

	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15	
			VERSIÓN	02	
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN			FECHA	03/04/2017
				PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ		REVISÓ		APROBÓ	
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad		Líder de Calidad	

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTOR(ES): NOMBRES Y APELLIDOS COMPLETOS

NOMBRE(S) ADRIAN JOSE

APELLIDOS: BUENO PRADILLA

FACULTAD: INGENIERÍA

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DIRECTOR:

NOMBRE(S): KARLA CECILIA

APELLIDOS: PUERTO LOPEZ

NOMBRE(S): LUILLY ALEJANDRO

APELLIDOS: GARCIA ORTIZ

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): SOFTWARE LIBRE COMO HERRAMIENTA EDUCATIVA PARA EL APRENDIZAJE EN SISTEMAS DE COMUNICACIONES I.

Se presenta una interfaz gráfica desarrollada en Python con base en una metodología rápida enfocada al estudio de sistemas de comunicaciones análogos. La herramienta permite desarrollar procesos de modulaciones en amplitud, modular y de pulsos e introducción a los sistemas de comunicación. Se realizaron diferentes pruebas para usar sus resultados como referencia y así, lograr un análisis cuantitativo y cualitativo entre la herramienta computacional y el análisis matemático. Estos resultados ayudan con el aprendizaje en las telecomunicaciones ya que, su proceso de enseñanza es compleja y al observar el proceso de modulaciones análogas y variables que afectan los sistemas de comunicación mediante una interfaz gráfica para comprender su teoría proporciona eficacia, versatilidad y dinamismo a la comunidad estudiantil.

PALABRAS CLAVES: COMUNICACIONES ANALOGAS, PYTHON, MODULACIÓN AM, MODULACIÓN PM

CARACTERÍSTICAS:

PÁGINAS: 117

PLANOS: NO

CD ROOM: 1

ILUSTRACIONES: 73

SOFTWARE LIBRE COMO HERRAMIENTA EDUCATIVA PARA EL APRENDIZAJE EN
SISTEMAS DE COMUNICACIONES I.

ADRIÁN JOSÉ BUENO PRADILLA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRONICA
SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2023

SOFTWARE LIBRE COMO HERRAMIENTA EDUCATIVA PARA EL APRENDIZAJE EN
SISTEMAS DE COMUNICACIONES I.

ADRIÁN JOSÉ BUENO PRADILA

DIRECTOR:

KARLA CECILIA PUERTO LOPEZ

M SC. Ingeniería en telecomunicaciones.

CODIRECTOR:

LUILLY ALEJANDRO GARCÍA ORTIZ

M SC. Ingeniero Electrónico

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRONICA

SAN JOSÉ DE CÚCUTA

2023

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE UN TRABAJO DE GRADO

Fecha: CÚCUTA, 24 DE ABRIL DE 2023

Hora: 09:00

Lugar: SALON SC 301

Plan de Estudios: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Título del trabajo de grado: "SOFTWARE LIBRE COMO HERRAMIENTA EDUCATIVA PARA EL APRENDIZAJE EN SISTEMAS DE COMUNICACIONES I".

Jurados: IE MSc. JHON JAIRÓ RAMIREZ MATEUS
IE MSc. DARWIN CARDOZO SARMIENTO

Director: IE. MSc. KARLA CECILIA PUERTO LÓPEZ

Codirector: IE. MSc LUILLY ALEJANDRO GARCÍA ORTIZ

Nombre del Estudiante:	Código:	Calificación:	
		Número	Letra
ADRIAN JOSÉ BUENO PRADILLA	1161308	4,5	Cuatro, cinco

MERITORIA



JHON JAIRÓ RAMIREZ MATEUS



DARWIN CARDOZO SARMIENTO



SERGIO SEPÚLVEDA MORA
Coordinador Comité Curricular
Ingeniería Electrónica

Agradecimientos

Primeramente, agradezco a Dios por la sabiduría, paciencia y perseverancia para la terminación del proyecto, también, por brindarme una buena salud y por su guía durante el desarrollo del proyecto en consideración en estos años difíciles que ha vivido la humanidad.

Gracias a mi madre, padre, hermano y hermana quienes me apoyaron durante estos tiempos complicados con su ayuda, consejo, apoyo y amor para lograr ser un profesional con el título de Ingeniero Electrónico.

Agradecer a la Universidad Francisco de Paula Santander por darme un espacio con el espacio, el conocimiento, el capital humano y las herramientas para poder desarrollar mis capacidades y habilidades.

Gracias a Msc. IE. Karla Cecilia Puerto López, MSc. IE. Lully Alejandro García Ortiz por su guía y dirección en la elaboración de este proyecto. Por otro lado, agradecer al Ph. Msc. IE Dinael Guevara Ibarra por permitir y aprobar mi ingreso al Grupo de Investigación y Desarrollo en Electrónica y Telecomunicaciones – GIDET.

Gracias a Erick Guevara Cubillos por sus recomendaciones y consejos para el desarrollo y diseño de este proyecto.

Tabla de contenido

Introducción	15
1. Título	17
2. Planteamiento del problema	18
3. Justificación	21
3.1 Impacto esperado	22
3.2 Beneficios tecnológicos	22
3.3 Beneficios económicos	23
3.4 Beneficios sociales	23
3.5 Beneficios institucionales	24
4. Alcances	25
4.1 Tipo de proyecto	25
4.2 Resultados esperados	25
5. Limitaciones y Delimitaciones	27
5.1 Limitaciones	27
5.2 Delimitaciones	27
6. Objetivo general	29
7. Objetivos Específicos	29
8. Marco referencial	30
8.1 Antecedentes	30

8.2	Marco teórico	31
8.2.1	Sistemas de comunicaciones analógicos	31
8.2.2	PyQt	32
8.2.3	Python	33
8.2.4	Spyder IDE	33
8.2.5	Matplotlib	34
8.2.6	AM	35
8.2.7	FM	36
8.2.8	PM	37
8.2.9	PAM	38
8.2.10	PPM	38
8.2.11	PWM	39
8.2.12	TDM	40
8.3	Marco Legal	41
9.	Diseño Metodológico	43
9.1	Objetivo 1: Realizar el estado del arte	43
9.1.1	Obtener conocimiento sobre Python en proyectos	43
9.1.2	Búsqueda de Referencias	43
9.1.3	Análisis Preliminar	43
9.2	Objetivo 2: Desarrollar un algoritmo	44

9.2.1	Crear una metodología de análisis	44
9.2.2	Representar el método mediante un diagrama de flujo	44
9.3	Objetivo 3: Codificar el algoritmo	44
9.3.1	Elección del Entorno de desarrollo	44
9.3.2	Escribir el código	45
9.4	Objetivo 4: Evaluar el desempeño del algoritmo	45
9.4.1	Pruebas del diseño	45
9.4.2	Implementar algunas pruebas simuladas	45
9.5	Objetivo 5: Dar a conocer y divulgar los resultados	46
9.5.1	Productos generados	46
9.5.2	Divulgaciones	46
10.	Cronograma de Actividades	47
11.	Presupuesto	48
11.1	Gasto Global	48
11.2	Presupuesto del Personal	48
11.3	Gastos de Equipo	49
11.4	Gastos de Materiales e Insumos	49
11.5	Gastos de Software	50
12.	Resultados	51
12.1	Realizar el estado del arte	51

12.1.1	Obtener conocimiento sobre Python en proyectos	51
12.1.2	Búsqueda de Referencias	51
12.1.3	Análisis Preliminar	53
12.2	Realizar el algoritmo	55
12.2.1	Crear un método de análisis	55
12.2.2	Representar el método mediante un diagrama de flujo	56
12.3	Codificar el algoritmo	56
12.3.1	Elección del entorno de desarrollo	56
12.3.2	Escritura del Código de programación de Python	58
12.4	Evaluar el desempeño del algoritmo	73
12.4.1	Funcionamiento del Algoritmo	73
12.4.2	Implementar algunas pruebas	76
12.5	Productos	92
12.5.1	Productos generados	92
12.5.2	Divulgaciones	104
13.	Conclusiones	110
14.	Recomendaciones y trabajo futuro	112
15.	Referencias	113
16.	Anexos	117

Lista de figuras

Figura 1 Sistema de transmisión	32
Figura 2 Logo de Python	33
Figura 3 Logo de Spyder	34
Figura 4 Logo de Matplotlib	34
Figura 5 Imágenes de la generación de AM	35
Figura 6 Imágenes de la generación de FM	36
Figura 7 Imágenes de la generación de PM	37
Figura 8 Forma de onda de una señal PAM	38
Figura 9 Imágenes de la modulación PPM	39
Figura 10 Imágenes de la modulación PWM	39
Figura 11 Diagrama de bloques de un sistema TDM.	40
Figura 12 Menú principal APES	58
Figura 13 Menú unidad 1	62
Figura 14 Herramienta Unidad 1	63
Figura 15 Herramienta teoría unidad 1	63
Figura 16 Teoría unidad 1	64
Figura 17 Espectro de frecuencias AM	65
Figura 18 Menú unidad 2	65
Figura 19 Ejemplo unidad 2	66
Figura 20 Herramienta teoría unidad 2	67
Figura 21 Teoría unidad 2	67

Figura 22. Menú unidad 3	69
Figura 23 Ejemplo unidad 3	70
Figura 24 Menú unidad 4	72
Figura 25 Ejemplo unidad 4	72
Figura 26 Prueba de laboratorio	73
Figura 27 Prueba de laboratorio	73
Figura 28 Prueba laboratorio	74
Figura 29 Laboratorio 2 evaluación	75
Figura 30 Prueba límite de Shannon	76
Figura 31 Prueba de conversión de potencia	77
Figura 32 Prueba Temperatura equivalente de ruido	77
Figura 33 Prueba ruido térmico	78
Figura 34 Prueba voltaje del ruido	78
Figura 35 Prueba Relación de potencia de señal a ruido	79
Figura 36 Prueba factor y cifra de ruido	79
Figura 37 Prueba modulación AM DSBSC	80
Figura 38 Prueba respuesta en frecuencia AM DSBSC	80
Figura 39 Prueba modulación AM DSBFC	81
Figura 40 Prueba respuesta en frecuencia AM DSBFC	81
Figura 41 Prueba modulación AM SSBFC	82
Figura 42 Prueba respuesta en frecuencia AM SSBFC	82
Figura 43 Prueba modulación AM SSBSC	83
Figura 44 Prueba respuesta en frecuencia AM SSBSC	83

Figura 45 Prueba modulación AM VSB	84
Figura 46 Prueba respuesta en frecuencia AM VSB	84
Figura 47 Prueba de modulación FM	85
Figura 48 Prueba de modulación PM	86
Figura 49 Prueba Bessel FM y PM	86
Figura 50 Prueba PAM	87
Figura 51 Prueba PPM	88
Figura 52 Prueba PWM	89
Figura 53 Prueba Generación TDM	90
Figura 54 Prueba Muestreo TDM	90
Figura 55 Prueba Multiplexación TDM	91
Figura 56 Guía de laboratorio	92
Figura 57 Guía de laboratorio	93
Figura 58 Guía de laboratorio	94
Figura 59 Guía de laboratorio	95
Figura 60 Guía de laboratorio	96
Figura 61 Guía de laboratorio	97
Figura 62 Guía de laboratorio	98
Figura 63 Guía de laboratorio	99
Figura 64 Guía de laboratorio	100
Figura 65 Guía de laboratorio	101
Figura 66 Guía de laboratorio	102
Figura 67 Guía de laboratorio	103

Figura 68 Certificado VII International week of science technology and innovation	104
Figura 69 Certificado VI Encuentro Regional de Semilleros de Investigación	105
Figura 70 Certificado Encuentro Local de Semilleros de investigación	106
Figura 71 Certificado II STEAM Education Congress - STEAMEC 2022	107
Figura 72 Certificado registro de software	108
Figura 73 Certificado registro de software	109

Lista de tablas

Tabla 1 Cronograma de Actividades	47
Tabla 2 Presupuesto global del proyecto (en miles \$)	48
Tabla 3 Descripción de los gastos de personal (en miles \$)	48
Tabla 4 Descripción de los gastos de equipo (en miles de \$)	49
Tabla 5 Descripción de los gastos de materiales e insumos (en miles de \$)	49
Tabla 6 Descripción de los gastos de software (en miles de \$)	50
Tabla 7 Matriz de selección IDE	57
Tabla 8 Error promedio guía	74
Tabla 9. Error promedio guía	74

Introducción

La participación, el desarrollo y el uso de las telecomunicaciones contribuye al desarrollo, mejora la calidad de vida, facilita la comunicación, fomenta el acceso a la educación e impulsa el crecimiento económico; la Corporación Interamericana de Inversiones y el Banco Interamericano de Desarrollo reporta que, en el año 2000, menos del 10% de la población tenía un teléfono móvil y para el año 2017 la tasa aumentó casi un 70% [1]. En Colombia, en el tercer trimestre del año 2021 hubo más de 8,25 millones usuarios de internet fijo, 35,7 millones usuarios de internet móvil, 7,39 millones de usuarios de telefonía fija y 73 millones de usuarios de telefonía móvil, son sectores en crecimiento [2], por esto se ha hecho inversiones para mejorar la cobertura, la infraestructura y la calidad en el sector, con el objetivo de mejorar el servicio de las empresas de telecomunicaciones y cubrir la demanda del número de usuarios para incentivar el crecimiento económico. Por consiguiente, el Ministerio de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (MinTIC) ha tenido como presupuesto unos 1,347 billones de pesos colombianos para el año 2022 para el fortalecimiento, difusión y ampliación de proyectos en esta área [3].

Por lo tanto, este proyecto propone una interfaz gráfica de usuario (en inglés, Graphical User Interface – GUI) para los estudiantes sistemas de comunicaciones I de ingeniería electrónica de la universidad Francisco de Paula Santander o Aplicación de ayuda al Estudiante en Sistema de comunicaciones I (en adelante, APES) para que se pueda hacer cálculos variables que afectan los sistemas de comunicación y obtener su información como límite de Shannon, el ruido térmico, la relación de potencia de señal a ruido, el voltaje de

ruido, cifra de ruido y factor del ruido realizar graficas de modulación en la modulación de amplitud (AM) y la modulación en frecuencia (FM) empleando modulación de amplitud en doble banda lateral con portadora (DSB-FC) y portadora suprimida (DSB-SC), modulación de amplitud en banda lateral única con portadora (SSB-FC) y portadora suprimida (SSB-SC), modulación en banda vestigial (VSB), modulación de frecuencia (FM) y modulación de fase (PM) y que se pueda generar sus gráficas de respuesta en frecuencia, además, de generar gráficas y modificar valores para ver los funcionamientos de las modulaciones de pulso como la modulación por amplitud de pulso (PAM), la modulación por posición de pulso (PPM), la modulación por amplitud de pulso (PWM) y multiplexación por división en el tiempo (TDM), adicionalmente la posibilidad de consultar teoría relacionada a estos tipos de modulación. También se hace entrega de unas guías organizadas de acuerdo con el contenido programático de la asignatura para el análisis y desarrollo de los usuarios.

Por otro lado, APES está desarrollada en Python, el apartado grafico está encargado por la biblioteca gráfica Pyqt5 y el diseño de las ventanas se emplea el software Qtdesigner; para la generación de gráficas se utiliza matplotlib y para el cálculo y creación de variables, constantes y señales se usan las bibliotecas signal y numpy.

Ahora, se muestran los apartados planteamiento del problema, justificación, alcances, delimitaciones, objetivos, cronograma de actividades y tabla de presupuestos correspondientes.

1. Título

SOFTWARE LIBRE COMO HERRAMIENTA EDUCATIVA PARA EL
APRENDIZAJE EN SISTEMAS DE COMUNICACIONES I.

2. Planteamiento del problema

En el año 2019, el área de las tecnologías de la información y comunicaciones obtuvo un agregado de 35,535 billones de pesos y un crecimiento del 6,5% a comparación con el año 2015 en diversas actividades económicas siendo las telecomunicaciones, los servicios TI, el comercio TIC, el contenido y la media las principales, además, la producción nacional de bienes y servicios TIC y no característicos TIC un valor de 150,8 billones de pesos y un crecimiento del 5,5% con respecto al año anterior según el boletín técnico hecho por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) y el MinTIC [4].

El fundamento de software libre es la libertad de los usuarios para usar, ejecutar, estudiar y mejorar el software para cualquier propósito, para mejorar el programa y adaptarlo a sus necesidades [5]. El software libre se puede adaptar a las necesidades del educador para entregar a sus estudiantes programas libre que permitirían a los estudiantes reproducir este entorno de prácticas con gran alcance ya que en donde sea y en cualquier equipo en el que pueda ejecutar, además de la posibilidad de compartir estos conocimientos con otros docentes o estudiantes [6].

Existen varios entornos de software, hardware y código abiertos que podría usarse en comunicaciones I como Arduino, GNU Radio, Linux, Python, Tinkerforge, entre otros. La Universidad Francisco de Paula Santander en el programa de Ingeniería Electrónica en sus procesos de mejoramiento continuo y en pro de la reacreditación apoya a los estudiantes, profesores, grupos y semilleros de investigación al uso de diversos software y hardware para

la educación e investigación para el entorno académico y solución de problemas a nivel regional.

El surgimiento de Python data en los últimos años de la década de los 80s y siendo implementado en Diciembre del 1989 por Guido van Rossum, su diseño de filosofía enfatiza la fluidez de código y su sintaxis permite expresar a los programadores conceptos en menos líneas de código comparando con otros lenguajes, tolera muchos programas, muchos módulos útiles y además de una librería base grande hace que Python sea una opción buena como uso del software libre [7]; para el desarrollo de proyectos académicos en el área de las telecomunicaciones y además de estar a la vanguardia de nuevas tecnologías, actualmente no existen prácticas de laboratorio o guía para el desarrollo de prácticas con este lenguaje. Actualmente en la asignatura de sistemas de comunicaciones I no se han realizado prácticas que use el lenguaje de código abierto Python.

La asignatura Sistemas de comunicaciones I es una materia de octavo semestre en el cual se trabaja en el área de las comunicaciones análogas cuyos temas son la transmisión, recepción y modulación en amplitud (AM), modulación angular (FM y PM), de pulsos y por código de pulsos; donde se explican desde los conceptos básicos y características de una onda, la señal portadora y modulada, los elementos que componen un sistema de comunicación análogo, las diferentes formas de modulación AM, entre otros temas, donde el lenguaje de programación Python es óptimo para satisfacer estas necesidades para esta asignatura ya que se puede aplicar prácticas de este laboratorio como podría ser un receptor de señal AM o FM. Debido a esto plantea la siguiente interrogante:

¿Cómo diseñar una herramienta de aprendizaje con software libre en la asignatura sistemas de comunicaciones I para los estudiantes del programa de ingeniería electrónica?

3. Justificación

En el programa profesional de ingeniería electrónica de la Universidad Francisco de Paula Santander en el municipio de Cúcuta, Norte de Santander se cursa la asignatura de Sistemas de comunicaciones I donde es una introducción al área de las telecomunicaciones y tratan temas como las modulaciones AM y FM y sus variantes y las modulaciones de pulso PAM, PWM, PPM y TDM.

En los laboratorios de la asignatura se hacen diversos tipos de actividad para analizar estos fenómenos, una de las actividades más comunes son los GUIs, donde se desarrollan en software como MATLAB para analizar las ondas resultantes de la modulación; actualmente hay un énfasis en la carrera de usar software libre y emplear nuevas tecnologías. Por consiguiente, se encuentra una oportunidad para crear una herramienta computacional libre ya que actualmente no existe alguna que apoye la formación en el área de las telecomunicaciones analógicas y de pulso.

En relación con lo anterior, el uso de herramientas de aprendizaje en asignaturas o en áreas presenta una óptima solución ante los problemas frente a las dudas que existen durante el curso de ellas así mejorando sus habilidades, capacidad de análisis y fortalece los procesos académicos [8], adicionalmente puede generar más interés para investigar o adentrarse más en un campo de estudio [9].

Por lo tanto, este proyecto tiene como finalidad realizar cálculos y graficas de introducción a los sistemas de comunicación, modulaciones AM, FM y de pulsos usando software libre para los estudiantes de la asignatura Sistemas de comunicaciones I.

Actualmente no existe una herramienta computacional libre que apoye la formación en el área de las telecomunicaciones analógicas.

Debido al problema planteado fue necesario crear una herramienta virtual que tiene los siguientes beneficios:

3.1 Impacto esperado

Facilitar la comprensión de los temas de la asignatura sistemas de comunicaciones I, generar más interés en el área de las telecomunicaciones, fomentar el uso del software libre para el desarrollo de diferentes proyectos o GUI, mejorar la capacidad de análisis en las modulaciones AM, FM y de pulsos.

3.2 Beneficios tecnológicos

Se desarrolla una herramienta virtual con software libre para el aprendizaje que actualmente no existe en la carrera de ingeniería electrónica en sistemas de comunicaciones I y con una interfaz interactiva.

Al ser libre, los estudiantes pueden mejorar o cambiar algo de la herramienta para algún estudio posterior o proyecto académico.

3.3 Beneficios económicos

Al ser APES una herramienta virtual programada con software libre, todos los estudiantes de la asignatura sistemas de comunicaciones I tienen acceso donde pueden hacer diferentes cálculos matemáticos para su estudio o análisis.

Además, al estar desarrollada en software libre su implementación es baja en comparación al uso de otros tipos de software o licencias.

3.4 Beneficios sociales

La construcción de APES trae consigo el uso de herramientas libres donde trae un impacto positivo en la comunidad universitaria y en la carrera donde se incentiva la investigación y desarrollo de software con diferentes propósitos y áreas de la ingeniería para la solución de problemáticas actuales.

