



**UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE GRADUACIÓN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN TELEINFORMÁTICA**

**ÁREA
TECNOLOGÍA DE LAS TELECOMUNICACIONES**

**TEMA
“IMPLEMENTACIÓN DE UN DEMODULADOR DE
PRÁCTICA 16QAM.”**

**AUTOR
BARZOLA CULQUIPUMA BRYAN CRISTHIAN**

**DIRECTOR DEL TRABAJO
ING. TELECOM. ORTIZ MOSQUERA NEISER STALIN, MG**

GUAYAQUIL, OCTUBRE 2019



ANEXO XI.- FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE TITULACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:			
Implementación de un demodulador de práctica 16QAM			
AUTOR(ES) (apellidos/nombres):		Barzola Culquipuma Bryan Cristhian	
REVISOR(ES)/TUTOR(ES) (apellidos/nombres):		Ing. Veintimilla Andrade Miguel / Ing. Ortiz Mosquera Neiser.	
INSTITUCIÓN:		Universidad de Guayaquil	
UNIDAD/FACULTAD:		Facultad Ingeniería Industrial	
MAESTRÍA/ESPECIALIDAD:			
GRADO OBTENIDO:		Ingeniería en Teleinformática	
FECHA DE PUBLICACIÓN:		11 de Junio 2020	No. DE PÁGINAS: 116
ÁREAS TEMÁTICAS:		Tecnología de las Telecomunicaciones	
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:		Demodulador, microcontrolador, Isis, Ares, 16QAM	
<p>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</p> <p>El propósito de este proyecto de grado es la implementación de un demodulador digital M-ario16QAM en una placa de circuito impreso PCB que tiene como objetivo contribuir a la mejora de la metodología docente práctica dentro del laboratorio de Redes / Telecomunicaciones de la carrera de Teleinformática. El énfasis dado es que las transmisiones y recepciones digitales en la actualidad son muy importantes debido a su alto porcentaje de eficiencia. A través de esta investigación el alumno evitará comprar materiales y se enfocará solo en el estudio práctico y análisis de los componentes que fueron probados como el AD633jn integrado en la fase de multiplicación de señal portadora modulada, el efecto de usar filtros de paso bajo en la segunda etapa. y el comportamiento del microcontrolador actuando como convertidor analógico-digital para la recuperación de los 4 bits ingresados en la fase de modulación. Cabe mencionar que se utilizó el programa Isis proteous para la elaboración del diseño electrónico y Ares para elaborarlo en pcb como esquema final para la impresión del proyecto.</p>			
ADJUNTO PDF:		SI X	NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:		Teléfono: 0982095483	E-mail: bryan.barzolac@ug.edu.ec
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:		Nombre: Ing. Ramón Maquilón Nicola	
		Teléfono: 593-2658128	
		E-mail: direccionTi@ug.edu.ec	



**ANEXO XII.- DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y DE
AUTORIZACIÓN DE LICENCIA GRATUITA
INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA PARA EL USO NO COMERCIAL DE LA OBRA
CON FINES NO ACADÉMICOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA**

LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES
NO ACADÉMICOS

Yo, **BARZOLA CULQUIPUMA BRYAN CRISTHIAN**, con C.C. No. **0927252270**, certifico que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es **“IMPLEMENTACIÓN DE UN DEMODULADOR DE PRÁCTICA 16QAM”** son de mi absoluta propiedad y responsabilidad, en conformidad al Artículo 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN*, autorizo la utilización de una licencia gratuita intransferible, para el uso no comercial de la presente obra a favor de la Universidad de Guayaquil.

A handwritten signature in blue ink, reading "Bryan Barzola Culquipuma".

BRYAN CRISTHIAN BARZOLA CULQUIPUMA

C.C.No. 0927252270



ANEXO VII.- CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA



Habiendo sido nombrado **NEISER STALIN ORTIZ MOSQUERA**, tutor del trabajo de titulación certifico que el presente trabajo de titulación ha sido elaborado por **BARZOLA CULQUIPUMA BRYAN CRISTHIAN**, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de **INGENIERO EN TELEINFORMÁTICA**.

Se informa que el trabajo de titulación: **IMPLEMENTACIÓN DE UN DEMODULADOR DE PRACTICA 16QAM**, ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa Antiplagio URKUND quedando el 8% de coincidencia, luego de las revisiones.

Introducción En esta última década, la tecnología de las telecomunicaciones se ha acrecentado considerablemente lo cual produce que día a día se vaya abriendo nuevos caminos a diferentes doctrinas para la enseñanza y de esta manera fortalecer las metodologías que existen actualmente impulsando las capacidades académicas para la pro mejora de conocimientos teóricos - prácticos para los estudiantes de ingeniería. Hoy por hoy la tecnología ha demostrado esencialmente que se necesita de un medio físico o cableado especial como medio de transmisión, o en el caso de medio inalámbrico, se necesitan dispositivos de modulación que se encargan de colocar información en el espacio, de la misma manera equipos de demodulación para receptor esta señal, cabe señalar que para ambas clases de redes urge la necesidad de delinear la particularidad del medio de transmisión a utilizar para así ahorrar tiempo y buscar la manera de abaratar costes en

<https://secure.arkund.com/view/63083427-728860-309346>

Luego de las revisiones: <https://secure.arkund.com/old/view/63083427-728860-309346#FYxBbsNADAP/4vMg2JXklZSvBD0URlv4UF9yLPr3MFInC1rg/m2/z+3+mMyheeNiiRQImql0mlAksRBKTakuvgsVXFZJ6BSylStJDBuYdmA7tIBXVWt84o76gnuiD7wJYhCTMPbBvtDTJKtIMshFNkUNatF00NKki+4Ptuf5c53f5/F5HV/bfdxGZnWbrUor9/5/AQ==>



Firmado electrónicamente por:
**NEISER STALIN
ORTIZ MOSQUERA**

NEISER STALIN ORTIZ MOSQUERA
DOCENTE TUTOR
C.C. 091952224-3
FECHA: 09/03/2020



**ANEXO VI. - CERTIFICADO DEL DOCENTE-TUTOR DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA**



Guayaquil, 09 de marzo de 2020

Sra.

Ing. Annabelle Lizarzaburu Mora, MG.

Directora de Carrera Ingeniería en Teleinformática / Telemática

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
Ciudad. -

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de Titulación **IMPLEMENTACIÓN DE UN DEMODULADOR DE PRACTICA 16QAM** del estudiante **BARZOLA CULQUIPUMA BRYAN CRISTHIAN**, indicando que ha cumplido con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de similitud y la valoración del trabajo de titulación con la respectiva calificación.

Dando por concluida esta tutoría de trabajo de titulación, **CERTIFICO**, para los fines pertinentes, que el estudiante está apto para continuar con el proceso de revisión final.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
**NEISER STALIN
ORTIZ MOSQUERA**

Ing. Neiser Stalin Ortiz Mosquera, Mg
TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN
C.C. 091952224-3
FECHA: 09/03/2020



ANEXO VIII.- INFORME DEL DOCENTE REVISOR

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA



Guayaquil, 24 de abril del 2020.

Sr (a).

Ing. Annabelle Lizaraburu Mora, MG.

Director (a) de Carrera Ingeniería en Telemática / Telemática

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
Ciudad. -

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el informe correspondiente a la REVISIÓN FINAL del Trabajo de Titulación **“IMPLEMENTACION DE UN DEMODULADOR DE PRACTICA 16QAM”** del estudiante **BARZOLA CULQUIPUMA BRYAN CRISTHIAN**. Las gestiones realizadas me permiten indicar que el trabajo fue revisado considerando todos los parámetros establecidos en las normativas vigentes, en el cumplimiento de los siguientes aspectos:

Cumplimiento de requisitos de forma:

El título tiene un máximo de 7 palabras.

La memoria escrita se ajusta a la estructura establecida.

El documento se ajusta a las normas de escritura científica seleccionadas por la Facultad.

La investigación es pertinente con la línea y sublíneas de investigación de la carrera.

Los soportes teóricos son de máximo 5 años.

La propuesta presentada es pertinente.

Cumplimiento con el Reglamento de Régimen Académico:

El trabajo es el resultado de una investigación.

El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.

El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.

El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se indica que fue revisado, el certificado de porcentaje de similitud, la valoración del tutor, así como de las páginas preliminares solicitadas, lo cual indica que el trabajo de investigación cumple con los requisitos exigidos.

Una vez concluida esta revisión, considero que el estudiante está apto para continuar el proceso de titulación. Particular que comunicamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:

**MIGUEL ANGEL
VEINTIMILLA
ANDRADE**

ING. MIGUEL VEINTIMILLA ANDRADE

C.C: 0922668017

FECHA: 24/04/2020

Dedicatoria

Primeramente, a Dios el todopoderoso por darme la fuerza y sabiduría suficientes para salir adelante en este largo camino de mi carrera universitaria por ello quiero dedicárselo a mi familia también en especial a mis padres Alicia y Freddy que siempre han estado conmigo en los buenos y duros momentos brindándome ese apoyo y aliento para no decaer ante cualquier circunstancia que desatine mi enfoque hacia el objetivo de culminar mis estudios.

También quiero hacer mención a todos los profesores que me han impartido clases durante toda esta etapa por su gran esfuerzo y dedicación ya que sin su aporte no hubiese adquirido los conocimientos esenciales para ser un profesional.

Agradecimiento

A mi madre por siempre confiar en mi capacidad, quien con sus palabras y consejos hacen de mí una persona honesta y con valores.

A mis hermanos Richard, Diego, Carlos y Vélez por su apoyo incondicional y siempre estar ahí en los momentos difíciles.

A mi tutor, el Ing. Telecom. Neiser Ortiz por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto e instruirnos en esta última etapa de mis estudios de pregrado que con su ayuda y conocimientos siempre estuvo ahí ante cualquier duda u pregunta referente a nuestro tema propuesto.

Índice General

N°	Descripción	Pág.
	Introducción	1

Capítulo I

El problema

N°	Descripción	Pág.
1.1	Planteamiento del problema	2
1.1.1	Formulación del problema	3
1.1.2	Sistematización del problema	3
1.2	Objetivos de la investigación	3
1.2.1	Objetivo general	3
1.2.2	Objetivos específicos	3
1.3	Justificación	4
1.4	Delimitación del problema	4
1.5	Tipo de estudio	5
1.5.1	Bibliográfico	5
1.5.2	Experimental	5
1.5.3	Aplicada	5

Capítulo II

Marco teórico

N°	Descripción	Pág.
2.1	Antecedentes	6
2.2	Marco Conceptual	7
2.2.1	Software	7
2.2.2	Informática: Definición	9
2.2.3	Ciclo de vida de los sistemas de información.	10
2.2.4	Importancia de los sistemas informáticos.	10
2.2.5	Compilador PIC C	11
2.2.5.1	Capacidades	12
2.2.6	Proteous design suit	13

N°	Descripción	Pág.
2.2.7	Lenguaje de programación C	15
2.2.7.1	Ventajas	16
2.2.7.2	Desventajas.	16
2.2.8	Estructura del programa	16
2.2.9	Tipos y variables	17
2.2.10	Modulación de Amplitud en cuadratura QAM	17
2.2.11	QAM Analógico y digital	18
2.2.12	Conceptos básicos de QAM digital/cuantizado	18
2.2.13	Ventajas y desventajas de QAM	20
2.2.14	QAM vs PSK y otros modos	21
2.2.15	Conceptos básicos de la teoría QAM	21
2.2.16	Formatos y aplicaciones QAM	22
2.3	NI Elvis II Plus	23
2.3.1	Composición del NI Elvis II Plus	26
2.3.2	NI Elvis mx Software	27
2.4	Componentes Electrónicos	28
2.4.1	Integrado multiplicador/sumador AD633jn	28
2.4.2	Filtros	29
2.4.2.1	Filtros electrónicos	30
2.4.2.2	Filtro pasa bajas (LFP)	30
2.4.2.3	Filtros pasivos	31
2.4.3	Microcontrolador PIC 16F877A	31
2.4.4	Pantalla LCD de 16X2	33
2.5	Marco Legal	34
2.5.1	Constitución de la República del Ecuador -ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales.	34
2.5.2	Reglamento codificado de régimen académico del sistema nacional de educación superior	35
2.5.3	Ley Orgánica de Educación superior (LOES)	35

Capítulo III

Metodología

Nº	Descripción	Pág.
3.1	Descripción del proceso metodológico	37
3.2	Diseño de la investigación	37
3.3	Enfoque de la investigación	38
3.3.1	Metodología bibliográfica	38
3.3.2	Metodología experimental	39
3.3.3	Metodología aplicada	40
3.4	Análisis	40
3.5	Resultados	41

Capítulo IV

Desarrollo de la propuesta

Nº	Descripción	Pág.
4.1.1	Ventajas de la demodulación 16QAM	44
4.1.2	Desventajas de la demodulación 16QAM	44
4.1.3	Frecuencia de la portadora a utilizar en la demodulación	45
4.2	Etapas del demodulador 16 QAM	45
4.2.1	Etapas de mezclado o modulador	45
4.2.2	Cálculos matemáticos para cada combinación en la fase de mezclado	49
4.2.3	Etapas de filtrado en el demodulador 16 QAM	61
4.2.4	Etapas de conversión Analógica - Digital	63
4.2.4.1	Programación del PIC 16F877A	65
4.3	Diseño del demodulador en ISIS	68
4.4	Diseño del demodulador en ARES	69
4.4.1	Ventana principal de ARES	69
4.4.2	Diseño de la placa de circuito impreso	70
4.4.2.1	Creación de bordes de la placa	70
4.4.2.2	Colocación de componentes	71

4.4.2.4	Visualización 3D	75
N°	Descripción	Pág.
4.5	Conclusiones	77
4.6	Recomendaciones	78
	Anexos	80
	Bibliografía	96

Índice de tablas

Nº	Descripción	Pág.
1	Familia de serie NI Elvis	24
2	Conexionado de pines para LM032M	34
3	Tabla de verdad de voltajes para canales I e I´	50
4	Tabla de verdad de voltajes para canales Q e Q´	50

Índice de figuras

N°	Descripción	Pág.
1	Modulación de Amplitud en cuadratura	17
2	Diagrama de constelación	19
3	Diagrama de constelación para señal 16QAM	20
4	Módulo NI Elvis II Plus	25
5	Sistema típico de la serie NI Elvis II Plus	27
6	Interfaz principal NI Elvismx	28
7	Integrado AD633jn	28
8	Diagrama interno del integrado AD633jn	29
9	Especificaciones para un filtro pasivo pasa bajas de segundo orden	30
10	Diagrama de un filtro pasivo pasa bajas de orden quinto	31
11	Microcontrolador PIC 16F877A	32
12	Esquema interno de pines del microchip Pic 16f877A	33
13	Estructura de pines del LCD LM032L	33
14	Etapas para construcción de PCB con proteous	43
15	Diagrama de bloque del demodulador 16QAM	44
16	Gráfico del generador de funciones con la frecuencia de portadora	45
17	Diagrama de bloque en fase de mezclado para canales I e I'	46
18	Conexiones al integrado AD633jn mostrando salidas para canales I e I'	47
19	Señal seno desfasada 90° a utilizar en el proceso de mezclado en canales Q e Q'	48
20	Diagrama de bloque en fase de mezclado en canales Q e Q'	48
21	Ingreso de la señal coseno para canales Q e Q' y salida multiplicada en pin7	49
22	Diseño de filtro pasa bajas de quinto orden a utilizar en canal I e I'	61
23	Filtrado de la señal alterna dejando solo señal DC en canal I e I'	62
24	Diseño del filtro pasa bajas de quinto orden a utilizar en canal Q e Q'	62
25	Filtrado de la señal alterna dejando solo señal DC en canal Q e Q'	63

N°	Descripción	Pág.
26	Esquema de conexiones a utilizar en nuestro convertidor A/D usando PIC 16F877A	64
27	Diagrama de oscilador de cristal externo	65
28	Diagrama de flujo para programación de PIC como convertidor A/D	66
29	Diagrama del circuito que permite transformar valores negativos a positivos a la entrada de lectura del PIC	67
30	Resultados de lectura del PIC de valores negativos mostrando valores positivos	67
31	Ventana principal del ISIS	68
32	Esquema del demodulador 16 QAM en Isis	69
33	Entorno principal de ares	70
34	Trazado de bordes de PCB en ares	70
35	Ícono del auto placer para seleccionamiento automático	71
36	Ventana de auto placer para selección de componentes	71
37	Ejemplo de posicionamiento de componentes de manera automática	72
38	Selección del Auto-router para el trazado automático de pistas	73
39	Ejemplo de trazado automático de pistas	73
40	Cuadro de selección del tipo de superficie de disipación	73
41	Acabado del diseño de placa PCB en ares	74
42	Verificación del diseño de placa PCB en formato gerber	75
43	Ícono de la herramienta para visualización 3D	75
44	Visualización en 3D del acabado de nuestro circuito demodulador 16QAM	76
45	Visualización en 3D de la capa inferior del demodulador 16QAM	77

Índice de anexos

N°	Descripción	Pág.
1	Datasheet de elementos electrónicos	80
2	Fotos del proceso de la elaboración de la placa impresa	83
3	Código de la programación del PIC 16F877A	84
4	Guía de Practica del demodulador 16QAM	88



ANEXO XIII.- RESUMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN (ESPAÑOL)



FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA

“IMPLEMENTACIÓN DE UN DEMODULADOR DE PRÁCTICA 16QAM”

Autor: Barzola Culquipuma Bryan Cristhian

Tutor: Ing. Telecom. Ortiz Mosquera Neiser Stalin, MG.

Resumen

Este proyecto de titulación tiene como propósito la implementación de un demodulador digital M-ario 16QAM en una placa de circuito impreso PCB el cual se pretende contribuir a la mejora de la metodología de enseñanza práctica dentro del laboratorio de Networking/Telecomunicaciones de la carrera de teleinformática haciendo énfasis que en la actualidad las transmisiones y recepciones digitales son muy importantes debido a su gran porcentaje de eficacia. Por medio de esta investigación el estudiante se evitará de comprar materiales y se concentrará solo en el estudio práctico y el análisis de los componentes que se pusieron a prueba tales como el integrado AD633jn en la fase de multiplicación de señal modulada con portadora, el efecto del uso de filtros pasa bajas en la segunda etapa y el comportamiento del microcontrolador actuando como convertidor analógico – digital para la recuperación de los 4 bits ingresados en la fase de modulación, cabe destacar que se utilizó el programa Isis de proteous para la elaboración del diseño electrónico y Ares para elaborar en pcb como esquema final para la impresión del proyecto.

Palabras Claves: demodulador, microcontrolador, Isis, Ares, 16QAM.



ANEXO XIV.- RESUMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN (INGLÉS)



FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL CARRERA INGENIERÍA EN TELEINFORMÁTICA

“IMPLEMENTATION OF A 16QAM PRACTICE DEMODULE”

Author: Bryan Cristhian Barzola Culquipuma

Advisor: Ing. Telecom. Ortiz Mosquera Neiser Stalin, MG.

Abstract

The purpose of this degree project is the implementation of an M-ario16QAM digital demodulator on a PCB printed circuit board which is intended to contribute to the improvement of the practical teaching methodology within the Networking / Telecommunications laboratory of the teleinformatics career by Emphasis that currently digital transmissions and receptions are very important due to their high percentage of efficiency. Through this research the student will avoid buying materials and will focus only on the practical study and analysis of the components that were tested such as the integrated AD633jn in the phase of carrier modulated signal multiplication, the effect of use of low pass filters in the second stage and the behavior of the microcontroller acting as an analog-digital converter for the recovery of the 4 bits entered in the modulation phase, it is worth mentioning that the Isis proteous program was used for the elaboration of the electronic design and Ares to elaborate in pcb as final scheme for the printing of the project.

Keywords: Demodulator, Microcontroller, Isis, Ares, 16QAM

Introducción

En esta última década, la tecnología de las telecomunicaciones se ha acrecentado considerablemente lo cual produce que día a día se vaya abriendo nuevos caminos a diferentes doctrinas para la enseñanza y de esta manera fortalecer las metodologías que existen actualmente impulsando las capacidades académicas para la pro mejora de conocimientos teóricos - prácticos para los estudiantes de ingeniería.

Hoy por hoy la tecnología ha demostrado esencialmente que se necesita de un medio físico o cableado especial como medio de transmisión, o en el caso de medio inalámbrico, se necesitan dispositivos de modulación que se encargan de colocar información en el espacio, de la misma manera equipos de demodulación para receptar esta señal, cabe señalar que para ambas clases de redes urge la necesidad de delinear la particularidad del medio de transmisión a utilizar para así ahorrar tiempo y buscar la manera de abaratar costes en la implementación del sistema.

El artículo 350 de la Constitución de la República del Ecuador. decreta: "El sistema de educación superior tiene como finalidad la formación académica y profesional con visión científica, tomando como base la investigación tecnológica; la innovación y difusión del aprendizaje permitiendo repotenciar habilidades individuales y colectivas razón por la cual los laboratorios juegan un papel muy importante hoy en día ya que permiten la interacción con equipos sofisticados e innovadores causando un gran interés y optimización del tiempo en las materias impartidas en clases logrando como producto de aquello robustecer el conocimiento con nuevas metodologías de estudio.

La Universidad de Guayaquil intenta ser un instituto de educación superior con elevados índices de calidad con el fin de alcanzar la supremacía en excelencia académica es por ello lo cual se busca potenciar la infraestructura actual de los laboratorios en las diversas áreas académicas para robustecer con eso, el aprendizaje de los estudiantes en todos sus aspectos tanto académico y profesionalmente.

Este dispositivo demodulador M-ario 16 QAM se lo realizará con fin educativo ya que con su uso en las practicas experimentales de laboratorio se aspira que los estudiantes de la materia simulación de sistemas de la carrera Teleinformática puedan identificar cada uno de los componentes y sus funciones de manera interactiva tomando como herramienta adicional la guía de práctica para el uso y manejo del instrumento.

CAPITULO 1

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Hoy en día las comunicaciones digitales están reemplazando a las analógicas debido a las múltiples ventajas que estas presentan tales como mejor calidad de procesamiento, multi-canalización, inmunidad al ruido entre otras, lo cual ha hecho posible una mejora en el desarrollo y la fiabilidad de los sistemas de telecomunicaciones, esta nueva forma de transmitir información de manera digital consta de diferentes técnicas de modulación digital unas de estas en específico es 16QAM digital, la cual es muy utilizada por ejemplo para la transmisión de información entre el Sistema de Terminación de Cable módems (CMTS) y los Módems, para transmitir información entre el router y el dispositivo final de consumo como Smartphone, laptops etc., e infinidad de otros usos.

Actualmente en el laboratorio de Networking de la carrera de Ingeniería en telecomunicaciones no existe un módulo demodulador con el cual observar paso a paso el desarrollo y la funcionalidad que este tipo de tecnología conlleva, también existe otro factor que es un efecto directo de lo primero mencionado y es que el estudiante al realizar las practicas, requiere gastar varias horas en el armado de los circuitos tanto moduladores como demoduladores, es decir que se pierde tiempo valioso de la materia en el ensamblaje de los circuitos propuestos por el docente, esto provoca al estudiante retrasos debido a que se tienen que probar los circuitos, además de no permitirle al docente continuar con su cronograma establecido en el tiempo fijado inicialmente (Alvarado Nieves, 2019).

Es por todas estas razones que se busca implementar en el laboratorio de Networking de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones un circuito demodulador M-aria 16 QAM para apreciar las ventajas y desventajas que esta tecnología tiene pero de manera real, para que los estudiantes experimenten en la transmisión y recepción de señales digitales y así los estudiantes refuercen los conocimientos teóricos ya enseñados en clases, y de paso también se contribuye de manera desinteresada en equipar el laboratorio de Networking con la implementación que se realizará en el presente proyecto de tesis, es así como se aporta al incremento de la excelencia educativa de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones.

1.1.1 Formulación del problema

De acuerdo a la problemática que se plantea, la carrera de Ingeniería en Teleinformática se encuentra con limitaciones en la enseñanza, por factores como debido a que los estudiantes a veces se encuentran imposibilitados de adquirir ciertos materiales para las practicas ya sea por causas económicas o de otros tipos o puede existir una falta de tiempo en la realización de las actividades académicas debido al tiempo que conlleva armar un circuito. Es así como se plantea.

¿En qué beneficiaria la realización de una implementación de un demodulador digital 16-QAM, para la carrera de Ingeniería en Teleinformática?

1.1.2 Sistematización del problema

1. ¿Qué dificultad trae la elaboración de un diseño de 16-QAM desde la simulación de los componentes del mismo en software hasta su impresión en una placa?
2. ¿Qué ventajas y desventajas trae el uso de tecnología QAM en las telecomunicaciones de hoy en día?
3. ¿Los estudiantes obtendrán un ahorro significativo en la realización de sus prácticas?
4. ¿Cómo se verán los estudiantes de la carrera beneficiados en la realización de este proyecto?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo General

Implementar un demodulador digital de práctica 16QAM utilizando materiales electrónicos para el laboratorio de Networking.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Determinar los elementos necesarios a utilizar en el demodulador digital 16QAM.
2. Realizar simulaciones en proteous previamente para comprobar los resultados deseados en la demodulación.
3. Diseñar el esquema de la demodulación utilizando protoboard y componentes electrónicos para luego llevar a cabo la impresión del mismo en placa.
4. Implementar el demodulador digital de práctica 16QAM.
5. Analizar detenidamente el comportamiento de las señales 16 QAM sus ventajas y desventajas para el funcionamiento del demodulador.

6. Elaborar una guía de práctica para el correcto funcionamiento del demodulador 16QAM.

1.3 Justificación

Se torna complicado realizar una práctica en el laboratorio de Networking de la carrera de Ingeniería en telecomunicaciones cuando no se tiene al alcance los materiales necesarios para llevar a cabo de manera exitosa un proyecto, razón por la cual mediante esta tesis se contribuirá a la carrera con un demodulador digital 16-QAM, permitiendo así el análisis de los resultados obtenidos luego de la fase de modulación digital, todo esto tendrá el beneficio de que el estudiante podrá reforzar sus conocimientos mediante la práctica de demodulaciones digitales 16-QAM lo cual permitirá que se aprecie las ventajas y desventajas de este tipo de transmisión digital de información.

Cabe señalar que con la implementación de este demodulador digital M-ario se pretende ganar más expectativa hacia el desenvolvimiento práctico del estudiante, haciendo la clase más interactiva formando un diseño metodológico que repotencie sus habilidades aprendidas en la materia de Simulación de Sistemas y estas a su vez le permitan de alguna manera tener mayor conocimiento en lo que a recepción digital se refiere para posteriormente poner a prueba su grado de cognición en el ámbito profesional-laboral.

Por consiguiente, con el aporte del demodulador en el laboratorio de Networking/Telecomunicaciones se tratará de apoyar a los estudiantes de la carrera de Telecomunicaciones optimizando tiempo y ahorrando recursos económicos ya que el circuito esta realizado en una placa impresa (PCB) lo cual empleará componentes esenciales para el correcto funcionamiento de la recepción de la información digital 16-QAM

1.4 Delimitaciones

El presente tema de titulación propuesto se llevará a cabo en el laboratorio de Networking y Telecomunicaciones de la Facultad de Ingeniería Industrial carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones donde se realizará el estudio e implementación del demodulador digital 16QAM.

La intención de este proyecto es buscar la manera de que el estudiante optimice tiempo y recursos al momento del armado del circuito y le permita conllevar lo aprendido teóricamente en clase complementándolo con la práctica de laboratorio, el demodulador estará conformado por elementos electrónicos básicos los cuales el estudiante podrá

visualizarlos y a su vez interaccionar con ellos comprendiendo cada una de las funciones que estos realizan.

Por medio de este proyecto de implementación se realizará.

- a. Se realizará un análisis e investigación bibliográfica sobre el funcionamiento de la demodulación 16QAM.
- b. Implementación y prueba del demodulador digital 16QAM realizado con componentes electrónicos previamente investigados y plasmados en una placa de circuito impreso PCB.
- c. Se añadirá a este proyecto una guía de uso para el manejo del demodulador digital.

1.5 Tipo de estudio

Para el presente trabajo se presentarán distintos tipos de estudio para el desarrollo de la investigación e implementación los cuales son:

1.5.1. Bibliográfico

Esta investigación tiene un componente bibliográfico debido a que se necesitará recopilar la suficiente información de diversas fuentes, estas fuentes deben de ser confiables es por ello que se utilizarán también uso de tesis basadas en demodulaciones digitales, o también de libros dedicados a los sistemas de comunicaciones digitales y electrónica especialmente dirigidos a sistemas de modulación y demodulación con la finalidad de determinar el diseño o esquema que se utilizarán para la implementación de este proyecto.

1.5.2. Experimental

Para llevar a cabo la implementación del demodulador digital 16QAM se hará uso del laboratorio de Networking de la carrera Ingeniería en teleinformática, además del equipo NI Elvis para probar cada una de las etapas del demodulador con la ayuda de computadores personales.

1.5.3. Aplicada

Esta metodología consiste en utilizar todos los conocimientos ya sean estos teóricos y prácticos que adquirimos en cada una de las materias aprendidas a lo largo de nuestra etapa universitaria basadas al enfoque de proyecto con el fin de resolver la problemática propuesta

Capítulo II

Marco teórico

2.1 Antecedentes

En los últimos años, la tecnología en la educación se ha convertido en una actividad de aprendizaje interdisciplinaria basada en proyectos que se enfoca principalmente en matemáticas, ciencia y tecnología y ofrece importantes nuevos beneficios para la educación en todos los niveles (Sousa, 2018).

La Tecnología cada día va avanzando con el fin de minimizar horas de trabajo en las diferentes industrias, las telecomunicaciones es una materia que va ayudar a las estudiantes que innoven sus destrezas y habilidades, realizando diferentes proyectos que ayudan a ponerlos en prácticas, cuando se tenga que automatizar ciertos procesos que en la actualidad se está utilizando.

Dentro de los registros bibliográficos que reposan en la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería Industrial en la carrera de Ingeniería en Teleinformática de la Universidad de Guayaquil, no se logró encontrar trabajos investigativos que podrían hacer referencia al tema de demodulaciones M-aria lo cual provocó mucho interés en llevar a cabo dicho proyecto de estudio.²

En estos momentos se presentan múltiples experiencias en el modo de aplicación de los sistemas de comunicaciones en los institutos de educación superior tomando en consideración que es la nueva realidad en los procesos de formación académica añadiendo a esto el impacto que genera los sistemas de comunicaciones digitales en el área de telecomunicaciones lo cual resulta imprescindible tener los suficientes conocimientos teóricos para luego llevarlo a cabo en la implementación práctica.

Según (Espinoza, 2017) manifiesta que haciendo el uso de la tecnología de hoy en día el estudiante aprende, de esta manera perfecciona los diferentes procesos que asume el aprendizaje y rendimiento con el fin de disminuir la brecha que existe entre los conocimientos teóricos y experimentales, se menciona también que “el aspecto práctico levanta el interés, lo cual genera mayor curiosidad en su deseo de mejorar lo cual supone investigación, evaluación para tener una mayor conceptualización de los conocimientos que este adquiera”.

