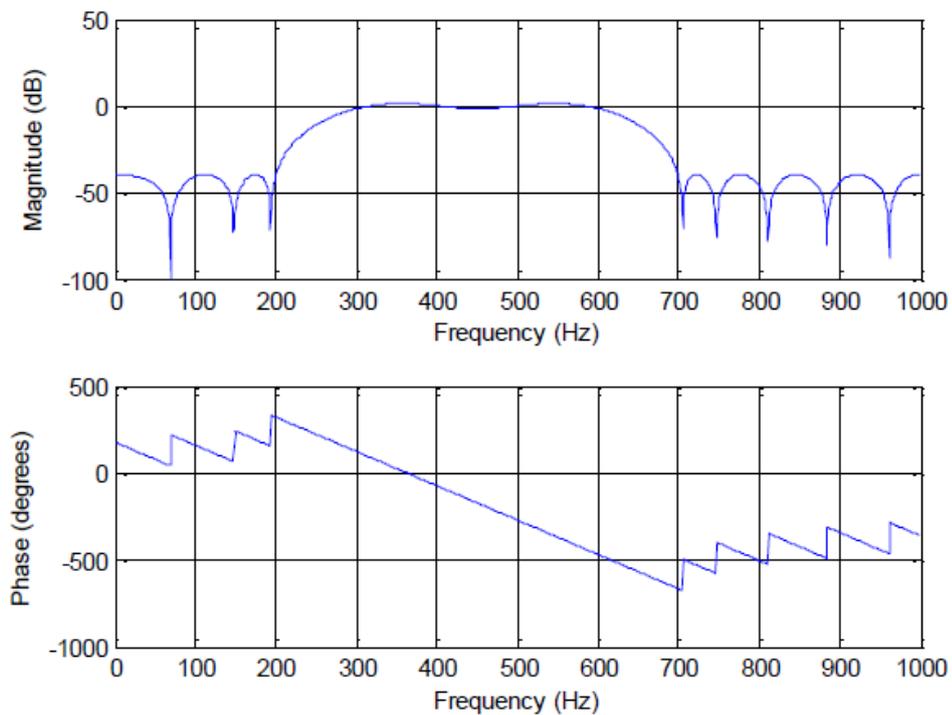


Figura 3. 19: Respuesta de ganancia del filtro euiripple pasa banda.
Elaborado por: Autor

La figura 3.19 se muestra la gráfica de la respuesta de ganancia del filtro Equiripple pasa banda. Según las figuras 3.20 y 3.21, podemos ver que la señal de entrada está formada por cuatro señales de superposición con frecuencias diferentes. La banda de paso es de 300 a 600 Hz, y la banda de parada es de 0 a 200 Hz y de 700 a 1000 Hz. Las señales con frecuencias 400 y 500 Hz que se encuentran en el rango de banda de paso se mantienen, mientras que las otras dos señales con frecuencias 100 y 800 Hz son filtradas.