3.5 Beneficios institucionales

Incentivar la creación de proyectos usando software libre en el área de las telecomunicaciones de esta manera posibilitando la formación de nuevas ideas investigativas en sistemas de comunicaciones I, en grupo y semilleros de investigación.

Al contar con un registro de software fomenta a la comunidad estudiantil a generar productos certificados, crear una buena impresión y otorgar créditos y seguridad jurídica a los autores intelectuales.

4. Alcances

A continuación, se describe el tipo de proyecto en el que se enmarca esta investigación, así como los resultados con el desarrollo de esta.

4.1 Tipo de proyecto

El proyecto “Software libre como herramienta de aprendizaje educativa en sistemas de comunicaciones I” se basa en un tipo de investigación descriptiva porque se fundamenta en el uso de Python, de su desempeño como lenguaje de programación para realizar aplicaciones en el área de las comunicaciones análogas. Además, es una investigación aplicada tecnológica porque se diseñó y se evaluó prácticas de laboratorio para el desarrollo de proyectos académicos o prácticas de laboratorio para los estudiantes de la asignatura sistemas de comunicaciones I del programa de ingeniería electrónica.

4.2 Resultados esperados

Se espera obtener un GUI con la capacidad de que los usuarios realicen cálculos matemáticos de forma ágil y gráficas didácticas con información relevante para el análisis de los fenómenos de modulaciones AM, FM y de pulsos, de esta forma, impactando en la formación académica de los estudiantes de ingeniería electrónica de la universidad Francisco de Paula Santander y, de modo que, ofreciendo una herramienta computacional libre.

Asimismo, se espera participar en eventos científicos y compartir los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto y obtener un registro de software para la certificación del proyecto.

5. Limitaciones y Delimitaciones

A continuación, se describen las limitaciones y delimitaciones de esta investigación, teniendo en cuenta los diferentes factores que afectan el proyecto.

5.1 Limitaciones

La herramienta computacional está limitada a la capacidad técnica del computador de cada usuario, además el uso de las herramientas del GUI está limitado si el usuario tiene las bibliotecas y elementos necesarios para su correcta ejecución.

Adicionalmente, el contenido de las guías de laboratorio y los ejercicios fueron diseñados acorde al contenido curricular de la asignatura.

5.2 Delimitaciones

En este proyecto de investigación se realizó basándose en el contenido curricular de la asignatura “sistemas de comunicaciones I” dentro de las limitaciones académicas y adicionalmente se elaboraron guías de laboratorio, empleando los softwares, librerías o toolboxes libres disponibles para hacer guías de laboratorio para los estudiantes del programa de ingeniería electrónica realizando aplicaciones en el área de las telecomunicaciones análogas.

Se hicieron pruebas hechas en los laboratorios del departamento de electricidad y electrónica de la universidad Francisco de Paula Santander en la sede principal por estudiantes del programa ingeniería electrónica que estaban cursando la materia sistemas de comunicaciones

I.

6. Objetivo general

Diseñar una herramienta computacional libre de aprendizaje en sistemas de comunicaciones I para el Programa de Ingeniería Electrónica.

7. Objetivos Específicos

- 7.1** Realizar el estado del arte acerca del diseño, funcionamiento y aplicación de proyectos utilizando software libre.
- 7.2** Desarrollar un algoritmo que proporcione la herramienta computacional para la asignatura sistemas de comunicaciones I empleando software libre.
- 7.3** Codificar el algoritmo en un lenguaje de programación especializado.
- 7.4** Evaluar el desempeño del algoritmo con prácticas de laboratorio para la asignatura sistemas de comunicaciones I.
- 7.5** Dar a conocer los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto.

8. Marco referencial

Teniendo en cuenta la exploración de la literatura centrada en los temas de interés, se exhibe una serie de documentos de proyectos de investigación, revistas y artículos en el área de educación utilizando software, los cuales fueron elegidos los más pertinentes contribuyendo cada uno con un elemento particular que sirve como fundamento para el desarrollo del proyecto.

8.1 Antecedentes

Inicialmente, Ralph Morelli, Allen Tucker, Norman Danner, Trishan de Lanerolle, Heidi Ellis, Özgür Izmirli, Danny Krizanc y Gary Parker en “Revitalizing Computing Education Through Free and Open Source Software for Humanity”. En este proyecto tiene como finalidad promover el uso de software libre y abierto para incentivar la educación en computación mediante una campaña en Estados Unidos y en diferentes países de Asia y África donde los resultados experimentales demostraron de como empleando software libre genera resultados positivos pedagógicos, como otros institutos educativos adoptaron esto para introducción del área de computación para sus estudiantes, la adquisición de nuevas habilidades, conceptos y mejor comprensión en proyectos de esta área [10].

Además, Marjan Mernik en “An Educational Tool for Teaching Compiler Construction”. El objetivo de esta investigación es el uso de la herramienta computacional LISA para la educación para en la disciplina de construcción de compiladores, evidencian como la utilización de esta herramienta facilita el aprendizaje y la comprensión de esta disciplina, donde muestran el impacto generado resultando en un aprendizaje más activo, dinámico y veloz, un aumento en la

motivación de los estudiantes para aprender en esta área y una mejor comprensión de conceptos [11].

Finalmente, Iván Buitrago, Juan Castaño y Santiago Giraldo en “Herramienta didáctica con Python para el aprendizaje de la lógica proposicional: LogicalPy”. El objetivo de este trabajo de investigación es el desarrollo de la herramienta LogicalPy para los estudiantes del curso de matemáticas discretas en la universidad de San Buenaventura de Colombia; este software facilita la comprensión de la lógica proposicional y su conexión con la lógica de programación, solucionar ejercicios empleando reglas y técnicas que se enseña en el curso, además facilitó a los estudiantes entender las reglas de inferencia y tener una actitud más receptiva con el contenido del programa de la materia [8].

8.2 Marco teórico

A continuación, se presentan las definiciones y conceptos asociados con los temas más importantes en los que se sustenta el proyecto.

8.2.1 Sistemas de comunicaciones analógicos

Los sistemas de comunicaciones analógicos son aquellos que utiliza un conjunto de técnicas y dispositivos para transmitir y recibir información una señal que varían en amplitud, fase o frecuencia, por ejemplo, una señal cosenoidal, para difundir diversos tipos de datos como voz o música. En estos sistemas tanto la señal de información como la portadora son de naturaleza analógica. Los componentes en estos sistemas pueden incluir elementos como

transmisores, receptores, moduladores, demoduladores y amplificadores como se observa en la figura 1 [12].

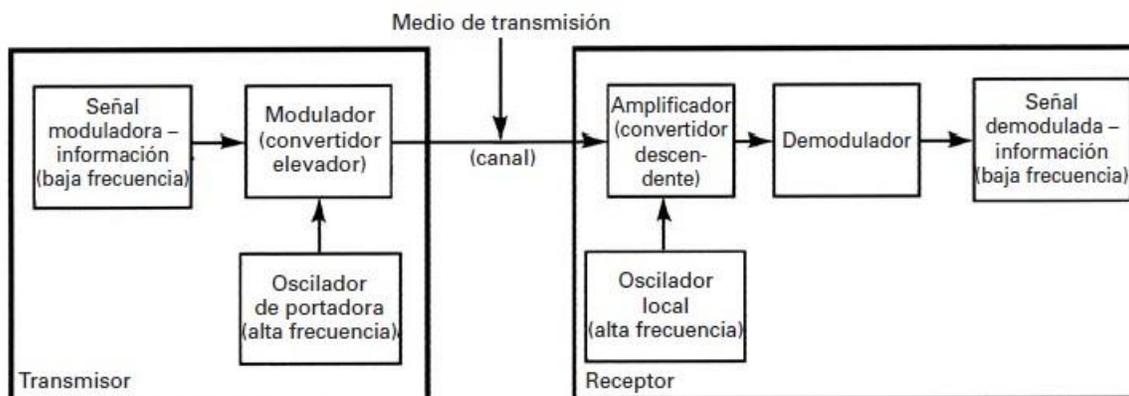


Figura 1 Sistema de transmisión

Fuente: Tomado de [12].

8.2.2 PyQt

PyQt es un conjunto de enlaces de Python para el framework (en español, marco de trabajo) QT, el cual es compatible con casi todos los sistemas operativos. Tiene varias ventajas frente a otras herramientas para el desarrollo de GUI. PyQt permite combinación entre las plataformas QT Graphical User Interface application con el lenguaje Python, las GUI basada en PyQt también es multiplataforma; no solo es una herramienta para el desarrollo de GUI, también integra componente de comunicación de red, multihilo, marco multimedia, base de datos y otras funciones, asimismo el mecanismo de señales y ranuras permite la comunicación entre diferentes objetos y tiene una doble licencia admitidas bajo la GNU GPL v3, lo que hace que PyQt 5 sea código abierto sin modificar su código fuente [13] .

8.2.3 Python

Es un lenguaje de programación eficaces estructuras de datos de alto nivel y una solución de programación orientada a objetos simple pero eficaz. La sintaxis de Python, su gestión de tipos dinámica y su naturaleza interpretada hacen de él el lenguaje ideal para guiones (scripts) y desarrollo rápido de aplicaciones, en muchas áreas y en la mayoría de las plataformas.

Python es fácilmente extendido con nuevas funciones y tipos de datos implementados en C o C++ y también es adecuado como un lenguaje de extensión para aplicaciones personalizables; adicionalmente, en su página web hay disponible libremente una amplia variedad de librerías estándar, módulos de Python, programas y herramientas hechas por terceros [14].



Figura 2 Logo de Python

Fuente: Tomado de [15]

8.2.4 Spyder IDE

Es un Integrated Development Environment (IDE, en español entorno de desarrollo integrado) de ambiente científico poderoso escrito en Python, para Python y diseñado por y para

científicos, ingenieros y analistas de datos. Ofrece una combinación única de funcionalidades de edición, análisis, depuración y análisis de rendimiento avanzadas de una herramienta de desarrollo completa con exploración de datos, ejecución interactiva, inspección profunda de paquete y capacidades de visualización excelente de un paquete científico [16].



Figura 3 Logo de Spyder

Fuente: Tomado de [17]

8.2.5 Matplotlib

Es una librería de trazado utilizada para gráficos 2D en lenguaje de programación Python, es muy flexible y tiene muchos valores predeterminados incorporados; es multiplataforma, es posible exportar las gráficas en diversos formatos y puede ser usada desde scripts o desde la consola de Python [18].



Figura 4 Logo de Matplotlib

Fuente: Tomado de [19]

8.2.6 AM

En la modulación AM ocurre una modificación en la amplitud de una señal portadora de frecuencia relativamente alta en proporción a la señal moduladora. La portadora es una onda sinusoidal que actúa como mensajero para llevar la información de la señal moduladora, cuando se produce la modulación, la amplitud de la señal portadora cambia en proporción a la amplitud de la señal moduladora. El espectro de frecuencias y ancho de banda de AM depende del tipo de modulación si se suprime o se transmite o se transmite parcialmente la portadora [20].

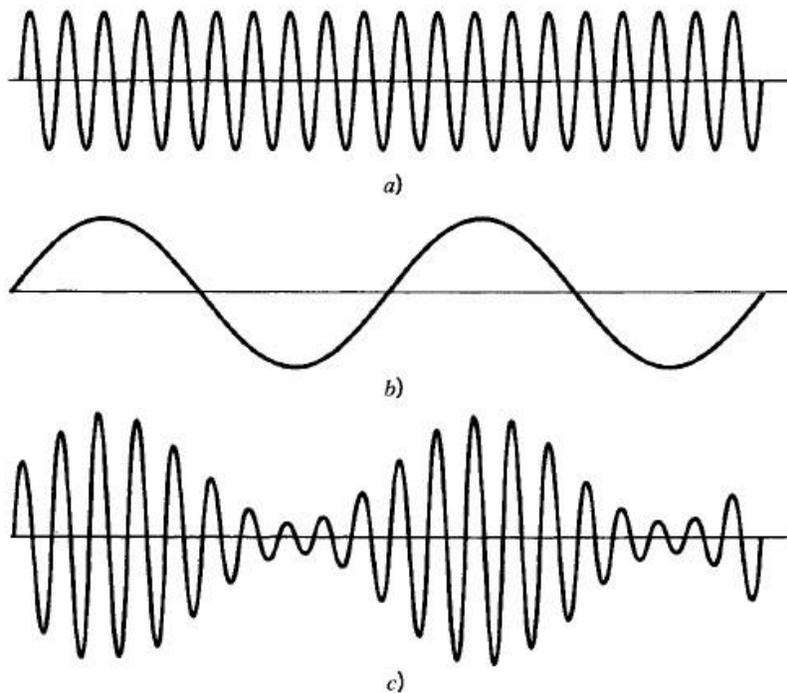


Figura 5 Imágenes de la generación de AM, siendo a) la señal portadora, b) señal moduladora y c) la señal modulada en AM.

Fuente: Tomado de [20]

8.2.7 FM

En esta forma de modulación angular se varía la frecuencia de la señal portadora con amplitud constante en proporción a la amplitud de la señal modulada, debido a esto existe una desviación de frecuencia, por lo que una señal moduladora más grande produce una mayor desviación de frecuencia, el ancho de banda de la modulación FM depende de la amplitud y la frecuencia de la señal moduladora y la desviación de frecuencia máxima.

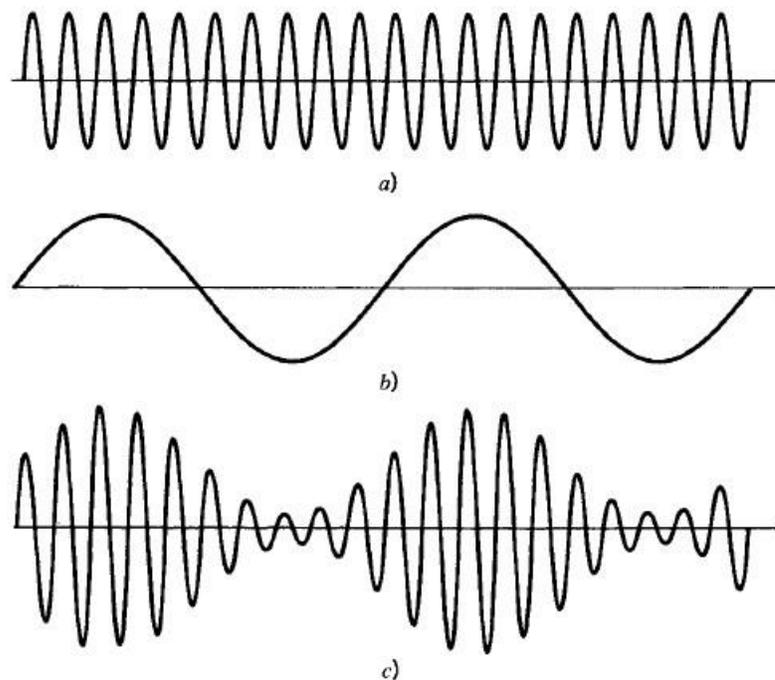


Figura 6 Imágenes de la generación de FM, siendo a) la señal portadora, b) señal moduladora y c) la señal modulada en FM

Fuente: Tomado de [20]

8.2.8 PM

Similar a la modulación FM, la modulación PM es una modulación angular donde se cambia la fase de la señal portadora con amplitud constante en proporción a la amplitud de la señal modulada, se puede decir que la modulación PM es una modulación FM indirecta, su ancho de banda depende de la amplitud y la frecuencia de la señal moduladora y la desviación de frecuencia máxima.

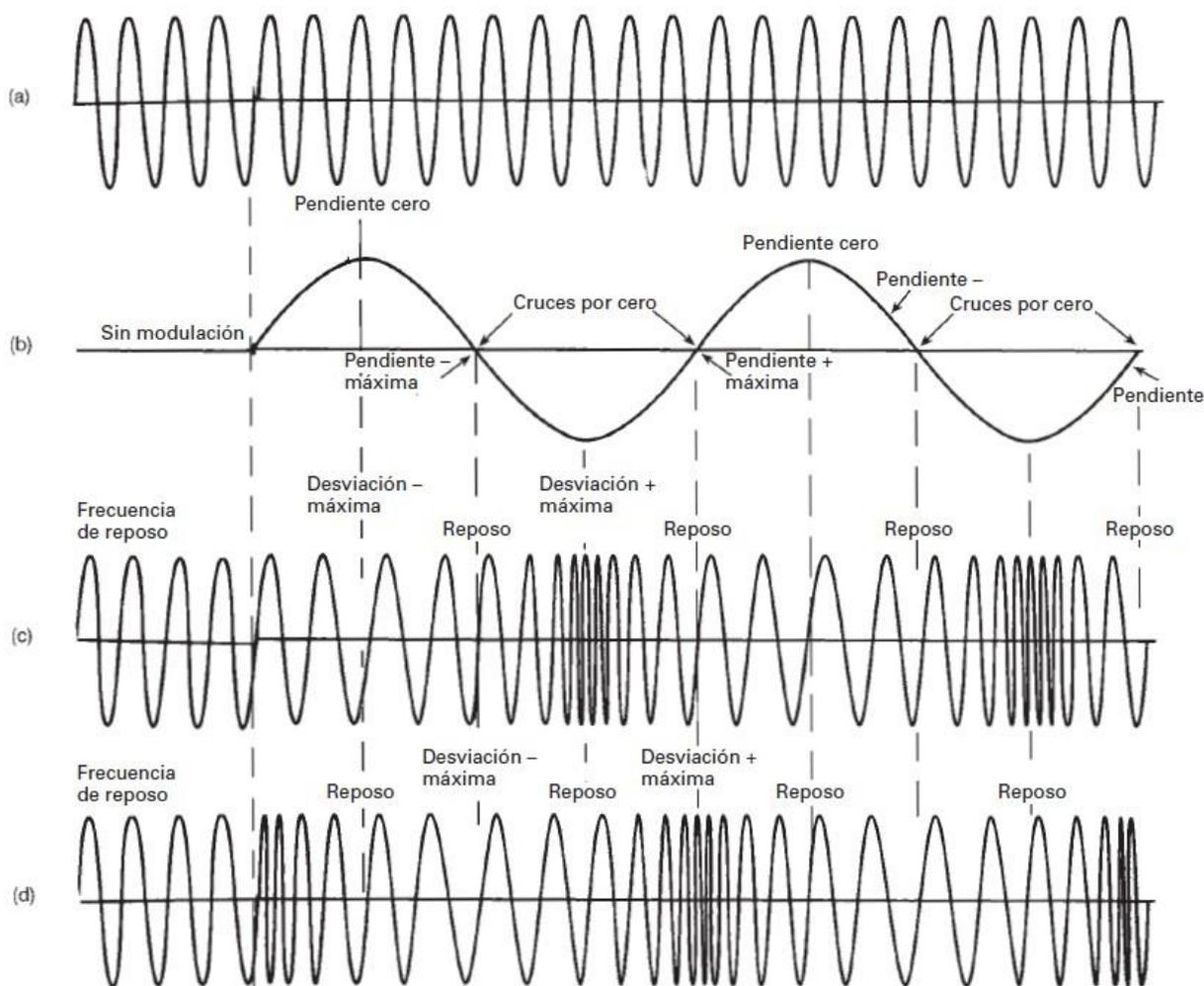


Figura 7 Imágenes de la generación de PM, siendo a) la señal portadora, b) señal moduladora, c) la señal modulada en FM y d) la señal modulada en PM.

Fuente: Tomado de [12]

8.2.9 PAM

En esta técnica de modulación por pulso donde un pulso varía la amplitud de pulsos individuales en una señal cuadrada o de pulso, estos pulsos individuales mantienen constante su ancho y fase en el tiempo, en esta forma de modulación la información se transmite solamente en la amplitud de los pulsos.

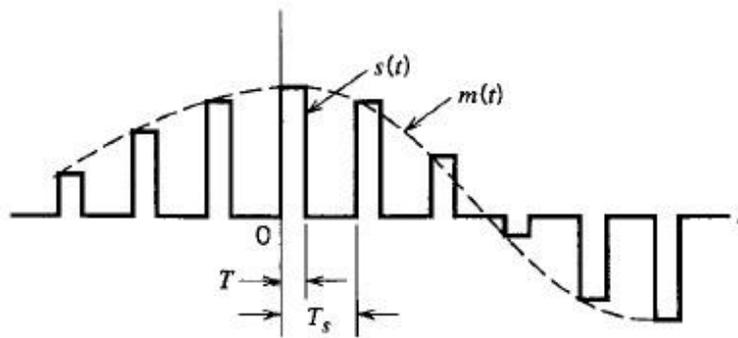


Figura 8 Forma de onda de una señal PAM

8.2.10 PPM

En este método de modulación se varía la posición de un pulso constante de acuerdo con la amplitud de la señal de información, la cual controla la posición en el tiempo de una serie de pulsos, el proceso de modulación implica muestrear la señal de entrada en intervalos regulares y crear un pulso de ancho constante para cada muestra y la posición en el tiempo del pulso se modifica para indicar el nivel de la muestra de entrada.

