



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS
ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones

TEMA:

LABORATORIO VIRTUAL PARA EL MEJORAMIENTO DEL
APRENDIZAJE DE FILTROS DIGITALES EN DSP EN LA FACULTAD
DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL.

Trabajo de Graduación. Modalidad: TEMI. Trabajo Estructurado de Manera Independiente, presentado previo la obtención del título de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

AUTOR: María del Carmen Moreta Romero

TUTOR: Ing. Marco Jurado Msc.

Ambato - Ecuador

Julio 2012

En mi calidad de tutor del trabajo de investigación sobre el tema: LABORATORIO VIRTUAL PARA EL MEJORAMIENTO DEL APRENDIZAJE DE FILTROS DIGITALES EN DSP EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL, de la señorita María del Carmen Moreta Romero, estudiante de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones, de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, de la Universidad Técnica de Ambato, considero que el informe investigativo reúne los requisitos suficientes para que continúe con los trámites y consiguiente aprobación de conformidad con el Art. 16 del Capítulo II, del Reglamento de Graduación para obtener el Título Terminal de Tercer Nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato julio, 2012

EL TUTOR

Ing. M.Sc. Marco Antonio Jurado Lozada

AUTORÍA

El presente trabajo de investigación titulado LABORATORIO VIRTUAL PARA EL MEJORAMIENTO DEL APRENDIZAJE DE FILTROS DIGITALES EN DSP EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL. Es absolutamente original, auténtico y personal, en tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato julio, 2012

María del Carmen Moreta Romero

CC: 180428581-3

APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA

La Comisión Calificadora del presente trabajo conformada por los señores docentes Ing. M.Sc. Julio Enrique Cuji Rodriguez e Ing. M.Sc. Mario Giovanni Garcia Carrillo, revisó y aprobó el Informe Final del trabajo de graduación titulado “Laboratorio virtual para el mejoramiento del aprendizaje de filtros digitales en DSP en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, presentado por la señorita María del Carmen Moreta Romero de acuerdo al Art. 17 del Reglamento de Graduación para obtener el título Terminal de tercer nivel de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. M.Sc. Oswaldo Eduardo Paredes Ochoa

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. M.Sc. Mario Giovanni Garcia Carrillo Ing. M.Sc. Julio Enrique Cuji Rodriguez

DOCENTE CALIFICADOR

DOCENTE CALIFICADOR

Dedicatoria:

A mis padres, Luis y Carmita, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

A mis hermanas, Gaby y Luisa, mis abuelitos Félix y María, a mi tía María Augusta y a mi querido Agustín, gracias por ser esa fuente de energía cuando más la necesito, los quiero mucho.

Mayca

Agradecimiento

Gracias a mis padres, Luis y Carmila, por su comprensión y apoyo incondicional durante toda mi carrera, por sus consejos que me orientaron a tomar mejores decisiones, y por creer en mí.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi director de tesis, Ing. Marco Jurado, por el apoyo, compañía y consejos brindados durante la elaboración de mi Tesis.

Por último, quiero agradecer a todas aquellas personas que sin esperar nada a cambio compartieron pláticas, conocimiento y diversión. A todos aquellos que durante el tiempo que duró este sueño lograron convertirlo en una realidad.

Mayca

Índice

Contenidos	Páginas
AUTORÍA.....	iii
APROBACIÓN DE LA COMISIÓN CALIFICADORA	iv
Dedicatoria:	v
Agradecimiento	vi
ÍNDICE.....	x
RESUMEN EJECUTIVO.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	2
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1 TEMA:	2
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:	2
1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN:	2
1.2.2 ANÁLISIS CRITICO DEL PROBLEMA:	4
1.2.3 PROGNOSIS:	4
1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:	4
1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES:	5
1.2.6 DELIMITACION DEL PROBLEMA:	5
1.3 JUSTIFICACION:.....	5
1.4 OBJETIVOS:	6
1.4.1 Objetivo General:	6
1.4.2 Objetivos Específicos:	7
CAPITULO II	8
MARCO TEORICO	8
2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	8
2.2 FUNDAMENTACION LEGAL	8
2.3 GRAFICAS DE INCLUSION DE LAS CATEGORIAS FUNDAMENTALES	9

2.4	CATEGORIA FUNDAMENTALES	10
2.4.1	Electrónica	10
2.4.2	Electrónica Digital.....	10
2.4.3	DSP.....	11
2.4.3.1	Comparación entre DSP Y ASP.....	12
2.4.3.2	Ventajas del procesamiento digital con respecto al análogo	13
2.4.3.3	Desventajas del procesamiento digital con respecto al análogo:	15
2.4.3.4	Aplicaciones de DSP	16
2.4.4	Filtros Digitales	22
2.4.4.1	Aplicaciones.....	23
2.4.4.2	Tipos de filtros	24
2.4.5	LABORATORIO	42
2.4.6	LABORATORIO VIRTUAL	42
2.4.8	SOFTWARE	46
2.4.8.1	MATLAB.....	46
2.5	HIPOTESIS.....	55
2.6	SEÑALAMIENTO DE VARIABLES	55
2.6.1.	VARIBALE INDEPENDIENTE	55
2.6.2.	VARIABLE DEPENDIENTE	55
CAPITULO III		56
METODOLOGIA		56
3.1	ENFOQUE DE LA INVESTIGACION	56
3.2	MODALIDAD BASICA DE LA INVESTIGACION	56
3.3	TIPOS DE INVESTIGACION	57
3.4	OPERACIONALIZACION DE VARIABLES	57
3.5	POBLACION Y MUESTRA.....	60
3.6	TECNICAS E INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACION	60
3.7	RECOPIACION DE LA INFORMACION.....	60
3.8	PROCESAMIENTO Y ANALISIS.....	61
CAPÍTULO IV		62
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS		62
4.1	INTRODUCCIÓN.....	62
4.2	ENCUESTA.....	63
4.2.1	Encuesta dirigida a los estudiantes de octavo y noveno semestre de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. ..	63
4.2.2	Encuesta dirigida a docentes del Área de Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.	69

Análisis General:.....	75
CAPÍTULO V	76
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
5.1 CONCLUSIONES.....	76
5.2 RECOMENDACIONES.....	77
CAPÍTULO VI.....	78
PROPUESTA.....	78
6.1 DATOS INFORMATIVOS	78
a) Tema:	78
b) Institución Ejecutora:.....	78
c) Beneficiarios:	78
d) Ubicación	78
e) Tiempo estimado para la ejecución:	78
f) Equipo Técnico responsable:	79
6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA	79
6.3 JUSTIFICACIÓN.....	79
6.4 OBJETIVOS	80
6.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	80
6.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	81
6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD	81
6.5.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA	81
6.5.2 FACTIBILIDAD OPERATIVA.....	81
6.5.3 FACTIBILIDAD ECONÓMICA.....	81
6.6 FUNDAMENTACIÓN.....	82
6.6.1 Filtros Digitales FIR	83
6.6.1.1Diseño De Filtros FIR	85
6.6.1.2Funciones en MATLAB	93
6.6.2 Filtros IIR.....	94
6.6.2.1 Diseño De Filtros IIR Mediante Transformadas Bilineales	94
<input type="checkbox"/> Filtros Butterworth	100
<input type="checkbox"/> Filtros Chevyshev.....	101
<input type="checkbox"/> Filtros Elípticos.	102
6.6.2.2 Diseño de filtros usando MATLAB	104
6.7 METODOLOGÍA.- MODELO OPERATIVO	105
Desarrollo de las Prácticas de Filtros FIR	108
Objetivos:	108
Materiales:.....	108
Ejecución del programa:	108
Desarrollo de las Prácticas de Filtros FIR.....	115
Práctica N° 1	115

Práctica N° 2	118
Práctica N° 3	119
Práctica N° 4	121
Práctica N° 5	122
Práctica N° 6	123
Conclusiones del diseño de filtros FIR	125
6.7.2 Desarrollo de las Prácticas de Filtros IIR	125
Objetivos:	125
Materiales:	125
Ejecución del programa:	126
Desarrollo de la práctica:	134
Practica N° 1	134
Practica N° 2	136
Practica N° 3	137
Practica N° 4	138
Práctica N° 5	139
Práctica N° 6	140
Conclusiones del diseño de filtros IIR	141
6.8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	142
6.8.1 CONCLUSIONES:	142
6.8.2 RECOMENDACIONES:	143
6.9 BIBLIOGRAFIA:	144
6.10 LINKOGRAFIA	144
ANEXOS	146
ANEXO A	147
ANEXO B:	149
ANEXO C	151

INDICE DE FIGURAS

Contenido	Página
Figura 2.1 Categorías Fundamentales	9
Figura 2.2 Tratamiento de señales: procesamiento analógico	13
Figura 2.3 El DSP se relaciona con otras áreas	16
Figura 2.4 Sistema básico de compresión de pulsos de radar	18
Figura 2.5 Cancelamiento de eco en redes telefónicas de larga distancia	19
Figura 2.6 Diagrama de bloques de un sistema de reconocimiento de voz	21
Figura 2.7 Diagrama de Bloques de un Filtro Digital	22
Figura 2.8 Características de filtro pasa bajo.....	24
Figura 2.9 Características de un filtro paso alto	25
Figura 2.10 Características de filtro pasa banda.....	26
Figura 2.11 Características de filtro rechaza banda.....	27
Figura 2.12 Diagrama de bloques de la estructura en forma directa de un filtro FIR	28
Figura 2.13 Diagrama de bloques de la estructura en forma directa de un filtro IIR	30
Figura 2.14. Transformación Bilineal	39
Figura 2.15 Esquema de representación de un laboratorio virtual.....	42
Figura 4.1. Existencia de un laboratorio para prácticas en DSP de filtros digitales.....	61
Figura 4.2 Teoría complementada con prácticas	62
Figura 4.3 Necesidad de un laboratorio de Filtros Digitales	63
Figura 4.4 Laboratorio Virtual una alternativa para prácticas de filtros digitales	64
Figura 4.5 Herramientas de Matlab para Filtros Digitales	65
Figura 4.6 Tipos de Filtros Digitales conocidos	66
Figura 4.7 Existencia de un laboratorio para prácticas en DSP de filtros digitales.....	67
Figura 4.8 Mejoramiento del aprendizaje con prácticas de laboratorio.....	68
Figura 4.9 Espacio para la implementación de un laboratorio físico.....	69
Figura 4.10 Recursos económicos para equipar un laboratorio	42
Figura 4. 11 Laboratorio virtual alternativa para realizar prácticas	71
Figura 4. 12 Necesidad de laboratorio virtual para mejor el aprendizaje	72
Figura 6.1 Condiciones de una ventana de truncamiento	84
Figura 6.2 Especificaciones de la respuesta espectral de un filtro	86
Figura 6.3 Especificaciones de la respuesta de magnitud cuadrática.....	94

Figura 6.4 Transformación bilineal	98
Figura 6.5. Respuesta en frecuencia de un filtro Butterworth.....	99
Figura 6.6. Respuesta en frecuencia de un filtro Chevyshev I	99
Figura 6.7. Respuesta en frecuencia de un filtro Chevyshev II	100
Figura 6.8 Respuesta en frecuencia de un filtro Elíptico	101
Figura 6.9 Interfaz del usuario	104
Figura 6.10 Interfaz para el diseño de Filtros FIR	107
Figura 6.11 Panel de especificaciones para el diseño de Filtros FIR	114
Figura 6.12 Gráficos de la Respuesta del filtro de la Práctica 1	115
Figura 6.13 Gráficos de la Respuesta del filtro de la Práctica 2	116
Figura 6.14 Gráficos de la Respuesta del filtro de la Práctica 3	118
Figura 6.15 Gráficos de la Respuesta del filtro de la Práctica 4	119
Figura 6.16 Gráficos de la Respuesta del filtro de la Práctica 5	121
Figura 6.17 Gráficos de la Respuesta del filtro de la Práctica 6	122
Figura 6.18 Interfaz para el diseño de Filtros IIR	124
Figura 6.19 Panel de especificaciones para el diseño de Filtros FIR	133
Figura 6.20 Gráficos de las respuestas del Filtro IIR pasa bajo con Aproximación de Butterworth	134
Figura 6.21 Gráficos de las respuestas del Filtro IIR pasa alto con Aproximación de Chevyshev I	135
Figura 6.22 Gráficos de las respuestas del Filtro IIR pasa banda con Aproximación de Chevyshev II	136
Figura 6.23 Gráficos de las respuestas del Filtro IIR pasa bajo con Aproximación Elíptica	137
Figura 6.24 Gráficos de las respuestas del Filtro IIR rechaza banda con Aproximación Butterworth	138
Figura 6.25 Gráficos de las respuestas del Filtro IIR pasa banda con Aproximación Butterworth	140
Figura C.1 Pantalla Principal del Programa	150
Figura C.2 Pantalla para el diseño de filtros FIR	152
Figura C.3 Pantalla para el diseño de filtros IIR	153

Índice de Tablas

Contenido	Páginas
Tabla 2.1 Métodos típicos para el diseño de filtros IIR y FIR	33
Tabla 2.2 Ecuación de diseño para diferentes tipos de Filtros FIR.....	35
Tabla 2.3 Tipos de Ventanas para diseño de Filtros FIR	36
Tabla 2.4 Orden de Filtros FIR según la ventana utilizada	36
Tabla 2.5 Principales ventajas y desventajas de cada tipo de laboratorio	44
Tabla 3.1.Operacionalización de variable Independiente	56
Tabla 3.2.Operacionalización de variable Dependiente	57
Tabla N° 4.1.Existencia de un laboratorio para prácticas en DSP de filtros digitales	61
Tabla N° 4.2 Teoría complementada con prácticas	62
Tabla N° 4.3 Necesidad de un laboratorio de Filtros Digitales	63
Tabla N° 4.4 Laboratorio Virtual una alternativa para prácticas de filtros digitales	64
Tabla N° 4.5 Herramientas de Matlab para Filtros Digitales	65
Tabla N° 4.6 Tipos de Filtros Digitales conocidos	66
Tabla N° 4.7.Existencia de un laboratorio para prácticas en DSP de filtros digitales	67
Tabla N° 4.8 Mejoramiento del aprendizaje con prácticas de laboratorio.....	68
Tabla N° 4.9 Espacio para la implementación de un laboratorio físico	69
Tabla N° 4.10 Recursos económicos para equipar un laboratorio	70
Tabla N° 4.11 Laboratorio virtual alternativa para realizar prácticas	71
Tabla N° 4.12 Necesidad de laboratorio virtual para mejor el aprendizaje	72
Tabla 6.1 Funciones más comunes para el diseño de filtros digitales en Matlab	81
Tabla 6.2 Especificaciones de la respuesta espectral de un filtro	85
Tabla 6.3 Especificaciones de la respuesta espectral de un filtro real derivadas de las anteriores	86
Tabla 6.4 Ventanas utilizadas en las operaciones de ventaneo	87
Tabla 6.5 Espectros de las ventanas utilizadas en las operaciones de ventaneo	89
Tabla 6.6 Estimación de parámetros de las ventanas comunes y comparación con la ventana Kaiser	89
Tabla 6.7 Respuesta Impulsiva del filtro ideal deseado	90
Tabla 6.8 Coeficientes del filtro ideal	91
Tabla 6.9 Relación de ϵ y de A con R_p , A_s y $\delta_{1,2}$	94
Tabla 6.10 Especificaciones de la respuesta de magnitud cuadrática	94
Tabla 6.11. Relación entre los tipos de filtros y las transformaciones de frecuencia analógica	102
Tabla 6.12 Funciones para determinar los coeficientes del filtro IIR	103
Tabla 6.13 Funciones para determinar el orden mínimo de un filtro IIR	103

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto se trata sobre la elaboración de un laboratorio virtual para mejorar el aprendizaje de filtros digitales en DSP, para la ejecución del proyecto se decidió ocupar un software de fácil acceso y manejo, para este fin se optó por utilizar Matlab, con este se realiza una interfaz gráfica para el diseño de filtros digitales.

En el capítulo I, se detalla el planteamiento del problema; donde, se analiza y se contextualiza mediante un enfoque crítico. Además toda la investigación percibe un objetivo al crear una herramienta para que los estudiantes puedan realizar práctica sobre filtros digitales y de esa manera poner en práctica la teoría aprendida en el aula.

El capítulo II, presenta el Marco teórico; el cual, constituye la fundamentación legal y teórica, los conceptos elementales que fundamentan teóricamente el problema planteado; formulándose la hipótesis a través de la definición de las variables dependiente e independiente.

En el Capítulo III, se presenta el enfoque, la modalidad básica de investigación, los tipos o nivel de investigación, la población y muestra con la cual se trabajó, operacionalización de variables para un análisis posterior

En el Capítulo IV, se realiza las encuestas describiendo el análisis e interpretación de los resultados; y así, asegurar y confirmar la necesidad de dar una solución al problema planteado.

En el Capítulo V, se definen las conclusiones y recomendaciones provenientes del análisis efectuado en el Capítulo anterior, las mismas que dieron las pautas necesarias para dar inicio al desarrollo de la propuesta.

Finalmente en el Capítulo VI, se presenta la propuesta, en este caso un laboratorio virtual para el mejoramiento del aprendizaje de filtros digitales en DSP. Primero se presenta una investigación teórica acerca del diseño de filtros digitales. Esta investigación teórica permite reforzar y entender con claridad los conceptos básicos. Segundo se presentan los enunciados de las prácticas para los temas presentados en el marco teórico. Por último, se muestra el código fuente generado para la solución de los ejercicios de simulación en MATLAB planteados en cada una de las prácticas de laboratorio, así como los gráficos obtenidos en cada una de las prácticas planteadas

INTRODUCCIÓN

El gran avance de la ciencia y la ingeniería, en el desarrollo de circuitos integrados, microprocesadores y computadoras en los últimos 30 años, ha generado un gran interés en el estudio del Procesamiento Digital de Señales. Este tema de estudio se ha vuelto tan indispensable que ha sido aplicado a muchas disciplinas.

Es por eso que este es un tema de estudio de gran interés para la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, y por eso se ha decidido desarrollar una serie de prácticas de simulación de filtros digitales en DSP, brindando así una herramienta que permitirá a los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electrónica y comunicaciones reforzar en un laboratorio todos los conocimientos adquiridos en el curso de Procesamiento Digital de Señales que imparte dicha Facultad. El objetivo es el de realizar el manual de prácticas para simulación utilizando MATLAB. Las prácticas incluirán una nota teórica, un procedimiento detallado de los ejercicios que se deben realizar, y por último obtendrán los gráficos de las respuestas para que los estudiantes puedan sacar sus propias conclusiones de acuerdo al comportamiento de cada uno de los filtros planteados.

CAPITULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 TEMA:

Laboratorio virtual para el mejoramiento del aprendizaje de filtros digitales en DSP en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN:

A menudo se escucha la frase mundo digital, pero hasta donde se está consciente de esta realidad que se vive. Hasta hace algunas décadas el mundo había subsistido con sistemas que implementaban tecnología análoga para el desarrollo de aplicaciones. Sin embargo con la aparición del microprocesador, la electrónica y el mundo entero toman un nuevo enfoque; explorando las bondades y efectividad de la implementación de procesos digitales, dejando su perspectiva de desarrollo de tecnologías análogas sólo para ciertas aplicaciones.

Con la implementación de esta nueva tecnología nace la necesidad de encontrar nuevas herramientas que realicen con alta efectividad estos procesos; generando un gran interés en el estudio del Procesamiento Digital de Señales o DSP. Este tema de estudio se ha vuelto tan indispensable que ha sido aplicado a muchas disciplinas tanto en ingeniería como economía y desde la astronomía hasta la biología molecular.

A través del DSP, se han desarrollado hoy en día, sofisticados sistemas de comunicación, nació el Internet, se ha podido obtener valiosa información acerca del cosmos a partir de las señales astronómicas, las señales sísmicas pueden ser analizadas para determinar la magnitud de un terremoto o para predecir la estabilidad de un volcán, las imágenes o fotografías por computador pueden ser ahora mejoradas, entre muchas otras cosas más.

En el país se puede observar claramente las bondades de los DSP y su utilización es muy amplia, por ejemplo se la utiliza en los campos de: Audio como ecualizadores gráficos, analizadores de espectro, compresión de audio (MiniDisc), discos compactos, efectos acústicos, sistema de teatro casero (THX), reducción de ruido (Dolby); en la Industria Automotriz en frenos antibloqueo, bolsas de aire, supresión de ruido activo, control de mezcla de combustibles; en Computadoras se la utiliza MODEMs, tarjetas de sonido, tarjetas de video, sintetización y reconocimiento de voz; en Comunicaciones se utiliza para la compresión de voz, eliminación de eco, ecualización adaptativa, multiplexión de canales.

En la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato se ha mostrado un gran interés en el estudio de DSP pues como se lo menciona anteriormente en un mundo totalmente digitalizado es importante conocer los beneficios que ésta herramienta nos ofrece, sin embargo en la institución no se puede apreciar éstos pues no se cuenta con laboratorios adecuados para la realización de prácticas sobre DSP, no obstante la institución aporta con conocimientos para la investigación y futuras aplicaciones de los DSP.

1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO DEL PROBLEMA:

La falta de recursos económicos en la FISEI es un factor relevante que impide la adquisición de equipos adecuados para realizar prácticas enfocadas a las materias de DSP en hardware, siendo de importancia tener estos para un mejor entendimiento de las materias mencionadas.

En muchas ocasiones la falta de espacios, es decir de infraestructura, no permite desarrollar prácticas de los módulos de DSP, y por consiguiente es importante un laboratorio para que se dé un enfoque práctico más claro de los conceptos adquiridos teóricamente.

La falta de personas capacitadas para la utilización de equipos y software es un factor importante pues se necesita de personas que sepan utilizar adecuadamente equipos para que estos no sufran ningún daño así como también le den un mantenimiento, en el caso de un laboratorio virtual se necesita personas con amplios conocimientos tanto de la materia como del software a utilizarse para la simulación de los circuitos que se implementaran para que de esa manera los estudiantes tengan una mejor comprensión de dichas materias.

1.2.3 PROGNOSIS:

Si no se implementa un laboratorio virtual de filtros digitales en DSP los estudiantes de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial no realizarán prácticas perdiendo así el interés en el módulo de Procesamiento Digital de Señales, y eventualmente podrían buscar otro lugar para poner en práctica sus conocimientos.

1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:

¿Cómo influye la deficiente práctica de laboratorio en los aprendizajes y aplicaciones de Filtros Digitales?

1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES:

- ¿Cuáles son los niveles de aprendizaje y práctica de Filtros Digitales en DSP en los estudiantes de la carrera de Electrónica y Comunicaciones
- ¿En qué condiciones se encuentran los laboratorios de comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial?
- ¿Qué características debe tener un laboratorio virtual en DSP de filtros para la FISEI?

1.2.6 DELIMITACION DEL PROBLEMA:

- **Campo:** Electrónica Digital
- **Área:** Procesamiento Digital de Señales
- **Aspecto:** Prácticas de Filtros Digitales en DSP
- **Delimitación Espacial:** Esta investigación se realizó en la ciudad de Ambato en la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.
- **Delimitación Temporal:** El presente proyecto de investigación tuvo una duración de 6 meses, a partir de su aprobación por parte del Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

1.3 JUSTIFICACION:

El presente proyecto pretende brindar una herramienta práctica para que los estudiantes de Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato desarrollen los conceptos teóricos aprendidos en los cursos de DSP, específicamente en lo que se refiere a filtros digitales.

Actualmente los DSP tienen un amplio campo de acción, es decir, las prestaciones y las aplicaciones que ofrecen son enormes, por lo cual se ve la necesidad de estar en vanguardia, por ende el objetivo es desarrollar una serie de prácticas de simulación en los apartados que envuelve la ciencia del procesamiento digital de señales, las cuales se realizarán de forma previa a un laboratorio en el cual se pondrán en práctica todos los conocimientos adquiridos en el curso de Procesamiento Digital de Señales que imparte dicha Facultad.

Muchas veces la falta de recursos económicos impiden la adquisición de equipos adecuados para la realización de las prácticas necesarias de las diferentes asignaturas, sin embargo un laboratorio virtual es una alternativa para suplir esta carencia, refiriéndose específicamente a DSP con éste se pueden realizar prácticas no físicamente sino mediante un software, con el cual también se puede realizar procesamiento de señales, teniendo así una herramienta para poder realizar prácticas sin tener que invertir mucho dinero, brindando así una alternativa para poner en práctica las aplicaciones y teoría adquiridos en el módulo de DSP.

Se ha visto la necesidad de realizar dicho laboratorio utilizando un software de fácil manejo en cuyas herramientas se pueda simular los circuitos necesarios para el mejor entendimiento de la materia, este software nos da instrumentos útiles para desarrollar aplicaciones de DSP y también nos ofrece un entorno gráfico para poder observar el comportamiento, en este caso específico de filtros Digitales.

1.4 OBJETIVOS:

1.4.1 Objetivo General:

- Analizar las prácticas de laboratorio y su influencia en el aprendizaje de filtros digitales en DSP en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- Identificar los niveles de aprendizaje y práctica de Filtros Digitales en DSP en los estudiantes de la carrera de Electrónica y Comunicaciones.
- Analizar el estado de los laboratorios de comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.
- Plantear una propuesta de un laboratorio virtual de filtros en DSP.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Revisando los proyectos de tesis existentes en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato se pudo apreciar que ningún trabajo existente ahí tiene algún parecido con el tema propuesto en este proyecto; sin embargo revisando las bibliotecas virtuales de las universidades se encontró un tema parecido que se la realizó en la Escuela Politécnica del Ejército sede Sangolquí con el tema: “Desarrollo de guías de laboratorio de Comunicaciones digitales, para la facultad de Ingeniería Electrónica de la E.S.P.E., utilizando MATLAB”.

2.2 FUNDAMENTACION LEGAL

Esta investigación se basó en las políticas de la Universidad Técnica de Ambato y de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial bajo el reglamento y estatutos que decreta de Ley Orgánica de Educación Superior.

2.3 GRAFICAS DE INCLUSION DE LAS CATEGORIAS FUNDAMENTALES

En la siguiente figura se aprecia la inclusión tanto de la variable independiente como la dependiente y su relación.

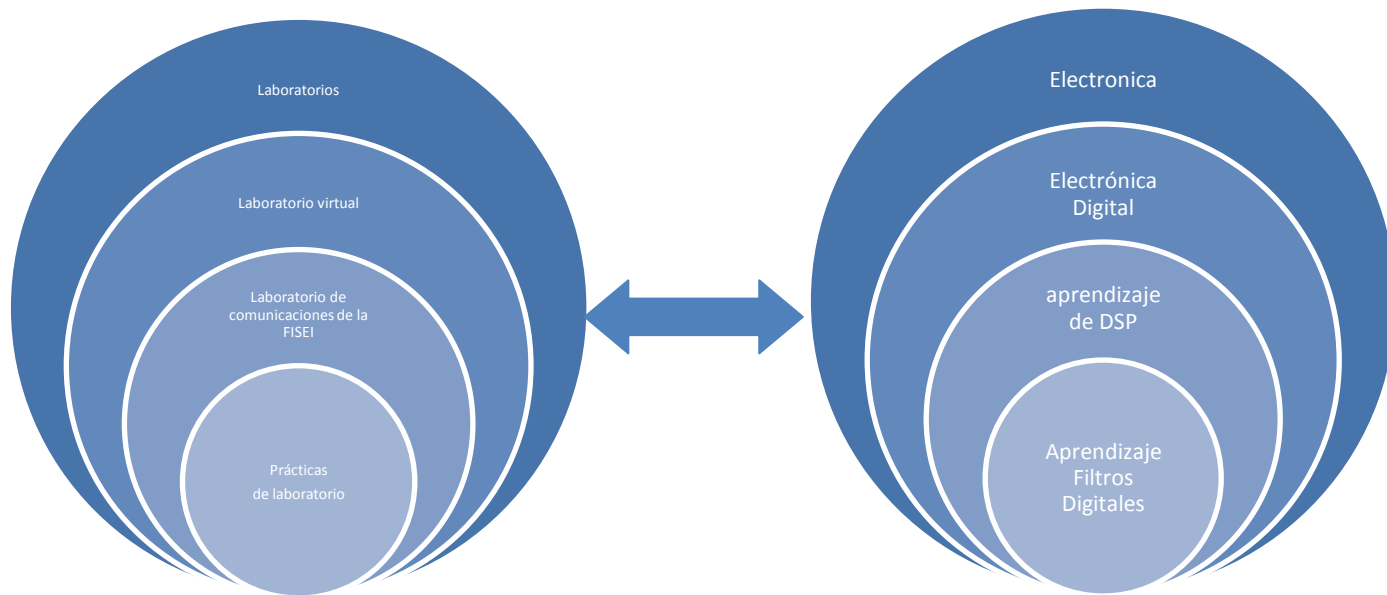


Figura 2.1 Categorías Fundamentales

Elaborado por el Investigador

2.4 CATEGORIA FUNDAMENTALES

2.4.1 Electrónica

La electrónica es el área de la ciencia y tecnología que trata de los fenómenos físicos que tienen lugar al producirse el movimiento de partículas cargada en el vacío, los gases y semiconductores, junto con la construcción de dispositivos, circuitos y sistemas basados en ellos

Da soporte a las tecnologías de la información, es decir, tecnologías que permiten la adquisición, producción, almacenamiento, procesado, comunicación y presentación de datos contenidos en todo tipo de señales físicas (acústicas, ópticos, eléctricos, etc.).

Los circuitos electrónicos ofrecen diferentes funciones para procesar esta información, incluyendo la amplificación de señales débiles hasta un nivel que se pueda utilizar; el generar ondas de radio; la extracción de información, como por ejemplo la recuperación de la señal de sonido de una onda de radio (demodulación); el control, como en el caso de introducir una señal de sonido a ondas de radio (modulación), y operaciones lógicas, como los procesos electrónicos que tienen lugar en las computadoras. Esta ciencia se divide en dos grandes ramas: Analógica y Digital.

2.4.2 Electrónica Digital

La Electrónica Digital es la parte de la electrónica que se encarga del estudio de sistemas electrónicos en los cuales la información está codificada en dos únicos estados, es decir, trabaja con variables discretas. Este hecho implica que un pequeño cambio en alguna de las variables del circuito (siempre que no cambie su valor discreto) no producirá un cambio apreciable en el comportamiento del circuito. Es decir, el comportamiento del circuito no depende del valor exacto de la señal.

A dichos estados se les puede llamar "verdadero" o "falso", o más comúnmente 1 y 0. Electrónicamente se les asigna a cada uno un voltaje o rango de voltaje determinado, a los que se les denomina niveles lógicos, típicos en toda señal digital.

La razón básica para el estudio de los circuitos digitales radica en el aumento de fiabilidad en el procesamiento y transmisión de la información, ya que una pequeña degradación de la señal no influirá en su valor (o en su influencia como entrada en un circuito digital).

La electrónica digital ha alcanzado una gran importancia debido a que es utilizada para realizar autómatas y por ser la piedra angular de los sistemas microprogramados como son los ordenadores o computadoras.

2.4.3 DSP

Las señales eléctricas son tensiones o corrientes que contienen información. Además de las señales eléctricas existen otras, de naturaleza magnética, hidráulica, neumática, luminosa, etc.

Las señales pueden ser generadas en forma natural o artificial. Algunos ejemplos de señales naturales son la radiación electromagnética de una estrella, la altura de la marea y la velocidad del viento. Algunos ejemplos de señales artificiales son la emisión de un canal de TV, las ondas emitidas y recibidas por radares, teléfonos celulares, sonares, etc.

Las señales se representan matemáticamente como funciones de una o más variables independientes. La variable independiente más común es el tiempo, y algunas señales que dependen de él son, por ejemplo, la voz, una onda de radio, un electrocardiograma, etc. Otras señales, tales como las imágenes, son funciones de 2 variables independientes, ya que contienen información de brillo o de colorido en función de las coordenadas X e Y de un plano.

Procesamiento de Señales es un área de la Ingeniería Electrónica que se concentra en la representación, transformación y manipulación de señales, y de la información que ellas contienen.

El primer tipo de procesamiento electrónico que se desarrolló y se aplicó extensivamente fue el procesamiento analógico, el cual se lleva a cabo mediante circuitos compuestos por resistores, capacitores, inductores, amplificadores operacionales, etc.

Procesamiento de Señales en Tiempo Discreto (Discrete-Time Signal Processing) se refiere al procesamiento de señales discretas en el tiempo o en el espacio. Esto implica que sólo se conoce el valor de la señal en instantes o en puntos específicos. Sin embargo, la amplitud de la señal es continua, es decir, puede tomar infinitos valores diferentes.

Procesamiento Digital de Señales (Digital Signal Processing o DSP) añade a la característica anterior la de manejar la amplitud en forma discreta, la cual es una condición necesaria para que la señal pueda ser procesada en un computador digital. La amplitud de la señal sólo puede tener un número finito de valores diferentes

El procesamiento digital de señales es el procesamiento electrónico, sea este por hardware (DSP's) o software (MATLAB) de señales utilizando técnicas o algoritmos matemáticos con reglas bien definidas para realizar transformaciones o extraer informaciones.

2.4.3.1 Comparación entre DSP Y ASP

El procesamiento analógico de señales involucra operaciones tales como amplificación, filtrado, integración y diferenciación, como así también varias formas de procesamiento no lineal (rectificación, controles automáticos de ganancia, etc.), utilizando circuitos electrónicos. Estas operaciones se sintetizan en el bloque “Procesamiento Analógico” de la Figura 2.2(a).

El DSP se basa en representar las señales por números en una computadora, o hardware digital especializado, y efectuar una serie de operaciones numéricas (adiciones, multiplicaciones, operaciones lógicas, transferencia de datos, etc.) sobre esas señales. Para implementar un sistema de DSP, tal como ilustra la figura 2.2 (b), es necesario:

- Convertir las señales analógicas en información digital, en la forma de una sucesión de números binarios. Esta tarea se lleva a cabo en dos pasos, el muestreo y la conversión analógico-digital (A/D).
- Efectuar operaciones numéricas sobre la información digital.
- Convertir nuevamente a una señal analógica los datos digitales obtenidos después del procesamiento. Este paso también se implementa en dos etapas: la conversión digital-analógica (D/A) y la reconstrucción.

