



PROPUESTA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO CON SOFTWARE DE VIRTUALIZACIÓN DE RADIO PARA LA  
INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA POLITÉCNICO GRANCOLOMBIANO

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS PARA GRADO DE PREGADO  
EN INGENIERIA DE TELECOMUNICACIONES EN LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA POLITÉCNICO  
GRANCOLOMBIANO

HENRY DAVID JUEZ SUAREZ

JUNIO 2020



PROPUESTA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO CON SOFTWARE DE VIRTUALIZACIÓN DE RADIO PARA LA  
INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA POLITÉCNICO GRANCOLOMBIANO

ESTUDIANTE:

HENRY DAVID JUEZ SUAREZ

DIRECTOR: GABRIEL EDUARDO ÁVILA BUITRAGO

INSTITUCION UNIVERSITARIA POLITÉCNICO GRANCOLOMBIANO

FACULTAD DE INGENIERÍA, DISEÑO E INNOVACIÓN

ESCUELA DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES

BOGOTÁ

2020

Certifico que he leído este proyecto de grado y que, en mi sentir, es completamente adecuado en alcance y calidad como proyecto para el grado de ingeniero de telecomunicaciones.

---

## DEDICATORIA

*Dedico este proyecto de grado a Dios, a mi familia, y a mis amigos, porque en ellos siempre encuentro apoyo incondicional, comprensión y fuerza para continuar y nunca rendirme.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por permitirme haber cumplido a cabalidad los requisitos de la carrera, por darme la fortaleza para continuar y ser cada día una mejor persona y un ingeniero más completo.

A mis padres por acompañarme durante este camino, por ser mi motor para cada día querer con más fuerzas ser profesional, por formar en mí a una persona llena de valores, principios y siempre creer en mí.

A los profesores Gabriel Ávila, Ricardo González, Ricardo Gómez y Franck Munar, por orientarme en este proyecto y ser mi guía para la ejecución de cada uno de los pasos propuestos.

## **RESUMEN**

En el presente documento se desarrolla un protocolo de prácticas con software de simulación para la Facultad de ingeniería, diseño e innovación enfocando los esfuerzos hacia el programa de Ingeniería en Telecomunicaciones. En el documento y sus anexos se detalla las características del software GNU Radio, para así mismo comprender su funcionamiento y dar una guía de cómo utilizar el software, y con esto enriquecer el conocimiento de los que son próximos a obtener su título en el área de Ingeniería en Telecomunicaciones. Posteriormente se detalla el proceso que se siguió para la definición de tres prácticas, implementación y pruebas con estudiantes de la facultad y los procesos de divulgación del software.

El propósito de este documento es que estas prácticas sirvan de base para nuevas actividades en los laboratorios, además de su integración con radios definidos por software, con el fin de apoyar tanto a maestros como estudiantes en el componente práctico de las asignaturas del área de Telecomunicaciones del programa de Ingeniería en Telecomunicaciones.

## Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN.....	14
GENERALIDADES .....	15
2.1 Antecedentes.....	15
2.2 Planteamiento del problema.....	15
2.3 Objetivos.....	16
2.3.1 Objetivo General.....	16
2.3.2 Objetivos Específicos.....	16
2.4 Justificación.....	17
2.5 Delimitación.....	18
2.5.1 Tiempo.....	18
2.5.2 Alcance.....	19
MARCO TEÓRICO .....	20
3.1 Sistemas de comunicación.....	20
3.2 Modulación .....	20
3.2.1. Modulación análoga.....	20
3.2.2 Modulación digital .....	23
3.2.3 Señal banda base .....	26
3.3 Radio definido por software .....	26
3.3.1 USRP (Universal Software Radio Peripheral) .....	27
3.3.2 KUAR .....	28
3.3.3 WARP (Wireless Open Access Research Platform) .....	29
3.4 Software de virtualización de radio .....	29
3.4.1 GNU Radio.....	29
3.4.2 MATLAB – Simulink .....	30
3.4.3 LabVIEW .....	30
3.4.4 Octave .....	30
3.5 Teorías de aprendizaje.....	31
3.5.1 Pirámide de aprendizaje .....	32

3.5.2 Taxonomía de Bloom .....	34
Habilidades del pensamiento.....	35
3.6 Proyecto Educativo Institucional (PEI) y su relación con el aprendizaje.....	36
DESARROLLO DEL PROYECTO.....	38
4.1 Fase de levantamiento de información e investigación .....	38
4.1.1 Revisión preliminar .....	38
4.1.2 Investigación .....	39
4.2 Fase de diseño.....	41
4.3 Fase de implementación y recolección de percepciones .....	47
4.4 Fase de corrección y ajustes finales .....	53
RESULTADOS .....	55
CONCLUSIONES.....	56
6.3 Conclusiones Generales .....	56
TRABAJO FUTURO .....	57
REFERENCIAS.....	58
ANEXOS .....	61
9.1 Encuesta a profesores.....	61
9.2 Entrevista grupal a estudiantes (Vía telefónica) .....	65
9.3 Práctica de laboratorio 1: Introducción a GNU Radio.....	66
9.4 Práctica de laboratorio 2: Filtros digitales .....	73
9.5 Práctica de laboratorio 3: Modulación digital QPSK.....	77
9.6 Guía de preparación entorno de trabajo .....	82
9.7 Encuesta de satisfacción prácticas .....	87



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modulación AM, Fuente: Wikimedia, Creative Commons.(2012) .....	21
Figura 2: Modulación FM, Fuente: Wikimedia, Creative Commons.(2012).....	22
Figura 3: Modulación PM, Fuente: Wikimedia, Creative Commons.(2012) .....	23
Figura 4: Modulación ASK, Fuente: Wikimedia, Creative Commons.(2012).....	24
Figura 5: Modulación PSK, Fuente: Wikimedia, Creative Commons.(2012) .....	24
Figura 6: Modulación FSK, Fuente: Wikimedia, Creative Commons.(2012) .....	25
Figura 7: Cuadratura AM – QAM, Fuente: Wikimedia, Creative Commons.(2012) .....	26
Figura 8: Arquitectura general de SDR, Fuente: Wikimedia, Creative Commons.(2012) .....	27
Figura 9: Arquitectura USPR, Fuente: Ettus Research (2020) .....	28
Figura 10: Arquitectura KUAR, Fuente: Research Gate (2020) .....	28
Figura 11: Arquitectura WARP, Fuente: WARP Project (2020) .....	29
Figura 12: Teorías del aprendizaje, Fuente: Shunk D.(2010) .....	32
Figura 13: Cono de Dale, Fuente: Lorin W. & Anderson (2001).....	33
Figura 14: Pirámide de Dale, Fuente: Psicología Online (2014).....	33
Figura 15: Diferencia entre Taxonomía de 1956 y 2001, Fuente: Psicología Online (2014).....	34
Figura 16: Taxonomía de Bloom y modelo SAMR, Fuente: Psicología Online (2014).....	35
Figura 17: Orden en habilidades de pensamiento, Fuente: Psicología Online (2014).....	36
Figura 18 Comparativo entre diferentes aplicaciones con capacidades para la virtualización de radio, realización propia.....	40
Figura 19: Diagrama de bloques práctica 1, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020) .....	44
Figura 20: Diagrama de bloques práctica 2, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020) .....	44
Figura 21: Transformada rápida de Fourier con GNU Radio, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020) .....	45
Figura 22: Controles de simulación, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020) .....	46
Figura 23: Diagrama de bloques QPSK, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020) .....	46
Figura 24: Diagrama IQ, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020) .....	47
Figura 25: Presentación Semana TIC, Fuente: Juez H. (2020).....	48
Figura 26: Agenda de presentación, Fuente: Juez H. (2020) .....	48
Figura 27: Gráfico de barras pregunta 2, Fuente: Juez H, (2020) .....	49
Figura 28: Gráfico de barras pregunta 3, Fuente: Juez H, (2020) .....	50
Figura 29: Gráfico de barras pregunta 4, Fuente: Juez H, (2020) .....	50
Figura 30: Gráfico de barras pregunta 5, Fuente: Juez H, (2020) .....	50

Figura 31: Prácticas en clase, Fuente: Juez H. (2020) .....	51
Figura 28: Práctica 1, Fuente: Juez H. (2020).....	52
Figura 34: Estadísticas generales encuesta de satisfacción, Fuente: Juez H, (2020) .....	52
Figura 29: Portada y contenido del libro de prácticas con SDR, Fuente: Juez H. (2020) .....	53

## LISTA DE ANEXOS

9.1 Encuesta a profesores .....	6
9.2 Entrevista grupal a estudiantes (Vía telefónica) .....	70
9.3 Práctica de laboratorio 1: Introducción a GNU Radio.....	71
9.4 Práctica de laboratorio 2: Filtros digitales .....	8
9.5 Práctica de laboratorio 3: Modulación digital QPSK .....	82
9.6 Guía de preparación entorno de trabajo .....	
9.7 Encuesta de satisfacción prácticas.....	

## GLOSARIO

**Alámbrico:** Que usa hilos o cables para recibir y enviar mensajes.

**Antena:** Dispositivo que usado para enviar y recibir ondas radioeléctricas.

**C++:** Lenguaje de programación, el cual es una extensión del lenguaje C, su diferencia es que tiene mecanismos que permiten la manipulación de objetos.

**Hardware:** Soporte físico de un sistema informático.

**Inalámbrico:** Que no usa hilos o cables para recibir y enviar mensajes.

**Laboratorio:** Espacio que se dota de utensilios adecuados para la realización de experimentos científicos y análisis.

**Máquina virtual:** Software que simula un sistema informático con el fin de ejecutar programas como una computadora real.

**Programación:** Proceso por el cual se manipula el código fuente de programas computacionales, tiene como objetivo crear software.

**Python:** Lenguaje de programación interpretado del cual resalta la fácil legibilidad de su código.

**Radiofrecuencia:** es la porción menos energética del espectro electromagnético, usada para medios de comunicación.

**Radio:** Elemento que nos permite trabajar con el espectro electromagnético por medio de señales.

**Radiocomunicación:** Forma de telecomunicación que se realiza a través de ondas de radio.

**Recepción:** Proceso inverso al de transmisión.

**Software:** Soporte lógico de un sistema informático.

**Sistema operativo:** Software principal de un sistema, el cual gestiona los recursos de hardware para la ejecución de servicios y aplicaciones.

**Simulación:** Proceso de diseñar un modelo de un sistema real, con la finalidad de comprender el comportamiento de este.

**Transmisión:** Proceso de propagación de una señal de información en un medio.

## ACRÓNIMOS

**AM:** Amplitude Modulated

**ASK:** Amplitude Shift Keying

**FFT:** Fast Fourier Transform

**FM:** Frequency Modulated

**FSK:** Frequency Shift Keying

**GNU:** GNU's Not Unix – Sistema operativo basado en Unix, pero de licencia libre

**PSK:** Phase Shift Keying

**PEI:** Proyecto Educativo Institucional

**QAM:** Quadrature Amplitude Modulation

**QPSK:** Quadrature Phase Shift Keying

**RF:** Radio Frequency

**RX:** Reception

**SDR:** Software Defined Radio

**TIC:** Tecnologías de la información y la comunicación

**TX:** Transmission

**USRP:** Universal Software Radio Peripheral

**VM:** Virtual Machine

## INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones han evolucionado enormemente, desde sus inicios con transmisiones alámbricas de pulsos (telégrafo) y continuando con la transmisión inalámbrica de datos gracias al descubrimiento de James C. Maxwell de las ondas electromagnéticas [1]. Posteriormente se dio la adaptación de varias patentes que hicieron posible el desarrollo el primer telégrafo inalámbrico, mecanismo que permitió irradiar a una distancia de 2.400 metros en su primera versión desarrollada por Guillermo Marconi. A partir de este momento, se ha buscado mejorar la calidad y capacidad de la información transmitida mediante bloques de modificación de la señal, que permitieron optimizar el ancho de banda de transmisión. Hoy en día las comunicaciones inalámbricas se han convertido en parte importante de la vida cotidiana, por medio de comunicaciones satelitales, acceso a la red de internet por WIFI, comunicaciones móviles, entre otras aplicaciones [2].

La transmisión de información está ligada a las características del emisor, que le permiten trabajar en una banda específica de frecuencia y explotar las aplicaciones que se desarrollan sobre las frecuencias del rango especificado; en la actualidad los Radios Definidos por Software (SDR por sus siglas en inglés) permiten modificar a nivel de programación de software las características de las bandas de transmisión de los dispositivos y así mismo diversificar las aplicaciones que se encuentran repartidas sobre las bandas de frecuencia del espectro. Este procesamiento de señal debe ser versátil dependiendo de los requerimientos del sistema, lo cual se logra a partir de la llamada virtualización de los elementos.

Siguiendo con las tendencias en el sector, los estudiantes del programa de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano deberán adquirir competencias en estas tecnologías, que permitan la innovación y desarrollo en el sector.

El presente proyecto de grado se enfoca en el tema de virtualización. Por tal razón se realizó una investigación sobre el estado actual de los laboratorios de telecomunicaciones, y se indagó sobre la percepción en este tema en docentes y estudiantes del programa, evidenciando la necesidad de prácticas con software y dispositivos de este tipo. Otro enfoque que se tomó fue el de capacitar a los estudiantes mediante una introducción a este tipo de software y sus características, para posteriormente desarrollar prácticas con los SDR. Adicionalmente, se hicieron actividades de divulgación de herramientas de software de Telecomunicaciones para la implementación y simulación de sistemas de comunicaciones, con el fin de que los estudiantes pudieran apropiarse algunos de los conocimientos adquiridos en las clases teóricas.