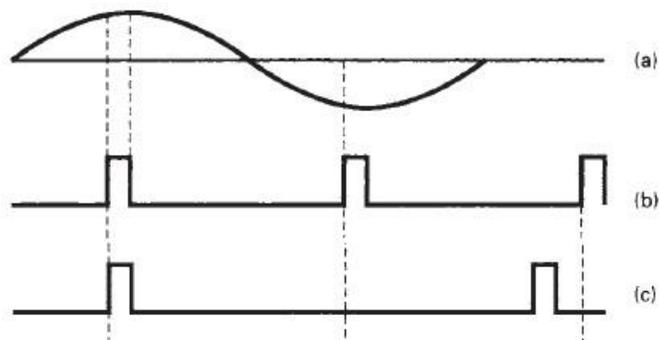


Figura 9 Imágenes de la modulación PPM, siendo a) la señal analógica, b) pulsos de muestra y c) la señal PPM

8.2.11 PWM

En esta técnica de modulación donde los pulsos de las muestras de la señal de información son usados para variar la duración de los pulsos individuales en la portadora, con el propósito de controlar el tiempo de trabajo y apagado.

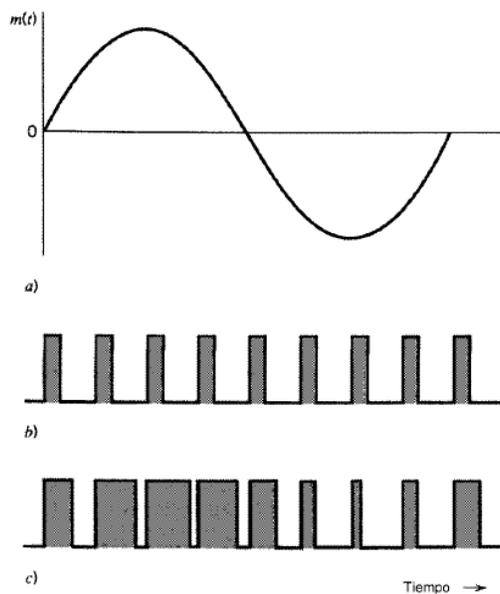


Figura 10 Imágenes de la modulación PWM, siendo a) la onda moduladora, b) portadora de pulsos y c) la señal PWM.

8.2.12 TDM

En esta técnica de multiplexación permite transmitir señales digitales mediante un canal de comunicación en común. Aquí todas las señales se muestrean y se transmiten en una secuencia de un orden determinado. Durante cada ciclo de transmisión, cada señal de entrada utiliza su propia ranura de tiempo, permitiendo que múltiples señales se transmitan simultáneamente en un solo canal.

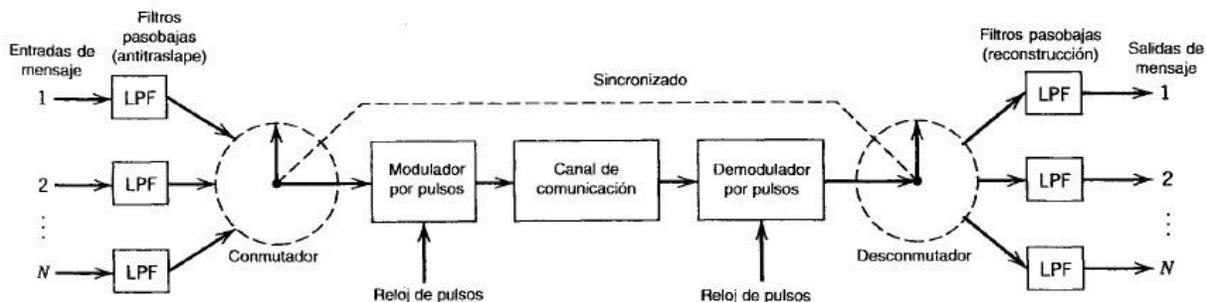


Figura 11 Diagrama de bloques de un sistema TDM.

8.3 Marco Legal

En primer lugar, se encuentra la Ley No. 1341 del 30 de Julio de 2009 en la cual se definen principios y conceptos sobre la sociedad de la información y la organización de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC).

En el Artículo 2 de esta ley, trata acerca de los principios orientados en donde aclaran que la investigación y el desarrollo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones son una política del estado que involucra todos los sectores públicos y de la sociedad para contribuir con el desarrollo educativo, cultural, económico, social y político de tal manera que involucren la competitividad y el respeto a las personas. Los principios orientados de esta ley son:

1. **Prioridad al acceso y uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones:** Todos los sectores en general deberán colaborar, dentro del marco de sus obligaciones, para priorizar el acceso y uso de las TIC's en la producción de bienes y servicios, en condiciones no discriminatorias en la conectividad, la educación, los contenidos y la conectividad.

2. **Libre Competencia:** Esto significa que el estado creará escenarios libres y leales que ayuden a incentivar la inversión actual y futura en el sector de las TIC's, que se logre involucrar en el mercado de carácter de libre competencia, bajos precios y en condiciones de igualdad, sin dar oportunidad de otorgar condiciones ni privilegios distintos dentro del mercado, priorizando una sana competencia.

3. Protección de los derechos de los usuarios: El Estado velará por la adecuada protección de los derechos de los usuarios de las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones, así como por el cumplimiento de los derechos y deberes derivados del Habeas Data, asociados a la prestación del servicio.

4. El Derecho a la comunicación, la información y la educación y los servicios básicos de las TIC: Según el desarrollo de los artículos 20 y 67 de la constitución Nacional, el estado dará prioridad a todo colombiano, el derecho al acceso de las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones básicas, dando lugar a la libertad de expresión y de difundir sus pensamientos y opiniones, la de informar y recibir información verás e imparcial, la educación y el acceso al conocimiento, a la ciencia, a la técnica, y a los demás bienes y valores de la cultura [21].

9. Diseño Metodológico

A continuación, se presentan los procesos que se realizaron para el cumplimiento de los objetivos específicos planteados.

9.1 Objetivo 1: Realizar el estado del arte acerca del diseño, funcionamiento y aplicación de proyectos en el área de sistemas de comunicaciones software libre.

9.1.1 Obtener conocimiento sobre Python en proyectos

Metodología: Se buscó información relevante por artículos, libros, u otras publicaciones sobre elementos importantes relacionados con Python

9.1.2 Búsqueda de Referencias

Metodología: Se investigó sobre proyectos realizados desde el año 2017 en donde se usó Python como parte de su desarrollo mediante buscadores especializados, conferencias, páginas web oficiales y revistas científicas.

9.1.3 Análisis Preliminar

Metodología: Se analizó el funcionamiento de Python en las diferentes herramientas y la manera en la que estas podrían emplearse al proyecto.

9.2 Objetivo 2: Desarrollar un algoritmo que proporcione la herramienta computacional para la asignatura sistemas de comunicaciones I empleando software libre.

9.2.1 Crear una metodología de análisis

Metodología: Se realizó un método de análisis basándose en el contenido programático de la asignatura y con base en el algoritmo de la herramienta.

9.2.2 Representar el método mediante un diagrama de flujo

Metodología: Se creó un algoritmo para ilustrar el proyecto mediante de un diagrama de flujo, a través de una serie de pasos ordenados y precisos.

9.3 Objetivo 3: Codificar el algoritmo en un lenguaje de programación especializado.

9.3.1 Elección del Entorno de desarrollo

Metodología: Se investigó sobre los diferentes entornos de desarrollo de Python para escoger el más apropiado que permite la creación de una interfaz gráfica interactiva.

9.3.2 Escribir el código

Metodología: Se procedió a escribir el código usando el diagrama de flujo como base jerárquica para el desarrollo.

9.4 Objetivo 4: Evaluar el desempeño del algoritmo con prácticas de laboratorio para la asignatura Sistemas de Comunicaciones I.

9.4.1 Pruebas del diseño

Metodología: Se hicieron las pruebas del diseño con estudiantes de la asignatura Sistemas de Comunicaciones I usando otra herramienta y matemáticamente mediante ejemplos de diferentes temas abordados comparando con la herramienta desarrollada, calculando el error promedio.

9.4.2 Implementar algunas pruebas simuladas

Metodología: Se tomaron de forma aleatoria algunos ejercicios o diseños de libros que expliquen este campo y se implementa para posteriormente evaluar la precisión obtenida a través de los datos simulados.

9.5 Objetivo 5: Dar a conocer y divulgar los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto.

9.5.1 Productos generados

Metodología: Exponer los productos que fueron generados a través del desarrollo de este proyecto.

9.5.2 Divulgaciones

Metodología: Mostrar los certificados de participación de diferentes eventos científicos donde fue expuesto el desarrollo del proyecto.

11. Presupuesto

11.1 Gasto Global

Tabla 2 Presupuesto global del proyecto (en miles \$)

RUBROS	FUENTES				TOTAL
	ESTUDIANTES		UFPS		
	Efectivo	Especie	Efectivo	Especie	
Personal	0	8400	0	7200	15600
Equipo	0	1000	0	250	1250
Materiales y suministros	0	31	0	441	472
Software	0	0	0	750	750
Imprevistos	0	938,4	0	864,1	1802,5
TOTAL	0	10369,4	0	9505,1	19874,5

11.2 Presupuesto del Personal

Tabla 3 Descripción de los gastos de personal (en miles \$)

PERSONAL	FUNCIÓN DENTRO DEL PROYECTO	DEDICACIÓN HORAS/ SEMANA	\$/h	# de meses	FUENTES		TOTAL
					Estudiantes	UFPS	
Adrián José Bueno Pradadilla	Tesista	35	5	12	8400	0	8400
Karla Cecilia Puerto López	Director	4	25	8	0	4800	4800
Luilly Alejandro García Ortiz	Codirector	2	25	8	0	2400	2400
TOTAL					8400	7200	15600

11.3 Gastos de Equipo

Tabla 4 Descripción de los gastos de equipo (en miles de \$)

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JUSTIFICACIÓN	FUENTES		TOTAL
			Estudiantes	UFPS	
Computador	1	Necesario para investigación, simulación y desarrollo del proyecto.	1000	0	1000
Impresora	1	Necesario para la impresión de los documentos de investigación.	0	250	250
TOTAL			1000	250	1250

11.4 Gastos de Materiales e Insumos

Tabla 5 Descripción de los gastos de materiales e insumos (en miles de \$)

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNIDAD	FUENTES		TOTAL
			Estudiantes	UFPS	
Internet (horas)	315	1.4.	0	441	441
Resma de papel tamaño carta	1	1.5	15	0	15
Tinta	2	5	10	0	10
Carpetas	6	1	6	0	6
TOTAL			31	4411	472

11.5 Gastos de Software

Tabla 6 Descripción de los gastos de software (en miles de \$)

SOFTWARE	CANTIDAD	VALOR UNIDAD	FUENTES		TOTAL
			Estudiantes	UFPS	
Matlab	1	0	0	260	0
LabVIEW	1	0	0	240	0
Web of Science	1	0	0	250	0
TOTAL			0	750	750

12. Resultados

En esta sección se muestra los resultados en cada actividad considerando el diseño metodológico planteado.

12.1 Realizar el estado del arte

12.1.1 Obtener conocimiento sobre Python en proyectos

Se buscaron 60 proyectos (20 internacionales, 20 nacionales y 20 regionales) en los motores de búsqueda especializados Web of Science y Google Scholar en español e inglés para obtener información académica y científica sobre proyectos que usaron Python en su desarrollo para conocer su enfoque.

Donde cada uno de ellos se leyó y así permitiendo conocer sus objetivos, procedimiento, resultados y conclusiones y como se relacionaron con el empleo de Python donde fueron divulgados en eventos científicos como se puede ver en las figuras 68, 69 y 70.

12.1.2 Búsqueda de Referencias

Python es un lenguaje de programación de código abierto e interpretado, lo que le permite tener rapidez cuando ejecuta programas y al ser multiplataforma permite la conectividad entre diferentes plataformas, cuenta con una sintaxis simplificada con un gran catálogo de librerías actualizadas lo que hace que sea el lenguaje predilecto de muchos al momento de hacer sistemas basados en análisis, simulación y aprendizaje automático [9].

En el ámbito internacional los temas fueron muy diversos, en el proceso de búsqueda hubo diversos proyectos donde emplearon Python y usaron diferentes modelos de Radio definida por software (USRP por sus siglas en inglés) para probar diferentes técnicas de detección de energía como 3EED con el fin de dar un mejor uso y distribución de los usuarios primarios y secundarios del espectro en la radio cognitiva como lo hicieron Năstase, Marțian, Vlădeanu y Marghescu [22].

Asimismo investigadores Banda y Gordillo los emplearon para evaluar, desarrollar y analizar tipos de sistemas de comunicaciones como por luz visible (VLC por sus siglas en inglés) para para generar una señal modulada BPSK [23];

Estos proyectos junto a los otros investigados se puede ver una tendencia en Norteamérica donde utilizan Python como ya sea para hacer sistemas donde califican, analizan, usan y valoran técnicas ya establecidas como métodos de comunicación, procesamiento de datos, señales e imágenes, machine learning y desarrollo de transmisores y receptores; en Europa se evidenció una tendencia el uso de Python para el desarrollo de sistemas destinados o relacionados a la educación, ambientales, salud y sistemas de comunicaciones digitales y métodos de multiplexación; en Asia, se pudo ver la tendencia de varios investigadores al avance en radares y sistemas de transmisión para hacer un mejor uso del espectro.

Los investigadores nacionales también usaron Python en diversos campos. Plazas, Rojas y Corrales crearon un sistema de alerta por SMS, mensaje de voz y email cuando detecta la presencia de una enfermedad causada por un hongo en las plantaciones de café [24],

Colorado, Perez, Mondragon, Mendez, Parra, Devia, Martinez y Neira elaboraron un dron aéreo autónomo para detectar minas terrestre explosivas [25]. En Colombia la igual que en los otros países, usaron Python junto a otras tecnologías para hacer proyectos donde realizan o mejoran procedimientos que afectan en el sector económico del país o a la realidad social del país, también se puede evidenciar la tendencia en la construcción de diversos dispositivos de bajo costo como georradars, radiogoniómetros, ionosondas, redes móviles GSM y sistemas de modulaciones digitales y la creación de software interactivo para el estudio, practica y aprendizaje en campos especializados como robótica, topografía, programación y materias relacionadas a ellas como las matemáticas discretas.

En el ámbito regional diferentes autores emplearon Python para desarrollar sus proyectos como lo hicieron Montes y Portilla al clasificar los movimientos de los ojos para realizar movimientos en una pinza mecánica [26]; Corzo y Velazco mediante control difuso hicieron un sistema que controla la temperatura y humedad en el proceso de secado de granos de cacao [27]. En la investigación de este estado del arte se ve un interés por los sistemas de control, monitoreo, procesamiento de señales, visión artificial, control difuso.

12.1.3 Análisis Preliminar

Python como lenguaje de programación y como herramienta es muy versátil y tiene varios enfoques y usos, dependiendo de los criterios y características que se necesitan para usarse, como se ha mencionado previamente es un lenguaje de código abierto y multiplataforma

con una gran cantidad de librerías, lo que permite la elaboración de código de una forma simplificada.

Ya sea que se use para el desarrollo web, inteligencia artificial, aprendizaje automático, automatización, scripting, desarrollo de juegos, Python también posibilita la creación de aplicaciones de escritorio, GUI y el análisis de datos siendo todos estos sus fortalezas.

Unas de las bibliotecas para la creación de GUI es PyQt, es una herramienta asombrosa para la creación de aplicaciones móviles, de escritorio y embebidas para diferentes sistemas operativos donde destacan la amplia gama de módulos [28].

Para las operaciones matemática, su capacidad de integrarse con otras librerías y plataformas la librería Numpy, especializada en el procesamiento de grandes arreglos y matrices de datos y con una amplia cantidad de usuarios, es muy útil su uso para aplicaciones de análisis de datos en diversos campos de la física, ingeniería, entre otros [29].

La librería Matplotlib, altamente reconocida y utilizada en el campo de la ciencia de datos para representar y visualizar gráficos complejos de datos numéricos y estadísticos, además gracias a su personalización y compatibilidad con otras librerías de Python hace que sea una herramienta ideal para el análisis de datos [30].

Adicionalmente se usó la librería wave para leer y manipular archivos de audio en formato wav. Para la visualización y posterior toma de muestras de estos para la explicación de ciertas modulaciones de pulsos [31].

12.2 Realizar el algoritmo

12.2.1 Crear un método de análisis

Con el fin de crear una interfaz gráfica que funcione como soporte educativo para el aprendizaje de sistemas de comunicaciones análogas y modulaciones de pulsos, se establecieron los que temas que se abordará en el proyecto y como ellos se relaciona con la herramienta computacional.

Entre los temas que se deben estudiar y aprender en la asignatura Sistemas de comunicaciones I se dividen en 3 bloques: Introducción a los sistemas de comunicaciones, modulación en amplitud, modulación angular y modulación de pulsos.

La introducción a los sistemas de comunicaciones trata sobre las diferentes variables que afectan en el rendimiento, calidad y desempeño de un sistema de comunicación el límite de Shannon, la potencia, temperatura equivalente de ruido, ruido térmico, voltaje de ruido, relación de potencia de señal a ruido, factor y cifra de ruido, adicionalmente mostrar los sistemas de comunicaciones, los modos de transmisión, el espectro electromagnético, espectro de potencia y energía y la clasificación de los transmisores.

Las técnicas de modulación análogas y de pulso que se implementaron en este proyecto, corresponden a AM (Amplitude Modulation), FM (Frequency modulation), PM (Phase modulation), PAM (Pulse-amplitude modulation), PPM (Pulse-position modulation), PWM (Pulse-width modulation) y TDM (Time-division multiplexing), en adelante en el libro referenciado únicamente por sus siglas en inglés.

12.2.2 Representar el método mediante un diagrama de flujo

El algoritmo se compone de cuatro módulos principales uno para la introducción a los sistemas de comunicaciones, el segundo para la modulación en amplitud, el tercero para la modulación angular y el cuarto para la modulación de pulsos. En una visión general, estos se componen de ingreso de datos para su procesamiento y posteriormente graficar las señales o espectros resultantes. El algoritmo final que describe el comportamiento de la interfaz es representado por el diagrama de flujo que se observa en el Anexo 1.

12.3 Codificar el algoritmo

12.3.1 Elección del entorno de desarrollo

Se realizó una evaluación para elegir el IDE más apropiado para el proyecto mediante una matriz de selección, en la que se incluyeron los entornos de desarrollo integrado que se consideraron útiles según la documentación de expertos en el área y el estado actual del proyecto. Los parámetros evaluados para la selección del IDE recibieron una ponderación de 1 a 10, en función de su importancia, desde un valor mínimo hasta máximo, respectivamente. Los parámetros son los siguientes:

- Especialidad del lenguaje de programación, se le asignó un peso del 25% a este criterio, ya que se buscó utilizar un entorno de desarrollo enfocado en Python.
- Librerías, la disponibilidad de librerías especializadas es beneficioso para el procesamiento y tratamiento de datos, ya que acelera los procesos y reduce los tiempos de respuesta, este criterio tiene un peso del 15%.
- Visualización de gráficos, al ser una GUI destinado para el aprendizaje en la asignatura de Sistemas de Comunicaciones I, se buscó que el IDE permita de manera clara y práctica progreso de cada código implementado y su compatibilidad con el entorno gráfico, este criterio tiene un peso del 20%.
- Procesamiento de información, ya que se trabaja procesamiento de datos ingresados por un usuario, se le asignó un peso del 30% a este parámetro.
- Licencia, finalmente, se considera este ítem, ya que se busca la posibilidad de modificar el código de manera fluida y sin inconvenientes, este criterio tiene un peso del 10%.

Tabla 7 Matriz de selección IDE

Criterio	Peso	IDE				
		PyCharm	Spyder	Atom	Visual Studio Code	Sublime Text
Especialidad del lenguaje de programación	0,25	8	8	9	8	8
Librerías	0,15	7	9	8	8	8
Visualización de gráficos	0,2	7	9	8	8	7
Procesamiento de información	0,3	10	10	10	10	10
Licencia	0,1	5	10	5	8	8
Total		7,95	9,15	8,55	8,6	8,4

12.3.2 Escritura del Código de programación de Python

Se exponen los conceptos matemáticos y el área de las Comunicaciones analogas plasmadas en el algoritmo de Python desarrollado con el IDE Spyder y la implementación de los modulos PyQt5, NumPy, Matplotlib, wave, entre otras. Se desarrolla el código para el menú principal, Introducción a los sistemas de comunicación (Anexo 4), Modulación en amplitud, Modulación angular y Modulación de pulsos.

En el menú principal se debe seleccionar la unidad a trabajar, a esta herramienta será nombrada como APES (Aplicación de ayuda al Estudiante en Sistemas de comunicaciones I) en este libro, como se ve en la figura 12.

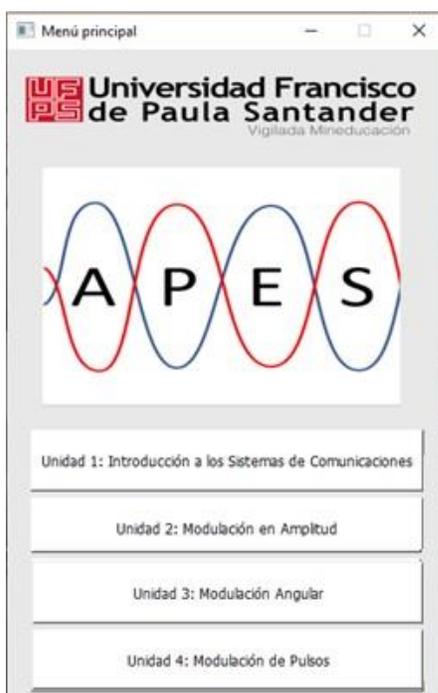


Figura 12 Menú principal APES

En los sistemas de comunicación hay diferentes variables que los caracterizan o demuestran la calidad del sistema.