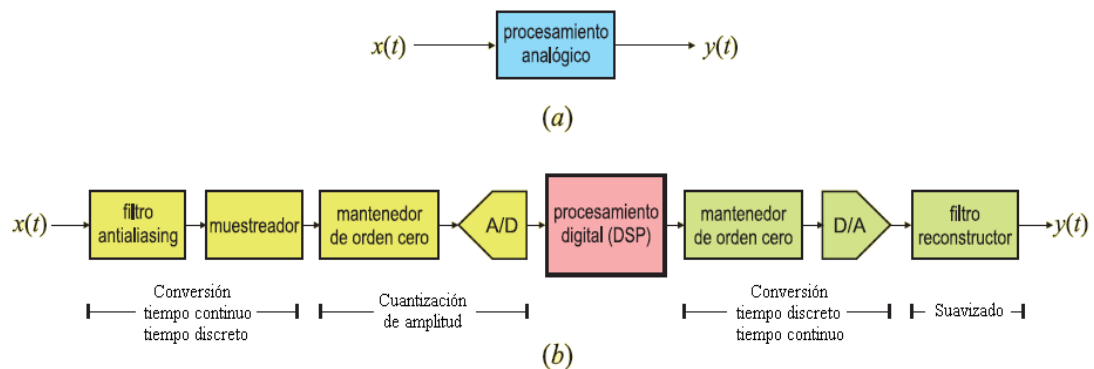


Figura 2.2 Tratamiento de señales: procesamiento analógico (a) y digital (b) Fuente: <http://www.ingelec.uns.edu.ar/pds2803/Materiales/Cap01/01-Cap01.pdf>

2.4.3.2 Ventajas del procesamiento digital con respecto al análogo

A pesar de su mayor complejidad, que se aprecia en la figura 2.2, varias razones justifican el DSP para el tratamiento de señales analógicas convirtiéndolas en señales discretas, en lugar de preferir un tratamiento enteramente analógico:

- Las computadoras pueden hacer operaciones con un grado de precisión arbitrariamente alto, incrementando la longitud de palabra tanto como sea necesario.
- Los sistemas digitales son altamente repetibles (siempre que no fallen por problemas de software o hardware).
- Tienen muy baja sensibilidad al ruido eléctrico.
- La representación numérica de punto flotante permite un rango dinámico prácticamente ilimitado.
- Un sistema digital es flexible y el tipo de procesamiento de señales se puede alterar simplemente cambiando el “software”. La reconfiguración de un sistema analógico, en cambio, involucra rediseñar el hardware, probarlo, y verificar que opera satisfactoriamente.
- El almacenamiento digital es barato y flexible. En consecuencia, las señales son transportables y pueden ser procesadas fuera de línea en lugares alejados del origen de las mismas. Además, la información puede encriptarse para aumentar la seguridad o disminuir errores, y comprimirse para reducir los costos de almacenamiento y transporte;
- El DSP permite implementar algoritmos más elaborados, tal como control o filtrado adaptativo; usualmente es muy difícil efectuar operaciones matemáticas precisas con hardware analógico, que pueden efectuarse sin inconvenientes en una computadora.
- En algunos casos la implementación digital de un sistema de procesamiento de señales es más económica que una implementación analógica, bien porque en general el hardware digital es menos costoso, o bien como consecuencia de la flexibilidad para modificaciones que tiene la implementación digital (un mismo hardware puede servir para diferentes productos finales, con características distintas).

2.4.3.3 Desventajas del procesamiento digital con respecto al análogo:

- Los conversores A/D y D/A de alta resolución son lentos, excepto los extremadamente elaborados. En general, un conversor A/D requiere unos pocos microsegundos para convertir una muestra analógica, y un conversor D/A necesita tiempos del orden del microsegundo para estabilizarse. Estos retardos imponen un límite a la máxima frecuencia de muestreo alcanzable.
- Para obtener una mejor precisión, es necesario que la señal analógica no varíe durante el intervalo de tiempo que tarda en efectuarse la conversión A/D. Por ello suelen utilizarse circuitos mantenedores (“sample and hold”) a la entrada del conversor A/D.
- La salida del “sample and hold” es de banda ancha, lo que incrementa el ruido a la entrada del conversor A/D.
- Los mantenedores introducen errores en el tiempo de adquisición, incerteza de apertura, errores de caída durante el intervalo de conversión, y acoplamiento en el modo “mantenimiento”.
- Para reducir el error debido a la energía de las señales imágenes fuera de la banda de interés a un nivel aceptable, siempre es conveniente limitar el ancho de banda de la señal de entrada usando filtros antialiasing y/o efectuando un “oversampling” si es posible.
- Los filtros antialiasing modifican la amplitud y fase de la señal a procesar. La respuesta de estos filtros no es exactamente plana en la banda de paso, y aquellos con buena respuesta de amplitud tienen invariablemente una pobre respuesta de fase, lo que distorsiona las relaciones armónicas entre las componentes de la señal.
- La tendencia en sistemas modernos de procesamiento de señales, especialmente sistemas de audio digital como los reproductores de CD es utilizar conversores A/D y D/A de 1 bit. Estos dispositivos novedosos explotan las ventajas de las técnicas multi-rate.

- Para muchos sistemas de tiempo real y gran ancho de banda, el procesamiento analógico u óptico puede ser la única solución posible.

2.4.3.4 Aplicaciones de DSP

A continuación se ilustran algunas áreas clásicas donde el DSP ha producido cambios revolucionarios: telecomunicaciones, audio profesional, detección ecos en señales de sonar, radar y sísmicas, y procesamiento de imágenes. El DSP es muy interdisciplinario, basándose en el trabajo técnico de muchos campos adyacentes. De acuerdo a lo que se observa en la figura 2.3, las fronteras entre DSP y otras disciplinas técnicas no son definidas y abruptas, sino borrosas y solapadas.

En las últimas décadas se ha producido una migración cada vez mayor desde el procesamiento análogo hacia el procesamiento digital. Al mismo tiempo, han surgido muchas aplicaciones y técnicas nuevas, que nunca existieron en el mundo análogo.



Figura 2.3 El DSP se relaciona con otras áreas de la ciencia, la ingeniería y las matemáticas.

Elaborado por: El investigador

A continuación se mencionan algunas aplicaciones actuales de DSP.

- **Radar:** Radar es el acrónimo de Radio Detection And Ranging. En los sistemas más sencillos, un transmisor produce un pulso de energía de radiofrecuencia de unos pocos microsegundos de duración, que se emite por una antena altamente direccional. Las aeronaves que crucen el haz de esta onda reflejarán una pequeña parte de la energía hacia una antena receptora, situada cerca del lugar de transmisión. La distancia al objeto, el rango se calcula en base al tiempo que transcurre entre la emisión del pulso y la recepción del eco. La dirección del objeto se determina por la posición de la antena direccional.

El rango operativo de un sistema radar está determinado por dos parámetros: la cantidad de energía contenida en el pulso inicial, y el nivel de ruido del receptor. En general, el aumento de la energía del pulso reduce la precisión y la exactitud de la medición del tiempo transcurrido, lo que resulta en un conflicto entre dos parámetros importantes: la habilidad para detectar objetos lejanos, y determinar su distancia con exactitud.

El DSP ha mejorado el radar en tres aspectos, todos relacionados al problema básico: (i) comprimiendo el pulso apenas se recibe, lo que mejora la determinación de la distancia sin reducir el rango de operación ver figura 2.4. (ii) filtrando la señal para disminuir su nivel de ruido, con lo que se incrementa el rango sin degradar la determinación de distancia. (iii) generando rápidamente pulsos de distinta longitud y forma, que pueden optimizarse para un problema de detección en particular. Desde el punto de vista de la implementación, mucho de este procesamiento se realiza a una velocidad de muestreo comparable a la de la radiofrecuencia utilizada, de varios cientos de MHz. Para poder trabajar a esta velocidad, tanto el hardware como los algoritmos utilizados son importantes.

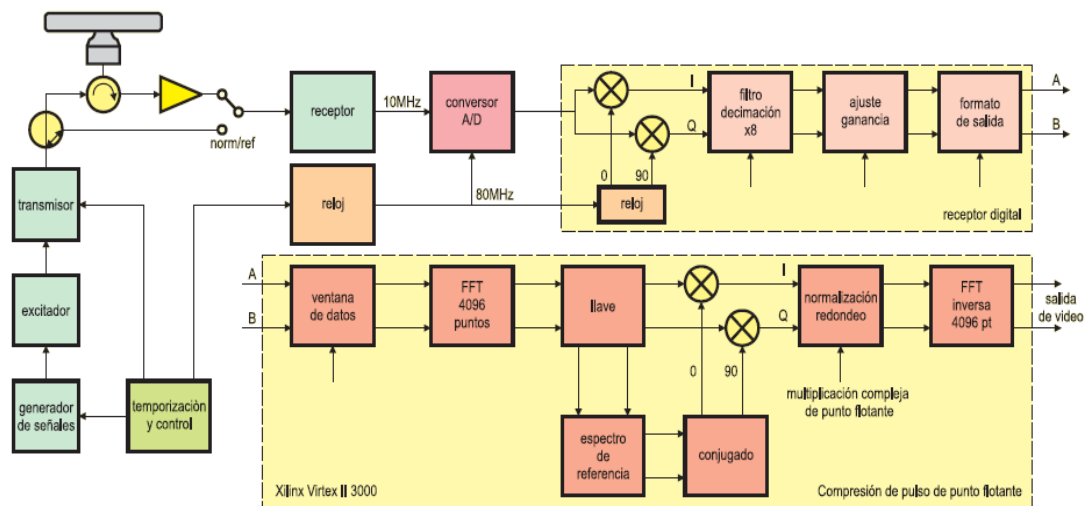


Figura 2.4 Sistema básico de compresión de pulsos de radar usando un receptor digital y una convolución con transformada de Fourier discreta (convolución rápida).

Fuente: <http://www.ingelec.uns.edu.ar/pds2803/Materiales/Cap01/01-Cap01.pdf>

- Imágenes:** Las imágenes son señales con características especiales. En primer lugar, son la medida de un parámetro sobre un espacio (distancia), mientras que la mayoría de las señales son la medida de un parámetro en función del tiempo. En segundo lugar, contienen una gran cantidad de información: son necesarios más de 10 megabytes para almacenar un segundo de señal de video de TV. Esto es más de mil veces mayor que la cantidad de memoria necesaria para almacenar una señal vocal de longitud similar. En tercer lugar, la calidad frecuentemente se evalúa subjetivamente (por un ser humano), en lugar de emplear criterios objetivos. Estas características especiales hacen que el procesamiento de imágenes sea un subgrupo diferente del DSP.
- Telecomunicaciones:** Las telecomunicaciones tratan de la transferencia de información de un lugar a otro: conversaciones telefónicas, señales de televisión, archivos de computadoras, y otros tipos de datos. Para transferir la información es necesario contar con un canal entre el emisor y el receptor.

Este canal puede ser un par de cables, una señal de radio, una fibra óptica, etc. Las compañías de telecomunicaciones cobran por transferir la información de sus clientes, y deben pagar para establecer y mantener el canal. De modo que cuanto más información se pueda transferir por el canal tanto más rentable será la empresa. El DSP ha revolucionado la industria de telecomunicaciones en muchas áreas: generación y detección de tonos de señalización, desplazamiento de bandas de frecuencias, filtrado para eliminar el ruido de línea, etc.

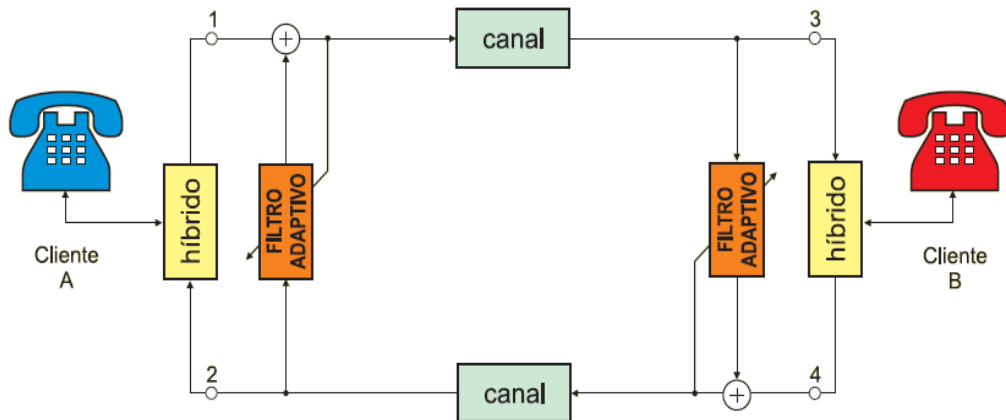


Figura 2.5 Cancelamiento de eco en redes telefónicas de larga distancia.

Fuente: <http://prof.usb.ve/tperez/investigacion/ondiculas/eco/ECOWavele.htm>

Sin embargo, pequeñas diferencias de impedancia causan que algunas de las señales entrantes vuelvan al interlocutor en la forma de eco.

El DSP ataca este problema, pequeñas diferencias de impedancia causan que algunas de las señales entrantes vuelvan al interlocutor en la forma de eco, midiendo la señal de retorno, y generando una antiseñal apropiada de modo de cancelar el eco. En cada extremo del canal de comunicación, como se ve en la figura 2.5, la señal entrante se aplica simultáneamente al híbrido y a un filtro adaptativo, el que estima el eco que produciría la línea y lo resta de la señal original. El filtro adaptativo es un sistema realimentado que calcula un modelo

de la línea de manera que el sistema puede cancelar el eco casi para cualquier tipo de conexión o distancia entre los abonados.

- **Audio:** es una señal analógica eléctricamente exacta a una señal sonora; normalmente está acotada al rango de frecuencias audibles por los seres humanos que está entre los 20 y los 20.000 Hz, aproximadamente. El audio digital es la codificación digital de una señal eléctrica que representa una onda sonora. Consiste en una secuencia de valores enteros y se obtienen de dos procesos: el muestreo y la cuantificación digital de la señal eléctrica. En DSP se está utilizando en: ecualización, reverberación artificial, compresión de la información (MP3), cancelación activa de ruido ambiente (inyectando ruido en contrafase).
- **Voz:** La señal de voz está constituida por un conjunto de sonidos generados por el aparato fonador. Esta señal acústica puede ser transformada por un micrófono en una señal eléctrica. La señal de voz en el tiempo puede ser representada en un par de ejes cartesianos. Como todos los sonidos, está formado esencialmente por curvas elementales (senos y cosenos) pero las posibles combinaciones de éstas pueden ser complejas. Algunas aplicaciones de DSP en esta área son: compresión de la información, identificación de personas, y reconocimiento de voz (dictado por voz).

El reconocimiento automático de la voz humana es inmensamente más difícil que la síntesis. El DSP enfoca el problema de reconocimiento en dos etapas: extracción de características, y comparación de patrones (“matching”). El esquema básico se representa en la figura 2.6. Cada palabra de la señal de audio se aísla y se analiza para identificar el tipo de excitación y las frecuencias de resonancia. Estos parámetros se comparan luego con una base de datos formada por ejemplos de palabras, de modo de identificar cuál de los elementos de la base de datos es más parecido a la señal de entrada. Estos sistemas suelen estar limitados a una centena de palabras, sólo aceptan

oraciones con palabras separadas por espacios de tiempo bien definidos, y para tener buen desempeño conviene que sean entrenados para cada sujeto que los utilice. Aunque resultan apropiados para muchas aplicaciones comerciales, las limitaciones son humillantes en comparación con las habilidades de la audición humana. Éste es un área de trabajo que aún hoy requiere gran desarrollo, y que se estima será de importancia creciente en el futuro.

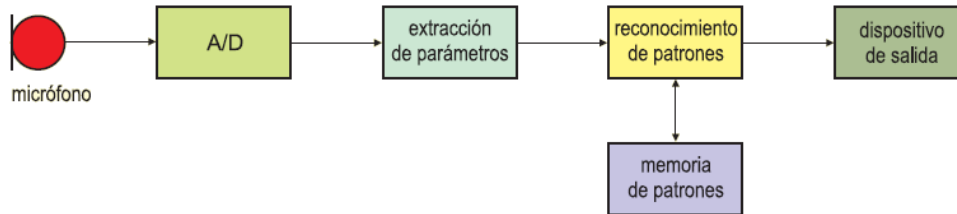


Figura 2.6 Diagrama de bloques de un sistema de reconocimiento de voz

Fuente: <http://blog.hertasecurity.com/>

Otras aplicaciones del DSP están en: la Industria automotriz utilizada en el control de la inyección y del encendido del motor para maximizar el rendimiento y minimizar las emisiones, control de la transmisión automática para maximizar la economía de combustible o la aceleración del vehículo, control del flujo de energía en los vehículos híbridos; Sismología en la localización de hipocentros de sismos, búsqueda de minerales y de petróleo analizando los ecos subterráneos generados por pequeñas explosiones; Medicina en la reducción de ruido y diagnóstico automático de electrocardiogramas y electroencefalogramas; formación de imágenes en tomografía axial computarizada (scanner), resonancia magnética nuclear y ecografía (ultrasonido); Oceanografía en la alerta temprana de maremotos o tsunamis cuando se propagan en el océano abierto, en base a las características de esas ondas que las diferencian de las olas y de las mareas, análisis armónico y predicción de mareas, medición de la energía de las olas con el objeto de dimensionar muelles y otras estructuras sumergidas; Astronomía en la detección de planetas en estrellas lejanas, en base al movimiento oscilatorio que inducen en las estrellas alrededor de las cuales orbitan.

Estas son sólo algunas aplicaciones de DSP. Su número está en constante aumento, a medida que la tecnología de integración progresa, y se desarrollan nuevos algoritmos.

2.4.4 Filtros Digitales

Un filtro digital es un algoritmo implementado en hardware y/o software que opera sobre una señal de entrada digital (discreta en tiempo y cuantizada en amplitud) y genera una señal digital de salida, con la finalidad de efectuar un proceso de filtrado. El término “filtro digital” se refiere al hardware o software específico que ejecuta el algoritmo. Los filtros digitales trabajan sobre valores numéricos asociados a muestras de esas señales analógicas previamente digitalizadas por conversores A/D o simplemente sobre un conjunto de números almacenados en la memoria de una computadora o microprocesador.



Figura 2.7 Diagrama de Bloques de un Filtro Digital

Elaborado por: El investigador

En la figura 2.7 se muestra un diagrama de bloque simplificado de un filtro digital que opera en tiempo real, con entradas y salidas analógicas. La señal de entrada, limitada en banda, se muestrea periódicamente y se convierte en una serie de muestras $x[n]$, $n = 0, 1, \dots$. El procesador digital convierte la sucesión de entrada $x[n]$ en una sucesión de salida $y[n]$ de acuerdo al algoritmo de cómputo. El conversor digital-analógico convierte la salida digital $y[n]$ a valores continuos en tiempo que son procesados por un filtro analógico para suavizar la forma de onda y remover componentes no deseadas de alta frecuencia.

2.4.4.1 Aplicaciones

Los filtros digitales juegan un papel muy importante en el procesamiento digital de señales. En gran número de aplicaciones, como compresión de datos, procesamiento de señales biomédicas, procesamiento de señales de voz, procesamiento de imágenes, transmisión de datos, audio digital, cancelamiento de ecos telefónicos, separación de señales que fueron combinadas desafortunadamente; ruido, interferencias provenientes de otros sistemas.

Se prefieren por sobre los filtros analógicos por uno o más de los siguientes motivos:

- Los filtros digitales pueden tener características que son imposibles de conseguir con filtros analógicos, como por ejemplo una respuesta de fase exactamente lineal.
- El desempeño de los filtros digitales no varía con las condiciones ambientales (temperatura, humedad, etc.) como sí ocurre con los filtros analógicos, lo que elimina la necesidad de calibrarlos periódicamente.
- Si el filtro se implementa utilizando un procesador programable la respuesta en frecuencia de un filtro digital puede ajustarse a voluntad (filtrado adaptivo).
- El mismo filtro puede procesar varias señales o canales de entrada sin necesidad de replicar el hardware.
- Las señales filtradas y sin filtrar pueden almacenarse para uso o análisis posterior.
- Los avances en las técnicas de integración VLSI hacen que sea posible fabricar filtros digitales pequeños, de bajo consumo, y de muy bajo costo.
- La precisión con que un filtro digital verifica las especificaciones de diseño está limitada solamente por la longitud de palabra (bits) utilizada para representar los coeficientes del filtro y ejecutar las operaciones aritméticas; con los filtros analógicos es difícil lograr atenuaciones que excedan los 60 o 70 dB en la banda de rechazo (utilizando componentes convencionales).

- Los filtros digitales pueden utilizarse a muy bajas frecuencias, como las que se encuentran en aplicaciones biomédicas, donde el empleo de filtros analógicos es poco práctico por los valores muy elevados de los componentes pasivos involucrados (capacitores, inductancias). Además, los filtros digitales pueden trabajar sobre un amplio rango de frecuencias simplemente cambiando la frecuencia de muestreo.

2.4.4.2 Tipos de filtros

Existen cuatro tipos de filtros y se clasifican de acuerdo a las frecuencias que discriminan, sea dicho que afectan ya sea dejando pasarlas o rechazándolas.

- **Filtros Pasa bajos**

Un filtro que proporcione una salida constante a partir de CD hasta una frecuencia de corte determinada y que más allá de ella no permita pasar a ninguna señal, es un filtro ideal pasa bajas. En otras palabras, se caracteriza por dejar pasar frecuencias bajas en su banda de paso y rechazar frecuencias altas en la banda de rechazo. Dichas bandas quedan establecidas por:

- Banda de paso: de 0 hasta ω_p
- Banda de rechazo: de ω_s hasta ∞

donde

ω_p : frecuencia de paso

ω_s : frecuencia de corte.

En la figura 2.8 se ilustra las características de un filtro pasa bajo

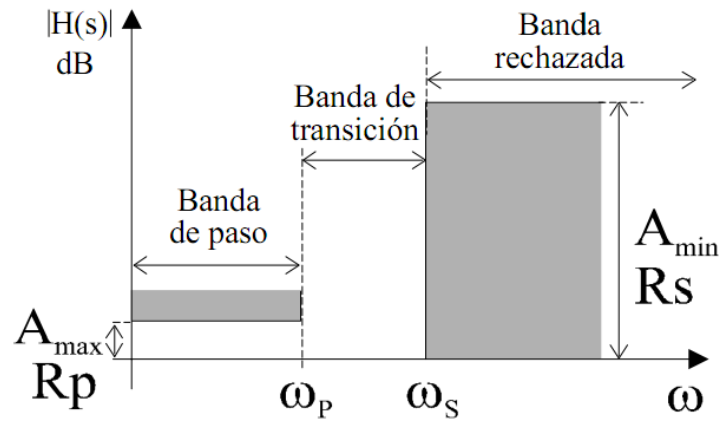


Figura 2.8 Características de filtro pasa bajo

Fuente: <http://www.dtic.upf.edu/~jlozano/audio/edicion2.html>

- **Filtro pasa alto:**

Es aquel filtro, que al contrario del anterior, deja pasar frecuencias altas en su banda de paso y rechaza frecuencias bajas en su banda de rechazo. En pocas palabras, únicamente permite el paso de señales arriba de su frecuencia de corte.

Las bandas de frecuencia que describen a este tipo de filtro, se describen por.

- Banda de paso: desde ω_p hasta ∞
- Banda de rechazo: desde 0 hasta ω_s

donde

ω_p : frecuencia de paso

ω_s : frecuencia de corte.

En la figura 2.9 se muestra las características de un filtro pasa alto

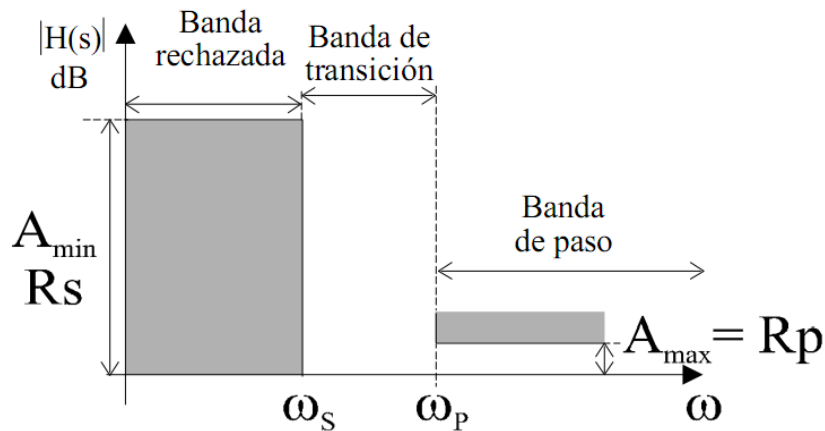


Figura 2.9 Características de un filtro paso alto

Fuente: <http://www.dtic.upf.edu/~jlozano/audio/edicion2.html>

- **Filtros Pasabanda**

Se denomina de esta manera a aquel en el cual las señales son transmitidas si se encuentran arriba de una primera frecuencia de corte y por debajo de una segunda frecuencia de corte. Esto significa que en este tipo de filtros hay presentes dos bandas de rechazo, una inferior y una superior, las cuales definen la banda de paso y únicamente dejara pasar frecuencias dentro del rango definido. Esto queda definido por:

- Banda de paso: desde ω_{p1} hasta ω_{p2}
- Banda de rechazo inferior: desde 0 hasta ω_{s1}
- Banda de rechazo superior: desde ω_{s2} hasta ∞

Donde

ω_{p1} y ω_{p2} : frecuencia de paso inferior y superior respectivamente

ω_{s1} y ω_{s2} : frecuencia de corte inferior y superior respectivamente

$$\omega_{s1} < \omega_{p1} < \omega_{p2} < \omega_{s2}$$

En la figura 2.10 se indica las características de un filtro pasa banda

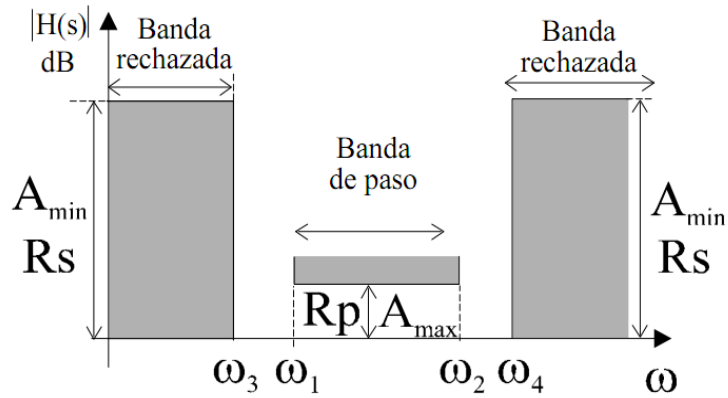


Figura 2.10 Características de filtro pasa banda
Fuente: <http://www.dtic.upf.edu/~jlozano/audio/edicion2.html>

- **Filtro Rechaza Banda:**

Cuando el circuito de filtrado bloquea señales que se encuentran por encima de una frecuencia de corte y por debajo de una segunda frecuencia de corte, se dice que es un filtro rechaza banda. Este tipo de circuito, al contrario del pasabanda, tiene una banda de paso inferior, una banda de rechazo y una banda de paso superior, y funciona bloqueando sólo cierto rango de frecuencias. Lo anterior se indica de la siguiente manera:

- Banda de paso inferior: desde 0 hasta ω_{p1}
- Banda de rechazo: desde ω_{s1} hasta ω_{s2}
- Banda de paso superior: desde ω_{p2} hasta ∞

donde

ω_{p1} y ω_{p2} : frecuencia de paso inferior y superior respectivamente

ω_{s1} y ω_{s2} : frecuencia de corte inferior y superior respectivamente

$$\omega_{p1} < \omega_{s1} < \omega_{s2} < \omega_{p2}$$

En la figura 2.11 se muestra las características de este filtro:

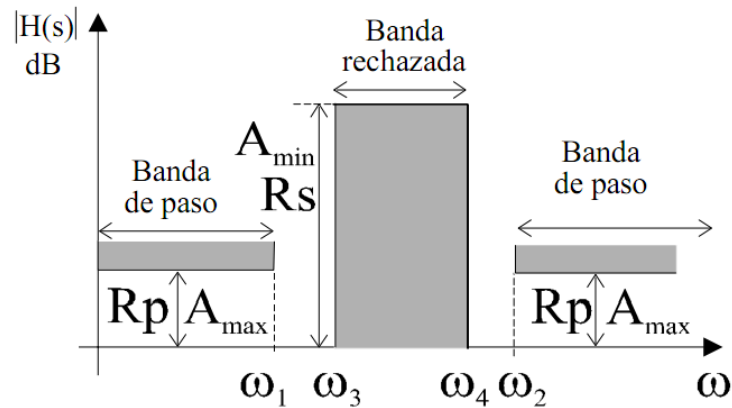


Figura 2.11 Características de filtro rechaza banda

Fuente: <http://www.dtic.upf.edu/~jlozano/audio/edicion2.html>

Por su respuesta impulsional:

a. Filtros FIR (respuesta impulsional finita)

Es un tipo de filtro digital que si su entrada es un impulso la salida será un número limitado de términos no nulos. Para obtener la salida sólo se emplean valores de la entrada actual y anterior. También se llaman filtros digitales no-recursivos. Su expresión en el dominio discreto es:

$$y_n = \sum_{k=0}^{N-1} b_k x(n - k)$$

El orden del filtro está dado por N, es decir, el número de coeficientes. También la salida puede ser expresada como la construcción de una señal x(n) con un filtro h(n).

$$y_n = \sum_{k=0}^{N-1} h_k x_{n-k}$$

La estructura de un filtro FIR se muestra en la figura 2.12, por lo tanto es la siguiente:

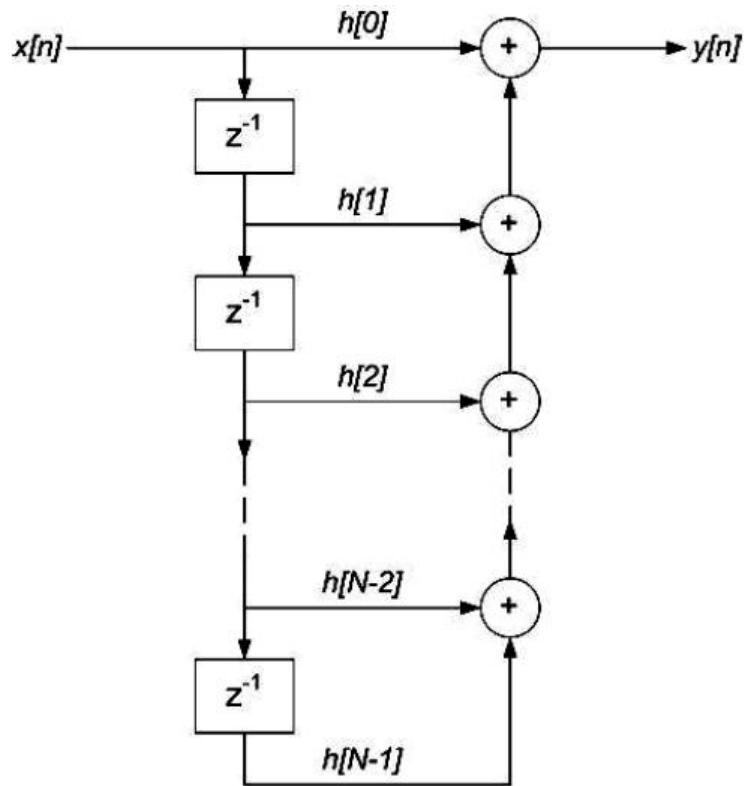


Figura 2.12 Diagrama de bloques de la estructura en forma directa de un filtro FIR
 Fuente: <http://www.ingelec.uns.edu.ar/pds2803/Materiales/Cap12/12-Cap12.pdf>

Lo cual puede verse reflejada en la aplicación de la transformada Z:

$$H(z) = \sum_{k=0}^{N-1} h_k z^{-k} = h_0 + h_1 z^{-1} + \dots + h_{N-1} z^{-(N-1)}$$

Se puede ver que es la misma entrada retardada cada vez más en el tiempo, multiplicada por diversos coeficientes y finalmente sumada al final. Hay muchas variaciones de esta estructura. Si tenemos una respuesta de frecuencia como objetivo, conseguiremos que la respuesta del filtro se asemeje más a ella cuando más número de coeficientes tenga.

Los filtros FIR son estables puesto que solo tienen polos, es decir, elementos en el numerador en su función de transferencia. También tienen la ventaja que pueden diseñarse para ser de fase lineal, es decir, no introducen desfases en la señal, a diferencia de los IIR o los filtros analógicos.

b. Filtros IIR (respuesta impulsional infinita)

Es un tipo de filtro digital que si su entrada es un impulso la salida será un número ilimitado de términos no nulos, es decir, que nunca volverá a un estado de reposo. Para obtener la salida se emplean valores de la entrada actual y anterior y, además, valores de salida anteriores que son almacenados en memoria y realimentados a la entrada. También se llaman filtros digitales recursivos. Su expresión en el dominio discreto es:

$$y(n) = \sum_{i=0}^P b_i x(n-i) - \sum_{j=1}^Q a_j y(n-j)$$

El orden del filtro está dado por el máximo entre P y Q. Una de las posibles estructuras para un filtro IIR es la siguiente:

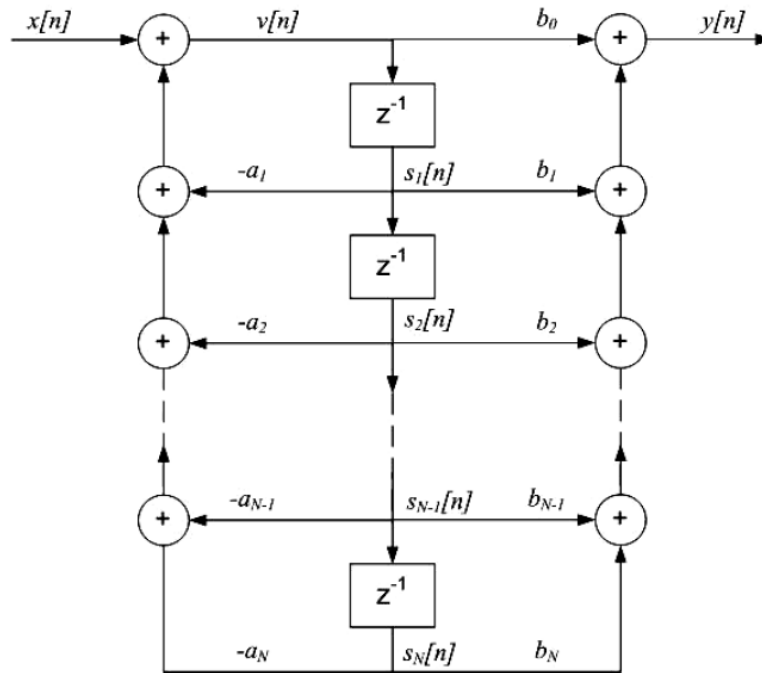


Figura 2.13 Diagrama de bloques de la estructura en forma directa tipo 1 de un filtro IIR
Fuente: <http://www.ingelec.uns.edu.ar/pds2803/Materiales/Cap11/11-Cap11.pdf>

En la figura 2.13 se puede ver cómo la salida $y(k)$ es introducida de nuevo en el sistema. La transformada Z del mismo es:

$$H(z) = \frac{\sum_{i=0}^P b_i z^{-i}}{\sum_{j=0}^Q a_j z^{-j}}$$

Se observa un denominador, es decir, ceros además de polos, que son los causantes de las posibles inestabilidades que pueden comprometer la estabilidad y causalidad del sistema.

Las ventajas de los filtros IIR respecto a los FIR es que pueden conseguir una misma respuesta empleando un número de coeficientes en el filtro mucho menor, requiriendo un menor tiempo de cálculo.

2.4.4.3 FIR vs IIR

La elección entre una implementación FIR e IIR depende de las ventajas relativas de cada uno de estos dos tipos de filtros.