## GENERALIDADES

### 2.1 Antecedentes.

La Institución Universitaria Politécnico Gracolombiano se ha caracterizado por su sentido de innovación e integración de tecnologías al aprendizaje, desde sus inicios ofreciendo carreras tecnológicas que posibilitaran un rápido acceso al empleo [3]. Posteriormente obtuvo el reconocimiento de Institución universitaria, acompañado de la reestructuración de programas existentes y la creación de los programas de posgrado. En el 2006 se enfocó en generar y fortalecer programas de educación virtual acorde a las necesidades que se han venido dando a través de los tiempos. La universidad se caracteriza por fomentar el trabajo en equipo y enfocar la educación hacia los resultados, además de integrar las tecnologías de la información y las comunicaciones en el proceso de aprendizaje de los estudiantes, para así mismo tener una educación de calidad y mejorar continuamente con ayuda de las diferentes herramientas tecnológicas disponibles [3].

El programa de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Institución Universitaria Politécnico Gracolombiano busca formar competencias en las áreas de gestión de proyectos de servicios e infraestructura de telecomunicaciones y seguridad de la información, con el fin de optimizar los recursos que generen crecimiento, desarrollo sostenible y bienestar. Para apoyar en el cumplimiento de este objetivo, la universidad cuenta con un laboratorio de electrónica y telecomunicaciones, en el cual se llevan a cabo diversas prácticas de materias como medios de transmisión, fundamentos de telecomunicaciones, señales y sistemas, circuitos, entre otros.

Como parte de la mejora continua del programa, se han realizado adquisiciones de equipos de última tecnología, incluyendo radios definidos por software para el área de telecomunicaciones. Pensando en el desarrollo de prácticas de laboratorio con estos elementos, en su momento se realizó una investigación y se comenzó a construir un libro en donde se detallan prácticas de laboratorio con SDR y software de virtualización de radio [4].

### 2.2 Planteamiento del problema.

Los Radios Definidos por Software, son sistemas de radiocomunicaciones en donde la mayoría de sus componentes, como lo son los moduladores, demoduladores, mezcladores y filtros, son implementados sobre el software, ya sea de un equipo de cómputo u otro dispositivo de procesamiento o

almacenamiento [5]. Estos dispositivos facilitan la desaparición de las barreras de los sistemas de radiocomunicación tradicionales, pues permiten crear transmisión o recepción de cualquier tipo de señal por medio de funciones programadas en software. Además, es posible cambiar la arquitectura y funcionalidad de un sistema sin necesidad de cambiar el hardware ya existente [6].

El programa de Ingeniería en Telecomunicaciones del Politécnico Grancolombiano cuenta con SDR, pero las prácticas en el laboratorio con estos dispositivos son limitadas. Existe un desconocimiento en algunos estudiantes y docentes de la existencia de los equipos o de sus protocolos de uso en los laboratorios, así como tampoco se cuenta con guías de laboratorio estandarizadas para ciertas asignaturas. Por otro lado, algunas de las asignaturas que podrían hacer prácticas con los dispositivos mencionados no tienen acceso al laboratorio, limitando el aspecto práctico para el aprendizaje.

Finalmente, es importante considerar que, para el desarrollo de las prácticas, algunos dispositivos, particularmente los SDR, requieren de un software instalado en un equipo de cómputo. Lo anterior genera que en ocasiones algunas temáticas se estudien de forma más teórica que práctica, afectando los procesos de aprendizaje de los estudiantes.

## **2.3 Objetivos.**

### **2.3.1 Objetivo General.**

Diseñar una propuesta de prácticas de laboratorio utilizando tecnologías de virtualización de radio, aplicadas al programa de Ingeniería en Telecomunicaciones para la Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano.

### **2.3.2 Objetivos Específicos.**

- Identificar las características funcionales y requerimientos para el uso de los SDR disponibles en el laboratorio de electrónica.
- Establecer un entorno de trabajo que permita hacer uso de las funcionalidades de las SDR.
- Diseñar un conjunto de prácticas de laboratorio basadas en el entorno establecido, apropiadas para el programa de Ingeniería en Telecomunicaciones.
- Difundir el uso del software de virtualización de radio y de las SDR como herramientas de trabajo en el ámbito académico del Politécnico Grancolombiano.



- Validar la utilidad de las guías desarrolladas en ejercicios prácticos de asignaturas de Ingeniería en Telecomunicaciones.

## **2.4 Justificación.**

En términos generales, la práctica es fundamental para el desarrollo del conocimiento. De acuerdo con lo planteado en la taxonomía de Bloom, que incluye niveles de dominio de tipo psicomotor, el aprendizaje no es completo si no se tiene un componente tanto teórico como práctico [7]. Propiamente en el área de las telecomunicaciones, muchos de los conceptos teóricos pueden afianzarse en el laboratorio, permitiendo al estudiante acercarse a la práctica real de su profesión, así como posibilitando una constante actualización de conceptos y el aprovechamiento de los recursos con los que se cuenta en la institución.

El programa de Ingeniería en Telecomunicaciones del Politécnico Grancolombiano cuenta con diversos equipos de laboratorio que permiten realizar ejercicios prácticos, permitiendo afianzar los conocimientos teóricos adquiridos en el aula clase. En la actualidad, el uso de los SDR ha presentado una disminución, y el presente proyecto de grado pretende incentivar de nuevo la utilización de estas tecnologías al interior del programa, mediante una propuesta de prácticas que complemente las ya existentes. Se trata de herramientas que enriquecerán el desarrollo de las asignaturas del área y los conocimientos prácticos de los estudiantes.

Así mismo, se desea realizar divulgación sobre las tecnologías de software y los componentes existentes en los laboratorios de la universidad para la realización de prácticas de este tipo, bien sea de forma presencial o virtual, aplicadas a asignaturas del programa de Ingeniería en Telecomunicaciones del Politécnico Grancolombiano.

Finalmente, con la documentación resultante, se espera motivar a los estudiantes y profesores a realizar más prácticas de laboratorio con estos equipos, y promover el aprendizaje de las nuevas tecnologías adquiriendo experiencia tanto en el ámbito conceptual como en aplicaciones laborales.

## 2.5 Delimitación.

### 2.5.1 Tiempo.

Para el control de tareas y tiempos de entrega se realizó el siguiente cronograma de trabajo (Ver Tabla 1):

Actividad Semanal	Febrero		Marzo				Abril				Mayo				Junio			
	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Investigación SDR y GNU Radio	X	X	X	X	X	X												
Evaluación cualitativa a profesores del área																		
Revisión de características de SDR		X	X	X														
Instalación de software para SDR (Definición de características, SO, etc.)			X	X														
Implementación entorno de pruebas completo					X	X	X											
Documento entorno de pruebas																		
Elaboración de guías de laboratorio							X	X	X	X	X	X						
Pruebas de montaje tipo laboratorio											X	X	X					
Corrección guías de laboratorio												X	X	X				
Guías de laboratorio terminadas																		

Presentación piloto taller TIC													X						
Actualización libro guías de laboratorio (Asesoría Ricardo Gómez)																			
Elaboración documento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
Correcciones finales															X	X	X		
Documento proyecto																			
Preparación sustentación																X	X	X	
Sustentación																			

Tabla 1 Cronograma Actividades (Fuente: Juez Suarez, 2020)

### 2.5.2 Alcance.

Para este proyecto, se tiene planteado diseñar y probar hasta 3 prácticas de laboratorio, y la realización de una actividad de divulgación con estudiantes. En las prácticas se evaluarán los conceptos tanto previos como posteriores en los estudiantes escogidos, además de una encuesta de satisfacción para evidenciar su calidad en los diferentes aspectos (organización, comprensión, claridad de conceptos, etc). Una vez obtenidos estos datos se añadirán las prácticas al libro “Prácticas de Laboratorio - Uso de Radio Definida por Software SDR” escrito por el profesor Ricardo Cesar Gómez.

## MARCO TEÓRICO

Buscando afianzar los conceptos teóricos que se manejan en las prácticas de laboratorio, así como los aspectos pedagógicos para la elaboración de estos documentos, el presente marco teórico incluye una breve descripción de estas temáticas.

### 3.1 Sistemas de comunicación

Las comunicaciones actualmente como las conocemos se pueden dar de dos formas: analógico y digital. En el mundo analógico se evidencia que las señales transmitidas y recibidas (tanto señal portadora como información) son de variación continua como por ejemplo las ondas seno, en cambio en el mundo digital las señales portadoras son de variación discreta [8]. También en los sistemas de comunicación existen los moduladores y demoduladores, los cuales vuelven las señales de información análogas a pulsos digitales y viceversa para garantizar la transmisión de los datos, dependiendo del sistema que montemos hay diferentes tipos de modulaciones existentes. Por tal razón, se muestran algunos conceptos importantes para tener en cuenta en la realización de las prácticas de laboratorio.

### 3.2 Modulación

La modulación es el conjunto de técnicas usadas para el transporte de información haciendo uso de una señal portadora, ya sea sinusoidal, cuadrada, entre otros tipos de señales. Esto permite un mayor aprovechamiento de los canales de comunicación, haciendo posible transmitir mayor cantidad de información con el mismo ancho de banda, además de mejorar la calidad de la señal recibida, disminuyendo factores como el ruido y la interferencia. En esta técnica constamos de una señal portadora, y una señal moduladora (información). A continuación, se exponen los diferentes tipos de modulación existentes hasta el momento y otros componentes importantes para llevar a cabo la modulación [8].

#### 3.2.1. Modulación análoga

En este tipo de modulación, la información transmitida se modula con una portadora de alta frecuencia, la cual tiene variaciones de tipo continuo. Esta señal portadora básicamente es “ocupada” por la señal moduladora, y así se transmite la información. Se pueden alterar parámetros específicos de la señal portadora, dando como resultado los siguientes tipos de modulación: Modulación AM, modulación FM y modulación PM.

## Modulación AM

En la Modulación AM, más conocida como amplitud modulada, se hace uso de una señal sinusoidal la cual varía en amplitud mientras su frecuencia y fase se mantienen fijas, lo que resulta en un desplazamiento de los componentes de la señal a frecuencias más altas. Este tipo de modulación facilita la transmisión de señales de información como lo es por ejemplo la voz. Un claro ejemplo de la modulación AM es la radiodifusión y la televisión, los cuales ocupan el mismo canal de transmisión, pero las señales portadoras ubican de diferente manera la información en la frecuencia, evitando así interferencias sobre la transmisión [9].

En este tipo de modulación principalmente se deben tener en cuenta dos aspectos, el primero es la señal moduladora, es decir la información (ya sea audio, video, datos o voz) y el segundo es la señal portadora, cuya principal característica es que será una frecuencia mucho mayor a la de la señal moduladora. En la siguiente figura se puede observar un claro ejemplo de una modulación de este tipo.

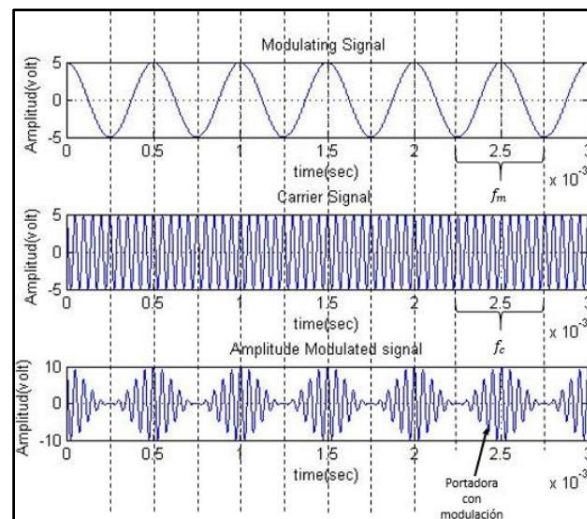


Figura 1: Modulación AM, Fuente: Wikimedia, Creative Commons.(2012)

## Modulación FM

La modulación en frecuencia (Frequency Modulation), consiste en alterar la frecuencia de la onda portadora según los cambios que tenga la señal moduladora [9]. En este caso no se modifica la amplitud de la señal, manteniendo un valor fijo a lo largo de la comunicación entre transmisor y receptor. El

comportamiento de una modulación de este tipo está dado por tres momentos o cambios para la frecuencia:

- Semiciclo positivo.
- Señal moduladora con amplitud 0.
- Semiciclo negativo.

Los cambios de la señal moduladora producen, según estos 3 momentos, los respectivos desfases en la señal portadora. Los semiciclos positivos representan un aumento de la frecuencia, la amplitud de 0 representa una frecuencia normal y los semiciclos negativos una disminución de la frecuencia en la señal. En la figura a continuación, se ve una clara diferencia entre modulación AM y FM.

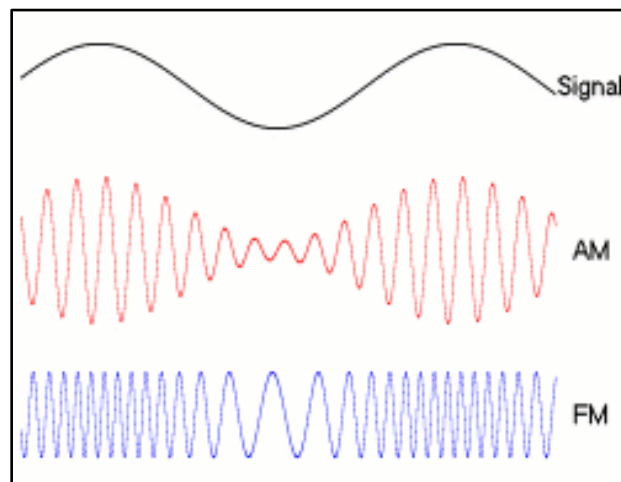


Figura 2: Modulación FM, Fuente: Wikimedia, Creative Commons.(2012)

Este tipo de modulación es usado en radiofrecuencia, en UHF (Ultra High Frequency) y VHF (Very High Frequency). Se puede usar para enviar datos análogos y digitales.