Según (Morales, 2015) indica que “Introducir herramientas tecnológicas en el curso de la enseñanza-aprendizaje siempre tendrá más relevancia, en la generación actual de estudiantes ya que de esta manera se implica más su investigación y los motiva a contribuir en proyectos de investigación”.

Los Institutos de educación Superior (IES) en el Ecuador por medio de la intervención del CES tienen como objetivo institucional implementar e innovar con el uso de herramientas pedagógicas que permitan brindar a los estudiantes excelencia educativa respaldándose en normas de calidad. Según como lo plantea (Rojas, 2019) la norma ISO 9001 en la educación superior se requiere de recursos tangibles como laboratorios especializados lo cual permitirá el fortalecimiento institucional empleando métodos teóricos como el histórico lógico y el analítico sintético y del nivel empírico como el análisis y la observación generando satisfacción a los estudiantes con múltiples aspiraciones al sector laboral.

En los últimos años el interés de la comunidad universitaria por encontrar formas de optimizar la enseñanza ha optado por la metodología práctica lo cual complementa la teórica aprendida, en este sentido (Jose Caro, 2018) refiere que las prácticas experimentales es un método científico que por múltiples razones se deben realizar dentro de laboratorios visualizando cada uno de los resultados con instrumentos apropiados de medición, entre los que se incluyen osciloscopios y multímetros, ya que las prácticas permiten a los estudiantes integrarse en los equipos de trabajo y ser responsables en la entrega de resultados individuales por bien de los grupos de trabajos.

Es por ello que estas habilidades son muy importantes para formar a los estudiantes en su vida estudiantil y profesional en las ciencias de la ingeniería, al momento de resolver un problema dentro del laboratorio los grupos de trabajo deben contar con el apoyo del docente o encargado del laboratorio para lograr una mejor disolución del problema. Se trata mayoritariamente de propuestas innovadoras, muy interesantes y creativas, que tienden a romper con la inercia tradicional que caracteriza la educación superior y en la que persiste la enseñanza centrada en la adquisición de conocimientos y centrada en el docente.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Software

El software es un conjunto de instrucciones, datos o programas utilizados para operar computadoras y ejecutar tareas específicas. Enfrente del hardware, que describe los aspectos físicos de una computadora, el software es un término genérico utilizado para referirse a aplicaciones, scripts y programas que se ejecutan en un dispositivo (Garcia, 2018). El software puede considerarse como la parte variable de una computadora y el hardware como la parte invariable.

El software a menudo se divide en software de aplicación, o programas descargados por el usuario que satisfacen un deseo o necesidad, y software de sistema, que incluye sistemas operativos y cualquier programa que admita software de aplicación (Page, 2017). El término middleware a veces se usa para describir la programación que media entre la aplicación y el software del sistema o entre dos tipos diferentes de software de aplicación. Por ejemplo, el middleware podría usarse para enviar una solicitud de trabajo remota desde una aplicación en una computadora que tiene un tipo de sistema operativo a una aplicación en una computadora con un sistema operativo diferente.

Una categoría adicional de software es la utilidad, que es un programa pequeño y útil con capacidad limitada. Algunas utilidades vienen con sistemas operativos. Al igual que las aplicaciones, las utilidades tienden a instalarse por separado y pueden usarse independientemente del resto del sistema operativo (Zuse, 2019).

Del mismo modo, los applets son pequeñas aplicaciones que a veces vienen con el sistema operativo como accesorios. También se pueden crear de forma independiente utilizando Java u otros lenguajes de programación.

El software se puede comprar o adquirir de las siguientes maneras:

- Shareware: generalmente se distribuye de forma gratuita o de prueba con la intención de venta cuando finaliza el período.
- Liteware: un tipo de shareware con algunas capacidades deshabilitadas hasta que se compra la versión completa.
- Freeware: se puede descargar de forma gratuita, pero con restricciones de derechos de autor.
- Software de dominio público: se puede descargar de forma gratuita sin restricciones.
- Código abierto: un tipo de software en el que se proporciona el código fuente y los usuarios aceptan no limitar la distribución de las mejoras.

Hoy, gran parte del software comprado, shareware y freeware se descarga directamente a través de Internet. En estos casos, el software se puede encontrar en sitios web de proveedores específicos o proveedores de servicios de aplicaciones (Mall, 2019). Sin embargo, el software también puede empaquetarse en CD-ROM o disquetes y venderse físicamente a un consumidor.

Algunos tipos generales de software de aplicación incluyen:

- Software de productividad, que incluye herramientas como procesadores de texto y hojas de cálculo.

- Software de presentación, también conocido como slideware.
- Software de gráficos.
- CAD / CAM.
- Mercado vertical o software específico de la industria, por ejemplo, aplicaciones bancarias, de seguros y minoristas.

Un tipo de software especializado que permite que se ejecute el hardware es el firmware. Este es un tipo de programación que se incrusta en un área especial de la memoria no volátil del hardware, como un microprocesador o memoria de solo lectura, de una sola vez o con poca frecuencia, de modo que a partir de entonces parece ser parte del hardware (Izaguirre, Hernandez, Martinez, & Flores, 2016).

2.2.2 Informática: Definición

Hoy en día la informática es un conjunto de conocimiento, que benefician a cada una de las personas, debido que gracias a ella podemos obtener y transmitir información de manera rápida, sencilla, eficiente y eficaz. La informática tiene como propósito potenciar las capacidades del pensamiento lógico, memoria y comunicación.

La informática según Carmen de Pablos, Joaquín López, Hermoso Santiago, & Medina, (2014) es entendida por otros especialistas como una ciencia encargada del estudio y desarrollo de máquinas para tratar y transmitir información, así como, de los métodos para procesarla. Aunque también podríamos decir de ella que es un conjunto de conocimiento, tanto teóricos como prácticos, sobre cómo se construye como funciona y como se utilizan los electrónicos.

El propósito de esta aplicación es organizar la información a diario en todas las dependencias de manera que se puedan generar de manera eficaz con calidad y calidez, para agilizar los procesos al momento de consultar las notas. Este sistema administra información de procesos de apoyo para el bienestar docente.

Sin embargo Crosby, Ivacevich, Lorenzi , & Skinner (2015) propone: “La gestión es el proceso emprendido por una o más personas para coordinar las actividades laborales de otras personas, con la finalidad de lograr resultados de alta calidad que cualquier otra persona, trabajando sola, no podría alcanzar” (pág. 65)

El autor trata de que la gestión en la educación es de gran importancia, ya que facilita las actividades laborales a las demás personas, agilizando la labor de manera rápida y eficaz con calidad y calidez.

Según Inciarte, Marcano, & Reyes (2016) en el contexto administrativo:

Se entiende como un sistema abierto, flexible, dinámico y continuo, conformado por procesos, componentes, subcomponentes y principios de gestión que orientan, equilibran y hacen posible el desarrollo del currículo a través de la realización de acciones dentro de ciertas normas, valores y procedimientos...

El desarrollo del informe de gestión basado en indicadores tiene por objeto realizar un monitoreo, seguimiento y evaluación constante de la información recolectada en cada periodo académico de los programas académicos de campo, información útil para la toma de decisiones que contribuye a mejorar los procesos de planeación y facilita el cumplimiento de los propósitos de formación para cada práctica. (Cárdenas Llanos, Margin Martínez, & Rodríguez Ibagué, 2015)

2.2.3 Ciclo de vida de los sistemas de información

Desde los principios de los setenta hasta la actualidad se ha escrito mucha literatura sobre los principios a seguir durante el desarrollo de un sistema de información

- Implicar a los usuarios de sistema
- Utilizar una estrategia de resolución de problemas
- Establecer estándares
- Gestionar los procesos y el proyecto
- Justificar el sistema como una inversión de capital
- No tener miedo de revisar o cancelar algún objetivo
- Dividir los problemas, y resolverlos uno a uno
- Diseñar sistemas con previsión de crecimiento y cambio

2.2.4 Importancia de los sistemas informáticos

La implementación de los Sistema de información de las diferentes instituciones públicas y privadas permitirá automatizar los procesos, y ayudará a agilizar los objetivos planeados.

Tener conocimiento acerca de los sistemas de información es esencial dado que, en el área de sistemas, se pueden producir y ayudar a las gerencias empresariales llegando a tener una buena manipulación, administración y toma de decisiones.

Los sistemas de información se han ido convirtiendo en algo fundamental en las empresas, tal como la contabilidad, finanzas, mercadeo, o producción. Las grandes empresas exitosas se han concientizado en la importancia del manejo de las tecnologías de

información. Los beneficios se pueden medir a nivel intangible y tangible de acuerdo a la organización puede hacer diferentes tipos de análisis desde un punto de vista empresarial comercial o un tipo académico donde se pretender prestar un servicio social como lo es la salud o educación.

2.2.5 Compilador PIC C

Este compilador de C está completamente optimizado para su uso con microcontroladores PIC. Las funciones integradas hacen que la codificación del software sea muy fácil. Basado en K&R original, el entorno de desarrollo C integrado ofrece a los desarrolladores un método rápido para producir código eficiente a partir de un lenguaje de alto nivel fácil de mantener (Reinoso, Mena, Pillatasig, & Sanchez, 2018).

Este entorno de desarrollo C integrado ofrece a los desarrolladores la capacidad de producir rápidamente un código muy eficiente a partir de un lenguaje de alto nivel fácil de mantener. El compilador incluye funciones integradas para acceder al hardware PIC como READ_ADC para leer un valor del convertidor A / D. La E / S discreta se maneja describiendo las características del puerto en un PRAGMA (Andrango, Fonseca, Ortiz, & Solorzano, 2016).

Funciones como INPUT y OUTPUT_HIGH mantendrán adecuadamente los registros de tres estados. Las variables que incluyen estructuras pueden asignarse directamente a la memoria, como los puertos de E / S para representar mejor la estructura del hardware en C (Boche, 2019). La velocidad del reloj del microcontrolador se puede especificar en un PRAGMA para permitir que las funciones integradas se retrasen durante un número determinado de microsegundos o milisegundos.

Las funciones de E / S en serie permiten utilizar funciones estándar como GETC y PRINTF para RS-232 como E / S. El transceptor en serie de hardware se utiliza para piezas aplicables cuando sea posible. Para todos los demás casos, el compilador genera un transceptor serial de software (Barros & Tipan, 2017). Los operadores estándar de C y las funciones especiales incorporadas están optimizados para producir código muy eficiente para las funciones de bit y E / S. Las funciones pueden implementarse en línea o por separado. Los parámetros de función se pasan en registros reutilizables.

Las funciones en línea con parámetros de referencia se implementan eficientemente sin sobrecarga de memoria. Durante el proceso de vinculación, se analiza la estructura del programa, incluido el árbol de llamadas. Las funciones que se llaman entre sí con frecuencia se agrupan en la misma página. Las llamadas a través de las páginas son manejadas

automáticamente por la herramienta transparente para el usuario. Las funciones pueden implementarse en línea o por separado.

La RAM se asigna de manera eficiente mediante el uso del árbol de llamadas para determinar cómo se pueden reutilizar las ubicaciones. Las cadenas y tablas constantes se guardan en la ROM del dispositivo (Corrales, 2016). Los archivos de salida hexadecimal y de depuración son seleccionables y compatibles con emuladores y programadores populares, incluido MPLAB para la depuración a nivel de origen. El paquete profesional (PCW) proporciona ambos compiladores en un potente entorno de Windows.

2.2.5.1 Capacidades

- Arregla hasta 5 subíndices
- Las estructuras y las uniones pueden estar anidadas.
- Campos de bits personalizados (1-8 bits) dentro de las estructuras.
- Tipos Enumerados,
- Variables constantes, matrices y cadenas.
- Soporte de parámetros de función completa (cualquier número).
- Soporte para los parámetros de referencia de C ++.
- Bibliotecas integradas para la biblioteca de E / S serie RS232, E / S, I2C, E / S discretas y demoras de precisión.
- Se integra con MPLAB y otros simuladores / emuladores para la depuración a nivel fuente.
- El archivo hexadecimal estándar y los archivos de depuración garantizan la compatibilidad con todos los programadores.
- Printf formateado permite formatear y visualizar fácilmente en hexadecimal o decimal.
- La implementación eficiente de la función permite llamadas más profundas que la pila de hardware.
- Acceso al hardware desde funciones C fáciles de usar, temporizadores, A / D, E2, SSP, PSP, I2C y más.
- Tipos de 1,8 y 16 bits.
- El código de ensamblaje se puede insertar en cualquier lugar de la fuente y puede hacer referencia a variables C.
- La vinculación automática maneja múltiples páginas de códigos.

- Procedimientos en línea compatibles; Linker determina automáticamente la arquitectura óptima o puede especificarse manualmente.
- Las directivas del compilador determinan si los registros de tres estados se actualizan en cada E / S
- Las constantes (incluidas las cadenas y las matrices) se guardan en la memoria del programa.
- El tipo estándar de un bit (Short Int) permite al compilador generar código eficiente orientado a Bit.
- #BIT y #BYTE permiten que las variables C se coloquen en direcciones absolutas para asignar el registro a las variables C.
- Los parámetros de referencia pueden usarse para mejorar la legibilidad del código y la eficiencia del procedimiento en línea.
- Las ventanas especiales muestran el mapa de memoria RAM, la lista de C / Assembly y el árbol de llamadas.
- Procedimientos de interrupción compatibles con PCM. El compilador genera todo el código de inicio y limpieza, así como también identifica el procedimiento de interrupción correcto que se llamará.
- Actualizaciones vía módem por 30 días incluidas.

2.2.6 Proteous design suit

La aplicación Proteous TM diseñada por los desarrolladores de la compañía Labcenter Electronics es un programa de captura esquemática con capacidad para simular no solo componentes analógicos y digitales estándar, como se encuentra en muchos paquetes de software similares, sino que también puede simular los componentes programables como microcontroladores, pantallas LCD incorporadas controladores gráficos o componentes con protocolos de comunicación específicos (Cando & Lizano, 2017).

Proteous es una herramienta de software de simulación y diseño desarrollada por Labcenter Electronics para el diseño de circuitos electrónicos. También posee la función de dibujo 2D CAD. Es un paquete de software que contiene esquemas, simulación y diseño de PCB (Anderson, 2019).

- ISIS es el software utilizado para dibujar esquemas y simular los circuitos en tiempo real. La simulación permite el acceso humano durante el tiempo de ejecución, proporcionando así la simulación en tiempo real.

- ARES se utiliza para el diseño de PCB. Tiene la función de ver la salida en vista 3D de la PCB diseñada junto con los componentes.
- El diseñador también puede desarrollar dibujos 2D para el producto.

Proteous se utiliza para el modelado de sistemas virtuales, como se indica en el sitio web y la documentación de la empresa. Se merece su nombre, uno podría simular todo tipo de componentes y sistemas electrónicos y electromecánicos mientras observa el comportamiento animado en la pantalla.

Es una herramienta muy útil para crear presentaciones animadas del comportamiento del circuito a los estudiantes, incluso si este fuera su único propósito, combinado con la entrada esquemática estándar y la funcionalidad de diseño de PCB. Pero Proteous VSM es mucho más que eso, como se mostrará (Anderson, 2019). Características muy interesantes es que toda esta animación de circuito también puede ocurrir bajo el control de software, pero se almacena justo en el medio del diagrama esquemático.

También hay una gran cantidad de componentes que se pueden usar desde la biblioteca, al igual que si se hubieran pedido al proveedor de componentes electrónicos. Donde tiene sentido, muchos de ellos están animados. Se admiten muchos componentes estándar, y es impresionante ver el ejemplo proporcionado por Labcenter: el programa de ajedrez GNU portado y ejecutándose en Linux en el ARM7 virtual, dibujando el tablero de ajedrez en la pantalla gráfica LCD de pantalla táctil con controlador estándar de la industria.

Por supuesto, la velocidad disponible dentro del entorno de simulación depende de la PC host y el microcontrolador simulado. La simulación siempre será precisa, pero la sensación de comportamiento en tiempo real dependerá de los requisitos de la aplicación. Obviamente, no es lo mismo usar un microcontrolador PIC con reloj de 100 kHz o un controlador ARM7 funcionando a 70 MHz (Cando & Lizano, 2017).

También es importante mencionar aquí que las herramientas de desarrollo de software utilizadas en el proceso son las mismas que se encuentran en el entorno de la industria. No hay límite, cualquier herramienta que genere un archivo HEX de salida adecuado para la programación ROM o FLASH podría usarse si solo quisiéramos un código ejecutable. El esquema de Proteous VSM aún podría ser animado paso a paso, o podría ejecutarse a la velocidad máxima admitida, pero para la depuración simbólica necesitamos algo más.

2.2.6.1 Características

ISIS tiene una amplia gama de componentes en su biblioteca. Cuenta con fuentes, generadores de señales, herramientas de medición y análisis como osciloscopio, voltímetro,

amperímetro, etc., sondas para monitoreo en tiempo real de los parámetros del circuito, interruptores, pantallas, cargas como motores y lámparas, componentes discretos como resistencias, condensadores, inductores., transformadores, circuitos integrados digitales y analógicos, interruptores de semiconductores, relés, microcontroladores, procesadores, sensores, entre otras cosas (Verstappe, 2019).

ARES ofrece además diseño de PCB de hasta 14 capas internas, con montaje en superficie y paquetes de orificios pasantes. Está integrado con las huellas de diferentes categorías de componentes como circuitos integrados, transistores, encabezados, conectores y otros componentes discretos. Ofrece opciones de enrutamiento automático y manual para el Diseñador de PCB. El esquema dibujado en el ISIS se puede transferir directamente ARES.

2.2.7 Lenguaje de programación C

(Olarte Gervacio, 2018) Es un lenguaje formal diseñado para realizar procesos que pueden ser llevados a cabo por maquinas como las computadoras. Pueden usarse para crear programas que controlen el comportamiento físico y lógico de una máquina, para expresar algoritmos con precisión.

El lenguaje de programación C es generalizado tanto en informática como en ingeniería de software comercial. El lenguaje fue diseñado en los años setenta y se origina en el entorno del sistema operativo Unix, pero ahora existe en casi todas las plataformas. Es un lenguaje eficiente e imperativo desarrollado para el programador; Una decisión de diseño subyacente fue que, si el programador sabe lo que está haciendo, el lenguaje no debe evitar que lo logre. C admite funciones recursivas, punteros multinivel, matrices multidimensionales, estructuras y uniones definidas por el usuario, un operador de dirección, asignación de memoria en tiempo de ejecución y punteros de función. Además, la sustitución de macros y la compilación separada son partes integradas del lenguaje. Tiene un conjunto pequeño pero flexible de declaraciones y una rica variedad de operadores. (Andersen, 1994)

Las aplicaciones de bajo y alto nivel se pueden programar en C. Las estructuras definidas por el usuario permiten una abstracción de datos conveniente y, por medio de campos de bits, se puede hacer coincidir un puerto de un dispositivo. La manipulación de bajo nivel de punteros y bytes permite una implementación eficiente de estructuras de datos y características dependientes de la máquina permiten el desarrollo de sistemas operativos y otras aplicaciones cercanas a la arquitectura. Esto hace que el análisis y la optimización del programa sean difíciles, pero es una razón importante para el éxito del lenguaje (Ritchie, 1993). Recientemente, C se ha convertido en un lenguaje objetivo popular para compiladores

de lenguaje de alto nivel, por lo que la optimización eficiente y automática de C sigue teniendo importancia.

C # es un lenguaje híbrido de C y C ++, es un lenguaje de programación de Microsoft desarrollado para competir con el lenguaje Java de Sun. C # es un lenguaje de programación orientado a objetos utilizado con servicios web basados en XML en la plataforma .NET y diseñado para mejorar la productividad en el desarrollo de aplicaciones web.

C # cuenta con seguridad de tipos, recolección de basura, declaraciones de tipo simplificadas, compatibilidad con versiones y escalabilidad, y otras características que hacen que el desarrollo de soluciones sea más rápido y más fácil, especialmente para servicios COM + y web. Los críticos de Microsoft han señalado las similitudes entre C # y Java.

2.2.7.1 Ventajas

- No importa el orden en que hayan sido definidas las clases ni las funciones
- Soporta definición de clases dentro de otras
- No se pueden utilizar valores no booleanos (enteros, como flotantes) par condicionales. Es mucho más limpio y menos propenso a errores
- Eliminación del uso de punteros, en c# no se necesitan

2.2.7.2 Desventajas

Se deriva del uso de este lenguaje de programación son que en primer lugar se tiene que conseguir una versión reciente de visual studio.net

2.2.8 Estructura del programa

Los conceptos organizacionales clave en C # son programas, espacios de nombres, tipos, miembros y ensamblajes. Los programas de C # consisten en uno o más archivos fuente. Los programas declaran tipos, que contienen miembros y se pueden organizar en espacios de nombres. Las clases y las interfaces son ejemplos de tipos. Los campos, métodos, propiedades y eventos son ejemplos de miembros. Cuando se compilan los programas C #, se empaquetan físicamente en ensamblajes. Los ensamblajes suelen tener la extensión de archivo .exe o .dll, dependiendo de si implementan aplicaciones o bibliotecas.

2.2.9 Tipos y variables

Hay dos tipos de tipos en C #: tipos de valor y tipos de referencia. Las variables de los tipos de valor contienen directamente sus datos, mientras que las variables de los tipos de referencia almacenan referencias a sus datos, estos últimos se conocen como objetos. Con los tipos de referencia, es posible que dos variables hagan referencia al mismo objeto y, por lo tanto, es posible que las operaciones en una variable afecten al objeto referenciado por la otra variable. Con los tipos de valor, cada una de las variables tiene su propia copia de los datos, y no es posible que las operaciones de una afecten a la otra (excepto en el caso de las variables de parámetros de referencia y de salida).

Los tipos de valor de C # se dividen en tipos simples, tipos de enumeración, tipos de estructura y tipos anulables, y los tipos de referencia de C # se dividen en tipos de clase, tipos de interfaz, tipos de matriz y tipos de delegado.

2.2.10 Modulación de amplitud en cuadratura QAM

Modulación de amplitud en cuadratura, QAM utiliza componentes de amplitud y fase para proporcionar una forma de modulación que puede proporcionar altos niveles de eficiencia de uso del espectro (Sanabria & Nieva, 2018).

QAM, la modulación de amplitud en cuadratura se ha utilizado para algunas transmisiones analógicas, incluidas las transmisiones estéreo AM, pero es para aplicaciones de datos en las que ha adquirido importancia. Es capaz de proporcionar una forma de modulación altamente efectiva para los datos y, como tal, se usa en todo, desde teléfonos celulares hasta Wi-Fi y casi cualquier otra forma de sistema de comunicaciones de datos de alta velocidad.

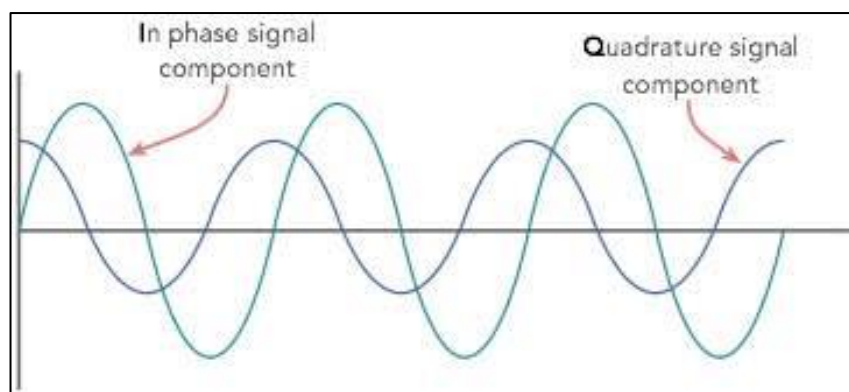


Figura 1 Modulación de amplitud en cuadratura. *Elaborado por el autor*

Modulación de amplitud en cuadratura, QAM es una señal en la que dos portadoras desplazadas en fase 90 grados (es decir, seno y coseno) se modulan y combinan. Como

resultado de su diferencia de fase de 90° , están en cuadratura y esto da lugar al nombre. A menudo, una señal se llama señal en fase o "I", y la otra es la señal de cuadratura o "Q".

La señal global resultante que consiste en la combinación de las portadoras I y Q contiene variaciones de amplitud y fase. En vista del hecho de que tanto la amplitud como las variaciones de fase están presentes, también puede considerarse como una mezcla de amplitud y modulación de fase (Sanabria & Nieva, 2018).

Una motivación para el uso de la modulación de amplitud en cuadratura proviene del hecho de que una señal modulada en amplitud recta, es decir, una banda lateral doble incluso con una portadora suprimida ocupa el doble del ancho de banda de la señal de modulación. Esto es muy derrochador del espectro de frecuencia disponible. QAM restablece el equilibrio colocando dos señales portadoras suprimidas de doble banda lateral independientes en el mismo espectro que una señal portadora suprimida de doble banda lateral ordinaria.

2.2.11 QAM analógico y digital

Modulación de amplitud en cuadratura, QAM puede existir en lo que puede denominarse formatos analógicos o digitales. Las versiones analógicas de QAM se usan típicamente para permitir que se transmitan múltiples señales analógicas en una sola portadora. Por ejemplo, se utiliza en los sistemas de televisión PAL y NTSC, donde los diferentes canales proporcionados por QAM le permiten transportar los componentes de la información de color o croma. En aplicaciones de radio, se utiliza un sistema conocido como C-QUAM para radio estéreo AM. Aquí, los diferentes canales permiten que los dos canales necesarios para el estéreo se transporten en la única portadora.

Los formatos digitales de QAM a menudo se denominan "QAM cuantizados" y se utilizan cada vez más para las comunicaciones de datos a menudo dentro de los sistemas de radiocomunicaciones. Los sistemas de comunicaciones por radio que van desde tecnología celular como en el caso de LTE hasta sistemas inalámbricos que incluyen WiMAX y Wi-Fi 802.11 utilizan una variedad de formas de QAM, y el uso de QAM solo aumentará en el campo de las comunicaciones por radio.

2.2.12 Conceptos básicos de QAM digital / cuantizado

La modulación de amplitud en cuadratura, QAM, cuando se usa para la transmisión digital para aplicaciones de comunicaciones de radio es capaz de transportar velocidades de datos más altas que los esquemas modulados en amplitud ordinarios y los esquemas modulados en fase.

Las señales básicas exhiben solo dos posiciones que permiten la transferencia de 0 o 1. Usando QAM hay muchos puntos diferentes que pueden usarse, cada uno con valores definidos de fase y amplitud. Esto se conoce como diagrama de constelación. A las diferentes posiciones se les asignan valores diferentes, y de esta manera una sola señal puede transferir datos a una velocidad mucho mayor.

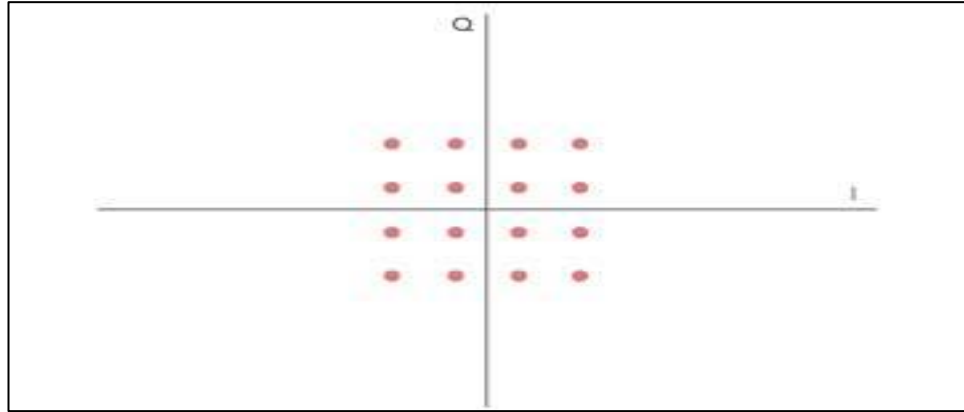


Figura 2 Diagrama de constelación. *Elaborado por el autor*

Como se muestra arriba, los puntos de constelación generalmente están dispuestos en una cuadrícula cuadrada con el mismo espacio horizontal y vertical. Aunque los datos son binarios, las formas más comunes de QAM, aunque no todas, son donde la constelación puede formar un cuadrado con el número de puntos igual a una potencia de 2, es decir, 4, 16, 64, es decir, 16QAM, 64QAM, etc. (Castro, 2019).

Al utilizar formatos de modulación de orden superior, es decir, más puntos en la constelación, es posible transmitir más bits por símbolo. Sin embargo, los puntos están más juntos y, por lo tanto, son más susceptibles al ruido y a los errores de datos.

La ventaja de pasar a los formatos de orden superior es que hay más puntos dentro de la constelación y, por lo tanto, es posible transmitir más bits por símbolo. La desventaja es que los puntos de constelación están más juntos y, por lo tanto, el enlace es más susceptible al ruido. Como resultado, las versiones de orden superior de QAM solo se usan cuando hay una relación señal / ruido suficientemente alto.

Para proporcionar un ejemplo de cómo opera QAM, el diagrama de constelación a continuación muestra los valores asociados con los diferentes estados para una señal 16QAM. De esto se puede ver que un flujo continuo de bits puede agruparse en cuatro y representarse como una secuencia (Hidalgo, 2019).

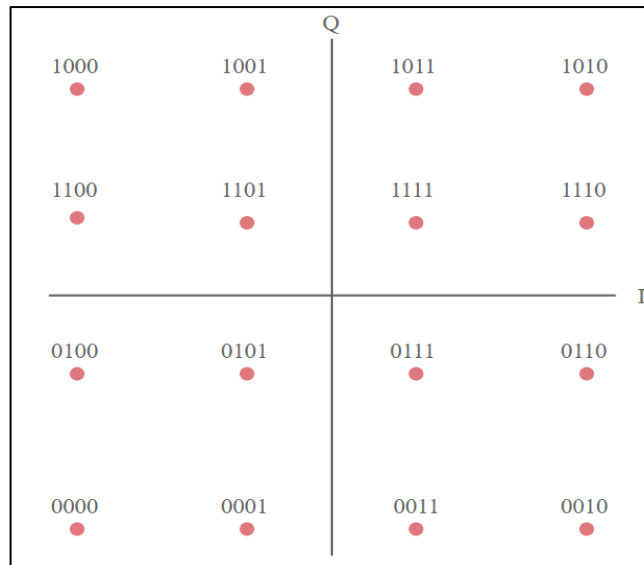


Figura 3 Diagrama de constelación para una señal 16QAM. *Elaborado por el autor*

Normalmente, el QAM de orden más bajo encontrado es 16QAM. La razón de que este sea el orden más bajo que se encuentra normalmente es que 2QAM es lo mismo que la codificación de desplazamiento de fase binaria, BPSK, y 4QAM es lo mismo que la codificación de desplazamiento de fase en cuadratura, QPSK.

Además, 8QAM no se usa ampliamente. Esto se debe a que el rendimiento de la tasa de error de 8QAM es casi el mismo que el de 16QAM: es solo aproximadamente 0.5 dB mejor y la tasa de datos es solo tres cuartos de la de 16QAM (Hidalgo, 2019). Esto surge de la forma rectangular, más que cuadrada, de la constelación.