LIMITE DE SHANNON DE CAPACIDAD DE LA INFORMACIÓN:

La capacidad de información de un sistema de comunicación representa la cantidad de símbolos independientes que pueden transportarse en un sistema por unidad de tiempo. Donde se relacionó la capacidad de información de un canal de comunicaciones, en bits por segundo (bps), con el ancho de banda y la relación de señal a ruido.

$$I = 3,32 B \log_{10}\left(1 + \frac{S}{N}\right)$$

Donde I = capacidad de información (bits por segundo)

B = ancho de banda (hertz)

$\frac{S}{N}$ = relación de potencia de señal a ruido (sin unidades)

En caso de que la potencia de ruido esta expresada en watts, para la conversión a decibeles se usa la siguiente expresión:

$$N_{(dBm)} = 10 \log \frac{N}{0.001}$$

donde N = Potencia del ruido (watts)

TEMPERATURA EQUIVALENTE DE RUIDO:

Es un valor hipotético que no se puede medir en forma directa. Es un parámetro conveniente que se usa con frecuencia en vez del coeficiente en los radiorreceptores, el uso de la

temperatura como factor de ruido indica la reducción en la relación de señal a ruido que sufre una señal al propagarse a través de un receptor. Se expresa de la siguiente forma.

$$T_e = T(F - 1)$$

T_e = temperatura equivalente de ruido (en grados kelvin)

T = temperatura del ambiente (valor de referencia: 290° K)

F = factor de ruido (adimensional)

RUIDO TÉRMICO:

O potencia del ruido, es el movimiento aleatorio de los electrones libres dentro de un conductor, causado por la agitación térmica. En forma matemática:

$$N = KTB$$

K = constante de Boltzmann (1.38×10^{-23} joules por grado kelvin)

VOLTAJE DEL RUIDO:

La ecuación se expresa así:

$$V_N = \sqrt{4RKT B}$$

R = resistencia de la carga (ohms)

RELACIÓN DE POTENCIA DE SEÑAL A RUIDO:

Es una medida que compara la potencia de una señal de interés con la potencia del ruido que la rodea. Sirve para cuantificar la calidad de una señal y determinar la relación entre la señal y el ruido presente en un sistema de comunicaciones:

$$\frac{S}{N} = \frac{P_s}{P_n}$$

en la cual $P_s =$ potencia de la señal (watts)

$P_n =$ potencia del ruido (watts)

FACTOR DE RUIDO Y CIFRA DE RUIDO

Son “cifras de mérito” para indicar cuánto se deteriora la relación de señal a ruido cuando una señal pasa por un circuito o una serie de circuitos.

$$F = \frac{\textit{Relación de potencia de señal a ruido en entrada}}{\textit{Relación de potencia de señal a ruido en salida}} \textit{ (adimensional)}$$

La cifra de ruido es el factor de ruido expresado en dB para indicar la calidad de un receptor.

$$NF(dB) = 10 \log F$$

Se usan las librerías PyQt5 para el desarrollo gráfico y las librerías numpy y scipy para la obtención de variables necesarias para hacer las operaciones previamente expresadas o consultar su teoría como se ven en las figuras 13, 14 y 15.

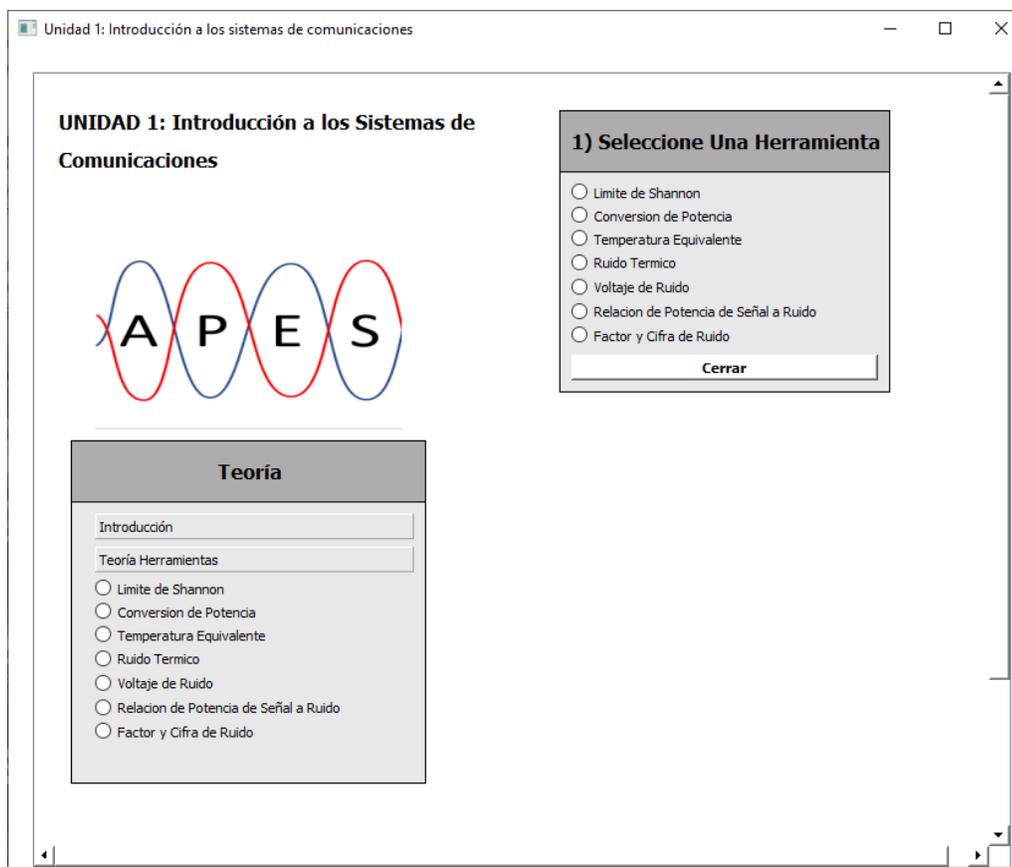


Figura 13 Menú unidad 1

1) Seleccione Una Herramienta

- Limite de Shannon
- Conversion de Potencia
- Temperatura Equivalente
- Ruido Termico
- Voltaje de Ruido
- Relacion de Potencia de Señal a Ruido
- Factor y Cifra de Ruido

Cerrar

Ruido Termico

Temperatura Ambiente

Constante de Boltzmann $1,38 \times 10^{-23}$ J/K

Temperatura (°C)

Ancho de banda (Hz)

Resultado

Potencia de ruido

Potencia de ruido (dBm)

Calcular

Figura 14 Herramienta Unidad 1

Si se desea repasar algún tema de teoría disponible en la herramienta, se debe seleccionarlo

Teoría

Introducción

- Introducción a la Teoria de la Información
- Sistemas de Comunicaciones
- Espectro Electromagnetico
- Espectro de Potencia y Energia
- Clasificacion de los Transmisores
- Modos de Transmision

Teoría herramientas

Figura 15 Herramienta teoría unidad 1

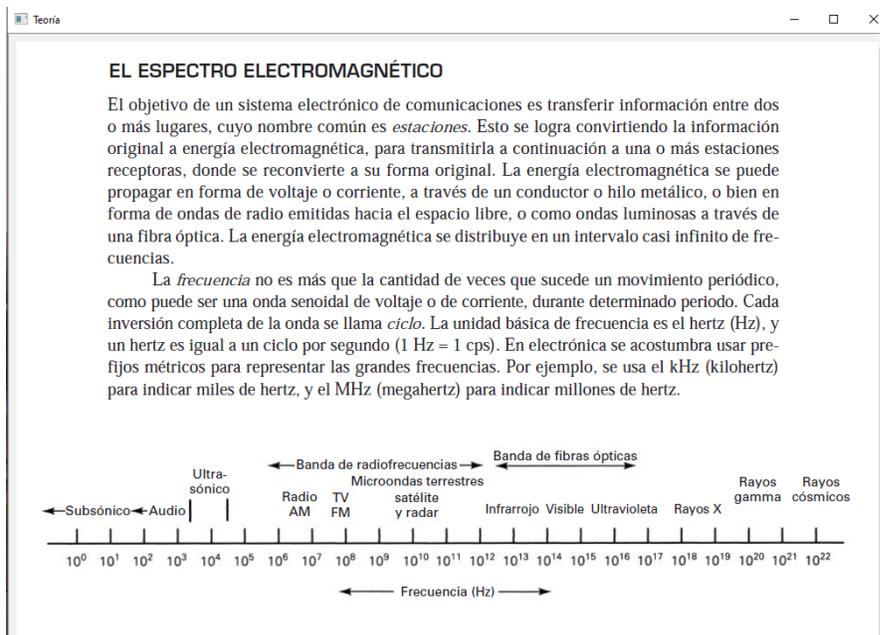


Figura 16 Teoría unidad 1

Para la modulación AM se necesita comprender la siguiente expresión matemática

AM

La expresión matemática de la señal resultante am es:

$$V_{(am)}(t) = A_c [1 + V_m(t)] \sin(2\pi f_c t)$$

siendo $V_{(am)}(t)$ = la señal modulada AM resultante

A_c = amplitud de la portadora (voltios)

$V_m(t)$ = la señal de información o modulante (variable en el tiempo)

f_c = frecuencia de la portadora (hertz)

Para el espectro de frecuencias se puede usar la siguiente expresión

$$B = 2f_{m(\max)}$$

siendo f_m = frecuencia de la señal de información (hertz)

En la distribución de las bandas de frecuencia se puede apoyar de la siguiente gráfica

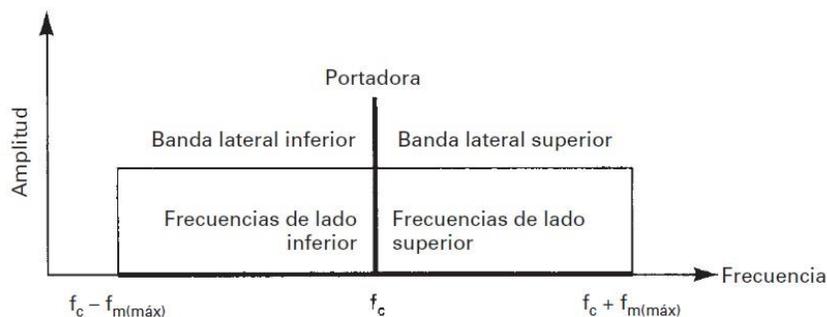


Figura 17 Espectro de frecuencias AM

Esto puede variar dependiendo del tipo de transmisión ya sea transmisión de doble banda (DSB) o banda única (SSB) y si se suprime la portadora (SC) o no (FC), por eso se incluyeron estas formas de modulación como se ve en la figura 18.

Unidad 2: Modulación En Amplitud

UNIDAD 2: MODULACION EN AMPLITUD

Teoría

Modulación

Análisis de Frecuencia

Demodulación

DSB-FC

DSB-SC

SSB-FC

SSB-SC

VSB

1) Seleccione el tipo de modulación

AM Doble banda lateral full portadora (DSB-FC)

AM Doble banda lateral portadora suprimida (DSB-SC)

AM Banda lateral única con portadora (SSB-FC)

AM Banda lateral única (SSB-SC)

AM Banda lateral vestigial (VSB)

3) Seleccione el procedimiento

Modulación

Análisis de frecuencia

Demodulación

2) Ingrese los datos

Frecuencia de la Portadora (en Hz)

Amplitud de la Portadora (en V)

Frecuencia de la Señal (en Hz)

Amplitud de la Señal (en V)

Limpiar

Figura 18 Menú unidad 2

Aquí se agregan la librería PyQt5 para el apartado grafico de la interfaz y las librerías numpy, math, scipy y scipy.signal para la extracción de variable y elementos necesarios para el procesamiento de datos, finalmente se usa la librería matplotlib para la generación y representación gráfica de las ondas resultantes de esta modulación, todo esto se evidencia en las figuras 19 y 20.

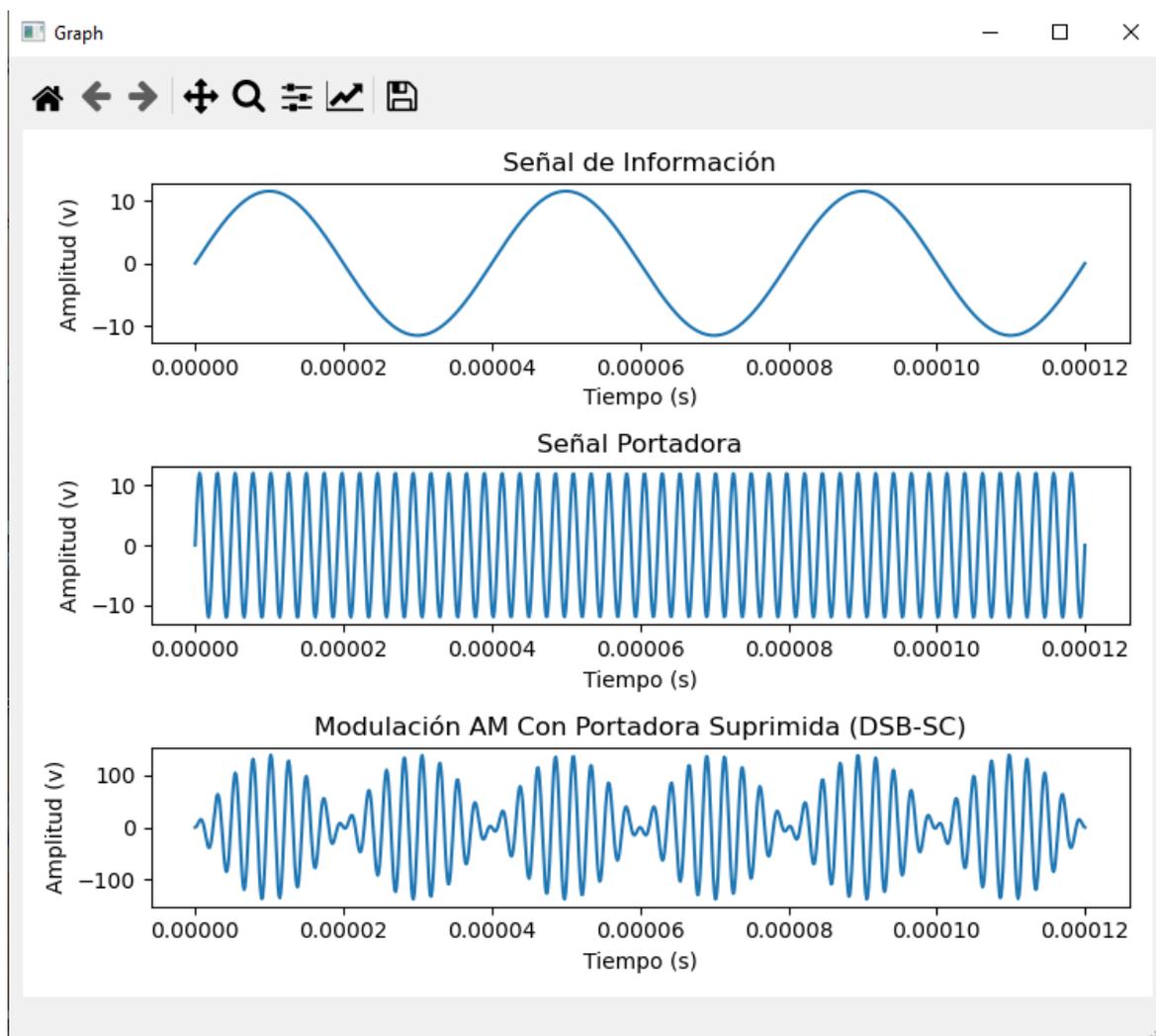


Figura 19 Ejemplo unidad 2



Figura 20 Herramienta teoría unidad 2

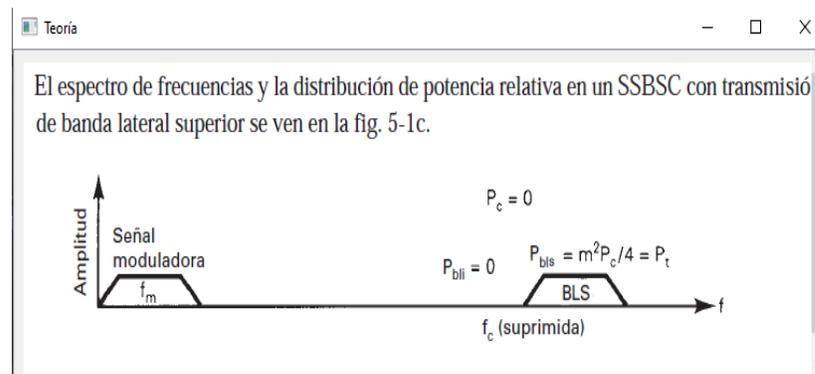


Figura 21 Teoría unidad 2

PM

La expresión matemática de la señal resultante PM es:

$$m(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + K A_m \cos(2\pi f_m t)]$$

siendo $m(t)$ = la señal modulada PM resultante

A_m = amplitud de la señal de información (voltios)

f_m = frecuencia de la señal de información (hertz)

K = sensibilidad a la desviación de los moduladores de fase $\left(\frac{\text{rad}}{\text{V}}\right)$

Es importante saber el índice de modulación ya que determinar el espectro de la señal, el cual se expresa de la siguiente forma:

$$m = KA_m$$

$$m = \text{índice de modulación (rad)}$$

FM

El análisis matemático de la señal resultante FM es:

$$m(t) = A_c \cos \left[2\pi f_c t + \frac{K_1 A_m}{f_c} \sin(2\pi f_c t) \right]$$

$$K = \text{sensibilidad a la desviación de los moduladores de frecuencia} \left(\frac{\text{hertz}}{V} \right)$$

Así como la modulación PM, es importante saber el índice de modulación para el espectro de la onda, el cual se obtiene mediante:

$$m = \frac{K_1 A_m}{f_c}$$

$$m = \text{índice de modulación (adimensional)}$$

Para calcular las amplitudes de la portadora y las frecuencias laterales se puede saber mediante las funciones de Bessel de primera clase, de esta forma:

$$J_n(m) = \left(\frac{m}{2} \right)^n \left[\frac{1}{n} - \frac{\left(\frac{m}{2} \right)^2}{1!(n+1)!} + \frac{\left(\frac{m}{2} \right)^4}{2!(n+2)!} - \frac{\left(\frac{m}{2} \right)^6}{3!(n+1)!} + \dots \right]$$

$$! = \text{factorial (1 x 2 x 3 x 4, etc.)}$$

$$n = J, \text{ o número de la frecuencia latera}$$

Con esto se puede calcular la cantidad de bandas laterales significativas y de esta forma saber el ancho de banda con la siguiente formula

$$B = 2(nf_m)$$

n = cantidad de bandas laterales significativas

f_m = frecuencia de la señal moduladora (hertz)

De forma similar se necesita la librería PyQt5 para el apartado grafico de la interfaz y la librería numpy y scipy para obtener los datos necesarios y su posterior procesamiento como se puede mirar en la figura 22 para finalmente usar la librería matplotlib para la generación de gráficas de estos procesos de modulación como se muestra en el ejemplo de la figura 23.

Figura 22 Menú unidad 3

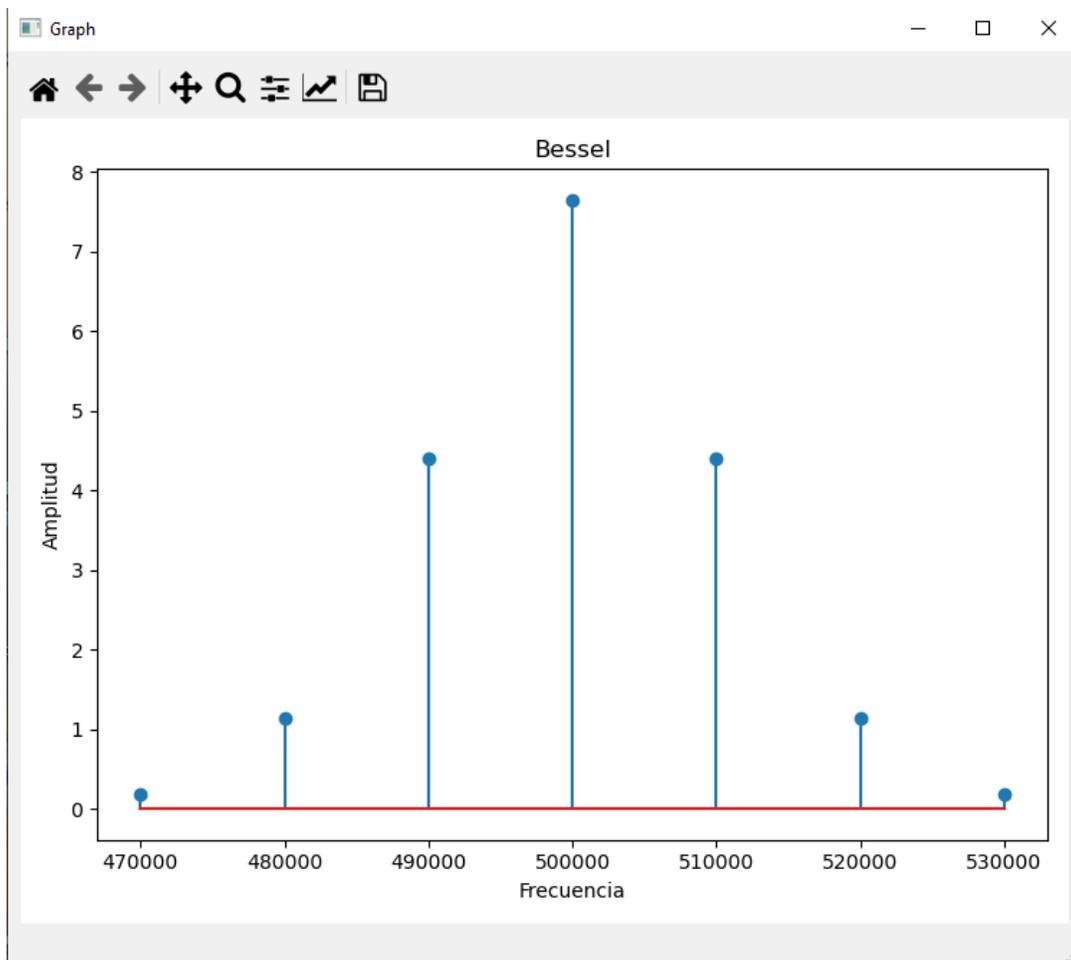


Figura 23 Ejemplo unidad 3

PAM

Para esta técnica de modulación de pulsos es necesario seguir la siguiente fórmula matemática:

$$s(t) = A_c [1 + m(t)] p(t)$$

$s(t)$ = señal modulada PAM resultante

$m(t)$ = señal de información con amplitud variable

$p(t)$ = señal rectangular portadora

PPM

Para esta modulación se puede expresar como:

$$s(t) = mp(t) * p(t - nT)$$

$$s(t) = \text{señal modulada PPM resultante}$$

$$mp(t) = \text{señal de información}$$

$$p(t - nT) = \text{pulsos rectangulares con ancho } T \text{ y periodo de muestreo } nT$$

PWM

Para hacer esta modulación se requiere muestrear la señal de entrada y está se compara su valor con el valor de la portadora, si resulta mayor se emite un pulso de ancho constante.