### **Modulación PM**

La modulación en fase consiste en modificar la señal moduladora original con un desvío de la fase en la señal portadora con respecto a la inicial, para evidenciar los cambios en la fase debemos convertir las señales en base a la frecuencia, usando transformadas o función de transferencia. Este tipo de modulación no es muy usado en el mercado.

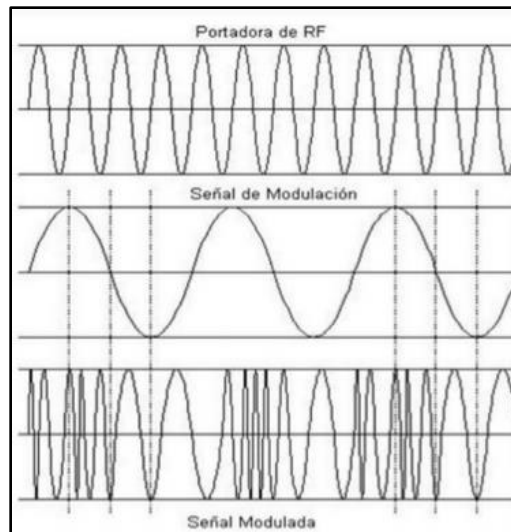


Figura 3: Modulación PM, Fuente: Wikimedia, Creative Commons.(2012)

### 3.2.2 Modulación digital

Para realizar modulación digital, cabe aclarar que en primera instancia debemos tener un medio de transmisión guiado (ya sea Fibra óptica, Coaxial, UTP), en este tipo de modulación se evidencia que la señal portadora es de variación discreta, y similar a la modulación analógica esta señal altera sus parámetros de acuerdo con la señal moduladora.

#### Modulación ASK

La Modulación por desplazamiento de amplitud (ASK por sus siglas en inglés), consiste en representar datos digitales variando la amplitud de la onda portadora en función de la onda moduladora. Podemos representar la señal portadora como un interruptor, donde existen los estados ON/OFF, representado en valores binarios como 0 y 1, lo que hace que también reciba el nombre de modulación por pulsos. Entre las ventajas de la modulación ASK encontramos que su costo de operación es barato, es muy usado en canales de fibra óptica.

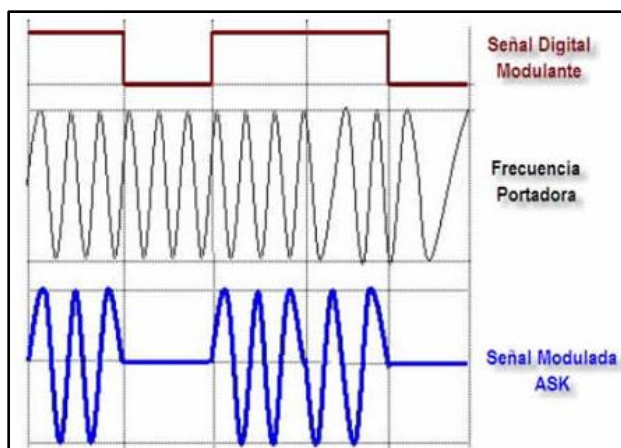


Figura 4: Modulación ASK, Fuente: Wikimedia, Creative Commons.(2012)

### Modulación PSK

La modulación por desplazamiento de fase (PSK por sus siglas en inglés) consiste en variar la fase de la señal portadora entre un número determinado de valores, los cuales son discretos. Este tipo de modulación angular tiene señal moduladora digital, por lo que la cantidad de estados que puede tener al final de su modulación son limitados. Dependiendo del número de fases puede recibir diferentes nombres. Siendo así tenemos Modulación BPSK con 2 fases, QPSK con 4 fases, 8-PSK con 8 fases, entre otros. A mayor número de fases, mayor cantidad de información se transmite utilizando el mismo ancho de banda, y mayor sensibilidad frente a ruidos o interferencias.

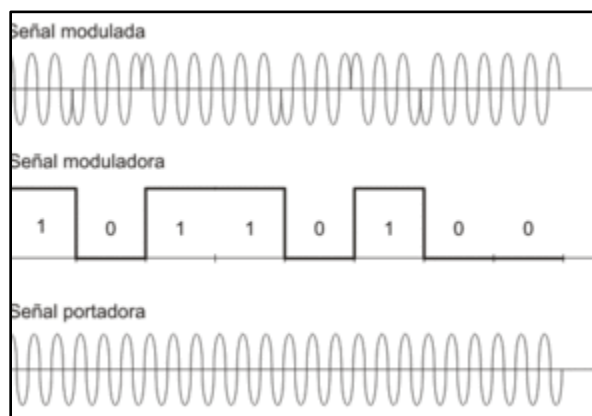


Figura 5: Modulación PSK, Fuente: Wikimedia, Creative Commons.(2012)

### Modulación FSK

La modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK por sus siglas en inglés) consiste en la utilización de más de 1 frecuencia diferente para cada símbolo. Al ser esta de propiedades discretas la señal moduladora solo varía entre dos valores: 0 y 1, comúnmente llamado tren de pulsos. La relación de estos cambios de



entrada en la señal moduladora es llamada bit-rate, medido en bits por segundo (bps). La relación a la salida del modulador es llamada baud-rate, es decir la cantidad de símbolos por segundo.

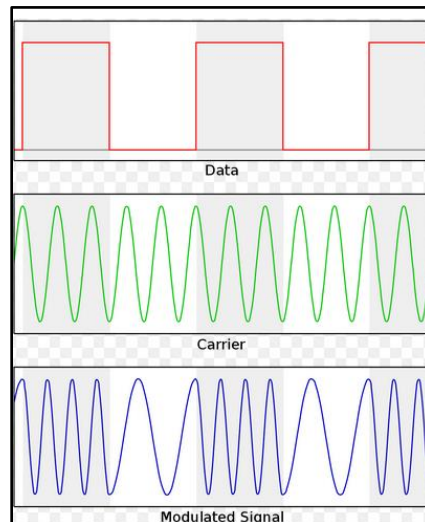


Figura 6: Modulación FSK, Fuente: Wikimedia, Creative Commons.(2012)

### Modulación QAM

La modulación de amplitud en cuadratura (QAM por sus siglas en inglés) permite transportar dos o más señales independientes, esto se logra modulando tanto en fase como en amplitud, podría ser llamada una modulación espacial. Consiste en modular una portadora, con desfase de 90 grados, al final del sistema se suman las dos señales y se demodula la señal.

Este tipo de modulación nos permite utilizar el mismo ancho de banda para dos señales diferentes con una portadora desfasada, ahorrando el mismo para poder transmitir más información y poder realizar implementación de sistemas multipunto. QAM es ampliamente usado en sistemas de comunicación móvil, televisión, comunicaciones satelitales y enlaces microondas, entre otros sistemas tanto alámbricos como inalámbricos.

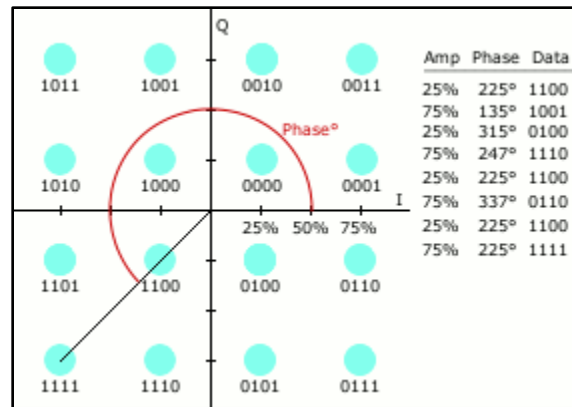


Figura 7: Cuadratura AM – QAM, Fuente: Wikimedia, Creative Commons.(2012)

### 3.2.3 Señal banda base

Una señal banda base está definida como aquella que se genera desde un elemento que no modifica su frecuencia original, así mismo no es necesario adaptar al medio por el que se va a transmitir. Una característica importante de este tipo de señales es que este tipo de señales ocupan el rango más bajo del espectro, y su ancho de frecuencia va desde 0 Hz hasta el punto de corte definido por el diseño [9]. Este tipo de señales es usado de una manera recurrente para modular portadoras, por tal razón lleva más de una señal; y cada una de estas viaja por un diferente canal hasta ocupar el máximo de canales. La señal banda base es de vital importancia en un proceso de transmisión de datos puesto que describe el estado antes de la modulación y después de la modulación.

### 3.3 Radio definido por software

Es importante conocer el concepto de radio definida por software, la idea principal de este proyecto era realizar prácticas con integración a este tipo de hardware, los radios definidos por software (SDR por sus siglas en inglés) son, básicamente sistemas de radiocomunicación, donde algunas o todas sus funciones operativas se implementan a través de software (como por ejemplo mezcladores, filtros, ecualizadores, moduladores y demoduladores, entre otros), esto mediante la utilización de computadores de uso personal y otros dispositivos de este tipo [5]. El concepto de SDR no es nuevo, pero la constante actualización en materia de circuitos tanto lógicos como físicos hacen posible que este tipo de tecnologías cada vez tenga más fuerza y sea más apetecida para la implementación de sistemas de comunicaciones tanto fijas como móviles y satelitales.

Un dispositivo de SDR generalmente se compone de un ordenador, el cual tiene el software que controla el sistema, y una tarjeta compatible con el hardware (tarjetas RF), y un sistema de hardware o tarjeta que

transmite hacia la antena compatible con el software con ciertas especificaciones de mínimo y máximo de frecuencias de trabajo, entre otros. Los SDR no solo se usan en sistemas móviles y satelitales, también son muy comunes en las comunicaciones militares, pues dan la facilidad de poder cambiar parámetros del servicio en tiempo real según las necesidades de su uso.

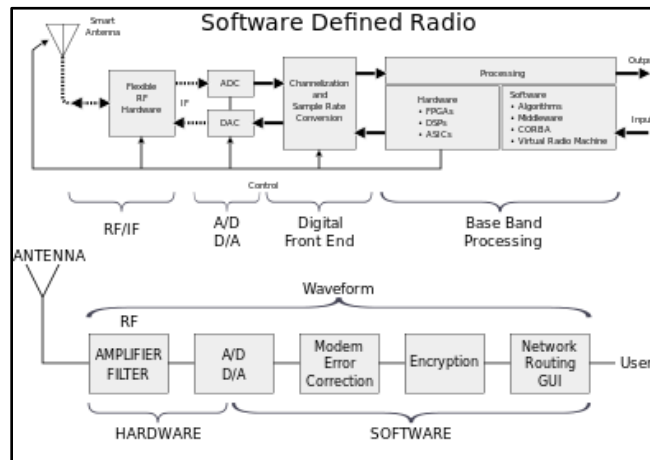


Figura 8: Arquitectura general de SDR, Fuente: Wikimedia, Creative Commons.(2012)

En la figura anterior se puede identificar la arquitectura de un dispositivo SDR. A continuación, se expone una breve descripción de las diferentes líneas de SDR que existen en el mundo.

### 3.3.1 USRP (Universal Software Radio Peripheral)

USRP es una de las líneas de SDR diseñados por la compañía Ettus Research, una filial de National Instruments. Esta plataforma de hardware para SDR es en comparación más barata, lo que hace que sea comúnmente usada en laboratorios, universidades, y por radioaficionados. USRP se conecta directamente a un PC por medio de un cable USB de alta velocidad, esto hace que la transmisión y recepción de datos sea de muy buena calidad, también hay algunos modelos de USRP con procesador integrado, lo que le da la característica de tener un computador embebido y un funcionamiento tipo standalone [10].

Una de las características más interesante de los USRP es que su hardware es de código abierto, y muchos de los diseños de tarjetas USRP son de descarga libre, y su software de comunicación controlado por medio de USB y Sistema operativo también son de código abierto, descargables desde la página oficial de Ettus Research.

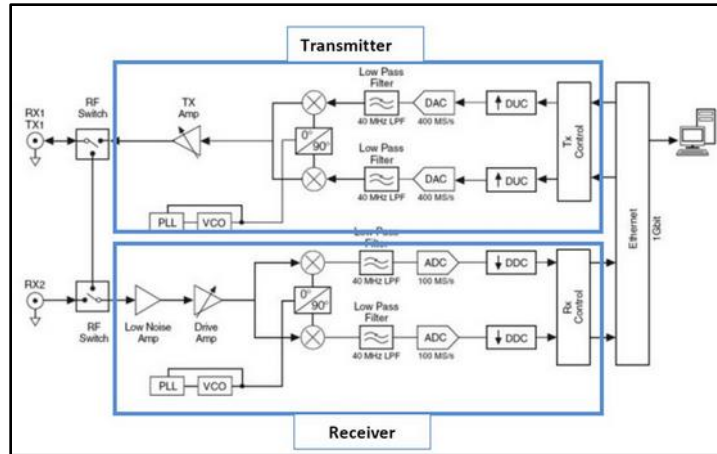


Figura 9: Arquitectura USRP, Fuente: Ettus Research (2020)

### 3.3.2 KUAR

La línea de SDR KUAR han sido específicamente diseñados para atender las necesidades de redes inalámbricas y estudio de radio frecuencias. De sus características de diseño más notables, es que separan la fuente de poder, el procesamiento y las secciones de radio frecuencia; esto lleva a un mejor desempeño del sistema. El hardware KUAR trabaja principalmente en el rango de 5 a 6 GHz y utiliza numerosos algoritmos de modulación, así como control de acceso a medios y mecanismos de adaptación. KUAR tiene un computador para procesamiento embebido, el cual nos permite trabajar procesos que no requieran un alto rendimiento, en caso de querer integración con algún software cuenta con conector USB 2.0. En la mayoría de los casos las conexiones hacia las antenas de transmisión y recepción son tipo SMA.