2.2.13 Ventajas y desventajas de QAM

Aunque QAM parece aumentar la eficiencia de la transmisión para los sistemas de comunicaciones de radio al utilizar variaciones de amplitud y fase, tiene varios inconvenientes. La primera es que es más susceptible al ruido porque los estados están más juntos, de modo que se necesita un nivel de ruido más bajo para mover la señal a un punto de decisión diferente. Los receptores para uso con modulación de fase o frecuencia pueden usar amplificadores limitantes que pueden eliminar cualquier ruido de amplitud y, por lo tanto, mejorar la dependencia del ruido. Este no es el caso con QAM.

La segunda limitación también está asociada con el componente de amplitud de la señal. Cuando una señal modulada en fase o frecuencia se amplifica en un transmisor de radio, no hay necesidad de usar amplificadores lineales, mientras que cuando se usa QAM que contiene un componente de amplitud, se debe mantener la linealidad. Desafortunadamente,

los amplificadores lineales son menos eficientes y consumen más energía, y esto los hace menos atractivos para las aplicaciones móviles.

2.2.14 QAM vs PSK y otros modos

Al decidir sobre una forma de modulación, vale la pena comparar AM vs PSK y otros modos mirando lo que cada uno tiene para ofrecer.

Como existen ventajas y desventajas de usar QAM, es necesario comparar QAM con otros modos antes de tomar una decisión sobre el modo óptimo. Algunos sistemas de radiocomunicaciones cambian dinámicamente el esquema de modulación dependiendo de las condiciones y requisitos del enlace: nivel de señal, ruido, velocidad de datos requerida, etc.

2.2.15 Conceptos básicos de la teoría QAM

La teoría de la amplitud en cuadratura establece que tanto la amplitud como la fase cambian dentro de una señal QAM.

La forma básica en que se puede generar una señal QAM es generar dos señales que están 90 ° desfasadas entre sí y luego sumarlas. Esto generará una señal que es la suma de ambas ondas, que tiene una cierta amplitud resultante de la suma de ambas señales y una fase que nuevamente depende de la suma de las señales.

Si se ajusta la amplitud de una de las señales, esto afecta tanto a la fase como a la amplitud de la señal general, la fase tiende hacia la de la señal con el contenido de amplitud más alta.

Como hay dos señales de RF que se pueden modular, estas se denominan I - En fase y Q - Señales de cuadratura.

Las señales I y Q se pueden representar mediante las siguientes ecuaciones:

$$I = A \cos(\Psi) \text{ y } Q = A \sin(\Psi)$$

Se puede ver que los componentes I y Q están representados como coseno y seno. Esto se debe a que las dos señales están desfasadas 90 ° entre sí. Esta expresión muestra que la forma de onda resultante es una señal periódica para la cual la fase se puede ajustar cambiando la amplitud, ya sea I o Q. Esto también puede provocar un cambio de amplitud.

En consecuencia, es posible modular digitalmente una señal portadora ajustando la amplitud de las dos señales mixtas., la modulación de amplitud en cuadratura proporciona algunos beneficios significativos para la transmisión de datos. A medida que 16QAM pasa

a 64QAM, 64QAM a 256 QAM y así sucesivamente, se pueden lograr velocidades de datos más altas, pero a costa del margen de ruido.

Muchos sistemas de transmisión de datos migran entre los diferentes órdenes de QAM, 16QAM, 32QAM, etc., dependiendo de las condiciones del enlace. Si hay un buen margen, se pueden usar órdenes más altas de QAM para obtener una velocidad de datos más rápida, pero si el enlace se deteriora, se usan órdenes más bajas para preservar el margen de ruido y garantizar que se conserve una tasa de error de bits baja.

A medida que aumenta el orden de QAM, la distancia entre los diferentes puntos en el diagrama de constelación disminuye y hay una mayor posibilidad de que se introduzcan errores de datos. Para utilizar los formatos QAM de orden superior, el enlace debe tener un E_b / N_0 muy bueno, de lo contrario, habrá errores de datos. Cuando el E_b / N_0 se deteriora, entonces se debe aumentar el nivel de potencia o reducir el orden QAM si el error de bit la tasa debe ser preservada.

Por consiguiente, hay un equilibrio entre la velocidad de datos y el orden de modulación QAM, la potencia y la tasa de error de bits aceptable. Si bien se puede introducir más corrección de errores para mitigar cualquier deterioro en la calidad del enlace, esto también disminuirá el rendimiento de los datos.

2.2.16 Formatos y aplicaciones QAM

QAM se encuentra en muchas aplicaciones de comunicaciones de radio y entrega de datos. Sin embargo, algunas variantes específicas de QAM se utilizan en algunas aplicaciones y estándares específicos.

Existe un equilibrio entre el rendimiento de datos y la relación señal / ruido requerida. A medida que aumenta el orden de la señal QAM, es decir, progresa de 16QAM a 64QAM, etc., aumenta el rendimiento de datos que se puede lograr en condiciones ideales. Sin embargo, la desventaja es que se requiere una mejor relación señal / ruido para lograr esto (Hidalgo, 2019).

Para algunos sistemas, el orden del formato de modulación es fijo, pero en otros donde hay un enlace bidireccional, es posible adaptar el orden de la modulación para obtener el mejor rendimiento para las condiciones de enlace dadas. El nivel de corrección de errores utilizado también se modifica. De esta manera, al cambiar el orden de modulación y la corrección de errores, la velocidad de datos se puede optimizar manteniendo la tasa de error requerida.

Para aplicaciones de transmisión doméstica, por ejemplo, 64 QAM y 256 QAM se utilizan a menudo en aplicaciones de televisión por cable digital y módem de cable. El orden de la modulación QAM debe establecerse en el transmisor, porque la transmisión es solo de una manera, y además de esto, hay miles de receptores, lo que hace imposible tener una forma de modulación dinámicamente adaptativa (Castro, 2019).

Para las muchas formas de tecnología inalámbrica y celular, es posible alterar dinámicamente el orden de modulación QAM y corrección de errores de acuerdo con las condiciones de enlace entre los dos extremos.

A medida que aumentan las velocidades de datos y aumenta la demanda de eficiencia del espectro, también lo hace la complejidad de la tecnología de adaptación de enlaces. Los canales de datos se transmiten en la señal de radio celular para permitir una adaptación rápida del enlace para cumplir con la calidad del enlace prevaleciente y garantizar el rendimiento óptimo de los datos, el equilibrio de la potencia del transmisor, el orden QAM y la corrección de errores de reenvío, etc.

2.3 NI Elvis II plus

Es un dispositivo o módulo de laboratorio educativo de ingeniería desarrollado específicamente para la academia NI Engineering Laboratory. Con este enfoque práctico, los profesores pueden ayudar a los estudiantes a aprender habilidades prácticas y experimentales. NI ELVIS II tiene un formato compacto integrado con los 12 instrumentos más usados en el laboratorio, incluyendo un osciloscopio, multímetro digital, generador de funciones, fuente de alimentación variable y analizador de Bode. Usted puede conectar la PC a estas medidas a través de capacidades USB plug-and-play y construir circuitos en una protoboard desmontable (Instruments, 2019).

Se encuentra diseñada particularmente para el desarrollo de laboratorios educativos de ingeniería y de prototipos en el área de diseño de circuitos eléctricos, electrónicos, control e instrumentación, telecomunicaciones y experimentos teniendo un enfoque práctico que permita a los docentes y estudiantes una enseñanza – aprendizaje de manera didáctica para el reforzamiento de habilidades experimentales y técnicas.

La estación de trabajo consiste en una placa base de prototipos con varias características esenciales para los experimentos de laboratorios. Al ser una herramienta tecnológica National Instruments presenta mejoras en sus dos últimas versiones orientadas a una mejor precisión en la presentación de resultados reales para las prácticas académicas como se muestra en la tabla N° 1.

Tabla 1. Familia de la serie NI ELVIS

	NI ELVIS	NI ELVIS II	NI ELVIS II+
PCI/PCMCIA	X		
SUITE DE 12 INSTRUMENTOS	X	X	X
USB PLUG AND PLAY		X	X
INTEGRACION MULTISIM		X	X
SOPORTE API		X	X
DAQmx/MAX		X	X
DMM 5 1/2 DÍGITOS		X	X
FGEN 5MHz		X	X
OSCILOSCOPIO 100MS/s		1.25 MS/s	X

Fuente: National Instruments (ni.com). Elaborado por: El autor

En la implementación de nuestro demodulador de práctica 16Qam se utilizará el equipo NI Elvis II Plus para el manejo correcto de la técnica de demodulación que se implemente, se tiene como resultado una señal de salida mostrada en el Software NI Elvis.

El equipo NI Elvis II Plus cuenta con un formato compacto integrado con varios instrumentos de medición, los cuales son usados en las prácticas que se realizan en los laboratorios tales como se detallan a continuación:

1. Osciloscopio.
2. Multímetro digital.
3. Generador de funciones.
4. Fuente de alimentación variable.
5. Analizador de bode.
6. Analizador de corriente de 2 hilos.
7. Analizador de corriente de 3 hilos.
8. Analizador de impedancia.
9. Analizador dinámico de señal.
10. Generador de onda arbitraria.
11. Lector digital.
12. Escritor digital.
13. Probadores
14. Conectores

15. Analizadores en tiempo y en frecuencia.

La herramienta NI Elvis II Plus en el campo de las telecomunicaciones, es de gran importancia el equipo de obtención de información de alta velocidad por lo que lo convierten un equipo completo de hardware/software, especializado para el desarrollo académico y profesional enfocado a estudiantes del área de ingeniería; involucrando así mismo la práctica y simulaciones en un mismo entorno proporcionando como ventaja el fácil uso e implementación de la práctica de circuito del equipo en el laboratorio.

Cabe señalar que el usuario puede conectar el equipo NI Elvis II Plus a una computadora mediante un puerto USB plug-and-play y construir circuitos en función como un protoboard desmontable.

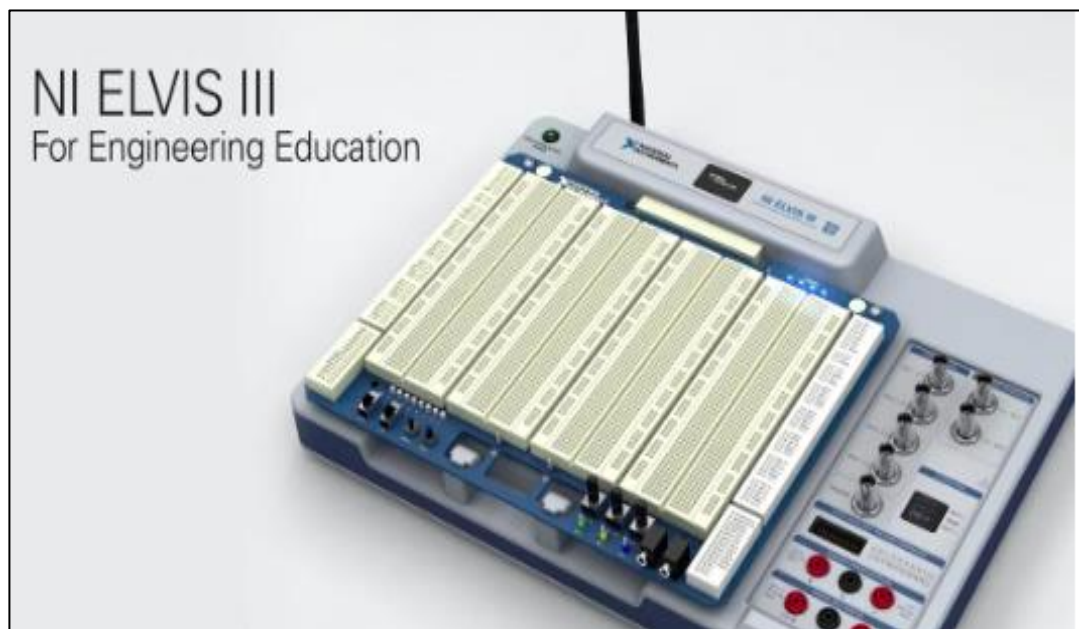


Figura 4 Módulo NI Elvis II Plus. *Información tomada de National Instruments. Elaborado por el autor.*

En la figura 4 se puede visualizar que esta herramienta es muy completa ya que incorpora hardware /software para la visualización y adquisición de datos en la duración que requiera la implementación siendo muy útil en las actividades que se llevan a cabo en el laboratorio de Networking de la carrera Ingeniería en Teleinformática.

Lo esencial que incorpora NI Elvis II Plus se puede observar que el software tiene herramientas de medición de señales en dominio tanto en el análisis del tiempo como también análisis de la frecuencia, mostradas en osciloscopio y la herramienta para ver el comportamiento del espectro. Este equipo tiene elevado coste, pero tiene la ventaja de que

no ocupa gran espacio en los laboratorios de ingenierías para la ayuda de las prácticas experimentales.

2.3.1 Composición del NI Elvis II Plus

El artefacto NI Elvis II es una plataforma experimental de función similar a la de una tarjeta protoboard la cual se conecta a la estación de trabajo y, es la que provee un área que permite generar señales de entradas y mostrar las salidas mediante el Software, también permitirá ensamblar circuitos electrónicos realizando las conexiones necesarias con los instrumentos a utilizar en la práctica.

La base de alojamiento tiene una conexión a la computadora, mediante una entrada USB conectara con el NI Elvis II Plus mediante los puertos activos. Aparte que funciona como generador arbitrario de señal, también funciona como una fuente de voltaje de energía eléctrica.

Según (Series, 2011) dispone de una gama de 12 herramientas virtuales basadas en LabView las cuales permiten el cálculo y la adquisición de datos analógicos y digitales familiarizando a los estudiantes con la utilización de instrumentos como: generador de funciones, analizador de señal dinámica, analizador de Bode, osciloscopio, generador arbitrario, multímetro, analizador de impedancia; entre otros, posibilitando aprender de manera interactiva comparando resultados entre lo teórico y lo práctico.

En la figura 5 se puede observar un sistema típico de la serie NI Elvis II+, la estación de trabajo y cada una de las conexiones que se ejecutan para el correcto funcionamiento del equipo.

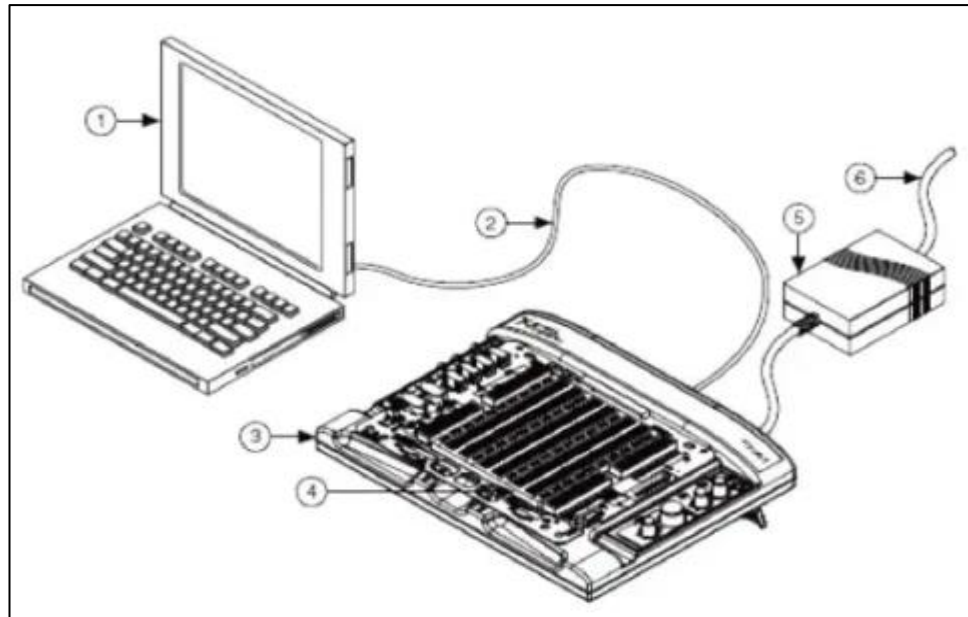


Figura 5. Sistema Típico de la serie NI Elvis II Plus. *Información tomada de National Instruments. Elaborado por el autor.*

1. Laptop
2. Cable USB
3. Estación Ni Elvis Plus+
4. Tarjeta de prototipos serie Ni Elvis Plus+
5. Fuente de Alimentación AC/DC
6. Toma de corriente

2.3.2 NI Elvismx Software

Es el Software oficialmente principal que utiliza a LabView para mostrar las diferentes herramientas de forma digital al momento de realizar la conexión entre la PC y el equipo NI ELVIS II+, este software se lo adquiere de la página oficial de National Instruments de manera libre y en su última versión disponible compatible para diversos sistemas operativos además presenta un lenguaje de programación visual contando con una interfaz de fácil uso para los estudiantes.

El NI Elvismx en su interfaz gráfica se lo puede visualizar en una ventana denominada NI Elvismx Instruments Launcher, según la figura 6, consta de menús seleccionables que incluyen 12 instrumentos como herramientas de mediciones usados al realizar las prácticas de laboratorio de ingeniería.

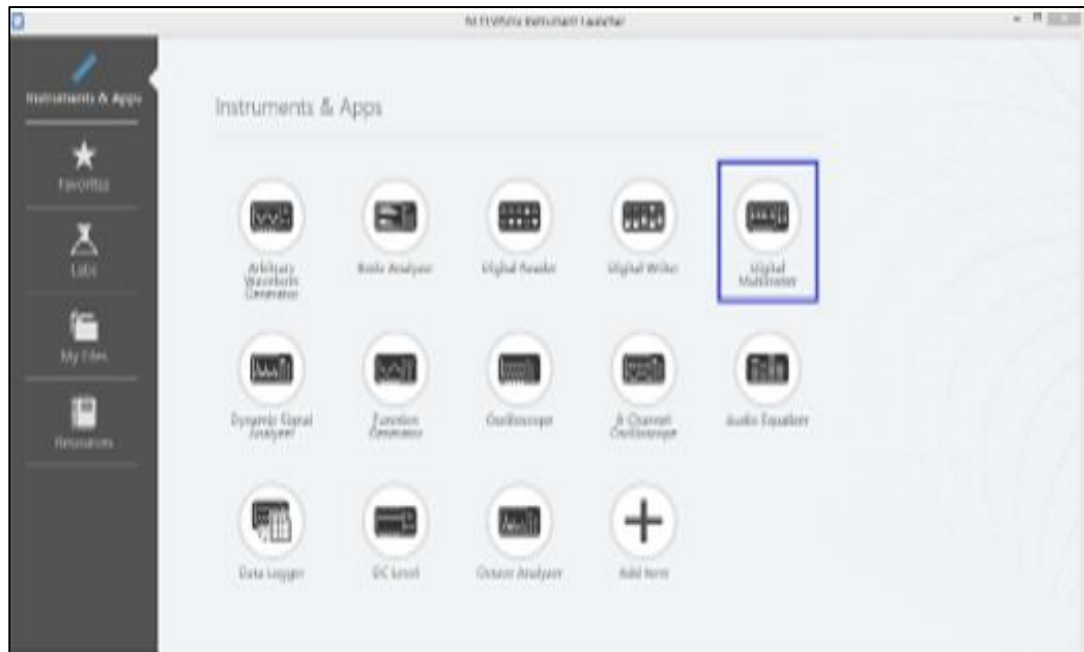


Figura 6. Interfaz Principal NI Elvismx. *Información tomada de National Instruments. Elaborado por el autor.*

2.4 Componentes Electrónicos

2.4.1 Integrado Multiplicador/sumador AD633JN

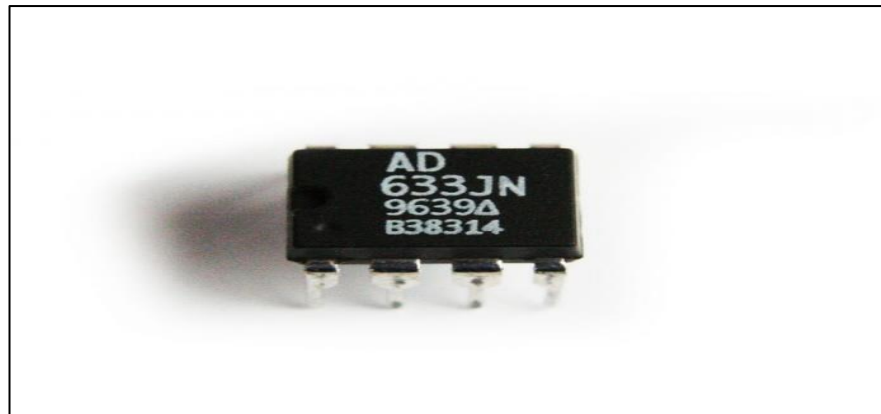


Figura 7. Integrado AD633JN. *Información tomada de Alldatasheets. Elaborado por el autor.*

El AD633jn es un circuito análogo funcionalmente completo de cuatro cuadrantes multiplicador. Incluye alta impedancia, diferencial X e Y entradas y una entrada sumadora de alta impedancia (Z). El voltaje de salida de baja impedancia es una escala completa nominal de 10 V proporcionada por un diodo Zéner enterrado. El AD633 es el primer producto que ofrece estas características en paquetes plásticos DIP y SOIC de 8 derivaciones a precios moderados.

El AD633jn está calibrado con láser con una precisión total garantizada de 2% de la escala completa. La no linealidad para la entrada Y es típicamente menor de 0.1% y el ruido referido a la salida es típicamente menor de 100 μV rms en un ancho de banda de 10 Hz a 10 kHz. Un ancho de banda de 1 MHz, velocidad de respuesta de 20 V / μs y la capacidad de manejar cargas capacitivas hacen que el AD633jn sea útil en una amplia variedad de aplicaciones donde la simplicidad y el costo son preocupaciones clave.

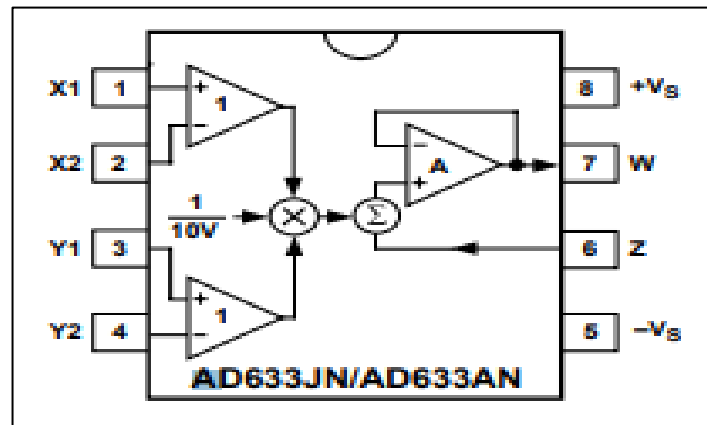


Figura 8. Diagrama interno del integrado AD633JN. Información tomada de alldatasheets. Elaborado por el autor.

La versatilidad del integrado AD633 no se ve comprometida por su simplicidad, la entrada Z proporciona acceso al amplificador de búfer de salida permitiendo al usuario sumar las salidas de dos o más multiplicadores aumentando la ganancia del multiplicador, convirtiendo el voltaje de salida a un actual y configurar una variedad de aplicaciones. Ofrece múltiples aplicaciones entre las cuales destacan multiplicación, división, Modulación/demodulación en cuadratura, detección de fase, amplificadores / atenuadores / Osciladores, filtros controlados por voltaje.

2.4.2 Filtros

Un filtro es un elemento que tiene como función separar componentes o señales que se encuentran mezclados, ser capaz de rechazar los indeseables y así darnos como resultado únicamente los deseados. En resumen, se especifica que es un dispositivo que separa, pasa o suprime un grupo de señales de una mezcla de señales en el cual funcionan en el dominio de la frecuencia, el espectro de frecuencia de la señal de salida tiene relación directa con la señal de entrada.

2.4.2.1 Filtros electrónicos

Un filtro electrónico es un sistema que tiene como función manipular y modificar el espectro de frecuencia de la señal de entrada para obtener en la salida la función que se requiera aplicar a los diferentes sistemas, entre sus diversas aplicaciones podemos referenciar:

- Demodular señales
- Ecualizar y así obtener una calidad de audio con mejor fidelidad.
- Eliminar ruido en los diferentes sistemas de comunicaciones.
- Convertir señales muestreadas en señales continuas.
- Detectar señales como la de la TV o radio.

2.4.2.2 Filtro Pasa Bajas (LPF)

Se basa en un esquema en el cual solo permite el paso de frecuencias bajas en su banda de paso y rechaza frecuencias altas en la banda de rechazo determinadas por una frecuencia de paso f_p .

Podemos decir que:

- Banda de paso: desde $f=0$ hasta $f=f_p$
- Banda de rechazo: desde $f=f_s$ hasta $f=\infty$
- Donde f_p =frecuencia de paso y f_s =frecuencia de rechazo

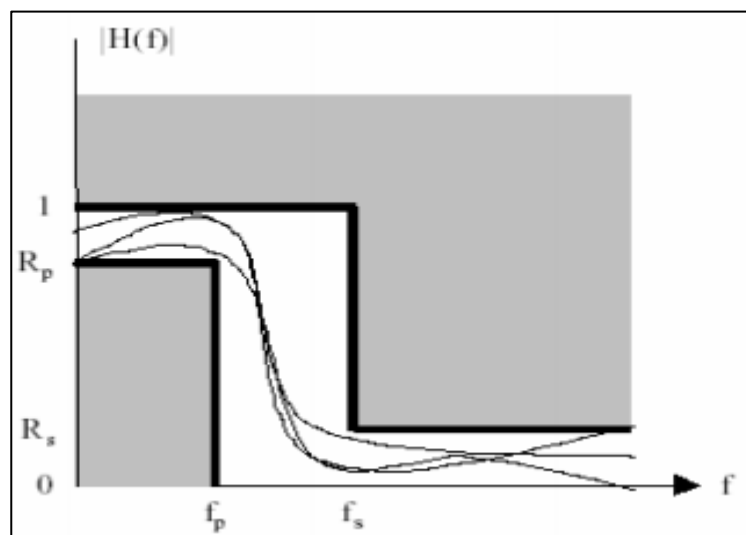


Figura 9. Especificaciones para un filtro pasivo pasa bajas de 2do orden. *Elaborado por el autor.*

En la Figura N° 11 se aprecia la imagen del Microcontrolador el cual hemos implementado con la finalidad de que realice la conversión A/D que necesitamos para la recuperación de bits en nuestro demodulador 16QAM.



Figura 11. Microcontrolador Pic 16F877A. *Información tomada de alldatasheet. Elaborado por el autor.*

Como características esenciales del microcontrolador detallamos las siguientes:

- Arquitectura RISC
 - El microcontrolador cuenta con solo 35 instrucciones diferentes.
- Trabaja a una frecuencia de operación de 0-20 MHz.
- Oscilador interno de alta precisión
 - Rango de frecuencia de 8MHz a 31KHz seleccionado por software.
- Voltaje de la fuente de alimentación de 2.0V a 5.5V
- Brown-out Reset (BOR) con opción para controlar por software
- 35 pines de entrada/salida
 - Alta corriente de fuente y de drenador
- Para manejo de LED
 - Resistencias pull-up programables individualmente por software
 - Interrupción al cambiar el estado del pin
- Convertidor A/D
 - 14 Canales
 - Resolución de 10 bits
- 256 bytes de memoria EEPROM
 - Los datos se pueden grabar más de 1.000.000 de veces.
- 368 bytes de Memoria RAM
- Memoria ROM de 8K con tecnología FLASH

En la Figura N°12. la cual se especifica a continuación hace referencia a cada uno de los pines que maneja internamente el microcontrolador.

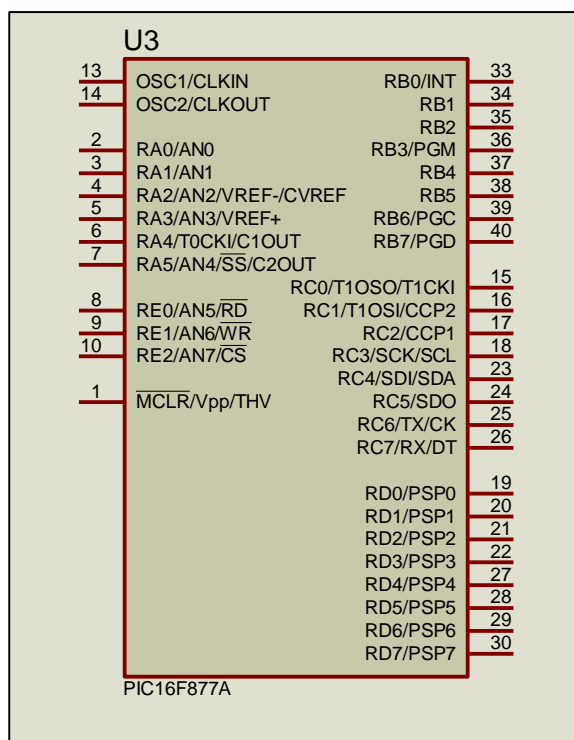


Figura 12. Esquema interno de pines del microchip Pic 16F877A. Información tomada de Proteous8. Elaborado por el autor.

2.4.4 Pantalla LCD de 16X2

El LCD o pantalla de cristal líquido es un dispositivo empleado para la visualización de contenidos o información de una manera gráfica, mediante caracteres o símbolos. Está dirigido por un microcontrolador el cual dirige todo su funcionamiento.

En este caso vamos a emplear un LCD de 16x2, esto quiere decir que dispone de 2 filas de 16 caracteres cada una. Los píxeles de cada símbolo o carácter, varían en función de cada modelo.



Figura 13. Estructura de pines del Lcd LM032L. Información tomada de Proteous8. Elaborado por el autor

En la siguiente tabla N°2 podremos visualizar la función que realiza cada pin del LCD LM032M. Teniendo en consideración que del numeral 1-3 son pines de alimentación, del numeral 4-6 son pines de control y el restante son pines de bus de datos.

Tabla 2. Conexionado de pines para LM032M

PIN	NOMBRE	FUNCIÓN
1	Vss	0V (Tierra, negativo)
2	Vdd	5V (Positivo)
3	Vee	Contraste de Caracteres
4	RS	Selección de registro
5	R/W	Lectura/Escritura
6	E	Habilitación
7	D0	bit 0 de datos
8	D1	bit 1 de datos
9	D2	bit 2 de datos
10	D3	bit 3 de datos
11	D4	bit 4 de datos
12	D5	bit 5 de datos
13	D6	bit 6 de datos
14	D7	bit 7 de datos
15	A	Ánodo del led de iluminación
16	K	Cátodo del led de iluminación

Fuente: Todoelectrodo.com. Elaborado por el autor

2.5 Marco legal

2.5.1 Constitución de la República del Ecuador - Ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales

De acuerdo lo mencionado en la Constitución de la República del Ecuador en el Registro Oficial N°. 449 de la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (2008), indica:

Art. 347.- Será responsabilidad del Estado:

1. Fortalecer la educación pública y la coeducación; asegurar el mejoramiento permanente de la calidad, la ampliación de la cobertura, la infraestructura física y el equipamiento necesario de las instituciones educativas públicas.