TDM

Para realizar esta técnica de multiplexación puede ser representada como:

$$s(t) = s_1(t) + s_2(t - T) + s_3(t - 2T) + \dots + s_n(t - (n - 1)T)$$

$$s(t) = \text{señal multiplexanda resultante}$$

$$s_1(t) \text{ a } s_n(t) = \text{señales a ser multiplexadas}$$

$$T = \text{período asignado a cada canal}$$

De igual forma a los otros módulos, se usa PyQt5 para el apartado gráfico donde se obtienen o se modifican los datos como se ve en la figura, luego se usan las librerías numpy y wave para su posterior análisis como se ve en el ejemplo de la figura 25.

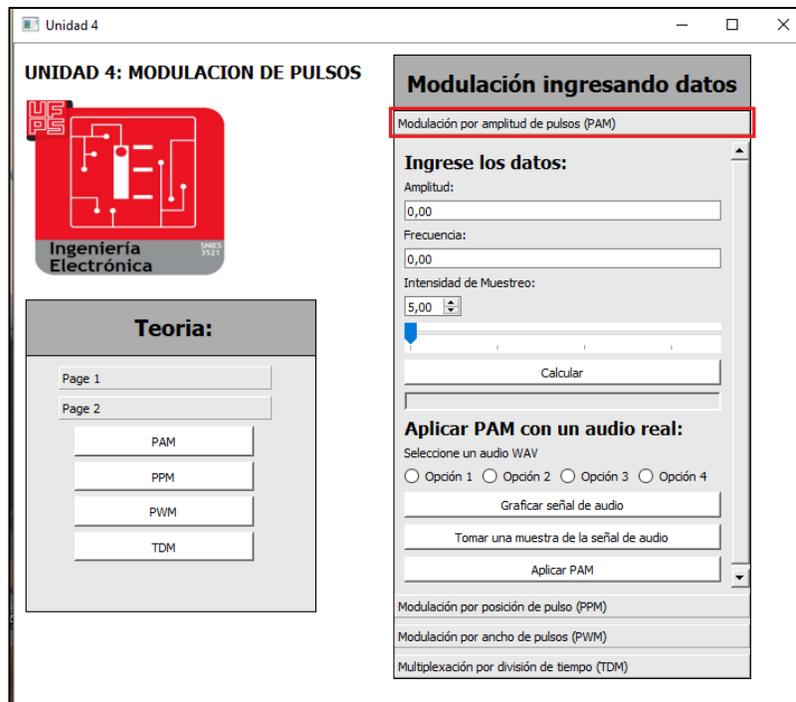


Figura 24 Menú unidad 4

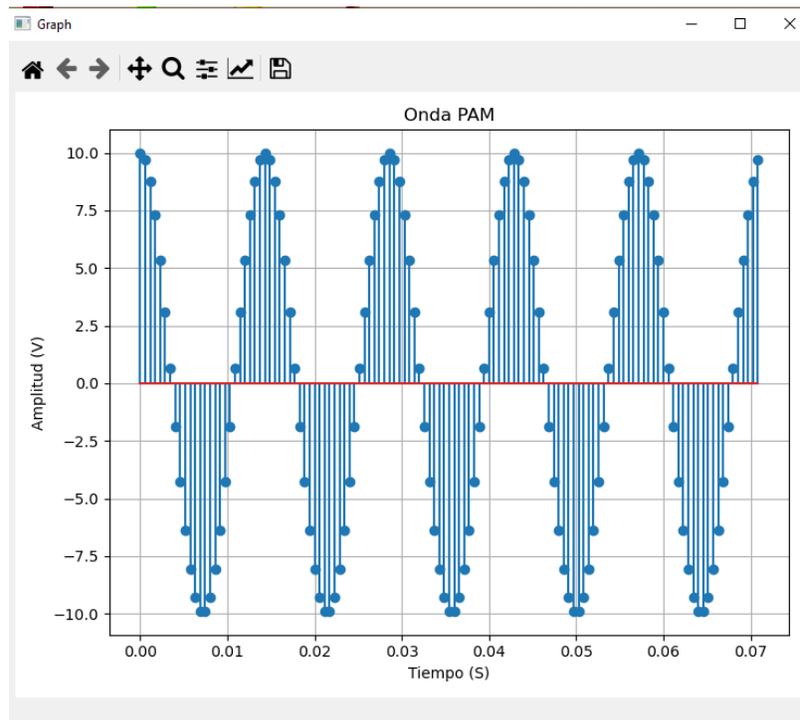


Figura 25 Ejemplo unidad 4

12.4 Evaluar el desempeño del algoritmo

12.4.1 Funcionamiento del Algoritmo

En la tarde del miércoles, 20 de abril de 2022 con los estudiantes en el laboratorio LE104 de la asignatura Sistemas de Comunicaciones I del grupo A, donde utilizaron sus herramientas especializadas como se ven en las figuras 26, 27 y 28 para realizar ejercicios comparar con los resultados del APES y así obtener el error absoluto y el error porcentual.



Figura 26 Prueba de laboratorio



Figura 27 Prueba de laboratorio

En los ejercicios propuestos donde se ven en las figuras 66 y 67, se compararon los resultados obtenidos por los estudiantes con los resultados generados por APES donde el error promedio fue de 0,27% que se puede ver en la tabla 8.



Figura 28 Prueba laboratorio

Tabla 8 Error promedio guía

Ejercicio	Error porcentual promedio
Ejercicio 1	0,3
Ejercicio 2	0,16
Ejercicio 3	0,51
Ejercicio 4	0,13
Total	0,27

Luego se realizaron los ejercicios de la guía 7 que se ven en la figura 29. En este procedimiento con los resultados comparados se determinó un error promedio de 0,97 % que se puede observar en la tabla 9.

Tabla 9. Error promedio guía

Ejercicio	Error porcentual promedio
Ejercicio 1	1,08
Ejercicio 2	0,98
Total	0,98

De esta forma se obtuvieron errores promedios satisfactorios permitiendo así a APES ser una herramienta con una precisión muy alta y fiable.

6. Ejercicios propuestos

Ahora, analice y responda los siguientes ejercicios usando APES

- 1) a) Una radio transmite su señal con una frecuencia portadora de 450K con un voltaje de 3 V con una señal portadora de 270 kHz con una amplitud de 2 V, adicionalmente se desea que el índice de modulación sea de 1 ¿Cuánto debería ser el coeficiente de modulación de sensibilidad de frecuencia? Graficar su modulación.
- b) ¿Qué sucede si se desea que el índice sea de 2? ¿Qué cambios ocurre?
- c) Ahora grafique con los siguientes índices de modulación: 3,4,5 y 10 ¿Qué diferencias hay en la modulación?
- 2) Para un sistema de comunicación FM tienen una señal portadora de 700 kHz con una amplitud de 5 V y una señal moduladora de 50 kHz con un voltaje de 2, si su coeficiente de modulación de sensibilidad de frecuencia es de 25000 ¿Cuántas bandas significativas hay? ¿Cuál es su ancho de banda? ¿Cuál es la función de la frecuencia de la portadora y su amplitud? Grafique su análisis en frecuencia.
- b) ¿Qué ocurre si el coeficiente se cambia a 100000? ¿Qué cambios ocurren?
- c) Realice 2 gráficas con los mismos valores solo variando el coeficiente de modulación, una con un coeficiente de 37500 y la otra con un coeficiente de 75000 ¿Qué diferencias hay entre estas 2 gráficas?

7. Bibliografía

- [1] S. Haykin, "Sistemas de comunicación," vol. 1, p. 94, 2001.
- [2] G. D. Bueno Adrián, Puerto Karla, García Luilly, "Manual Apes." 2021.
- [3] W. Tomasi, *Sistemas de comunicaciones opticas*. 2003.

Figura 29 Laboratorio 2 evaluación

12.4.2 Implementar algunas pruebas

Se toman ejercicios planteados, algunos desarrollados y otros ejercicios de trabajo en el libro de Tomasi, se abordan los temas de introducción a los Sistemas de comunicación, Modulación en amplitud (AM), Modulación Angular (FM y PM), Modulación de pulsos (PAM, PPM, PWM) y la multiplexación TDM.

12.4.2.1 Introducción a los sistemas de comunicación

- Límite de Shannon

Limite de Shanon de capacidad de información

Ancho de banda (Hz)

Potencia de la señal (W)

Potencia del ruido (W)

Resultado

Capacidad de informacion

Limite de Shanon de capacidad de información (ancho de banda requerido)

Capacidad de informacion (bps)

Potencia de la señal (W)

Potencia del ruido (W)

Resultado

Ancho de banda

Figura 30 Prueba límite de Shannon

- Conversión de potencia

Convertir Potencia en dBm a Watts

Potencia (dBm)

Resultado

Potencia **0.0199526231496888**

Figura 31 Prueba de conversión de potencia

- Temperatura equivalente de ruido

Temperatura equivalente de ruido

Temperatura equivalente de ruido Temperatura

Temperatura (°K)

Factor de Ruido (adimensional)

Resultado

Temperatura eq. ruido (°K) **74.82000000000001**

Figura 32 Prueba Temperatura equivalente de ruido

- Ruido térmico

Ruido Térmico

Temperatura Ambiente

Constante de Boltzmann $1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

Temperatura (°C)

Ancho de banda (Hz)

Resultado

Potencia de ruido **4.0038821e-17**

Potencia de ruido (dBm) **-133.9751871942281**

Figura 33 Prueba ruido térmico

- Voltaje del ruido

Voltaje del ruido

Tiene la Potencia del ruido

Temperatura (°C)

Ancho de banda (Hz)

Constante de Boltzmann $1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

Potencia del ruido (W)

Resistencia de carga (Ω)

Resultado

Voltaje del ruido **1.7897222354320796e-07**

Figura 34 Prueba voltaje del ruido

- Relación de potencia de señal a ruido

Relacion de Potencia de Señal a Ruido

Potencia de la señal (W)

Potencia del ruido (W)

Resultado

Relacion (S/N) 1000.0

Relacion de Potencia de Señal a Ruido (Con Resistencias)

Resistencias iguales

Voltaje de la señal (V)

Resistencia de entrada (R)

Voltaje del ruido (V)

Resistencia de salida (R)

Resultado

S/N (dB) 58.061799739838875

Figura 35 Prueba Relación de potencia de señal a ruido

- Factor y Cifra de ruido

Factor y Cifra de Ruido

Ps/Pn en entrada (adimensional)

Ps/Pn en salida (adimensional)