- Los filtros FIR se pueden diseñar para tener una respuesta de fase estrictamente lineal (distorsión de fase nula), lo que es importante en muchas aplicaciones, como transmisión de datos, audio digital y procesamiento de imágenes. La respuesta de fase de filtros IIR no es lineal, en especial en cercanías de la zona de transición.
- Los filtros FIR implementados de forma no recursiva, son inherentemente estables. En cambio, la estabilidad de los filtros IIR siempre debe comprobarse, ya que son sistemas realimentados.
- Los efectos causados por la implementación con aritmética de punto fijo, tales como los errores de cuantización de los coeficientes y los errores por redondeo en las operaciones aritméticas, son mucho más severos en los filtros IIR que en los FIR.
- Para satisfacer unas especificaciones dadas los filtros FIR necesitan un mayor número de coeficientes que los filtros IIR, sobre todo si las bandas de transición son estrechas. En consecuencia, los requerimientos de memoria, el número de operaciones y los tiempos de procesamiento son mayores para los FIR que para los IIR. Sin embargo, la posibilidad de implementar los FIR mediante la técnica de convolución rápida usando FFT y también el empleo de técnicas “multirate” permite aumentar significativamente la eficiencia de las implementaciones.
- Un filtro analógico convencional puede convertirse en un filtro digital IIR equivalente que satisfaga las especificaciones de diseño de manera sencilla. Esto no es posible con filtros FIR pues no tienen una contraparte analógica. Sin embargo es más sencillo sintetizar filtros con respuestas en frecuencia arbitrarias utilizando filtros FIR.

- Los filtros FIR ofrecen en general una respuesta de fase más lineal y no entran jamás en oscilación (es decir, no se vuelven inestables), ya que no poseen realimentación. Por otro lado, requieren un gran número de términos en sus ecuaciones y eso les hace más costosos en cuanto a cálculo o carga computacional.
- Un filtro FIR con un corte muy abrupto (es decir, que tenga una banda de transición muy corta) puede requerir hasta centenas de retardos.
- En cuanto a los filtros IIR, son muy eficaces y pueden proporcionar pendientes de corte muy pronunciadas. Por otro lado, al poseer características de realimentación (o feedback), tienen tendencia a entrar en oscilación y en resonancia.

2.4.4.4 Diseño de Filtros Digitales

El diseño de un filtro digital involucra los siguientes pasos:

- Especificación de los requerimientos del filtro.
- Elección de una aproximación conveniente y cálculo de los coeficientes.
- Representación del filtro utilizando una estructura adecuada (realización).
- Análisis de los efectos de la longitud finita de palabra en el desempeño.
- Implementación en hardware o software.

Estos cinco pasos no son necesariamente independientes, ni necesitan seguirse en el orden descrito; actualmente, las técnicas de diseño disponibles combinan el segundo y parte del tercero y cuarto. Para lograr un filtro eficiente es necesario iterar entre las distintas etapas, especialmente si, como es habitual, las especificaciones de diseño dejan cierto grado de libertad al diseñador, o si se desean explorar otras alternativas de diseño.

a. Especificaciones de diseño

Los requerimientos incluyen la especificación de:

1. Las características de las señales: tipo de fuente de señal, interfaz de entrada-salida, velocidad de procesamiento, ancho de palabra, la mayor frecuencia de interés.
2. Las características del filtro: la respuesta en módulo y/o fase deseados y sus tolerancias, la velocidad de operación, el modo de filtrado (en línea o fuera de línea).
3. La forma de implementación: como una rutina de alto nivel en una computadora, o un programa específico para un DSP.

b. Elección de la aproximación y cálculo de los coeficiente

En esta etapa se elige alguno de los métodos de aproximación:

- Butterworth, Chebyshev, elíptico, etc. si el filtro es IIR
- Equiripple, óptimo, con ventanas, etc. si es FIR

Se calculan los valores de los coeficientes $h[n]$ del filtro FIR, o a_k y b_k del filtro IIR, de modo de satisfacer las especificaciones. El método empleado para determinar los coeficientes es distinto según el filtro sea IIR o FIR.

IIR	FIR
Invariación al impulso	Ventanas
Transformada bilineal	Bandas de Transición suaves
Ubicación directa de polos y ceros	Muestreo de Frecuencia
Óptimos	Óptimos

Tabla 2.1 Métodos típicos para el diseño de filtros IIR y FIR

Fuente: <http://www.ingelec.uns.edu.ar/pds2803/Materiales/Cap09/09-Cap09.pdf>

El método de diseño se elige de acuerdo a la aplicación en particular. En la tabla 2.1 se aprecian los métodos típicos para el diseño de filtros digitales. Si bien influyen varios factores, el más importante es qué tan críticas son las especificaciones. La decisión “difícil” es optar entre FIR o IIR. En aquellos casos en que las propiedades de los FIR (respuesta de fase estrictamente lineal, estabilidad inherente) son imprescindibles, la mejor elección puede ser el diseño por métodos óptimos, o usando ventanas (generalmente la de Kaiser). Si, en cambio, son deseables las características de los IIR (menor cantidad de coeficientes para especificaciones similares) el método de la transformada bilineal es apropiado para la mayoría de los casos.

c. Diseño de Filtros Digitales FIR con la técnica de ventanas

La técnica de ventaneo se basa en a la respuesta de un filtro aplicarle la ventana deseada por medio de una multiplicación de sus ecuaciones, la ventana hace que en el filtro real diseñado se tengan menos variaciones de transición o supresión y con esto se logre y filtrado más efectivo.

Lo primero es decidir las especificaciones de respuesta en frecuencia $H_d(w)$ y determinar su correspondiente en respuesta al impulso $h_d(n)$.

Para diseñar un filtro FIR con características específicas tenemos las siguientes ecuaciones:

$$H_d(w) = \sum_{n=0}^{\infty} h_d(n) e^{-jwn}$$

La ecuación de diseño para el filtro FIR resulta:

$$h_d(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} H_d(w) e^{jwn} dw$$

En general la respuesta $h_d(n)$ es infinita pero esta es truncada mediante el ventaneo, en el punto: $n = M - 1$ y multiplicando por la ventana rectangular o unitaria se obtiene:

$$h(n) = \begin{cases} h_d(n) & n = 0, 1, \dots, M - 1 \\ 0 & \text{otro caso} \end{cases}$$

Realizando cálculos para diferentes filtros se tiene:

Filtro pasa altas	$hd(n) = \begin{cases} \frac{\sin \pi(n - \frac{M-1}{2}) - \sin \omega_c(n - \frac{M-1}{2})}{\pi(n - \frac{M-1}{2})} \\ 1 - \frac{\omega_c}{\pi} \end{cases}$	Si $n = \frac{M-1}{2}$
Filtro pasa bajas	$hd(n) = \begin{cases} \frac{\sin \pi(n - \frac{M-1}{2}) - \sin \omega_c(n - \frac{M-1}{2})}{\pi(n - \frac{M-1}{2})} \\ \frac{\omega_c}{\pi} \end{cases}$	Si $n \neq \frac{M-1}{2}$ $n = \frac{M-1}{2}$
Filtro Pasa banda	$hd(n) = \begin{cases} \frac{\sin(\omega_c + A\omega_c)(n - \frac{M-1}{2}) - \sin(\omega_c - A\omega_c)(n - \frac{M-1}{2})}{\pi(n - \frac{M-1}{2})} \\ \frac{\omega_c + A\omega_c}{\pi} - \frac{\omega_c - A\omega_c}{\pi} \end{cases}$	
Filtro rechazo de banda	$hd(n) = \begin{cases} \frac{\sin \pi(n - \frac{M-1}{2}) + \sin(\omega_c - A\omega_c)(n - \frac{M-1}{2}) - \sin(\omega_c + A\omega_c)(n - \frac{M-1}{2})}{\pi(n - \frac{M-1}{2})} \\ 1 + \frac{\omega_c - A\omega_c}{\pi} - \frac{\omega_c + A\omega_c}{\pi} \end{cases}$	

Tabla 2.2 Ecuación de diseño para diferentes tipos de Filtros FIR
Fuente: www.uaq.mx/investigacion/...VII/ITQ%20Martinez%20Barrera.doc

Una vez obtenida la $h(n)$ del filtro deseado se le aplica el tipo de ventana más adecuada a las necesidades realizando la multiplicación correspondiente de acuerdo a las siguientes fórmulas:

Ventanas	w(n) respuesta impulsiva
Bartlett (triangular)	$1 - \frac{2 \left n - \frac{M-1}{2} \right }{M-1}$
Blackman	$0.42 - 0.5 \cos \frac{2\pi n}{M-1} + 0.08 \cos \frac{4\pi n}{M-1}$
Hamming	$0.54 - 0.46 \cos \frac{2\pi n}{M-1}$
Hanning	$\frac{1}{2} \left(1 - \cos \frac{2\pi n}{M-1} \right)$

Tabla 2.3 Tipos de Ventanas para diseño de Filtros FIR Fuente:
www.uaq.mx/investigacion/...VII/ITQ%20Martinez%20Barrera.doc

El orden N se estima según la tabla.

Ventana	$w_s - w_p$	Orden N	M = N/2
Rectangular	$4\pi/(N+1)$	31	15
Hanning	$8\pi/N$	65	32
Hamming	$8\pi/N$	65	32
Blackman	$12\pi/N$	97	48

Tabla 2.4 Orden de Filtros FIR según la ventana utilizada
Fuente: <http://www.ingelec.uns.edu.ar/pds2803/Materiales/Cap12/12-Cap12.pdf>

- **Diseño con ventana de Kaiser**

La ventana de Kaiser es una ventana ajustable que permite regular la amplitud de los lóbulos laterales a través de un parámetro, y el ancho del lóbulo principal de acuerdo al largo de la ventana.

$$w(n) = \frac{I_0 \left[\beta \sqrt{1 - \left(\frac{n-N/2}{N/2} \right)^2} \right]}{I_0(\beta)}$$

$$0 \leq n \leq N - 1$$

donde I_0 es la función de Bessel modificada de primer tipo, definida por:

$$I_0(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \left[\frac{1}{k!} \left(\frac{x}{2} \right)^k \right]^2$$

El parámetro β se calcula como:

$$\beta = \begin{cases} 0.1102 (A - 8.7) & A > 50 \\ 0.5842 (A - 21)^{0.4} + 0.07886(A - 21) & 21 \leq A \leq 50 \\ 0 & A < 21 \end{cases}$$

donde A es la atenuación deseada en la banda de rechazo y el orden N del filtro se estima según:

$$N = \begin{cases} \frac{A - 7.95}{2.285\Delta w} + 1 & A > 21dB \\ \frac{5.794}{\Delta w} + 1 & A \leq 21dB \end{cases}$$

d. Diseño de Filtros IIR

El método tradicional de diseño de filtros IIR en tiempo discreto se basa en la transformación de un filtro analógico en un filtro digital que cumpla las especificaciones preestablecidas. Esta solución es razonable por varios motivos:

- El arte del diseño de filtros IIR analógicos está muy avanzado, y como se pueden obtener resultados útiles, es ventajoso utilizar los procedimientos de diseño que ya se han desarrollado para los filtros en tiempo continuo.
- Muchos métodos útiles de diseño de filtros IIR en tiempo continuo dan como resultado fórmulas de diseño simples en forma cerrada. Por tanto, los métodos de filtros IIR digitales que se basan en esas fórmulas estándar de diseño de filtros IIR continuos son fáciles de realizar. El hecho de que los diseños de filtros en tiempo continuo se puedan trasladar a diseños de filtros digitales no quiere decir que tengan la misma respuesta frecuencial. Generalmente sucede que el filtro analógico empleado para la aproximación tiene una respuesta en frecuencia diferente de la respuesta en frecuencia efectiva del filtro digital.

Esta circunstancia indica que al diseñar un filtro digital se parte de un conjunto de especificaciones en tiempo discreto; mientras las características del filtro en tiempo continuo se obtienen de la transformación. Al realizar esta conversión se desea que la respuesta en frecuencia del filtro digital preserve las propiedades esenciales del filtro analógico. Esto implica concretamente que se espera que el eje imaginario del plano s se transforme en la circunferencia unidad del plano z .

Una segunda condición es que un filtro estable analógico se debe de transformar en un filtro estable de tiempo discreto. Esto significa que si el filtro continuo tiene los polos en el semiplano negativos $\text{Re}(s) < 0$, el filtro digital tiene que tener los polos dentro del círculo unidad del plano z . Estas restricciones son básicas para las técnicas de diseño de los filtros digitales IIR.

- **Diseño de filtros IIR mediante transformadas bilineales**

Los filtros recursivos pueden ser diseñados por varios métodos, siendo el más común el basado en las transformaciones bilineales. Este procedimiento requiere del conocimiento de la función de transferencia en el tiempo continuo del filtro a diseñar. Los coeficientes del filtro en el dominio s son transformados a uno equivalente en el dominio z .

Los coeficientes de la discretización formarán el filtro IIR. El origen de este proceder viene dado por la cantidad de experiencia acumulada en el diseño de filtros analógicos.

Puede verse que la Transformación Bilineal mapea el eje imaginario del plano s en la circunferencia unitaria del plano z , y el semiplano izquierdo del plano s en el interior de la circunferencia unitaria del plano z . De esta forma, filtros analógicos estables se mapean en filtros digitales estables. El mapeo del plano s en el plano z con la transformación bilineal se representa en la figura 2.14

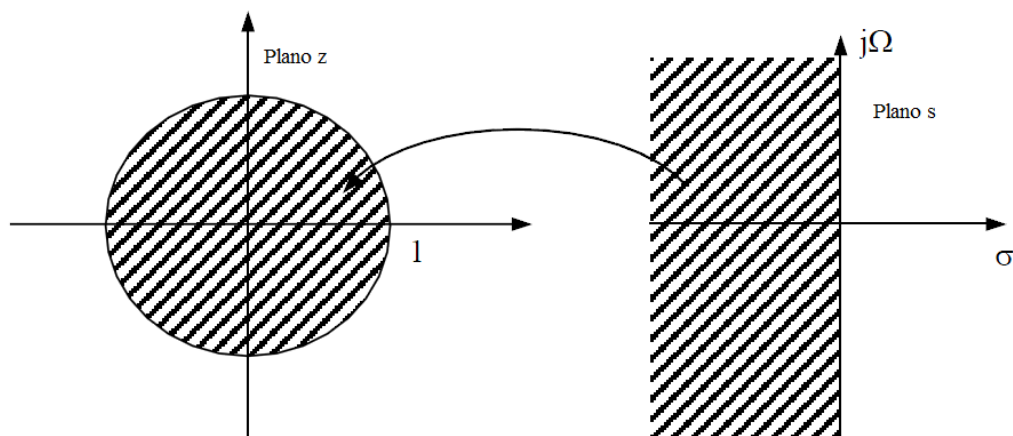


Figura 2.14. Transformación Bilineal

Fuente: http://www.elai.upm.es:8009/spain/Publicaciones/pub01/intro_procsdig.pdf

El objetivo de la transformación Bilineal es lograr un filtro digital cuya respuesta temporal sea similar a la respuesta temporal del filtro analógico de origen, ante cualquier excitación.

Se parte de la función transferencia analógica:

$$H_A(s) = \frac{\sum_{i=0}^N a_i s^{N-i}}{s^N + \sum_{i=0}^N b_i s^{N-i}}$$

Y se obtiene $H_D(z)$ mediante el siguiente reemplazo:

$$s = \frac{2(z-1)}{T(z+1)}$$

donde T: periodo de muestreo.

Es decir: $H_D(z) = H_A(z) \Big|_{s=\frac{2(z-1)}{T(z+1)}}$

Pasos para el diseño de filtros utilizando la transformada bilineal

1. Se especifica el filtro digital deseado
 - Frecuencia de corte ω_c o bandas de frecuencias $\{\omega_1, \omega_2\}$
 - Atenuaciones en las bandas.
2. Se transforman las frecuencias discretas a frecuencias continuas

$$\Omega = \frac{2}{T} \tan\left(\frac{\omega}{2}\right)$$

3. Se diseña el filtro analógico $H_a(s)$ que cumple con las especificaciones de frecuencia y atenuaciones.

4. Se obtiene el filtro digital $H(z)$ utilizando la transformación.

$$H_D(z) = H_A(z) \Big|_{s=\frac{2(z-1)}{T(z+1)}}$$

2.4.5 LABORATORIO

El laboratorio es un lugar dotado de los medios necesarios para realizar investigaciones, experimentos, prácticas y trabajos de carácter científico, tecnológico o técnico; está equipado con instrumentos de medida o equipos con que se realizan experimentos, investigaciones o prácticas diversas, según la rama de la ciencia a la que se dedique. También puede ser un aula o dependencia de cualquier centro docente, acondicionada para el desarrollo de clases prácticas y otros trabajos relacionados con la enseñanza.

2.4.6 LABORATORIO VIRTUAL

Se trata de una serie de programas de simulación creados personal y expresamente, para el trabajo práctico de un laboratorio específico.

En este caso se usan los ordenadores para simular el comportamiento de los sistemas a estudiar haciendo uso de modelos matemáticos como se aprecia en la figura 2.15. Aunque en este caso no se interacciona con plantas reales, la experimentación con modelos simulados es comparable siempre que se cumplan las siguientes premisas:

- Se usen modelos matemáticos realistas que representen al alumno los detalles importantes del sistema a analizar.
- Se complementen las gráficas que muestran la evolución temporal de los sistemas con animaciones que permitan a los alumnos visualizar y entender mejor el comportamiento del sistema.

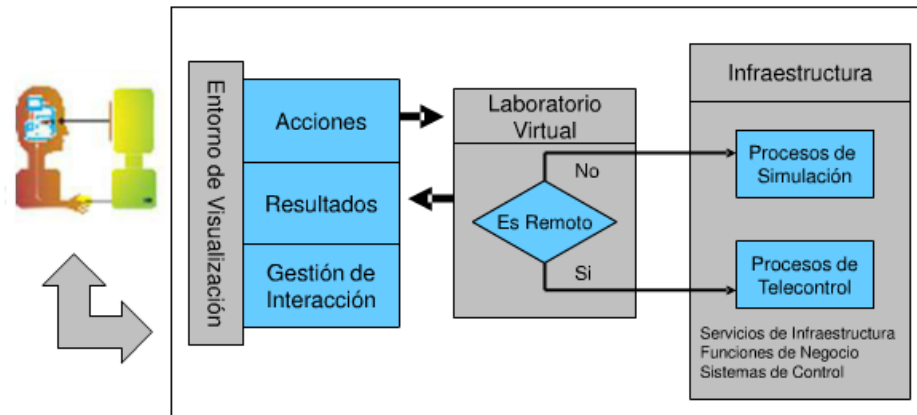


Figura 2.15 Esquema de representación de un laboratorio virtual

Fuente: http://www.aves.edu.co/cava/cava2009/pdf/Francis_Castellanos.pdf

La creación de laboratorios virtuales tiene algunas ventajas importantes con respecto a los laboratorios reales. Dado que un laboratorio virtual se basa en modelos matemáticos que se ejecutan en ordenadores, su configuración y puesta a punto es mucho más sencilla que la configuración y puesta a punto de los laboratorios reales. Además, presentan un grado de robustez y seguridad mucho más elevado ya que al no haber dispositivos reales éstos no pueden causar problemas en el entorno. Sin embargo, como inconveniente con respecto a los laboratorios reales cabe señalar que los laboratorios virtuales están limitados por el modelo y para poder ser manejables éstos tienden a simplificarse, con lo que se pierde información con respecto al sistema real. Además, la experimentación con sistemas reales siempre es un valor añadido para los alumnos.

Una forma interesante de utilizar los laboratorios virtuales es junto a los laboratorios reales (presenciales o remotos), de forma que los alumnos realizarían primero las prácticas en laboratorios virtuales, para pasar posteriormente, cuando el instructor lo considerase oportuno, al laboratorio real.

Así se consiguen varios objetivos importantes como son:

- Familiarizarse con el experimento: Evitando que los estudiantes puedan acudir al aula sin haber realizado trabajo previo.
- Optimizar el uso de los recursos: Los estudiantes requieren menos tiempo para realizar las prácticas, haciéndose un mejor uso de los laboratorios reales, tanto locales como remotos.
- Disminución del uso incorrecto del equipamiento: Frecuentemente los dispositivos utilizados en laboratorios reales son delicados, lo que se acentúa si se les hace trabajar fuera de las condiciones de trabajo para las que están diseñados.
- Comparación del comportamiento de modelos matemáticos frente a dispositivos reales: Los modelos matemáticos se obtienen simplificando el comportamiento de los dispositivos reales, lo que puede producir comportamientos sensiblemente diferentes. Al tener la oportunidad de comparar ambos comportamientos, los alumnos pueden extraer conclusiones acerca de la importancia del modelado realizado.
- Formar en metodologías de trabajo: En su futura vida laboral los estudiantes habitualmente construirán primero modelos matemáticos de los sistemas que simularán bajo diferentes circunstancias como paso previo a construir prototipos, mucho más caros, con los que experimentar.
- Manejo de herramientas informáticas actuales: En la vida profesional, e incluso en la vida diaria, la destreza en el uso de las herramientas informáticas, sean del ámbito que sean, es un elemento diferenciador. Con ello se consigue aportar al alumno una serie de conocimientos transversales que si bien pueden no ser el objetivo principal del laboratorio que se esté diseñando, le servirán en muchos ámbitos en el futuro.
- Repetitividad de los experimentos: Dado que el comportamiento de los sistemas a estudiar se obtiene mediante el modelado matemático de la realidad, los alumnos pueden repetir de forma totalmente fidedigna las

condiciones bajo las que se realizaron los experimentos y reproducirlos ante el docente en caso de necesidad, con la seguridad de que el resultado será el mismo que ellos vieron en su momento.

- Multiplicidad de experimentos simultáneos: Como el único recurso necesario para este tipo de laboratorios es un ordenador, potencialmente todos y cada uno de los alumnos podría estar realizando simultáneamente su experimento sin interferir con sus compañeros, eliminando la necesaria secuencialidad que se da en los laboratorios reales.

Tipo de Laboratorio	Ventajas	Desventajas
Real	Datos reales Interacción con equipo real Trabajo en colaboración Interacción con el supervisor	Restricciones de tiempo y lugar Requiere la programación de horarios estrictos Es caro Requiere supervisión
Virtual	Bueno para el entendimiento de conceptos No hay restricciones de tiempo ni lugar Es un medio interactivo Es de costo bajo	Los datos son idealizados Falta de colaboración No hay interacción con equipo real
Remoto	Interacción con equipo real Datos reales No hay restricciones de tiempo ni lugar Costo medio	Sólo hay presencia virtual en el laboratorio

Tabla 2.5 Principales ventajas y desventajas de cada tipo de laboratorio

Fuente: www.cenidet.edu.mx/.../54%20Cinda%20Luz%20Sandoval

2.4.8 SOFTWARE

2.4.8.1 MATLAB

Las herramientas computacionales han sido una gran ayuda para los ingenieros, ya que pueden tener un mejor entendimiento de conceptos aprendidos. Así mismo, se pueden realizar operaciones complejas en muy poco tiempo y tener más eficiencia al momento de hacer un trabajo.

Matlab es una herramienta que fue creada por la compañía Mathworks, Inc. Ésta es considerada como un entorno de cálculo técnico, el cual brinda grandes presentaciones para el cálculo numérico y visualización de análisis numéricos, calculo matricial, procesamiento de señales y gráficos. Los usos más comunes de Matlab son:

- Cálculos matemáticos
- Desarrollo de algoritmos
- Modelado y simulación
- Análisis de datos, exploración y visualización
- Gráficas científicas y de ingeniería

El nombre de Matlab proviene de Matriz Laboratory, debido a que permite trabajar con facilidad y eficiencia con matrices, por lo mismo tiene un uso esencial tanto en industria como en universidades para el desarrollo de la investigación.

Matlab es considerado un sistema interactivo, su elemento básico de datos es la matriz. Este lenguaje integra programación, visualización y cálculos en un ambiente sencillo. Este método resulta muy útil por la gran cantidad de los problemas como C, BASIC o FORTRAN tardarían mucho más tiempo.

Matlab ofrece una gran ventaja sobre otras herramientas, su uso es muy práctico y fácil, no necesita el uso de programación tradicional, los problemas y las soluciones son expresados de la misma manera en que se escriben matemáticamente

Con el transcurso del tiempo Matlab ha mejorado y evolucionado notoriamente gracias a los programadores que han colaborado y contribuido a su desarrollo. Matlab se ha convertido parte importante en las universidades, por ser una herramienta indispensable para diferentes cursos como: Métodos numéricos, álgebra lineal, álgebra aplicada, ecuaciones diferenciales, por decir algunas áreas de ingeniería. Otro uso muy importante es en la industria para el desarrollo de este; mismo que en la ingeniería es muy útil para realizar y resolver los problemas que se van presentando en las diferentes áreas, como pueden ser de procesamiento de señales y de control.

Una de las herramientas principales son los llamados toolboxes, que proporcionan una serie de soluciones. Esto resulta de gran ayuda para los usuarios, ya que son funciones que extienden el entorno de Matlab. Pueden resolver problemas sobre procesamiento de señales, diseño de sistemas de control, simulación de sistemas dinámicos, identificación de sistemas, redes neuronales entre otros.

El crecimiento que puede tener uno como usuario con esta herramienta es que uno es el propio autor, ya que uno contribuye a este crecimiento, al estar creando programas, el cual cuenta con un lenguaje más matemático que otros lenguajes existentes.

Otra de las muchas ventajas es la implementación aritméticas compleja y el toolboxes, también cuanta con un elemento básico como la implementación de matrices.

Historia de Matlab

Ya existían otras herramientas y lenguajes computacionales anteriormente, pero los ingenieros y científicos tenían la necesidad de uno más sofisticado. Los creadores de TheMathWorks Jack Little y Cleve Moler observaron dichas necesidades, decidieron crear y desarrollar Matlab, un lenguaje con mejores características que le FORTRAN o C, que representan los programas de cálculo matricial más avanzados y así un acceso sencillo al software matricial.

Matrices

Las matrices son aparte esencial, existen varias maneras de manipular las matrices, cuando se forman en Matlab existen la manera de extraer, insertar y arreglar los datos en la matriz, con estas características el funcionamiento se realiza de una forma más eficiente. Por medio de esta herramienta, las matrices se pueden realizar de muchos tipos, el sistema A7 establece una matriz de 7x7, aunque no necesariamente deben de ser cuadradas pueden tener más columnas o filas, las dimensiones pueden ser creadas dependiendo del usuario.

Funciones Principales

En Matlab hay 20 categorías de funciones, de las cuales unas están escritas formas de scripts .m. y otras están implementadas en el intérprete. Los ficheros .m están puestos en 20 directorios, cada uno de estos contiene los scripts asociados a cada categoría. Cuando se inicia Matlab aparecen varias ventanas en la pantalla en donde se puede interactuar. Aparecen como >> y al final se encuentra el cursor donde la toma tiempo para resolver preguntas matemáticas.

En la parte de las ventanas, Matlab pone todos los comandos que han sido utilizados al igual que los valores de cualquier variable que existe.

Los comandos se encuentran en el espacio de trabajo de Matlab y pueden ser utilizados las veces que sean necesarios. Estas variables se pueden salvar, ser

utilizadas posteriormente y guardarse en el menú File. Esta herramienta contiene variables ya predeterminadas como son el caso de sqrt, pi, eps, etc.

Matlab tiene la capacidad de reconocimiento, para realizar operaciones aritméticas bajo los siguientes símbolos: suma (+), resta (-), multiplicación (*), división (/ó\) y potencias (^), estas expresiones son las básicas y son evaluadas de izquierda a derecha, dando prioridad a las potencias, después multiplicación, división y al final a la suma y resta. La puntuación (;) significa que esa línea no será impresa y (%) se usa para escribir algún comentario. Puede trabajar con funciones más complejas como lo son los números imaginarios, reales, con funciones trigonométricas y para términos de electrónica los números imaginarios pueden ser denotados por la letra j.

GUI – GUIDE

Es el método para que el usuario pueda interactuar o conectarse con la computadora y tiene como finalidad comunicarse o intercambiar información. El interface gráfico para el usuario o GUI (graphical user interface) sirve para formar o introducir objetos gráficos, como las ventanas, íconos, botones, menús y texto. La forma más usual de utilizar este método es con el mouse. El principal objetivo de utilizar una interface gráfica, es para realizar herramientas que sean más eficaces, con la finalidad de hacer didácticos los programas.

GUIDE (GUI DevelopmentEnvironment) es un conjunto de herramientas que se presentan en Matlab. GUIs, es un paquete interactivo diseñado para realizar los GUIs más fácil para el usuario. Este paquete de herramientas cuenta con un panel de control, que sirve para crear, colocar y ajustar la medida de algún objeto.

El editor de propiedades es otro elemento de este paquete que se puede utilizar al momento de trabajar con gráficas. Esta propiedad por separado puede utilizarse como herramienta de trazado más eficiente, como asistente de codificación (revisión de nombres y valores de propiedades). El panel de control, editor de

llamadas de función, editor de menú y herramientas de alineación; son elementos que al ser utilizados simultáneamente, junto con el editor de propiedades, tiene como resultado final una combinación que ofrece un control de los gráficos en Matlab.

Diseño de filtros en Matlab

Uno de los problemas más frecuentes en la ingeniería es la necesidad de separar diferentes componentes frecuenciales de una señal. A este proceso se le denomina filtrado ya la subsistema encargado de realizar dicha tarea, filtro. Cuya diferentes aplicaciones serían innumerables.

Habitualmente se emplean para tareas como la eliminación de ruido o interferencia, en procesos de modulación y limitación del ancho de banda de señales, etc. Independientemente de su función, a la hora de antemano las especificaciones que dicho filtro debe verificar, una vez conocidas éstas, se procede a diseñar el filtro apropiado. Por último, dicho filtro es construido o programado (dependiendo si es un filtro analógico o digital) e insertado en el punto apropiado del sistema.

2.4.8.2 Simulink

SIMULINK es un paquete de software para modelar, simular y analizar sistemas dinámicos. Soporta sistemas lineales y no lineales, modelados en tiempo continuo, muestreados o un híbrido de los dos. Los sistemas pueden ser también multifrecuencia, es decir, tienen diferentes partes que se muestrean o actualizan con diferentes velocidades.

Para modelar, Simulink proporciona una interfaz de usuario gráfica (GUI) para construir los modelos como diagramas de bloques, utilizando operaciones con el ratón del tipo pulsar y arrastrar. Con esta interfaz, puede dibujar los modelos de la misma forma que lo haría con lápiz y papel (o como lo representan la mayoría de los libros de texto). Esto es un cambio radical respecto a los paquetes de

simulación previos que requieren que formule las ecuaciones diferenciales y las ecuaciones en diferencia en un lenguaje o programa. Simulink incluye una amplia biblioteca de bloques de sumideros, fuentes, componentes lineales y no lineales y conectores. Puede también personalizar y crear sus propios bloques.

Después de definir un modelo, puede simularlo utilizando cualquiera de los métodos de integración que tiene a su disposición o bien desde el menú de SIMULINK o introduciendo órdenes desde la ventana de órdenes de MATLAB. Los menús son apropiados para un trabajo interactivo; mientras que el enfoque de línea de orden es muy útil para ejecutar un lote de simulación. Los resultados de la simulación se pueden transferir al espacio de trabajo de MATLAB para su posterior post-procesamiento y visualización.

Las herramientas de análisis de modelo que incluyen linealización y determinación de estados estacionarios pueden ser accedidas desde la línea de orden de MATLAB, así como las muchas utilidades que MATLAB y sus toolboxes de aplicación poseen. Y como MATLAB y SIMULINK están integrados, pueden simular, analizar y revisar sus modelos en uno u otro entorno en cualquier momento.

Las diferentes bibliotecas que posee, permiten construir funciones y realizar el análisis del modelo de una manera sencilla. Para invocar a **Simulink**, basta teclear en la pantalla de comandos:

```
>>simulink
```

A breves rasgos Simulink permite:

- Dibujar elementos y conexiones en una ventana gráfica. Las conexiones indican el recorrido de las señales de un elemento a otra.
- Los elementos se los extrae de la biblioteca del propio Simulink, e inclusive se pueden crear nuevos elementos.
- Los resultados se obtienen como salida de algunos elementos, pudiéndose almacenar, ver gráficamente, etc.

- Los datos o señales de entrada pueden obtenerse de salidas de variables especiales, del disco o de variables utilizadas en MATLAB.
- Simulink permite: la definición del modelo a trabajar y su análisis empleando la simulación. Para la definición del modelo, Simulink dispone de diferentes herramientas. Cada una de ellas dispone de bloques.

Tipos de bloques en SIMULINK

Los bloques de SIMULINK los podemos estructurar en las siguientes categorías:

- Sources: Entradas o fuentes de señales.
 - Constantes
 - Senoidales
 - Cuadradas
 - Escalón
 - Aleatorias
- Sinks: Salidas o dispositivos de visualización/almacenamiento de variables del sistema.
 - Osciloscopio
 - Fichero
 - Gráfico
- Discrete/Linear/Continuos: Representan sistemas sencillos mediante su relación entrada/salida.
 - Discrete: sistemas discretos (muestreados). Dominio z .
 - Linear: Sistemas continuos lineales. Dominio s .
 - Continuos: Sistemas continuos no lineales. Dominio t .
- Signals&Systems: Se utilizan para conectar elementos o estructurar modelos.
 - Subsistema: permite jerarquizar diseños
 - Multiplexadores/demultiplexadores: agrupan o desagrupan señales.
 - Memorias: permiten almacenar valores.

- Functions&Tables/Math: Funciones y elementos matemáticos
 - Polinomios
 - Ganancias
- Blocksets/toolboxes: Elementos específicos para diferentes aplicaciones.
 - Comunicaciones
 - Redes neuronales
 - Control

Todas estas categorías de bloques se muestran en la ventana inicial de SIMULINK como se puede apreciar en la figura 2.16. El procedimiento de trabajo para la creación de un modelo será seleccionar los elementos adecuados de entre los presentes en estas categorías, colocarlos sobre la ventana de diseño y establecer las conexiones entre ellos. Para analizar un modelo de cualquier tipo, se empieza creando un **archivo nuevo** tipo “model” (elegir opción desde File...New), y se abren los distintos grupos de funciones a utilizar simplemente arrastrando con el mouse, al área de trabajo, los bloques deseados. Luego se procede a conectarlos uniendo sus entradas y salidas.