8. Incorporar las tecnologías de la información y comunicación en el proceso educativo y propiciar el enlace de la enseñanza con las actividades productivas o sociales.

Art. 385.- El sistema nacional de ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales, en el marco del respeto al ambiente, la naturaleza, la vida, las culturas y la soberanía, tendrá como finalidad:

En lo primero que se base es en: Generar, adaptar y difundir conocimientos científicos y tecnológicos.

Además, Desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir.

Art. 388.- El Estado destinará los recursos necesarios para la investigación científica, el desarrollo tecnológico, la innovación, la formación científica, la recuperación y desarrollo de saberes ancestrales y la difusión del conocimiento. Un porcentaje de estos recursos se destinará a financiar proyectos mediante fondos concursables. Las organizaciones que reciban fondos públicos estarán sujetas a la rendición de cuentas y al control estatal respectivo. (Constitución de la República del Ecuador, 2008)

2.5.2 Reglamento codificado de régimen académico del sistema nacional de educación superior

Conforme lo estipulado en el Reglamento Codificado de Régimen Académico del Sistema Nacional de Educación Superior (2009), menciona:

Art. 37.2 Para la obtención del grado académico de Licenciado o del Título Profesional universitario o politécnico, el estudiante debe realizar y defender un proyecto de investigación conducente a una propuesta para resolver un problema o situación práctica, con características de viabilidad, rentabilidad y originalidad en los aspectos de acciones, condiciones de aplicación, recursos, tiempos y resultados esperados.

2.5.3 Ley Orgánica de Educación Superior (LOES)

La asamblea nacional en la (Ley Orgánica reformativa a la Ley orgánica de Educación Superior, 2018) menciona lo siguiente:

Art. 8.- Fines de la Educación Superior. - La educación superior tendrá los siguientes fines:

1. Aportar al desarrollo del pensamiento universal, al despliegue de la producción científica, de las artes y de la cultura y a la promoción de las transferencias e innovaciones tecnológicas;

2. Fortalecer en las y los estudiantes un espíritu reflexivo orientado al logro de la autonomía personal, en un marco de libertad de pensamiento y de pluralismo ideológico;

3. Contribuir al conocimiento, preservación y enriquecimiento de los saberes ancestrales y de la cultura nacional;

4. Formar académicos y profesionales responsables, en todos los campos del conocimiento, con conciencia ética y solidaria

5. Impulsar la generación de programas, proyectos y mecanismos para fortalecer la innovación, producción y transferencia científica y tecnológica en todos los ámbitos del conocimiento

La LOES además recalca en su Art.96.- El aseguramiento interno de la calidad es un conjunto de acciones que se ejecutan en las instituciones de educación superior, con la finalidad de desarrollar y aplicar políticas efectivas para promover el desarrollo constante de la calidad de las carreras, programas académicos; en coordinación con otros actores del Sistema de Educación Superior.

La (Ley Orgánica de, 2018) cita el Art 114.- En su capítulo 3 de la formación técnica y tecnológica. Afirma que tiene como objetivo la formación de profesionales de tercer y cuarto nivel orientados al desarrollo de habilidades y destrezas relacionadas con la aplicación, coordinación, adaptación e innovación técnico-tecnológica que le permitan estar preparados en todos los campos del conocimiento y en procesos relacionados con la producción.

La LOES cita a la Constitución de la República en su Art. 354 en donde se establece que los institutos superiores tecnológicos, técnicos y pedagógicos, y los conservatorios superiores, se crearán por resolución del organismo encargado de la planificación, regulación y coordinación del sistema, previo informe favorable de la institución de aseguramiento de la calidad del sistema y del organismo nacional de planificación.

Como parte de las actividades de la Dirección de Aseguramiento de la Calidad, se lleva a cabo el acompañamiento y seguimiento a las IES en la implementación de planes de mejora, orientados a elevar los estándares de calidad. Para cumplir con este propósito se han diseñado instrumentos que apoyen a las instituciones en su proceso de mejora.

Asimismo, la Ley Orgánica de Educación Superior señala que estos contribuirán a la transformación de la sociedad, a su estructura social, productiva y ambiental, formando profesionales y académicos con capacidades y conocimientos que respondan a las necesidades del desarrollo nacional y a la construcción de ciudadanía (LOES, 2018).

Capítulo III Metodología

3.1. Descripción del Proceso Metodológico

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad demostrar la importancia del uso de laboratorios como parte indispensable del desarrollo académico y profesional por medio de la ejecución de prácticas a través de artefactos tecnológicos como lo es el NI ELVIS II+ ejerciendo un detallado análisis de respuesta de resultados teóricos con resultados alcanzados mediante la implementación en la práctica de laboratorio.

A través del desarrollo del trabajo de investigación se realizará la implementación de un demodulador M-ARIA 16Qam usando componentes electrónicos básicos además teniendo en consideración el enfoque del uso de microcontroladores PIC como método para la conversión de analógico – digital adicionando a esto se usó herramientas como proteous para la realización del diseño y simulaciones, además Eagle para la construcción del circuito que será impreso en una placa PCB.

Una vez que se llevará a cabo la implementación del sistema demodulador en la placa con sus respectivos elementos electrónicos, se realizará la técnica de demodulación 16QAM, lo cual posibilita al estudiante realizar su práctica con el módulo y visualizar los datos mediante el software NI Elvismx con el objetivo de sacar sus propias conclusiones para consecutivamente realizar una encuesta para medir el nivel de aceptación de la metodología teórico-práctico.

3.2. Diseño de la investigación

Dentro del desarrollo de esta investigación se utilizaron 3 tipos de metodologías de investigación para englobar todo el campo investigativo requerido las cuales nos permitirá comprobar que tan preciso ha sido el modelo de enseñanza y de esta manera conocer los beneficios obtenidos de su creación como herramienta destinada para el proceso de aprendizaje de comunicaciones digitales.

Dentro de las técnicas de investigación que se ejecutaron se encuentran la metodología bibliográfica, experimental y aplicada.

Para la metodología bibliográfica se realizará la recolección de información a partir de análisis, experimentos e investigaciones antes efectuadas por múltiples autores, tomando los datos necesarios de cada trabajo de investigación de artículos, revistas, documentos de sitio

web que permita comprender básicamente el estado del problema y enrumbe a las posibles soluciones dentro del desarrollo investigativo.

La metodología experimental que se aplica en el desarrollo de la investigación está orientada de manera directa a la implementación del sistema demodulador Digital 16QAM, donde se realizaron diversos cálculos y experimentaciones de dicha técnica de demodulación M-ARIA 16Qam haciendo uso de herramientas de laboratorio como el NI ElvisII

+ y PC'S que fueron indispensables para poder lograr los resultados que se aspiraban para que funcione nuestro proyecto.

La metodología aplicada se cimentó en la investigación cuando se formuló el planteamiento del problema y se logró la aprobación del tutor, haciendo enfoque en cómo se lograría llevar a cabo la teoría complementando resultados con la práctica, conociendo la metodología aplicada como empírica, dado que busca sobreponer los conocimientos adquiridos con la idea de consolidar los conceptos teóricos para resolver una determinada problemática.

3.3. Enfoque de la investigación

La estructura de desarrollo en el presente trabajo investigativo soporta la ejecución de varias metodologías tales como: bibliográfica, experimental y aplicada; encaminadas al desarrollo teórico-práctico enfatizando la importancia de la implementación de nuestro demodulador 16Qam mediante componentes electrónicos con el objetivo de tener un panorama más claro en las clases de comunicaciones digitales y simulaciones de sistemas en la carrera de Ingeniería en teleinformática correlacionando la cátedra impartida por el docente con la práctica de laboratorio. Esto permitió demostrar la optimización del tiempo en la práctica y mayor fiabilidad en los resultados obtenidos además de añadir nuevas plataformas para la simulación de sistemas digitales con el fin de robustecer el conocimiento de los estudiantes.

3.3.1. Metodología Bibliográfica

La aplicación de la metodología bibliográfica dentro del trabajo a realizarse requería la recopilación de información de libros, revistas científicas, papers, documentos en línea, tesis relacionadas a la recepción de información en los sistemas digitales, libros etc., planteados por diferentes autores donde sus temas guarden relación con nuestro tema propuesto buscando como referencia datos indispensables para la realización de nuestro circuito impreso en una placa PCB para una mayor objetividad dentro de la investigación

usamos la herramienta proteous v8.9 y ares . Tomando en cuenta con lo descrito anteriormente se recopiló información acerca de la importancia en la implementación de los laboratorios de ingeniería para un mejor desenvolvimiento académico y profesional de los estudiantes indispensable para el proceso investigativo que se presenta.

3.3.2. Metodología experimental

La metodología experimental aplicada en el trabajo de investigación se rige en el uso y manejo de nuevas herramientas tecnológicas como son los módulos de práctica que ayuden a optimizar tiempo y a su vez mediante su estudio tener una mayor precisión en los resultados en cuanto a las practicas que se realizan en el laboratorio de Networking de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad de Guayaquil y un mejor método de enseñanza hacia los estudiantes.

Dentro del desarrollo de la investigación se requirió el uso de las herramientas como Ares, proteous y el software NI Elvismx, en el cual se efectuó el diseño, pruebas e implementación del circuito impreso para el sistema de demodulación digital con lo cual se pretende verificar el correcto funcionamiento de la técnica de demodulación 16QAM, por lo tanto, esta implementación ayudo a fortalecer los conocimientos y entendimiento sobre las demodulaciones digitales.

En primer lugar, se revisó la teoría impartida por el docente especialista en técnicas de modulaciones y demodulaciones digitales, luego se complementan con los respectivos cálculos matemáticos que se verán reflejados en la práctica de laboratorio a realizar, con el objetivo de que el estudiante tenga una mejor comprensión con este método teórico-práctico siempre teniendo en cuenta de que es importante contar con la presencia de un guía el cual ayuda a despejar cualquiera inquietud en el momento de la práctica.

Por consiguiente, para la implementación de este demodulador digital se utilizaron componentes electrónicos básicos como resistencias, capacitores, circuito oscilador, potenciómetros además de un circuito integrado AD633JN y un microcontrolador pic 16F877A que juntos forman la base de la implementación del demodulador para luego montar estos elementos en una placa PCB lo cual se diseña en Ares , así mismo se tuvo que requerir del equipo de simulación NI Elvis II Plus para generar señales y con la ayuda del mismo permitir analizar los resultados en tiempo y frecuencia.

3.3.3. Metodología Aplicada

Según (Rodríguez, 2019) menciona que este tipo de metodología es conocida como empírica, dado que busca la aplicación del conocimiento adquirido con la idea de consolidar el saber para resolver un problema.

Este tipo de metodología el énfasis de estudio está en la resolución práctica de problemas, se centra explícitamente en cómo se puede llevar a la práctica las teorías generales es sin duda una de las más importantes en la ejecución del proyecto debido a que se debe contar con el aprendizaje teórico necesario y suficiente que conlleve a la implementación del circuito demodulador digital M-ario. Luego en la construcción de la implementación aspiramos a que sirva de gran ayuda para repotenciar los conocimientos teóricos de las demodulaciones digitales mediante el uso del mismo en la materia de Simulación de sistemas y señales.

Cabe acotar que lo aprendido con anterioridad en las materias de sistemas y señales y comunicaciones analógicas-digitales fueron verdaderos cimientos para poner a prueba con ideas propias y en tiempo real la ejecución del comportamiento de las señales en el espectro electromagnético lo cual mediante nuestro proyecto implícitamente podremos apreciar el fenómeno de la recepción digital M-aria que hoy en día es muy utilizado en el área de radiocomunicaciones y telefonía.

3.4. Análisis

El presente proyecto investigativo se apoya en la implementación de un sistema demodulador digital el cual el análisis bibliográfico que se efectuó tuvo lineamientos en base a trabajos relacionados en el mundo de la recepción digital QAM y artículos o sitios web en el cual guarden información acerca de la manera de mejorar los modelos de enseñanza dentro de los laboratorios de ingeniería en los centros de educación superior del Ecuador.

En el trabajo de investigación de (Wila Espinoza, 2019) denominado “IMPLEMENTACIÓN EN SOFTWARE DE LOS SISTEMAS DE MODULACIONES DIGITALES.” menciona que asumir una reestructuración y repotenciación en los laboratorios de ingeniería es de vital importancia para la comunidad estudiantil, con lo cual la Universidad de Guayaquil busca llegar a ser una institución de educación superior ubicada en la máxima categoría de excelencia, en todo el Ecuador.

Según (Velez Agua, 2018) en su proyecto de investigación titulado “ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL RUIDO EN SISTEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL ASK, FSK Y BPSK.” El uso de los laboratorios de simulación mejora el rendimiento de

aprendizaje del estudiante, una práctica bien empleada en muchas instituciones permite desarrollar a su colectividad estudiantil habilidades en diversas áreas de estudio.

De acuerdo a (Zhingre Vargas, 2018) en su investigación titulada “ ANÁLISIS DEL RUIDO EN SISTEMAS DE MODULACIÓN ANALÓGICA USANDO EL SIMULADOR NI ELVIS II PLUS.” Dentro del laboratorio de Networking de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad de Guayaquil se desempeñan prácticas de simulación con los equipos NI ElvisII Plus que permiten realizar dichas prácticas gracias a que es un equipo multifuncional y que cuenta con los instrumentos necesarios para poder realizar las actividades requeridas dentro del laboratorio, pero con un número de equipos limitados, los cuales no abastecen las necesidades de los estudiantes de la carrera. Dadas estas circunstancias dan cabida a una práctica experimental inexistente por parte de los estudiantes.

Con todas estas problemáticas planteadas el presente proyecto lo que busca es mejorar y reducir el tiempo de las prácticas de laboratorio con el uso de un artefacto tecnológico como son las tarjetas de adquisición de datos, los circuitos impresos y software. Con la finalidad de que el estudiante pueda lograr los resultados con mayor precisión favoreciendo el análisis de las simulaciones en el software y comprobando que tengan similitudes al de un sistema real.

3.5. Resultados

En este apartado se hace referencia a que hoy en día en el mundo en que vivimos las ventajas en la manera en la que se usa la tecnología digital QAM resulta ser más eficiente a la tecnología análoga por múltiples factores citando como ejemplo uno de ellos es el área de telefonía donde existe mayor operabilidad y baja interferencia de señal a ruido, mejor facilidad de multiplexion, óptima simplicidad de encriptación etc. (Diaz, 2014)

Se considera que mediante el análisis de investigaciones que guardan relación a nuestra área de tecnología de las telecomunicaciones se corrobora que el laboratorio de Networking de la Facultad de Ingeniería industrial carrera de Ingeniería en Teleinformática necesita de más equipos, instrumentos de medición y artefactos electrónicos que faciliten la mejor comprensión y desarrollo de proyectos, prácticas y tareas propuestas por el docente encargado de la materia Simulación de Sistemas de Comunicaciones además de esto lograr optimizar tiempo y recursos para que el docente logre cumplir sus objetivos propuestos en el syllabus y a su vez facilite un mejor desarrollo en la materia al estudiante. Cabe señalar que para los estudiantes la implementación de estos sistemas resulta un poco complicado

porque si se requiere de tener un capital para la compra de cada uno de los elementos a utilizar.

A través del análisis realizado permitió visualizar que los estudiantes de la materia de Simulación de Sistemas sienten la necesidad de contar con un demodulador digital M-ario 16QAM que les facilite el desarrollo de sus prácticas repotenciando los conocimientos teóricos de la recepción digital y a su vez aprecien detalladamente el diseño, configuración y uso de las aplicaciones empleadas en el demodulador en conjunto con el dispositivo NIelvis siendo de gran beneficio para obtener resultados fiables en las prácticas de demodulación 16qam impartidas por el docente además de obtener sólidos conocimientos sobre las últimas tecnologías en esta área sabiendo que uno de los objetivos fundamentales de la universidad es el de formar ingenieros con capacidades para afrontar los nuevos retos que demandan las sociedades modernas, entre ellas, las que exige el sector de las telecomunicaciones.

Capítulo IV

Desarrollo de la propuesta

Dentro del presente capítulo se detalla el desarrollo del proyecto de investigación a implementarse donde se realizará el demodulador M-ario 16 QAM empleando en el desarrollo distintos materiales y herramientas entre los cuales son: elementos electrónicos como resistencias, capacitores, microcontroladores, displays, integrados además software como Ares, Proteus, Ni Elvis.

Para la implementación del demodulador 16QAM se escogió el laboratorio de Networking/Telecomunicaciones como centro de investigación, además con el desarrollo del mismo se pretende que las clases en la materia de simulaciones de Sistemas sea más experimental y sirva como ayuda en el proceso de aprendizaje de manera didáctica palpando cada componente que se utilizará en el circuito e identificando sus funcionalidades.

Como parte fundamental del proceso de implementación de nuestro proyecto se utilizó el programa de simulación proteous en su versión 8.9 recalando que dicha aplicación está compuesta por dos programas principales: Isis que es empleado para el diseño electrónico y Ares que sirve para el diseño de la placa de circuito impreso a partir del diseño electrónico realizado anteriormente. Las ventajas de usar esta herramienta saltan a la vista, tomando en referencia que con proteous las fases de prueba no suponen la necesidad de nuevamente volver a desarrollar nuevos prototipos lo que conlleva el ahorro de tiempo y costes.

En la Figura 14 se muestra un esquema de los pasos previos para la realización de la placa de circuito impreso con la ayuda de la aplicación proteous.



Figura 14. Etapas para construcción de PCB con proteous. *Información tomada directamente del autor. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian*

4.1 Diagrama del Demodulador 16QAM.

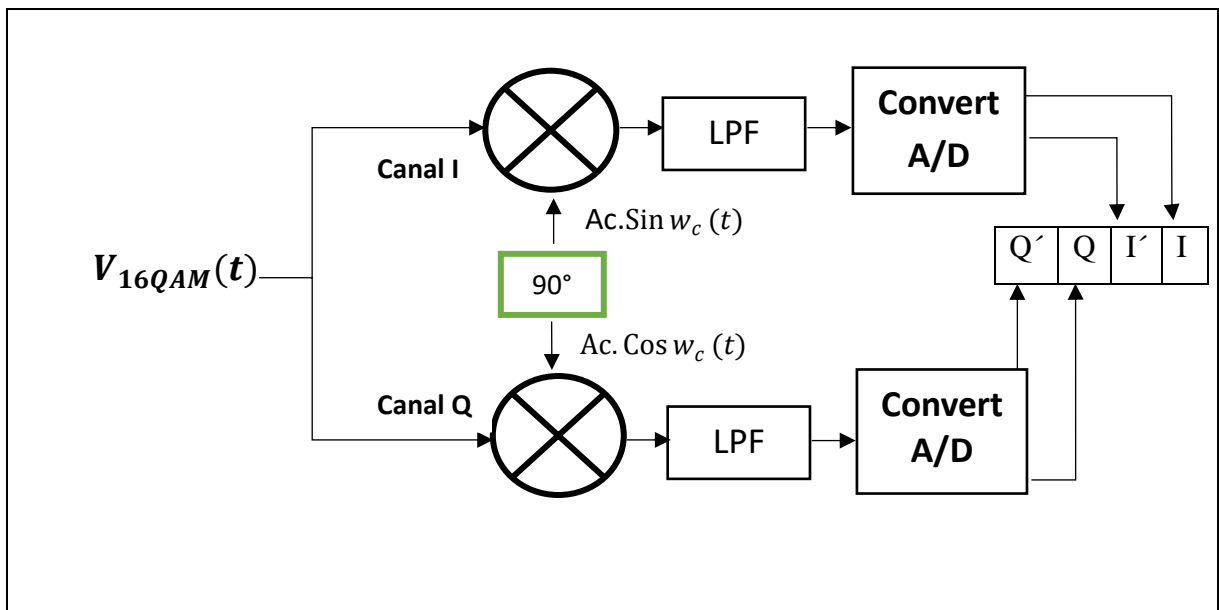


Figura 15. Diagrama de bloque del demodulador 16qam. *Información tomada directamente del autor. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian.*

Siguiendo el patrón de la tecnología usada hoy en día, la modulación y demodulación 16QAM es usualmente utilizada en las comunicaciones inalámbricas de transmisión, radioenlaces, comunicación por satélite, fibra y recepción de datos a altas velocidades para teléfonos móviles y terminales de datos en las LTE-enlace ascendente y LTE-enlace descendente

En la demodulación 16QAM se debe considerar que para representar 16 símbolos es necesario 4 bits. Por lo tanto, se tiene que variar tanto amplitud como fase en cada portadora, dando como consecuencia 2 bit por portadora (1 bit por la modificación en la fase y otro por la modificación en la amplitud), en total 4 bits.

4.1.1 Ventajas de la demodulación 16QAM

Este tipo de demodulación tiene la ventaja de que ofrece la posibilidad de recibir dos señales en la misma frecuencia, de forma que favorece el aprovechamiento del ancho de banda.

4.1.2 Desventajas de la demodulación 16QAM

Tiene como inconveniente que es necesario realizar el proceso de demodulación con demoduladores síncronos.

Los demoduladores síncronos utilizan una técnica basada en AM que consta de la multiplicación de la señal recibida por una portadora de frecuencia y fase idénticas a las utilizadas en el transmisor.

4.1.3. Frecuencia de portadora a utilizar en la demodulación

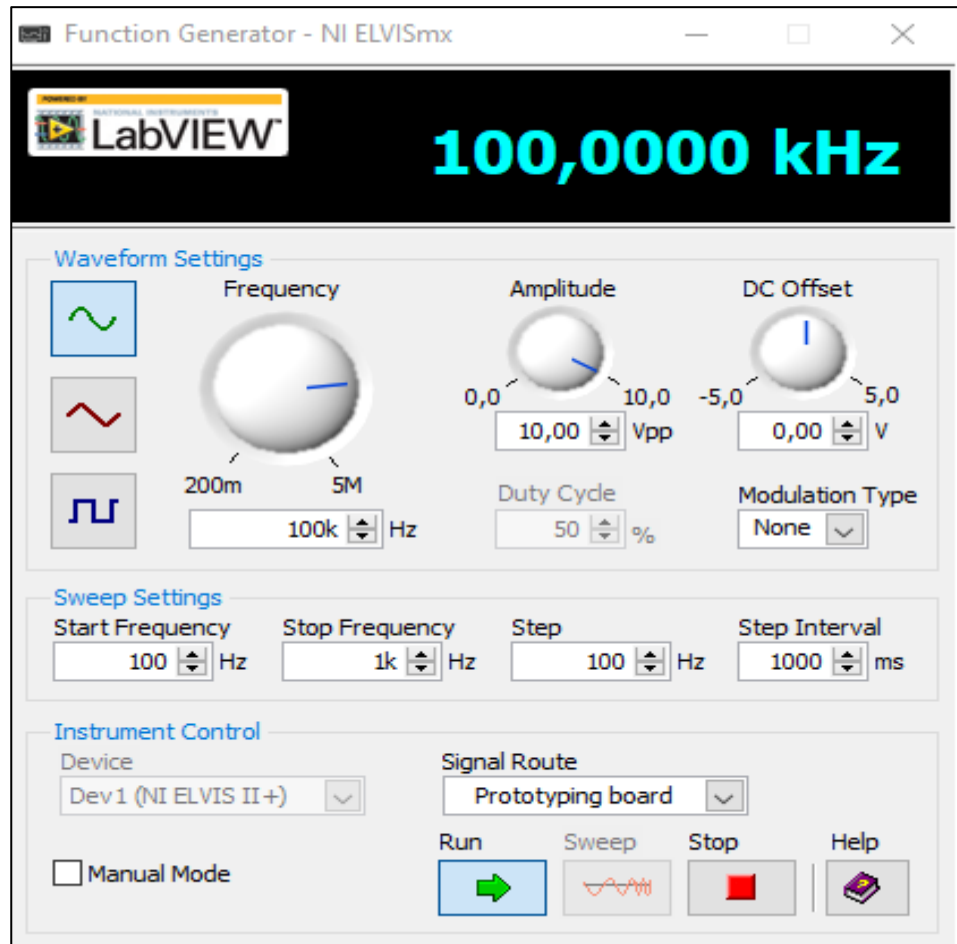


Figura 16. Gráfico del generador de funciones con la frecuencia de portadora.

Información adaptada de NI Elvis II Plus. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian.

4.2. Etapas del Demodulador 16QAM

El demodulador de practica 16 QAM consta de 3 etapas en la cual desglosaremos cada una para tener una mejor comprensión del mismo:

4.2.1. Etapa de Mezclado o Modulador

En esta fase la señal modulada en 16QAM ingresa al demodulador y realiza el proceso de multiplicación con un $\sin W_c(t)$ para los canales I y I'.

En el siguiente ejemplo matemático se la presenta como:

Señal de entrada = $A_c \sin W_c(t) \rightarrow$ (Se toma como referencia de portadora)

Donde:

A_c es la amplitud de la portadora

W_c es la frecuencia angular de la portadora

$V_{i(t)}$ Señal Modulador = (Señal Modulada V16QAM X Señal portadora)

$V_{i(t)}$ Señal modulador = $D_m \sin(W_m t + \alpha) \times A_c \sin(W_c t)$

$$V_{i(t)} = D_c \times A_c \frac{1}{2} [-\cos(W_c t + \alpha + W_c t) + \cos(W_c t + \alpha - W_c t)]$$

$$V_{i(t)} = \frac{D_c \times A_c}{2} [-\cos(2W_c t + \alpha) + \cos(\alpha)]$$

Donde:

D_m es la amplitud de la señal modulada 16QAM

W_m es la frecuencia angular de la señal modulada en 16QAM

α es la fase de la señal modulada 16QAM

A_c es la amplitud de la señal portadora

W_c es la frecuencia angular de la señal portadora

Hacemos referencia que $\cos(\alpha)$ nos da como resultado un valor constante.

En la siguiente figura se muestra el proceso de multiplicación de la señal modulada V16QAM con la portadora $A_c \sin(W_c t)$ dando como resultado la señal de salida $V_i(t)$.

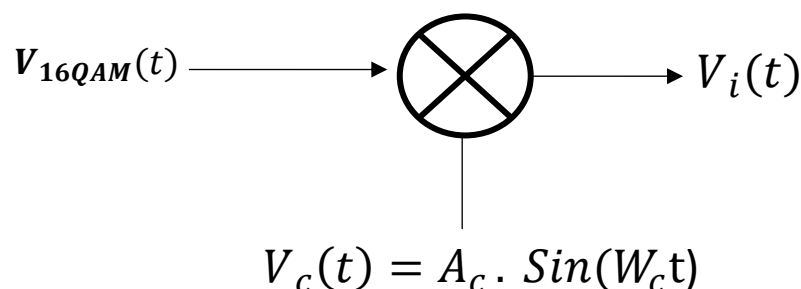


Figura 17. Diagrama de bloque en fase de Mezclado canales I e I'.

Información tomada directamente del autor. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian.

En nuestro circuito original el dispositivo que realiza esta funcionalidad es el integrado AD633jn el cual dentro de su configuración interna realiza un procedimiento el mismo que

en su pin 1 ingresa la señal modulada V16QAM, en el pin 2 se conecta a tierra, en el pin 3 conectamos la portadora SenWct de 1k de frecuencia que se genera del NI Elvis luego el pin 4 aterrizamos a tierra es ahí donde la señal modulada se multiplica con la portadora pero dividida para 10 debido a las especificaciones técnicas del datasheet del integrado.

Agregando a ello que la salida de la señal la realiza el pin 7 mostrando la señal sumada con su respectivo modulo y fase. En la figura 8 se muestra la configuración interna del integrado AD633jn.

Se muestra, además en la figura 18 a continuación las conexiones de nuestra simulación en proteous v8.9.

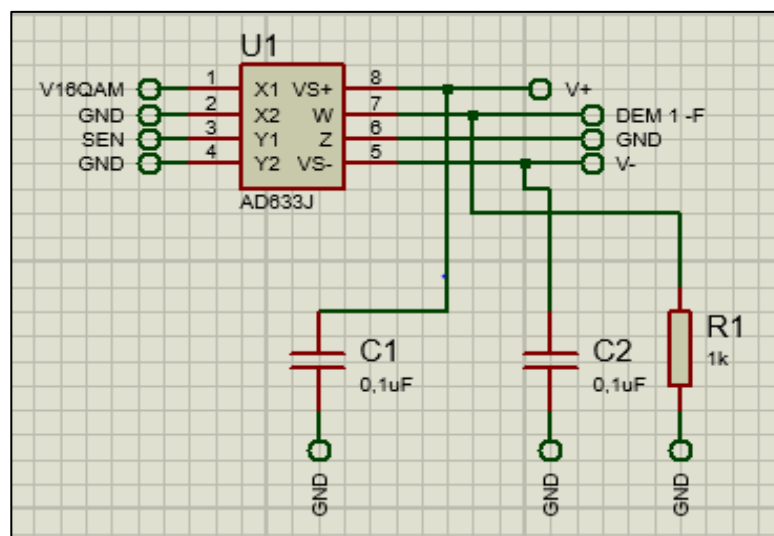


Figura 18. Conexiones al integrado AD633jn mostrando salidas para canales I e I'.
 Información tomada directamente del autor. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian.

Para el proceso de mezclado de portadora con los canales Q y Q' en el demodulador se requiere un oscilador local con la misma referencia de fase a fin de decodificar la información transmitida.

En la siguiente página se muestra en la figura 16 la señal desfasada 90° con la cual se trabaja en el demodulador 16QAM.

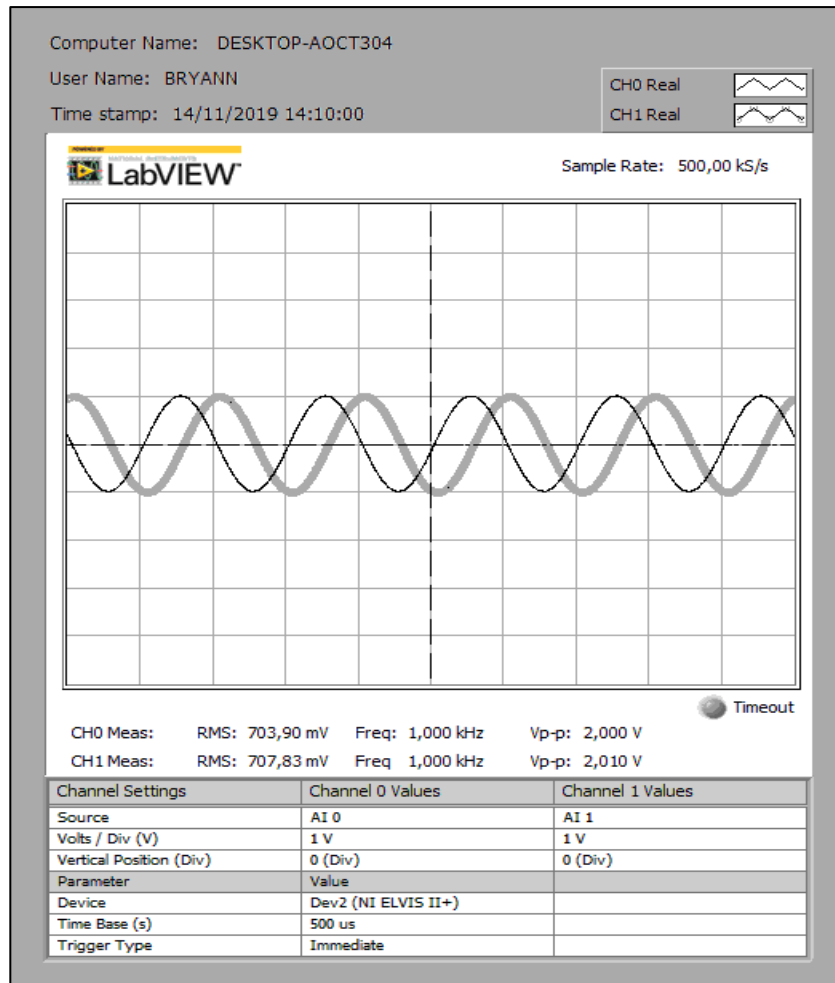


Figura 19. Señal seno desfasada 90° a utilizar en proceso de mezclado en canales Q e Q'.
Información adaptada de NI Elvis II Plus. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian.