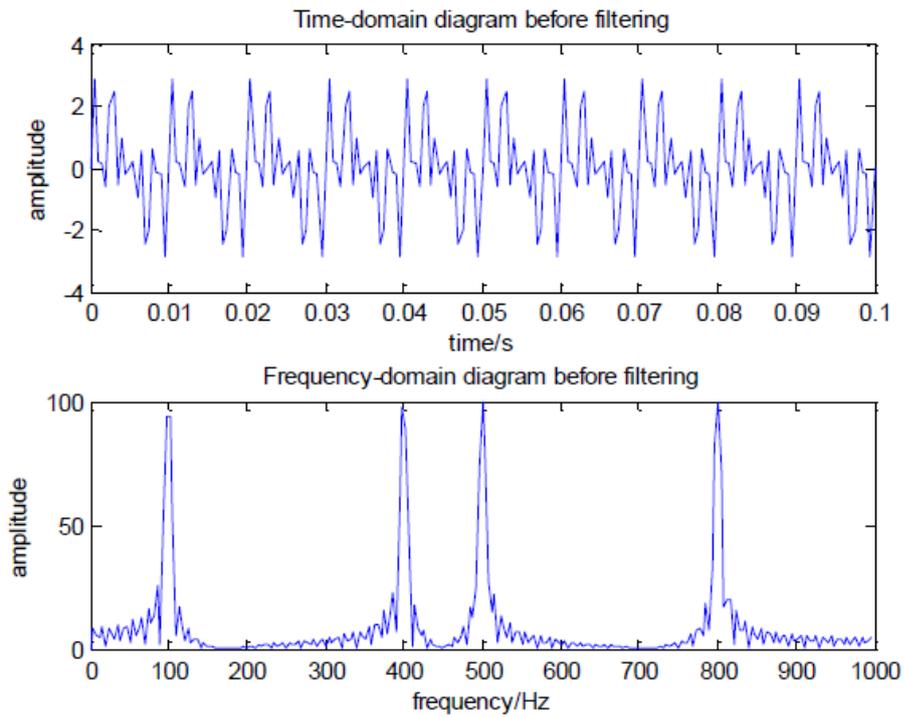


Figura 3. 20: Driagrama en el dominio de tiempo y frecuencia antes de ser filtrada.
Elaborado por: Autor

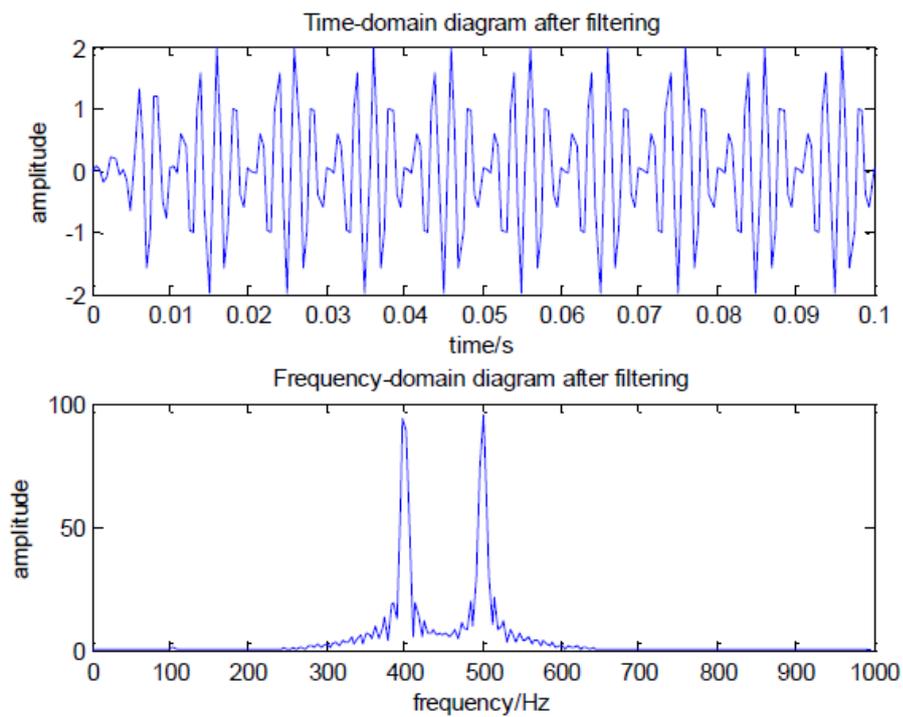


Figura 3. 21: Diagrama en el dominio de tiempo y frecuencia después de ser filtrada.
Elaborado por: Autor

3.3.3. Diseño de FIR eliminación de banda Equiripple con función Remez.

A continuación, se muestran los requerimientos básicos para el diseño de filtros Equiripple de eliminación de banda utilizando la función Remez:

- La frecuencia de corte de la banda de parada es $0,3\pi$ y $0,6\pi$, la frecuencia de corte de la banda de paso es $0,2\pi$ y $0,7\pi$, y la frecuencia de la muestra es de 2000 Hz.
- La atenuación de la banda de parada es mayor o igual a 15dB, la ondulación de la banda de paso es 0,01 y la ondulación de la banda de parada es 0,1710