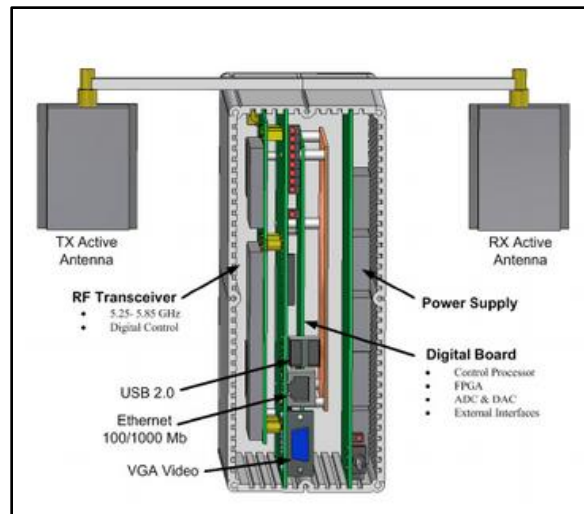


Figura 10: Arquitectura KUAR, Fuente: Research Gate (2020)

### 3.3.3 WARP (Wireless Open Access Research Platform)

WARP es una Plataforma programable y escalable, construida principalmente para prototipos de redes inalámbricas avanzadas [11]. Los repositorios de diseño de este software son de código abierto, diseñado por Mango Communications, este tipo de SDR consta de dos interfaces de radio frecuencia programables, las cuales funcionan en frecuencias entre 2.4 a 5 GHz y FPGA tipo Virtex-6.

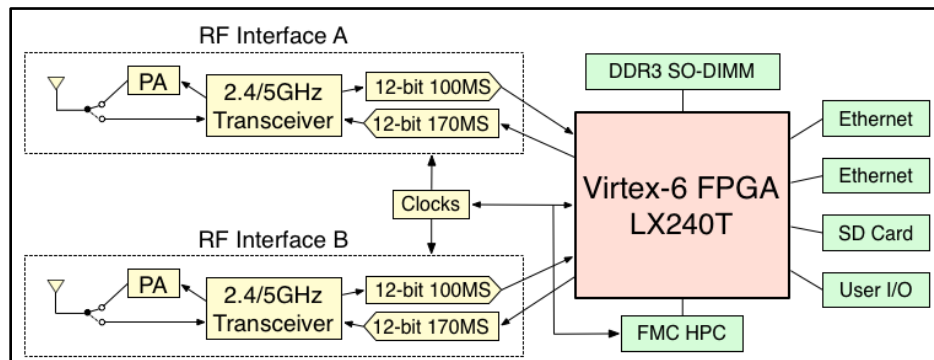


Figura 11: Arquitectura WARP, Fuente: WARP Project (2020)

### 3.4 Software de virtualización de radio

El software de virtualización de radio permite abstraer los componentes de una radio física para modificarlos por medio de procesadores de propósito general, así el hardware que se usa es menor y se obtiene una mayor escalabilidad de una implementación realizada con estos dispositivos. Además de esto, es muy común que este tipo de software permita un ambiente de simulación para sistemas de comunicaciones. A continuación, se mencionarán algunos de los softwares más usados para este propósito: GNU Radio, MATLAB, LabVIEW y Octave.

#### 3.4.1 GNU Radio

GNU Radio es una herramienta de software, la cual provee bloques de procesamiento de señales para implementación de radios sobre software. También es posible utilizarlo para simulación de enlaces de radio, tiene una interfaz que permite trabajar sin necesidad de un hardware de radio, y su código es de licencia abierta [12].

Para programar sobre esta herramienta es posible utilizar lenguajes como Python (generalmente) o C++, esto depende de la aplicación y que tan robusta sea. Esta herramienta, al ser de licencia abierta está en constante desarrollo por los mismos usuarios, muy parecido al despliegue de sistemas operativos de

Linux. Los tres elementos más importantes para generar un diseño de un sistema de comunicaciones sobre la aplicación son fuentes, bloques de procesamiento de señal y sumideros. Básicamente las fuentes y los sumideros se pueden tomar como archivos, programas, hardware, entradas y salidas, entre otros; y los bloques de procesamiento de señal son los diferentes amplificadores, moduladores, operadores matemáticos y lógicos, y otros bloques generados por la aplicación [13].

### **3.4.2 MATLAB – Simulink**

MATLAB – Simulink es una aplicación de licencia paga de la compañía MathWorks, una empresa especialista en desarrollo de software matemático; este software es usado por una amplia gama de ingenieros y científicos en el mundo [14]. En esta herramienta se pueden realizar desde los cálculos más sencillos hasta sistemas de código complejo, para nuestro interés la herramienta más importante que tiene este software es la interfaz de configuración de bloques de procesamiento Simulink, en donde podemos encontrar librerías específicas para el trabajo con SDR, y también la integración de interfaces de transmisión y recepción con el software en mención.

### **3.4.3 LabVIEW**

LabVIEW es un software de ingeniería de sistemas, el cual ofrece una interfaz gráfica que ayuda a visualizar aplicaciones, análisis de datos, configuración de hardware, medidas y depuración de datos. Permite la integración con otros proveedores de software, representando lógicas complejas en diagramas desarrollados con algoritmos de datos personalizados por usuario [15]. LabVIEW también ofrece una suite especializada para comunicaciones, específicamente en el trabajo de radios definidos por software, teniendo una línea de USRP listos para la producción, los cuales junto con el poderoso software logran una integración de servicios los cuales pueden ser implementados de manera rápida y versátil. Este software es de licencia paga, por tanto, no se tiene acceso a menos de que se tenga la licencia de este.

### **3.4.4 Octave**

El programa Octave, más conocido como GNU Octave, es un software de programación diseñado para cálculos numéricos principalmente. El lenguaje de programación de Octave es compatible con Matlab, y posee amplias herramientas para resolver diversos sistemas de funciones [16]. Una de las características

principales de este software es que también es de licencia libre, lo que permite explorar el software y conocer todas las funcionalidades sin necesidad de pagar una licencia.

Es comúnmente usado en el área de ingeniería para generar simulación de antenas de comunicaciones, en donde se pueden apreciar las capacidades de un diseño de antena (Ganancia, cobertura, Asimuth, etc). Es muy fácil personalizar el sistema a través de funciones definidas por el usuario, o utilizando módulos cargados dinámicamente [17].

### 3.5 Teorías de aprendizaje

Comprender las diversas formas de adquisición de competencias y habilidades es de gran relevancia, por tal razón se realiza una investigación sobre diversos autores que han estudiado el aprendizaje. A continuación, se refieren los conceptos más importantes para la obtención del aprendizaje por medio de las prácticas.

Una teoría de aprendizaje es un sistema lógico que busca describir como aprenden los seres humanos, y así mismo comprender este proceso para ayudar a crear metodologías que puedan facilitar este proceso. Para poder hablar de teorías del aprendizaje primero se debe definir qué es el aprendizaje, según Edgar Dale, un criterio claro para poder definir el aprendizaje es el cambio en la capacidad de comportamiento o de conducta, se dice que alguien aprende cuando se vuelve capaz de realizar algo distinto de lo que hacía antes, para aprender se necesita el desarrollo de nuevas acciones o la modificación de las ya existentes [18].

El segundo criterio para definir el aprendizaje es que el cambio de conducta perdura en el tiempo, excluyendo los cambios de conducta temporales; en la mayoría de los casos los cambios de conducta que, por ejemplo, duran solo unos segundos no suponen un aprendizaje. El último criterio es que el aprendizaje ocurre por la práctica u otras formas de experiencia [18], en esto influye mucho el entorno en el que se desarrollan las acciones o las conductas.

A continuación, se presentan algunas de las teorías de aprendizaje más comunes:

- **Behaviorismo:** En el behaviorismo se define que el aprendizaje es un proceso de reacción dado un estímulo externo, en este caso los cambios de conducta se dan generalmente por formas de experiencia como la observación, posterior a esto se recuerdan estas conductas repitiendo

continuamente las acciones, un ejemplo claro del behaviorismo son las tareas o trabajos de estudio.

- **Cognitivismo:** En el cognitivismo se define que el aprendizaje es un proceso de adquisición y almacenamiento de información, este aprendizaje es solo cognitivo y se da por la construcción de conductas y solución de problemas planteados.
- **Constructivismo:** En el constructivismo se define que el aprendizaje es un proceso de construcción subjetiva basado en la realidad, en este caso el aprendizaje es personal o creado por cada persona, dados unos conocimientos previos y muy importante, la socialización de los conocimientos en un entorno con otras personas.
- **Conectivismo:** En el conectivismo se define que el aprendizaje es un proceso de conexión de distintas fuentes de conocimiento, se da principalmente en entornos tecnológicamente enriquecidos.

Con estos 4 modelos, se tiene una teoría de aprendizaje completa, en la siguiente imagen podemos apreciar la distribución de los modelos de aprendizaje [19].

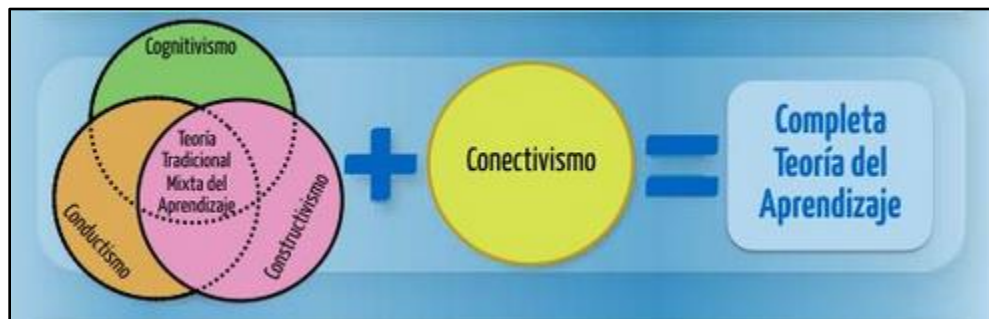


Figura 12: Teorías del aprendizaje, Fuente: Shunk D.(2010)

### 3.5.1 Pirámide de aprendizaje

Una vez conocidas las teorías de aprendizaje, podemos adentrarnos en la distribución y las formas de obtener el aprendizaje, como lo es en primera instancia la pirámide de aprendizaje de Edgar Dale, famoso pedagogo estadounidense, en especial por esta pirámide, y varias metodologías para obtener el aprendizaje de la mejor manera. La pirámide de aprendizaje, también llamada Cono de aprendizaje representa el aprendizaje obtenido de distintos medios. Distribuye desde su punto más alto hasta el más bajo la profundidad del aprendizaje, es decir la importancia que tiene cada metodología para obtener el aprendizaje.



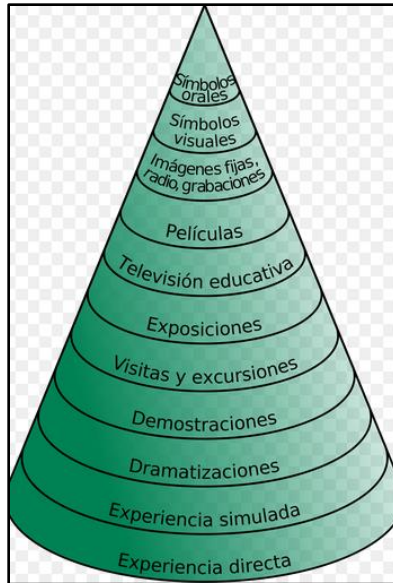


Figura 13: Cono de Dale, Fuente: Lorin W. & Anderson (2001)

Según Edgar Dale se aprende más al realizar una tarea, de aquí el dicho “La práctica hace al maestro”. Por tal razón divide su pirámide o cono en 11 niveles principales de aprendizaje: Leer, Escuchar palabras, ver una infografía o ver películas, observar una demostración, ver como se realiza algo, participar en discusiones, dar una charla, hacer una dramatización, simular una actividad real y por último realizar una actividad real [20]. La combinación de todos estos niveles nos da un aprendizaje concreto en lo que sea que escojamos, aunque se debe tener en cuenta que a pesar de que la mayoría de las personas aprenden más haciendo, cada una aprende a su manera e interioriza este modelo según su forma de actuar.

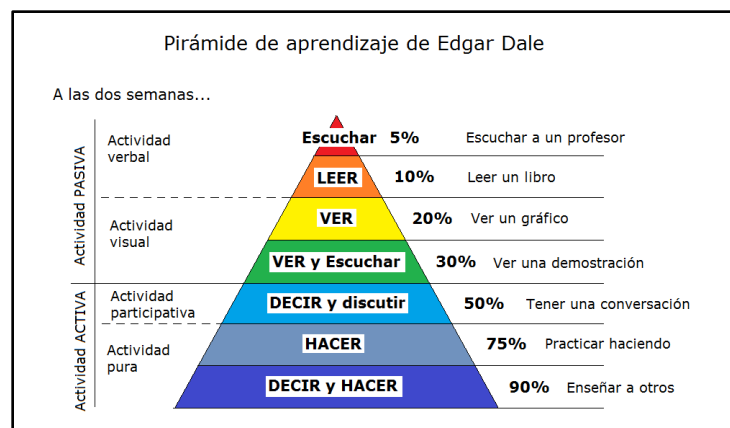


Figura 14: Pirámide de Dale, Fuente: Psicología Online (2014)

Según la pirámide de aprendizaje de Edgar Dale, el aprendizaje activo que comprende hacer y enseñar, permite que se logre apropiarse del conocimiento en un 75% y 90% respectivamente, en un plazo aproximado de dos semanas dependiendo de cada persona. Esto nos hace pensar que si el porcentaje práctico durante el aprendizaje aumenta y se diversifica, también aumenta la apropiación y permanencia del conocimiento en las personas que quieran adquirir este conocimiento.