A continuación, en la figura 20. se ilustra en diagrama de bloque de la fase de mezclado para el canal Q Y Q'

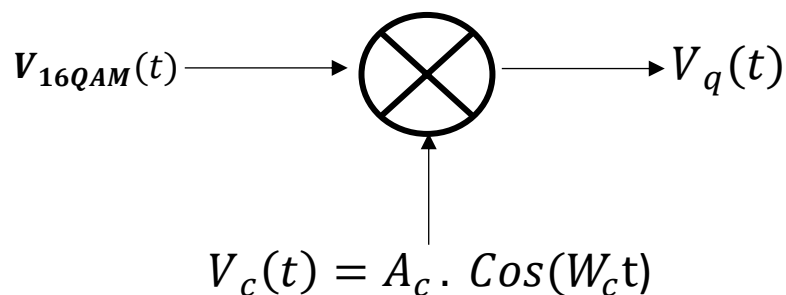


Figura 20. Diagrama de bloque en fase de Mezclado canales Q e Q'.
Información tomada directamente del autor. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian.

Como referencia de proceso matemático consideramos:

Señal de entrada = $A_c \cos W_c(t)$ → (Se toma como referencia de portadora)

Donde:

A_c es la amplitud de la portadora

W_c es la frecuencia angular de la portadora

$V_{q(t)}$ Señal Modulador = (Señal Modulada V16QAM X Señal portadora)

$V_{q(t)}$ Señal modulador = $D_m \sin(W_m t + \alpha) \times A_c \cos(W_c t)$

$$V_{q(t)} = \frac{D_c \times A_c}{2} [\text{sen}(W_m t + \alpha + W_c t) + \text{sen}(W_m t + \alpha - W_c t)]$$

Quedando la expresión como resultado:

$$V_{q(t)} = \frac{D_c \times A_c}{2} [\text{sen}(2W_c t + \alpha) + \text{sen}(\alpha)]$$

En la figura 8 se muestra las conexiones en el integrado AD633jn en el cual se visualiza que en el pin 3 ingresa la señal desfasada $\cos W_c t$ que se genera previamente del NI Elvis.

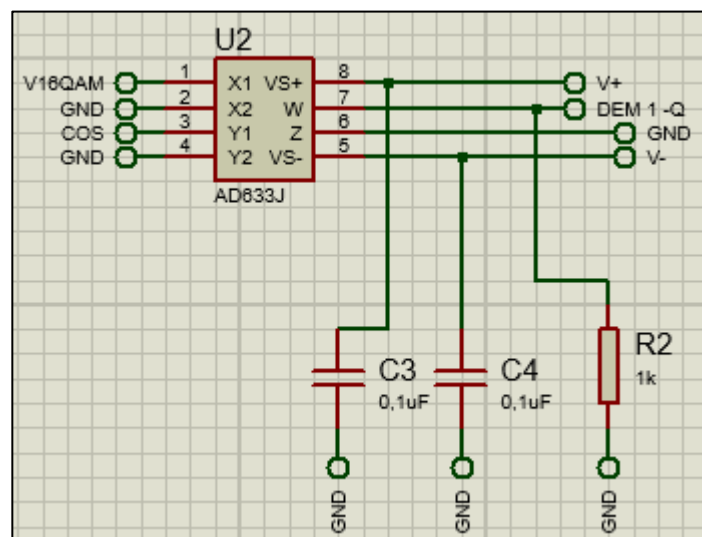


Figura 21. Ingreso de la señal coseno para canales Q e Q' y salida multiplicada en pin7.
Información tomada directamente del autor. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Crithian.

4.2.2. Cálculos Matemáticos para cada combinación en la fase de mezclado

Primeramente, se considera que el sumador lineal realiza las combinaciones en la salida de los moduladores de producto del canal I e I' y Q e Q' lo cual produce 16 condiciones de salida indispensables para 16QAM los cuales llegan a la entrada de nuestro demodulador.

Entonces, tomando como referencia los siguientes valores con los cuales trabajaremos en Voltajes (V) simétricos con las respectivas tablas de verdad se muestran a continuación en la tabla 3 y 4 respectivamente.

Tabla 3.

Tabla de verdad de Voltajes para Canales I e I´

I	I´	VOLTAJE
0	0	-7.31 V
0	1	-2.43 V
1	0	2.58 V
1	1	7.31 V

Fuente: Elaborado por el autor. Bryan Cristhian Barzola Culquipuma

Para el ramal Q Y Q´ también se maneja su respectiva Tabla de verdad la cual se muestra a continuación en la tabla 4.

Tabla 4.

Tabla de verdad de Voltajes para canales Q e Q´

Q	Q´	VOLTAJE
0	0	-7.31 V
0	1	-2.43 V
1	0	2.58 V
1	1	7.31 V

Fuente: Elaborado por el autor. Bryan Cristhian Barzola Culquipuma

A la entrada del demodulador; para la combinación I=0, I´=0, Q=0, Q´=0 llega la siguiente señal la cual se describe a continuación el proceso que conlleva

El proceso se realiza de la siguiente manera:

- Tomando en consideración que se divide para 10 debido a la función interna que realiza el integrado AD633jn.

$$\frac{-7.31 V}{10} - \frac{7.31 V}{10} \Rightarrow -0.731 -0.731$$

Para obtener el módulo de la señal V16qam cuya combinación es la antes mencionada realizaremos la siguiente operación. $\sqrt{(-0.731)^2 + (-0.731)^2} = 1.0337$

Para sacar la fase de la señal se aplica $\tan^{-1} \frac{-0.731}{-0.731} = 45^\circ$

Ahora la resultante de la combinación nos queda la señal $1.0337\text{Sen}(200K\pi t + 45^\circ)$

- Luego esta señal resultante V16qam se multiplica por la portadora 1 $\text{Sen}(200k\pi t)$

Quedando así $[1.0337\text{Sen}(200K\pi t + 45^\circ) \times 1 \text{Sen}(200k\pi t)]$

Aplicando la identidad de ortogonalidad de senos y cosenos queda:

$$\frac{1.0337}{2} [-\cos(200k\pi t + 45^\circ + 200k\pi t) + 1 \cos(200k\pi t + 45^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.5168 [-\cos(400k\pi t + 45^\circ) + \cos(45^\circ)]$$

- Además, la señal V16Qam que resulta de la combinación (0000) también se la multiplica por $\cos W_c t$ quedando así:

$$[1.0337\text{Sen}(200K\pi t + 45^\circ) \times 1 \cos(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad $(\text{SenA} * \cos B)$ muestra la expresión:

$$\frac{1.0337}{2} [\text{Sen}(200k\pi t + 45^\circ + 200k\pi t) + \text{sen}(200k\pi t + 45^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.5168 [\text{Sen}(400k\pi t + 45^\circ) + \text{Sen}(45^\circ)]$$

Para la segunda combinación $I=0, I'=0, Q=0, Q'=1$

Nos queda la señal $0.7552\text{Sen}(200K\pi t + 17.331^\circ)$

- Luego esta señal resultante V16qam se multiplica por la portadora 1 $\text{Sen}(200k\pi t)$

$$[0.7552 \text{Sen}(200K\pi t + 17.331^\circ) \times 1 \text{Sen}(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad de ortogonalidad de senos y cosenos queda:

$$\frac{0.7552}{2} [-\cos(200k\pi t + 17.331^\circ + 200k\pi t) + \cos(200k\pi t + 17.331^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.3768 [-\cos(400k\pi t + 17.331^\circ) + \cos(17.331^\circ)]$$

- Además, la señal V16Qam que resulta de la combinación (0001) también se la multiplica por $\cos W_c t$ quedando así:

$$[0.7552 \sin(200K\pi t + 17.331^\circ) \times 1 \cos(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad ($\sin A * \cos B$) muestra la expresión:

$$\frac{0.7552}{2} [\sin(200k\pi t + 17.331^\circ + 200k\pi t) + \sin(200k\pi t + 17.331^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.3776 [\sin(400k\pi t + 17.331^\circ) + \sin(17.331^\circ)]$$

Para la tercera combinación $I=0$, $I'=0$, $Q=1$, $Q'=0$

Nos queda la señal $0.774 \sin(200K\pi t - 19.24^\circ)$

- Luego esta señal resultante V16qam se multiplica por la portadora $1 \sin(200k\pi t)$

$$[0.774 \sin(200K\pi t - 19.24^\circ) \times 1 \sin(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad de ortogonalidad de senos y cosenos queda:

$$\frac{0.774}{2} [-\cos(200k\pi t - 19.24^\circ + 200k\pi t) + \cos(200k\pi t - 19.24^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.39 [-\cos(400k\pi t - 19.24^\circ) + \cos(19.24^\circ)]$$

- Además, la señal V16Qam que resulta de la combinación (0010) también se la multiplica por $\cos W_c t$ quedando así:

$$[0.774 \sin(200K\pi t - 19.24^\circ) \times 1 \cos(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad ($\sin A * \cos B$) muestra la expresión:

$$\frac{0.774}{2} [\sin(200k\pi t - 19.24^\circ + 200k\pi t) + \sin(200k\pi t - 19.24^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.39 [\sin(400k\pi t - 19.24^\circ) + \sin(-19.24^\circ)]$$

Para la cuarta combinación $I=0, I'=0, Q=1, Q'=1$

Nos queda la señal $1.0238 \text{ Sen}(200K\pi t - 45^\circ)$

- Luego esta señal resultante V16qam se multiplica por la portadora 1 $\text{Sen}(200k\pi t)$

$$[1.0238 \text{ Sen}(200K\pi t - 45^\circ) \times 1 \text{ Sen}(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad de ortogonalidad de senos y cosenos queda:

$$\frac{1.0238}{2} [-\cos(200k\pi t - 45^\circ + 200k\pi t) + \cos(200k\pi t - 45^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.512 [-\cos(400k\pi t - 45^\circ) + \cos(-45^\circ)]$$

- Además, la señal V16Qam que resulta de la combinación (0011) también se la multiplica por $\cos W_c t$ quedando así:

$$[1.0238 \text{ Sen}(200K\pi t - 45^\circ) \times 1 \cos(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad $(\text{SenA} * \cos B)$ muestra la expresión:

$$\frac{1.0238}{2} [\text{Sen}(200k\pi t - 45^\circ + 200k\pi t) + \text{sen}(200k\pi t - 45^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.52 [\text{Sen}(400k\pi t - 45^\circ) + \text{Sen}(-45^\circ)]$$

Para la quinta combinación $I=1, I'=1, Q=1, Q'=0$

Nos queda la señal $0.7603 \text{ Sen}(200K\pi t + 70.56^\circ)$

- Luego esta señal resultante V16qam se multiplica por la portadora 1 $\text{Sen}(200k\pi t)$

$$[0.7603 \text{ Sen}(200K\pi t + 70.56^\circ) \times 1 \text{ Sen}(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad de ortogonalidad de senos y cosenos queda:

$$\frac{0.7603}{2} [-\cos(200k\pi t + 70.56^\circ + 200k\pi t) + \cos(200k\pi t + 70.56^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.38 [-\cos(400k\pi t + 70.56^\circ) + \cos(70.56^\circ)]$$

- Además, la señal V16Qam que resulta de la combinación (0011) también se la multiplica por $\cos W_c t$ quedando así:

$$[0.7603 \sin(200K\pi t + 70.56^\circ) \times 1 \cos(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad ($\sin A \times \cos B$) muestra la expresión:

$$\frac{0.7603}{2} [\sin(200k\pi t + 70.56^\circ + 200k\pi t) + \sin(200k\pi t + 70.56^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.38 [\sin(400k\pi t + 70.56^\circ) + \sin(70.56^\circ)]$$

Para la sexta combinación $I=1, I'=1, Q=1, Q'=1$

Nos queda la señal $1.016 \sin(200K\pi t + 45^\circ)$

- Luego esta señal resultante V16qam se multiplica por la portadora 1 $\sin(200k\pi t)$

$$[1.016 \sin(200K\pi t + 45^\circ) \times 1 \sin(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad de ortogonalidad de senos y cosenos queda:

$$\frac{1.016}{2} [-\cos(200k\pi t + 45^\circ + 200k\pi t) + \cos(200k\pi t + 45^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.508 [-\cos(400k\pi t + 45^\circ) + \cos(45^\circ)]$$

- Además, la señal V16Qam que resulta de la combinación (1111) también se la multiplica por $\cos W_c t$ quedando así:

$$[1.016 \sin(200K\pi t + 45^\circ) \times 1 \cos(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad ($\sin A \times \cos B$) muestra la expresión:

$$\frac{1.016}{2} [\sin(200k\pi t + 45^\circ + 200k\pi t) + \sin(200k\pi t + 45^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.508 [\sin(400k\pi t + 45^\circ) + \sin(45^\circ)]$$

Para la séptima combinación $I=0, I'=1, Q=1, Q'=1$

Nos queda la señal $0.766 \sin(200K\pi t - 71^\circ)$

- Luego esta señal resultante V16qam se multiplica por la portadora 1 $\text{Sen}(200k\pi t)$

$$[0.766 \text{ Sen}(200K\pi t - 71^\circ) \times 1 \text{ Sen}(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad de ortogonalidad de senos y cosenos queda:

$$\frac{0.766}{2} [-\cos(200k\pi t - 71^\circ + 200k\pi t) + \cos(200k\pi t - 71^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.38 [-\cos(400k\pi t - 71^\circ) + \cos(-71^\circ)]$$

- Además, la señal V16Qam que resulta de la combinación (0111) también se la multiplica por $\cos W_c t$ quedando así:

$$[0.766 \text{ Sen}(200K\pi t - 71^\circ) \times 1 \cos(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad ($\text{SenA} \times \cos B$) muestra la expresión:

$$\frac{0.766}{2} [\text{Sen}(200k\pi t - 71^\circ + 200k\pi t) + \text{sen}(200k\pi t - 71^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.383 [\text{Sen}(400k\pi t - 71^\circ) + \text{Sen}(-71^\circ)]$$

Para la octava combinación $I=1, I'=1, Q=0, Q'=0$

Nos queda la señal $1.017 \text{ Sen}(200K\pi t - 45^\circ)$

- Luego esta señal resultante V16qam se multiplica por la portadora 1 $\text{Sen}(200k\pi t)$

$$[1.017 \text{ Sen}(200K\pi t - 45^\circ) \times 1 \text{ Sen}(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad de ortogonalidad de senos y cosenos queda:

$$\frac{1.017}{2} [-\cos(200k\pi t - 45^\circ + 200k\pi t) + \cos(200k\pi t - 45^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.51 [-\cos(400k\pi t - 45^\circ) + \cos(-45^\circ)]$$

- Además, la señal V16Qam que resulta de la combinación (1100) también se la multiplica por $\cos W_c t$ quedando así:

$$[1.017 \text{ Sen}(200K\pi t - 45^\circ) \times 1 \cos(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad (SenA * CosB) muestra la expresión:

$$\frac{1.017}{2} [\text{Sen}(200k\pi t - 45^\circ + 200k\pi t) + \text{sen}(200k\pi t - 45^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.51 [\text{Sen}(\mathbf{400k\pi t - 45^\circ}) + \text{Sen}(\mathbf{-45^\circ})]$$

Para la novena combinación I=0, I'=1, Q=0, Q'=0

Nos queda la señal $0.772 \text{ Sen}(\mathbf{200K\pi t + 71.3^\circ})$

- Luego esta señal resultante V16qam se multiplica por la portadora 1 $\text{Sen}(200k\pi t)$

$$[0.772 \text{ Sen}(200K\pi t + 71.3^\circ) \times 1 \text{ Sen}(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad de ortogonalidad de senos y cosenos queda:

$$\frac{0.772}{2} [-\cos(200k\pi t + 71.3^\circ + 200k\pi t) + \text{Cos}(200k\pi t + 71.3^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.39 [-\mathbf{\cos(400k\pi t + 71.3^\circ)} + \mathbf{\cos(71.3^\circ)}]$$

- Además, la señal V16Qam que resulta de la combinación (0100) también se la multiplica por $\text{Cos}W_c t$ quedando así:

$$[0.772 \text{ Sen}(200K\pi t + 71.3^\circ) \times 1 \text{ Cos}(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad (SenA * CosB) muestra la expresión:

$$\frac{0.772}{2} [\text{Sen}(200k\pi t + 71.3^\circ + 200k\pi t) + \text{sen}(200k\pi t + 71.3^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.39 [\mathbf{\text{Sen}(400k\pi t + 71.3^\circ)} + \mathbf{\text{Sen}(71.3^\circ)}]$$

Para la décima combinación I=0, I'=1, Q=0, Q'=1

Nos queda la señal $0.333 \text{ Sen}(\mathbf{200K\pi t + 45.36^\circ})$

- Luego esta señal resultante V16qam se multiplica por la portadora 1 $\text{Sen}(200k\pi t)$

$$[0.333 \text{ Sen}(200K\pi t + 45.36^\circ) \times 1 \text{ Sen}(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad de ortogonalidad de senos y cosenos queda:

$$\frac{0.333}{2} [-\cos(200k\pi t + 45.36^\circ + 200k\pi t) + \cos(200k\pi t + 45.36^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.17 [-\cos(400k\pi t + 45.36^\circ) + \cos(45.36^\circ)]$$

- Además, la señal V16Qam que resulta de la combinación (0101) también se la multiplica por $\cos W_c t$ quedando así:

$$[0.333 \sin(200K\pi t + 45.36^\circ) \times 1 \cos(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad $(\sin A * \cos B)$ muestra la expresión:

$$\frac{0.333}{2} [\sin(200k\pi t + 45.36^\circ + 200k\pi t) + \sin(200k\pi t + 45.36^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.17 [\sin(400k\pi t + 45.36^\circ) + \sin(45.36^\circ)]$$

Para la onceava combinación $I=0, I'=1, Q=1, Q'=0$

Nos queda la señal $0.35 \sin(200K\pi t - 45^\circ)$

- Luego esta señal resultante V16qam se multiplica por la portadora $1 \sin(200k\pi t)$

$$[0.356 \sin(200K\pi t - 45^\circ) \times 1 \sin(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad de ortogonalidad de senos y cosenos queda:

$$\frac{0.356}{2} [-\cos(200k\pi t - 45^\circ + 200k\pi t) + \cos(200k\pi t - 45^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.18 [-\cos(400k\pi t - 45^\circ) + \cos(-45^\circ)]$$

- Además, la señal V16Qam que resulta de la combinación (0110) también se la multiplica por $\cos W_c t$ quedando así:

$$[0.356 \sin(200K\pi t - 45^\circ) \times 1 \cos(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad $(\sin A * \cos B)$ muestra la expresión:

$$\frac{0.356}{2} [\sin(200k\pi t - 45^\circ + 200k\pi t) + \sin(200k\pi t - 45^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.178 [\mathbf{Sen(400k\pi t - 45^\circ) + Sen(-45^\circ)}]$$

Para la doceava combinaci3n I=1, I'=0, Q=0, Q'=0

Nos queda la se1al $0.764 \mathbf{Sen(200K\pi t - 70.71^\circ)}$

- Luego esta se1al resultante V16qam se multiplica por la portadora 1 $\mathbf{Sen(200k\pi t)}$

$$[0.764 \mathbf{Sen(200K\pi t - 70.71^\circ)} \times 1 \mathbf{Sen(200k\pi t)}]$$

Aplicando la identidad de ortogonalidad de senos y cosenos queda:

$$\frac{0.764}{2} [-\cos(200k\pi t - 70.71^\circ + 200k\pi t) + \cos(200k\pi t - 70.71^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.38 [-\mathbf{cos(400k\pi t - 70.71^\circ) + Cos(-70.71^\circ)}]$$

- Adem1as, la se1al V16Qam que resulta de la combinaci3n (1000) tambi3n se la multiplica por $\mathbf{CosW_c t}$ quedando as1:

$$[0.764 \mathbf{Sen(200K\pi t - 70.71^\circ)} \times 1 \mathbf{Cos(200k\pi t)}]$$

Aplicando la identidad ($\mathbf{SenA * CosB}$) muestra la expresi3n:

$$\frac{0.764}{2} [\mathbf{Sen(200k\pi t - 70.71^\circ + 200k\pi t) + sen(200k\pi t - 70.71^\circ - 200k\pi t)}]$$

$$0.38 [\mathbf{Sen(400k\pi t - 70.71^\circ) + Sen(-70.71^\circ)}]$$

Para la treceava combinaci3n I=1, I'=0, Q=0, Q'=1

Nos queda la se1al $0.35 \mathbf{Sen(200K\pi t - 44.06^\circ)}$

- Luego esta se1al resultante V16qam se multiplica por la portadora 1 $\mathbf{Sen(200k\pi t)}$

$$[0.35 \mathbf{Sen(200K\pi t - 44.06^\circ)} \times 1 \mathbf{Sen(200k\pi t)}]$$

Aplicando la identidad de ortogonalidad de senos y cosenos queda:

$$\frac{0.35}{2} [-\cos(200k\pi t - 44.06^\circ + 200k\pi t) + \cos(200k\pi t - 44.06^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.175 [-\mathbf{cos(400k\pi t - 44.06^\circ) + Cos(-44.06^\circ)}]$$

- Además, la señal V16Qam que resulta de la combinación (1001) también se la multiplica por $\cos W_c t$ quedando así:

$$[0.35 \text{ Sen}(200K\pi t - 44.06^\circ) \times 1 \text{ Cos}(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad ($\text{SenA} * \text{CosB}$) muestra la expresión:

$$\frac{0.35}{2} [\text{Sen}(200k\pi t - 44.06^\circ + 200k\pi t) + \text{sen}(200k\pi t - 44.06^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.175 [\text{Sen}(400k\pi t - 44.06^\circ) + \text{Sen}(-44.06^\circ)]$$

Para la catorceava combinación $I=1, I'=0, Q=1, Q'=0$

Nos queda la señal $0.365 \text{ Sen}(200K\pi t + 45^\circ)$

- Luego esta señal resultante V16qam se multiplica por la portadora 1 $\text{Sen}(200k\pi t)$

$$[0.365 \text{ Sen}(200K\pi t + 45^\circ) \times 1 \text{ Sen}(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad de ortogonalidad de senos y cosenos queda:

$$\frac{0.365}{2} [-\cos(200k\pi t + 45^\circ + 200k\pi t) + \text{Cos}(200k\pi t + 45^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.1825 [-\cos(400k\pi t + 45^\circ) + \text{Cos}(45^\circ)]$$

- Además, la señal V16Qam que resulta de la combinación (1010) también se la multiplica por $\cos W_c t$ quedando así:

$$[0.365 \text{ Sen}(200K\pi t + 45^\circ) \times 1 \text{ Cos}(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad ($\text{SenA} * \text{CosB}$) muestra la expresión:

$$\frac{0.365}{2} [\text{Sen}(200k\pi t + 45^\circ + 200k\pi t) + \text{sen}(200k\pi t + 45^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.1825 [\text{Sen}(400k\pi t - 45^\circ) + \text{Sen}(45^\circ)]$$

Para la 15ava combinación $I=1, I'=0, Q=1, Q'=1$

Nos queda la señal $0.7529 \text{ Sen}(200K\pi t + 71.25^\circ)$

- Luego esta señal resultante V16qam se multiplica por la portadora 1 $\text{Sen}(200k\pi t)$

$$[0.7529 \text{ Sen}(200K\pi t + 71.25^\circ) \times 1 \text{ Sen}(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad de ortogonalidad de senos y cosenos queda:

$$\frac{0.7529}{2} [-\cos(200k\pi t + 71.25^\circ + 200k\pi t) + \cos(200k\pi t + 71.25^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.38 [-\cos(400k\pi t + 71.25^\circ) + \cos(71.25^\circ)]$$

- Además, la señal V16Qam que resulta de la combinación (1011) también se la multiplica por $\cos W_c t$ quedando así:

$$[0.7529 \text{ Sen}(200K\pi t + 71.25^\circ) \times 1 \cos(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad ($\text{SenA} * \cos B$) muestra la expresión:

$$\frac{0.7529}{2} [\text{Sen}(200k\pi t + 71.25^\circ + 200k\pi t) + \text{sen}(200k\pi t + 71.25^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.38 [\text{Sen}(400k\pi t + 71.25^\circ) + \text{Sen}(71.25^\circ)]$$

Para la 16ava combinación $I=1, I'=1, Q=0, Q'=1$

Nos queda la señal $0.738 \text{ Sen}(200K\pi t - 18^\circ)$

- Luego esta señal resultante V16qam se multiplica por la portadora 1 $\text{Sen}(200k\pi t)$

$$[0.738 \text{ Sen}(200K\pi t - 18^\circ) \times 1 \text{ Sen}(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad de ortogonalidad de senos y cosenos queda:

$$\frac{0.738}{2} [-\cos(200k\pi t - 18^\circ + 200k\pi t) + \cos(200k\pi t - 18^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.37 [-\cos(400k\pi t - 18^\circ) + \cos(-18^\circ)]$$

- Además, la señal V16Qam que resulta de la combinación (1101) también se la multiplica por $\cos W_c t$ quedando así:

$$[0.738 \sin(200K\pi t - 18^\circ) \times 1 \cos(200k\pi t)]$$

Aplicando la identidad ($\sin A * \cos B$) muestra la expresión:

$$\frac{0.738}{2} [\sin(200k\pi t - 18^\circ + 200k\pi t) + \sin(200k\pi t - 18^\circ - 200k\pi t)]$$

$$0.38 [\sin(400k\pi t - 18^\circ) + \sin(-18^\circ)]$$

4.2.3. Etapa de Filtrado en el demodulador 16QAM

En este proceso de filtrado lo que se pretende es eliminar la señal alterna para posteriormente quedarnos solo con la señal Dc que es la que se requiere para que en la siguiente fase de conversión analógica – digital el microcontrolador previamente configurado detecte estas señales, las procese y muestre los resultados en binario que es lo que se aspira en los resultados.

En esta etapa se utilizará un filtro pasa bajas pasivo de orden quinto formado con resistencias y capacitores tanto para los canales I e I' y en los canales Q e Q'.

Los filtros pasivos y por lo regular los de pasa bajo se aplican habitualmente en la entrada con el objetivo de simplificar las interferencias que están superpuestas a la señal.

En la siguiente figura se muestra el filtro pasa bajas usado con elementos pasivos para los canales I e I' en la implementación del proyecto.

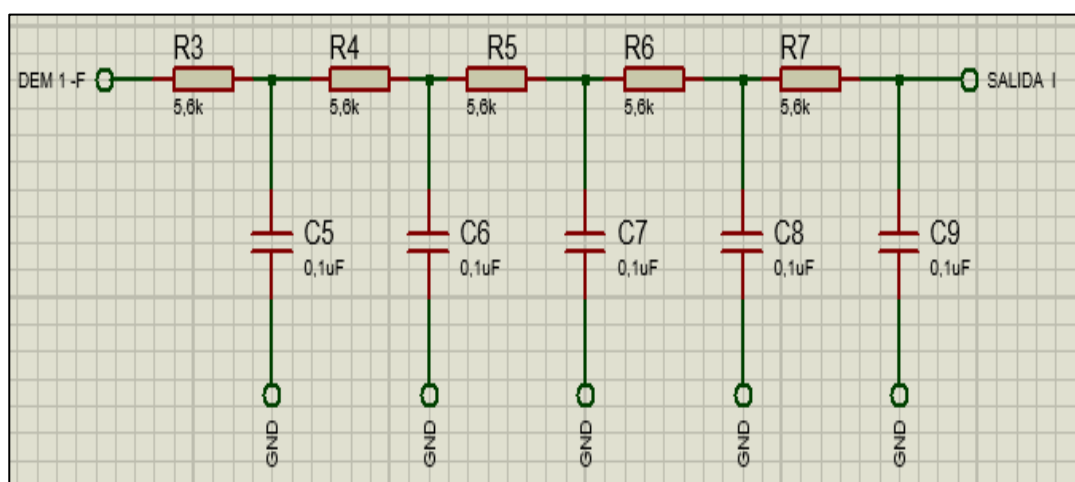


Figura 22. Diseño de filtro pasa bajas de quinto orden a utilizar en canal I e I'.
 Información adaptada de Proteus v8.9. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian.

A la salida del filtro de los canales I e I' se denota la eliminación de la señal alterna dejando solo la señal Dc.

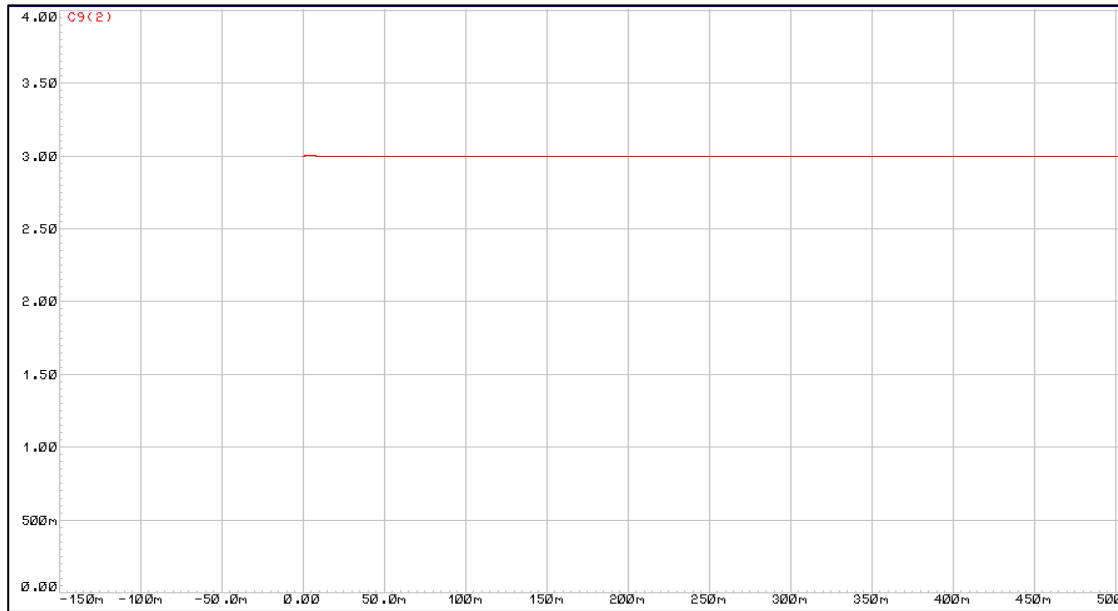


Figura 23. Filtrado de la señal alterna dejando solo señal DC en canal I e I'

Información adaptada de Proteus v8.9. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian.