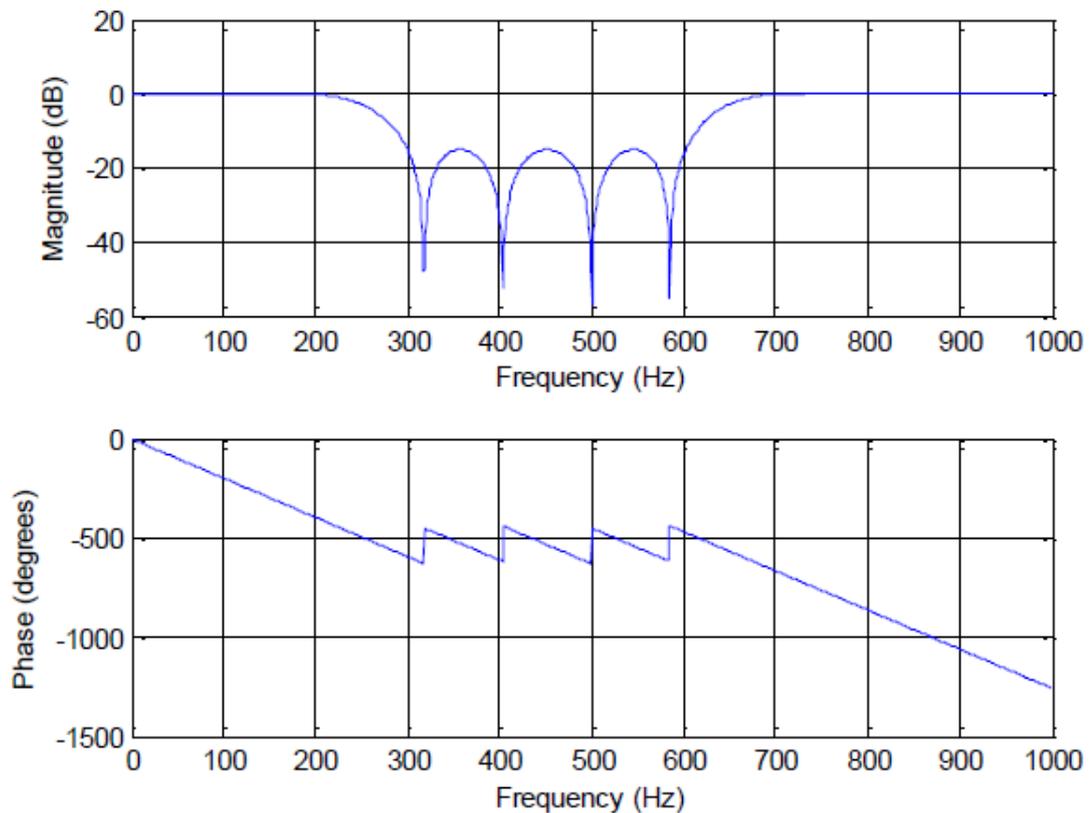


Figura 3. 22: La respuesta de ganancia del filtro de parada de banda equiripple.
Elaborado por: Autor

De las figuras 3.23 y 3.24 podemos ver que la señal de entrada está formada por cuatro señales de superposición con frecuencias diferentes. La banda de paso es de 0 a 200Hz y de 700 a 1000Hz, y la banda de parada es de 300 a 600Hz. Después de filtrar, se mantienen señales con las frecuencias

de 100 y 800 que están en el rango de banda de paso, mientras que las señales con las frecuencias de 400 y 500 Hz que están en la banda de parada son filtradas.

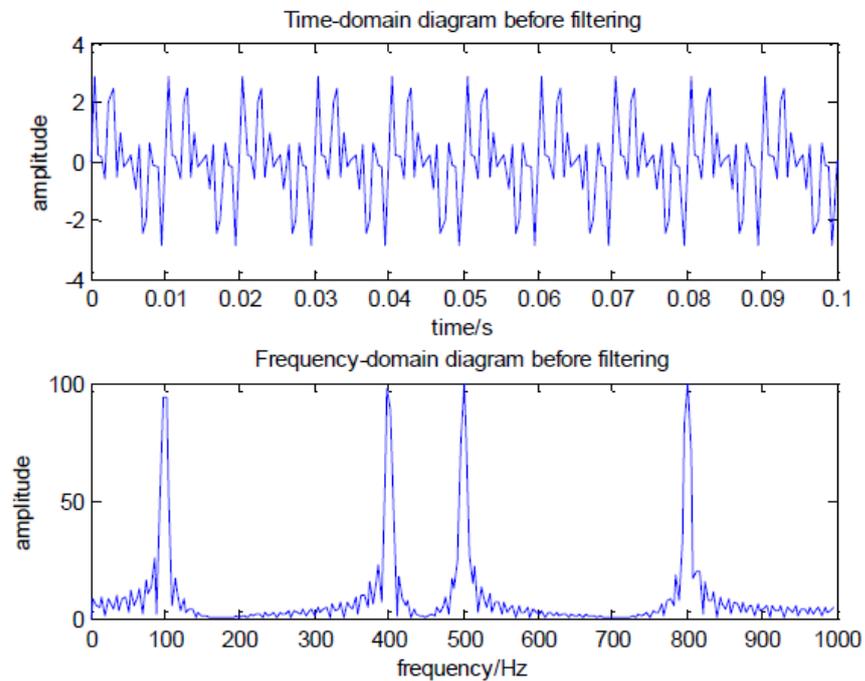


Figura 3. 23: Dominio de tiempo y dominio de frecuencia antes de filtrar.