### 3.5.2 Taxonomía de Bloom

La taxonomía de Bloom (también conocido como taxonomía de dominios del aprendizaje) es uno de los referentes más utilizados para el planteamiento de objetivos de la educación, fue diseñada por Benjamin Bloom y surgió en una reunión informal en la finalización de la Convención de la Asociación Norteamericana de Psicología en 1948, su primera edición fue publicada en el año de 1956. Básicamente es una clasificación de objetivos acorde a diferentes niveles cognitivos del ser humano, definidos desde los más básicos hasta los más complejos. Bloom y su equipo identificaron 3 dominios principales de aprendizaje: Cognitivo, afectivo y psicomotor [21].

En 2001 fue publicada la segunda edición de la taxonomía por sus alumnos Lorin Anderson y David Krathwohl, en donde se realizaron cambios en la propuesta original de sustantivos a verbos, incluida en la pirámide de pensamiento indicada en la siguiente imagen.



Figura 15: Diferencia entre Taxonomía de 1956 y 2001, Fuente: Psicología Online (2014)

Anderson y Krathwohl también hacen énfasis en los niveles de conocimiento, recalando que el conocimiento fáctico se compone de los elementos que los estudiantes deben saber previamente para familiarizarse con una disciplina, el conocimiento conceptual va enfocado hacia las relaciones existentes entre varios elementos esenciales dentro de una estructura de conocimiento más grande, lo que permite

operar a todos en conjunto, el conocimiento procedimental permite al estudiante generar métodos de investigación y criterios para usar ciertas habilidades, y por último el conocimiento metacognitivo se relaciona con la consciencia de cómo se genera el aprendizaje, la reflexión y regulación de este y el conocimiento de uno mismo [21].

La taxonomía de Bloom continúa siendo actualizada, en el año 2008 el doctor Andrew Churches complementa con herramientas de la era digital para facilitar el desarrollo de habilidades, y en el 2013 Kathy Schrock asocia la taxonomía de Bloom con el modelo SAMR, facilitando así la integración de las TIC en los procesos educativos y generando una transformación y, por tanto, mejora a los modelos de aprendizaje.

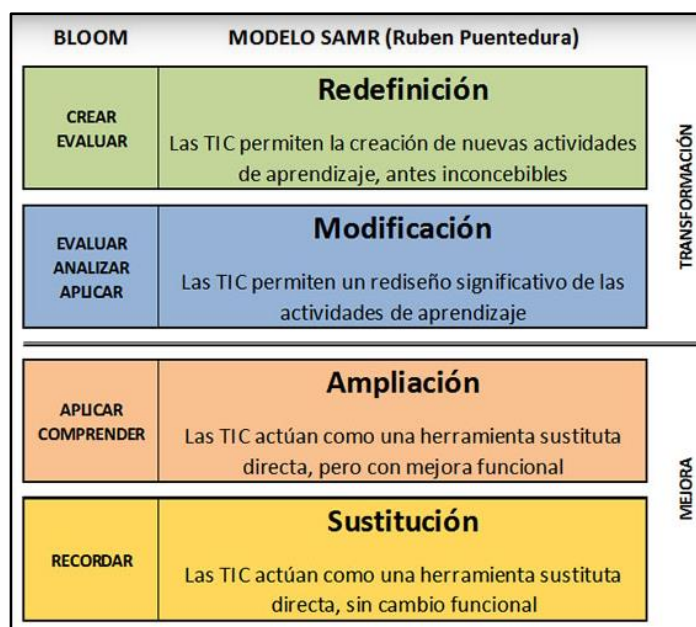


Figura 16: Taxonomía de Bloom y modelo SAMR, Fuente: Psicología Online (2014)

### Habilidades del pensamiento

Esta parte es fundamental, a pesar de que el conocimiento adquirido pueda ser obsoleto en el futuro las habilidades de pensamiento permanecen con los estudiantes toda la vida. En la era industrial la educación se enfocó en las habilidades de pensamiento de orden inferior las cuales están definidas en la taxonomía de Bloom con aspectos como el recordar y el comprender. En el siglo XXI la pedagogía se ha enfocado en formar a los estudiantes a partir de habilidades de pensamiento de orden superior, llevándolos más allá de aplicar y analizar, también a investigar, crear y enseñar a los demás mediante el trabajo en equipo.

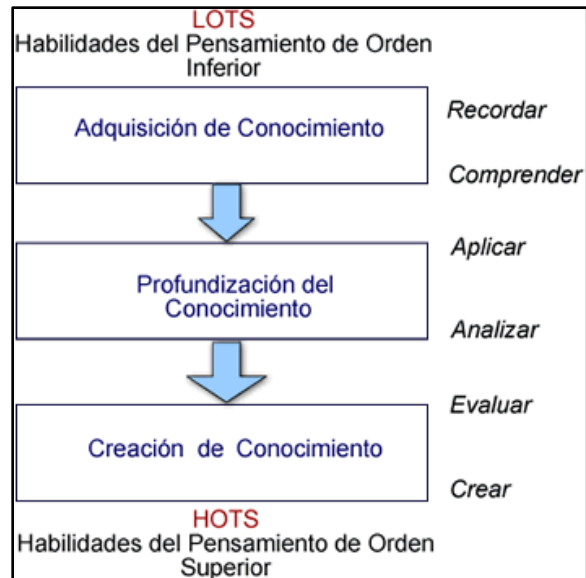


Figura 17: Orden en habilidades de pensamiento, Fuente: Psicología Online (2014)

Aunque recordar está en el nivel más bajo de la taxonomía, es uno de los más importantes para el aprendizaje al reforzar las demás actividades ya sean de orden inferior o superior, pero además de recordar el aprendizaje no es completo si no se tiene un componente tanto teórico como práctico [7].

### 3.6 Proyecto Educativo Institucional (PEI) y su relación con el aprendizaje

El Proyecto Educativo Institucional es básicamente el marco teórico bajo el cual se establecen los objetivos pedagógicos de la institución, en este documento se presenta la misión, visión y las funciones de cada estamento y elemento de la institución. En general es la idea de “escuela” para una institución educativa. La Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano es una Institución privada, de utilidad común y sin ánimo de lucro. Su objetivo es la prestación de servicios en todos los campos de acción de la educación, en especial en el de la educación superior [3].

Es importante tener en cuenta que la universidad inició como una alternativa educativa para ofrecer carreras tecnológicas que permitieran un rápido acceso al empleo. Algunos de los propósitos mediante los cuales se afianza este proyecto educativo, y que tienen que ver con este proyecto son:

- Brindar educación incluyente, oportunidades y ayuda a superar las diferencias socioeconómicas.
- Promover la educación para toda la vida.
- Fortalecer la autonomía intelectual y la responsabilidad social.

- Aplicar tecnologías de información y comunicación por medio de metodologías presenciales, semipresenciales y virtuales.
- Velar por mantener altos estándares de calidad académica.
- Adquirir competencias integrales para saber ser, saber aprender, saber hacer y saber emprender.

Es así como uno de los pilares más importantes de la educación innovadora de la universidad es el sentido de autoestudio, para lo cual se desarrollan de forma constante actividades prácticas o talleres de autoestudio en el laboratorio.

Para el programa de Ingeniería en Telecomunicaciones es importante que los estudiantes tengan este tipo de cualidades, por tal razón, la Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano, reconoce la práctica como uno de los ejes fundamentales en el ejercicio de la ingeniería y un importante diferenciador entre los profesionales en el mercado laboral.

## DESARROLLO DEL PROYECTO

### 4.1 Fase de levantamiento de información e investigación

#### 4.1.1 Revisión preliminar

En la actualidad, el programa de Ingeniería en Telecomunicaciones del Politécnico Gran Colombiano cuenta con diversos equipos de laboratorio que permiten realizar ejercicios prácticos, permitiendo afianzar los conocimientos teóricos adquiridos en el aula clase. Algunos de estos dispositivos no se están usando activamente en las diferentes asignaturas.

El laboratorio de Electrónica y Telecomunicaciones se ha diseñado para dar soporte a la formación práctica de los programas, abarcando asignaturas como Circuitos Eléctricos, Circuitos Electrónicos, Antenas y Radioenlaces, Medios de Transmisión, entre otros. El laboratorio se encuentra ubicado en el bloque L y cuenta con una capacidad de 15 estudiantes por sesión, contando con 3 mesas de trabajo y estanterías para ubicar los respectivos equipos especializados de laboratorio.

Se hizo una exploración de los equipos de laboratorio, con el apoyo del docente encargado, en los que se encontraron principalmente fuentes de voltaje, osciloscopios, generadores de señales, multímetros, analizadores de espectro, radios definidos por software y antenas de comunicaciones.

Específicamente se realiza la revisión de los radios definidos por software, con referencia USRP B210 de la marca ETTUS y USRP 2920 de la marca National Instruments (el término USRP corresponde a Universal Software Radio Peripheral). Estos SDR trabajan en el espectro de frecuencia de 70 MHz a 6 GHz y 50 MHz a 22 GHz respectivamente, lo que indica que se pueden usar en un gran número de aplicaciones en cuanto a laboratorios de sistemas de comunicaciones, construcción de analizador de espectro, entre otros. Se hizo una revisión de requerimientos de software para el diseño de laboratorios con estos elementos, así como el análisis del entorno adecuado.

Posterior a este proceso, se realizó una reunión con el director de la escuela TIC y el profesor Ricardo González, encargado del área de telecomunicaciones. En esta reunión se evidencia que ya hay un trabajo previo con los SDR y con software de virtualización de radio, pero su uso ha disminuido con el pasar del tiempo, además de una breve revisión de lo necesario para el uso de los SDR y para realizar prácticas con estas herramientas.

#### **4.1.2 Investigación**

##### **Investigación conceptual**

Se realizó una búsqueda de información sobre teorías del aprendizaje, la cual se encuentra consignada en el presente documento. Se encontró que, en términos generales, la práctica es fundamental para el desarrollo del conocimiento, como se ve por ejemplo en la taxonomía de Bloom, que incluye niveles de dominio de tipo psicomotor.

El aprendizaje no es completo si no se tiene un componente tanto teórico como práctico [3], esto también lo evidenciamos en el Cono de aprendizaje desarrollado por Edgar Dale, en donde el aprendizaje activo que comprende hacer y enseñar, logra que se logre apropiarse el conocimiento en un 75% y 90% respectivamente, lo que significa que si el porcentaje práctico de las asignaturas aumenta y se diversifica, aumentará la apropiación y permanencia del conocimiento en los estudiantes [20].

##### **Investigación cualitativa**

Propiamente en el área de las telecomunicaciones, muchos de los conceptos teóricos pueden afianzarse en el laboratorio, permitiendo al estudiante acercarse a la realidad de su profesión, así como posibilitando una constante actualización de conceptos y el aprovechamiento de los recursos con los que se cuenta en la institución. Por tal razón se realizó un primer acercamiento hacia los profesores de la facultad, mediante una entrevista en donde se relacionan diversos puntos en cuanto a la realización de las prácticas, lo que nos ayuda con un punto de partida para el diseño y realización de estas (Ver Anexo 1).

Se realiza la encuesta a dos docentes de la facultad, los cuales tienen amplia experiencia en el sector de las telecomunicaciones. Se les pregunta si están de acuerdo con la realización de laboratorios virtuales, además de su conocimiento sobre software de virtualización de radio y sobre los SDR existentes en la universidad, se evidencia que uno de los docentes, con más experiencia en la universidad ha realizado labores con los SDR y con software como GNU Radio y LabVIEW, a diferencia del otro docente el cual aún no conocía de la existencia de los SDR, también indican que es importante la realización de prácticas de laboratorio, y mencionan la importancia de plantear un modelo de prácticas para trabajar principalmente temas relacionados con las asignaturas de Fundamentos de Telecomunicaciones, Señales y Sistemas,

entre otras; esta información fue útil para la decisión sobre las temáticas específicas a desarrollar en las prácticas a diseñar, buscando un apoyo en la comprensión de algunos de los temas vistos en clase.

Adicionalmente, en un diálogo realizado en el mes de abril del presente año con 12 estudiantes de la asignatura de Antenas y Radioenlaces, correspondiente al programa de Ingeniería en Telecomunicaciones, se trataron temas también respecto a las prácticas con SDR y software de virtualización de radio (Ver Anexo 2). Como conclusión de este diálogo, los estudiantes indicaron no tener conocimiento de los SDR existentes en la universidad o de software que permitan la simulación de sistemas de comunicaciones.

Una vez analizadas las respuestas de profesores y estudiantes se confirma que hay una necesidad de la implementación de más prácticas de laboratorio con dispositivos que permitan simular o recrear escenarios comunes en el área de la Ingeniería en Telecomunicaciones, permitiendo afianzar los temas prácticos vistos en las asignaturas.

También se desarrolló un análisis de los diversos tipos de herramientas de software para realizar prácticas sobre las temáticas de las asignaturas del área de telecomunicaciones, y así sugerir el software más adecuado. Basado en la encuesta a profesores, se hizo una búsqueda y comparación de características de los principales softwares: MATLAB, Octave, LabVIEW y GNU Radio. La Figura 18 muestra un análisis comparativo entre las herramientas.