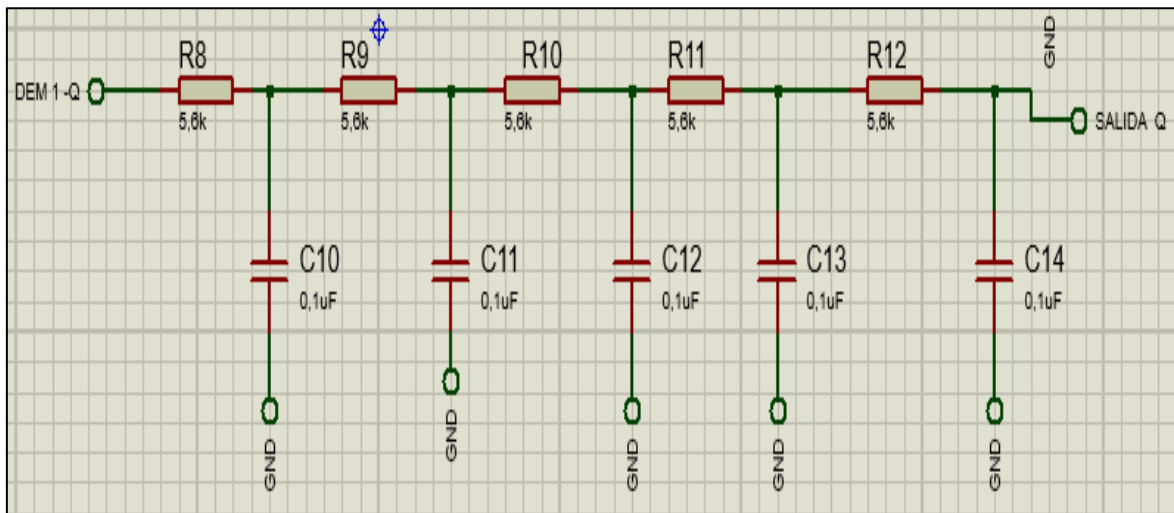


Figura 24. Diseño de filtro pasa bajas de quinto orden a utilizar en canal Q e Q'.

Información adaptada de Proteus v8.9. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian.

De la misma manera a la salida del filtro en los canales Q e Q' se denota la eliminación de la señal no deseada y quedando sola la señal que se necesita para la detección del voltaje que luego realizará el convertidor A/D.

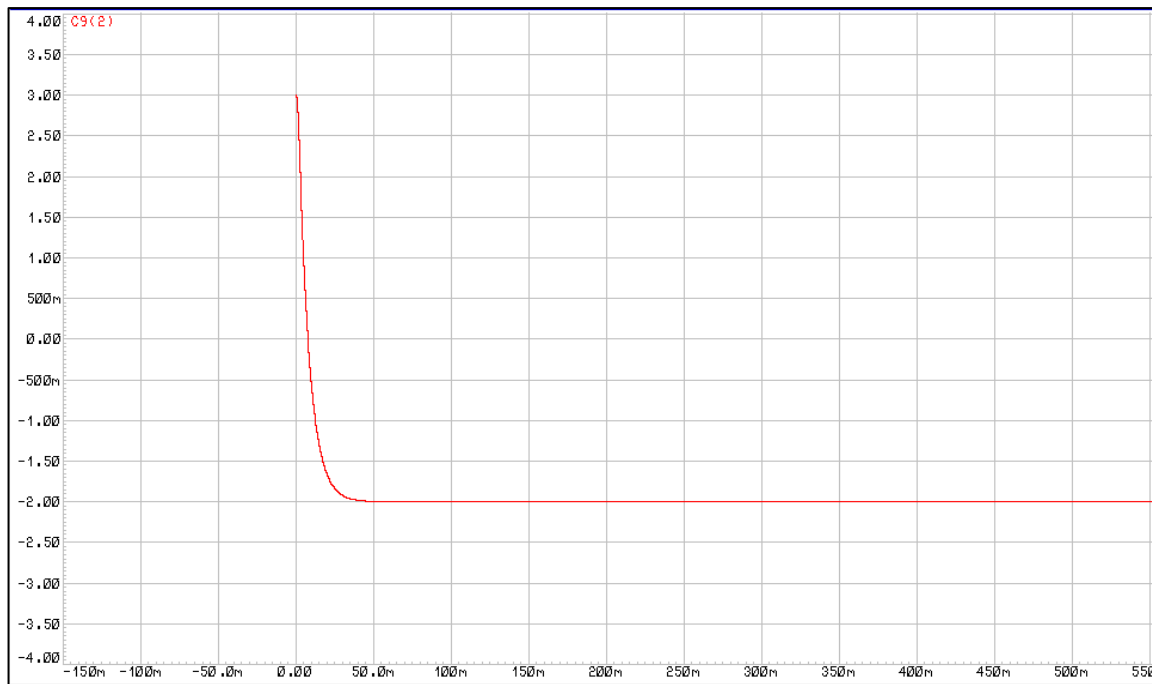


Figura 25. Filtrado de la señal alterna dejando solo señal DC en canal Q e Q'. *Información adaptada de Proteus v8.9. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian.*

Se describe que la frecuencia de corte de nuestro filtro pasa bajas está dada por la fórmula:

$$f_c = \frac{1}{2\pi R^2 C^2 \sqrt{RC}}$$

4.2.4. Etapa de conversión Analógica-Digital

En este proceso optamos por realizarlo mediante un microcontrolador pic 16F877A con el fin de conseguir un almacenamiento de información en forma más eficiente, confiable, veloz y ahorrativo que los sistemas analógicos. Afirmamos también que el transporte de señales digitales es más fiable que la información analógica teniendo en consideración diferentes parámetros en el uso de nuestro ADC como la resolución, la velocidad de conversión; luego de diversas pruebas hicimos uso de dicho Pic.

El Pic 16F877A se alimenta de 5V y no tiene la capacidad de leer valores negativos razón por la cual en nuestro proyecto de investigación trabajamos con valores simétricos a la salida del filtro antes de llegar al Pic aplicamos un circuito negador solo para los valores negativos para que posteriormente los procese nuestro microchip.

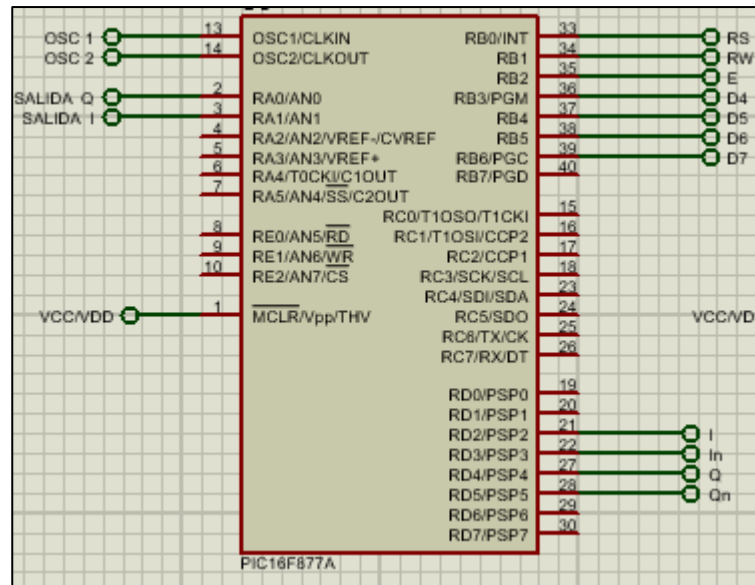


Figura 26. Esquema de conexiones a utilizar en nuestro convertidor A/D usando pic 16F877A. Información adaptada de Proteus v8.9. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Crithian.

En la figura 26 notamos que en el pin 2 ingresa la señal que previamente era la salida del filtro pasa bajas para el canal Q y Q' y en la terminal 3 de la misma manera la señal que fuera la salida del filtro para el canal I y I' respectivamente.

En la terminal 1 se coloca la fuente de alimentación del pic a 5V.

En el pin 33 se conecta la entrada al selector de registro del display LM032L, en la terminal 34 la entrada de lectura y escritura adicionando que en el pin 35 se conecta para la señal de habilitación de la pantalla.

Posteriormente también en los pines 21,22,27 y 28 se ingresan las señales I I' Q Q' previamente procesadas mediante el programa compilador del pic que son las que se mostraran luego a las salidas de datos del pic que son las terminales 36,37,38,39.

Cabe recalcar que se tuvo que realizar un pequeño esquema en proteus de un oscilador de cristal de cuarzo que se debe conectar al pic haciendo referencia que es un oscilador externo que está instalado fuera del microcontrolador y conectado a los pines OSC1 y OSC2 terminales 13 y 14 respectivamente; es denominado 'externo' porque utiliza componentes externos para generar una señal de reloj y estabilizar la frecuencia. La máxima frecuencia de señal de reloj está limitada a 20 MHz.

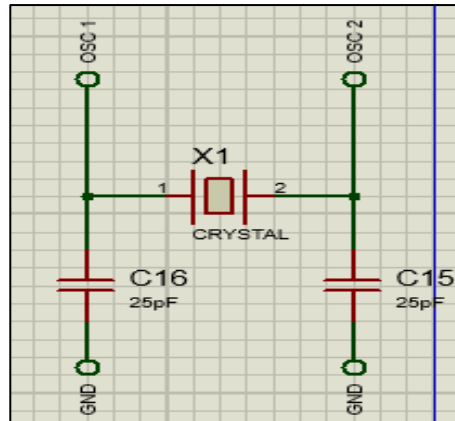


Figura 27. Diagrama del oscilador de cristal externo.

Información adaptada de Proteus v8.9. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian.

4.2.4.1. Programación del pic 16F877A

Para la configuración del pic se utilizó el programa CCS C COMPILER el cual utiliza un lenguaje de programación en C, muy práctico y fácil de usar el cual es indispensable para programar microcontroladores. A continuación, se muestra el código (ver anexos).

Es necesario señalar que el Pic no lee valores negativos razón por la cual se trató de buscar la manera de solucionar ese detalle recordando que se está trabajando con valores simétricos tanto positivos y negativos y se implementó un circuito adicional el cual se muestra en la figura 29; consta de un primer opam que sale desde la fuente que es un aislador de impedancia lo siguiente es un seguidor de voltaje y luego un sumador agregando una señal de offset que es un voltaje de directa Dc para obtener un desplazamiento en la amplitud de dicha señal.

Se muestra a continuación un diagrama de flujo de los pasos que se ejecutaron para la programación del PIC como convertidor analógico – digital.

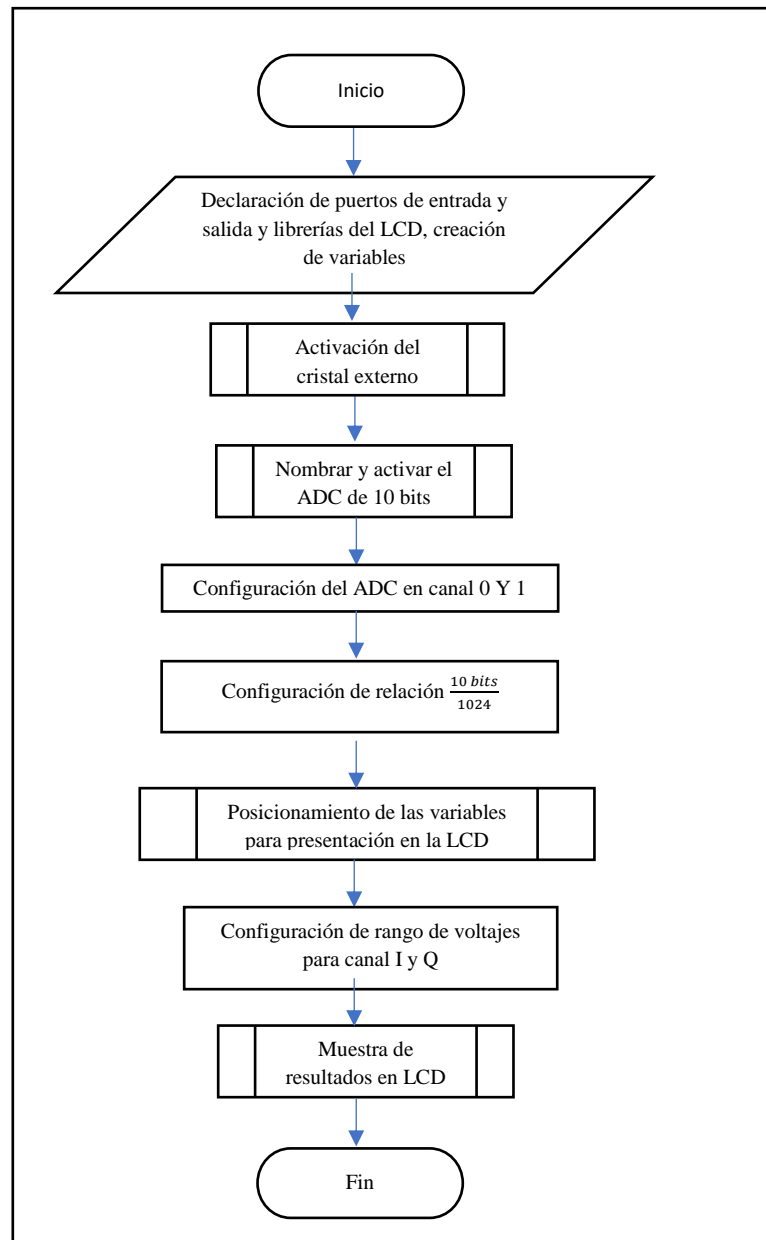


Figura 28. Diagrama de flujo para programación de PIC como convertidor A/D.
 Información adaptada de Proteous v8.9. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian.

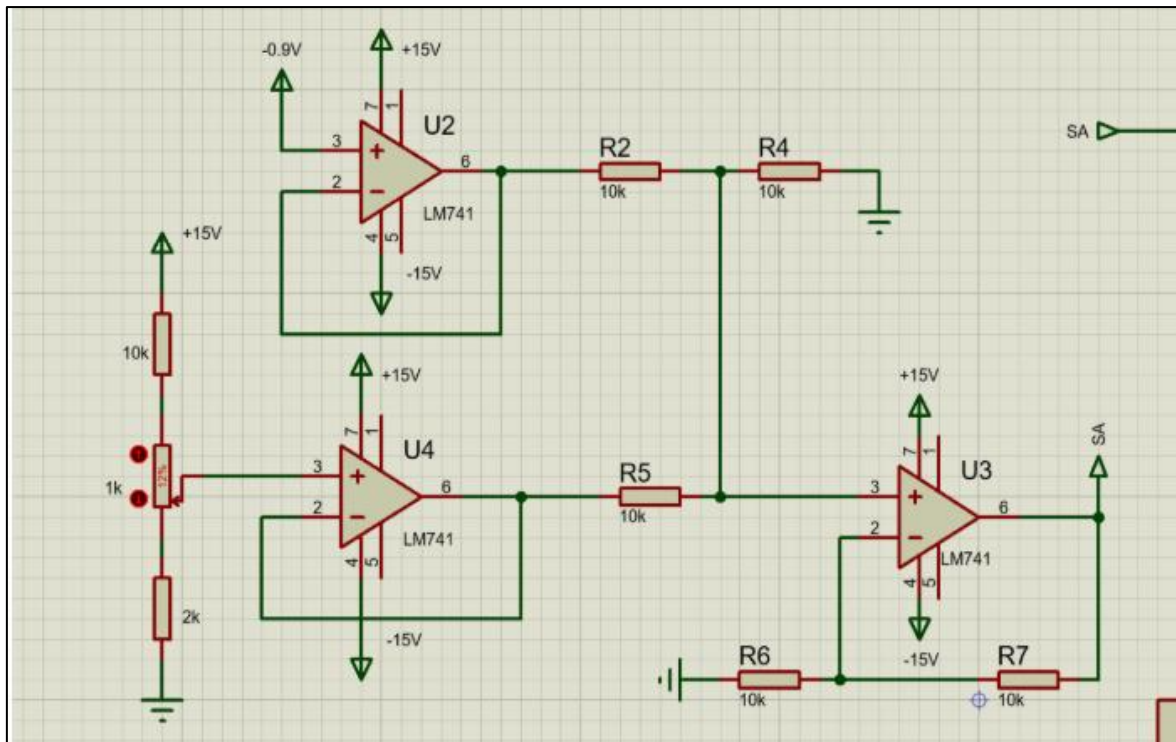


Figura 29. Diagrama del circuito que permite transformar valores negativos a positivos a la entrada de lectura del pic. Información adaptada de Proteus v8.9. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian.

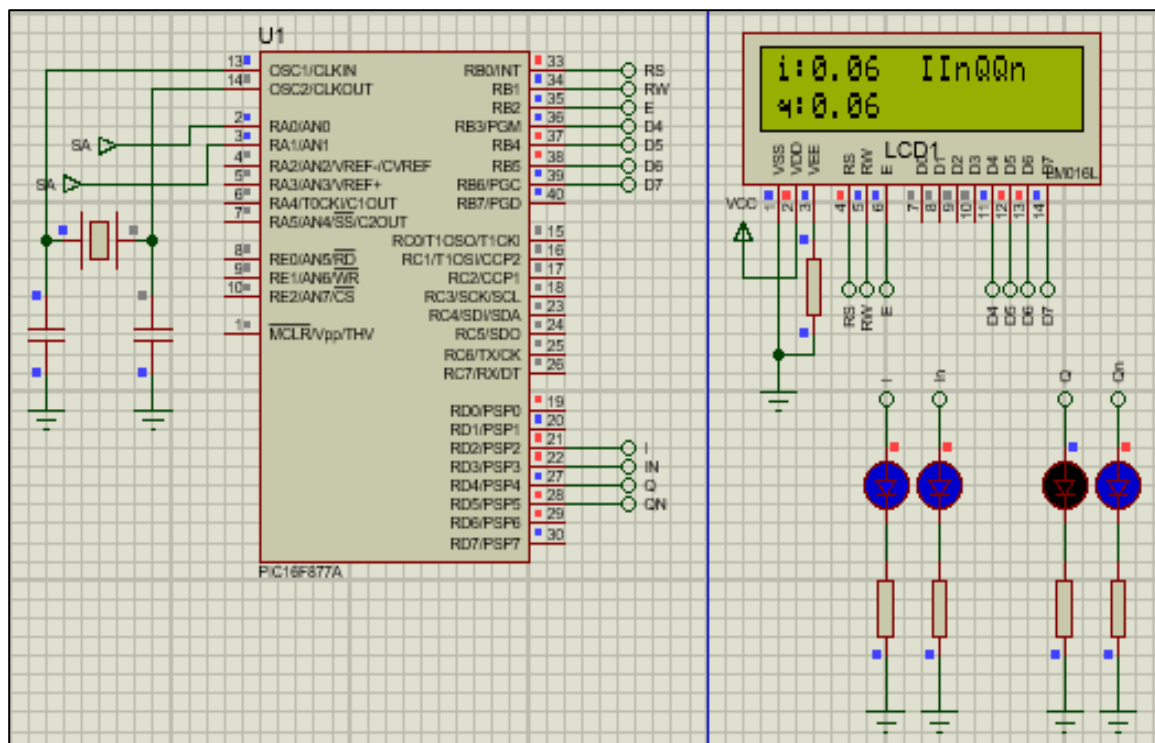


Figura 30. Resultados de lectura del pic de valores negativos mostrando voltajes positivos. Información adaptada de Proteus v8.9. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian.

4.3. Diseño del demodulador en ISIS

El diseño del demodulador se realizará en ISIS que es la herramienta principal de proteous el cual cuenta con un entorno esquemático muy ilustrativo que permite controlar cada componente a la manera en que se ajuste a nuestro requerimiento con enorme capacidad de acabado para los circuitos, ideal inclusive para complejos diseños electrónicos destinados para las pruebas y simulaciones; en conclusión, es por medio del ISIS donde haremos el esquema electrónico del circuito para luego diseñarlo en el entorno ARES. Tiene una gama de librerías de componentes donde inclusive permite crear nuevos elementos y su modelización para la simulación.

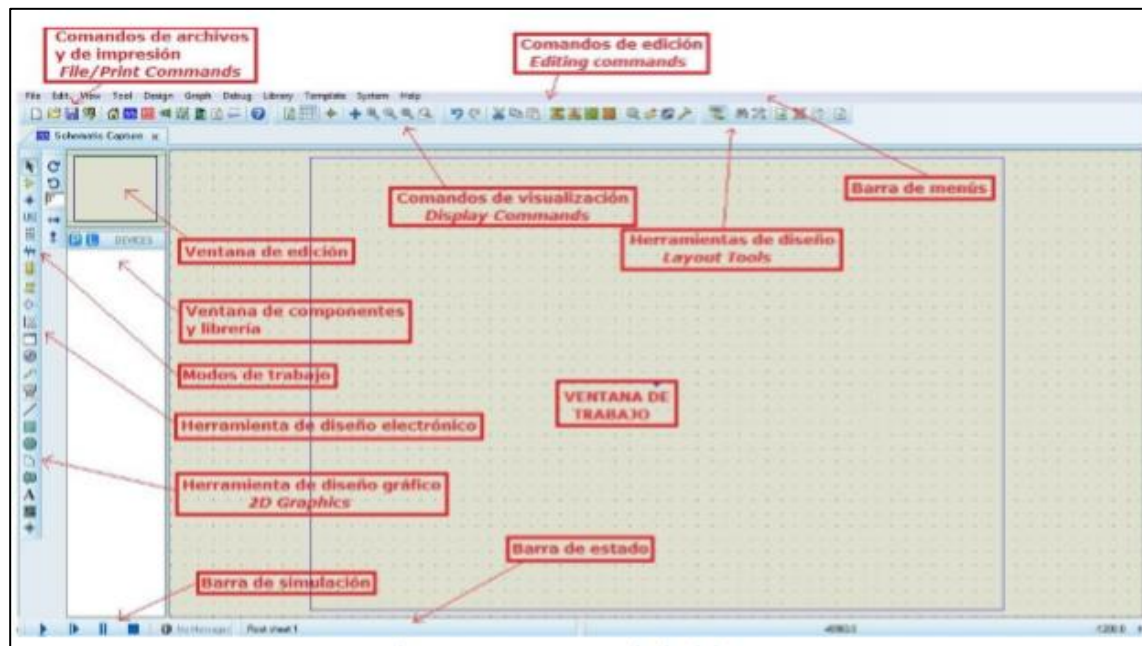


Figura 31. Ventana principal de ISIS. *Información adaptada de investigación de trabajo.*
Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian.

A partir del diagrama simulado en Isis se procede a crear esquemáticamente el diseño del circuito en ARES que es un software que nos ayudará con el desarrollo en la placa de circuito impreso PCB, considerar el diagrama en ISIS es de vital importancia porque por medio de la simulación detectamos errores que se deben solucionar al momento ya que si no se corrige de seguro no tendremos los resultados que se esperan en nuestro proyecto. Por ello es recomendable compilar varias veces nuestra simulación para pulir cualquier falla en nuestra implementación.

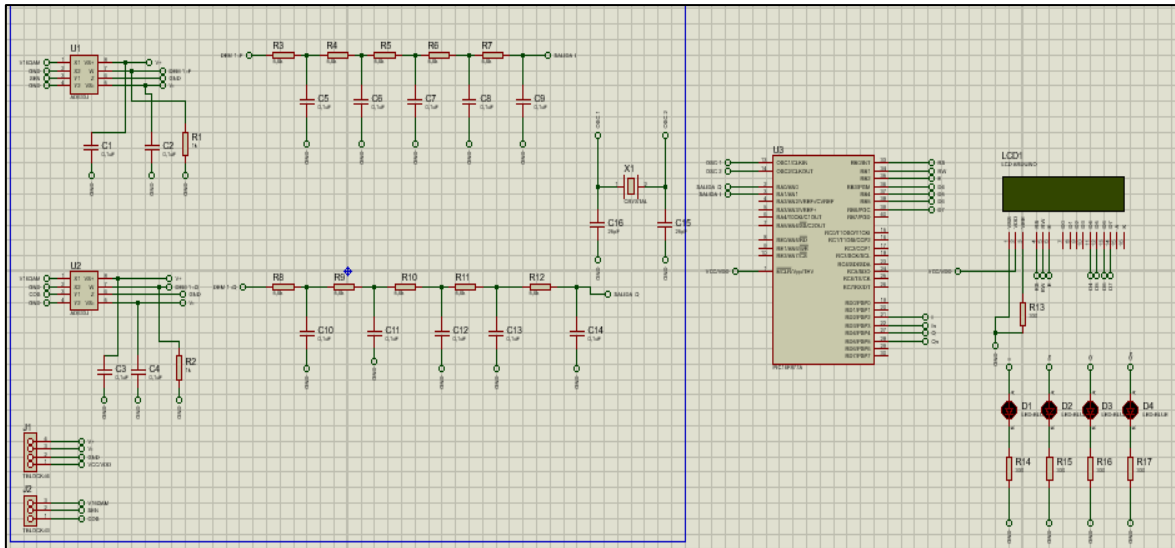


Figura 32. Esquema del demodulador 16QAM en Isis. Información adaptada de Proteus v8.9. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian

4.4. Diseño del demodulador en ARES

Ares es un instrumento que viene incorporado en proteus utilizado principalmente para el diseño de placas PCB. Está absolutamente integrado con la herramienta Isis. Apenas está realizado nuestro circuito electrónico, simulado al 100 por ciento sin errores se produce automáticamente una Netlist que es una lista de redes el cual Ares la puede recibir para diseñar a partir de ella la PCB. Notando que de esta manera se asegura que la placa posea los mismos enlaces de los pines unidos entre sí.

4.4.1. Ventana principal de Ares

Al momento en que se ejecuta Ares se observa su entorno principal, en la parte superior esta la barra de menú y la parte de mayor extensión de la pantalla es el área de trabajo, el área del lado izquierdo se denomina ventanas de edición donde podremos mirar nuestro trabajo en distintas escalas. Cabe indicar que cuando se selecciona un objeto en el cuadro selector de objetos el cuadro de edición se emplea para mostrar una vista de lo seleccionado. En la zona inferior izquierda tenemos la barra de control la cual esta segmentada en 4 secciones que son el selector de filtros, la barra de estado, el selector de caras y el test de errores con las coordenadas que muestran la posición de nuestro puntero.

En la figura 33 se muestra el entorno de Ares recalcando lo más esencial en sus menús.

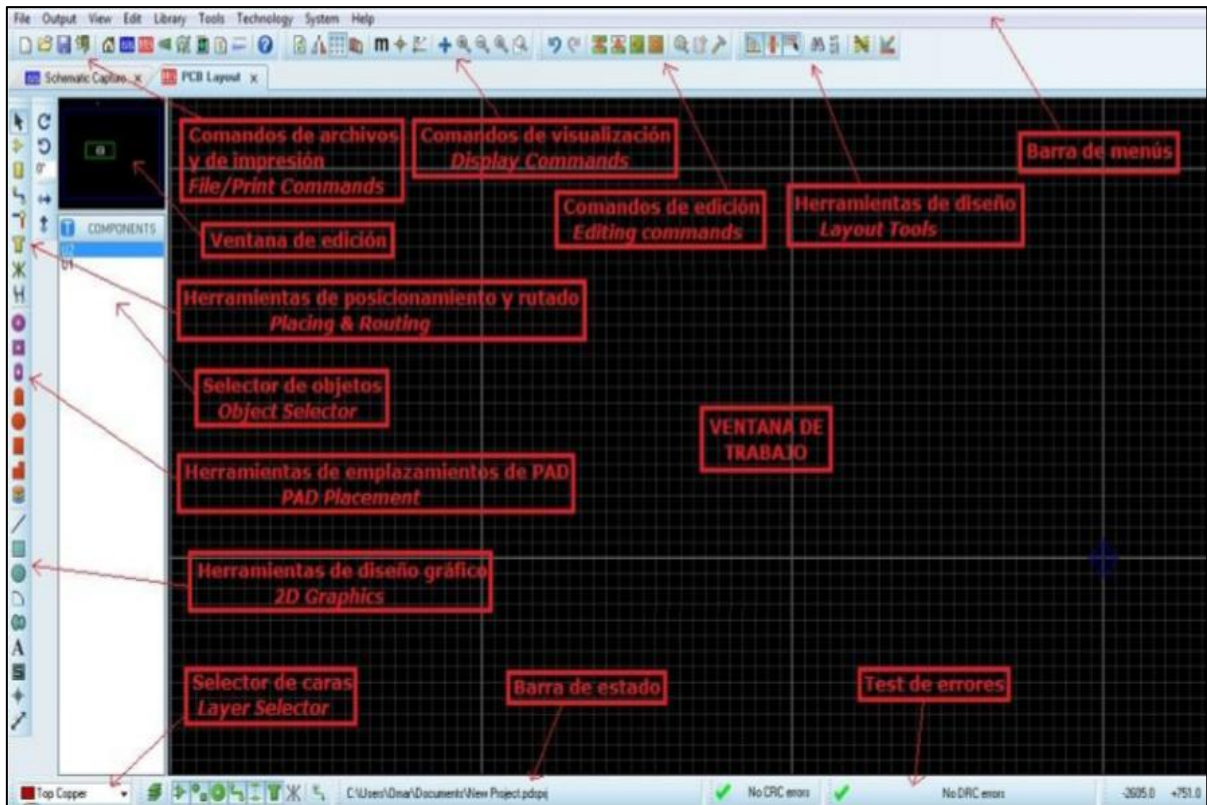


Figura 33. Entorno principal de Ares. *Información adaptada de investigación de trabajo. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Crithian.*

4.4.2. Diseño de la placa de circuito impreso

4.4.2.1 Creación de bordes de la placa

Primeramente, definimos la forma y el tamaño de la placa que se va a requerir. Para nuestro demodulador utilizaremos de +149.390mm por -70mm. Para la traza de la placa nos situamos en 2D graphics box mode en la barra lateral izquierda luego se escoge la capa sobre la que deseáramos trabajar el cual se escogió Board Edge.



Figura 34. Trazado de bordes de PCB en Ares. *Información adaptada de investigación de trabajo. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Crithian.*

Tendríamos como resultado un rectángulo de borde color amarillo con las medidas que escogimos previamente.

4.4.2.2 Colocación de componentes.

Una vez que ya tenemos el área de trabajo debemos colocar los componentes, pero ares tiene una particularidad que permite realizarlo de forma manual y automática.

En el costado izquierdo de la ventana principal se selecciona la opción “component mode” de ahí en el selector de objetos mostrara todos los elementos que fueron incluidos en el diseño electrónico previamente. Luego de ello nos ubicamos en el menú principal en la parte superior del ares para iniciar el auto posicionador damos click en tolos luego click en auto placer.