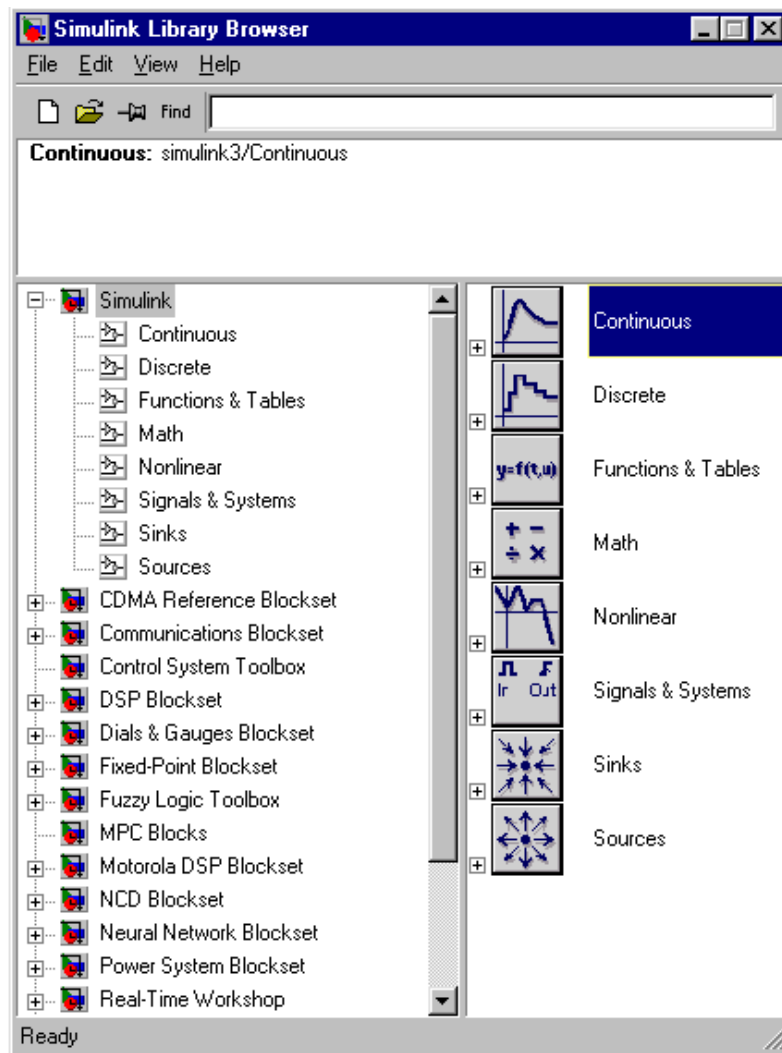


Figura 2.16 Librerías de Simulink

Fuente: Matlab

Después se configuran los parámetros de cada bloque según el modelo y posteriormente se trabajará en el menú de simulación, con parámetros como el tiempo de inicio, tiempo de finalización; tipo de algoritmo de integración, etc. Finalmente, se inicia (start) la simulación. El progreso de la simulación se puede observar en la pantalla mientras ésta corre y al final, los resultados se pueden guardar en el espacio de trabajo de MATLAB creando archivos .mat de la misma manera para guardar la información y posteriormente analizarla o imprimirla.

2.5 HIPOTESIS

¿La práctica de laboratorio influye en los aprendizajes y aplicaciones de Filtros Digitales?

2.6 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

2.6.1. VARIBALE INDEPENDIENTE

La práctica de laboratorio

2.6.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Los aprendizajes y aplicaciones de Filtros Digitales

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACION

Esta investigación tuvo un enfoque cualicuantitativo pues el investigador interactuó con los docentes y eventualmente estudiantes de la FISEI para saber sus necesidades en lo que respecta al módulo de Procesamiento Digital de Señales. Del mismo modo se realizó cálculos matemáticos para la realización del proyecto en cuestión.

3.2 MODALIDAD BASICA DE LA INVESTIGACION

La presente investigación se contextualizará en la modalidad de investigación de campo, pues se obtuvo y analizó datos de los laboratorios existentes en la FISEI, así como también las necesidades de los estudiantes sobre el Procesamiento Digital de Señales al cual va dirigido el proyecto; también la presente investigación tuvo un enfoque bibliográfico pues se indagó aspectos

sobre señales y sistemas discretos los cuales nos permitió diseñar filtros digitales.

3.3 TIPOS DE INVESTIGACION

En el proyecto presentado se realizó los siguientes tipos de investigación:

- Tipo Descriptiva en la cual se realizó una investigación sobre el diseño de filtros digitales, así como también se detalló cada uno de los comandos y herramientas que tiene el software para el Procesamiento Digital de Señales para poder ser aplicados en el desarrollo del presente proyecto.
- Tipo Explicativa pues se realizó un análisis de los parámetros necesarios para realizar un filtro digital utilizando señales y sistemas discretos, también se hizo un estudio sobre las herramientas y sentencias del software a utilizarse en la simulación de dichos filtros.
- Una parte muy importante del proyecto fue la asociación de las variables, tanto independiente como dependiente, pues se identificó la relación existente entre dichas variables, es decir la relación que se tiene entre el laboratorio virtual y los filtros digitales en DSP utilizando el software, y por consiguiente se tuvo una mejor perspectiva de la solución del problema planteado.

3.4 OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

Tabla 3.1.Operacionalización de variable Independiente: La práctica de laboratorio

CONCEPTO	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS BÁSICOS	TÉCNICAS INSTRUMENTALES
<p>Es un lugar dotado de los medios necesarios para realizar investigaciones, experimentos, prácticas y trabajos de carácter científico, tecnológico o técnico, utilizando software para simular, visualizar y programar equipos o instalaciones costosas.</p>	<p>Laboratorio</p> <p>Virtual</p> <p>Practicas</p> <p>Software</p>	<p>Espacio Físico</p> <p>Instrumental</p> <p>Equipos</p> <p>Simulación</p> <p>Filtros Digitales</p> <p>Programa determinado</p>	<p>¿Qué espacio Físico se requiere para la implementación de un laboratorio?</p> <p>¿Qué tipo de circuitos se van a simular?</p> <p>¿Qué tipo de filtros digitales van a hacer utilizados en las prácticas?</p> <p>¿Qué software se va a utilizar para la simulación de los circuitos?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Observación • Investigación • Encuesta • Investigación

Elaborado por: El Investigador

3.5 POBLACION Y MUESTRA

Se trabajó con una población de 8 docentes de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la F.I.S.E.I y con el señor Egresado encargado del Laboratorio de Electrónica, también para la investigación se tomó en cuenta a los Señores Estudiantes del octavo y noveno semestre de la carrera de ingeniería en Electrónica y Comunicaciones.

3.6 TECNICAS E INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACION

En el presente proyecto se utilizó las siguientes técnicas de investigación para la realización del mismo:

- La encuesta fue de gran ayuda pues con ésta se obtuvo la información necesaria para la elaboración de prácticas de filtros digitales de acuerdo a la necesidad del estudiante y del profesor que imparte las materias de DSP.
- La bibliografía fue de mucha ayuda para realizar el proyecto, pues de los libros se extrajo información necesaria para el diseño de filtros digitales, así como también el uso del software para las aplicaciones pertinentes al proyecto.

3.7 RECOPIACION DE LA INFORMACION

- Descripción de procedimientos para la recolección de información, es decir cómo se aplicaron los instrumentos de investigación, condiciones de tiempo y espacio, entre otros.
- Selección de las técnicas a emplearse en la recopilación de información para la investigación. En este caso fue muy importante la recolección bibliográfica para obtener información.

3.8 PROCESAMIENTO Y ANALISIS

3.8.1 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

- Revisión crítica de la información recogida, es decir filtrar la información en la cual se indique algo relacionado con Filtros Digitales, el diseño de éstos, para el desarrollo de las prácticas a plantearse.
- Tabulación de datos en cuadros de acuerdo a las variables, tanto la variable independiente en este caso Laboratorio virtual, y la variable dependiente que es Filtros Digitales.
- Estudio estadístico de la investigación

3.8.2 ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

- Análisis de los resultados estadísticos, de acuerdo con la encuesta realizada sobre la ejecución de un laboratorio virtual de Filtros Digitales en DSP.
- Interpretación de los resultados porcentual, estadística y científicamente.
- Redacción de conclusiones y recomendaciones sobre la implementación de un laboratorio virtual de filtros digitales en DSP.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 INTRODUCCIÓN

El siguiente análisis, corresponde a los resultados obtenidos en la encuesta realizada a los estudiantes del octavo y noveno semestre de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, los mismos que brindaron total apertura y colaboración para contestar las preguntas y proporcionar información referente a la actual condición de los laboratorios de comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

La información obtenida fue tabulada y analizada de forma sistemática de acuerdo a las interrogantes planteadas, además interpretados estadísticamente para obtener resultados precisos y confiables.

4.2 ENCUESTA

4.2.1 Encuesta dirigida a los estudiantes de octavo y noveno semestre de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

Pregunta 1.¿En la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial existen laboratorios para realizar prácticas en DSP de filtros digitales?

Tabla N° 4.1.Existencia de un laboratorio para prácticas en DSP de filtros digitales

Detalle	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	1	3 %
No	35	97 %
TOTAL	36	100 %

Realizado por: Investigador

Fuente: Alumnos de octavo y noveno semestre de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la UTA.

Figura N° 4.1.Existencia de un laboratorio para prácticas en DSP de filtros digitales



Realizado por: Investigador

Fuente: Alumnos de octavo y noveno semestre de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la UTA

De acuerdo a los datos obtenidos, se puede apreciar que 35 de los encuestados equivalente al 97% afirman que actualmente la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial no dispone de un laboratorio en DSP de filtros

digitales; y por el otro lado solamente una persona que representa el 3% ha pronunciado que si existen laboratorios para realizar prácticas de filtros digitales.

Pregunta 2. ¿Cree usted que la teoría impartida por el maestro para el aprendizaje en DSP de filtros digitales debe ser complementada con prácticas de laboratorio?

Tabla N° 4.2 Teoría complementada con prácticas

Detalle	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	35	97 %
No	1	3 %
TOTAL	36	100 %

Realizado por: Investigador

Fuente: Alumnos de octavo y noveno semestre de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la UTA.

Figura N° 4.2 Teoría complementada con prácticas



Realizado por: Investigador

Fuente: Alumnos de octavo y noveno semestre de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la UTA.

De acuerdo a los datos obtenidos, se puede apreciar que los encuestados en su mayoría es decir 35 personas que representan el 97% afirman que es indispensable que la teoría que es impartida para el aprendizaje en DSP de filtros digitales debe ser complementada con prácticas de laboratorio; mientras que una

persona equivalente al 3% manifestó que no es necesario complementar la teoría aprendida en clases con prácticas de laboratorio.

Pregunta 3. ¿Cree usted que es necesario un laboratorio para realizar prácticas en DSP de filtros digitales?

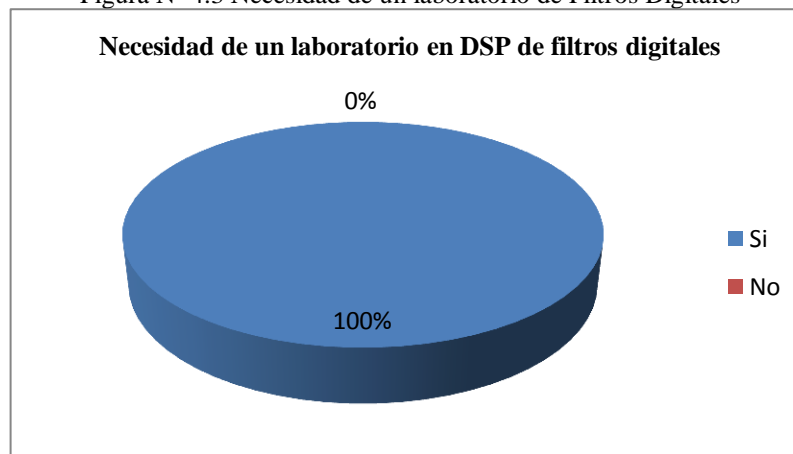
Tabla N° 4.3 Necesidad de un laboratorio de Filtros Digitales

Detalle	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	36	100 %
No	0	0 %
TOTAL	36	100 %

Realizado por: Investigador

Fuente: Alumnos de octavo y noveno semestre de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la UTA.

Figura N° 4.3 Necesidad de un laboratorio de Filtros Digitales



Realizado por: Investigador

Fuente: Alumnos de octavo y noveno semestre de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la UTA.

En virtud de los resultados arrojados por la figura N° 4.3, podemos apreciar que el 100% de los encuestados creen que es necesario que exista un laboratorio para realizar prácticas en DSP de filtros digitales.

Pregunta 4. ¿Considera usted que un laboratorio virtual es una alternativa para realizar prácticas en DSP de filtros digitales?

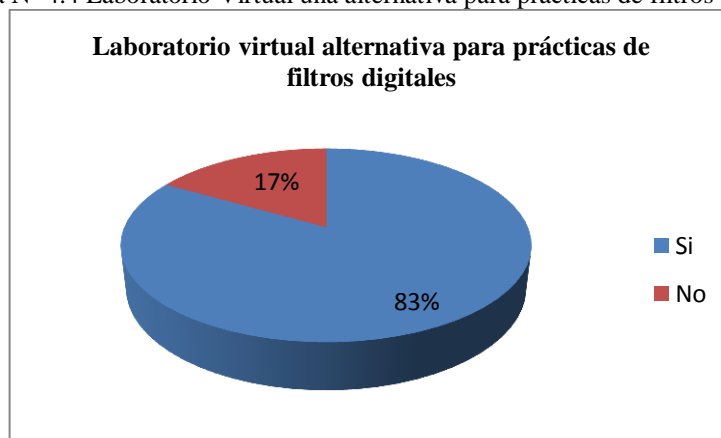
Tabla N° 4.4 Laboratorio Virtual una alternativa para prácticas de filtros digitales

Detalle	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	30	83 %
No	6	17 %
TOTAL	36	100 %

Realizado por: Investigador

Fuente: Alumnos de octavo y noveno semestre de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la UTA.

Figura N° 4.4 Laboratorio Virtual una alternativa para prácticas de filtros digitales



Realizado por: Investigador

Fuente: Alumnos de octavo y noveno semestre de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la UTA.

En la cuarta pregunta, seis personas equivalentes al 17% de la muestra no creen que un laboratorio virtual es una alternativa buena para realizar prácticas de filtros digitales en DSP; contrastando con esto, el 83% de las personas encuestadas consideran que en un laboratorio virtual si se puede realizar prácticas de filtros digitales.

Pregunta 5. ¿Conoce usted las herramientas que ofrece el software MatLab para la realización de filtros digitales?

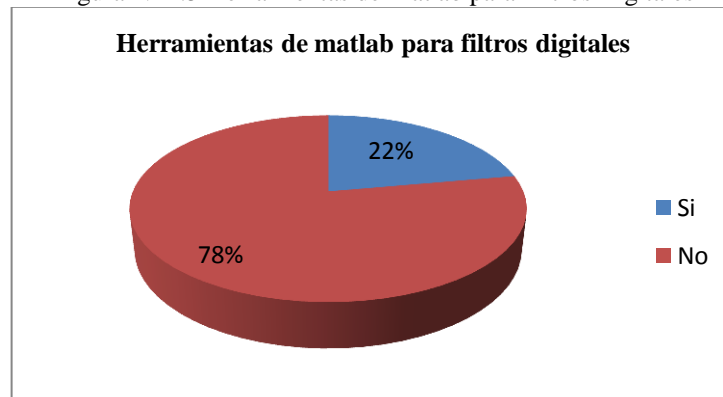
Tabla N° 4.5 Herramientas de Matlab para Filtros Digitales

Detalle	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	8	22%
No	28	78 %
TOTAL	36	100 %

Realizado por: Investigador

Fuente: Alumnos de octavo y noveno semestre de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la UTA.

Figura N° 4.5 Herramientas de Matlab para Filtros Digitales



Realizado por: Investigador

Fuente: Alumnos de octavo y noveno semestre de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la UTA.

En cuanto al conocimiento de las herramientas que nos ofrece el software Matlab para la realización de filtros digitales, en el planteamiento de la quinta pregunta, el 22% de los estudiantes manifestaron que conocían las herramientas del para el fin mencionado; mientras que 28 estudiantes que representan el 78% afirman no conocer los beneficios de Matlab para el diseño de filtros digitales.

Pregunta 6. ¿Cuántos Tipos de filtros digitales conoce usted?

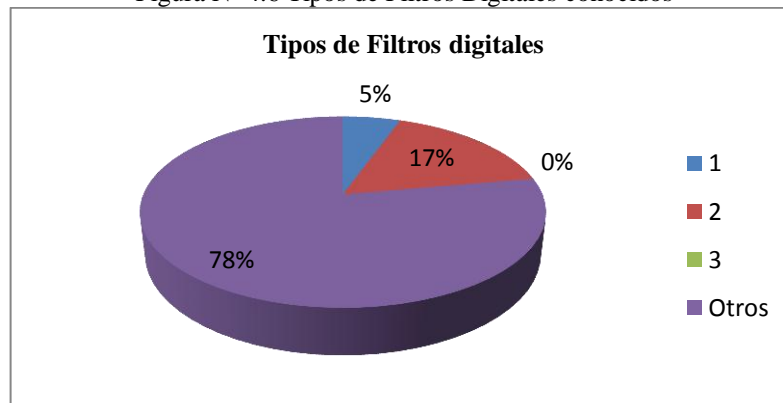
Tabla N° 4.6 Tipos de Filtros Digitales conocidos

Detalle	Frecuencia	Porcentaje (%)
1	2	5 %
2	6	17 %
3	0	0%
Otros	28	78%
TOTAL	36	100 %

Realizado por: Investigador

Fuente: Alumnos de octavo y noveno semestre de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la UTA.

Figura N° 4.6 Tipos de Filtros Digitales conocidos



Realizado por: Investigador

Fuente: Alumnos de octavo y noveno semestre de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la UTA.

La sexta pregunta corresponde a una interrogante de selección múltiple por lo que los encuestados tuvieron la libertad de elegir la respuesta, es así que un 5% afirma conocer un tipo de filtro digital, el 17% manifestó saber dos tipos de filtros digitales; ninguno de los encuestados señaló que conoce tres tipos de filtros digitales; mientras que la mayoría es decir el 78% de los estudiantes encuestados eligió la opción otros. En esta pregunta se solicitó a los estudiantes que enunciaran los tipos de filtros digitales que conoce de acuerdo a la opción que escogieron, es así que los estudiantes que escogieron la primera opción, es decir un filtro, nos enunciaron los siguientes filtros: RFTD y Tanque; los estudiantes que escogieron conocer dos tipos de filtros digitales, indicaron a los Filtros IIR y FIR; y

finalmente las personas que escogieron la opción otros, manifestaron no conocer ninguna clase de filtros digitales.

4.2.2 Encuesta dirigida a docentes del Área de Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

Pregunta 1. ¿La Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial existen laboratorios para realizar prácticas en DSP de filtros digitales?

Tabla N° 4.7.Existencia de un laboratorio para prácticas en DSP de filtros digitales

Detalle	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	0	100 %
No	8	0 %
TOTAL	8	100 %

Realizado por: Investigador

Fuente: Docentes del Área de Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

Figura N° 4.7 Existencia de un laboratorio para prácticas en DSP de filtros digitales



Realizado por: Investigador

Fuente: Docentes del Área de Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

De acuerdo a los datos obtenidos, se puede apreciar que todas las personas encuestadas afirman que actualmente la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial no dispone de un laboratorio en DSP de filtros digitales.

Pregunta 2. ¿Cree usted que es necesario realizar prácticas de laboratorio para el mejor aprendizaje de los alumnos?

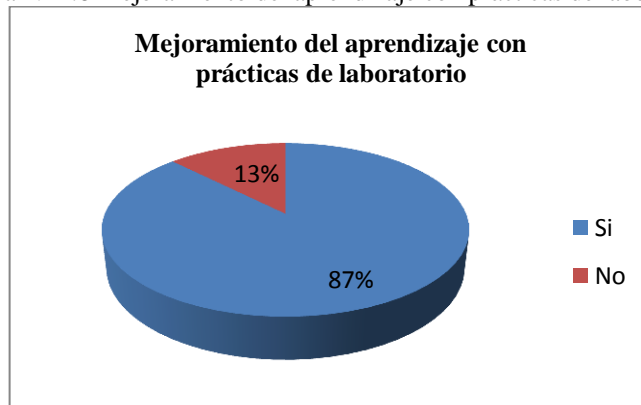
Tabla N° 4.8 Mejoramiento del aprendizaje con prácticas de laboratorio

Detalle	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	7	87 %
No	1	13 %
TOTAL	8	100 %

Realizado por: Investigador

Fuente: Docentes del Área de Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

Figura N° 4.8 Mejoramiento del aprendizaje con prácticas de laboratorio



Realizado por: Investigador

Fuente: Docentes del Área de Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

Como se puede apreciar en la figura 4.8 el 87% de las personas encuestadas creen necesario que para mejorar el aprendizaje de los alumnos se requiere de laboratorios para realizar prácticas; mientras que una persona que representa el 13% afirma que no es necesario de laboratorios para mejorar el aprendizaje.

Pregunta 3. ¿Cree usted que existe el espacio necesario para implementar un laboratorio físico de filtros digitales en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial?

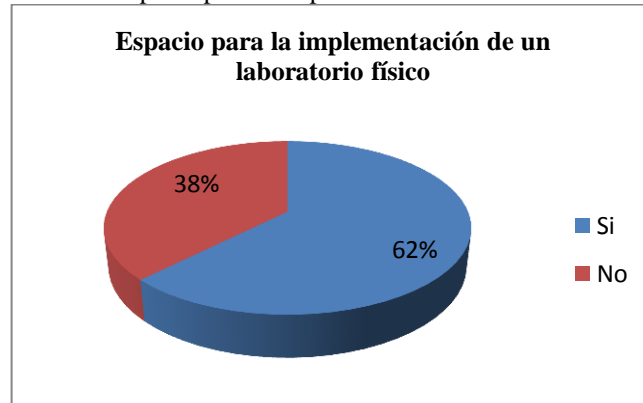
Tabla N° 4.9 Espacio para la implementación de un laboratorio físico

Detalle	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	5	62 %
No	3	38 %
TOTAL	8	100 %

Realizado por: Investigador

Fuente: Docentes del Área de Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

Figura N° 4.9 Espacio para la implementación de un laboratorio físico



Realizado por: Investigador

Fuente: Docentes del Área de Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

En la tercera pregunta, cinco personas equivalentes al 62% de la muestra creen que la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial cuenta con el espacio físico necesario para la implementación de un laboratorio real de filtros digitales en DSP; contrastando con esto, el 38% de las personas encuestadas consideran que la facultad no cuenta con el espacio necesario para implementar dicho laboratorio.

Pregunta 4. ¿Cree usted que la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial cuenta con los recursos económicos para equipar dicho laboratorio (pregunta 3)?

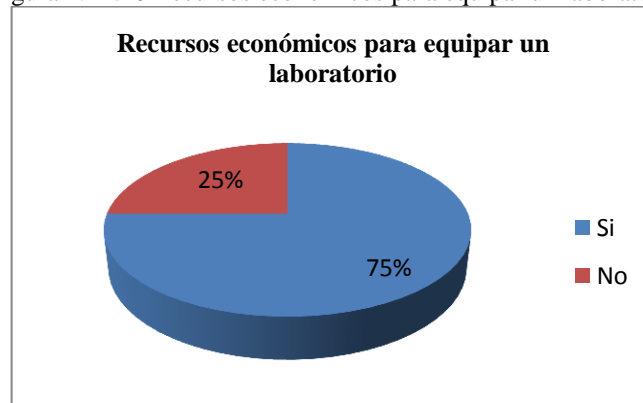
Tabla N° 4.10 Recursos económicos para equipar un laboratorio

Detalle	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	2	25 %
No	6	75 %
TOTAL	8	100 %

Realizado por: Investigador

Fuente: Docentes del Área de Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

Figura N° 4.10 Recursos económicos para equipar un laboratorio



Realizado por: Investigador

Fuente: Docentes del Área de Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

En virtud de los resultados arrojados por la figura N° 4.10, podemos apreciar que el 25% de los encuestados creen que en estos momentos la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial cuenta con los recursos económicos necesarios para equipar el laboratorio expuesto en la pregunta anterior; mientras que el 75% restante afirma que no es posible la implementación de dicho laboratorio pues no se cuenta con los recursos económicos suficientes como para equiparlo.

Pregunta 5. ¿Considera usted que un laboratorio virtual es una alternativa para realizar prácticas en DSP de filtros digitales?

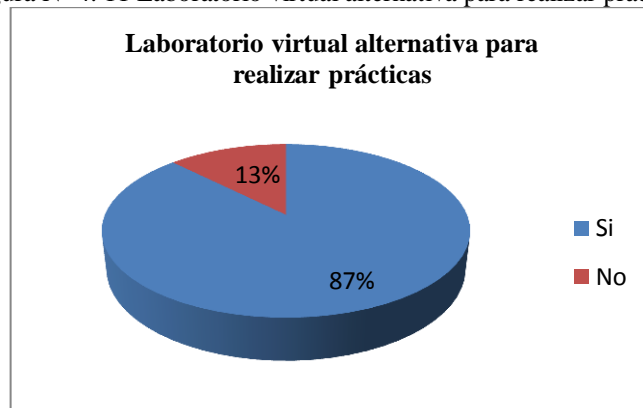
Tabla N° 4.11 Laboratorio virtual alternativa para realizar prácticas

Detalle	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	7	87 %
No	1	13%
TOTAL	8	100 %

Realizado por: Investigador

Fuente: Docentes del Área de Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

Figura N° 4. 11 Laboratorio virtual alternativa para realizar prácticas



Realizado por: Investigador

Fuente: Docentes del Área de Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

En cuanto a la propuesta de un laboratorio virtual en DSP de filtros digitales como alternativa para realizar prácticas, el 87% de los docentes encuestados están de acuerdo con esta idea como recurso alternativo para la realización de prácticas, mientras que el 13% considera que no es una opción adecuada un laboratorio virtual.

Pregunta 6. ¿Considera necesario la implementación de un laboratorio virtual para el mejor aprendizaje de filtros digitales?

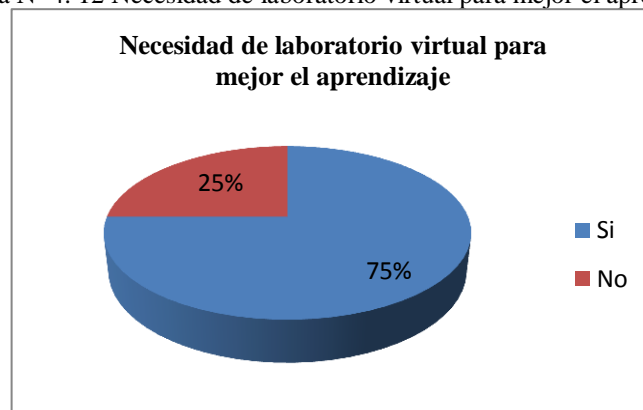
Tabla N° 4.12 Necesidad de laboratorio virtual para mejor el aprendizaje

Detalle	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	6	75 %
No	2	25 %
TOTAL	8	100 %

Realizado por: Investigador

Fuente: Docentes del Área de Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

Figura N° 4. 12 Necesidad de laboratorio virtual para mejor el aprendizaje



Realizado por: Investigador

Fuente: Docentes del Área de Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

De acuerdo a los datos obtenidos, se puede apreciar que 6 docentes que equivalen al 75% afirman que es necesario la implementación de un laboratorio virtual para mejorar el aprendizaje de filtros digitales en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial; mientras que el 25% restante no consideran que es indispensable un laboratorio virtual para el mejoramiento del aprendizaje de filtros digitales.

Análisis General:

De acuerdo a los datos obtenidos aplicando tanto la encuesta a los estudiantes como docentes, se aprecia que los encuestados consideran que es indispensable realizar prácticas como complemento de la teoría impartida en DSP, también concuerdan que actualmente la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial no posee los recursos económicos para implementar un laboratorio real en donde se pueda realizar prácticas de filtros digitales, finalmente manifiestan que un laboratorio virtual es una alternativa para poder realizar prácticas de filtros digitales en DSP.

De acuerdo a la observación realizada en el Laboratorio de Electrónica de La Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, y con la ayuda del Sr. laboratorista, se apreció que el laboratorio no cuenta con los equipos necesarios para la realización de prácticas en DSP.

Analizando los niveles de aprendizaje de los señores estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, se verifica que su nivel de aprendizaje es teórico avanzado, es decir realizan una análisis crítico de los problemas planteados, mas no realizan prácticas en este campo.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

En base al estudio realizado y los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

- En la actualidad las aplicaciones de filtros digitales son numerosas y muy importantes en cualquier ámbito, por ello es necesario conocer estas aplicaciones y aún más importantes ponerlas en prácticas, por ello se ve la necesidad de realizar prácticas de filtros digitales en DSP.
- La Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial no cuenta con laboratorios para que los estudiantes realicen prácticas de filtros digitales en DSP, siendo la práctica un parte muy importante en el desarrollo del aprendizaje y comprensión de estas materias.
- El diseño de un laboratorio virtual es de suma importancia para la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, ya que actualmente no dispone de laboratorios para realizar prácticas en DSP de filtros digitales.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se utilice un software adecuado para poder implementar un laboratorio virtual, uno de ellos es Matlab pues éste cuenta con herramientas muy fáciles de utilizar para el diseño de filtros digitales.
- Debido a la falta de recursos para equipar un laboratorio real es importante que hallar alternativas para que los estudiantes puedan realizar prácticas de laboratorio en DSP de filtros digitales, se recomienda utilizar los recursos que nos presentan hoy en día muchos programas para la simulación de procesos.
- Resulta de vital importancia elaborar una guía práctica con los temas adecuados de filtros digitales en DSP para que los estudiantes puedan utilizar el Laboratorio Virtual sin ninguna dificultad.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 DATOS INFORMATIVOS

a) Tema:

Laboratorio virtual para el mejoramiento del aprendizaje de filtros digitales en DSP en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

b) Institución Ejecutora:

Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial

c) Beneficiarios:

Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones.

d) Ubicación:

Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato

e) Tiempo estimado para la ejecución:

Inicio: 11 de enero del 2012 **Fin:** 11 de julio del 2012

f) Equipo Técnico responsable:

Investigador: María del Carmen Moreta Romero

Tutor: Ing. Marco Jurado

Entidad: Universidad Técnica de Ambato - Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

La facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial es una facultad que inicialmente ofertaba una carrera siendo ésta Ingeniería en Sistemas, sin embargo al avanzar los años consideraron que es importante ofertar más carreras, es por ello que se incluyen en esta facultad la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones y la carrera de Ingeniería Industrial y Procesos de Automatización.

Actualmente la facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial cuentan con laboratorios en cada especialidad equipados para realizar prácticas, sin embargo cabe mencionar específicamente que en la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones en estos momentos no cuentan con un laboratorio para realizar prácticas de Procesamiento Digital de Señales; siendo un inconveniente pues este tema de estudio se ha vuelto tan indispensable que ha sido aplicado a muchas disciplinas.

6.3 JUSTIFICACIÓN

Analizando las conclusiones, basadas en las respuestas de las encuestas realizadas, se nota claramente la necesidad que tienen tanto los alumnos como los docentes de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial de un laboratorio para realizar prácticas en DSP de Filtros Digitales.

El gran avance de la ciencia y la ingeniería, en el desarrollo de circuitos integrados, microprocesadores y computadoras en los últimos 30 años, ha

generado un gran interés en el estudio del Procesamiento Digital de Señales (DSP, acrónimo para la frase en inglés Digital Signal Processing). Este tema de estudio se ha vuelto tan indispensable que ha sido aplicado a muchas disciplinas tanto en ingeniería como economía y desde la astronomía hasta la biología molecular.

Es por eso que este es un tema de estudio es de gran interés para carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial, y por eso se ha decidido desarrollar una serie de prácticas de simulación en los apartados que envuelve la ciencia del procesamiento digital de señales, centrandose específicamente a lo que es el diseño de Filtros Digitales, en el cual se pondrán en práctica todos los conocimientos adquiridos en el curso de Procesamiento Digital de Señales que imparte dicha Facultad.

Es necesario mencionar que el software para utilizarse en dichas prácticas es Matlab, pues es uno de los programas más populares y accesibles en el área de matemática; a la vez, consta de una herramienta de procesamiento de señales lo que facilita la tarea de construir una aplicación determinada; la misma, ayuda aplicar algoritmos específicos requeridos para el desarrollo del software.

Por lo tanto, la propuesta del proyecto tiene como objetivo principal ayudar a los estudiantes y docentes con una herramienta adecuada para el mejor aprendizaje de Filtros Digitales en DSP, proporcionando así una alternativa para que se pueda complementar la teoría impartida con la práctica.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 OBJETIVO GENERAL

- Implementar un laboratorio virtual para el mejoramiento del aprendizaje de Filtros Digitales en DSP en la en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

6.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer los comandos que utiliza MATLAB para el diseño de filtros digitales
- Realizar un programa utilizando MATLAB para crear una herramienta visual para los estudiantes y docentes se familiaricen con el diseño de filtros digitales.
- Preparar un manual de prácticas para simulación de filtros digitales.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

6.5.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA

Es factible pues MATLAB es un software que se puede utilizar de dos maneras, pueden ser de carácter académico y comercial. En este caso no se necesita de comprar una licencia, pues la propuesta es de carácter concretamente académico, sin embargo en este caso no viene incluidos todas las funciones y toolbox; pero para la simulación de filtros digitales basta con las herramientas que nos brinda MATLAB sin licencia.

6.5.2 FACTIBILIDAD OPERATIVA

Desde el punto de vista operativo, es posible puesto que se utilizará MATLAB, el mismo que cuenta con un paquete de herramientas para el diseño de filtros digitales, lo cual servirá para realizar el software propuesto, se creará una interfaz gráfica con la que interactuará el usuario y utilizará para realizar el análisis de los filtros propuestos.

6.5.3 FACTIBILIDAD ECONÓMICA

Es factible económicamente, porque al utilizar el software MATLAB de tipo académico, no se requiere necesariamente de la licencia para poder realizar la implementación de dicho laboratorio. En el caso que se requiera realizar

aplicaciones de tipo comercial se debe considerar los derechos de autor de MATLAB, que para la fecha está en \$2.150.00 USD; y los paquetes necesarios se adquiere individualmente, por ejemplo en nuestro caso se necesitaría el siguiente, Signal Processing Toolbox \$1.000.00 USD.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

Los filtros ideales definidos como

$$H(\omega) = \begin{cases} \text{constante} & \text{para } \omega < \omega_0 & (\text{banda de paso}) \\ 0 & \text{para } \omega > \omega_0 & (\text{banda de rechazo}) \end{cases}$$

No son físicamente realizables ya que no son causales, sin embargo es posible diseñar filtros causales que pueden aproximarse a los ideales con tanta precisión como sea necesaria.

Estos filtros causales presentaran rizado tanto en la bandade paso como en la banda de rechazo, por lo general. Por otro lado, la transición de frecuencia entre ambas bandas no se realizará de forma abrupta.

En MATLAB existen varias funciones que ayudan al diseño de un filtro indicando sus características. Para el diseño de filtros del tipo IIR o FIR se utilizan frecuentemente las funciones que se muestran en la tabla 6.1 a continuación:

Filtro Digital	Tipo	Función en MATLAB
IIR	Butterworth	[b,a] = butter(n,Wn,options) [z,p,k] = butter(n,Wn,options) [A,B,C,D] = butter(n,Wn,options)
	Chebyshev Tipo I	[b,a] = cheby1(n,Rp,Wn,options) [z,p,k] = cheby1(n,Rp,Wn,options) [A,B,C,D] = cheby1(n,Rp,Wn,options)

	Chebyshev Tipo II	[b,a] = cheby2(n,Rs,Wn,options)
		[z,p,k] = cheby2(n,Rs,Wn,options) [A,B,C,D] = cheby2(n,Rs,Wn,options)
	Elíptico	[b,a] = ellip(n,Rp,Rs,Wn,options) [z,p,k] = ellip(n,Rp,Rs,Wn,options) [A,B,C,D] = ellip(n,Rp,Rs,Wn,options)
FIR	Ventana	b = fir1(n,Wn,'ftype',window) b = fir2(n,f,m,npt>window)

Tabla 6.1 Funciones más comunes para el diseño de filtros digitales en Matlab

Elaborado por: El Investigador

6.6.1 Filtros Digitales FIR

Los filtros digitales de Respuesta Finita Impulsiva o filtros FIR por sus siglas en inglés Finite Impulse Response, se trata de un tipo de filtros digitales en el que, como su nombre indica, si la entrada es una señal impulso la salida tendrá un número finito de términos no nulos.