Elaborado por: Autor

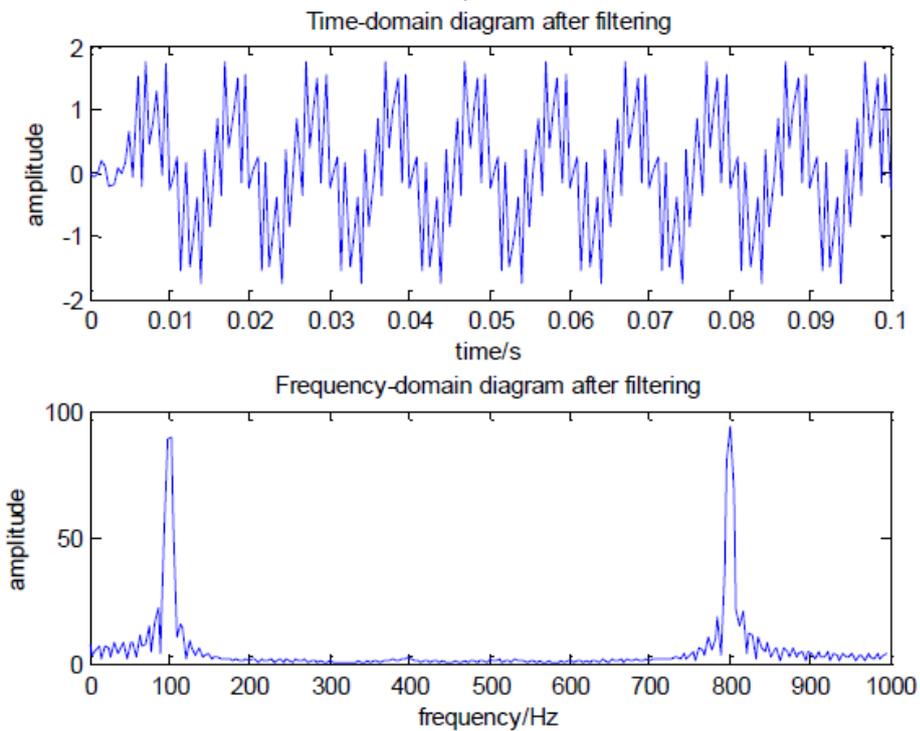


Figura 3. 24: Dominio de tiempo y dominio de frecuencia después de filtrar.

Elaborado por: Autor

3.4. Elaboración del método de optimización CVX por Matlab.

CVX es un sistema de modelado basado en MatLab para la optimización convexa. Es decir, que CVX es un lenguaje de modelado, permitiendo que las restricciones y objetivos sean especificados mediante los comandos cuya sintaxis estándar es MatLab. La respuesta del filtro FIR es dada por:

$$H(\Omega) = \sum_{n=0}^{N-1} h(n)e^{-i\Omega n}$$

El criterio de optimización convexa está dado por:

Minimizar $\|H(\Omega)\|_{\infty}$ o $\|H(\Omega)\|_2$

Sujeto a la siguiente restricción $\|H(\Omega_p)\| = 1$.

CVX se utilizó únicamente para diseñar un filtro que permita lograr la optimización. Se fija el número de muestras en $N=50$. Así que hay 50 muestras, y la frecuencia deseada es 2000 Hz. La banda de paso comienza de 1500 Hz a 2500 Hz, y la banda de parada comienza de 0 a 1500 Hz, y 2500 Hz a 4000 Hz.