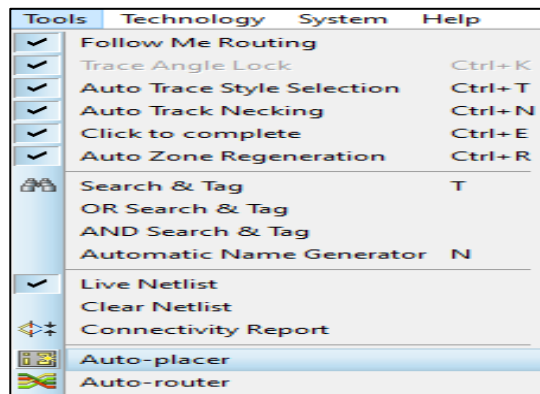


Figura 35. Ícono del auto-placer para el seleccionamiento automático. *Información adaptada de Ares. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian.*

Luego de ello se apertura una ventana donde aparecen todos los componentes a utilizarse y si no desea agregar alguno de ello simplemente lo quita de la lista desactivándole el visto.

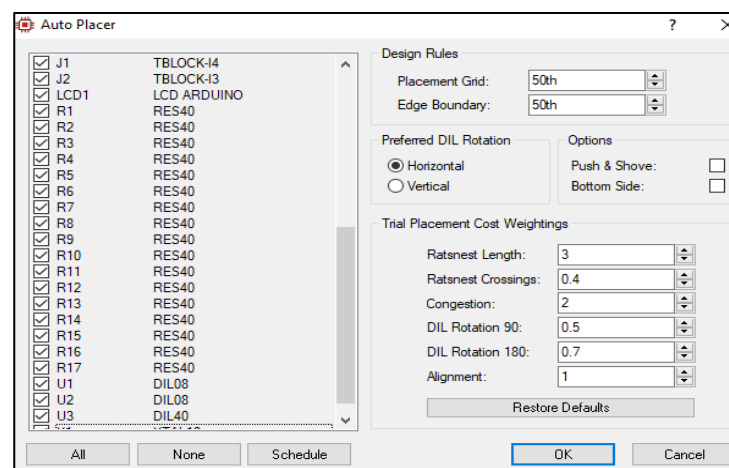


Figura 36. Ventana de auto-placer para selección de componentes. *Información adaptada de Ares. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian*

Una vez que se clickea ok, reflejan todos los componentes sobre el área de trabajo y de ahí si se considera necesario moverlos de manera que quede bien ajustado acorde a lo que

tengamos esquematizado para darle un toque más estético a la presentación. En la figura 37 se muestra como los componentes quedan colocados automáticamente.

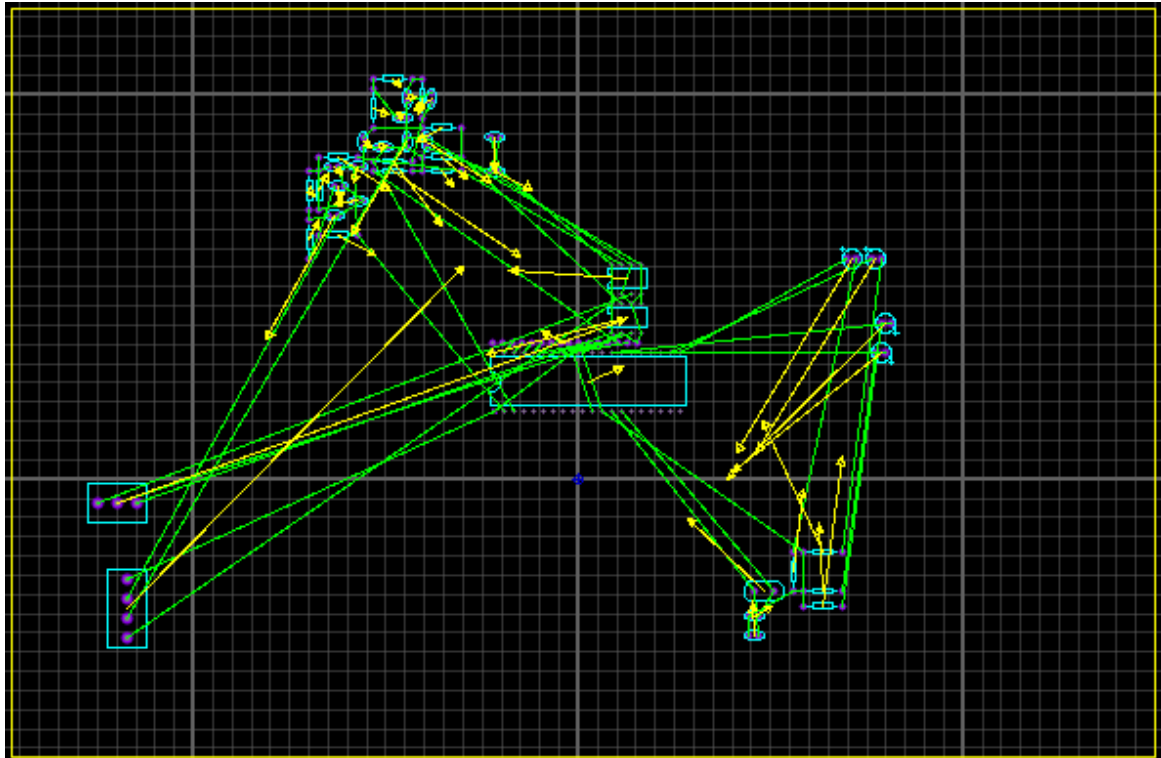


Figura 37. Ejemplo de posicionamiento de componentes de manera automática. *Información adaptada de Ares. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian.*

Si una vez posicionados cada uno de los componentes a utilizar en nuestro diagrama PCB nos quedara entonces listo para configurar ares para las particularidades que conlleva el diseño las limitaciones que se estima emplear y lo que se debe considerar en tener en cuenta desde el enfoque eléctrico tal como la separación máxima o mínima entre pistas o agregando a ello la distancia hacia debajo de la que no deben agregar elementos como referencia al borde de la placa.

4.4.2.3 Trazado de pistas

Para el trazado de pistas disponemos de dos opciones sean estas de manera manual y automática. En nuestro caso elegiremos de manera automática ya que es muy práctico y ahorra tiempo al momento de realizarlo, posibilita realizar todas las rutas de nuestro circuito considerando cualquier espesor empleando vías de distintas anchuras ya sean estas a 45 o 90 grados utilizando desde una a 8 capas.

Para efectuar el auto ruteo nos dirigimos al menú tolos luego clickeamos en auto-router como lo muestra la figura 38.

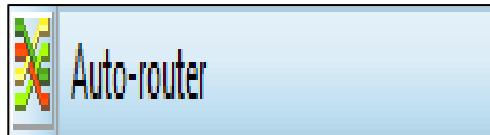


Figura 38. Selección del Auto-router para el trazado automático de pistas. *Información adaptada de Ares. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian*

En la figura 39 se visualiza el auto-ruteo de 2 caras superior e inferior:

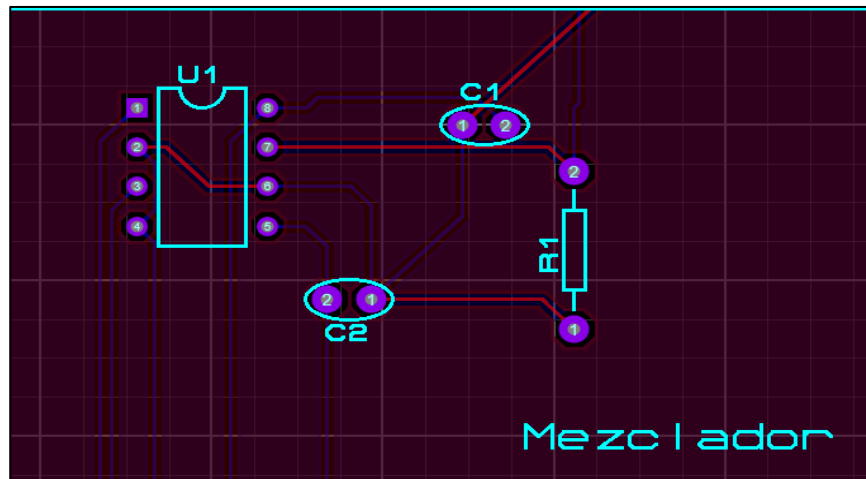


Figura 39. Ejemplo de trazado automático de pistas. *Información adaptada de Ares. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian*

Existe también la manera en que Ares produzca un espacio de disipación automática sin tener que dibujarla, para realizar esta funcionalidad nos ubicamos en el menú principal click en la opción tools luego seleccionamos “power plane generator” aparece luego de ello un recuadro donde nos indica si se desea un plano de alimentación, donde se desea colocar, la distancia con referencia a los bordes de la pcb y también el estilo de los límites.

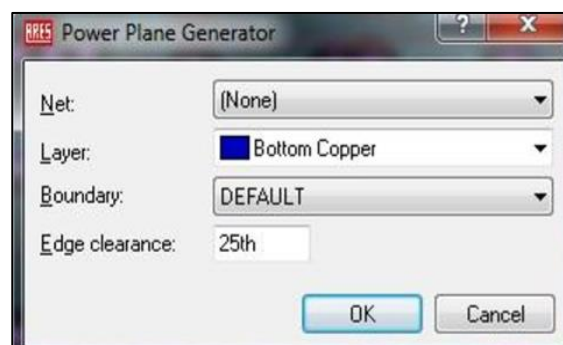


Figura 40. Cuadro de selección del tipo superficie de disipación. *Información adaptada de Ares. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian*

En la siguiente figura 41, se muestra el diseño resultante del diagrama esquemático al diseño del circuito impreso, donde se podrá visualizar las pistas los componentes electrónicos, las perforaciones, los label, las fuentes de alimentación, conectores que servirán como puntos de pruebas y alimentación.

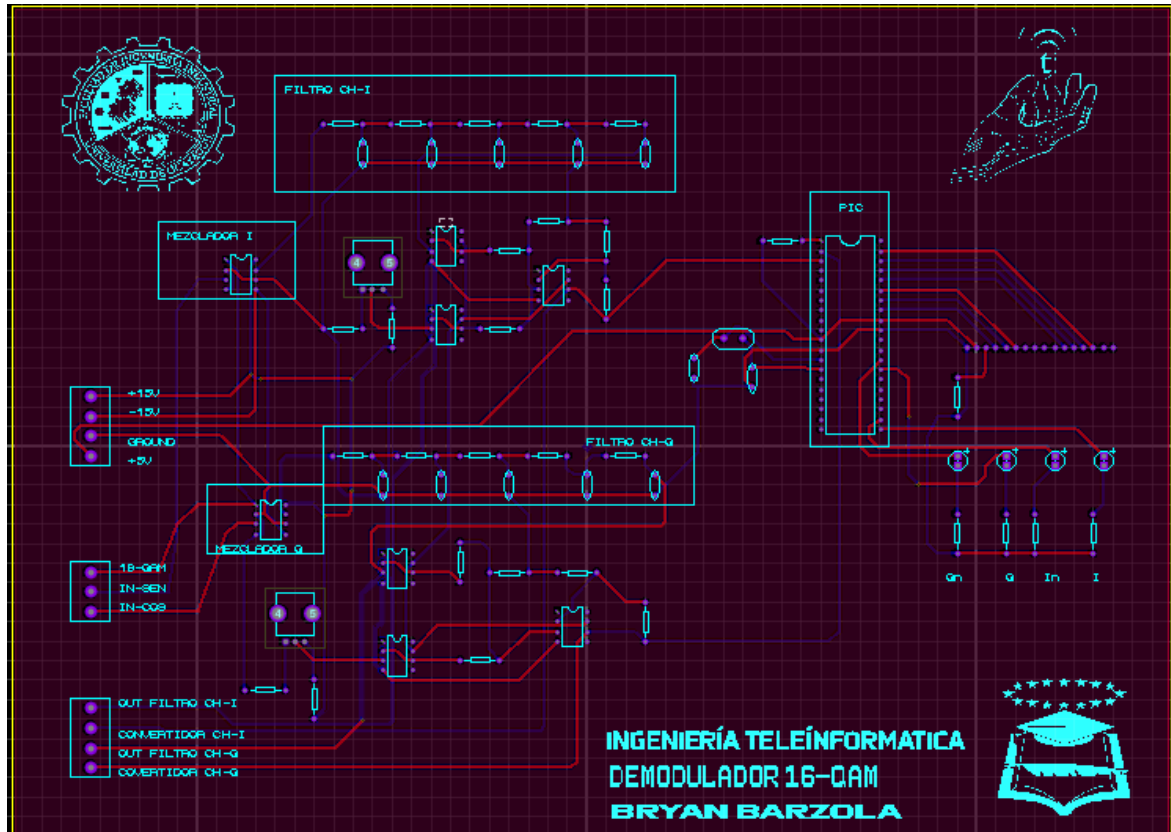


Figura 41. Acabado del diseño de placa PCB en ares. *Información adaptada de Ares. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian*

Luego de haber realizado una revisión previa de como quedo nuestro circuito se realiza una conversión del diseño a un archivo Gerber en el cual hace referencia a unos ficheros que son necesarios para enviar a la empresa de fabricación los cuales entre los más importantes figuran los siguientes:

- Fichero de la plantilla de aplicación de la pasta de soldadura
- Fichero de serigrafía de la cara superior y de la inferior
- Fichero de taladrado
- Fichero de las pistas de la cara superior
- Fichero de las pistas de la cara inferior
- Fichero de las máscaras de soldadura de ambas caras.

Para que se originen cada uno de estos ficheros mencionados recientemente hay que elegir la opción output del menú principal luego click en Generate Gerber/Excellon files,

luego aparecerá una ventana preguntando si se desea realizar un chequeo si se da click en ok y todo está correcto con cero errores y cero alertas aparecerá lo siguiente en la figura 42.

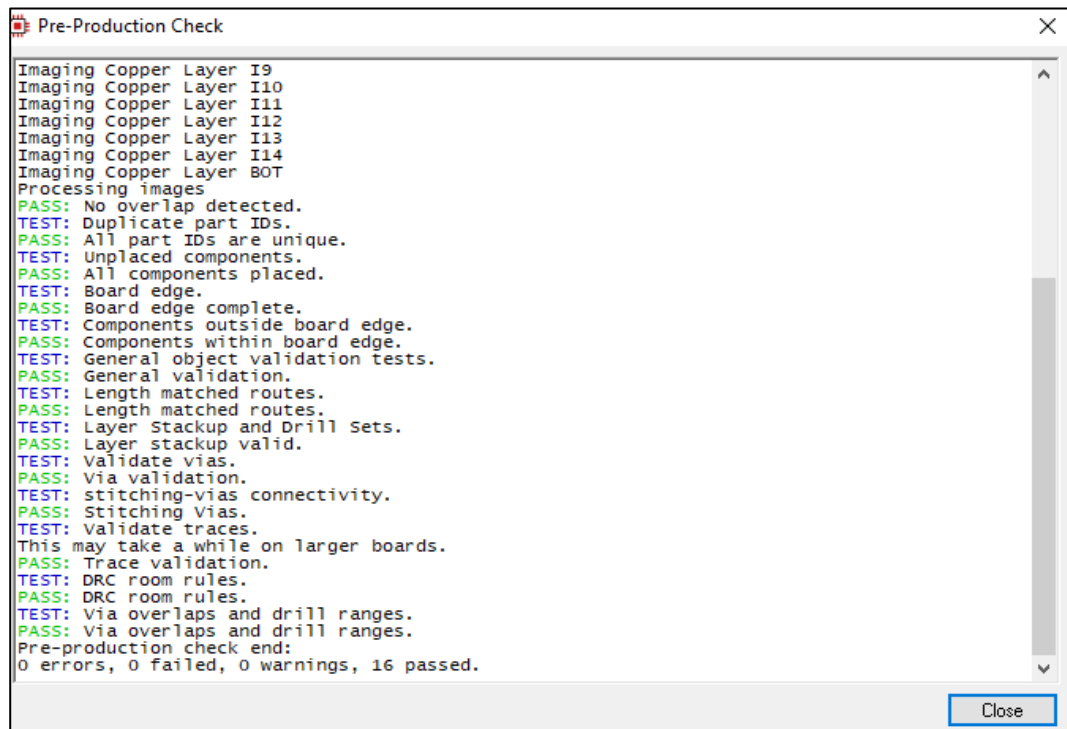


Figura 42. Verificación del diseño de placa PCB en formato gerber. *Información adaptada de Ares. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian*

4.4.2.4 Visualización 3D

Es muy importante conocer los resultados una vez que ya hayamos realizado todos los procedimientos que previamente habíamos testificado por ello ares también permite visualizar en 3D los componentes de la placa para una mejor estética en la presentación.

Para habilitar el visualizador 3D nos dirigimos a la barra de herramientas, en la figura 43 se muestra donde está situado el icono 3D.

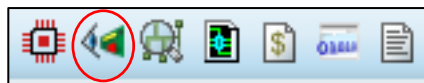


Figura 43. Ícono de la herramienta para visualización 3D.

Información adaptada de Ares. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian.

En la figura 44 se mostrará la visualización de nuestro demodulador 16QAM en pcb con su vista frontal principal en el cual se le pudo agregar mediante la ayuda del label 2D graphics text mode el logo de nuestra universidad, el título del proyecto adicionando también

que con el icono 2D graphics text mode se pudo sombrear cada una de las etapas de nuestro demodulador para una mejor comprensión y observación.



Figura 44. Visualización en 3D del acabado de nuestro circuito demodulador 16QAM.

Información adaptada de Ares. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian.

Se puede visualizar a plena vista cada una de las etapas que se le enmarcó con el 2D graphics box mode, en el lado izquierdo están cada una de las alimentaciones de nuestro circuito en el centro del tablero se logra observar la fase de mezclado con portadora añadiendo luego el filtro pasa bajas en cascada en la parte superior del filtro el circuito negador – sumador que nos permitió convertir los valores negativos a positivos; por consiguiente, el microcontrolador Pic con el oscilador de cristal y más a la derecha se puede observar el muestreo mediante la Lcd que se soldara en la placa luego con sus respectivos leds para identificar los bits recuperados.

En la figura 45 se aprecia la cara inferior de nuestro pcb

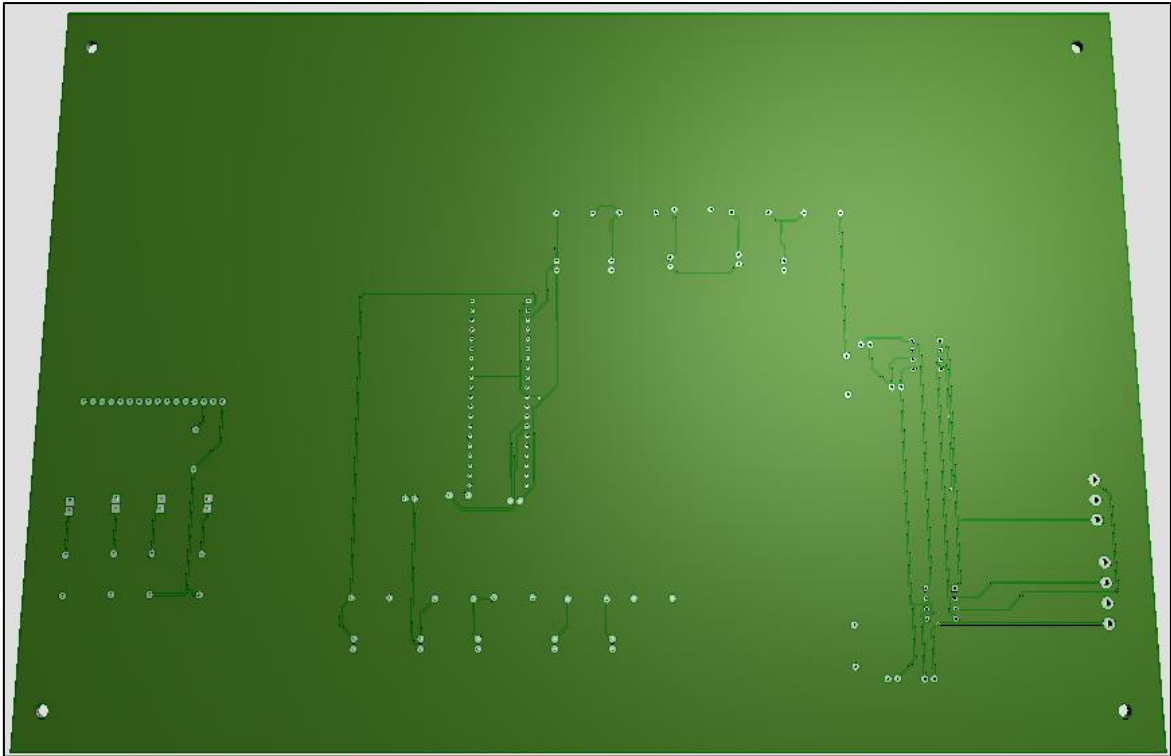


Figura 45. Visualización en 3D de la capa inferior del demodulador 16QAM. *Información adaptada de Ares. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian.*

4.5. Conclusiones

En el presente trabajo de investigación se consideran algunos puntos clave; y en el proceso de implementación del demodulador se llegaron a algunas conclusiones.

El diseño del demodulador 16QAM es mucho mejor realizarlo por etapas ya que de esta manera se va teniendo una mejor idea de la solución que se plantea a determinado problema que se vaya presentando en el transcurso de la implementación teniendo en cuenta que a medida que se corrigen los errores nos permitirá ir avanzando progresivamente hasta el final del desarrollo.

Al momento del armado del circuito se complicó un poco en la fase de mezclado de la señal V16QAM que ingresa al demodulador y multiplica con una señal portadora, se tenía pensado como multiplicador armar un circuito que previamente se había investigado para que realice esa función como tal pero en realidad el circuito resultaba muy extenso de realizarlo porque en el diagramado constaba de múltiples etapas las cuales nos ocuparía mucho espacio al momento de realizarlo en la placa PCB motivo por el cual se optó por trabajar con un integrado que en su configuración interna realiza directamente este proceso y muestra la salida en un determinado terminal.

Los sistemas demoduladores QAM resultan ser una tarea un poco complicada a la hora de la simulación usando microcontroladores en la herramienta proteous ya que requieren de mucha memoria de CPU para lograr visualizar los resultados de la simulación.

El uso de los elementos electrónicos correctos fue muy indispensable ya que se tuvo que primero realizar cálculos matemáticos antes de diseñar el diagrama del demodulador en el programa para que se pudiese observar los resultados deseados de la técnica de demodulación en 16qam.

La implementación del demodulador 16QAM más el trabajo en conjunto con el Nlélvis ayudarán satisfactoriamente a reducir tiempos en las prácticas en el laboratorio de Networking donde se imparte la cátedra de simulación de sistemas permitiéndole al estudiante tener un panorama más claro de la funcionalidad de cada componente y cada una de las etapas que se implementó en el circuito comparando resultados teóricos con prácticos.

Se concluyó además que el uso de la aplicación Ares que viene incorporada en el programa proteous es muy comprensible y de fácil uso para el diseñador ya que se encarga de hacer la placa de circuito impreso (PCB) detalle a detalle además de que permite el uso de hasta 16 capas y se puede posicionar automáticamente los componentes y realizar las pistas con mayor precisión dándole un acabado muy profesional a nuestra presentación final.

4.6. Recomendaciones

Acorde a lo realizado en nuestro proyecto de investigación demodulación 16QAM se recomienda que establezcan prioridades con respecto a la elaboración de los circuitos que se pretendan usar como parte del diagrama, haciendo referencia que si resulta mejor comprar un integrado que realice una determinada función previamente investigada sería mucho más óptimo que gastar en una serie de elementos que vayan a desempeñar un mismo resultado.

Se debe tener en cuenta sobre la manipulación de los componentes e integrados en la placa, lo cual se recomienda al estudiante tener precaución a la hora de realizar la práctica debido a que puede tener la tendencia a sufrir un repentino desperfecto lo cual resultaría complicado conseguir y volver a comprar los elementos.

Cabe destacar también que los tiempos de ejecución que maneja el pic 16F877A son bastante elevados en milésimas de segundos son capaces de mostrar resultados por ser muy volátiles en su arquitectura interna y poseer amplia memoria para datos y programa lo cual se recomienda buscar alternativas adicionales de programas para la simulación en caso de que no se encuentren a gusto con la que se usó en nuestra implementación.

Estimular al estudiante a familiarizarse con los módulos de práctica y los demoduladores ya que de comprender su funcionamiento se lograría un mejor rendimiento lo cual es parte esencial para el desarrollo profesional en el paso de su formación como ingeniero en el área de telecomunicaciones.


Se recomienda a la carrera de telecomunicaciones contar con más instrumentos de medición que permita a los estudiantes comprobar resultados basados en la teoría impartida previamente por el docente para que así no haya inconveniente a la hora de realizar alguna práctica en específico.

Realizar evaluaciones al final de cada práctica para poder calificar el nivel de comprensión adquirido por los estudiantes en su desarrollo de tareas y uso del demodulador 16QAM

ANEXOS

Anexo 1

Datasheet de elementos electrónicos


**ANALOG
DEVICES**

**Low Cost
Analog Multiplier**

AD633

FEATURES

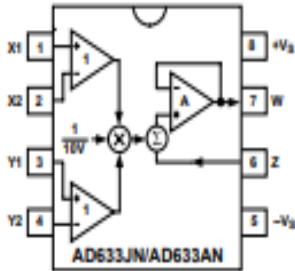
- Four-Quadrant Multiplication
- Low Cost 8-Lead Package
- Complete—No External Components Required
- Laser-Trimmed Accuracy and Stability
- Total Error Within 2% of FS
- Differential High Impedance X and Y Inputs
- High Impedance Unity-Gain Summing Input
- Laser-Trimmed 10 V Scaling Reference

APPLICATIONS

- Multiplication, Division, Squaring
- Modulation/Demodulation, Phase Detection
- Voltage-Controlled Amplifiers/Attenuators/Filters

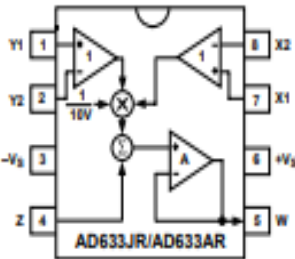
CONNECTION DIAGRAMS

8-Lead Plastic DIP (N) Package



AD633JN/AD633AN

8-Lead Plastic SOIC (SO-8) Package



AD633JR/AD633AR

$$W = \frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{10V} + Z$$

PRODUCT DESCRIPTION

The AD633 is a functionally complete, four-quadrant, analog multiplier. It includes high impedance, differential X and Y inputs and a high impedance summing input (Z). The low impedance output voltage is a nominal 10 V full scale provided by a buried Zener. The AD633 is the first product to offer these features in modestly priced 8-lead plastic DIP and SOIC packages.

The AD633 is laser calibrated to a guaranteed total accuracy of 2% of full scale. Nonlinearity for the Y-input is typically less than 0.1% and noise referred to the output is typically less than 100 μ V rms in a 10 Hz to 10 kHz bandwidth. A 1 MHz bandwidth, 20 V/ μ s slew rate, and the ability to drive capacitive loads make the AD633 useful in a wide variety of applications where simplicity and cost are key concerns.

The AD633's versatility is not compromised by its simplicity. The Z-input provides access to the output buffer amplifier, enabling the user to sum the outputs of two or more multipliers, increase the multiplier gain, convert the output voltage to a current, and configure a variety of applications.

The AD633 is available in an 8-lead plastic DIP package (N) and 8-lead SOIC (R). It is specified to operate over the 0°C to +70°C commercial temperature range (J Grade) or the -40°C to +85°C industrial temperature range (A Grade).

PRODUCT HIGHLIGHTS

1. The AD633 is a complete four-quadrant multiplier offered in low cost 8-lead plastic packages. The result is a product that is cost effective and easy to apply.
2. No external components or expensive user calibration are required to apply the AD633.
3. Monolithic construction and laser calibration make the device stable and reliable.
4. High (10 M Ω) input resistances make signal source loading negligible.
5. Power supply voltages can range from ± 8 V to ± 18 V. The internal scaling voltage is generated by a stable Zener diode; multiplier accuracy is essentially supply insensitive.

Datasheets del Integrado AD633jn. Información tomada directamente de Analog Devices. Elaborado por Bryan Barzola Culquipuma.



PIC16F87XA

28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

High-Performance RISC CPU:

- Only 35 single-word instructions to learn
- All single-cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- Operating speed: DC – 20 MHz clock input
DC – 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of Flash Program Memory, Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM), Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to other 28-pin or 40/44-pin PIC16CXXX and PIC16FXXX microcontrollers

Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during Sleep via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) – 8 bits wide with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

Analog Features:

- 10-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital Converter (A/D)
- Brown-out Reset (BOR)
- Analog Comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference (VREF) module
 - Programmable input multiplexing from device inputs and internal voltage reference
 - Comparator outputs are externally accessible

Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving Sleep mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

CMOS Technology:

- Low-power, high-speed Flash/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption

Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
	Bytes	# Single Word Instructions						SPI	Master I ² C			
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2

Datasheets del Microcontrolador Pic 16F877A. Información tomada directamente de Microchip. Elaborado por Bryan Barzola Culquipuma.

LM741 Operational Amplifier

1 Features

- Overload Protection on the Input and Output
- No Latch-Up When the Common-Mode Range is Exceeded

2 Applications

- Comparators
- Multivibrators
- DC Amplifiers
- Summing Amplifiers
- Integrator or Differentiators
- Active Filters

3 Description

The LM741 series are general-purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439, and 748 in most applications.

The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common-mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

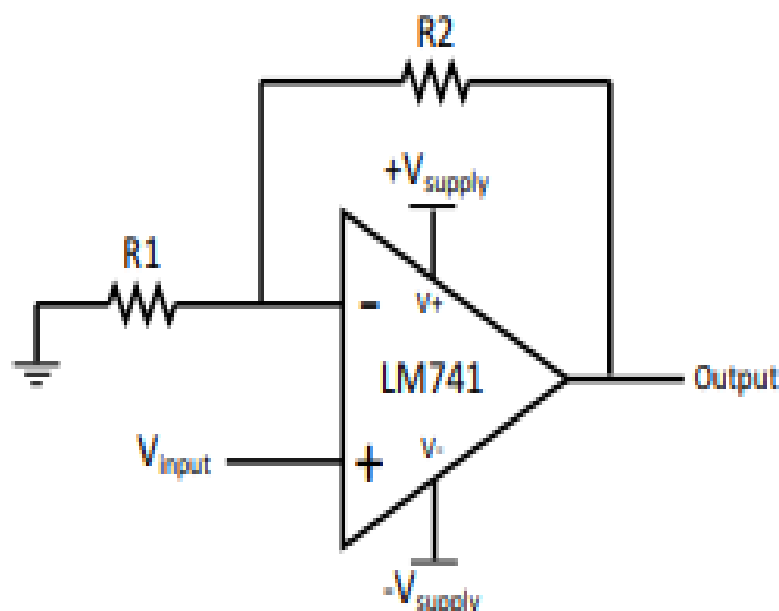
The LM741C is identical to the LM741 and LM741A except that the LM741C has their performance ensured over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
LM741	TO-99 (8)	9.08 mm × 9.08 mm
	CDIP (8)	10.16 mm × 8.502 mm
	PDIP (8)	9.81 mm × 6.35 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.