El modelo matemático de los filtros FIR también se fundamenta la ecuación de diferencias, pero con la particularidad de que todos los coeficientes a_k son iguales a cero. Se tiene entonces que la ecuación que los describe es función del conjunto de coeficientes b_k y de la secuencia de entrada $x(n)$.

$$y(n) = \sum_{k=0}^M b_k x(n - k)$$

Donde $M+1$ corresponde a la longitud del filtro. Este sistema considera sólo las últimas $M+1$ muestras de la señal de entrada y las pondera mediante coeficientes b_k . A este sistema se le denomina FIR, ya que su respuesta al impulso unitario (dada por los coeficientes b_k) es finita.

Su diseño requiere la selección de la secuencia que mejor representa la respuesta a impulso de un filtro ideal. Los filtros FIR son siempre estables y son capaces de tener una respuesta lineal en fase.

La salida del filtro es una suma finita de la entrada presente y las M entradas previas al filtro. En los sistemas lineales se tiene que la salida $y(n)$ puede expresarse como la convolución de la señal de entrada con la función de respuesta al impulso del filtro.

$$y(n) = \sum_{k=0}^M h(k) * x(n - k)$$

Comparando esta última ecuación con (la anterior) se tiene que:

$$b_k = h(k)$$

Y por lo tanto los coeficientes del filtro son equivalentes a la respuesta al impulso del filtro. Al aplicar un impulso a la entrada del sistema, se obtiene a la salida una respuesta de longitud limitada.

Cuando se describe un sistema casual con respuesta finita al impulso, se usan normalmente estructuras no-recursivas. En tales casos la función del sistema tiene forma:

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

Donde se tiene que:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \sum_{n=0}^{N-1} b_n z^{-n}$$

Siendo $x(n)$ la entrada, $y(n)$ la salida $h(n)$ la función de respuesta al impulso y $X(z)$, $Y(z)$ y $H(z)$ sus respectivas transformadas Z.

6.6.1.1 Diseño De Filtros FIR

Para diseñar los filtros FIR se tienen que truncar la serie infinita de los coeficientes de Fourier en una serie finita. Si estos coeficientes son truncados, el filtro se verá afectado y se producirá un efecto Gibbs. Se producirán ondulaciones antes y después de cualquier discontinuidad. Estas ondulaciones no desaparecerán, sin importar que tan larga sea la serie, ya que siempre será finita. Por esto es que se emplea el método de las ventanas donde se usa un número finito de secuencias $w(n)$. Primero se debe buscar la transformada inversa de Fourier de la respuesta deseada. Después se aplica la ventana para aplanar los rizos.

a. Método de las ventanas

Este método permite obtener los coeficientes de un filtro realizable haciendo el producto de una función de truncamiento (con una cantidad finita de valores) con la respuesta impulsiva de un filtro ideal (que requeriría infinitos términos).

- **Efecto de la ventana en la respuesta en frecuencia del filtro.**

- a) La respuesta en frecuencia de la ventana presenta un gran lóbulo principal de altura proporcional a M y de anchura proporcional a $\frac{1}{M}$.
- b) El ancho de banda de transición de $H(\omega)$ está dominado por el ancho del lóbulo principal ($\propto \frac{1}{M}$): a mayor M , menor el ancho de banda de transición $[\omega_p, \omega_c]$.
- c) Los lóbulos laterales son responsables del rizado tanto de la banda pasante como en la banda eliminada, por el rizado en ambas bandas tiene la misma forma, como se observa en la figura 6.1

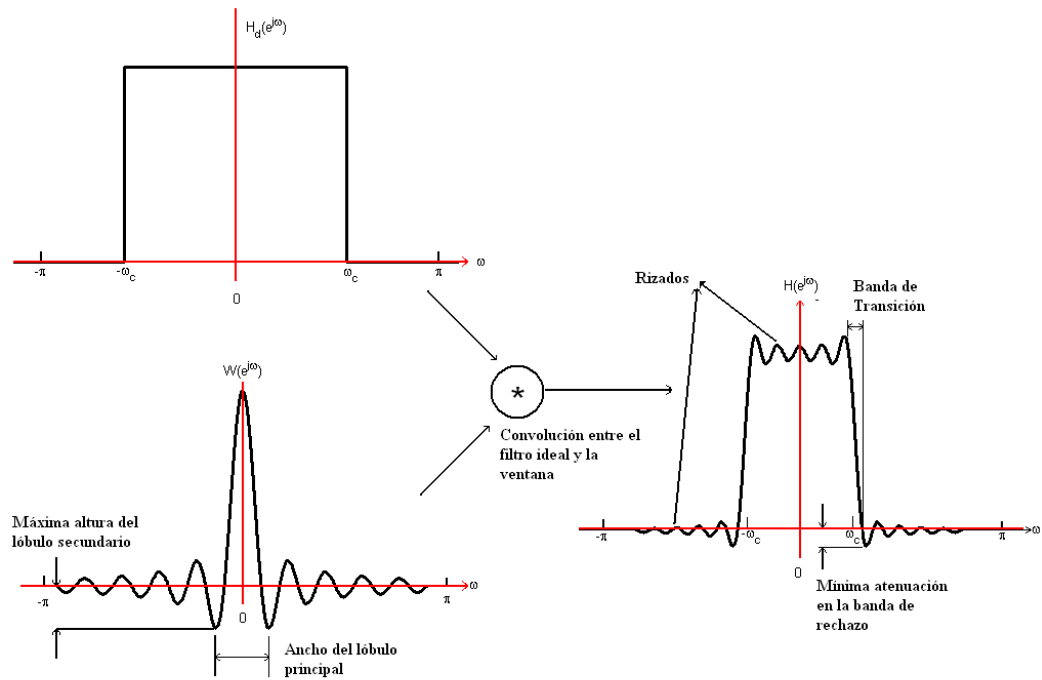


Figura 6.1 Condiciones de una ventana de truncamiento

Fuente: <http://varoitus.barcelonamedia.org/rafael/Teaching/Courses/DSP/modulo7.pdf>

En el diseño de una ventana de truncamiento con longitud M dada, se busca que:

1. El ancho del lóbulo principal $\Delta\omega M$ sea mínimo.
2. La atenuación relativa del primer lóbulo lateral $AL1$ sea máxima.

b. Pasos para el diseño de filtros FIR por el método de la ventana

- Especificaciones
- Conversión a prototipo pasa-bajos
- Elección de la Ventana
 - Rectangular o Boxcar
 - Barlett
 - Hanning
 - Hammning

- Blackman
- Kaiser
- Estimación de parámetros
- Enventanado
 - Respuesta espectral e impulsiva del filtro ideal
 - Función ventana y su transformada
 - Cálculo de la respuesta impulsiva enventanada

c. Especificaciones.

Los datos iniciales son las frecuencias de corte (o los anchos de banda) y los rizados. Las especificaciones de la respuesta espectral de un filtro se muestran en la Tabla 6.2

Nombre	Expresión
Rizado de banda pasante	δ_1
Rizado de banda suprimida	δ_2
Frecuencia de corte de la banda suprimida	ω_p
Frecuencia de corte de la banda supresora	ω_s

Tabla 6.2 Especificaciones de la respuesta espectral de un filtro

Elaborado por: El Investigador

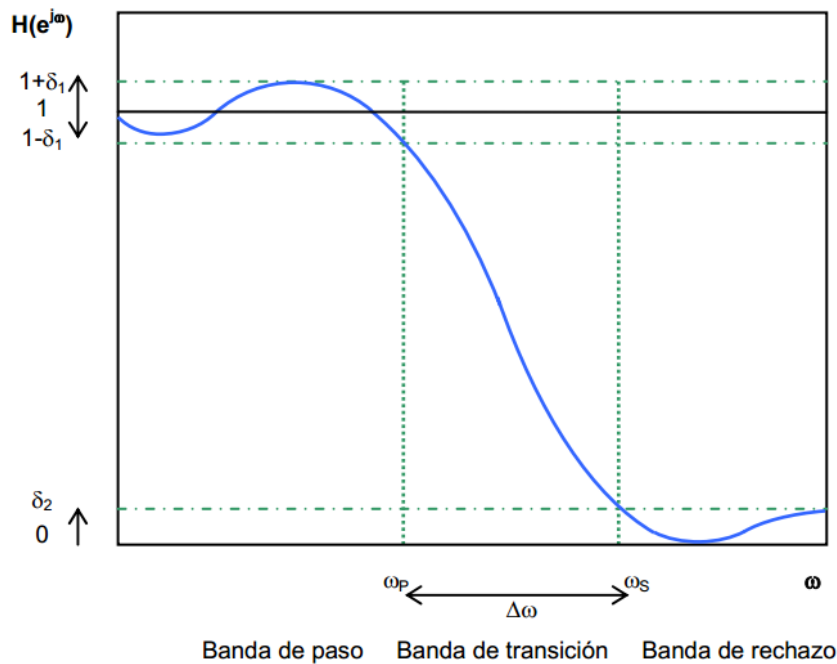


Figura 6.2 Especificaciones de la respuesta espectral de un filtro

Fuente: <http://dsp1.materia.unsl.edu.ar/Filtros%20FIR%20Resumen.pdf>

De las anteriores especificaciones, se derivan los siguientes parámetros, con los cuales muchas veces se definen los filtros:

Nombre	Expresión
Ancho de la región de transición	$\Delta\omega = \omega_s - \omega_p$
Atenuación en la banda pasante	$A_p = 20 \times \log\left(\frac{1 + \delta_1}{1 - \delta_1}\right)$
Atenuación en la banda suprimida	$A_s = 20 \times \log(\delta_2)$

Tabla 6.3 Especificaciones de la respuesta espectral de un filtro real derivadas de las anteriores

Elaborado por: El Investigador

d. Conversión de la banda pasante.

Se traducen los valores de frecuencias de corte a la de un prototipo pasa-bajos. Este paso es requerido en el cálculo manual dado que el enventanado es más fácil de operar con un prototipo pasa-bajos, pero no es necesario en el cálculo mediante herramientas de programación.

e. Elección de la ventana

VENTANA	EXPRESIÓN	A_s
Rectangular	$w(n) = 1$ para $0 \leq n \leq N$ $w(n) = 0$ para otro valor	21dB
Barlett o Triangular	$w(n) = \frac{2n}{N}$ para $0 \leq n \leq \frac{N}{2}$ $w(n) = 2 - \frac{2n}{N}$ para $\frac{N}{2} \leq n \leq N$ $w(n) = 0$ para otro valor	25dB
Hanning	$w(n) = 0.5 - 0.5 \cos \frac{2\pi n}{N}$ para $0 \leq n \leq N$ $w(n) = 0$ para otro valor	44dB
Hamming	$w(n) = 0.54 - 0.46 \cos \frac{2\pi n}{N}$ para $0 \leq n \leq N$ $w(n) = 0$ para otro valor	53dB
Blackman	$w(n) = 0.42 - 0.5 \cos \frac{2\pi n}{N}$ $+ 0.08 \cos \frac{4\pi n}{N}$ para $0 \leq n \leq N$ $w(n) = 0$ para otro valor	74dB
Kaiser	$w(n) = \frac{I_0 \left[\beta \sqrt{1 - \left(\frac{2n-N}{N} \right)^2} \right]}{I_0(\beta)}$ para $0 \leq n \leq N$ $w(n) = 0$ para otro valor Siendo I_0 la función de Bessel de primer tipo de orden cero	

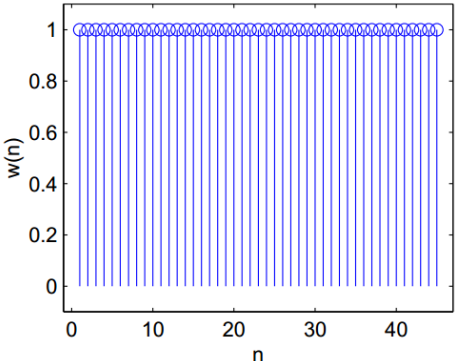
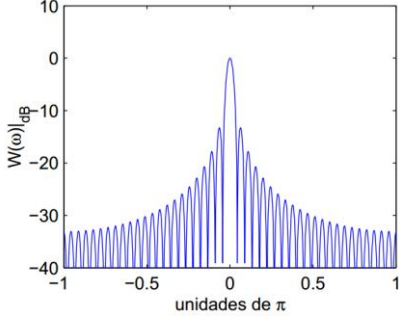
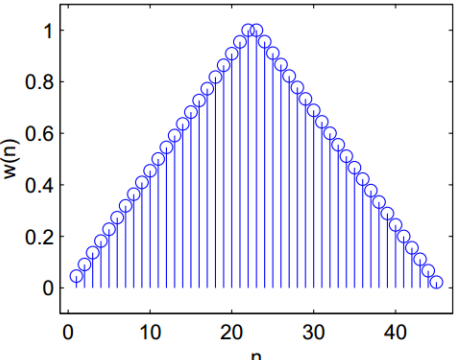
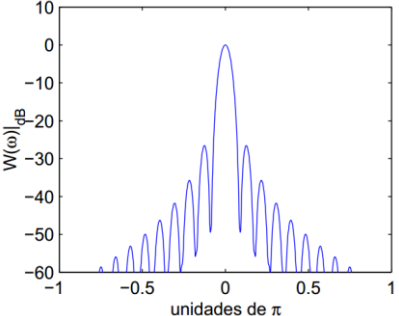
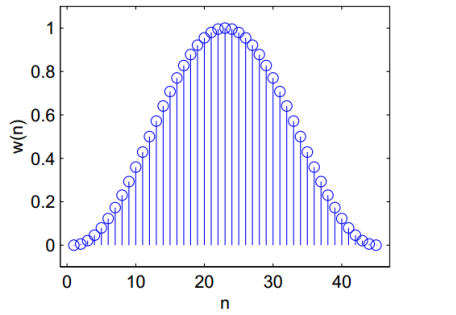
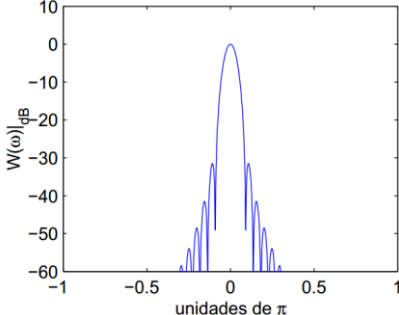
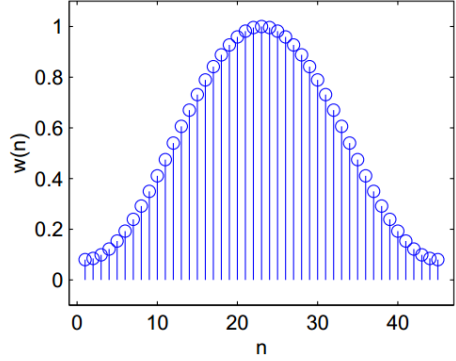
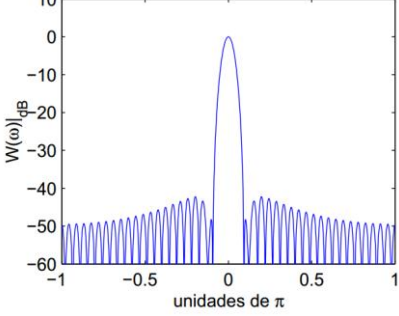
Tabla 6.4 Ventanas utilizadas en las operaciones de ventaneo

Elaborado por: El Investigador

Fuentes: SOLIMAN, Samir Señales y Sistemas Continuos y Discretos

<http://varoitus.barcelonamedia.org/rafael/Teaching/Courses/DSP/modulo7.pdf>

Para cada ventana, la atenuación mínima en la banda suprimida A_s es un valor fijo, dado en la tabla 6.4, salvo la de Kaiser, en la que puede definirse ese valor, y en función del mismo, obtener los demás parámetros. Por eso, la ventana a usar se elige considerando si posee una atenuación en la banda suprimida A_s mayor o igual que la de las especificaciones.

VENTANA	Espectro	
Rectangular		
Triangular		
Hanning		
Hamming		

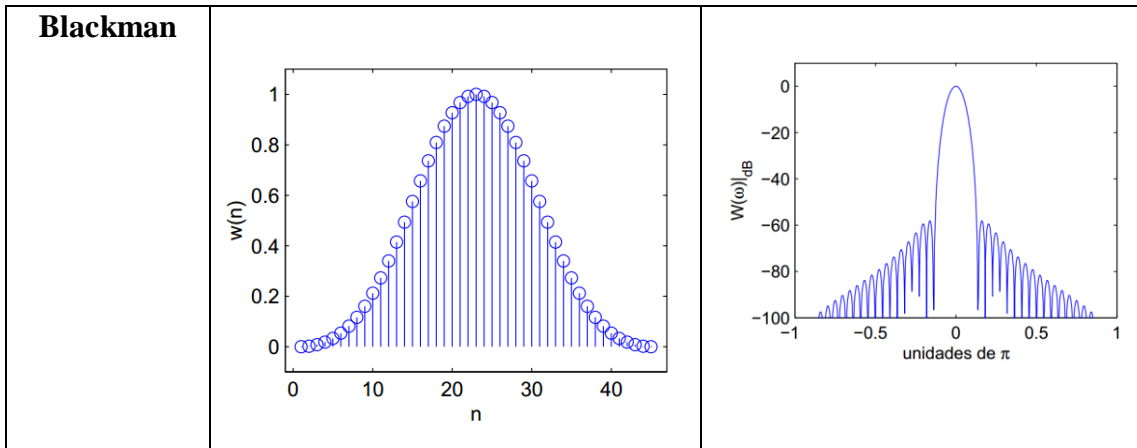


Tabla 6.5 Espectros de las ventanas utilizadas en las operaciones de ventaneo

Elaborado y Recopilado por: El Investigador

f. Estimación de Parámetros

En el caso de todas las ventanas, con excepción de la de Kaiser, el único parámetro que se debe estimar es la longitud del filtro L en función del ancho de transición $\Delta\omega$, o viceversa, ya que la atenuación en la banda suprimida A_s es fija. La relación entre N y $\Delta\omega$ se reproduce en la tabla 6.6. A modo comparativo, en la tabla también se dan los valores que tendrían los parámetros β y $\Delta\omega$ para un filtro de Kaiser con las mismas características.

Ventana	Anchura del lóbulo principal de la ventana	$\Delta\omega$ exacto	β Kaiser equivalente
Rectangular	$\frac{4\pi}{N}$	$\frac{1.8\pi}{N}$	0
Barlett	$\frac{8\pi}{N}$	$\frac{6.1\pi}{N}$	1.33
Hanning	$\frac{8\pi}{N}$	$\frac{6.2\pi}{N}$	3.66
Hamming	$\frac{8\pi}{N}$	$\frac{6.6\pi}{N}$	4.86
Blackman	$\frac{12\pi}{N}$	$\frac{11\pi}{N}$	7.04

Tabla 6.6 Estimación de parámetros de las ventanas comunes y comparación con la ventana Kaiser

Elaborado por: El Investigador

Fuentes: Oppenheim, Alan V, Tratamiento de señales en tiempo discreto.

<http://www.ing.uc.edu.ve/~azozaya/docs/DSP/dfir.pdf>

En el caso de Kaiser, la atenuación A_s no es fija, sino que puede ajustarse a un valor deseado. En función de dicho valor, se determina un parámetro auxiliar llamado β .

$$\beta = \begin{cases} 0 & \text{para } A_s < 21 \\ 0.5842(A_s - 21)^{0.4} + 0.07886(A_s - 21) & \text{para } 21 \leq A_s \leq 50 \\ 0.1102(A_s - 8.7) & \text{para } 50 \leq A_s \end{cases}$$

Con este parámetro, se calcula la longitud del filtro en función del ancho de transición, o viceversa.

$$\Delta\omega = \frac{A_s - 8}{2.285N}$$

g. Enventanado

El primer paso es el cálculo de la respuesta impulsiva del filtro ideal deseado $h_d(n)$.

Respuesta Impulsiva	Respuesta espectral
$h_d(n) = \frac{\sin\left[\omega_c\left(n - \frac{N}{2}\right)\right]}{\pi\left(n - \frac{N}{2}\right)}$	$H_d\left(e^{j\omega\frac{N}{2}}\right) = \begin{cases} e^{-j\omega\frac{N}{2}} & \text{si } \omega \leq \omega_c \\ 0 & \text{si } 0 < \omega \end{cases}$

Tabla 6.7 Respuesta Impulsiva del filtro ideal deseado $h_d(n)$

Elaborado por: El investigador

Luego se calculan los valores de la función ventana $w[n]$, de acuerdo a la tabla 6.7

Los coeficientes del filtro enventanado se calculan haciendo el producto entre la respuesta impulsiva del filtro ideal $h_d(n)$ y la función ventana $w(n)$. En el

dominio de la frecuencia, el enventanado consiste en hacer la convolución de la respuesta espectral del filtro ideal deseado con la transformada de la función ventana, como se muestra en la tabla 6.8

Respuesta Impulsiva	Respuesta espectral
$h(n) = h_d(n)w(n)$	$H(e^{jw}) = H_d e^{jw} * W e^{jw}$

Tabla 6.8 Coeficientes del filtro ideal

Elaborado por: El Investigador

6.6.1.2 Funciones en MATLAB

MATLAB tiene varias funciones para el diseño de filtros FIR, una de estas funciones es *fir1* que puede tener los siguientes parámetros:

- $b = \text{fir1}(n, Wn)$
- $b = \text{fir1}(n, Wn, 'ftype')$
- $b = \text{fir1}(n, Wn, window)$
- $b = \text{fir1}(n, Wn, 'ftype', window)$

donde b es un vector con los coeficientes del filtro, n es el orden del filtro, Wn es la frecuencia de corte normalizada con respecto a la frecuencia de Nyquist y varía de $0 < Wn < 1$; '*ftype*' especifica el tipo de filtro, esto es 'high' pasa altas con frecuencias de corte Wn ; 'stop' paso banda $Wn = [w1, w2]$, por defecto se especifica como un filtro tipo paso bajas; *window* especifica el tipo de ventana a utilizar en el diseño. Por defecto utiliza la ventana Hamming.

MATLAB tiene las siguientes funciones para obtener los puntos correspondientes a una ventana específica.

- $win = \text{hamming}(N)$
- $win = \text{hann}(N)$
- $win = \text{blackman}(N)$
- $win = \text{kaiser}(N, \beta)$

donde *win* es un vector con los valores de la ventana, N es el número de puntos de la ventana.

6.6.2 Filtros IIR

Son sistemas cuya salida depende además de salidas anteriores y que, estando en reposo, al ser estimulados con una entrada impulsional su salida no vuelve al reposo, de ahí el calificativo de filtros de respuesta impulsional infinita IIR. La ecuación en diferencias general es de la forma:

$$y(n) = b_0x(n) + b_1x(n-1) + \dots + b_Mx(n-M) - a_1y(n-1) - a_2y(n-2) - \dots - a_Ny(n-N) = \sum_{k=0}^M b_kx(n-k) - \sum_{k=1}^N a_ky(n-k)$$

Donde el orden es igual al máximo de M y N.

La función de transferencia en Z del filtro es:

$$H(z) = \frac{\sum_{k=0}^M b_k z^{-k}}{\sum_{k=0}^N a_k z^{-k}}$$

De esta caracterización se obtienen polos y ceros, los cuales dependen de la elección de los parámetros del sistema $\{a_k\}$ y $\{b_k\}$, y determinan las características de la respuesta en frecuencia del sistema. Note que la estabilidad de este tipo de filtros dependerá de la elección de los coeficientes a_k y de la posibilidad de representarlos con suficiente precisión en un dispositivo digital.

El diseño de filtro IIR está estrechamente relacionado al diseño de filtros analógicos. Usualmente se diseña un filtro analógico, para luego llevar a cabo su transformación en el dominio digital. Existen dos métodos de transformación de invarianza en el impulso y el método de la transformación bilineal.

6.6.2.1 Diseño De Filtros IIR Mediante Transformadas Bilineales

Los filtros recursivos pueden ser diseñados por varios métodos, siendo el más común el basado en las transformaciones bilineales. Este procedimiento requiere del conocimiento de la función de transferencia en el tiempo continuo del filtro a diseñar. Los coeficientes del filtro en dominio s son transformados a

uno equivalente en el dominio z . los coeficientes de la discretización formarán el filtro IIR.

Pasos para el diseño de filtros IIR mediante transformadas bilineales:

- Especificaciones
- Elección de la Transformación Bilineal
- Transformación D/C
 - Frecuencias de corte
 - Rizado
- Elección del filtro analógico
 - Butterworth
 - Chebysehv Tipo I
 - Chebysehv Tipo II
 - Cauer (elíptico)
- Estimación de parámetros
 - Orden
 - Frecuencia de corte
- Cálculo de la transferencia del prototipo
 - Forma ceros-polos-ganancia
 - Forma de coeficientes
- Transformación C/D

a. Especificaciones:

Los datos iniciales son las frecuencias de corte (o los anchos de banda) y los rizados. Las especificaciones de la respuesta espectral de un filtro se muestran en la Tabla 6.9

$R_p = -10 \log_{10} \frac{1}{1 + \epsilon^2}$	$\epsilon = \sqrt{10^{\frac{R_p}{10}} - 1}$
$A_s = -10 \log_{10} \frac{1}{A^2}$	$A = 10^{\frac{A_s}{20}}$
$\frac{1 - \delta_1}{1 + \delta_1} = \sqrt{\frac{1}{1 + \epsilon^2}}$	$\epsilon = \frac{2\sqrt{\delta_1}}{1 - \delta_1}$
$\frac{\delta_2}{1 + \delta_1} = \frac{1}{A}$	$A = \frac{1 + \delta_1}{\delta_2}$

Tabla 6.9 Relación de ϵ y de A con R_p , A_s y $\delta_{1,2}$

Fuente: <http://www.ing.uc.edu.ve/~azozaya/docs/DSP/dfiir.pdf>

Respuesta de magnitud cuadrática

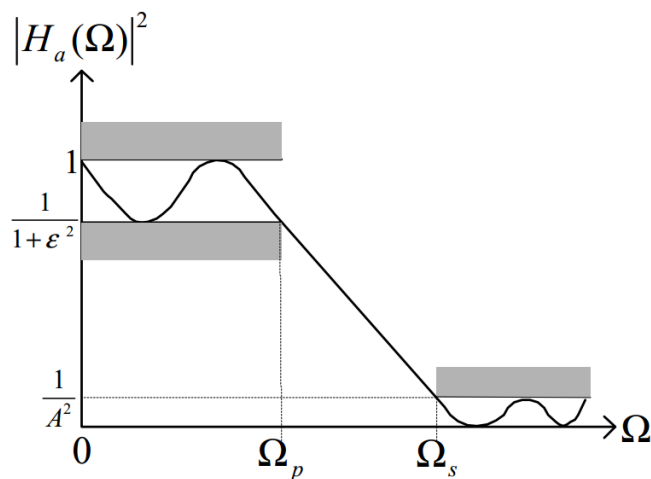


Figura 6.3 Especificaciones de la respuesta de magnitud cuadrática

Fuente: <http://www.ing.uc.edu.ve/~azozaya/docs/DSP/dfiir.pdf>

$\frac{1}{1 + \epsilon^2} \leq H_a(\Omega) ^2 \leq 1$	$ \Omega \leq \Omega_p$
$0 \leq H_a(\Omega) ^2 \leq \frac{1}{A^2}$	$\Omega_s \leq \Omega $
$ H_a(\Omega) ^2 = \frac{1}{1 + \epsilon^2}$	$\Omega = \Omega_p$
$ H_a(\Omega) ^2 = \frac{1}{A^2}$	$\Omega = \Omega_s$

Tabla 6.10 Especificaciones de la respuesta de magnitud cuadrática

Fuente: <http://www.ing.uc.edu.ve/~azozaya/docs/DSP/dfiir.pdf>

Donde ϵ es parámetro de rizado, Ω_p es la frecuencia de corte de la banda pasante en rad/s, Ω_s es la frecuencia de corte de la banda eliminada, igualmente en rad/s, y A es un parámetro de atenuación de la banda eliminada.

b. Elección de la Transformación Bilineal

El método de la Transformada Bilineal, supera el efecto del aliasing, que es causado debido a la respuesta en frecuencia analógica que contiene componentes que están en, o más allá de la Frecuencia de Nyquist. La transformada bilineal es un método de compresión del infinito, directamente desde el eje de frecuencia analógica a una de longitud finita, la cual se reforma alrededor del círculo unitario una sola vez. Algunas veces se la conoce como deformación en frecuencia (frequency warping). Esta introduce una distorsión en la frecuencia. Se trata de deshacer por medio de pre-deformaciones las frecuencias críticas del filtro análogo (frecuencia de corte y frecuencia central) tal como cuando los filtros analógicos se transforman en filtro digitales, el filtro digital diseñado deberá cumplir con ciertas especificaciones deseadas.

Transformación Bilineal

Considere un filtro analógico:

$$H(s) = \frac{b}{s + a}$$

El sistema puede ser caracterizado por una ecuación diferencial:

$$\frac{d}{dt}y(t) + ay(t) = bx(t)$$

Se supone la aproximación de la integral en vez de la derivada

$$y(t) = \int y' \tau d\tau + y(t_0)$$

Se puede aproximar la integral usando la fórmula Trapezoidal

$$y(nT) = \frac{T}{2} [y'(nT) + y'(nT - T)] + y(nT - T)$$

A partir de la ecuación diferencial, se sustituye por $y(t)$

$$y'(nT) = -ay(nT) + bx(nT)$$

Se puede sustituir esto en la regla trapezoidal

$$\left(1 + \frac{aT}{2}\right)y(n) - \left(1 - \frac{aT}{2}\right)y(n-1) = \frac{bT}{2}[x(n) + x(n-1)]$$

Se obtiene la transformada-z:

$$\left(1 + \frac{aT}{2}\right)Y(z) - \left(1 - \frac{aT}{2}\right)z^{-1}Y(z) = \frac{bT}{2}(1 + z^{-1})X(z)$$

La cual se simplifica a:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{b}{\frac{2}{T}\left(\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}\right) + a}$$

Se puede observar que el mapeo es el siguiente:

$$H(z) = H(s)|_s = \frac{2}{T}\left(\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}\right)$$

Este mapeo es conocido como la transformada Bilineal.

Resolviendo esta ecuación para y , se obtiene:

$$s \Leftrightarrow \frac{2}{T}\left(\frac{z-1}{z+1}\right)$$

Esta transformación es conocida como Bilineal o como transformación Tustin. La transformada de Laplace en las expresiones del filtro son remplazadas por las correspondientes transformadas z .

Remplazando $s = \sigma + j\Omega$ y ejecutando las manipulaciones algebraicas, substituyendo $z = ej\omega$ obtenemos:

$$\omega = 2 \tan^{-1} \left(\frac{\Omega T}{2} \right)$$

Se puede ver que el componente análogo de DC ($s = 0$) mapea al contenido DC digital ($z = 1$) y la frecuencia analógica más alta ($s = \infty$) mapea a la frecuencia digital más alta ($z = -1$). Es fácil mostrar que todo el eje $j\omega$ en el plano s es mapeado exactamente una vez alrededor del círculo unitario en el plano z . Por lo tanto, este no tiene alias. Con $(2/T)$ como real y positivo, la mitad izquierda del plano s mapea al círculo unitario interior, y la mitad derecha del plano s mapea fuera del círculo unitario.

La constante provee un grado permanente de libertad que puede ser utilizado para mapear cualquier frecuencia finita en particular el eje $j\omega$ en el plano s a una particular ubicación deseada sobre el círculo unitario $ej\omega$ en el plano z . Todas las otras frecuencias serán deformadas. En particular, aproximando la mitad de la tasa de muestreo, el eje de frecuencia se comprime más y más. Los filtros tienen una simple transición en frecuencia, tal como los filtros pasa-bajos y pasa-altos, mapeando sutilmente bajo la transformada bilineal; usted mapea simplemente la frecuencia que le corresponde, y podemos apreciar que se obtiene una muy buena respuesta. En particular, “equalripple” (de rizo igual), el cual preserva lo óptimo de los filtros tipo Elíptico y Chevyshev porque los valores tomados sobre la respuesta en frecuencia son idénticos en ambos casos; únicamente el eje de frecuencia es deformado.