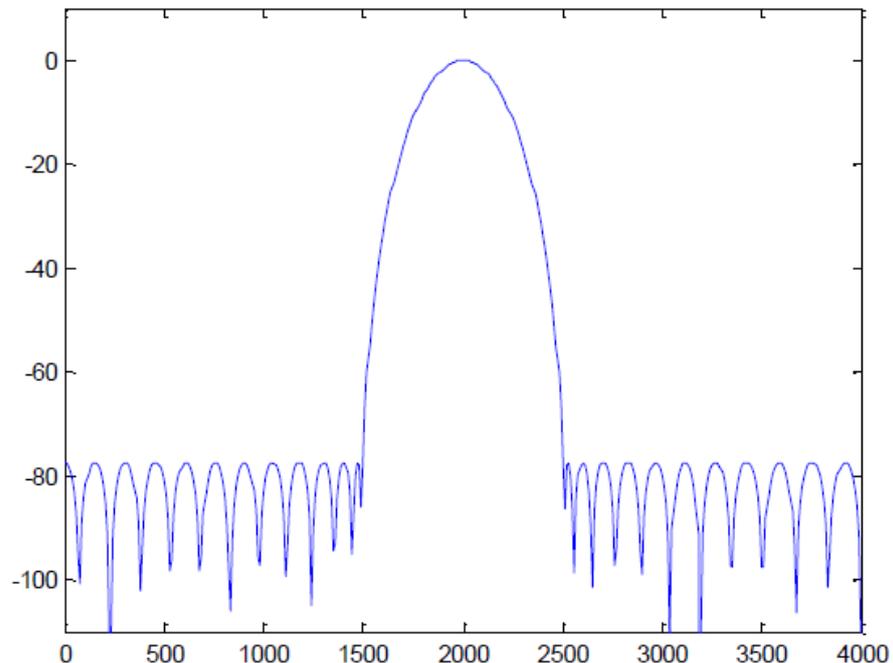


Figura 3. 25: Respuesta de impulso con CVX $\|H(\Omega)\|_{\infty}$.

Elaborado por: Autor

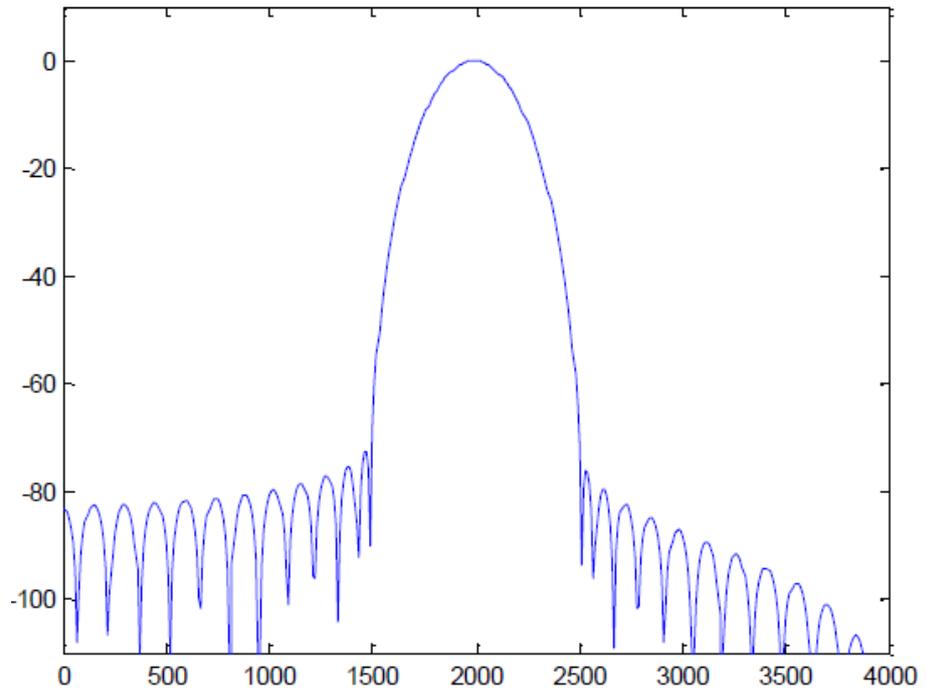


Figura 3. 26: Respuesta de impulso con CVX $\|H(\Omega)\|_2$.

Elaborado por: Autor

CAPÍTULO 4: Conclusiones y Recomendaciones.

4.1. Conclusiones.

- La descripción fundamental de los filtros analógicos y digitales tratados en el capítulo de fundamentación teórica fue de gran importancia para el desarrollo de los escenarios de simulación de los filtros digitales FIR con diferentes variantes o métodos que se pueden implementar en MatLab.
- El diseño de los escenarios de simulación de los filtros FIR fueron elaborados de acuerdo a las características técnicas que rigen para el funcionamiento de los filtros pasa bajo, pasa banda, pasa banda múltiple y pasa alto utilizando algunas variantes de ventanas, tales como Hamming y Kaiser.
- Los resultados obtenidos durante la ejecución de los escenarios de simulación previamente diseñados, para medir el impacto que tienen en aplicativos de telecomunicaciones.

4.2. Recomendaciones.

- Realizar implementaciones de filtros digitales IIR utilizando herramientas de simulación robustas, tales como, MatLab, LabWindows y LabView.
- Realizar análisis comparativos entre procesos de filtrados digitales FIR e IIR en diferentes ámbitos de las telecomunicaciones.