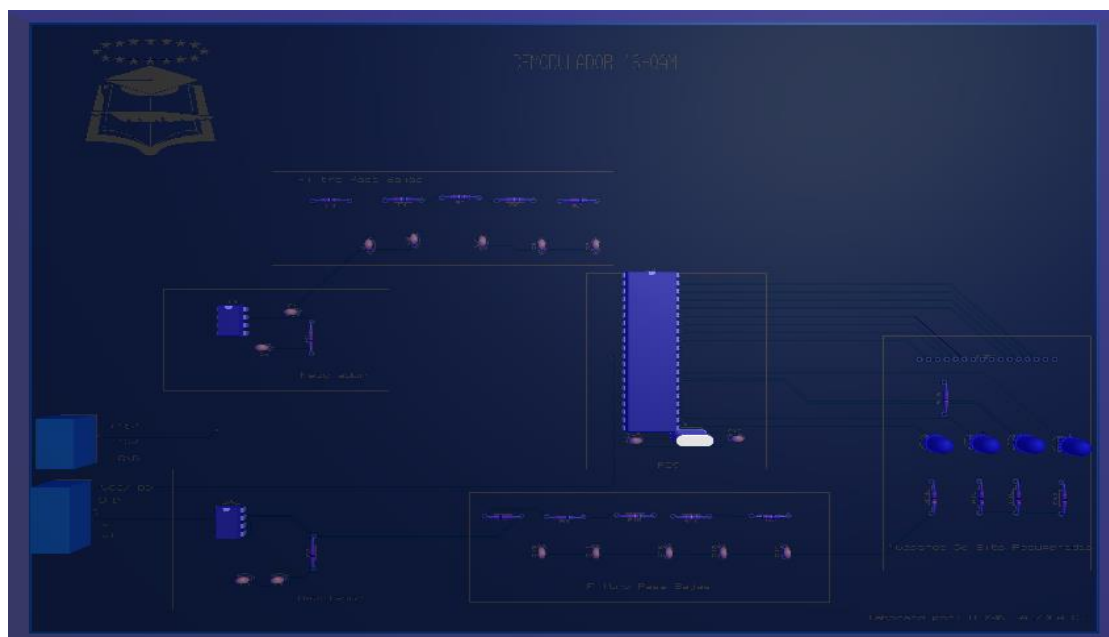
Typical Application



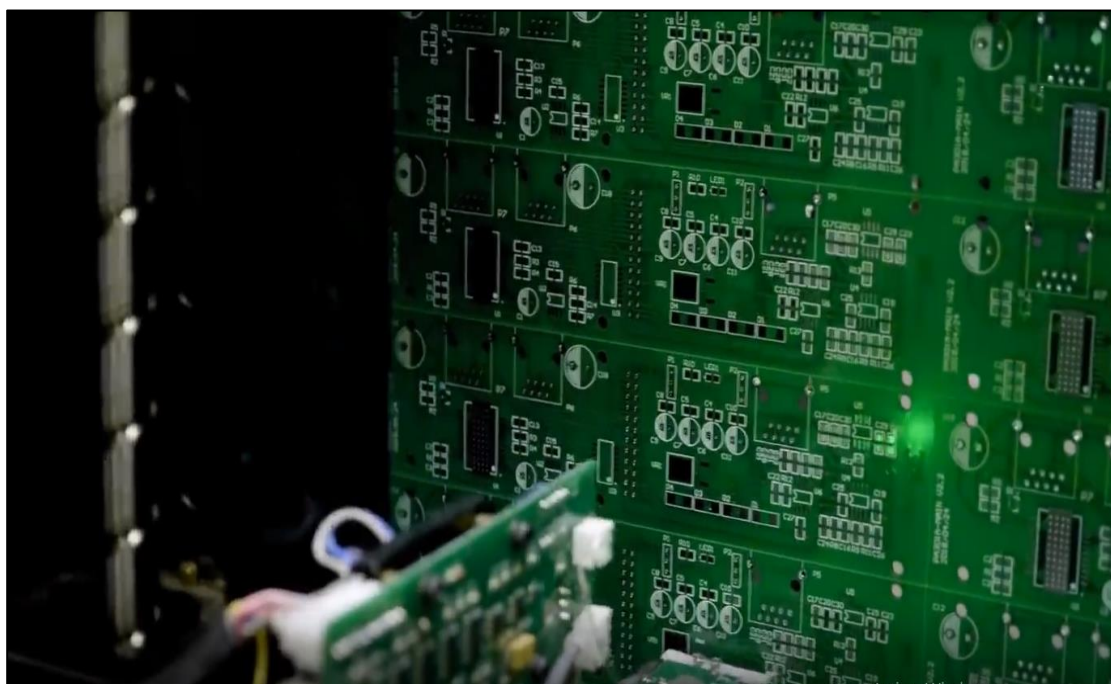
Datasheets del Opam LM741. Información tomada directamente de Texas Instruments. Elaborado por Bryan Barzola Culquipuma

Anexo 2

Fotos del proceso de la elaboración de la placa impresa



Vista de PCB desde el 3D Visualizer. Información adaptada de Proteusv8.9. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian.



Flying probe testing. Información tomada de JLCPCB. Elaborado por el autor

Anexo 3

Código de la programación del PIC 16F877A

A continuación, se muestra el código de la programación del pic 16F877A

```
#INCLUDE <16f877a.h>

#device adc=10

#USE DELAY(crystal=4000000)

#FUSES XT, NOWDT, PUT, NOBROWNOUT

#BYTE PORTA=5

#BYTE PORTB=6

#BYTE PORTD=8

#DEFINE LCD_RS_PIN PIN_B0

#DEFINE LCD_RW_PIN PIN_B1

#DEFINE LCD_ENABLE_PIN PIN_B2

#DEFINE LCD_DATA4 PIN_B3

#DEFINE LCD_DATA5 PIN_B4

#DEFINE LCD_DATA6 PIN_B5

#DEFINE LCD_DATA7 PIN_B6

#include<LCD.C>

int8 cero=0;

int8 uno=1;

int8 diez=10;

int8 once=11;

float v; float vol;

float vu; float volu;

void main(){

set_tris_a(0b11111111);

set_tris_b(0b00000000);
```

```

set_tris_d(0b00000000);
setup_adc_ports(all_analog);
setup_adc(adc_clock_internal);
lcd_init();
lcd_putc("\f");

while(true){
    set_adc_channel(0);
    delay_ms(1);
    v=read_adc();
    vol=(5.0*v)/1024.0;

    set_adc_channel(1);
    delay_ms(1);

    vu=read_adc();
    volu=(5.0*vu)/1024.0;

    lcd_gotoxy(9,1);printf(lcd_putc,"IInQQn");delay_ms(333);
    lcd_gotoxy(1,1);printf(lcd_putc,"i:%f",volu);delay_ms(333);
    lcd_gotoxy(1,2);printf(lcd_putc,"q:%f",vol);delay_ms(333);

    /* CANAL I */
    if(volu>=0.1 && volu<=1.25)
    {lcd_gotoxy(9,2);printf(lcd_putc,"%d",cero);lcd_gotoxy(10,2);printf(lcd_putc,"%d",cero);
    output_low(pin_D2);output_low(pin_D3);delay_ms(300);}

    if(volu>=1.26 && volu<=2.5)
    {lcd_gotoxy(9,2);printf(lcd_putc,"%d",cero);lcd_gotoxy(10,2);printf(lcd_putc,"%d",uno);
    output_low(pin_D2);output_high(pin_D3);delay_ms(300);}

    if(volu>=2.51 && volu<=3.75)

```



```
{lcd_gotoxy(9,2);printf(lcd_putc,"%d",diez);output_high(pin_D2);output_low(pin_D3);delay_ms(300);}
```

```
if(volu>=3.76 && volu<=5)
```

```
{lcd_gotoxy(9,2);printf(lcd_putc,"%d",once);output_high(pin_D2);output_high(pin_D3);delay_ms(300);}
```

```
/* CANAL Q */
```

```
if(vol>=0.1 && vol<=1.25)
```

```
{lcd_gotoxy(12,2);printf(lcd_putc,"%d",cero);lcd_gotoxy(13,2);printf(lcd_putc,"%d",cero);output_low(pin_D4);output_low(pin_D5);delay_ms(300);}
```

```
if(vol>=1.26 && vol<=2.5)
```

```
{lcd_gotoxy(12,2);printf(lcd_putc,"%d",cero);lcd_gotoxy(13,2);printf(lcd_putc,"%d",uno);output_low(pin_D4);output_high(pin_D5);delay_ms(300);}
```

```
if(vol>=2.51 && vol<=3.75)
```

```
{lcd_gotoxy(12,2);printf(lcd_putc,"%d",diez);output_high(pin_D4);output_low(pin_D5);delay_ms(300);}
```

```
if(vol>=3.76 && vol<=5)
```

```
{lcd_gotoxy(12,2);printf(lcd_putc,"%d",once);output_high(pin_D4);output_high(pin_D5);delay_ms(300);}
```

```
}
```

Anexo 4

Guía de práctica del demodulador digital 16QAM

GUÍA DE PRÁCTICA

16QAM SISTEMA

- 1. Objetivos**
- 2. Discusión de fundamentos**
- 3. Equipos requeridos**
- 4. Experimentos y registros**

Experimentar Demodulación 16 QAM

1. Objetivos

- a) Estudiar los principios de la demodulación digital 16QAM.
- b) Implementar un Demodulador digital.

2. Discusión de fundamentos

La demodulación digital M-aria es un tipo de recepción digital en la cual la principal función es recibir un mensaje mediante una serie de procesos; captar en binario la información que se transmite previamente en el proceso de modulación. El término demodulación engloba el conjunto de técnicas utilizadas para recuperar la información transportada por una onda portadora, que en el extremo transmisor había sido modulada con dicha información. Este término es el opuesto a modulación. Así en cualquier telecomunicación normalmente existirá al menos una pareja modulador-demodulador.

3. Demodulador 16QAM

Para lograr realizar el proceso de demodulación primeramente se debe saber que QAM es una forma de modulación digital cuya información está contenida tanto en la fase como en la amplitud de la portadora transmitida. Se debe obtener una señal modulada en 16QAM en la cual los datos se dividen en grupos de 4 bits (cuadribits). Las 16 posibles combinaciones varían la amplitud y la fase de la portadora, la cual por tal razón puede tomar 16 estados diferentes.

El demodulador utiliza a la entrada dos multiplicadores los cuales uno funciona para el canal I e I_n y el segundo para el canal Q e Q_n ; se requiere un oscilador local con la misma referencia de fase a fin de decodificar la información transmitida. Los multiplicadores de cuadratura y los filtros producen una estimación de las amplitudes en cuadratura, las cuales son las bases de la identificación de símbolos. La sincronización de portadora realiza la conversión a banda base de las componentes en cuadratura de la señal mediante réplicas de fase coherentes de las portadoras en cuadratura.

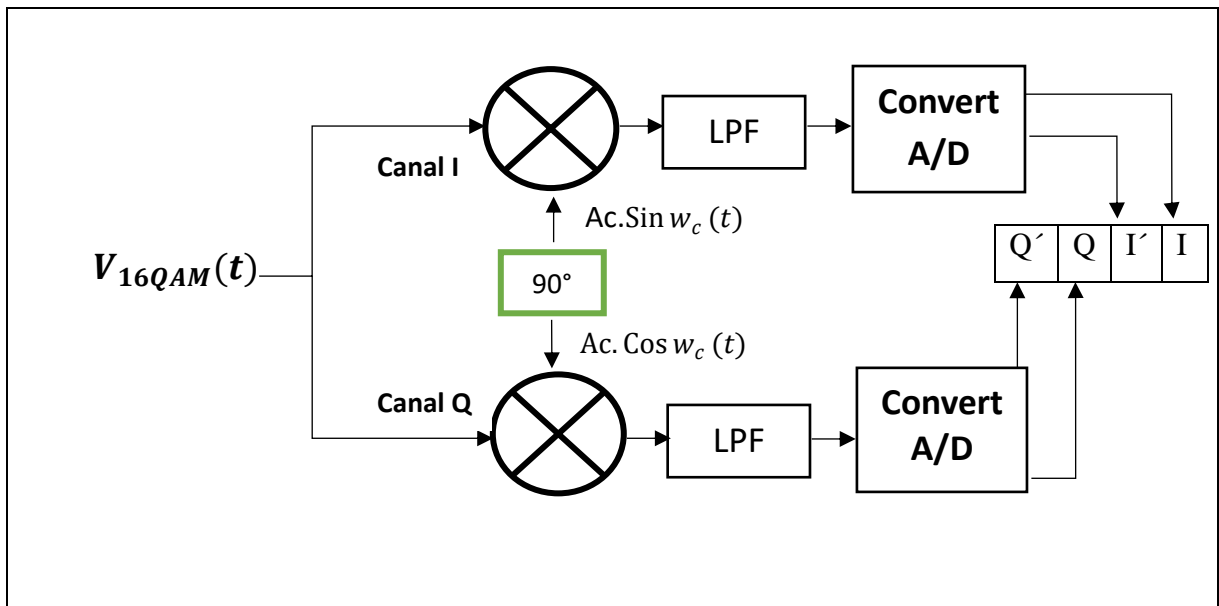


Figura 1. Diagrama de bloque del demodulador 16qam. Información tomada directamente del autor. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian.

Características

Demodulador y decodificador. En el lado de recepción las funciones que se cumplen son:

- Demodulación en cuadratura de la señal y Filtrado (acota la banda de ruido).
- Control Automático de Ganancia para garantizar el nivel relativo entre los ejes I y Q.
- Ecuación adaptativa (mejora la forma de onda reduciendo la ISI).
- Recuperación de la temporización y de la fase de la portadora.
- Decodificación diferencial y Conversor paralelo a serie.

Para el caso de la implementación del demodulador uno de los componentes más importantes es el circuito inversor haciendo referencia que en nuestra implementación se trabajan con valores simétricos, los mismos que teniendo los valores a la salida del filtro pasabajas de orden quinto para cada uno de los respectivos canales, los valores negativos permite transformarlos a positivos por motivo del cual el microcontrolador no permite la lectura de valores negativos es por ello que surgió el diseño de este circuito para poder contrarrestar esta problemática. En conclusión, el funcionamiento es que si a la salida del filtro nos da como resultado un valor positivo lo tolera, pero si refleja uno negativo lo convierte a positivo.

Se describe el esquema del circuito en la siguiente página.

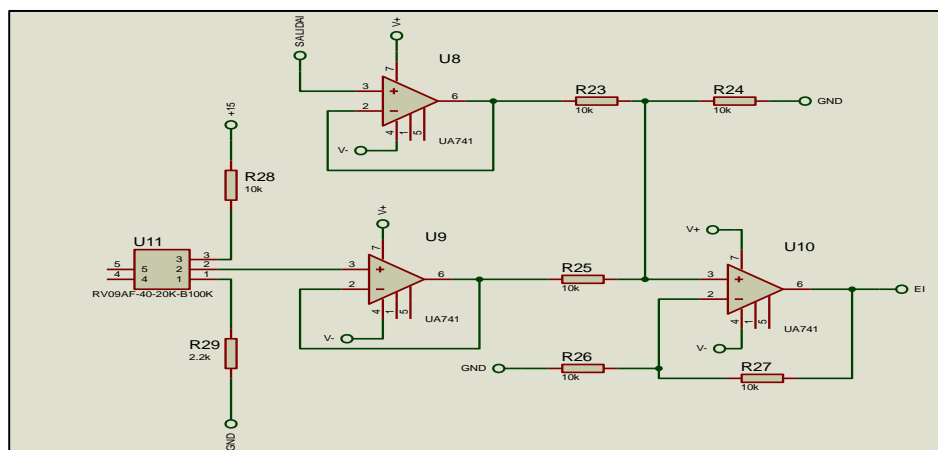


Figura 2. Diagrama del circuito que permite transformar valores negativos a positivos a la entrada de lectura del pic. Información adaptada de Proteus v8.9. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Crithian.

Consta de un primer opam LM 741 en la parte superior que sale desde la fuente que es un aislador de impedancia lo siguiente es un seguidor de voltaje y luego un sumador agregando una señal de offset que es un voltaje de directa Dc para obtener un desplazamiento en la amplitud de dicha señal. Cabe recalcar que en nuestro demodulador funcionan dos de estos circuitos uno a la salida del filtro para I y para Q. Por consiguiente, el voltaje resultante en el circuito tanto del ramal I e I' y Q e Q es leído y procesado por el pic y para luego mostrar los resultados en la LCD. Se muestra en la figura nuestro demodulador en PCB para el funcionamiento del proceso.

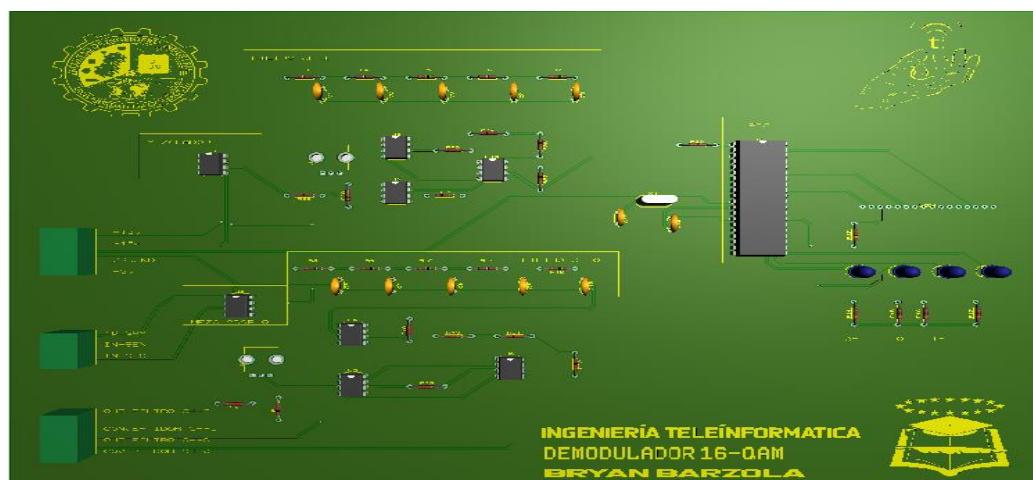


Figura 3. Circuito demodulador con cada una de sus etapas. Información adaptada de Proteus v8.9. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Crithian

EQUIPOS Y MATERIALES

4. Demodulador de práctica 16QAM.
5. Plataforma NI Elvis II Plus.
6. Computador instalado el software NI ELVISmx Instrument Launcher.
7. Cables de Conexión y conectores Incluidos en el NI Elvis II Plus.
8. Cable USB.

EXPERIMENTOS Y REGISTROS

Luego de la comprensión teórica se deberán realizar las siguientes actividades:

9. Calcular datos teóricos del Sistema demodulador 16QAM.
10. Colocar gráficos y resultados de la simulación obtenido de NI Elvis II Plus mediante los experimentos y registros obtenidas del demodulador 16QAM.

Experimento NI Elvis II Plus

En la siguiente sección se realizarán las actividades descritas a continuación:

- a. Utilizar la plataforma NI ELVIS II+ con el módulo BPSK/QPSK.
- b. Ejecutar el NI ELVISmx Instrument Launcher.
- c. Efectuar la correcta conexión entre el NI ELVIS II+ y el ordenador.
- d. Efectuar la correcta conexión entre el demodulador y el NI ELVIS II+

Usar el osciloscopio, colocar resultados de la señal a la salida del sumador de DC para verificar las muestras de voltaje en cada combinación en función del tiempo.

Experimento 16QAM Demodulador

1. En el conector 16QAM se muestra la señal modulada V16QAM.
2. Alimentar el demodulador a +15 V y -15V con ayuda del NIelvis y conectando a tierra respectivamente.
3. La señal mostrada en el conector 16QAM se debe conectar al pin número 1 del mezclador AD633jn en el canal I.

4. Conectar una señal portadora $\sin W_c(t)$ al pin 3 del mezclador I y aterrizar a tierra el pin 2 y 4 del mezclador.
5. La señal 16QAM se debe conectar también al pin 1 del mezclador Q y conectar en el pin 3 una portadora $\cos W_c(t)$ aterrizando a tierra el pin 2 y 4 del mezclador Q.
6. Se debe conectar en el pin 7 de cada mezclador tanto para I y Q un jumper a la entrada al filtro pasabajas es decir a la entrada de las resistencias R3 y 58 respectivamente.
7. Podemos visualizar el efecto del filtro pasabajas en el osciloscopio conectando en OUT FILTRO CH-I a la salida de R7 para canal I y OUT FILTRO CH-Q a la salida de R12 para canal Q.
8. En las salidas de los filtros pasa bajas se toma en cuenta que algunos valores según las combinaciones en el modulador resaltan valores negativos razón por la cual se sugiere conectar a la salida tanto de R7 para I y R12 para Q,
9. a la entrada del pin 3 para U8 y de la misma manera para Q conectando en el pin 3 de U4.
10. Se debe conectar desde la bornera Convertidor CH-I a la salida del opam U10 para canal I en su pin 6 para mostrar el proceso que realiza el sumador de DC ya reflejando valores todos positivos para la posterior conexión al PIC. Del mismo modo para ver la salida de canal Q desde el borne Convertidor CH-Q se conecta jumper hasta opam U6 en su pin 6.
11. Estas salidas tanto de U10 para I y de U6 para Q se conectan al PIC en sus pines 3 para I y 2 para canal Q.
12. No olvidar la conexión del oscilador de cristal pin 1 del oscilador al pin 13 del PIC y pin 2 del oscilador al pin 14 del Pic.
13. Cabe señalar que cada led va conectado a pines del PIC 21,22,17, y 28 para I, In, Q y Qn respectivamente con la respectiva muestra de voltajes y bits recuperados para cada combinación.

MEDICIÓN Y AJUSTE DEMODULADOR 16QAM		
Punto de Prueba (combinación II'QQ')	Frecuencia	Forma de Onda
Out filtro CH-I (0000)		
Out filtro CH-I (0011)		
Out filtro CH-I (0100)		
Out filtro CH-I (1010)		
Out filtro CH-Q (1111)		
Out filtro CH-Q (0000)		
Out filtro CH-Q (1010)		
Out filtro CH-Q (0100)		

Información adaptada de la investigación directa del trabajo de investigación. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian.

MEDICIÓN Y AJUSTE DEMODULADOR 16QAM		
Punto de Prueba (combinación II'QQ')	ANÁLISIS EN EL TIEMPO SALIDA DE CONVERTIDOR CH-I	ANÁLISIS EN EL TIEMPO SALIDA DE CONVERTIDOR CH-Q
Combinación (0000)		
Combinación (0011)		
Combinación (0100)		
Combinación (1010)		
Combinación (1111)		
Combinación (0000)		
Combinación (1010)		
Combinación (0100)		

Información adaptada de la investigación directa del trabajo de investigación. Elaborado por Barzola Culquipuma Bryan Cristhian.

Bibliografía

- Alvarado Nieves, J. G. (2019, 10 15). *Repositorio Institucional de la Universidad de Guayaquil*. Retrieved from <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/46676>
- Andersen, L. (1994). *Program analysis and specialization for the C programming language*. Copenhagen: University of Copenhagen.
- Anderson, I. (2019). *Eco-turbina: turbo ventilador eléctrico 220 (VAC)–50 (Hz), de bajo consumo: eficiente energéticamente*. La Plata: Universida Nacional de La Plata.
- Andrango, Fonseca, Ortiz, & Solorzano. (2016). *Sistema de control y seguridad para casas inteligentes orientado a la Web 2.0 bajo Linux desarrollado con JEE de Java*. Quito: ESPE.
- Barros, M., & Tipan, S. (2017). *Construcción de un dispositivo de protección para motores trifásicos de inducción basado en el microcontrolador PIC*. Quito: Escuela Politecnica Nacional.
- Boche, M. (2019). *Manual de laboratorio de microprocesadores PIC uso de lenguajes de programación Basic y Assembler*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Cando, D., & Lizano, E. (2017). *Diseño e Implementación de un sistema de control de acceso de laboratorios, mediante una aplicación móvil*. Quito: Universidad Israel.
- Cárdenas Llanos, C., Margin Martínez, M., & Rodríguez Ibagué, L. (2015). Indicadores de gestión de los programas académicos de campo (PAAC) de la Universidad del Rosario. In C. L. Cárdenas Llanos, M. Margin Martínez, & L. F. Rodríguez Ibagué, *Indicadores de gestión de los programas académicos de campo (PAAC) de la Universidad del Rosario*. Rosario, Argentina.
- Castro, I. (2019). *Diseño e implementación en FPGA de las etapas de modulación y demodulación multiportadora de señales QAM de banda muy ancha (GHz)*. Valencia : Universidad de Valencia.
- Consejo Nacional de Educación Superior . (2009). *Reglamento Codificado de Régimen Académico del Sistema Nacional de Educación Superior*. Ecuador : Consejo Nacional de Educación Superior .
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). *Software Libre en la Administración*. Ecuador: Constitución de la República del Ecuador.
- Corrales, F. (2016). *Complemento para desarrollar algoritmos por medio de módulos visuales en Microcontroladores PIC*. Pereira: Universidad Tecnologica de Pereira.
- Crosby, Ivacevich, Lorenzi , & Skinner. (2015). *APLICACIÓN WEB PARA LA GESTIÓN ACADÉMICA*. Retrieved marzo 1 , 2019, from <http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/15044/1/TEG%20-%20Afanzo%20-%20Diaz.pdf>
- Diaz, J. F. (2014, 02). *Repositorio Institucional UANL*. Retrieved from <http://eprints.uanl.mx/7828/1/1020122965.PDF>
- electronicaestudio. (2019, 09). *Electronica Estudio.com*. Retrieved from <https://www.electronicaestudio.com/que-es-un-microcontrolador/>
- ESET. (2018, Junio). *Welive security*. Retrieved from https://www.welivesecurity.com/wp-content/uploads/2018/06/ESET_security_report_LATAM2018.pdf
- Espinoza, M. (2017, 10 27). *Dspace Espol*. Retrieved from Repositorio Dspace: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/41368>

- Forbes. (2018, Junio 6). *Forbes*. Retrieved from <https://www.forbes.com/sites/louiscolumbus/2018/06/06/10-charts-that-will-challenge-your-perspective-of-iots-growth/#2a557c43ecce>
- Fujitsu, C. D. (2018, Diciembre 17). *Fujitsu*. Retrieved from <https://www.fujitsu.com/es/about/resources/news/press-releases/2018/spain-fujitsu-muestra-en-un-estudio-el-estado-de-internet.html>
- García, F. (2018). *Ingeniería del Software*. Salamanca: Departamento de Informática y Automática. Universidad de Salamanca.
- Government, U. (2016). *Distributed Ledger Technology: beyond block chain*. Londres.
- Hidalgo, R. (2019). *Análisis del desempeño de un sistema inalámbrico que emplea transmisión oportunista y modulaciones QAM no cuadradas*. Quito : UDLA.
- Instruments, N. (2019, 10 10). *NATIONAL INSTRUMENTS*. Retrieved from <https://www.ni.com/es-cr/support/model.ni-elvis-ii.html>
- Izaguirre, Hernandez, Martinez, & Flores. (2016). *Software educativo multilingüe basado en el método global análisis estructural*. Málaga: Universidad de Málaga.
- Jose Caro, J. R. (2018). *Repositorio Institucional Ruiz de Montoya Universidad Jesuita*. Retrieved from m: <http://repositorio.uarm.edu.pe/handle/UNIARM/1940>
- Ley de Propiedad Intelectual . (2015). *Plenario de las Comisiones Legislativas* . Ecuador: Congreso Nacional.
- Ley Orgánica de, E. (2018, 08 2). *www.epn.edu.ec*. Retrieved from <https://www.epn.edu.ec/wp-content/uploads/2018/08/LOES.pdf>
- LOES. (2018). *Ley Orgánica de Educación Superior (LOES)*. Quito: LOES.
- Mall, R. (2019). *Fundamentals of software engineering*. PHI Learning Pvt. Ltd..
- Morales, T. (2015, Enero). *Depósito de Investigación de la Universidad de Sevilla*. Retrieved from <https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/45403/PERCEPCIONES%20ACERCA%20DE%20LA%20INTEGRACI%20N%20DE%20LAS%20TIC%20EN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Natalia, G. C. (2015, 04). *Repositorio digital ESPE*. Retrieved from <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/10398/1/T-ESPE-048871.pdf>
- Olarte Gervacio, L. (2018, ABRIL 23). *CONOGASI*. Retrieved MARZO 14, 2019, from <http://conogasi.org/articulos/lenguaje-de-programacion/>
- Page, C. (2017). *Software Engineering*. New York: Larsen and Keller Education.
- Reinoso, S., Mena, L., Pillatasig, M., & Sanchez, J. (2018). *Programación de microcontroladores PIC con Lenguaje C, Tomo I*. Quito: ESPE.
- Ritchie, D. (1993). The development of the C language. . *ACM Sigplan Notices*, 28(3), 201-208.
- Rodriguez, D. (2019, 02). *lifeder.com*. Retrieved from <https://www.lifeder.com/investigacion-aplicada/>
- Rojas, C. (2019). Complementariedad del sistema de gestión de la calidad (SGC) de la educación superior ecuatoriana y el SGC ISO 9001. *Espacios*, 20.
- Sanabria, J., & Nieva, D. (2018). *Sistema de comunicación SDR para modulaciones PSK y QAM*. Medellín: Universidad Autónoma de Occidente.
- Secretaría Nacional de Educación Superior Ciencia, Tecnología e Innovación. (2008). *Sistema de Educación Superior*. Ecuador: Constitución de la República del Ecuador.
- Series, N. E. (2011, 06). *ni.com*. Retrieved from [ni.com: http://www.ni.com/pdf/manuals/374629c.pdf](http://www.ni.com/pdf/manuals/374629c.pdf)

- Sousa, D. (2018). *Implicar al cerebro reconectado: Efectos de la tecnología en la reconexión del cerebro de los alumnos*. España : Biblioteca e innovacion educativa .
- Velez Agua, J. A. (2018, 09 12). *repositorio digital UG*. Retrieved from <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/36310>
- Verstappe, E. (2019). *Design and implementation of a standalone CNC controller*. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Wila Espinoza, H. A. (2019, 04 22). *Repositorio UG*. Retrieved from Repositorio institucional de la Universidad de Guayaquil: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/42067>
- Woolf, N. (2016, Octubre 26). *The Guardian*. Retrieved from <https://www.theguardian.com/technology/2016/oct/26/ddos-attack-dyn-mirai-botnet>
- Zhingre Vargas, C. A. (2018, 02 27). *repositorio.ug.edu.ec*. Retrieved from <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/30031>
- Zuse, H. (2019). *Software complexity: measures and methods*. Berlin: Walter de Gruyter GmbH & Co KG. .