La Transformación Bilineal permite pasar de un sistema de tiempo discreto a uno continuo y viceversa, mediante el cambio de variable establecido por dicha transformación matemática.

$$z = \frac{1 + \frac{T_m}{2} s}{1 - \frac{T_m}{2} s} \quad \text{o inversamente} \quad s = \frac{2}{T_m} \left(\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}} \right)$$

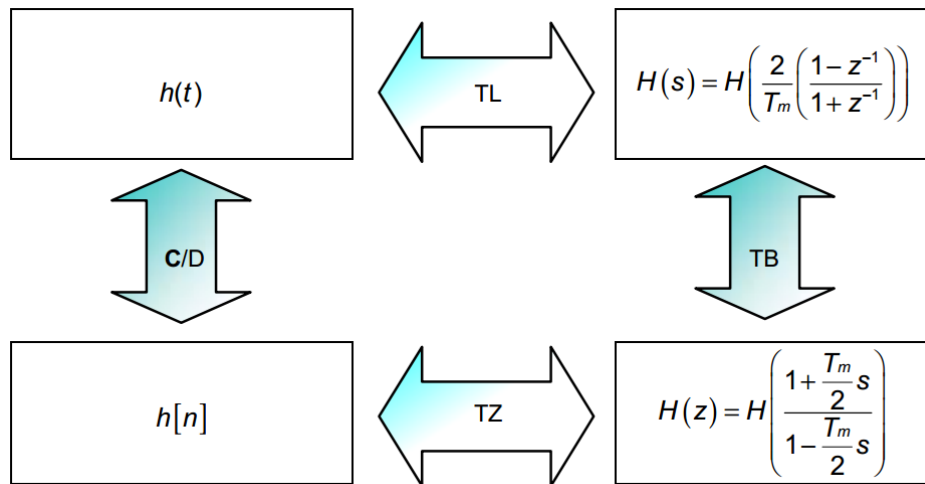


Figura 6.4 Transformación bilineal

Fuente: <http://dsp1.materia.unsl.edu.ar/Filtros%20IIR%20Resumen.pdf>

c. Elección del filtro analógico

- **Filtros Butterworth.**

Los filtros Butterworth son causales por naturaleza y de varios niveles de orden, los de más bajo orden son lo mejor (lo mas corto posibles) en el dominio del tiempo, y los de orden más alto son lo mejor en el dominio de la frecuencia. Los filtros Butterworth o máximamente planos tienen una respuesta en frecuencia de amplitud monotonica la cual es máximamente plana cuando la respuesta en frecuencia es igual a cero, como se observa en la figura 6.5. Y la respuesta en amplitud decrece logarítmicamente conforme incrementa la frecuencia. Los filtros Butterworth tienen un mínimo desplazamiento en fase comparados con otro tipo de filtros convencionales.

$$\overline{B(\omega)}B(\omega) = \frac{1}{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{2n}}$$

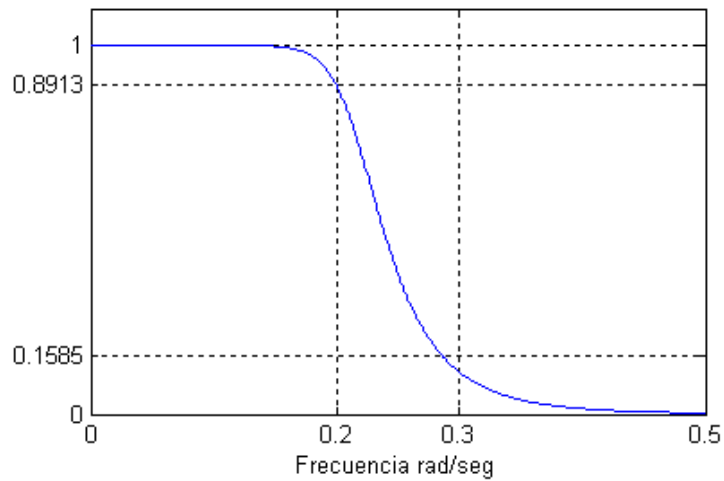


Figura 6.5. Respuesta en frecuencia de un filtro Butterworth

Elaborado por: El Investigador

- **Filtros Chevyshev.**

Los filtros Chevyshev son de dos tipos: los filtros Chevyshev I tienen todos los polos del filtro los cuales están equiripple en la banda de paso y son monotónicos en la banda de rechazo, tal como se ve en la figura 6.6

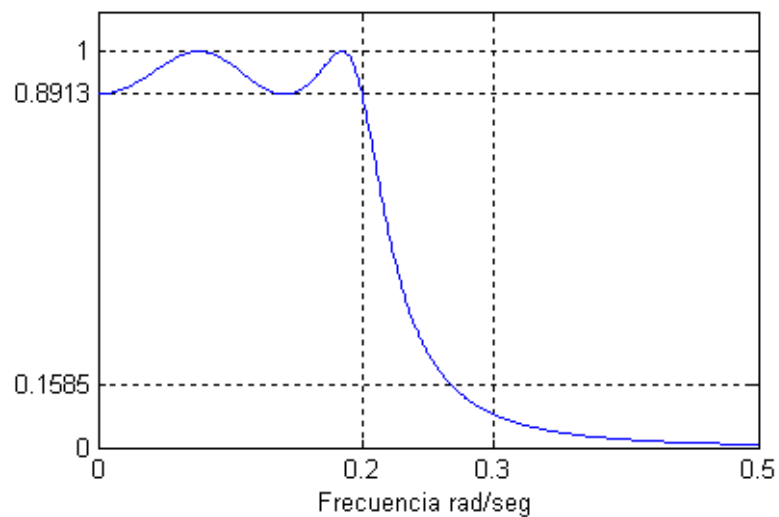


Figura 6.6. Respuesta en frecuencia de un filtro Chevyshev I

Elaborado por: El Investigador

Los filtros Chebyshev II contienen polos y ceros exhibiendo un comportamiento monótonico en la banda pasante y equiripple en la banda de rechazo, como se observa en la figura 6.7.

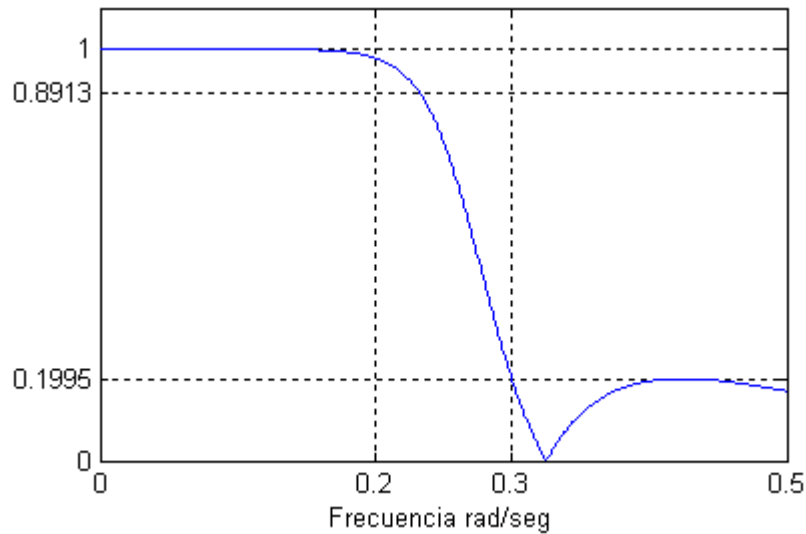


Figura 6.7. Respuesta en frecuencia de un filtro Chebyshev II.

Elaborado por: El Investigador

La respuesta en frecuencia de este filtro esta dada por:

$$|H(\Omega)|^2 = \left(1 + \varepsilon^2 T_N^2 \left(\frac{\Omega}{\Omega_p} \right) \right)^{-1}$$

Donde ε es un parámetro relacionado al rizo presente en la banda pasante.

$$T_N = \begin{cases} \cos(N \cos^{-1}(x)) & |x| \leq 1 \\ \cosh(N \cosh^{-1}(x)) & |x| \geq 1 \end{cases}$$

- **Filtros Elípticos.**

Los filtros elípticos son caracterizados por ser igualmente rizados en ambos lados de la banda de paso y de rechazo, como se aprecia en la figura 6.8, éste nos provee una realización con el orden más bajo para ciertas condiciones particulares establecidas.

$$|H(j\Omega)| = 10^{-\frac{R_p}{20}} \quad \Omega = 1$$

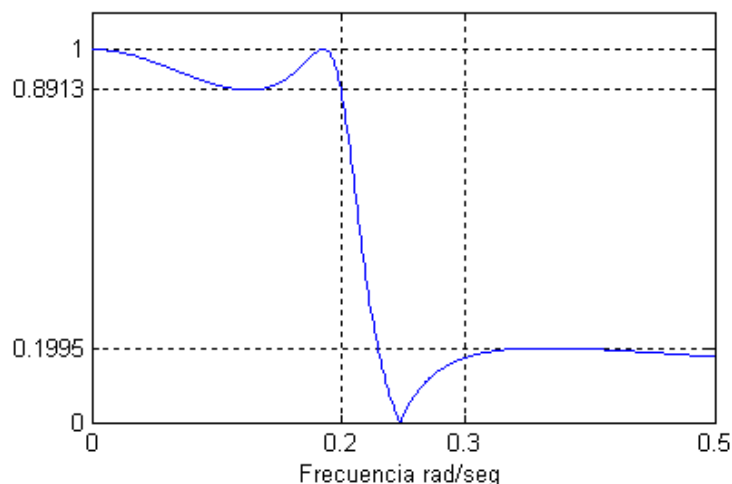


Figura 6.8 Respuesta en frecuencia de un filtro Elíptico.

Elaborado por: El Investigador

d. Transformaciones de frecuencia.

Esta es una de las mayores técnicas empleadas en el diseño de filtros. Se puede diseñar un filtro pasa-bajos analógico o digital y luego este se transforma en un filtro digital pasa-altos o pasa-banda.

e. Transformaciones de frecuencia analógica.

Las transformaciones en frecuencia que pueden ser usadas para obtener un filtro pasa-altas, pasa-bajos, pasa-banda o rechaza banda se pueden observar en la tabla 6.11.

Aquí $\Omega_0^2 = \Omega_1 * \Omega_2$ la cual es definida como la frecuencia de corte para un filtro pasa-bajos o pasa-altos y la frecuencia central para los filtros en la banda de paso y de rechazo.

$$|H(j\Omega)| = \frac{\Omega_0}{\Omega_2 - \Omega_1}$$

Donde Ω_2 y Ω_1 son la más alta y la más baja frecuencia de corte respectivamente. $\Omega_2 - \Omega_1$ dan como resultado el ancho de banda.

Tipo de filtros	Transformación
Pasa-bajos	$S = \frac{s}{\Omega_c}$
Pasa-altas	$S = \frac{\Omega_c}{s}$
Pasa-banda	$S = \frac{Q(s^2 + \Omega_0^2)}{\Omega_0 s}$

Tabla 6.11. Relación entre los tipos de filtros y las transformaciones de frecuencia analógica.

Fuente: SOLIMAN, Samir Señales y Sistemas Continuos y Discretos

6.6.2.2 Diseño de filtros usando MATLAB

El Toolbox de MATLAB dedicado al procesamiento de señales, incluye algunas funciones útiles para diseñar ambas clases de filtros digitales IIR así como también para el diseño tradicional de filtros analógicos. Los filtros considerados fueron los filtros Butterworth, Chevyshev I & II, y los filtros Elípticos, como se puede observar en la tabla 6.12

Butterworth	[b,a] = butter (N,Wc,options) [z,p,k] = butter (N,Wc,options)	B y A son los coeficientes del numerador y del denominador respectivamente, N es el orden del filtro(calculado previamente) y Wn es la frecuencia de corte.
Chebyshev Tipo I	[b,a] = cheby1 (N,Wc,options) [z,p,k] =cheby1(N,Wc,options)	Se deben especificar el orden del filtroN, el rizado de pasabanda permitido R y la frecuencia de corte normalizada con respecto a la frecuencia de Nyquist.
Chebyshev Tipo II	[b,a] = cheby2 (N,Wc,options) [z,p,k] =cheby2 (N,Wc,options)	Se deben especificar el orden del filtro N, el rizado de parabanda permitido R y la frecuencia de corte normalizada con respecto a la frecuencia de Nyquist.
Elliptic	[b,a] = ellip (N,Wc,options) [z,p,k] = ellip (N,Wc,options)	Rp y Rs son los rizados de pasabanda y parabanda.

Tabla 6.12 Funciones para determinar los coeficientes del filtro IIR

Fuente: MATLAB

Elaborado por: El Investigador

En la tabla 6.13 se observa las funciones que calculan el orden N mínimo de un filtro determinado dado un conjunto de especificaciones.

Butterworth	$[N, W_n] = \text{buttord}(W_p, W_s, R_p, R_s)$
Chebyshev Tipo I	$[N, W_n] = \text{cheb1ord}(W_p, W_s, R_p, R_s)$
Chebyshev Tipo II	$[N, W_n] = \text{cheb2ord}(W_p, W_s, R_p, R_s)$
Elliptic	$[N, W_n] = \text{ellipord}(W_p, W_s, R_p, R_s)$

Tabla 6.13 Funciones para determinar el orden mínimo de un filtro IIR

Fuente: MATLAB

Elaborado por: El Investigador

6.7 METODOLOGÍA.- MODELO OPERATIVO

En este capítulo se describen las prácticas de filtros digitales en DSP. Cada práctica consta de dos partes:

- Simulación utilizando MATLAB

La parte de simulación es necesaria para repasar los conocimientos adquiridos durante el módulo de Procesamiento Digital de Señales, específicamente lo referente a Filtros Digitales. Asimismo, el estudiante será capaz de aplicar estos conocimientos en la solución de los ejercicios propuestos.

Después el estudiante deberá analizar cada uno de los resultados obtenidos y realizar sus propias conclusiones.

Para el desarrollo de las prácticas se ha diseñado un GUI, es decir una interfaz gráfica, para una mejor visualización de los resultados de cada una de las prácticas tanto de filtros FIR como filtros IIR. En la figura 6.9 se aprecia la interfaz gráfica.



Figura 6.9 Interfaz del usuario
Elaborado por: El Investigador

Como se aprecia en la Figura 6.9, en la interfaz principal se encuentran dos botones, uno destinado para el diseño de filtros FIR y el otro para los filtros IIR.

El M-file de este programa es el siguiente:

```

%*****
%
%           LABORATORIO DE FILTROS DIGITALES
%*****
%*****
% REALIZADO POR: María del Carmen Moreta Romero
% Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones
% Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial
% Universidad Técnica de Ambato
%*****

function varargout = Presentacion(varargin)

```

```

gui_Singleton = 1;

gui_State = struct('gui_Name',      mfilename,...

'gui_Singleton',  gui_Singleton,...

'gui_OpeningFcn', @Presentacion_OpeningFcn,...

'gui_OutputFcn',  @Presentacion_OutputFcn,...

'gui_LayoutFcn',  [] ,...

'gui_Callback',   []);

ifnargin && ischar(varargin{1})

    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});

end

ifnargout

    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});

else

    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});

end

function Presentacion_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
varargin)

handles.output = hObject;

guidata(hObject, handles);

function varargout = Presentacion_OutputFcn(hObject, eventdata,
handles)

varargout{1} = handles.output;

function FIR_Callback(hObject, eventdata, handles)

FIR

function IIR_Callback(hObject, eventdata, handles)

IIR

```

Desarrollo de las Prácticas de Filtros FIR

Objetivos:

- Obtener la respuesta al impulso del filtro, que cumpla con la condición de que el filtro sea lineal.
- Expresar matemáticamente las ventanas para poder realizar el producto con la respuesta impulso del filtro en el dominio del tiempo.
- Conocer los comando que utiliza MATLAB para el diseño de filtros digitales FIR.

Materiales:

- Ordenadores con MATLAB

Ejecución del programa:

Para ejecutar el programa y diseñar un filtro FIR se presiona el botón que dice “FILTROS FIR”, y aparecerá una pantalla como la que se muestra en la figura 6.10.

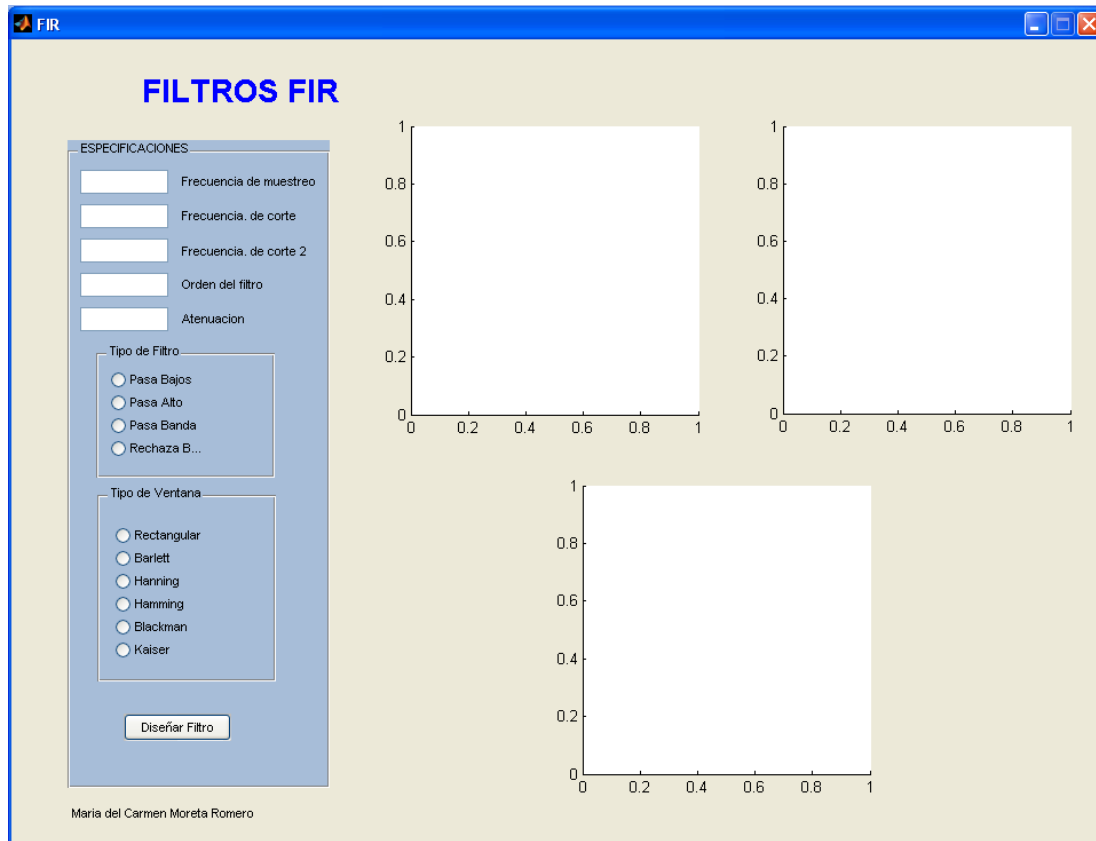


Figura 6.10 Interfaz para el diseño de Filtros FIR

Elaborado por: El Investigador

La interfaz cuenta con un panel llamado “Especificaciones” en donde se encuentran las variables que se introducirán para el diseño de filtros FIR. Las variables a introducirse son: la frecuencia de muestreo, frecuencia de corte, el orden del filtro y a la atenuación.

En el panel también se encuentra un panel de botones llamado “Tipo de filtro”, en el que se escoge que tipo de filtro se va a diseñar puede ser: pasabajo, pasa alto, pasa banda o rechaza banda. Existe otro panel de botones llamado “Ventana” en el cual se elige la ventana que se aplica para el diseño de filtros FIR, las opciones son: ventana Rectangular, Barlett, Hamming, Hanning, Blackman o Kaiser.

Con estas opciones el usuario lo único que debe hacer es introducir los parámetros del filtro deseado y escoger el tipo y la ventana que se aplicara para el diseño del filtro FIR deseado.

Para observar los gráficos de la respuesta impulsional y espectral se presiona el botón “Diseñar Filtro”, y aparecerán los gráficos en el área destinada en la interfaz.

El código empleado en la programación es el siguiente:

```

%*****
%
%           LABORATORIO DE FILTROS DIGITALES FIR
%*****
%*****
% REALIZADO POR: María del Carmen Moreta Romero
% Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones
% Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial
% Universidad Técnica de Ambato
%*****

function varargout = FIR(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
'gui_OpeningFcn', @FIR_OpeningFcn, ...
'gui_OutputFcn',  @FIR_OutputFcn, ...
'gui_LayoutFcn',  [] , ...
'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
if nargin
[varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
function FIR_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
handles.output = hObject;

```

```

guidata(hObject, handles);

function varargout = FIR_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;

function Fmuestreo_Callback(hObject, eventdata, handles)
function Fmuestreo_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
else
set(hObject, 'BackgroundColor', get(0, 'defaultUicontrolBackgroundCol
or'));
end

function Fcorte_Callback(hObject, eventdata, handles)
function Fcorte_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
else
set(hObject, 'BackgroundColor', get(0, 'defaultUicontrolBackgroundCol
or'));
end

function Orden_Callback(hObject, eventdata, handles)
function Orden_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
else
set(hObject, 'BackgroundColor', get(0, 'defaultUicontrolBackgroundCol
or'));
end

function atenuacion_Callback(hObject, eventdata, handles)
function atenuacion_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
else
set(hObject, 'BackgroundColor', get(0, 'defaultUicontrolBackgroundCol
or'));
end
end

```

```

function grafico_Callback(hObject, eventdata, handles)
%Se limpia el workspace de MATLAB y las variables en uso.
clc;
%*****
Fm = str2double(get(handles.Fmuestreo, 'String'));%f de muestreo
Fc = str2double(get(handles.Fcorte, 'String'));% f de corte
N = str2double(get(handles.Orden, 'String'));% orden
A = str2double(get(handles.atenuacion, 'String'));% atenuacion
Fc2 = str2double(get(handles.Fcorte2, 'String'));
puntos=512; %cantidad de puntos para el grafico
%Calculo de parametros
wc=2*pi*Fc/Fm; %pulsacion digital de corte
vc=2*Fc/Fm;%frecuencia relativa a Fm/2 usada por Matlab de corte
fcb = 2*pi*Fc/Fm;
fcb1 = 2*pi*Fc2/Fm;
Fcb = 2*Fc/Fm;
Fcb1=2*Fc2/Fm;
Vc = [Fcb Fcb1];
win = handles.ven;
tipo = handles.clase;
%Coeficientes de los filtros enventanados
if tipo == 1
b=fir1((N-1),vc,win);
elseif tipo == 2
b=fir1((N-1),vc, 'high', win);
elseif tipo == 3
b=fir1((N-1),Vc, 'bandpass', win);
else
b=fir1((N-1),Vc, 'stop', win);
end
%Respuesta espectral de los filtros enventanados

```

```

[H,w]=freqz(b,1,puntos);
%Respuesta espectral del filtro ideal
Hideal=rectpuls(w,2*wc);
%Graficos de la respuesta espectral
axes(handles.axes1)
plot(w,abs(H),'b');title('Respuesta Espectral')
xlabel('\omega,rad/muestra')
ylabel('H(e^j\omega)')
%Graficos de la respuesta impulsiva
axes(handles.axes2)
stem(b,'b'); title('Respuesta Impulsiva')
xlabel('n')
ylabel('h[n]')
%Graficos de la fase
axes(handles.axes4)
plot(w/pi,unwrap(angle(H)));
title('Respuesta de fase del filtro');
xlabel('\omega en unidades de \pi');
ylabel('Fase (rads)');
grid on;
function kaiser_ButtonDownFcn(hObject, eventdata, handles)
function PB_Callback(hObject, eventdata, handles)
% -----
function Ventana_SelectionChangeFcn(hObject, eventdata, handles)
A =str2double(get(handles.atenuacion,'String'));
%parametro beta de Kaiser
if(A<=21)
beta=0;
elseif (A>=50)
beta=0.1102*(A-8.7);
else

```



```

        beta=0.5842*(A-21)^0.4+0.07886*(A-21);
end
N=str2double(get(handles.Orden, 'String'));
if hObject == handles.rectangular
    ventana = window(@boxcar,N);
elseif hObject == handles.hann
    ventana = window(@hann,N);
elseif hObject == handles.hamming
    ventana = window(@hamming,N);
elseif hObject == handles.bartlett
    ventana = window(@bartlett,N);
elseif hObject == handles.blackman
    ventana = window(@blackman,N);
else
    ventana = window(@kaiser,N,beta);
end
handles.ven = ventana;
guidata(hObject,handles)

function Tipo_Callback(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
else
set(hObject, 'BackgroundColor', get(0, 'defaultUicontrolBackgroundCol
or'));
end
% -----
function      tipofitlro_SelectionChangeFcn(hObject,      eventdata,
handles)
if hObject == handles.PB
    fil = 1;
elseif hObject == handles.PA
    fil = 2;