SOFTWARE	LICENCIAMIENTO	LENGUAJES	S.O.	CARACTERÍSTICAS
MATLAB	PAGO	Propio, Java, C	Windows, Linux	Código del propietario, permite simulación de sistemas, visualización de datos en 2D y 3D, aplicación embebida (Simulink)
OCTAVE	OPEN LICENSE	C++	Multiplataforma	Idéntico a Matlab, No permite ejecución de scripts, código abierto, permite simulación de sistemas
LABVIEW	PAGO	Multilenguaje	Multiplataforma (Preferiblemente Windows por programación de FPGA)	Integración con SDR, permite simulación de sistemas y análisis de datos, acepta todas las interfaces de comunicaciones, entorno gráfico, permite sincronización de dispositivos
GNURADIO	OPEN LICENSE	Python, C++	Multiplataforma	Código abierto, Interfaz gráfica de usuario, permite simulación de sistemas e integración con SDR, acepta todas las interfaces de comunicaciones

Figura 18 Comparativo entre diferentes aplicaciones con capacidades para la virtualización de radio, realización propia

Del análisis del software se desprende que solo LabView y GNU Radio son adecuadas para el desarrollo de prácticas de virtualización de radio, siendo la segunda de licencia abierta y cuenta con capacidad de uso en múltiples plataformas. Como característica principal de GNU Radio, esta permite la simulación de



sistemas de comunicaciones y cuenta con características adecuadas para la integración y programación de SDR. El software escogido también es acorde a los avances previos desarrollados por el profesor Ricardo Gómez y permite continuar con el trabajo en la cartilla de prácticas que el docente tiene diseñada. Por las razones anteriores se decide continuar el trabajo con GNU Radio.

## **4.2 Fase de diseño**

El proyecto tuvo como enfoque inicial el diseñar un conjunto de guías de laboratorio para realización de prácticas utilizando los dispositivos SDR existentes en la universidad, prácticas que serían aplicables a asignaturas del programa de Ingeniería en Telecomunicaciones para el Politécnico Grancolombiano.

Como se explicó en la fase anterior, se realizó la investigación sobre el entorno de trabajo con SDR y sobre GNU Radio. Sin embargo, debido a la situación de salud pública y el requerimiento de cuarentena nacional, por el cual se definió no permitir acceso presencial a las sedes de la universidad, fue imposible acceder de manera directa al uso de los SDR. Se hizo la solicitud de retirar los equipos, pero se trataba de activos fijos, y las directivas de la universidad indicaron que no era posible el retiro de estos. Debido a la situación descrita, fue necesario modificar el enfoque en el proyecto.

Se plantea entonces la implementación de prácticas de laboratorio para el área de telecomunicaciones haciendo uso exclusivamente del software GNU Radio. Teniendo en cuenta las problemáticas dadas en los días transcurridos bajo la pandemia Covid-19, se evidenció la necesidad de la continuación de prácticas de laboratorio bajo una modalidad presencial apoyada por tecnologías. En este caso, el desarrollo del proyecto se enfocó en la necesidad de prácticas sobre las temáticas de forma virtual, con el fin de complementar la clase teórica y no perder el componente práctico de algunas asignaturas.

### **Guía de preparación entorno de trabajo**

En una fase inicial, se generó un documento para preparación del entorno de trabajo (Anexo 6), en el que se explica el paso a paso de cómo se debe realizar la instalación del software GNU Radio, bien sea para utilizarlo en sistema operativo Linux o en sistema operativo Windows. Se definieron las características con las que debe contar el equipo de cómputo en el que se va a instalar y un breve listado de las aplicaciones con las que se puede trabajar este software.

## **Diseño de las prácticas de laboratorio**

Las prácticas de laboratorio deben tener un nivel pedagógico adecuado, por tal razón es necesario tener un orden para las mismas, y así ayudar a los estudiantes para afianzar de una mejor manera el conocimiento adquirido e introducir innovación en el uso de implementos para el laboratorio de Telecomunicaciones.

En el diseño de las prácticas se tuvo en cuenta el modelo de aprendizaje del behaviorismo y del conectivismo, pues al ser prácticas virtuales requieren de estos dos modelos para su correcto aprendizaje, al ser prácticas de simulación de sistemas se aplica el aprendizaje por medio de la práctica como se evidencia en la taxonomía de Bloom y en la pirámide de Dale, concentrando esfuerzos en aportar al conocimiento de los estudiantes. También se trabaja con habilidades de orden tanto inferior como superior, en cuanto a que en las prácticas se solicita a los estudiantes recordar una serie de conceptos para trabajar el software y más adelante crear desde una plantilla propuesta.

Se consideraron principalmente los siguientes aspectos para la organización de cada documento de prácticas:

- Revisión de objetivos de la práctica de laboratorio.
- Conocimientos previos de los estudiantes.
- Planificación de tiempo acorde a las horas de clase normalmente planteadas para laboratorios.
- Evaluación: Formulando los criterios para determinar que el estudiante haya alcanzado el objetivo de la actividad.

Inicialmente se definieron las temáticas a trabajar en las prácticas, los temas seleccionados fueron: introducción y familiarización con el software GNU Radio, filtros digitales y simulación de un sistema de comunicaciones QPSK.

La primera práctica planteada permite a los estudiantes apropiarse conocimientos sobre el software con una práctica sencilla de señales en banda base, además de poner en práctica conceptos básicos de procesamiento de señales de audio. En la segunda práctica se plantea el uso de filtros digitales en distintas señales en compañía del software GNU Radio, con el fin de que los estudiantes aprendan sobre el manejo de los filtros en el software y de esta forma poderlos aplicar en prácticas posteriores más avanzadas junto con los SDR y otros dispositivos disponibles para implementar sistemas de comunicaciones. La tercera práctica tiene un nivel de dificultad más alto, pues al realizar la simulación de un sistema de

comunicaciones QPSK, es posible evidenciar como resultado final el diagrama de cuadratura, referencia muy importante en los sistemas de comunicaciones móviles (Ver anexo 2). De este modo se verifican conceptos aplicados de las materias de señales y sistemas, antenas y radioenlaces, entre otros.

El diseño propuesto se confirmó y complementó con el modelo desarrollado en el libro *“Prácticas de Laboratorio - Uso de Radio Definida por Software SDR”* [4]. Las prácticas son semejantes en su estructura a las realizadas en el libro y se complementan mutuamente, pues en primera instancia se dan unas prácticas de introducción al software y más adelante se trabaja con prácticas de modulación análoga, digital, y prácticas con radios definidos por software.

Una vez definidas las temáticas y el desarrollo conceptual y práctico de las prácticas, se realizaron pruebas unitarias por separado, para evidenciar el tiempo requerido en la resolución de cada una. Como resultado, se plantea esta información en el documento de la práctica, indicando que se requiere para las dos primeras prácticas una sesión de clase para cada una, y para la práctica tres se requiere un poco más de tiempo, puesto que el montaje de los bloques y la comprensión de los conceptos aplicados es más complejo.

### **Redacción de las prácticas de laboratorio**

Una vez se tuvo el diseño de las prácticas y un modelo adecuado, se procedió con la redacción y formalización de los documentos de práctica. Todas las prácticas están compuestas de los siguientes elementos, los cuales son vitales para su comprensión y es importante seguirlos paso a paso.

- Objetivos
- Materiales
- Preguntas previas
- Desarrollo de la práctica
- Cuestionario de aprendizaje o actividades complementarias

**Práctica 1: Introducción a GNU Radio (Anexo 3).** Esta primera práctica se divide en dos partes, para la primera parte se plantea una breve exploración del software, en donde se verifican los conceptos básicos de interface gráfica, la forma de ejecutar el software, y otros parámetros importantes para utilizarlo. Una vez comprendido esto por el estudiante, pasa a la segunda parte de la práctica, en donde se hace una implementación sencilla de dos señales en banda base, con algunos componentes básicos del software

como lo vemos en la Figura 19. Se realiza el montaje paso a paso para que el estudiante verifique el funcionamiento del programa, y más adelante se solicita al estudiante realizar cambios sobre el programa implementado, esto con el fin de que se familiarice más con el software y apropie correctamente los conocimientos básicos sobre este, de esta manera podrá proceder con las prácticas siguientes sin problemas para el manejo del software.

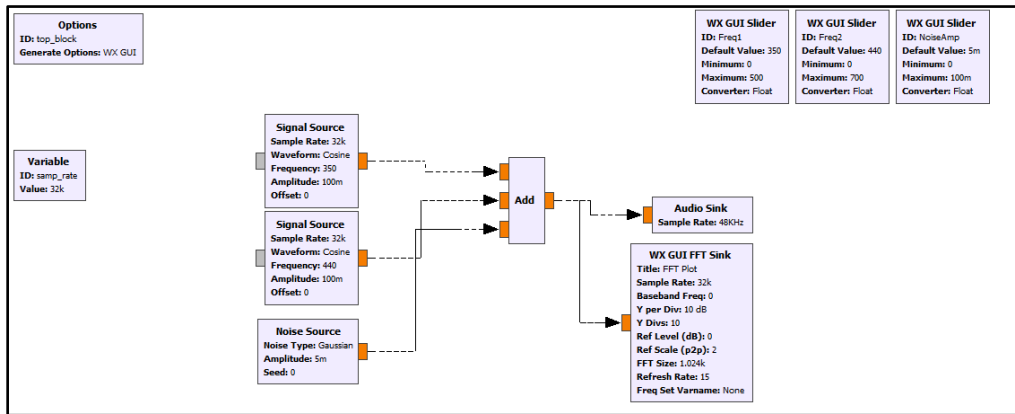


Figura 19: Diagrama de bloques práctica 1, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020)

**Práctica 2: Filtros digitales (Anexo 4).** Para esta práctica el estudiante ya debe tener conocimiento previo del manejo del software, también se plantea una primera parte para la verificación del funcionamiento de los filtros digitales, el estudiante debe seguir paso a paso la guía para comprender el montaje realizado en la Figura 20. Posterior a esto en la segunda parte de la guía el estudiante debe realizar los cambios indicados sobre el programa implementado, y así mismo responder las preguntas planteadas según lo evidenciado al realizar estos cambios.

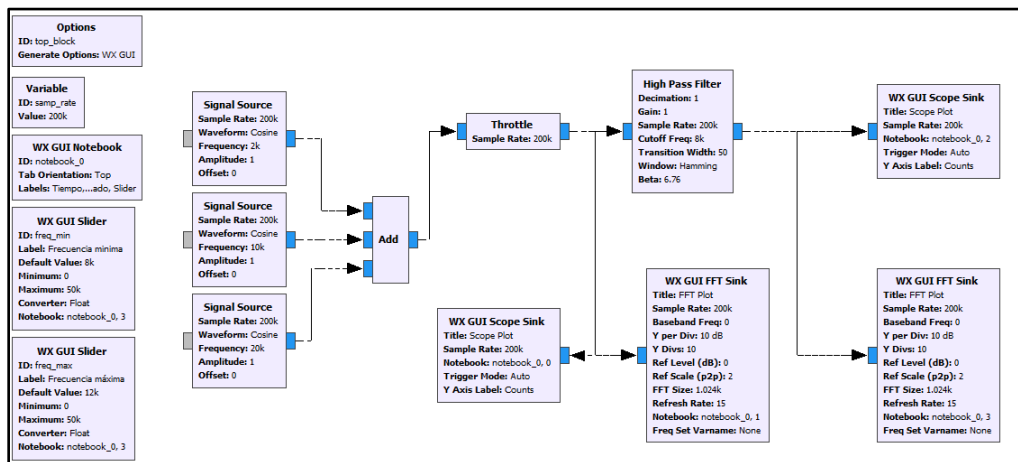


Figura 20: Diagrama de bloques práctica 2, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020)

Con esta práctica también se pretende afianzar conceptos básicos de las clases teóricas en señales y sistemas, pues se requiere realizar procesamiento de señales a partir de los filtros, y se muestra como generar una gráfica de espectro de frecuencia con transformada rápida de Fourier (Figura 21), entre otros conceptos planteados.

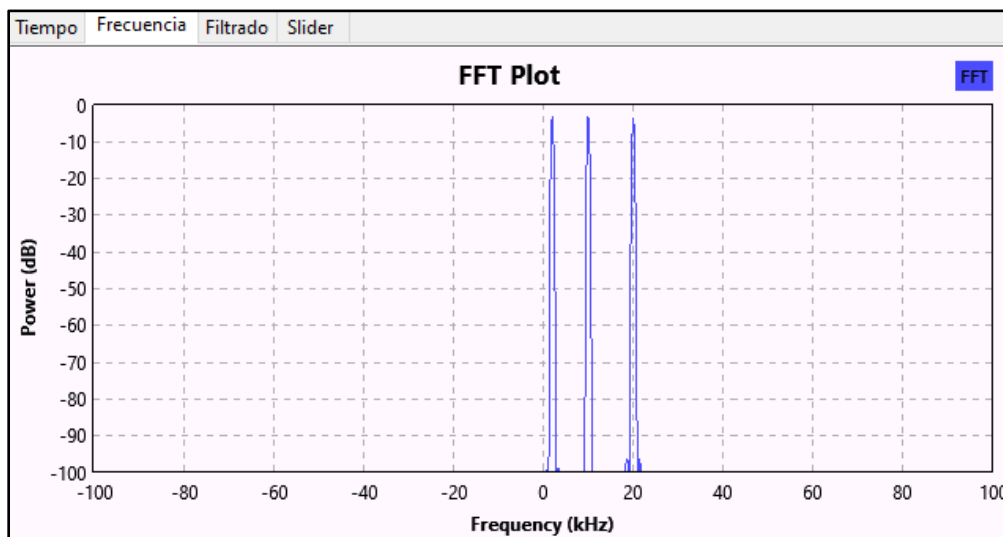


Figura 21: Transformada rápida de Fourier con GNU Radio, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020)

**Práctica 3: Modulación digital QPSK (Anexo 5).** En esta práctica se solicita al estudiante el montaje de un sistema de comunicación basado en QPSK, esta práctica también se puede realizar en conjunto con radios definidos por software, pero por el momento se plantea solamente a modo de simulación solamente con el software. La práctica de modulación QPSK es de mayor complejidad en comparación con las dos prácticas anteriores, pues se requieren conceptos más avanzados sobre comunicaciones móviles y de fundamentos de telecomunicaciones. Para el principio de la práctica se le explica al estudiante como realizar el montaje de los diferentes bloques necesarios para la ejecución correcta del programa, y su configuración de valores especial. Cabe aclarar que esta configuración también se puede realizar por programación ya sea en C++ o en Python, posterior a esto abrir el programa, pero para esta práctica se realiza a través de la interface gráfica del software como se evidencia en la Figura 22.