Resultado

Factor de ruido 4.0

Cifra de ruido 6.020599913279624

Figura 36 Prueba factor y cifra de ruido

12.4.2.2 AM

Frecuencia portadora (Hz) = 30000

Frecuencia información (Hz) = 25000

Amplitud portadora (V) = 2

Amplitud información (V) = 1

- AM DSB-SC

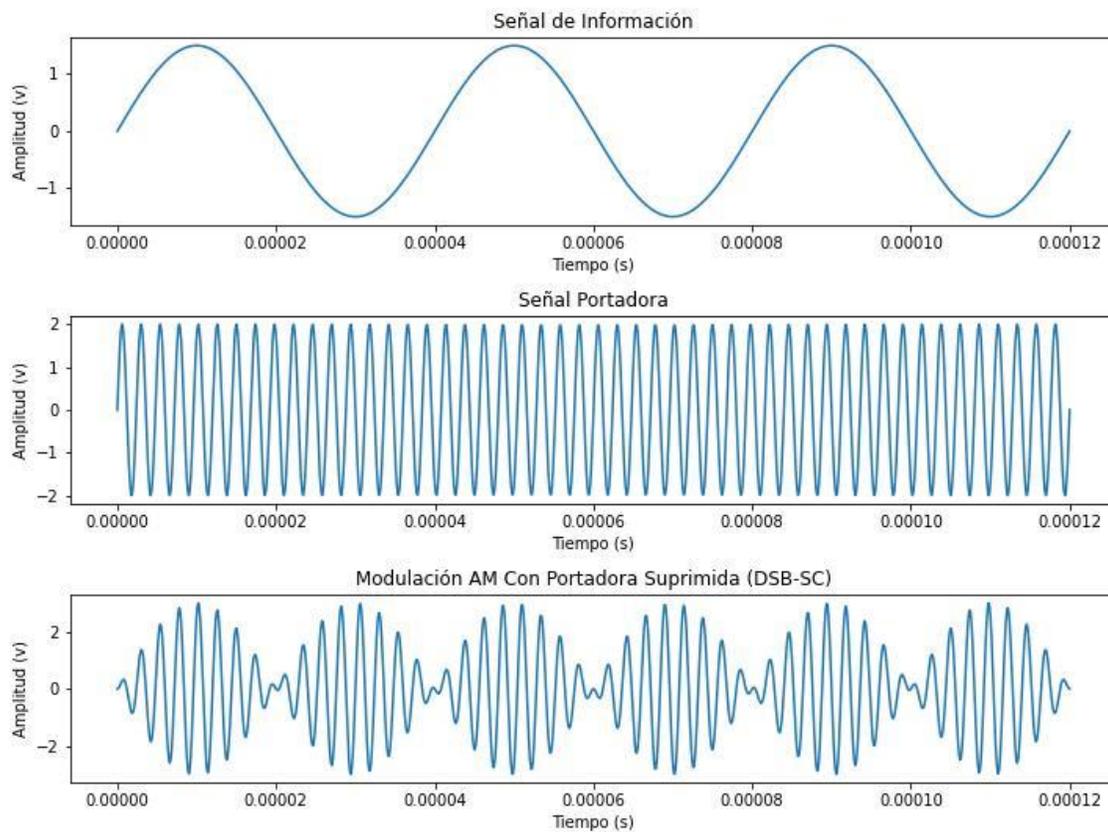


Figura 37 Prueba modulación AM DSBSC

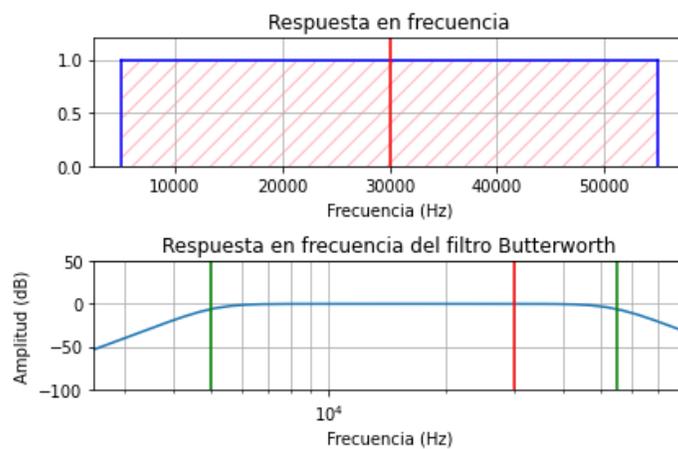


Figura 38 Prueba respuesta en frecuencia AM DSBSC

- AM DSB-FC

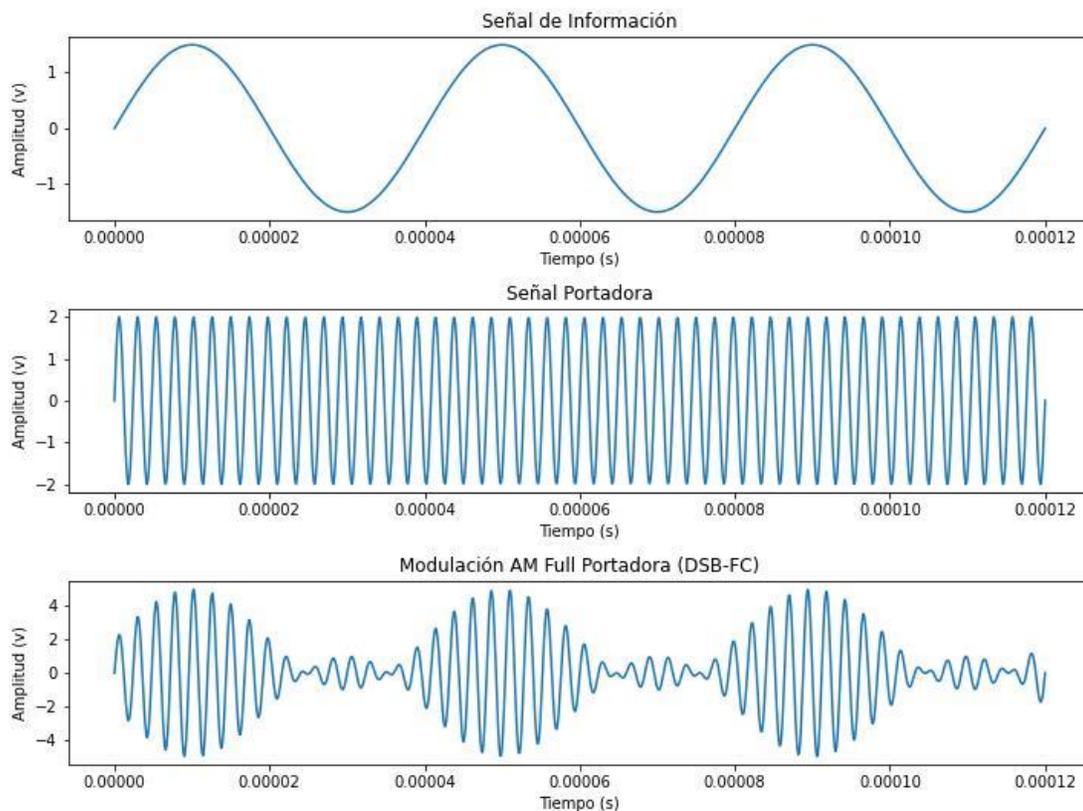


Figura 39 Prueba modulación AM DSBFC

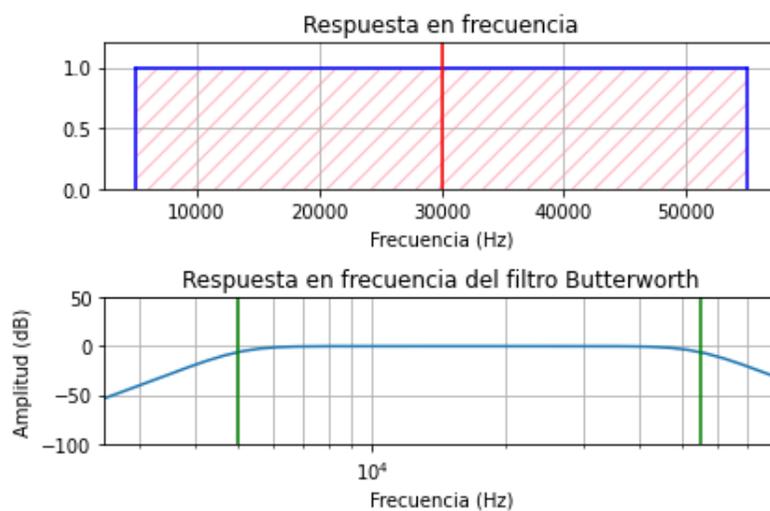


Figura 40 Prueba respuesta en frecuencia AM DSBFC

- AM SSB-FC

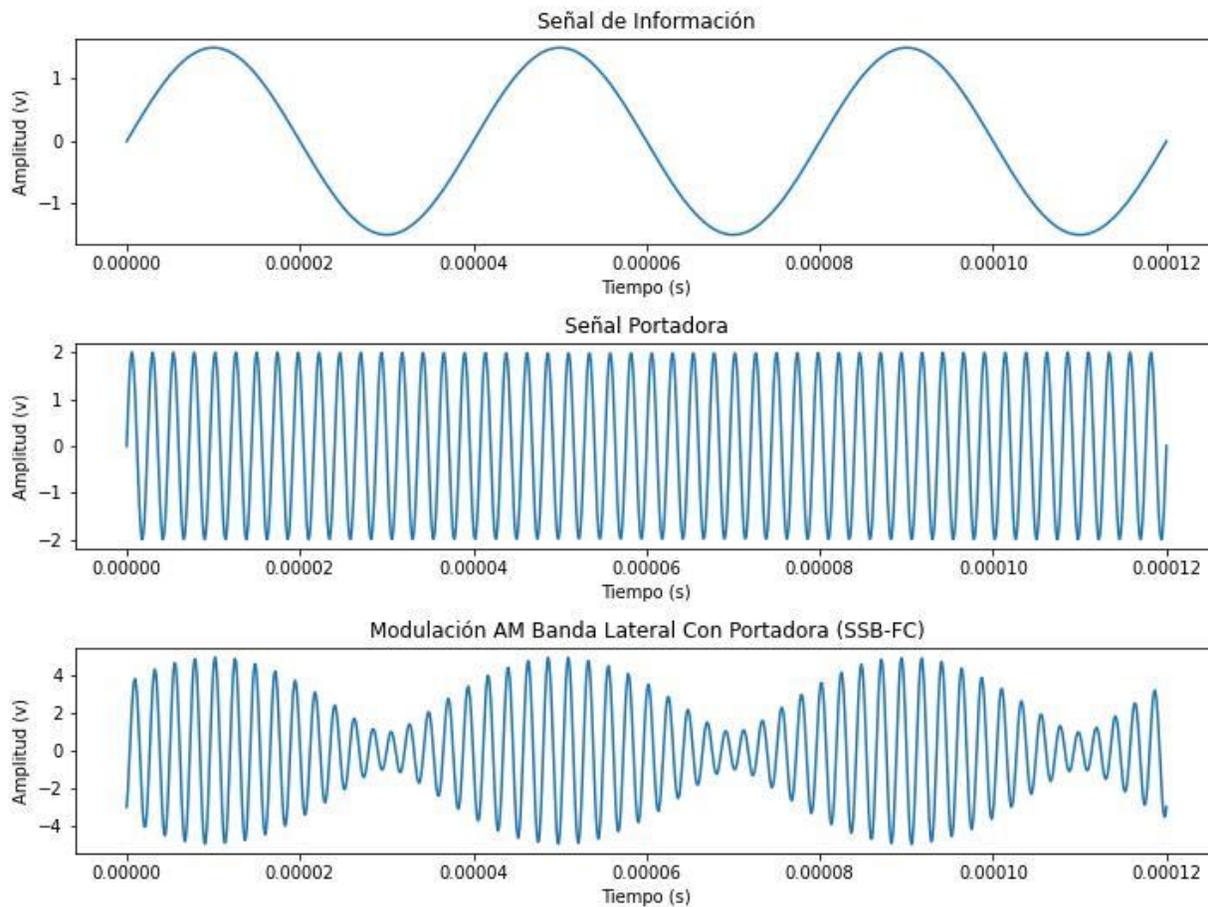


Figura 41 Prueba modulación AM SSBFC

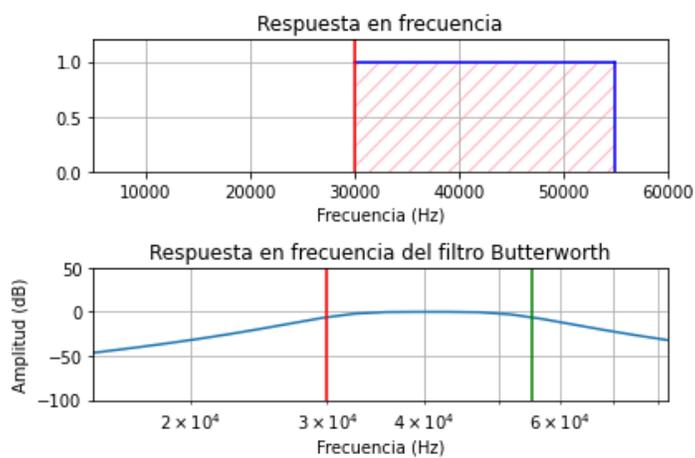


Figura 42 Prueba respuesta en frecuencia AM SSBFC

- AM SSB-SC

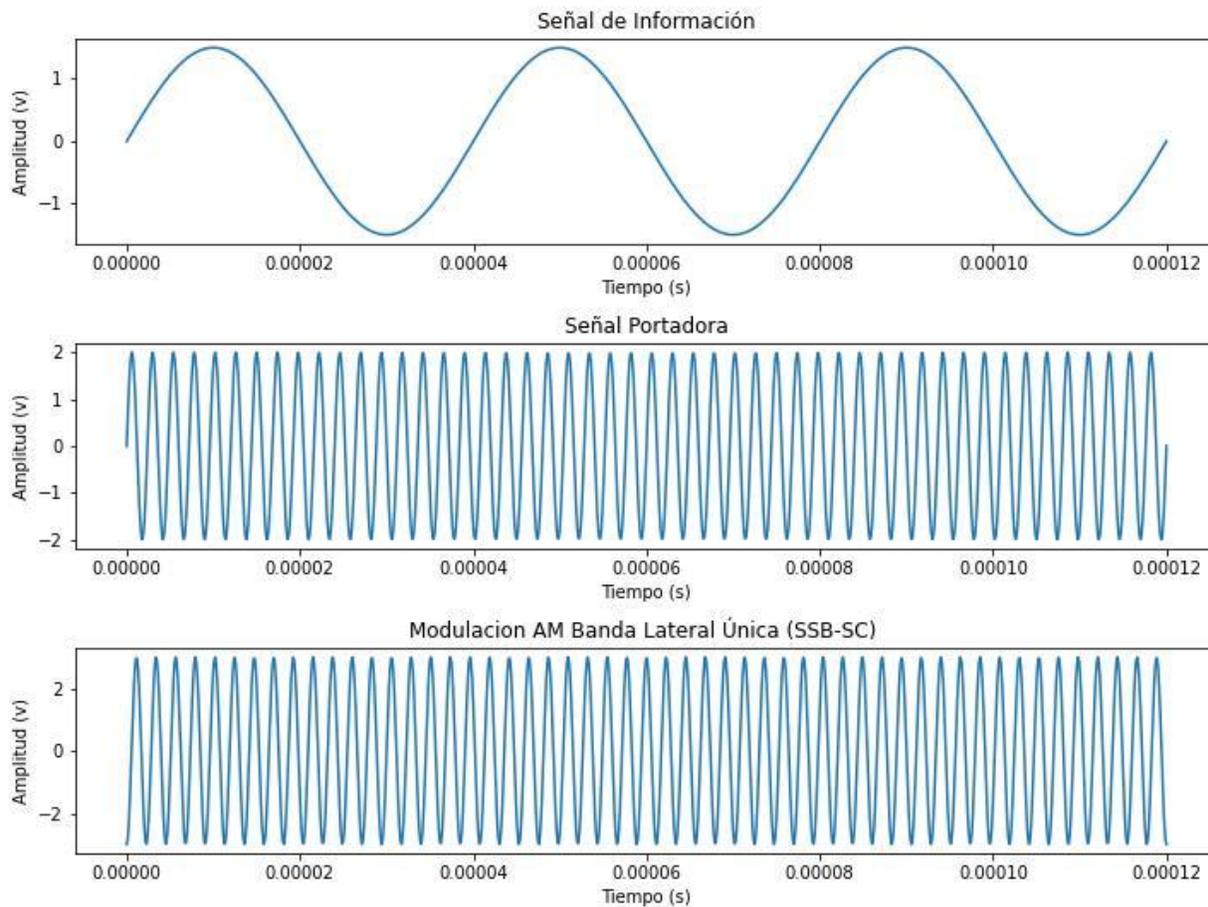


Figura 43 Prueba modulación AM SSBSC

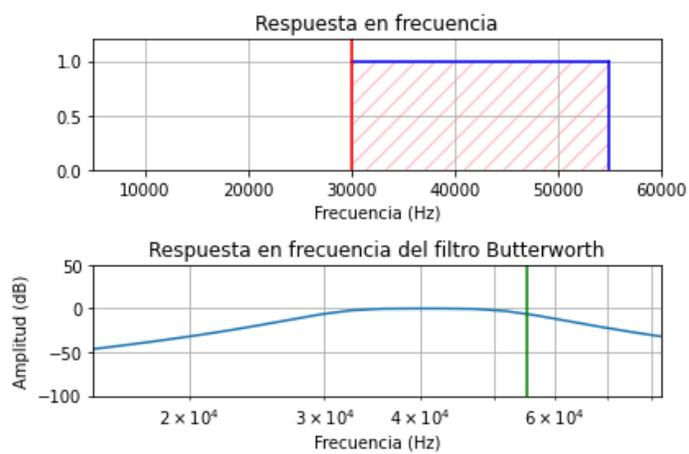


Figura 44 Prueba respuesta en frecuencia AM SSBSC

- AM VSB

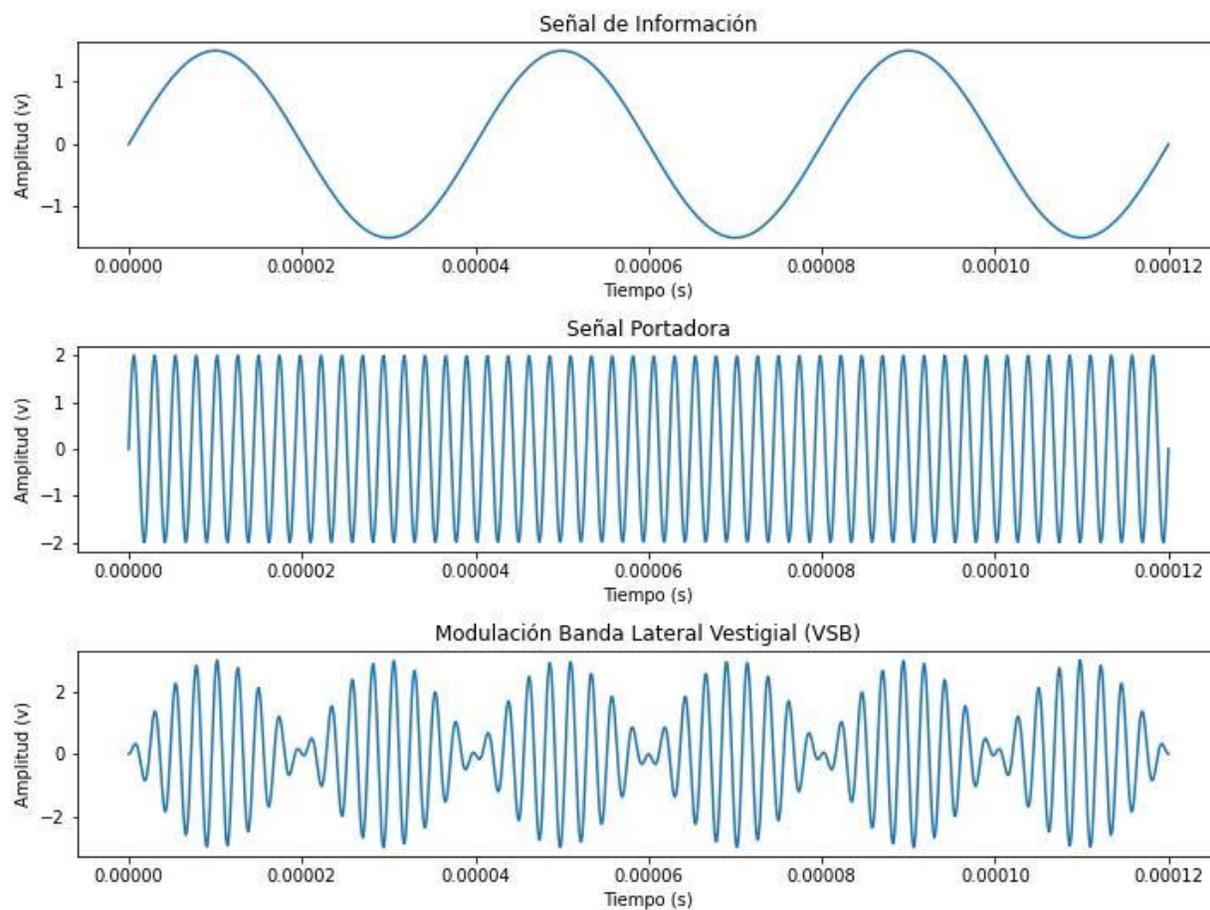


Figura 45 Prueba modulación AM VSB



Figura 46 Prueba respuesta en frecuencia AM VSB

12.4.2.3 FM y PM

Frecuencia portadora (Hz) = 500

Frecuencia información (Hz) = 35

Amplitud portadora (V) = 1

Amplitud información (V) = 1

Sensibilidad a la desviación FM (adimensional) = 3500

Sensibilidad a la desviación PM (rad) = 10

- FM

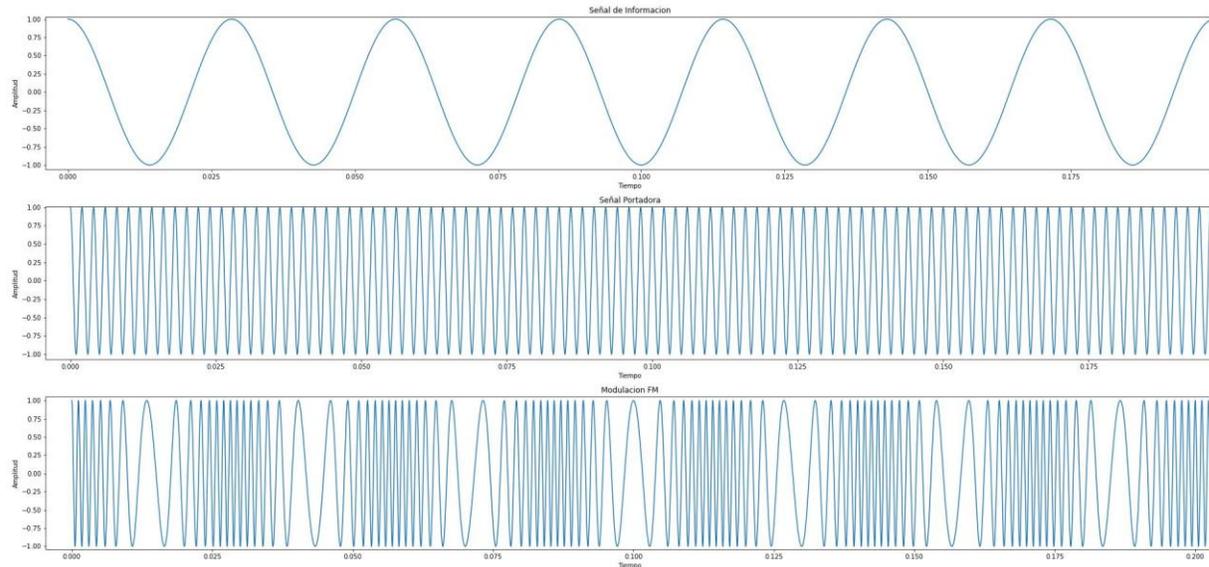


Figura 47 Prueba de modulación FM

- PM

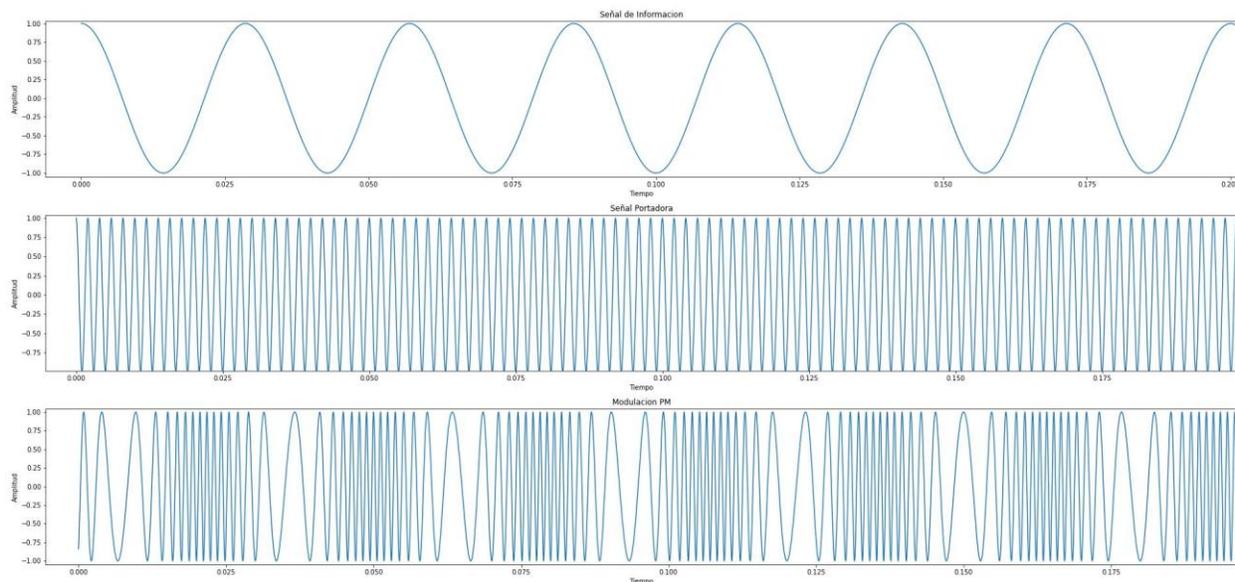


Figura 48 Prueba de modulación PM

- Bessel FM y PM

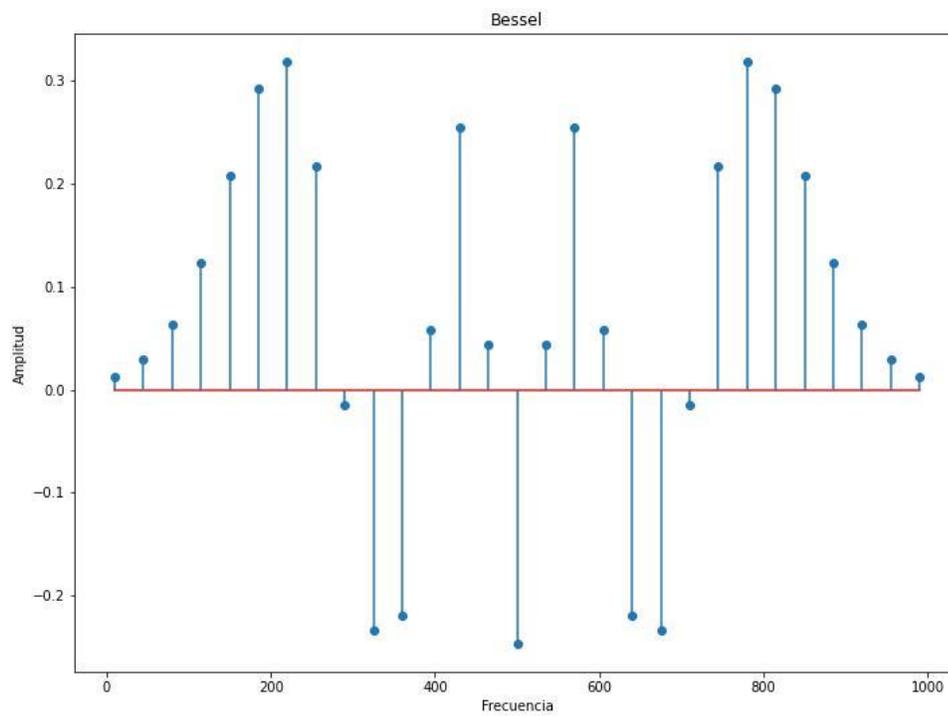


Figura 49 Prueba Bessel FM y PM

12.4.2.4 Modulación de pulsos

- PAM

Amplitud (V) = 10

Frecuencia (Hz) = 70

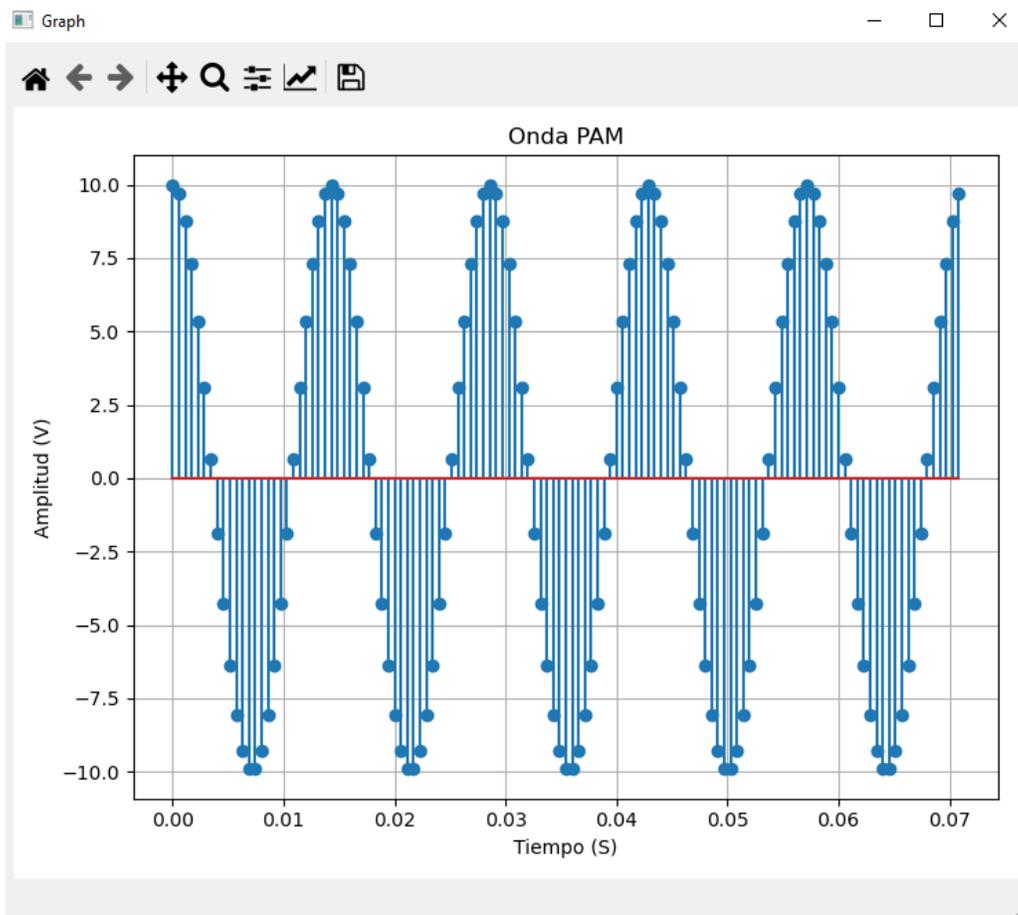


Figura 50 Prueba PAM

- PPM

Frecuencia información (Hz) = 50

Frecuencia señal (Hz) = 20

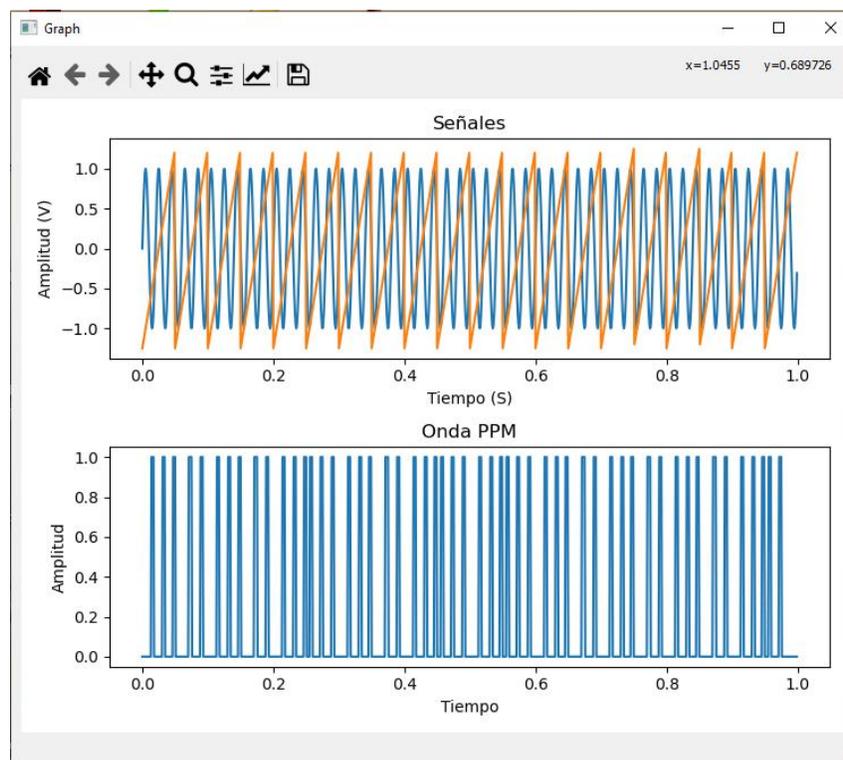


Figura 51 Prueba PPM

- PWM

Amplitud señal (V) = 10

Ancho pulsos = 60

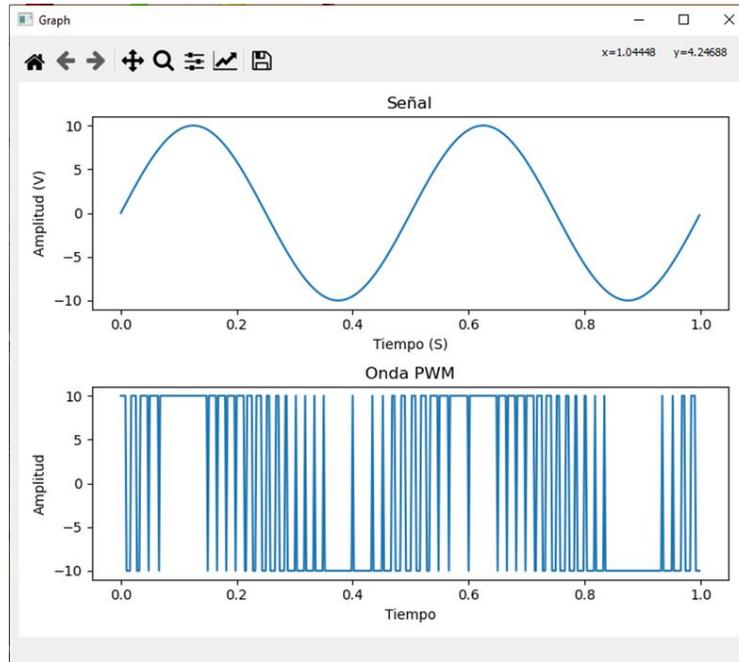


Figura 52 Prueba PWM

- TDM

Frecuencia de muestreo = 10000

Frecuencia señal 1 (Hz) = 100

Frecuencia señal 2 (Hz) = 50

Frecuencia señal 3 (Hz) = 120

Amplitud señal 1 (V) = 1

Amplitud señal 2 (V) = 4

Amplitud señal 3 (V) = 3

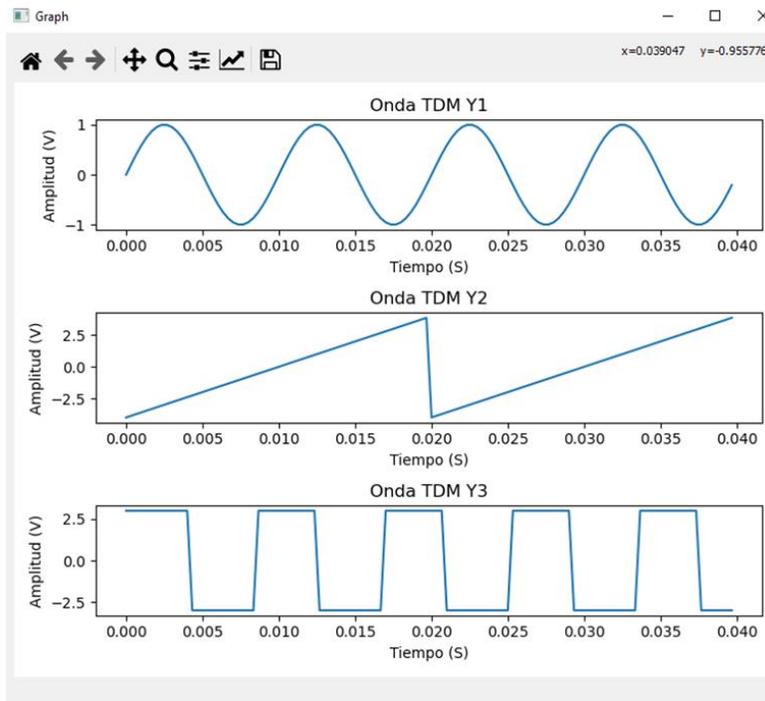


Figura 53 Prueba Generación TDM

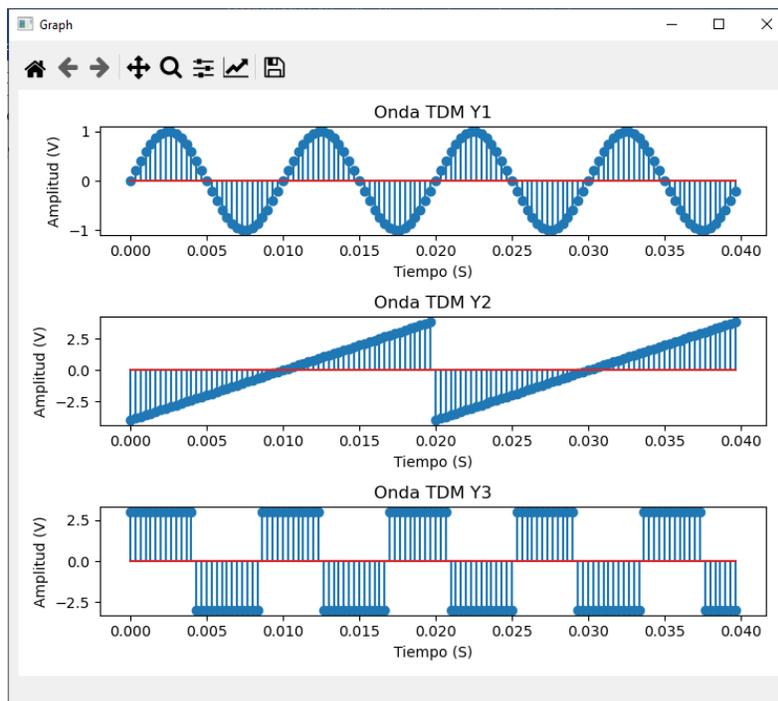


Figura 54 Prueba Muestreo TDM

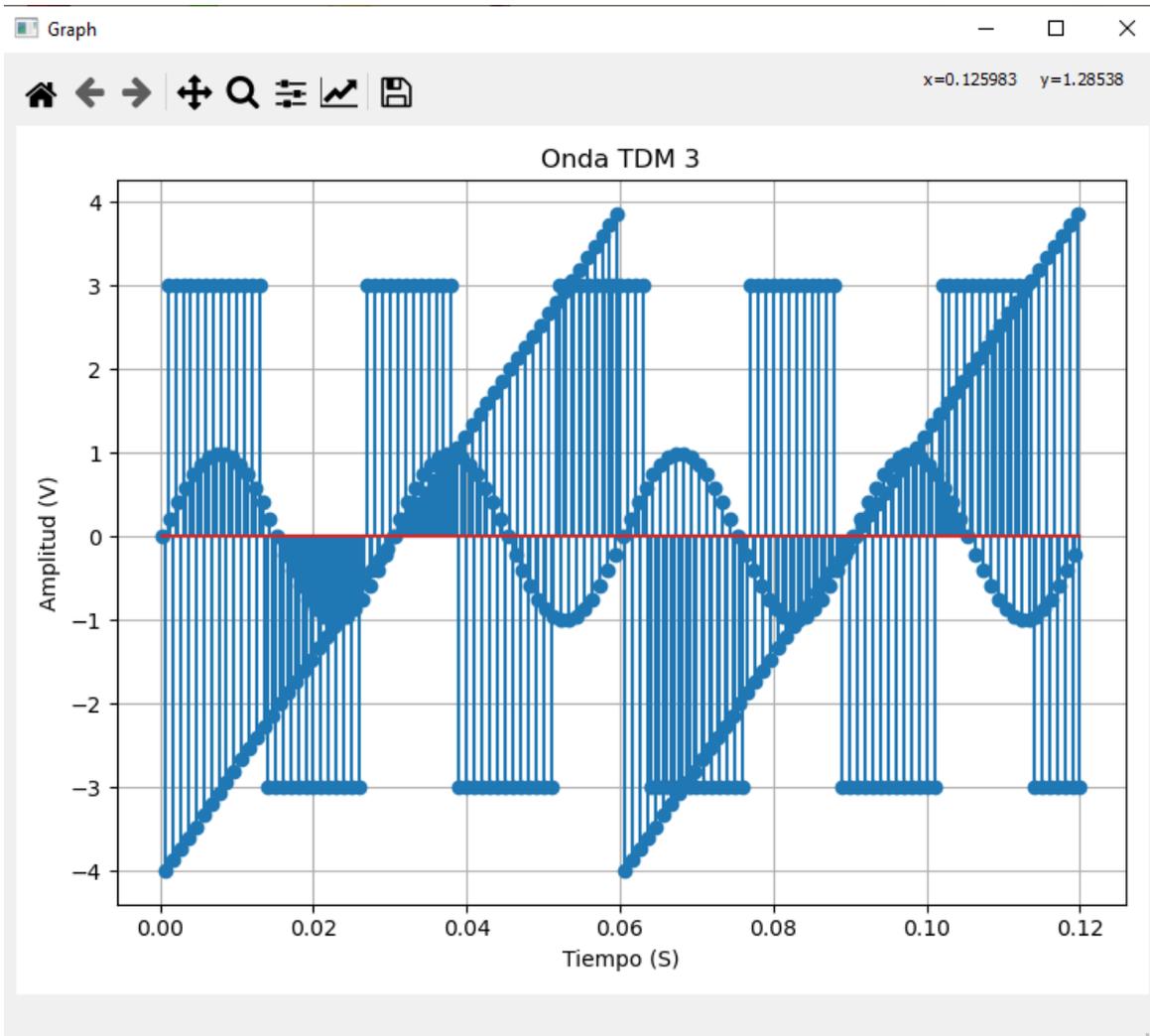


Figura 55 Prueba Multiplexación TDM

12.5 Productos

12.5.1 Productos generados

Se desarrollaron 9 guías modelo con el motiva de que sean consideradas para las prácticas de laboratorio de sistemas de comunicaciones I utilizando la herramienta desarrollada.



**Universidad Francisco
de Paula Santander**
Vigilada Mincolciadit



**Ingeniería
Electrónica**

Laboratorio 1 – INTRODUCCIÓN A LAS TELECOMUNICACIONES

Nombre: _____ Fecha: _____

1. Objetivo

Conocer el uso correcto de las variables Limite de Shannon de capacidad de información, temperatura equivalente de ruido, ruido térmico, voltaje de ruido, relación de potencia de señal a ruido (S/N), cifra de ruido y factor de ruido que afectan o describen los sistemas de comunicación empleando una herramienta computacional de uso libre como "APES" (acrónimo de Aplicación de ayuda al estudiante en sistemas de comunicaciones I) Unidad 1.

2. RA

—

3. Descripción

APES es una herramienta computacional que permite realizar cálculos de los diferentes parámetros de un sistema de comunicaciones análogos y de pulsos de forma rápida y segura. De esta forma facilita los cálculos y economiza tiempo. APES es realizada en Python y la biblioteca gráfica PyQt5 que son software de libre acceso

3.1 Límite de Shannon de capacidad de información

La capacidad de información de un sistema de comunicaciones representa la cantidad de símbolos independientes que pueden transportarse por el sistema en determinada unidad de tiempo [1].

3.2 Conversión de potencia (dBm a W)

El decibelio (dB) permite también expresar la relación entre dos magnitudes de campo, como por ejemplo, tensión, una corriente, una presión acústica, un campo eléctrico, una velocidad o una densidad de carga, cuyo cuadrado es proporcional a una potencia en los sistemas lineales. Los países conservan la facultad de utilizar el decibelio para las mediciones hechas dentro de los límites de su territorio y, para evitar conversiones inútiles. Para el intercambio internacional de informaciones sobre las mediciones de transmisión en línea, los valores conexos y para la

Figura 56 Guía de laboratorio

especificación internacional de los límites de esos valores, la única expresión logarítmica utilizable es el decibelio [2].

3.3 Temperatura equivalente de ruido

Es un valor hipotético que no se puede medir en forma directa. Es un parámetro conveniente que se usa con frecuencia en vez del coeficiente en los radiorreceptores complicados de bajo ruido, de VHF, UHF, microondas y satelitales. Indica la reducción en la relación de señal a ruido que sufre una señal al propagarse a través de un receptor. Mientras menor sea la temperatura equivalente de ruido, la calidad del receptor es mejor [1].

3.4 Ruido térmico

Este ruido se asocia con el movimiento rápido y aleatorio de los electrones dentro de un conductor, producido por la agitación térmica [1].

3.5 Voltaje de ruido