Bibliografía

- Anju, & Mamta, K. (2012). Design of Butterworth and Chebyshev1 Lowpass Filter for Equalized Group Delay. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 2(5), 524–528.
- Bansal, M., Sharma, R., & Grover, P. (2010). Performance evaluation of Butterworth Filter for Signal Denoising. *International Journal of Electronics & Communication Technology*, 1(1), 59–62.
- Khorsheed, O. (2014). Produce Low-Pass and High-Pass Image Filter in Java. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 7(3), 712–722.
- Kim, T., Adeli, H., Ramos, C., & Kang, B.-H. (Eds.). (2011). *Signal processing, image processing and pattern recognition* (Springer Science & Business Media). Heidelberg: Springer.
- Kolawole, E. S., Ali, W. H., Cofie, P., Fuller, J., Tolliver, C., & Obiomon, P. (2015). Design and Implementation of Low-Pass, High-Pass and Band-Pass Finite Impulse Response (FIR) Filters Using FPGA. *Circuits and Systems*, 6, 30–48.
- Laghari, W. M., Baloch, M. U., Mengal, M. A., & Shah, S. J. (2014). Performance Analysis of Analog Butterworth Low Pass Filter as Compared to Chebyshev Type-I Filter, Chebyshev Type-II Filter and Elliptical Filter - CS_2014082809410025.pdf. *Circuits and Systems*, 5, 209–216.
- Soi, S. (2014). Design and Characterization of a 3rd Order Low-Pass Butterworth Filter. *International Journal of Science and Research*, 3(7), 1–3.

- Srivastava, V., Maurya, L., & Mehra, R. (2014). Detection of Noise in High Pass Butterworth IIR Filter using MATLAB. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 3(2), 1232–1235.
- Valeriano C., C., Rojas Moreno, A., & Paz Campaña, J. (1999). Diseño e implementación de filtros digitales recursivos y no recursivos usando un DSP. *Tecnia*, 8(3), 11–17.
- Vázquez M., R., Reyes C., A., & Atonal S., J. (2014). Comparación de filtros digitales en Matlab para implementación en un FPGA. *Científica*, 18(2), 71–77.
- Zaki R., A. (2013). Band Pass Filters with Low Pass and High Pass Filters Integrated With Operation Amplifiers in Advanced Integrated Communication Circuits. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology*, 2(3), 861–866.



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **DÍAZ PUERTAS, DANIELA MICHELLE** con C.C: # 0930395298 autor del Trabajo de Titulación: **Implementación de filtros FIR utilizando la plataforma de simulación MatLab** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 16 de Marzo de 2017

f. _____

Nombre: **DÍAZ PUERTAS, DANIELA MICHELLE**

C.C: 0930395298

REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	IMPLEMENTACIÓN DE FILTROS FIR UTILIZANDO LA PLATAFORMA DE SIMULACIÓN MATLAB		
AUTOR(ES)	DÍAZ PUERTAS, DANIELA MICHELLE		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. EDWIN FERNANDO PALACIOS MELÉNDEZ		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	16 de Marzo de 2017	No. DE PÁGINAS:	52
ÁREAS TEMÁTICAS:	Señales y Sistemas, Sistemas de Comunicación		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	SEÑALES, SISTEMAS, FILTROS, RESPUESTA, IMPULSIONAL, FINITA.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>Para el componente práctico del examen complejo, se realizaron varias propuestas para la implementación de simulaciones en sistemas de telecomunicaciones. Estos sistemas manejan señales, y que existe siempre el interés de cambiar las amplitudes de los componentes, de la frecuencia en la señal, o tal vez eliminar algunas características de la misma, a todo esto, se lo denomina como filtración. Los filtros son condicionadores de señal, cada uno de ellos funciona aceptando una señal de entrada, bloqueando componentes característicos y pasando la señal original menos esos componentes a la salida, tal cual se presenta en la implementación de filtros FIR, que, por sus siglas en inglés, significa respuesta al impulso finita. Se aprendió a utilizar correctamente la herramienta de simulación de MatLab específicamente en el modelado de filtros digitales FIR. Las simulaciones implementadas de filtros FIR fueron evaluadas y sus resultados están acordes a los parámetros requeridos en el filtrado de respuesta impulsional finita.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-9-87716533	E-mail: michellediaz930@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Palacios Meléndez Edwin Fernando		
	Teléfono: +593-9-68366762		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			