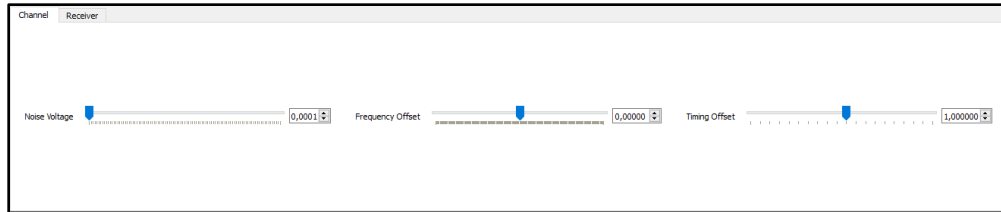


Figura 22: Controles de simulación, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020)

Una vez implementados los bloques y ejecutado el programa, se solicita al estudiante realizar cambios en los controles de la ventana de simulación (Figura 23), y se solicita contestar algunas preguntas sobre conceptos obtenidos en las diferentes materias de Ingeniería en Telecomunicaciones, con el fin de que el estudiante evidencie estos conceptos aplicados a la simulación del sistema QPSK, la cual tiene como resultado el diagrama de cuadratura o diagrama IQ de la Figura 24.

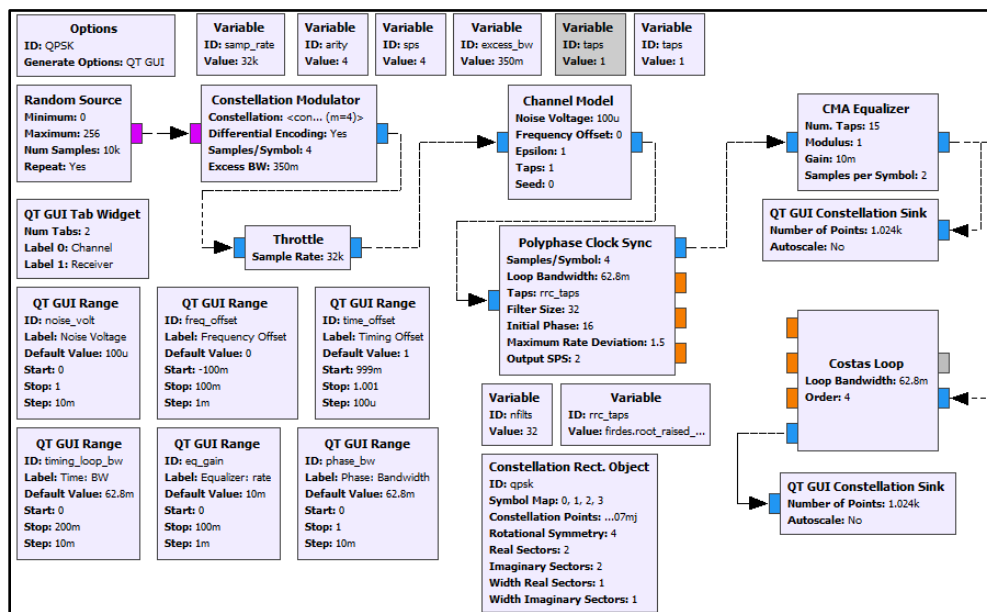


Figura 23: Diagrama de bloques QPSK, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020)

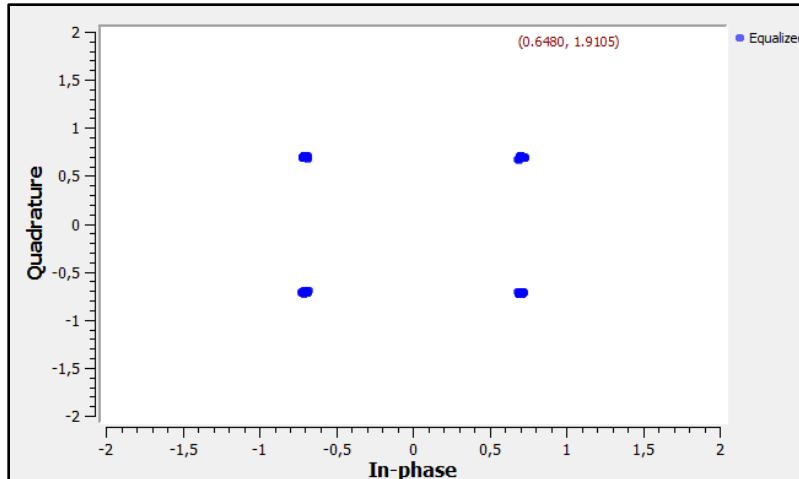


Figura 24: Diagrama IQ, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020)

### 4.3 Fase de implementación y recolección de percepciones

Posterior a la redacción de los documentos de prácticas, se realizaron dos eventos para la muestra y realización de encuestas de percepción. El primer evento fue un taller en donde se socializaron las prácticas de laboratorio durante la semana TIC organizada por la universidad; el segundo, la realización de una sesión de prácticas de laboratorio con un grupo de estudiantes de Ingeniería en Telecomunicaciones.

#### Participación en Semana TIC 2020

El día 11 de mayo se tiene participación en la semana TIC a modo de taller con las prácticas de laboratorio de GNU Radio, se realiza la divulgación de software a los estudiantes de la universidad, la presentación que tuvo una duración de 1 hora y 30 minutos aproximadamente tuvo lugar por la plataforma Microsoft Teams, con divulgación por medio de Livestream y por la red social Facebook. Se realizó la presentación de dos prácticas a los asistentes de la charla, también se resolvieron varias dudas sobre el manejo del software, el montaje de las simulaciones y la facilidad para instalar el software escogido. El video de la sesión se encuentra en el enlace: <https://www.youtube.com/watch?v=TUAMjMwZI9g&t=143s>



Figura 25: Presentación Semana TIC, Fuente: Juez H. (2020)

Se trataron temas de introducción al software, introducción a los componentes básicos del mismo, y las prácticas implementadas, además se realizó una sesión de actividades complementarias en donde se evidenciaron los conceptos aprendidos y la necesidad de este tipo de prácticas para afianzar de una mejor manera los conceptos aprendidos en clase.



Figura 26: Agenda de presentación, Fuente: Juez H. (2020)

Buscando obtener una retroalimentación sobre el taller realizado, se implementó una encuesta al finalizar la sesión. En la encuesta de satisfacción realizada se registraron 18 participantes, sin embargo, se tuvo un



aforo de aproximadamente 300 participantes por medio de Livestream, y en la red social Facebook es uno de los más reproducidos de la Semana TIC con aproximadamente 4500 reproducciones a lo largo del mes.

### **Análisis de percepciones de la presentación en la Semana TIC.**

Al finalizar el evento se hizo una encuesta a los asistentes para verificar la funcionalidad de las prácticas la cual se compone de una pregunta abierta y 5 preguntas de puntuación a diferentes aspectos mostrados de las prácticas de laboratorio realizadas.

- Número de encuestados: 18
- ¿Podrían prácticas como esta ayudar a mejorar el aprendizaje de los temas vistos en la carrera de telecomunicaciones? Justifique su respuesta

Para esta pregunta abierta, en la mayoría de los casos hubo aceptación de las prácticas, los estudiantes indican su conformidad con el modelo planteado e indican que es muy importante la realización de este tipo de prácticas para su desarrollo específicamente en el área de Ingeniería de Telecomunicaciones.

Se solicita a los participantes que den una puntuación de 1 a 5 respecto a los aspectos de claridad, relación con la carrera, comprensión y orden de las prácticas. A continuación, se presentan los resultados sobre cada uno de los aspectos evaluados:

- Claridad en los conceptos de la práctica (Calificación media de 4.78).
- Relación de las prácticas con su carrera (Calificación media de 4.89).
- Comprensión de las temáticas de clase (Calificación media de 4.67).
- Orden en las prácticas realizadas (Calificación media de 4.61).

¿Hay claridad en los conceptos de la práctica?

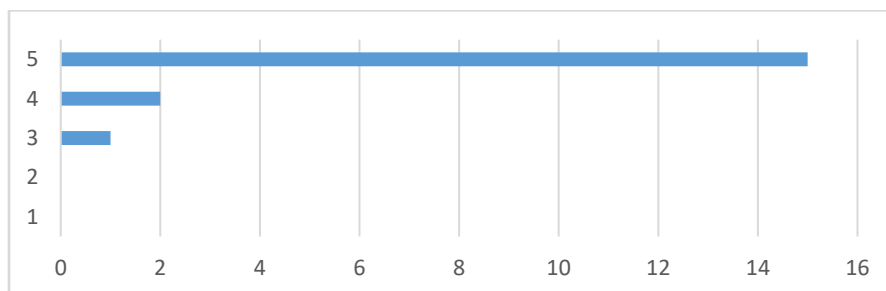


Figura 27: Gráfico de barras pregunta 2, Fuente: Juez H, (2020)

¿Hay relación de las prácticas con su carrera?

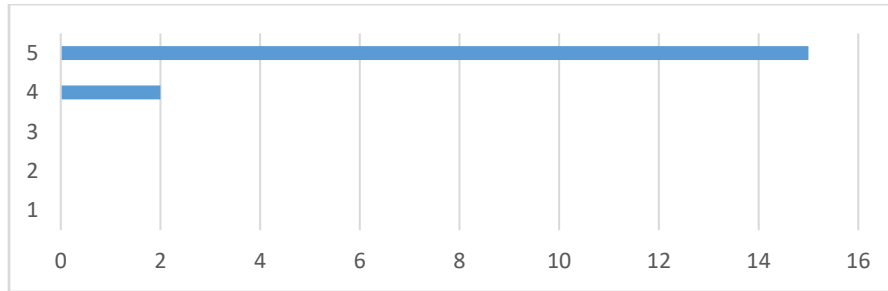


Figura 28: Gráfico de barras pregunta 3, Fuente: Juez H, (2020)

¿Se logra comprender más a fondo las temáticas de clase?

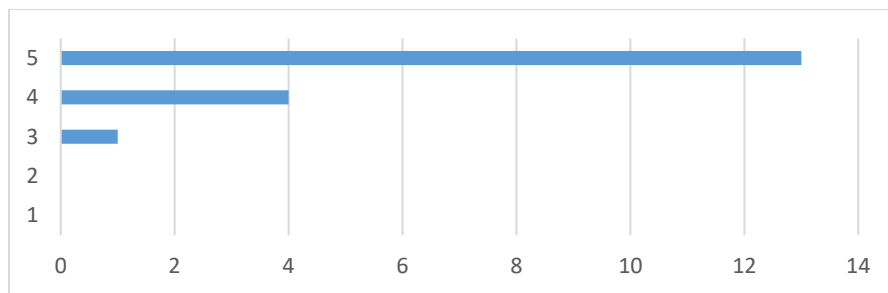


Figura 29: Gráfico de barras pregunta 4, Fuente: Juez H, (2020)

¿Hubo orden en las prácticas realizadas?

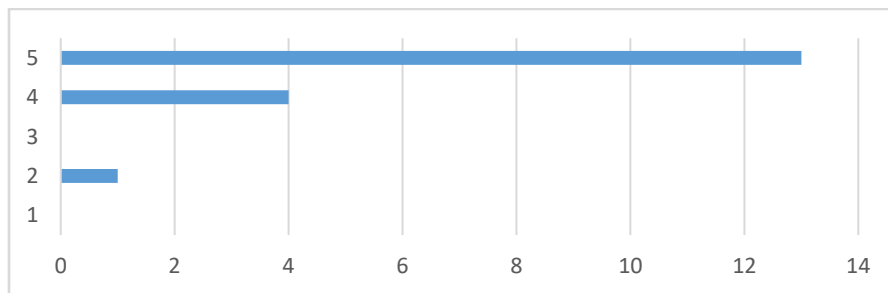


Figura 30: Gráfico de barras pregunta 5, Fuente: Juez H, (2020)

Con esta encuesta de satisfacción se concluye que para la primera prueba piloto se tuvo una aceptación general de las prácticas, se evidencia que entre los participantes hubo un buen número de estudiantes a las cuales les gustaría que se aplicaran estas prácticas en las materias de Ingeniería en Telecomunicaciones, y que pueden contribuir en gran manera a los conocimientos de los estudiantes que las realicen.

## Implementación de prácticas en aula con estudiantes

Se organizó un espacio de práctica en conjunto con los estudiantes del grupo de Antenas y Radioenlaces en la última semana del semestre, quienes apoyaron la realización de los ejercicios propuestos en las guías de laboratorio, con la aprobación del profesor de la asignatura, quien no pudo participar de la sesión. El grupo de estudiantes quedó muy conforme con la realización de ejercicios con esta clase de software, evidenciando que en algunas asignaturas es necesario un mayor desarrollo de tipo práctico, en el que puede haber otras estrategias de aprendizaje para los estudiantes, con entornos más dinámicos para las clases.