Es un voltaje fluctuante producido por la ausencia de un voltaje externo, el movimiento aleatorio de los electrones da lugar a una corriente que cambia de magnitud y dirección continuamente que, en los extremos del conductor o del elemento de circuito particular [3].

3.6 Relación de potencia de señal a ruido

Es el cociente del valor de la potencia de la señal entre el valor de la potencia del ruido. La relación S/N proporciona una medida de la calidad de una señal en un sistema determinado y depende, tanto del nivel de señal recibida como del ruido total, es decir, la suma del ruido procedente de fuentes externas y el ruido inherente al sistema [3].

3.7 Factor de ruido y cifra de ruido

Son "cifras de mérito" para indicar cuánto se deteriora la relación de señal a ruido cuando una señal pasa por un circuito o una serie de circuitos.

El factor de ruido no es más que un cociente de relaciones de potencia de señal a ruido en la entrada entre la relación de potencia de señal a ruido en la salida.

La cifra de ruido es sólo el factor de ruido expresado en dB, y es un parámetro de uso común para indicar la calidad de un receptor [1].

Figura 57 Guía de laboratorio

4. Trabajo Previo

Resolver las siguientes preguntas.

1. Para qué se usa las siguientes variables:

- Límite de Shannon de capacidad de información
- Decibeles
- Temperatura equivalente de ruido
- Ruido térmico
- Voltaje de ruido
- Relación de potencia de señal a ruido (S/N)
- Cifra de ruido y factor de ruido

2. Modele matemáticamente las ecuaciones las siguientes variables:

- Límite de Shannon de capacidad de información
- Temperatura equivalente de ruido
- Ruido térmico
- Voltaje de ruido
- Relación de potencia de señal a ruido (S/N)
- Cifra de ruido y factor de ruido

3. Mencione otras variables que analizan el comportamiento de un sistema de comunicación.

5. Desarrollo

Para ejecutar APES, debe descomprimir el archivo rar. "APES", luego debe entrar a la carpeta "dist" como se observa en la figura 1.

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
pycache	4/04/2021 7:43 p. m.	Carpeta de archivos	
build	4/04/2021 7:42 p. m.	Carpeta de archivos	
dist	4/04/2021 7:41 p. m.	Carpeta de archivos	
Teoria	2/02/2021 11:32 p. m.	Carpeta de archivos	

Figura 58 Guía de laboratorio

Figura 1. Carpeta MULCAD

Dentro de dicha carpeta se encuentra el ejecutable llamado "MainProyecto" de extensión .exe. Solo debe hacer doble para ejecutar la aplicación como se ve en la figura 2, previamente debe verificar que tengan instaladas las librerías numpy, matplotlib, signal, scipy, math, wave y PyQt5 para el funcionamiento de la aplicación, el resto de archivos se encuentran en la carpeta. En caso de que el archivo.exe no funcione, por favor ejecutar el archivo MainProyecto.py en su IDE de preferencia.

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
MainProyecto	1/01/2021 7:41 p.m.	Aplicación	36.015 KB

Figura 2. Archivo ejecutable APES

Al ejecutarlo se accede al panel principal de APES donde se encuentran los dos módulos que lo componen: Unidad 1 Introducción a los sistemas de comunicaciones, Unidad 2 modulación en amplitud, Unidad 3 modulación angular y Unidad 4 modulación de pulsos como se puede observar en la figura 3. Además, todas las unidades tienen una ventana de teoría sobre las herramientas y complementaria de las unidades



Figura 3. Menú Principal

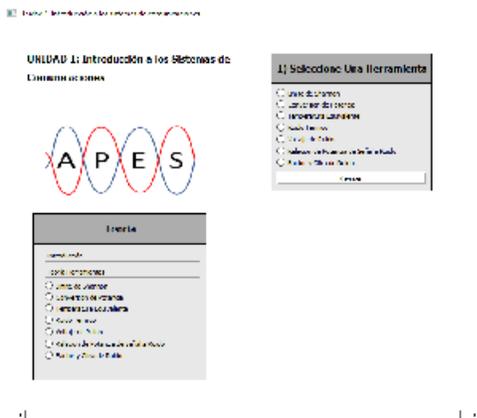


Figura 4. Unidad 1

Figura 60 Guía de laboratorio

En la figura 3 se observa el menú principal de APES. Al dar "click" en el botón "Unidad 1: Introducción a los Sistemas de Comunicaciones" se ingresa a esta unidad (ver figura 4) donde es observado dos ventanas: Teoría y Herramientas.

Por medio de los "radio button" se selecciona un tema de interés para poder acceder a una herramienta de cálculo, por ejemplo, se selecciona la herramienta "Limite de Shannon" como es observado en la figura 5. [4]

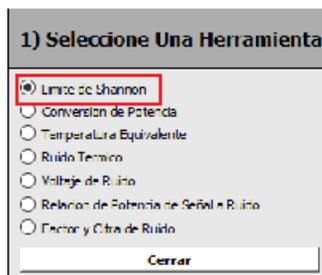


Figura 5. Ventana de selección de herramienta. Para este caso es seleccionado la primera opción "Limite de shannon"

Desarrollo de ejercicios usando el software APES

A continuación serán detallados todas las opciones disponibles en la ventana "1) : Seleccione una herramienta" (ver Figura 5). Además, será presentado el panel frontal de cada una de las opciones disponibles.

1. Límite de Shannon.

Para un canal normal de comunicaciones en banda de voz, con una potencia de entrada de 10 W, una potencia de salida de 0.01W y un ancho de banda de 2.7 kHz, el límite de Shannon de capacidad de información es:

Entonces en el software seleccionamos la herramienta "Limite de Shannon" y llenamos los datos y calculamos como se ve en la figura 6.

Límite de Shannon de capacidad de información

Ancho de banda (Hz)

Potencia de la señal (W)

Potencia del ruido (W)

Resultado

Capacidad de información **26906.412483436262**

Calcular

Límite de Shannon de capacidad de información (ancho de banda requerido)

Capacidad de Información (bps)

Potencia de la señal (W)

Potencia del ruido (W)

Resultado

Ancho de banda **2700.412483436262**

Calcular

Figura 6. Shannon

Podemos observar que la capacidad es de aproximadamente 26,9 kbps.

2. Conversión de potencia

Vamos a convertir una potencia de 10 dBm a Watts, seleccionamos la herramienta correspondiente y llenando los datos como se ve en la figura 7.