```

```

elseif hObject == handles.Pbanda
    fil = 3;
else
    fil = 4;
end
handles.clase = fil;
guidata (hObject,handles)
function Fcorte2_Callback(hObject, eventdata, handles)
function Fcorte2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
else
set(hObject,'BackgroundColor',get(0,'defaultUiControlBackgroundCol
or'));
end
function axes4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

Desarrollo de las Prácticas de Filtros FIR

Práctica N° 1

Analizar la variación del rizado en la respuesta espectral para el caso de un filtro FIR pasabajos con las características enunciadas:

- Frecuencia de muestreo y reconstrucción: 30kHz
- Frecuencia de corte: 4500 Hz
- Orden del filtro: 30
- Atenuación en la banda: 60dB

Para resolver este ejercicio se introduce los valores enunciados en el panel de especificaciones de la interfaz de Filtros FIR, como se indica en la figura 6.11:

ESPECIFICACIONES

30000 Frecuencia de muestreo

4500 Frecuencia de corte

Frecuencia de corte 2

30 Orden del filtro

60 Atenuación

Tipo de Filtro

Pasa Bajos

Pasa Alto

Pasa Banda

Rechaza B...

Tipo de Ventana

Rectangular

Barlett

Hanning

Hamming

Blackman

Kaiser

Diseñar Filtro

Figura 6.11 Panel de especificaciones para el diseño de Filtros FIR

Elaborado por: El Investigador

En este caso como se observa en la figura 6.11 se diseñará un filtro pasa bajos con la ventana de Hanning y con los valores de las especificaciones dadas anteriormente.

Al oprimir el botón “Diseñar Filtro”, se visualizará las respuesta tanto espectral como impulsional del filtro especificado. Las respuestas se observan en la figura 6.12.

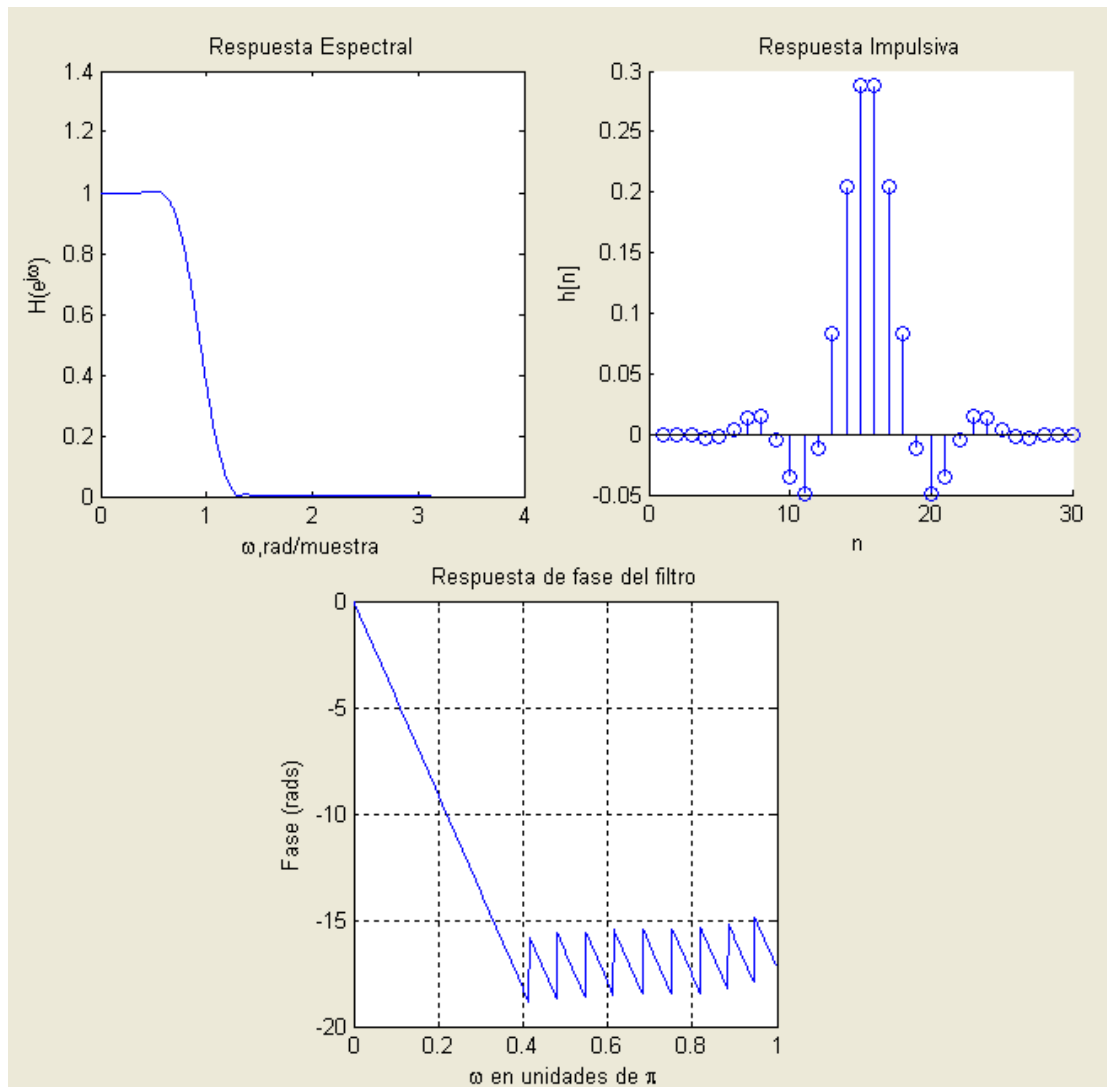


Figura 6.12 Gráficos de la Respuesta del filtro de la Práctica 1

Elaborado por: El Investigador

En la figura 6.12 se aprecia las gráficas tanto de la respuesta espectral como de la respuesta impulsiva del filtro de la práctica N° 1; para diseñar el filtro se selecciona la ventana de Hanning. Como se aprecia en la primera figura la respuesta corresponde a un filtro pasabajos con una frecuencia de corte de 0.94 rad/muestra. Y la figura siguiente se observa la respuesta impulsional se ve claramente que el ancho de transición es pequeño y la atenuación en el lóbulo lateral es muy grande, lo cual es indispensable para el diseño de los filtros FIR.

Práctica N° 2

Analizar la variación del rizado en la respuesta espectral para el caso de un filtro FIR pasaaltos con las características enunciadas:

- Frecuencia de muestreo y reconstrucción: 10kHz
- Frecuencia de corte: 3200 Hz
- Orden del filtro: 21
- Atenuación en la banda: 45dB

Para resolver este ejercicio se introduce los valores enunciados en el panel de especificaciones de la interfaz de Filtros FIR, como se indicó anteriormente y se obtiene la figura 6.13:

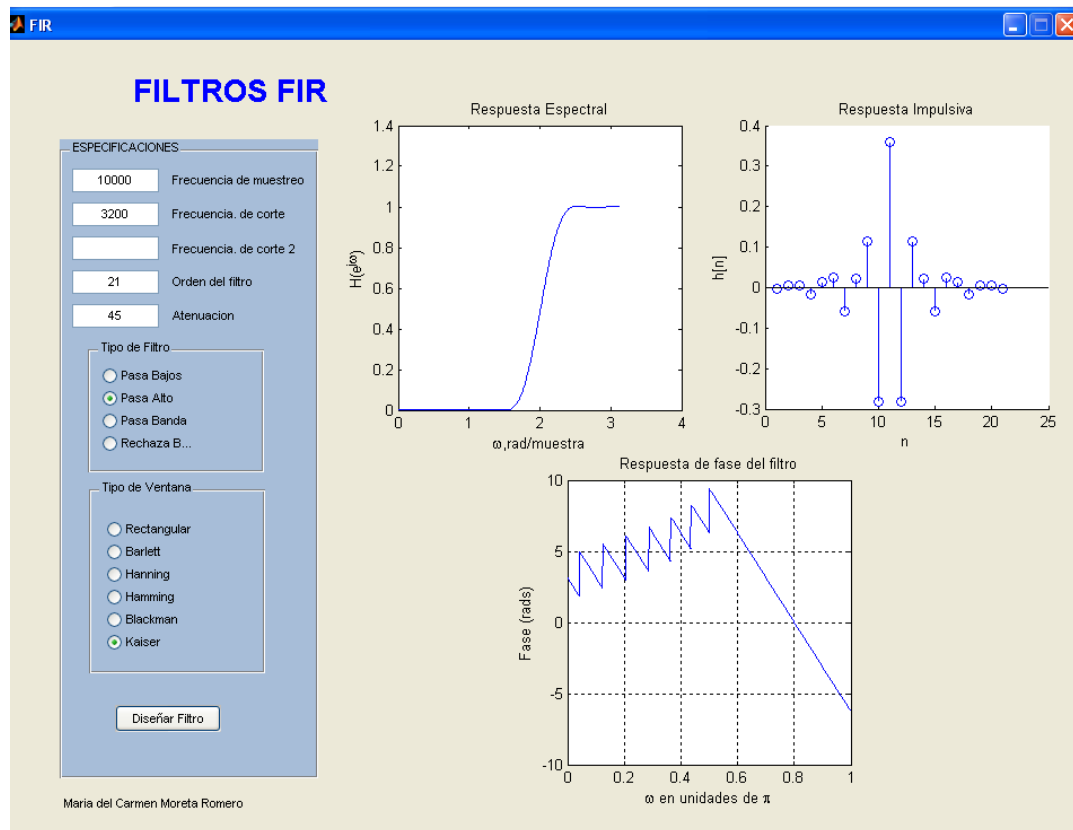


Figura 6.13 Gráficos de la Respuesta del filtro de la Práctica 2

Elaborado por: El Investigador

En la figura 6.13 se aprecia las respuesta espectral e impulsional de la práctica N° 2 utilizando la ventana Kaiser, claramente se observa en la respuesta espectral que es un filtro pasa altos, con una frecuencia de corte en 2.01 rad/muestra; además en la respuesta impulsional se da cuenta que esta ventana es óptima para el diseño de filtros pues cumple con los aspectos que se consideran al momento del diseño de filtros FIR, como lo son el ancho de transición y la atenuación en el lóbulo lateral.

Práctica N° 3

Analizar la variación del rizado en la respuesta espectral para el caso de un filtro FIR pasa banda con las características enunciadas:

- Frecuencia de muestreo y reconstrucción: 25kHz
- Frecuencias de corte: 4000 Hz y 9500Hz
- Orden del filtro: 20
- Atenuación en la banda: 30dB

Para resolver este ejercicio se introduce los valores enunciados en el panel de especificaciones de la interfaz de Filtros FIR, como se indicó anteriormente y se obtiene la figura 6.14:

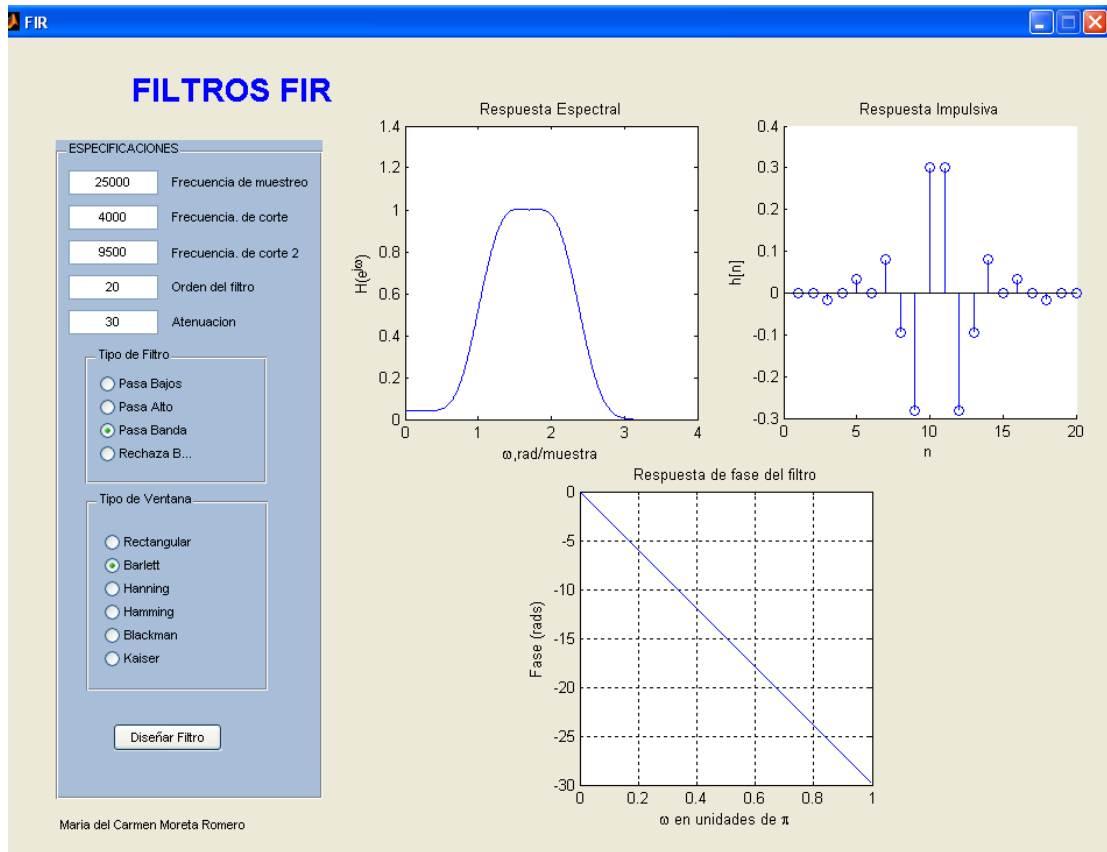


Figura 6.14 Gráficos de la Respuesta del filtro de la Práctica 3

Elaborado por: El Investigador

En la práctica N° 3 se utilizó la ventana Barlett para el diseño del filtro especificado. En la figura 6.14 se aprecian los gráficos del filtro, se observa que las frecuencias de corte son 1 rad/muestra y de 2.4 rad/muestra, con lo que se concluye que cumple con las especificaciones requeridas del filtro; se puede apreciar que la ventana utilizada muestra una salida espectral muy distorsionada, y en el gráfico de la respuesta impulsional se observa que el ancho de transición es muy grande por lo cual se deduce que no es una ventana muy óptima para el diseño del filtro con las especificaciones dadas.

Práctica N° 4

Analizar la variación del rizado en la respuesta espectral para el caso de un filtro FIR pasa banda con las características enunciadas:

- Frecuencia de muestreo y reconstrucción: 1000Hz
- Frecuencias de corte: 120 Hz y 350Hz
- Orden del filtro: 57
- Atenuación en la banda: 12dB

Para resolver este ejercicio se introduce los valores enunciados en el panel de especificaciones de la interfaz de Filtros FIR, como se indicó anteriormente y se obtiene la figura 6.15:

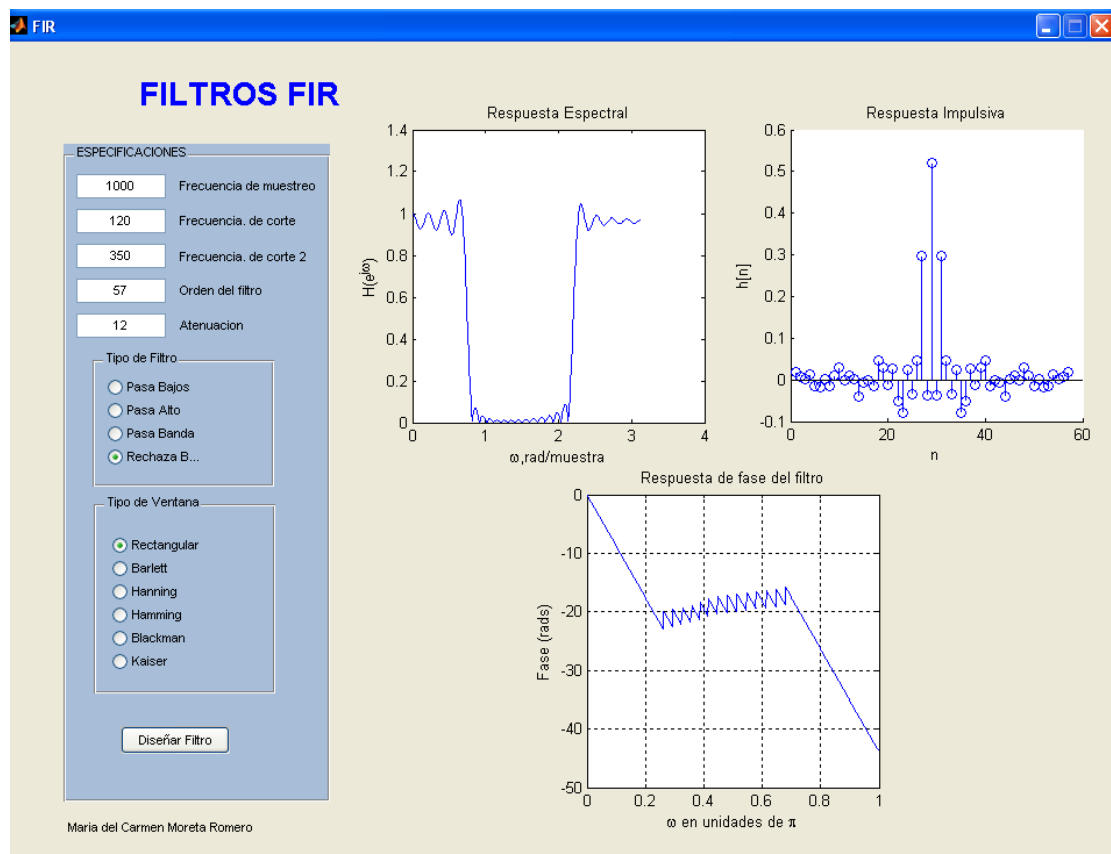


Figura 6.15 Gráficos de la Respuesta del filtro de la Práctica 4

Elaborado por: El Investigador

En la figura 6.15 se observa la respuesta espectral e impulsional del filtro de la práctica N° 4, para el diseño del filtro se ha utilizado la ventana Rectangular,

basándose en la gráfica 1 se aprecia que es un filtro rechazabanda con frecuencias de corte en 0.75rad/muestra y 2.2 rad/muestras cumpliendo con las especificaciones, sin embargo tiene una salida muy distorsionada y no cumple con los requerimientos necesarios que debe cumplirse al aplicar una ventana.

Práctica N° 5

Analizar la variación del rizado en la respuesta espectral para el caso de un filtro FIR pasa bajo con las características enunciadas, al utilizar diferentes ventanas manteniendo fijo el orden.

- Frecuencia de muestreo y reconstrucción: 32KHz
- Frecuencias de corte: 5600HZ
- Orden del filtro: 13
- Atenuación en la banda: 48dB

Para resolver este ejercicio se introduce los valores enunciados en el panel de especificaciones de la interfaz de Filtros FIR, como se indicó anteriormente y se obtiene la figura 6.15:

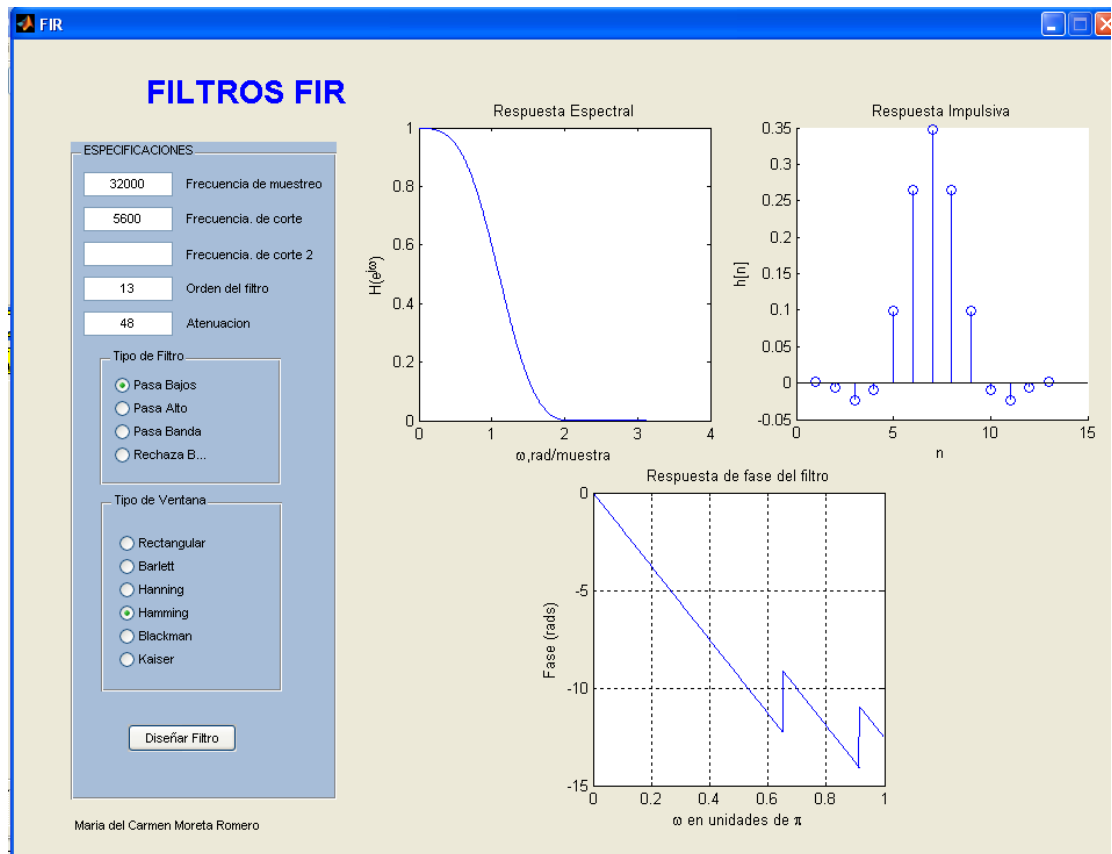


Figura 6.16 Gráficos de la Respuesta del filtro de la Práctica 5

Elaborado por: El Investigador

De acuerdo a la figura 6.16 el filtro de la práctica N° 4 es un filtro pasa bajos y se utiliza la ventana de Hamming para truncar la respuesta, en la figura se aprecia que es un filtro pasa bajos con un frecuencia de corte en 1 rad/muestras, además se aprecia que la respuesta espectral no tiene mucha distorsión y su respuesta impulsional cumple con las especificaciones requeridas al momento del diseño de un filtro FIR.

Práctica N° 6

Analizar la variación del rizado en la respuesta espectral para el caso de un filtro FIR pasa banda con las características enunciadas, al utilizar diferentes ventanas manteniendo fijo el orden.

- Frecuencia de muestreo y reconstrucción: 1600Hz
- Frecuencias de corte: 350HZ y 600Hz

- Orden del filtro: 8
- Atenuación en la banda: 90dB

Para resolver este ejercicio se introduce los valores enunciados en el panel de especificaciones de la interfaz de Filtros FIR, como se indicó anteriormente y se obtiene la figura 6.17:

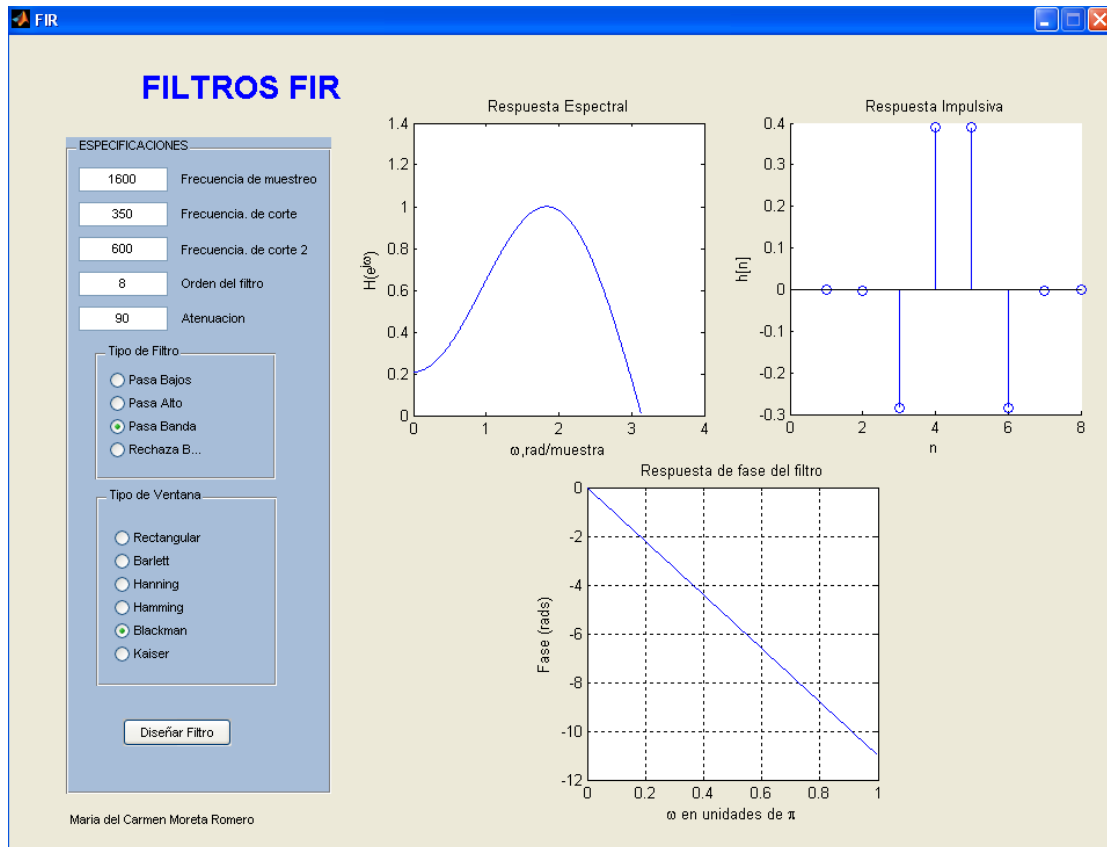


Figura 6.17 Gráficos de la Respuesta del filtro de la Práctica 6

Elaborado por: El Investigador

En la práctica N° 6 se utiliza la ventana de Blackman, ésta no posee mucha distorsión y se aprecia que es un filtro pasa banda con frecuencias de corte en 1.3 rad/muestras y en 2.35 rad/muestras, cumple con los requerimientos que se necesitan para el diseño de filtros FIR como lo son el ancho de transición y la atenuación del lóbulo lateral. Sin embargo un factor importante en el diseño de filtros FIR es el número de orden, y en este caso el orden es muy bajo, por lo que no es óptimo este filtro.

Conclusiones del diseño de filtros FIR

- Los filtros FIR tienen respuesta en fase lineal. Lo que es importante en transmisión de datos, biomedicina, audio, imágenes.
- Al ser los FIR implementados por ecuaciones no recursivas siempre son estables.
- FIR requiere más coeficientes, es decir un número de orden mayor, entonces mayor memoria, tiempo de procesamiento.
- La ventana de Kaiser es una de las más utilizadas pues sólo dos parámetros son necesarios para la obtención del filtro y dichos parámetros (beta y N) son fácilmente obtenibles a partir de unas fórmulas fáciles de usar.
- Los filtros FIR tienen un mejor comportamiento desde punto de vista del retardo de grupo y de la distorsión de fase.

6.7.2 Desarrollo de las Prácticas de Filtros IIR

Objetivos:

- Aprender a diseñar filtros IIR, por medio de herramientas software, evaluar sus características y propiedades, y los diferentes métodos dedicados para este propósito.
- Diseño de modelos específicos para filtros pasa-bajos, pasa-altos, pasa-banda, rechaza banda.
- Incrementar la habilidad de implementar sistemas de filtros digitales en MATLAB.

Materiales:

- Ordenadores con MATLAB

Ejecución del programa:

Para ejecutar el programa para diseñar un filtro IIR se presiona el botón “FILTROS IIR”, y aparecerá una pantalla como la que se muestra en la figura 6.18

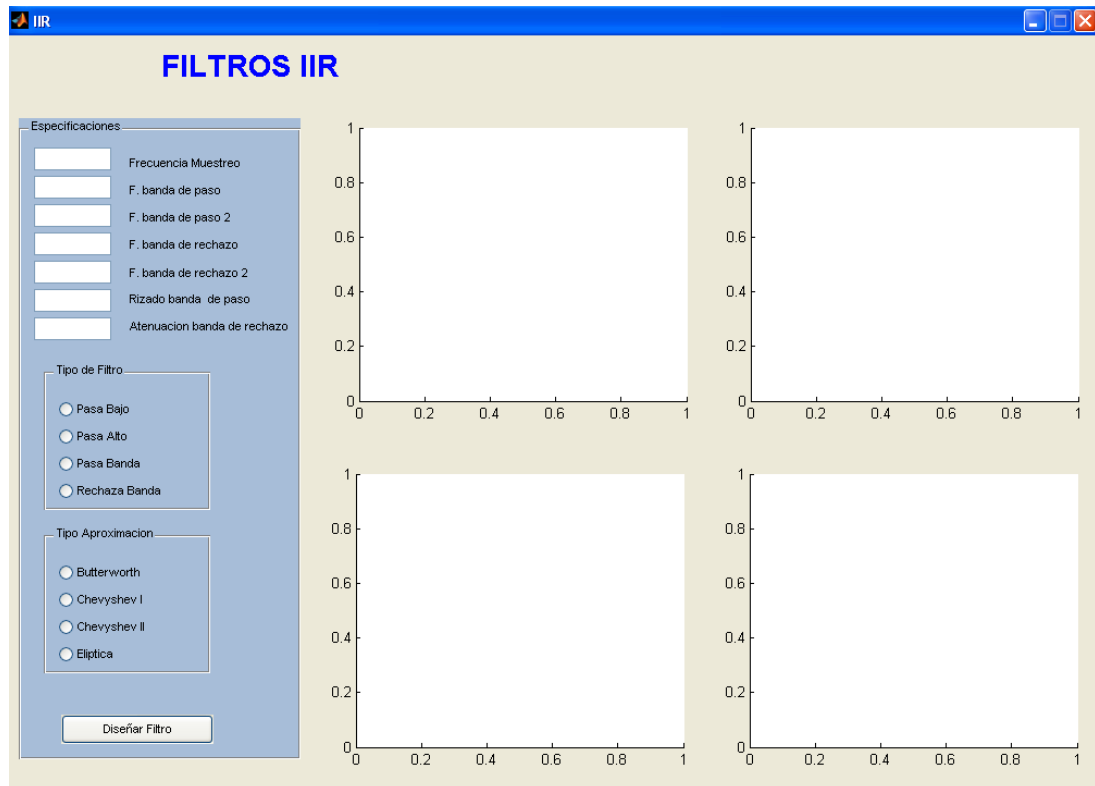


Figura 6.18 Interfaz para el diseño de Filtros IIR

Elaborado por: El Investigador

La interfaz para el diseño de Filtros IIR consta de un panel llamado “Especificaciones”, en el cual se inserta los parámetros necesarios de acuerdo al filtro IIR que se desee diseñar. Estos parámetros son: frecuencia de muestreo, la (s) frecuencia (s) de paso, la (s) frecuencia (s) de rechazo, la atenuación de banda de paso y la atenuación de banda de rechazo.

La interfaz consta también de un panel para escoger el tipo de filtro que se desee implementar, éstos pueden ser: pasa bajo, pasa alto, pasa banda y rechaza banda. También existe un panel para seleccionar el tipo de aproximación que se va a utilizar en el diseño del filtro IIR, éstas aproximaciones son: Butterworth, Chevyshev I, Chevyshev II y Elíptica.

Finalmente la interfaz cuenta con un botón llamado “Diseñar Filtro”, el cual al seleccionarse gráfica la repuesta espectral, impulsional y el diagrama de polos y ceros.

El código empleado en la programación es el siguiente:

```

%*****
%*****
%           LABORATORIO DE FILTROS DIGITALES IIR
%*****
%*****
% REALIZADO POR: María del Carmen Moreta Romero
% Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones
% Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial
% Universidad Técnica de Ambato
%*****

function varargout = IIR(varargin)

gui_Singleton = 1;

gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
'gui_OpeningFcn', @IIR_OpeningFcn, ...
'gui_OutputFcn',  @IIR_OutputFcn, ...
'gui_LayoutFcn',  [] , ...
'gui_Callback',   []);

if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end

function IIR_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)

```

```

handles.output = hObject;

guidata(hObject, handles);

function varargout = IIR_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)

varargout{1} = handles.output;

function Fmuestreo_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Fmuestreo_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
else
set(hObject, 'BackgroundColor', get(0, 'defaultUicontrolBackgroundCol
or'));
end

function Fpaso_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Fpaso_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
else
set(hObject, 'BackgroundColor', get(0, 'defaultUicontrolBackgroundCol
or'));
end

function Rizado_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Rizado_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
else
set(hObject, 'BackgroundColor', get(0, 'defaultUicontrolBackgroundCol
or'));
end

function Frechazo_Callback(hObject, eventdata, handles)

function Frechazo_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
else
set(hObject, 'BackgroundColor', get(0, 'defaultUicontrolBackgroundCol
or'));
end

```

```

end

function atenuacion_Callback(hObject, eventdata, handles)
function atenuacion_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
else
set(hObject, 'BackgroundColor', get(0, 'defaultUiControlBackgroundCol
or'));
end

function IIR_Callback(hObject, eventdata, handles)

%Se limpia el workspace de MATLAB y las variables en uso.
clc;

%*****

Fs=str2double(get(handles.Fmuestreo, 'String'));
Fpb=str2double(get(handles.Fpaso, 'String'));
Fsb=str2double(get(handles.Frechazo, 'String'));
Fpb1=str2double(get(handles.fpaso2, 'String'));
Fsb1=str2double(get(handles.Frechazo2, 'String'));
Rpb=str2double(get(handles.Rizado, 'String'));
Rsb=str2double(get(handles.atenuacion, 'String'));

fs=Fs/2;    %Frec. de muestreo
fpb=Fpb/fs; %Frec. de borde pasa banda
fsb=Fsb/fs; % Frec. de borde rechaza banda
fsb1=Fsb1/fs;
fpb1=Fpb1/fs;

wpb = [fpb fpb1];
wsb = [fsb fsb1];

aprox = handles.type;
TipFil = handles.clase;

switch TipFil
case 1

if aprox == 1

```



```

        [n,fn]=buttord(fpb, fsb, Rpb, Rsb);
        [b,a] =butter(n,fn, 'low');
elseif aprox == 2
        [n,fn]=cheblord(fpb, fsb, Rpb, Rsb);
        [b,a] =cheby1(n,Rpb,fn, 'low');
elseif aprox ==3
        [n,fn]=cheb2ord(fpb, fsb, Rpb, Rsb);
        [b,a] =cheby2(n,Rpb,fn, 'low');
else
        [n,fn]=ellipord(fpb, fsb, Rpb, Rsb);
        [b,a] =ellip(n,Rpb,Rsb,fn, 'low');
end
case 2
if aprox == 1
        [n,fn]=buttord(fpb, fsb, Rpb, Rsb);
        [b,a] =butter(n,fn, 'high');
elseif aprox == 2
        [n,fn]=cheblord(fpb, fsb, Rpb, Rsb);
        [b,a] =cheby1(n,Rpb,fn, 'high');
elseif aprox ==3
        [n,fn]=cheb2ord(fpb, fsb, Rpb, Rsb);
        [b,a] =cheby2(n,Rpb,fn, 'high');
else
        [n,fn]=ellipord(fpb, fsb, Rpb, Rsb);
        [b,a] =ellip(n,Rpb,Rsb,fn, 'high');
end
case 3
if aprox == 1
        [n,fn]=buttord(wpb, wsb, Rpb, Rsb);
        [b,a] =butter(n,fn, 'bandpass');
elseif aprox == 2

```

```

        [n,fn]=cheblord(wpb, wsb, Rpb, Rsb);
        [b,a] =cheby1(n,Rpb,fn, 'bandpass');
elseif aprox ==3
        [n,fn]=cheb2ord(wpb, wsb, Rpb, Rsb);
        [b,a] =cheby2(n,Rpb,fn, 'bandpass');
else
        [n,fn]=ellipord(wpb, wsb, Rpb, Rsb);
        [b,a] =ellip(n,Rpb,Rsb,fn, 'bandpass');
end
otherwise
if aprox == 1
        [n,fn]=buttord(wpb, wsb, Rpb, Rsb);
        [b,a] =butter(n,fn, 'stop');
elseif aprox == 2
        [n,fn]=cheblord(wpb, wsb, Rpb, Rsb);
        [b,a] =cheby1(n,Rpb,fn, 'stop');
elseif aprox ==3
        [n,fn]=cheb2ord(wpb, wsb, Rpb, Rsb);
        [b,a] =cheby2(n,Rpb,fn, 'stop');
else
        [n,fn]=ellipord(wpb, wsb, Rpb, Rsb);
        [b,a] =ellip(n,Rpb,Rsb,fn, 'stop');
end
end

[H,w]=freqz(b,a,512,1);
%Trazado de la respuesta en Magnitud
axes(handles.axes1)
plot(w,20*log10(abs(H)), 'k');
grid on;
title (['Respuesta en magnitud, orden=', num2str(n)]);
xlabel('frecuencia');

```

```

ylabel('H(f) db')
axis([0 0.5 -Rsb-10 0])
axes(handles.axes2)
plot(w,angle(H),'r');
grid on;
title(['Respuesta en magnitud, orden=', num2str(n)]);
xlabel('frecuencia')
ylabel('ángulo de H rad')
%Respuesta al impulso
axes(handles.axes3)
[y,t]= impz(b,a,60);
stem(t,y,'m');
xlabel('n')
ylabel('h[n]')
title(['Respuesta al impulso, orden=', num2str(n)]);

%Ploteo de los polos y ceros
z= roots(b); %Zeros
p = roots(a); % Polos
axes(handles.axes4)
zplane(z,p)
title(['Polos y Ceros'])
% -----
function uipanel2_SelectionChangeFcn(hObject, eventdata, handles)
if hObject == handles.butter
    tipo = 1;
elseif hObject == handles.chevy1
    tipo = 2;
elseif hObject == handles.chevy2
    tipo = 3;
else

```

```

        tipo = 4;
end
handles.type = tipo;
guidata(hObject,handles)
% -----
function uipanel3_SelectionChangeFcn(hObject, eventdata, handles)
if hObject == handles.PB
    fil = 1;
elseif hObject == handles.PA
    fil = 2;
elseif hObject == handles.PBanda
    fil = 3;
else
    fil = 4;
end
handles.clase = fil;
guidata(hObject,handles)
function fpaso2_Callback(hObject, eventdata, handles)
function fpaso2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
else
set(hObject, 'BackgroundColor', get(0, 'defaultUicontrolBackgroundCol
or'));
end
function Frechazo2_Callback(hObject, eventdata, handles)
function Frechazo2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
else
set(hObject, 'BackgroundColor', get(0, 'defaultUicontrolBackgroundCol
or'));
end

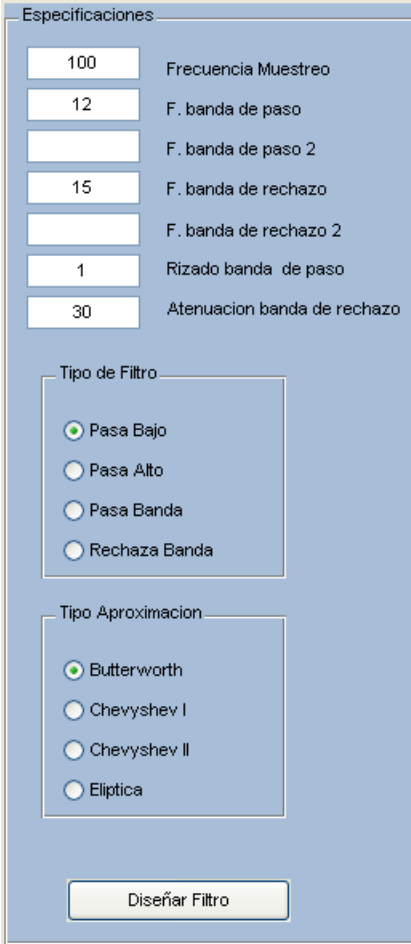
```

Desarrollo de la práctica:

Practica N° 1

Para una señal de datos muestreada a 100 Hz, diseñar un filtro pasabajos con menos de 1 dB de rizo en la banda de paso, definido de 0 a 12 Hz, y al menos 30 dB de atenuación en la banda de rechazo, definido a 15 Hz de la frecuencia de Nyquist.

Para resolver la práctica planteada, se procede de la misma que se indicó en las prácticas de filtros FIR, se insertan los parámetros necesarios para el diseño del filtro, después se indica el tipo de filtro y finalmente la aproximación que se utiliza para diseñar el filtro, como se aprecia en la figura 6.19



Panel de especificaciones para el diseño de Filtros FIR. El panel contiene los siguientes campos de entrada y opciones:

- Frecuencia Muestreo: 100
- F. banda de paso: 12
- F. banda de paso 2: (campo vacío)
- F. banda de rechazo: 15
- F. banda de rechazo 2: (campo vacío)
- Rizado banda de paso: 1
- Atenuación banda de rechazo: 30

Tipo de Filtro:

- Pasa Bajo
- Pasa Alto
- Pasa Banda
- Rechaza Banda

Tipo Aproximación:

- Butterworth
- Chevyshev I
- Chevyshev II
- Elíptica

Botón: Diseñar Filtro

Figura 6.19 Panel de especificaciones para el diseño de Filtros FIR

Elaborado por: El Investigador

Para obtener los gráficos de la respuesta impulsional, espectral y diagrama de polos y ceros, que se muestran en la figura 6.20, se accede al botón “Diseñar Filtros”.

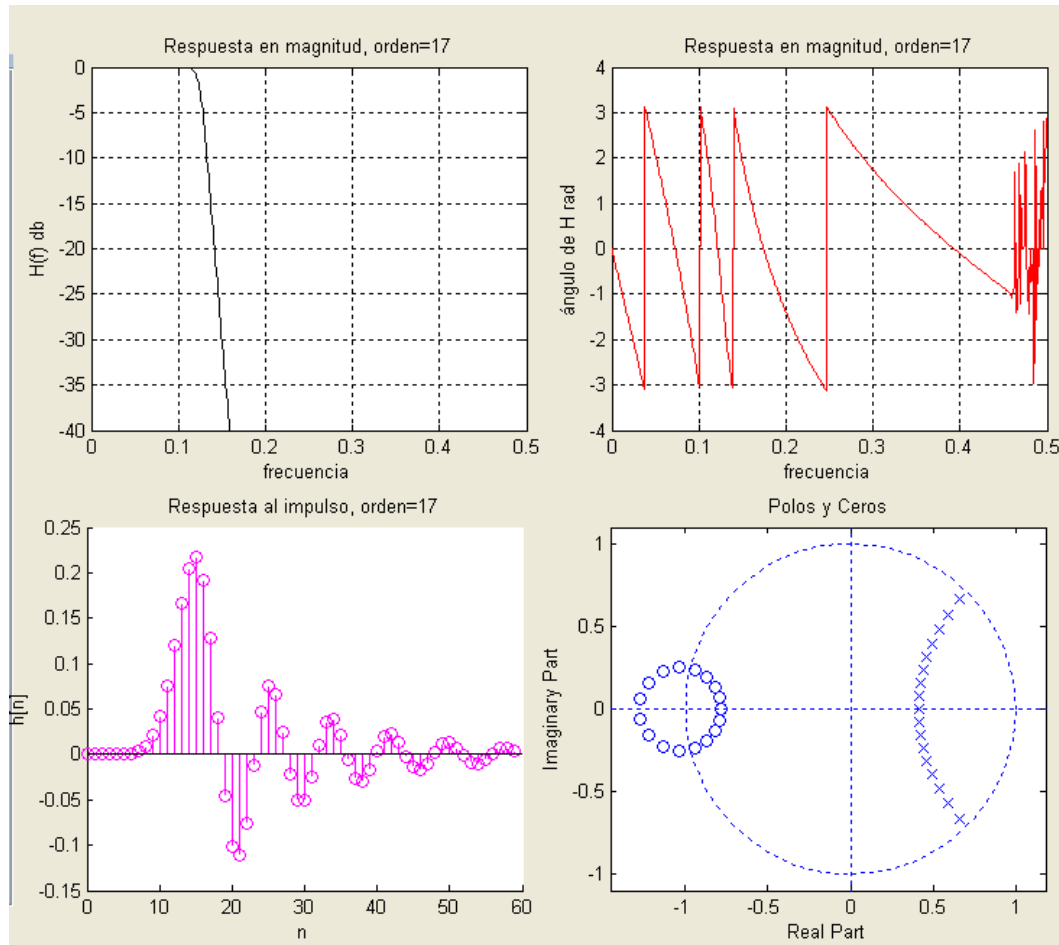


Figura 6.20 Gráficos de las respuestas del Filtro IIR pasa bajo con Aproximación de Butterworth

Elaborado por: El Investigador

En la figura 6.20 se observa la respuesta espectral e impulsional del filtro aplicando la aproximación de Butterworth. Se aprecia que el orden del filtro es de 17 y su frecuencia de corte es de 0.12 rad/s. Una característica de este tipo de aproximación es que su respuesta es lo más lineal posible en comparación a las otras aproximaciones. En el diagrama de polos y ceros se aprecia que los polos están dentro de la circunferencia por consiguiente el filtro tiene una fase mínima y se aprecia que algunos ceros se encuentran fuera de la circunferencia, por ello el filtro es inestable.

Practica N° 2

Para una señal de datos muestreada a 11500 Hz, diseñar un filtro pasa alto con menos de 2 dB de rizo en la banda de paso, definido de 0 a 1200 Hz, y al menos 50 dB de atenuación en la banda de rechazo, definido a 4300 Hz de la frecuencia de Nyquist

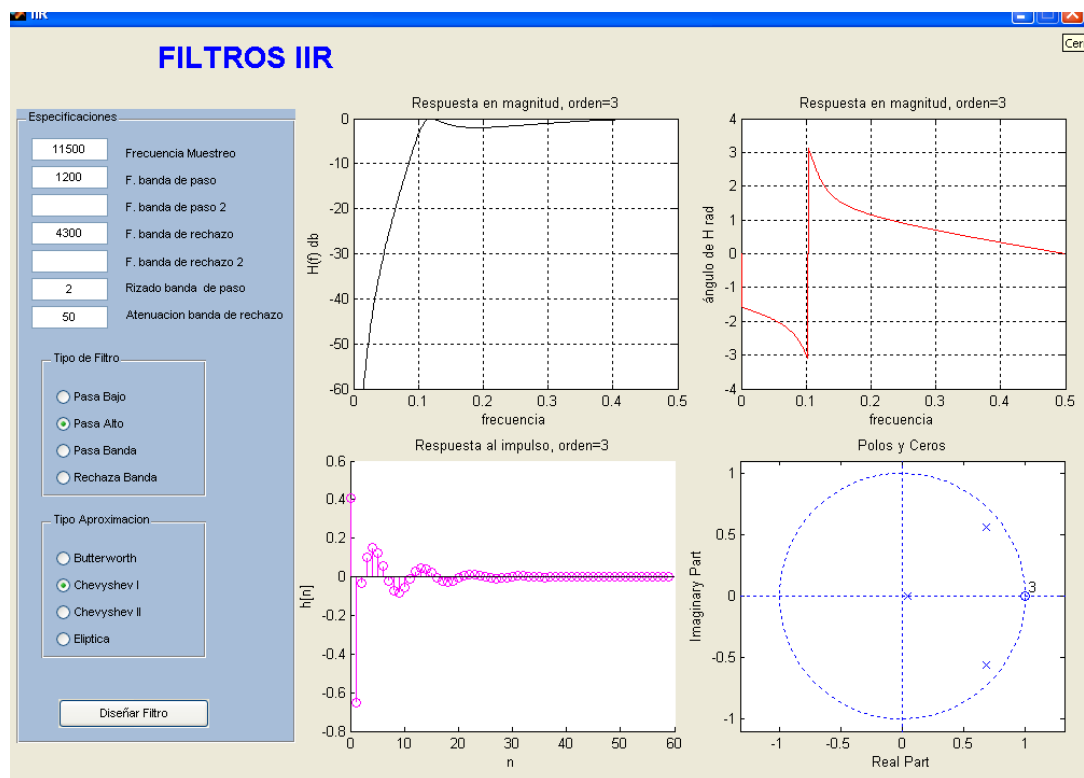


Figura 6.21 Gráficos de las respuestas del Filtro IIR pasa alto con Aproximación de Chebyshev I

Elaborado por: El Investigador

En la figura 6.21 se observa la respuesta espectral e impulsional de un filtro pasa alto con la aproximación de Chebyshev I. Se aprecia que el orden del filtro es de 3 y su frecuencia de corte de 0.10 rad/muestras. A diferencia del filtro anterior esta aproximación requiere un orden menor. En el diagrama de polos y ceros se aprecia que los polos y ceros están dentro de la circunferencia por consiguiente el filtro tiene una fase mínima y el filtro es estable.

Practica N° 3

Para una señal de datos muestreada a 500 Hz, diseñar un filtro pasa banda con las siguientes especificaciones:

- Frecuencia de paso : 85 Hz y 160 Hz
- Frecuencia de rechazo: 60Hz y 190Hz
- Rizo en la banda de paso: 0.5dB
- Atenuación en la banda de rechazo: 15

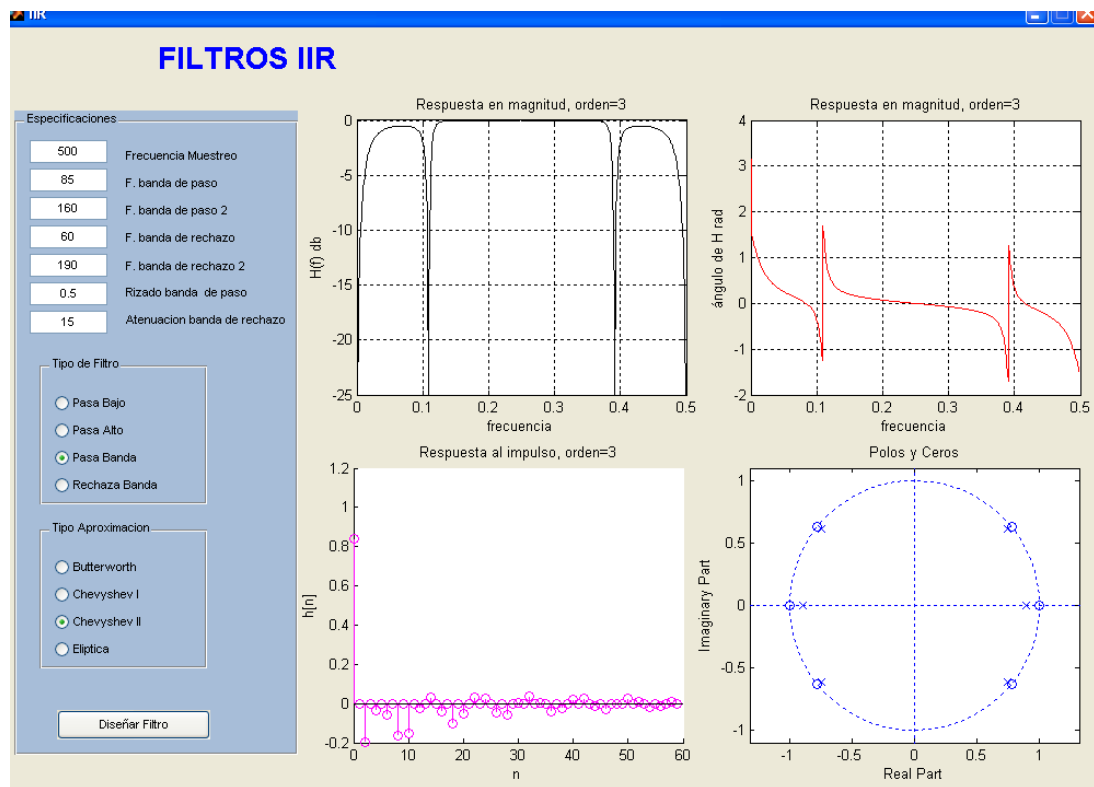


Figura 6.22 Gráficos de las respuestas del Filtro IIR pasa banda con Aproximación de Chevyshev II

Elaborado por: El Investigador

En la figura 6.22 se observa la respuesta espectral e impulsional del filtro pasa banda aplicando la aproximación Chevyshev II. Se aprecia que el orden del filtro es 3. En el diagrama de polos y ceros se aprecia que los polos están de forma simétrica, es decir están equiespaciados y se encuentran dentro de la circunferencia por consiguiente el filtro tiene una fase mínima y estable.

Practica N° 4

Diseñar un filtro digital IIR pasa-bajos muestreada, y debe ser filtrada según los siguientes requerimientos:

- Frecuencia de corte de la banda pasante: 1000 Hz
- Frecuencia de corte de la banda suprimida: 1600 Hz
- Frecuencia de muestreo y reconstrucción: 8 kHz
- Atenuación en la banda pasante: 3 dB
- Atenuación en la banda suprimida: 23 dB

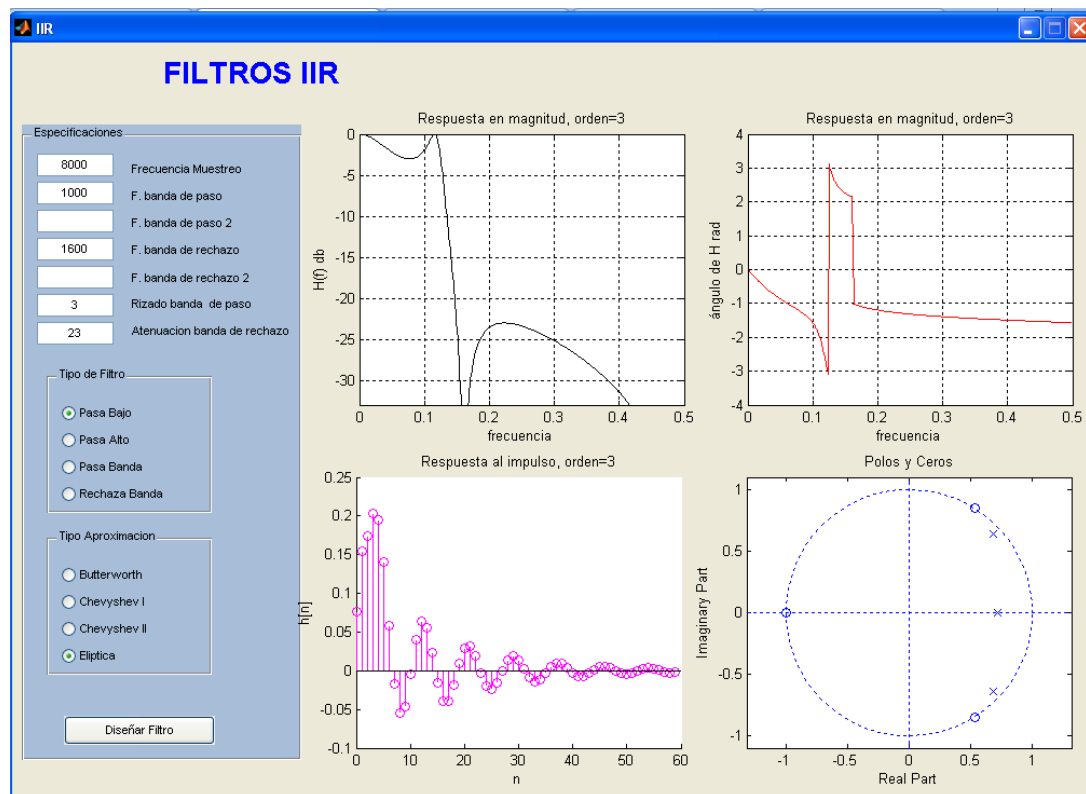


Figura 6.23 Gráficos de las respuestas del Filtro IIR pasa bajo con Aproximación Elíptica

Elaborado por: El Investigador

En la figura 6.23 se observa la respuesta espectral e impulsional del filtro pasa bajo aplicando la aproximación Elíptica. Se aprecia que el orden del filtro es 3 y su frecuencia de corte es de 0.13 rad/muestra. La aproximación Elíptica requiere de un orden menor para su diseño, por consiguiente tiene una menor complejidad computacional. Sin embargo como se aprecia en los gráficos la fase es lo menos lineal, es una de las desventajas en la aproximación Elíptica. Mediante el

diagrama de polos y ceros se puede dar cuenta que es un filtros de fase mínima y estable.

Práctica N° 5

Diseñar un filtro digital IIR rechaza banda muestreada, y debe ser filtrada según los siguientes requerimientos:

- Frecuencia de corte de la banda pasante inferior: 800 Hz.
- Frecuencia de corte de la banda suprimida inferior: 950 Hz.
- Frecuencia de corte de la banda suprimida superior: 1050 Hz.
- Frecuencia de corte de la banda pasante superior: 1200 Hz.
- Frecuencia de muestreo y reconstrucción: 9800Hz
- Rizado en la banda de paso: 0.15 dB
- Atenuación en la banda suprimida: 1dB

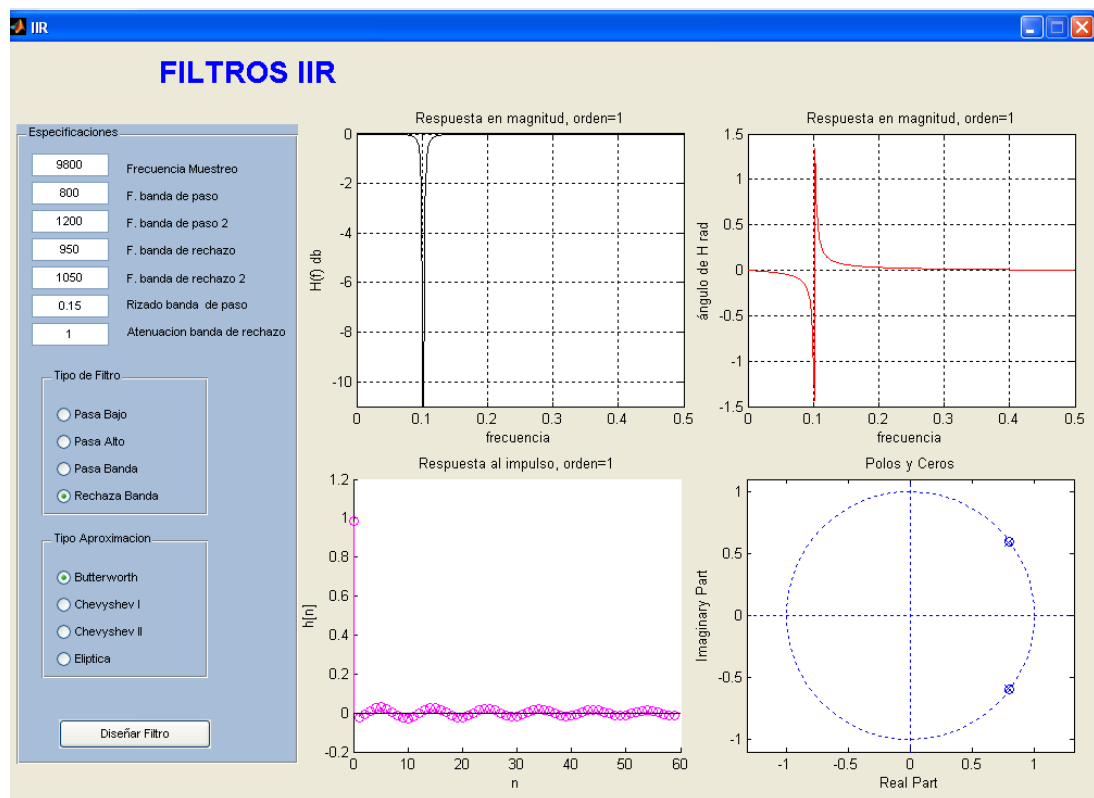


Figura 6.24 Gráficos de las respuestas del Filtro IIR rechaza banda con Aproximación Butterworth

Elaborado por: El Investigador

En la figura 6.24 se observa la respuesta espectral e impulsional del filtro rechaza banda aplicando la aproximación Butterworth. Se observa que las frecuencias de corte son 0.08 rad/muestras y 0.12 rad/muestras respectivamente. Se aprecia que el orden del filtro es 1. En la figura se aprecia que la fase es casi lineal. En el diagrama de polos y ceros se aprecia que los polos y ceros están en la misma posición lo que implica que el filtro es estable.

Práctica N° 6

Diseñar un filtro digital IIR pasa banda muestreada, y debe ser filtrada según los siguientes requerimientos:

- Frecuencia de corte de la banda pasante inferior: 750 Hz.
- Frecuencia de corte de la banda suprimida inferior: 900 Hz.
- Frecuencia de corte de la banda suprimida superior: 1100 Hz.
- Frecuencia de corte de la banda pasante superior: 1250 Hz.
- Frecuencia de muestreo y reconstrucción: 9796Hz
- Rizado en la banda de paso: 0.5 dB
- Atenuación en la banda suprimida: 5dB

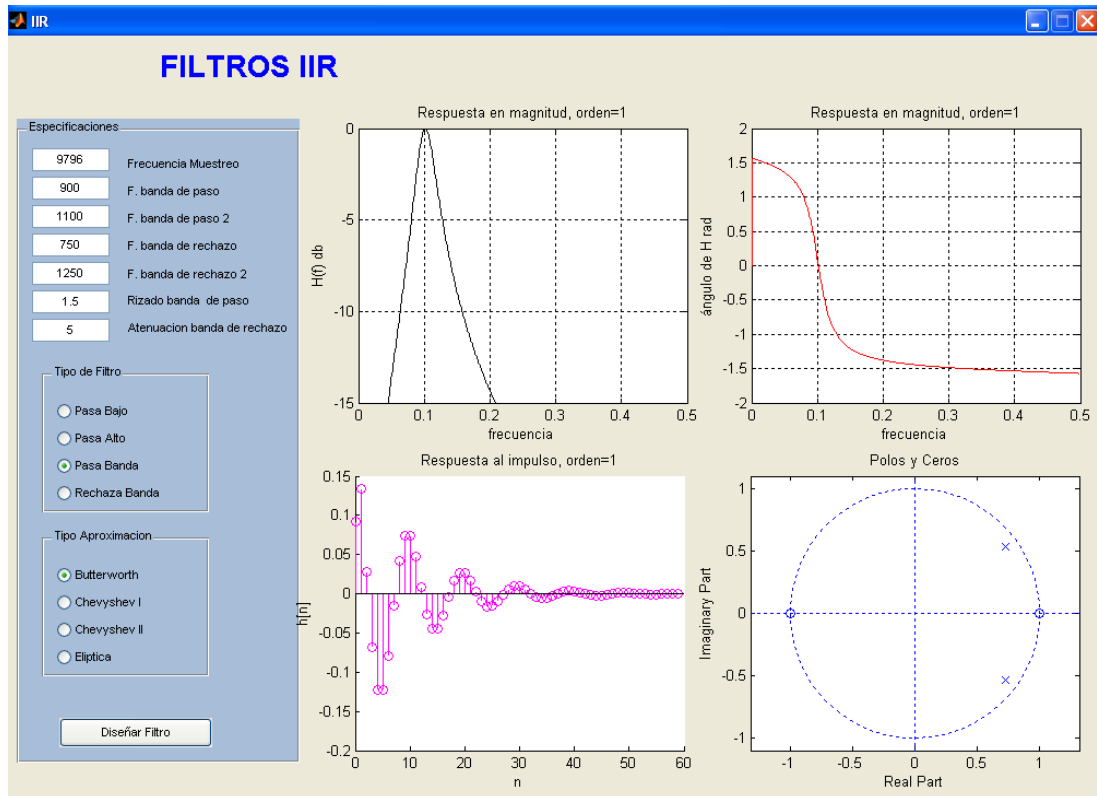


Figura 6.25 Gráficos de las respuestas del Filtro IIR pasa banda con Aproximación Butterworth

Elaborado por: El Investigador

En la figura 6.25 se observa la respuesta espectral e impulsional de un filtro pasa banda con la aproximación de Butterworth. Se aprecia que el orden del filtro es de 1 y sus frecuencias de corte son 0.07 rad/muestras y 0.11 rad/muestras respectivamente. La fase casi lineal se debe a los valores de rizado tanto en la banda pasante como de rechazo. En el diagrama de polos y ceros se aprecia que los polos y ceros están dentro de la circunferencia por consiguiente el filtro tiene una fase mínima y el filtro es estable.

Conclusiones del diseño de filtros IIR

- Este tipo de filtros presenta polos y ceros que determina la estabilidad y la causalidad del sistema.
- IIR pueden cumplir las mismas exigencias que los filtros FIR; pero con menos orden de filtro. Esto es importante a la hora de implementar el filtro, pues presenta una menor carga computacional.
- Este tipo de filtros puede ser inestables, aún cuando se diseñen para ser estables

- Es importante escoger la aproximación adecuada para que se cumpla con las especificaciones dadas.
- La implementación que mayor carga computacional requeriría es la Butterworth, pues el orden del filtro es mayor que dicha aproximación, mientras que el de menor orden es la elíptica.
- La aproximación elíptica es, entre todas, la que requiere menor orden, por lo que es comúnmente utilizada cuando el principal interés se centra en minimizar el orden del filtro.
- La aproximación de Butterworth es la que presenta una fase más próxima al ideal para un orden dado, pero el orden que necesita para cumplir las especificaciones suele ser notablemente mayor al que requieren las demás.

6.8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.8.1 CONCLUSIONES:

- La creación de laboratorios virtuales tiene algunas ventajas importantes con respecto a los laboratorios reales. Dado que un laboratorio virtual, en este caso específico de filtros digitales en DSP, se basa en modelos matemáticos que se ejecutan en ordenadores, su configuración y puesta a punto es mucho más sencilla que la configuración y puesta a punto de los laboratorios reales. Además, presentan un grado de robustez y seguridad mucho más elevado ya que al no haber dispositivos reales éstos no pueden causar problemas en el entorno.
- En la vida profesional, e incluso en la vida diaria, la destreza en el uso de las herramientas informáticas, sean del ámbito que sean, es un elemento diferenciador. Con ello se consigue aportar al alumno una serie de conocimientos transversales que si bien pueden no ser el objetivo principal del laboratorio que se esté diseñando, le servirán en muchos ámbitos en el futuro, por ello se propuso realizar la propuesta

con un software, Matlab, para que los alumnos se familiarizen con dicho software.

- Actualmente los DSP tienen un amplio campo de acción, es decir, las prestaciones y las aplicaciones que ofrecen son enormes, por lo cual se ve la necesidad de estar en vanguardia, por ende el desarrollo una serie de prácticas de simulación de filtros digitales aporta a los alumnos a poner en práctica todos los conocimientos adquiridos en el curso de Procesamiento Digital de Señales que imparte dicha Facultad.
- El programa está diseñado enfocando los objetivos planteados dentro de la propuesta facilitando el aprendizaje de filtros digitales en DSP a los alumnos de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones. Se facilitó el proceso práctico en la utilización del programa creando una GUI (Graphic User Interface- Interfaz Gráfica de Usuario) a través de la cual el usuario puede llevar a cabo diferentes funciones sin necesidad de entrar a la programación.

6.8.2 RECOMENDACIONES:

- Una forma interesante de utilizar los laboratorios virtuales es junto a los laboratorios reales, de forma que los alumnos realizarían primero las prácticas en laboratorios virtuales, para pasar posteriormente, cuando el instructor lo considerase oportuno, al laboratorio real.
- Proponer más prácticas de Filtros digitales, para la mejor comprensión acerca del diseño de los mismos, así como también los alumnos saquen sus propias conclusiones de acuerdo a los gráficos obtenidos en cada una de las prácticas.
- Realizar el diseño de filtros digitales, tanto FIR como IIR, utilizando otros métodos y algoritmos matemáticos.

6.9 BIBLIOGRAFIA:

- IRARRÁZVAL Pablo, Análisis de Señales, Editorial Mc Graw Hill, Primera Edición.
- KARRIN, Steven: Signal and Systems with Matlab Computing and Simulink Modeling, Orchard Publications, Cuarta Edición.
- OPPENHEIN Alan, WILLSKY Alan, Señales y Sistemas, Editorial Pearson Prentice Hall, Segunda Edición.
- PROAKIS John G., Manolakis Dimitris G., Tratamiento digital de señales, Prentice Hall, In., Cuarta Edición, España, 1998
- PROAKIS John G., Vinay Ingle., Digital Signal Processing using Matlab, Global Engineering, Cuarta Edición, 1999
- SOLIMAN, Samir. Señales y Sistemas Continuos y discretos, Editorial Prentice Hall, Segunda Edición, 1999
- TOCCI Ronald, Sistemas Digitales Principios y Aplicaciones, Editorial Pearson Prentice Hall, Décima Edición.

6.10 LINKOGRAFIA

INTRODUCCION A LOS DSP:

- <http://www.ingelec.uns.edu.ar/pds2803/Materiales/Cap01/01-Cap01.pdf>
- http://www.dsp.efn.unc.edu.ar/documentos/Introduccion_DSP.pdf

INTRODUCCIÓN AL FILTRADO DIGITAL:

- <http://www.dtic.upf.edu/~egomez/teaching/sintesi/SPS1/Tema7-FiltrosDigitales.pdf>
- <http://www.frsn.utn.edu.ar/tecnicas3/manuales/Apunte%20Filtros%20Digitales.pdf>
- <http://www.elai.upm.es:8009/spain/Publicaciones/pub99/intropds.pdf>

FILTROS FIR:

- <http://varoitus.barcelonamedia.org/rafael/Teaching/Courses/DSP/modulo7.pdf>
- www.ingelec.uns.edu.ar/pds2803/Materiales/Cap07/07-Cap07.pdf
- <http://www.ing.uc.edu.ve/~azozaya/docs/DSP/dffir.pdf>
- http://www.dsp.efn.unc.edu.ar/documentos/Filtro_FIR.pdf
- www.uaq.mx/investigacion/...VII/ITQ%20Martinez%20Barrera.doc
- <http://dsp1.materia.unsl.edu.ar/Filtros%20FIR%20Resumen.pdf>

FILTROS IIR:

- http://www.elai.upm.es:8009/spain/Publicaciones/pub01/intro_procsdig.pdf
- http://www.dsp.efn.unc.edu.ar/documentos/Filtro_IIR.pdf
- <http://www.ing.uc.edu.ve/~azozaya/docs/DSP/dfiir.pdf>
- <http://varoitus.barcelonamedia.org/rafael/Teaching/Courses/DSP/modulo8.pdf>
- <http://dsp1.materia.unsl.edu.ar/Filtros%20IIR%20Resumen.pdf>

MATLAB

- <http://www.escet.urjc.es/~matemati/TCTS/matlab-filtros.pdf>
- <http://www.slideshare.net/lonely113/procesamiento-digital-de-seales-con-matlab>
- http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/garcia_b_s/capitulo3.pdf
- http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10740/11/MATLAB_GUIDE.pdf

ANEXOS

ANEXO A

Modelo de encuesta aplicada a los alumnos del octavo y noveno semestre de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones.

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERIA EN SISTEMAS, ELECTRONICA E INDUSTRIAL

Encuesta dirigida a los alumnos de niveles superiores de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, para recolectar información para el Trabajo Estructurado de Manera Independiente

Objetivo:

- Conocer el estado actual de los laboratorios de comunicaciones digitales de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

Instrucciones:

- Lea detenidamente las preguntas
- Procure ser lo más objetivo y veras
- Marque con una X la alternativa que usted eligió.

1. ¿La Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial existen laboratorios para realizar prácticas en DSP de filtros digitales?

SI

NO

2. ¿Cree usted que la teoría impartida por el maestro para el aprendizaje en DSP de filtros digitales debe ser complementada con prácticas de laboratorio?

SI

NO

3. ¿Cree usted que es necesario un laboratorio para realizar prácticas en DSP de filtros digitales?

SI

NO

4. ¿Considera usted que un laboratorio virtual es una alternativa para realizar practicas en DSP de filtros digitales?

SI

NO

5. ¿Conoce usted las herramientas que ofrece el software Matlab para la realización de filtros digitales?

SI

NO

6. ¿Cuántos Tipos de filtros digitales conoce usted?

1

2

3

Otros

Enúncielos:

ANEXO B:

Modelo de encuesta aplicada a los docentes del Área de Comunicaciones de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERIA EN SISTEMAS, ELECTRONICA E INDUSTRIAL

Encuesta dirigida a los docentes del Área de Comunicaciones de la FISEI, para recolectar información para el Trabajo Estructurado de Manera Independiente

Objetivo:

- Conocer el estado actual de los laboratorios de comunicaciones digitales de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

Instrucciones:

- Lea detenidamente las preguntas
- Procure ser lo más objetivo y veras
- Marque con una X la alternativa que usted eligió.

1. ¿La Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial existen laboratorios para realizar prácticas en DSP de filtros digitales?

SI

NO

2. ¿Cree usted que es necesario realizar prácticas de laboratorio para el mejor aprendizaje de los alumnos?

SI

NO

3. ¿Cree usted que existe el espacio necesario para implementar un laboratorio físico de filtros digitales en la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial?

SI

NO

4. ¿Cree usted que la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial cuenta con los recursos económicos para equipar dicho laboratorio (pregunta 3)?

SI

NO

5. ¿Considera usted que un laboratorio virtual es una alternativa para realizar practicas en DSP de filtros digitales?

SI

NO

6. ¿Considera necesario la implementación de un laboratorio virtual para el mejor aprendizaje en DSP de filtros digitales?

SI

NO

ANEXO C

MANUAL DE USUARIO

A continuación se presenta detalladamente el procedimiento que se debe seguir para utilizar el programa “Laboratorio virtual de Filtros Digitales”, para el diseño de filtros digitales:

1. Como primer paso debemos abrir el software Matlab.
2. Abrimos un archivo existente llamado Laboratorio de Filtros, cabe mencionar que existen dos archivos con el mismo nombre uno es la interfaz GUI y el otro es el M-file, damos click en el archivo con extensión .fig y aparecerá una ventana como se muestra en la figura C.1



Figura C.1 Pantalla Principal del Programa

Elaborado por: el Investigador

En la pantalla que se observa se encuentran dos opciones: FILTROS FIR Y FILTROS IIR, se escoge cualquiera de ellos dependiendo que tipo de filtro se desee diseñar.

3. Si se desea diseñar un filtro FIR, se opta por el botón con el mismo nombre y aparecerá un pantalla como se muestra en la figura C.2

4. Se introducen los valores especificados para el diseño del filtro FIR
5. Se da click en el botón Diseñar Filtro, a continuación aparecerán los gráficos de la respuesta impulsional, espectral y de fase en las áreas destinadas para el gráfico.
6. Para diseñar un filtro IIR, se escoge la opción “FILTROS IIR” de la pantalla principal, aparecerá una pantalla como se muestra en la figura C.3
7. Al igual que en los filtros FIR, se introducen los valores de las especificaciones dadas para el diseño del filtro.
8. Se da click en el botón Diseñar Filtro, a continuación aparecerán los gráficos de la respuesta impulsional, espectral, de fase y el diagrama de polos y ceros, en las áreas destinadas para el gráfico.
9. Finalmente si se desea diseñar otros filtros se debe introducir nuevamente las especificaciones y seguir el mismo procedimiento.

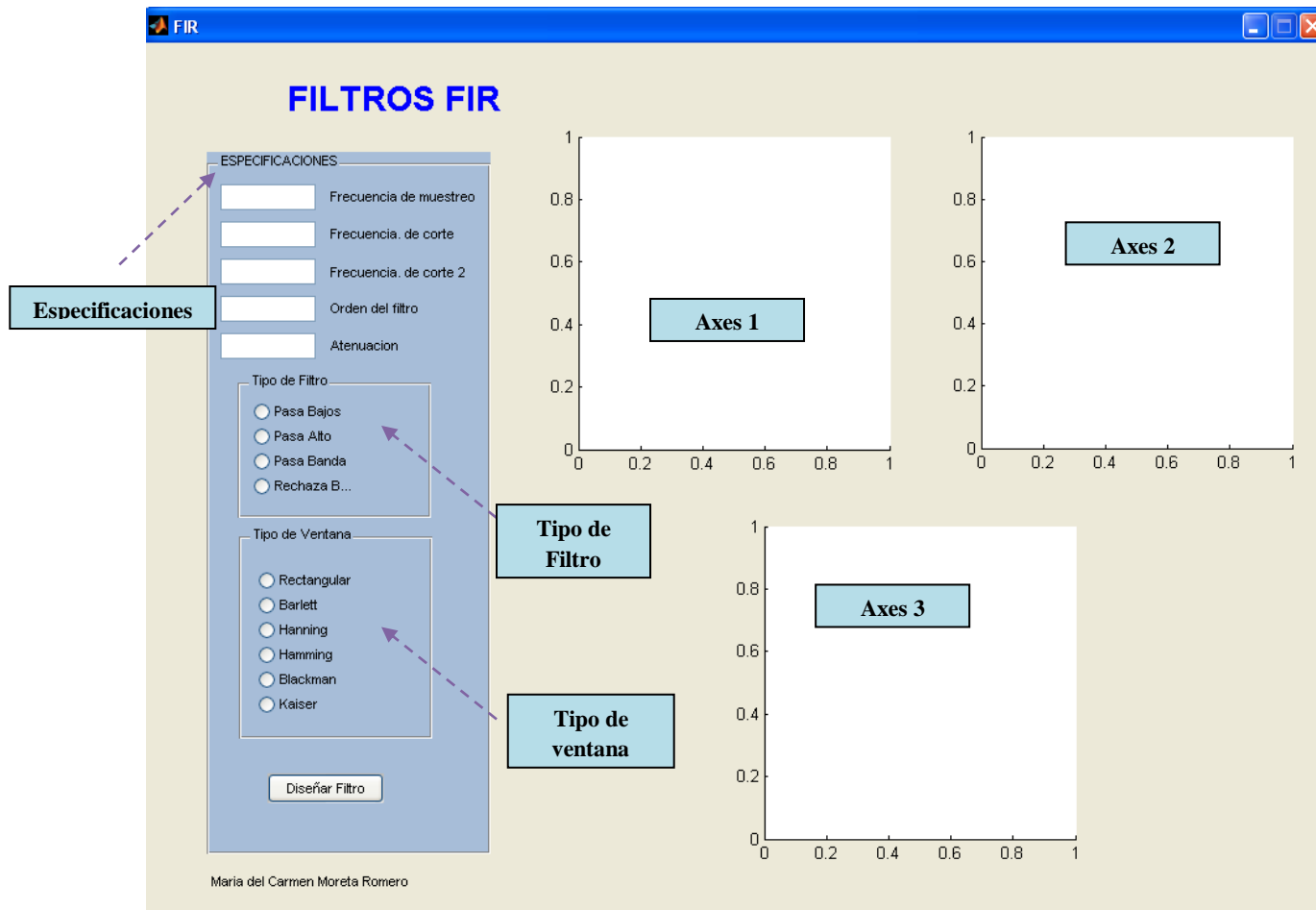


Figura C.2 Pantalla para el diseño de filtros FIR

Elaborado por: el Investigador

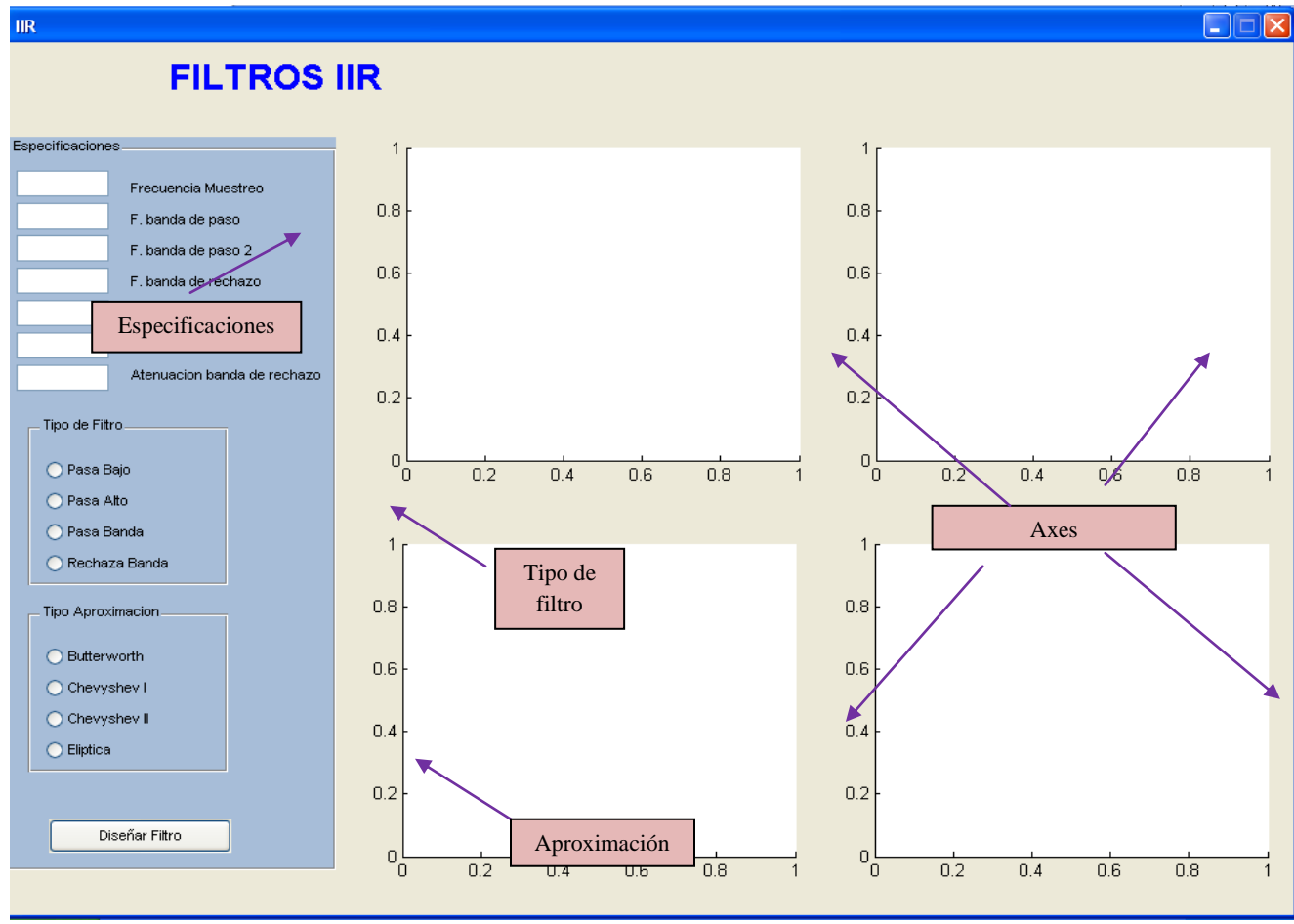


Figura C.3 Pantalla para el diseño

de filtros IIR Elaborado por: el Investigador