Convertir Potencia en dBm a Watts

Potencia (dBm)

Resultado

Potencia **0.01**

Calcular

Figura 7. Conversión

Observamos que 10dBm equivalen a 10 mW.

3. Temperatura equivalente de ruido

Determine la temperatura de ruido para una temperatura ambiente de 290 °k y un factor de ruido de 4. Ahora, seleccionamos la herramienta correspondiente y llenamos los datos como se ve en la figura 8.

Temperatura equivalente de ruido

Temperatura equivalente de ruido Temperatura

Temperatura (°K)

Factor de Ruido (adimensional)

Resultado

Temperatura eq. ruido (°K) **870.0**

Figura 8. Temperatura equivalente de ruido.

4. Potencia de ruido térmico

Vamos a resolver el siguiente ejemplo: para un ancho de banda de 1 Hz a temperatura ambiente ¿Qué potencia de ruido térmico tiene?

Seleccionando la herramienta correspondiente, llenamos los datos y opcionalmente podemos seleccionar el espacio "temperatura ambiente" para que automáticamente agregue el valor de esta como se ve en la figura 9.

Ruido Térmico

Temperatura Ambiente

Constante de Boltzmann $1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

Temperatura (°C)

Ancho de banda (Hz)

Resultado

Potencia de ruido **$1.0038821e-21$**

Potencia de ruido (dBm) **-173.97518719472808**

Figura 9. Potencia de ruido térmico.

Tenemos una potencia de ruido de aproximadamente -174 dBm

5. Voltaje de ruido

Para un dispositivo electrónico que funciona a la temperatura de 17° C, con ancho de banda de 10 kHz, calcular el voltaje rms del ruido, para una resistencia interna de 100 Ω y una resistencia de carga de 100 Ω . Seleccionamos la herramienta correspondiente y llenamos los datos como se ve en la figura 10.

Voltaje del ruido

Tiene la Potencia del ruido

Temperatura (°C)

Ancho de banda (Hz)

Constante de Boltzmann $1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$

Potencia del ruido (W)

Resistencia de carga (Ω)

Resultado:

Voltaje del ruido $1.2655247291143702e-07$

Figura 10. Voltaje de ruido.

Tenemos un voltaje de ruido de $1.265 \times 10^{-7} \text{ V}$ o $0.1265 \mu\text{V}$.

6. Relación de potencia de señal a ruido

Para un amplificador con potencia de señal de salida de 10 W y potencia de ruido de salida de 0.01 W, determinar la relación de potencia de señal a ruido. Seleccionamos la herramienta correspondiente, llenamos los datos y podemos seleccionar como visualizar el resultado en dB o adimensionalmente como se ve en la figura 11.

Relacion de Potencia de Señal a Ruido

Potencia de la señal (W)

Potencia del ruido (W)

Resultado

Relacion (S/N) **100.0 dB**

Figura 11. Relación de potencia de señal a ruido.

Obtenemos una relación de 30 dB o 1000.

7. Factor y cifra de ruido

Para un amplificador no ideal con los siguientes parámetros, calcular:

- Relación S/N en la entrada (dB).
- Relación S/N en la salida (dB).
- Factor de ruido y la cifra de ruido.

Potencia de la señal de entrada = 2×10^{-10} W

Potencia de ruido en la entrada = 2×10^{-18} W

Potencia de la señal de salida = 200×10^{-6} W

Potencia de ruido en la salida = 8×10^{-12} W

Para calcular la relación S/N podemos usar la herramienta que está disponible en la unidad 1 (ver desarrollo de ejercicios, punto 6 "relación de potencia de señal a ruido") y llenamos los espacios como se ve en la figura 12.

Relacion de Potencia de Señal a Ruido		Relacion de Potencia de Señal a Ruido	
Potencia de la señal (W)	<input type="text" value="2e-10"/>	Potencia de la señal (W)	<input type="text" value="200e-6"/>
Potencia del ruido (W)	<input type="text" value="2e-18"/>	Potencia del ruido (W)	<input type="text" value="8e-12"/>
Resultado		Resultado	
Relacion (S/N)	100000000.0	Relacion (S/N)	25000000.0
<input type="button" value="Calcular (dimensional)"/> <input type="button" value="Calcular en dB"/>		<input type="button" value="Calcular (dimensional)"/> <input type="button" value="Calcular en dB"/>	

Figura 65 Guía de laboratorio

Figura 12. Relación de potencia de señal a ruido II.

Obtenemos 100000000 dB para la relación S/N de entrada y aproximadamente 25000000 dB para la relación S/N de salida. Ahora, podemos usar la herramienta de factor de ruido y cifra de ruido, llenamos los datos como se ve en la figura 13.

Factor y Cifra de Ruido	
P_1/P_n en entrada (adimensional)	1e8
P_2/P_n en salida (adimensional)	25e6
Resultado	
Factor de ruido	1.0
Cifra de ruido	6.020599913279624 dB
Calcular	

Figura 13. Factor y cifra de ruido.

Obtenemos un factor de ruido de 4 y una cifra de ruido de 6 dB.

6. Ejercicios propuestos

- 1) a) Un espectro de un canal está ubicado entre 5 MHz y 7 MHz tiene una potencia de señal de 7 W y de ruido de 15 mW ¿Cuánto es su capacidad de información? ¿Cuánto sería su relación S/N?
- b) ¿Cuánto sería la diferencia si la potencia de ruido tuviera las siguientes potencias de ruido: 50 mW, 5 mW, 1mW, 800 μ W, 0,1 dBm y 1 dBm?
- 2) a) ¿Cuánto sería el ancho de banda necesario para un canal con capacidad de información de 50 kbps con una potencia de señal de 20 W y de ruido de 0,2 dBm? ¿Cuánto sería su relación S/N?
- b) Hallar el ancho de banda para 600 kbps, 200 kbps, 120 kbps, 25 kbps y 7 kbps.
- c) Para cada capacidad de información del punto 2b, hallar el ancho de banda para las potencias de ruido del ejercicio 1b.



**Universidad Francisco
de Paula Santander**
Vigilada MinEducación



**Ingeniería
Electrónica**

3) Para los anchos de banda de los ejercicios 1, 2a y 2b hallar su ruido térmico para las siguientes temperaturas: 10 °C, temperatura ambiente y 28 ° C.

b) Hallar el voltaje de ruido con las potencias de ruido del punto 1a y 1b, además con resistencias de 10 Ω , 65 Ω y 100 Ω .

4) Para un amplificador no ideal tiene los siguientes parámetros:

Potencia de la señal de entrada: 1200 mW

Potencia de la señal de salida: 500 mW

Potencia del ruido de entrada: 8 μ W

Potencia del ruido de salida: 16 μ W

Hallar factor de ruido y cifra de ruido

b) Modificar la potencia del ruido de salida con los valores de 1) b

7. Bibliografía

[1] W. Tomasi, *Sistemas de comunicaciones opticas*. 2003.

[2] ITU, "Uso del decibelio y del neperio en telecomunicaciones," vol. 5, p. 14, 2016.

[3] Pérez Vega Constantino, "Capítulo 8 Ruido," pp. 3-4,8, 2021.

[4] G. D. Bueno Adrián, Puerto Karla, García Lully, "Manual Apes." p. 32, 2021.

Figura 67 Guía de laboratorio

12.5.2 Divulgaciones

- Primera ponencia: VII International week of science technology and innovation. Esta ponencia es enfocada en la metodología



Figura 68 Certificado VII International week of science technology and innovation

- Segunda ponencia: VI Encuentro Regional de Semilleros de Investigación, se enfocó en la metodología de la interfaz.



Figura 69 Certificado VI Encuentro Regional de Semilleros de Investigación

- Tercera Ponencia: ENSI (Encuentro Local de Semilleros de investigación) 2020. En este evento se compartió la metodología de la interfaz.



Figura 70 Certificado Encuentro Local de Semilleros de investigación

- Registro de Software: Certificado de registro de soporte lógico, donde se cumplieron con los requisitos, exigencias y criterios para obtener el certificado.

 MINISTERIO DEL INTERIOR DIRECCION NACIONAL DE DERECHO DE AUTOR UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL OFICINA DE REGISTRO CERTIFICADO DE REGISTRO DE SOPORTE LOGICO		Libro - Tomo - Partida 13-85-449 Fecha de registro 12-ago.-2021
1. DATOS DE LAS PERSONAS Page 1 of 2		
AUTOR		
Nombres y apellidos	DINAEL GUEVARA IBARRA	No de identificación CC 13487364
Nacional de	COLOMBIA	
Dirección	CALLE SAN #4A-29 EL BOSQUE	Ciudad CÚCUTA
AUTOR		
Nombres y apellidos	KARLA CECILIA PUERTO LOPEZ	No de identificación CC 37283128
Nacional de	COLOMBIA	
Dirección	MZ. 2 CASA 28 CONJUNTO CERRADO VEGAS DEL RIO	Ciudad CÚCUTA
AUTOR		
Nombres y apellidos	LILLY ALEJANDRO GARCÍA ORTIZ	No de identificación CC 1090488389
Nacional de	COLOMBIA	
Dirección	AV 22 # 21-20 BARRIO GAITAN	Ciudad CÚCUTA
AUTOR		
Nombres y apellidos	ADRIAN JOSE BUENO PRADILLA	No de identificación CC 1080508708
Nacional de	COLOMBIA	
Dirección	CALLE 21N #168E-89 NEZA	Ciudad CÚCUTA
TITULAR DERECHO PATRIMONIAL		
Razón social	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER	No de identificación NIT 8905006228
		Ciudad BOGOTÁ D.C.
PRODUCTOR		
Razón social	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER	No de identificación NIT 890500622-8
		Ciudad CÚCUTA
2. DATOS DE LA OBRA		
Título original: APLICACIÓN DE AYUDA AL ESTUDIANTE EN SISTEMAS DE COMUNICACIONES I, APES		
Fecha de creación: 2021		
País de origen: COLOMBIA		
CLASE DE OBRA	INEDITA	
CARACTER DE LA OBRA	OBRA ORIGINARIA	
CARACTER DE LA OBRA	OBRA EN COLABORACION	
ELEMENTOS APORTADOS DE SOPORTE LOGICO	PROGRAMA DE COMPUTADOR	
ELEMENTOS APORTADOS DE SOPORTE LOGICO	DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA	
ELEMENTOS APORTADOS DE SOPORTE LOGICO	MATERIAL AUXILIAR	
TÍTULO ANTERIOR DE LA OBRA		

Figura 72 Certificado registro de software

	MINISTERIO DEL INTERIOR DIRECCION NACIONAL DE DERECHO DE AUTOR UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL OFICINA DE REGISTRO CERTIFICADO DE REGISTRO DE SOPORTE LOGICO	Libro - Tomo - Partida 13-85-449 Fecha de registro 12-ago.-2021
	Page 2 of 2	
3. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA ESTE SOFTWARE SIMULA Y CALCULA LAS FORMAS DE ONDA PARA LA MODULACIÓN Y ANÁLISIS DE FRECUENCIA PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE MODULACIONES COMO AM DSB-FC, AM DSB-SC, AM SSB-FC, AM SSB-SC, AM VSB, FM, PM, PWM, PAM Y PPM Y DEMODULACIONES EN AM. LA MULTIPLEXACIÓN TDM Y SE PUEDEN CALCULAR VARIABLES QUE AFECTAN A UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN COMO CAPACIDAD DE INFORMACIÓN, RELACIÓN DE POTENCIA A RUIDO, TEMPERATURA EQUIVALENTE DE RUIDO, RUIDO TÉRMICO, CIFRA Y FACTOR DE RUIDO.		
4. OBSERVACIONES GENERALES DE LA OBRA POR ACTA # 3086 DE FECHA 19 DE JULIO DE 2022, SE MODIFICA EL PRESENTE REGISTRO, EN EL SENTIDO DE: ARTICULO PRIMERO: MODIFICAR EL REGISTRO DE LA OBRA DE SOPORTE LÓGICO TITULADA "APLICACIÓN DE AYUDA AL ESTUDIANTE EN SISTEMAS DE COMUNICACIONES I, APES", INSCRITA EN EL LIBRO 13 TOMO 85, PARTIDA 449 DE FECHA 12 DE AGOSTO DE 2021, EN EL SENTIDO DE: MODIFICAR EL NÚMERO DEL DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN DEL SEÑOR LULLY ALEJANDRO GARCIA ORTIZ, INDICANDO: 1.366.488.369.		
5. DATOS DEL SOLICITANTE		
Nombres y apellidos JHAN PIERO ROJAS SUAREZ	No de identificación 85244852	
Nacional de COLOMBIA	En representación de UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER	
Dirección AV. GRAN COLOMBIA N° 12E-86 COLSAG	Teléfono 579665 EXT 170	Ciudad CÓCUIA
Correo electrónico ADW@INVESTIGACION@UISP.ER.UCO	Radicación de entrada 1-2021-44768	
 JULIAN DAVID BATIGA IBÁÑEZ JEFE OFICINA DE REGISTRO (E)		
<small>Nota: El derecho de autor protege exclusivamente la forma mediante la cual las ideas del autor son descollas, explicadas, ilustradas o incorporadas a las obras. No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias y artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas, ni su aprovechamiento industrial o comercial (artículo 7o. de la Decisión 351 de 1993).</small>		

Figura 73 Certificado registro de software

13. Conclusiones

La herramienta computacional hace posible la adquisición de conocimientos teórico – prácticos en los sistemas de comunicación, modulación análoga y de pulsos y la multiplexación TDM, así permitiendo progresar y dedicar más horas de estudios en temas donde se necesiten en el área de las comunicaciones análogas e introducción a los sistemas de comunicación.

La implementación de un lenguaje de desarrollo de software libre como Python y el uso de librerías que son ampliamente utilizadas, concebidas y apoyadas por la comunidad global científica e investigadora, posibilita la personalización, conveniencia y estructura de la herramienta computacional en criterios y requerimientos futuros.

Se obtuvo una herramienta computacional fiable y precisa para el desarrollo de diversas actividades de cálculo en modulaciones análogas y sistemas de comunicación, generación de graficas en estas modulaciones y consultar teoría relacionada acerca del tema bajo estudio para los estudiantes que cursen la asignatura “Sistemas de comunicaciones I” de la carrera ingeniería electrónica de la universidad Francisco de Paula Santander.

Actualmente hay diversos avances en la aplicación de herramientas computacionales para la educación y aprendizaje de diversos temas, no obstante, varias de ellas tienen un enfoque en incentivar el grado de aprendizaje y como podría impactar en el rendimiento académico de los estudiantes, en este proyecto también se basó en la creación de una herramienta que funcione como asistente para los estudiantes con fácil acceso en comparación de usar las prácticas físicas

que conllevan un proceso con mayor grado de inversión en ámbito de infraestructura y personal capacitado.

14. Recomendaciones y trabajo futuro

La herramienta computacional fue diseñada para el aprendizaje práctico en introducción a los sistemas de comunicación, modulación en amplitud, angular y de pulsos, sin embargo, no se consideraron circuitos y potencias en las modulaciones y mejorar la personalización en los procedimientos que podrían añadirse para la expansión de la herramienta.

Las pruebas con la aplicación APES se hicieron con una computadora Lenovo Thinkpad T440P con las siguientes características técnicas: procesador Intel Core i5 con dos núcleos de procesamiento con una frecuencia máxima de operación 3,3 GHz, 4 Gb de memoria RAM y en sistema operativo Windows 10 de 32 bits.

Ya que el lenguaje de programación usado fue Python, es posible su aplicación en programación web y así aumentando el alcance y la oportunidad aprendizaje.

15. Referencias

- [1] F. D’Almeida y D. Margot, «La Evolución de las Telecomunicaciones Móviles en América Latina y el Caribe», p. 54.
- [2] C. L. Valderrama, «MINISTERIO DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES REPÚBLICA DE COLOMBIA», 2021.
- [3] Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia, «AGENDA DE INVERSIONES 2022 FONDO ÚNICO DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES». MinTIC, 2021.
- [4] Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), «Cuenta Satélite de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (CSTIC) 2020». DANE, 2021.
- [5] R. M. (Stallman y L. (Lessig, *Software libre para una sociedad libre*, 2ª ed. Madrid: Traficantes de Sueños, 2007.
- [6] J. Alverde Chavarría, «Software libre, alternativa tecnológica para la educación», *Actual. Investig. En Educ.*, vol. 5, n.º 2, mar. 2011, doi: 10.15517/aie.v5i2.9150.
- [7] Klein, Bernd, *Python Tutorial*. Bodenseo, 2021.
- [8] I. D. Buitrago Carmona, J. Castaño, y S. Giraldo, «Herramienta didáctica con Python para el aprendizaje de la lógica proposicional: LogicalPy», *Ing. USBMed*, vol. 10, n.º 1, pp. 53-57, mar. 2019, doi: 10.21500/20275846.3877.
- [9] Pineda, Carlos, *Aprendizaje automático y profundo en Python*, 1a ed. Bogotá: Ediciones de la U, 2021.

- [10] R. Morelli *et al.*, «Revitalizing computing education through free and open source software for humanity», *Commun. ACM*, vol. 52, n.º 8, pp. 67-75, ago. 2009, doi: 10.1145/1536616.1536635.
- [11] M. Mernik y V. Zumer, «An educational tool for teaching compiler construction», *IEEE Trans. Educ.*, vol. 46, n.º 1, pp. 61-68, feb. 2003, doi: 10.1109/TE.2002.808277.
- [12] W. Tomasi, *Sistemas de comunicaciones electrónicas*, 4a ed. México: Pearson Educación, 2010.
- [13] G. Peiming *et al.*, «A PyQt5-based GUI For Operational Verification Of Wave Forecasting System», en *2020 International Conference on Information Science, Parallel and Distributed Systems (ISPDS)*, Xi'an, China: IEEE, ago. 2020, pp. 204-211. doi: 10.1109/ISPDS51347.2020.00049.
- [14] G. van Rossum y F. L. Drake, *An introduction to Python*, 2. print. Bristol: Network Theory Limited, 2006.
- [15] Python, «Python», <https://www.python.org/>, 2022.
- [16] S. Abd Halim *et al.*, «Quality prediction and classification of resistance spot weld using artificial neural network with open-sourced, self-executable and GUI-based application tool Q-Check», *Sci. Rep.*, vol. 13, n.º 1, p. 3013, feb. 2023, doi: 10.1038/s41598-023-29906-0.
- [17] Spyder, «Spyder», <https://www.spyder-ide.org/>, 2023.
- [18] S. Tosi, *Matplotlib for python developers: build remarkable publication quality plots the easy way*. en *From technologies to solutions*. Birmingham: Packt Publ, 2009.
- [19] Matplotlib, «Matplotlib». 2022. [En línea]. Disponible en: <https://matplotlib.org/>
- [20] S. S. Haykin y G. Nagore Cázares, *Sistemas de comunicación*. México, D.F.: Limusa : Noriega, 2001.

- [21] Congreso de la República, *LEY 1341 DE 2009*.
- [22] C.-V. Nastase, A. Martian, C. Vladeanu, y I. Marghescu, «Spectrum Sensing Based on Energy Detection Algorithms Using GNU Radio and USRP for Cognitive Radio».
- [23] O. R. B. Sayco y A. C. Gordillo, «Design and Implementation for a USRP – Based Visible Light Communications Transceiver», en *2019 UNSA International Symposium on Communications (UNSA ISCOMM)*, Arequipa, Peru: IEEE, mar. 2019, pp. 1-5. doi: 10.1109/UNSAISC.2019.8712826.
- [24] Universidad del Cauca, J. E. Plazas, J. S. Rojas, Universidad del Cauca, J. C. Corrales, y Universidad del Cauca, «Improving Rural Early Warning Systems through the Integration of OpenBTS and jain slee», *Rev. Ing. Univ. Medellín*, vol. 16, n.º 30, pp. 195-207, 2017, doi: 10.22395/rium.v16n30a10.
- [25] J. Colorado *et al.*, «An integrated aerial system for landmine detection: SDR-based Ground Penetrating Radar onboard an autonomous drone», *Adv. Robot.*, vol. 31, n.º 15, pp. 791-808, ago. 2017, doi: 10.1080/01691864.2017.1351393.
- [26] R. M. Romero y G. A. P. González, «CLASIFICACIÓN DE SEÑALES ELECTRO-OCULOGRÁFICAS PARA EL CONTROL DE UNA PINZA MECÁNICA USANDO MÁQUINAS DE SOPORTE VECTORIAL Y LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN PYTHON.».
- [27] C. L. Corzo Ruiz y D. A. Velazco Capacho, «CONTROL AUTOMÁTICO DE MICROCLIMA EN INVERNADERO PARA SECADO EFICIENTE DE GRANOS DE CACAO», *Rev. Colomb. Tecnol. Av. RCTA*, vol. 2, n.º 32, nov. 2018, doi: 10.24054/16927257.v32.n32.2018.3033.
- [28] A. Cuevas Álvarez, *Aplicaciones gráficas con Python 3*. Madrid: Ra-Ma, 2018.

- [29] C. R. Harris *et al.*, «Array programming with NumPy», *Nature*, vol. 585, n.º 7825, pp. 357-362, sep. 2020, doi: 10.1038/s41586-020-2649-2.
- [30] J. Willman, *Modern PyQt: Create GUI Applications for Project Management, Computer Vision, and Data Analysis*. Berkeley, CA: Apress, 2021. doi: 10.1007/978-1-4842-6603-8.
- [31] G. Schuller, *Filter Banks and Audio Coding: Compressing Audio Signals Using Python*. Cham: Springer International Publishing, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-51249-1.

16. Anexos

Anexo 1: Diagrama de flujo