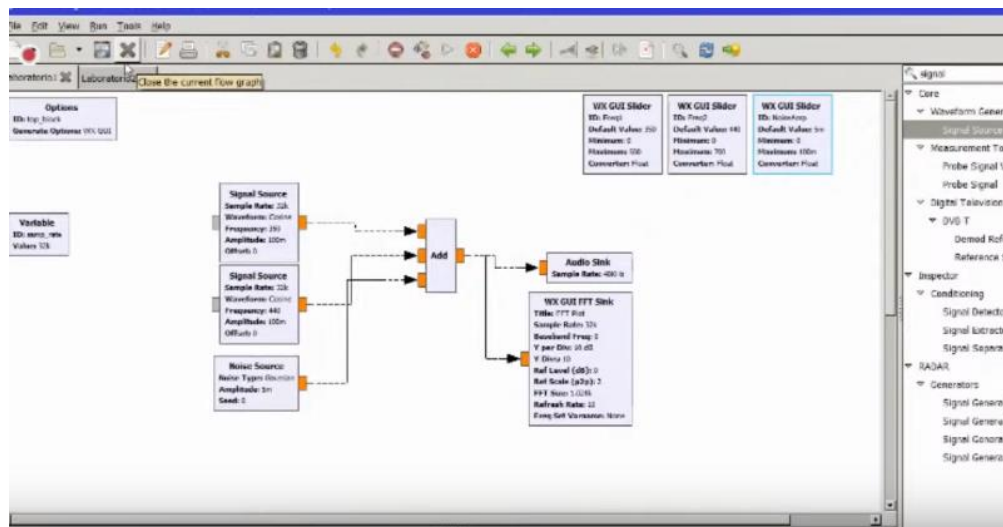


Figura 31: Prácticas en clase, Fuente: Juez H. (2020)

Se desarrolló inicialmente la sesión de presentación e introducción al software con los 12 estudiantes, la cual tuvo duración de 40 minutos aproximadamente; más adelante trabajaron de forma autónoma las prácticas y como entregable se obtuvo un informe de laboratorio por grupo, para un total de 3 informes de laboratorio. Solo un grupo tuvo la oportunidad de terminar las dos prácticas realizadas en el tiempo programado de un bloque de clase, mientras que los otros dos solo pudieron realizar una práctica, por lo cual se realizó un ajuste en los tiempos planteados para las prácticas. También se realizó una encuesta por grupo para verificar la efectividad de las prácticas, y se recibieron buenos comentarios por parte de los participantes (Anexo 2).

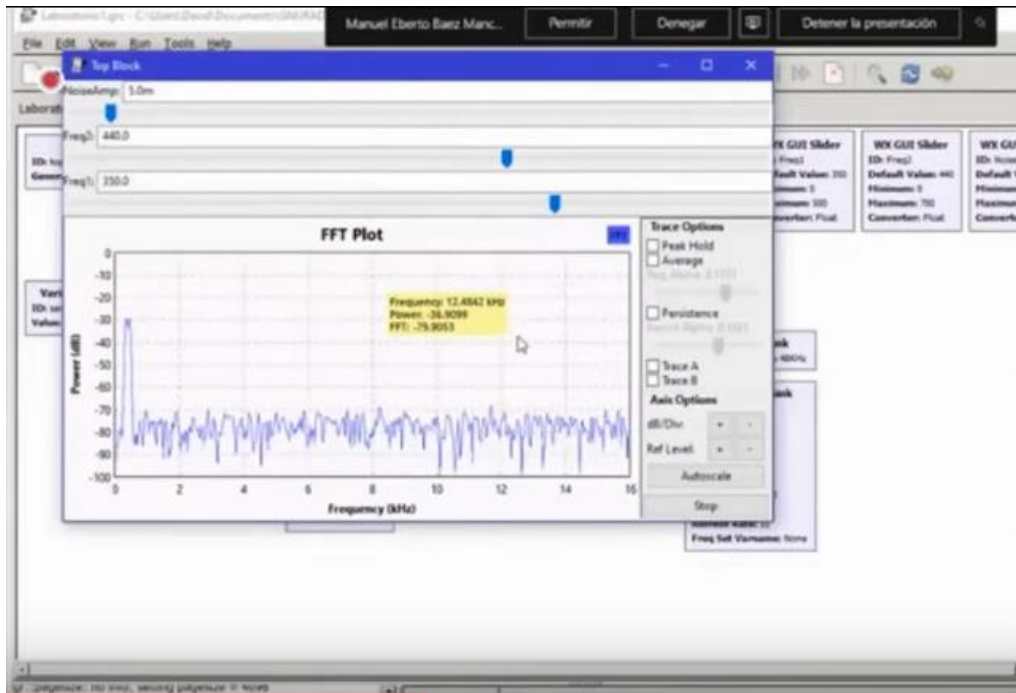


Figura 32: Práctica 1, Fuente: Juez H. (2020)

### Análisis de percepciones de las prácticas con estudiantes.

Se desarrollan las prácticas de laboratorio en un espacio de la clase “Antenas y Radioenlaces”, en donde 3 grupos de trabajo conformados por 4 estudiantes realizaron la práctica introductoria. Se evidenció una gran participación del grupo de clase a los cuales también se les hizo una encuesta de satisfacción por grupo. Los estudiantes indican que las prácticas con GNU Radio permiten entender conceptos muy importantes de los temas vistos teóricamente, que permite apropiarse de una mejor manera los conocimientos, entre otras opiniones.

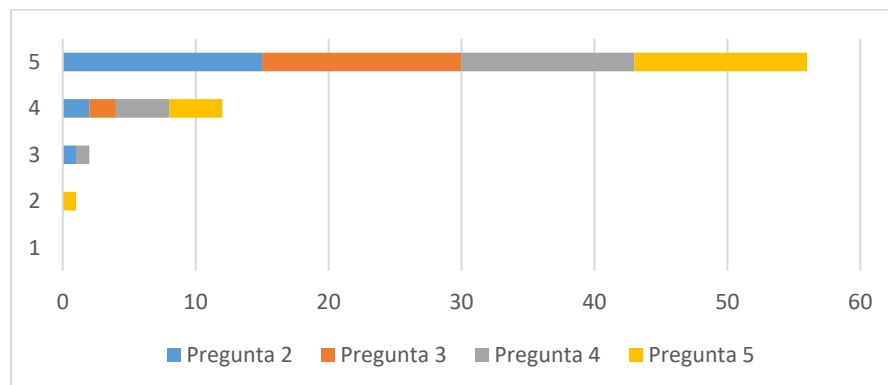


Figura 33: Estadísticas generales encuesta de satisfacción, Fuente: Juez H, (2020)

Dados los resultados obtenidos en las encuestas, es posible indicar que en general las prácticas cumplen con criterios de claridad conceptual, relación con el programa que se cursa, comprensión sobre temáticas y orden en el desarrollo.

#### 4.4 Fase de corrección y ajustes finales

Una vez terminados los documentos y habiendo sido probados con estudiantes, se procedió con la integración de las guías para el desarrollo de prácticas de laboratorio y la guía de preparación de entorno de trabajo al libro “Prácticas de Laboratorio - Uso de Radio Definida por Software SDR” [4], el cual tiene como objetivo brindar un espacio completo para prácticas de laboratorio integrando tanto software (GNU Radio) como hardware (SDR), con lo cual se pretende llevar al máximo la capacidad de los estudiantes para poner sus conocimientos teóricos en entornos reales y cotidianos en el mundo de la Ingeniería en Telecomunicaciones. Este trabajo permite complementar y ajustar el libro con las prácticas introductorias y de modulación, además de la guía de instalación del software y preparación del entorno de trabajo Figura 34.

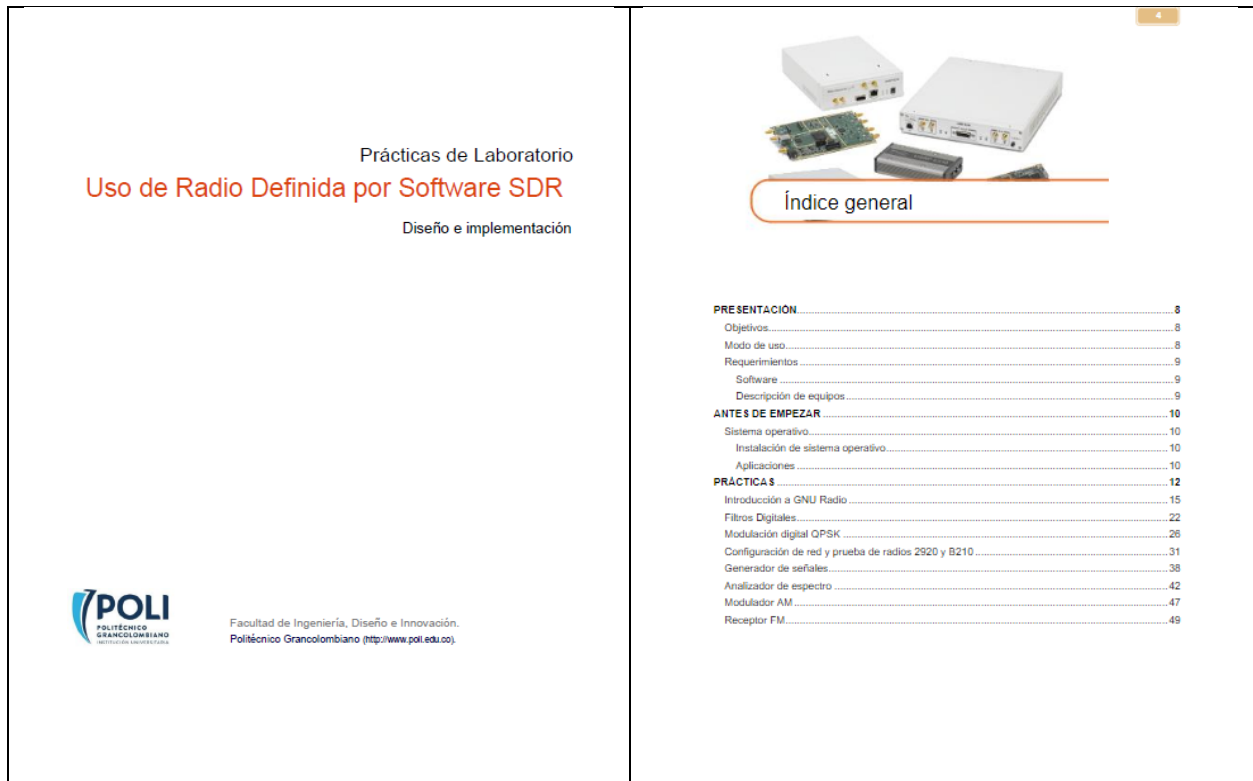


Figura 34: Portada y contenido del libro de prácticas con SDR, Fuente: Juez H. (2020)

Las prácticas se complementan con una encuesta de satisfacción para los sujetos que vayan a desarrollarlas, pues es muy importante evaluar los resultados posteriores a la realización de las prácticas, con esto aplicar acciones de mejora si es el caso y verificar si las prácticas de laboratorio funcionan de la manera adecuada para facilitar el aprendizaje de los estudiantes (Ver Anexo 7).

## RESULTADOS

Con base a los objetivos planteados en un principio, es posible mencionar los siguientes resultados:

- Se realizó la identificación de características de los SDR, así como las debidas configuraciones para poder utilizarlos con el software GNU Radio, aunque no se pudieron realizar prácticas junto con los SDR por el aislamiento preventivo, conllevando a que las actividades académicas se limitaran a prácticas virtuales y únicamente de software.
- Se logró realizar un documento para preparación de entorno de trabajo, en donde se indican los requerimientos mínimos para el uso de un equipo que trajo con software de GNU Radio, así como una práctica introductoria que permita la familiarización con el software en cuestión.
- Se presenta el diseño e implementación de tres prácticas de laboratorio con el software GNU Radio, las cuales aplican los conceptos vistos en materias como señales, fundamentos de telecomunicaciones, redes móviles, entre otros; y permiten un mayor apropiamiento del conocimiento por parte de los estudiantes que son próximos a ser ingenieros.
- Se realizó la divulgación del software GNU Radio, como software de virtualización de radio, en la semana TIC 2020 organizada por la universidad. Se realizaron prácticas de laboratorio con estudiantes del programa de Ingeniería en Telecomunicaciones y encuestas de satisfacción enfocadas hacia la utilidad de las prácticas y del software.
- Se presentaron las prácticas de laboratorio en dos ambientes, primero como una charla taller en la semana TIC, y más adelante como práctica de laboratorio en la materia de antenas y radioenlaces para estudiantes de Ingeniería en Telecomunicaciones, obteniendo un buen resultado en cuanto a la apropiación de conocimientos por parte de los estudiantes que participaron de estos eventos.

## CONCLUSIONES

De acuerdo al proceso realizado en el presente proyecto de grado, basado en los encuentros y encuestas a docentes, así como en los resultados de las percepciones posteriores a la aplicación de las prácticas, se confirma que estos ejercicios de laboratorio con software de virtualización de radio ayudan a los estudiantes a apropiarse de una mejor manera los conocimientos obtenidos en las clases teóricas. Se evidencia que es necesario la implementación de prácticas con este tipo de software, debido a que se debe apropiarse el conocimiento más allá de las clases teóricas. Finalmente, en estos tiempos de aislamiento es importante fomentar el uso de las prácticas mediante simulación por software.

### 6.3 Conclusiones Generales

1. Las prácticas con software como GNU Radio, los cuales permiten la simulación de entornos reales de telecomunicaciones son de gran ayuda para apropiarse el conocimiento adquirido en clases teóricas, debido a que nos permite una interacción real en ambientes controlados de simulación.
2. Se debe fomentar la realización de prácticas de laboratorio con los dispositivos existentes en el laboratorio, pues los radio definidos por software existentes y la utilización de software como GNU Radio son útiles a la hora de afianzar los conocimientos de los estudiantes de Ingeniería en Telecomunicaciones.
3. Es imprescindible apoyar prácticas de manera virtual y contar con herramientas que permitan seguir desarrollando prácticas de laboratorio.
4. Se requiere de mayor apoyo por parte de los docentes para las prácticas de laboratorio, y así hacer las clases de la asignatura más dinámicas y procurar de una mejor forma apropiarse el conocimiento de los estudiantes.
5. Se recomienda la instalación del Software GNU Radio en dispositivos portátiles, con el fin de poder llevar los laboratorios al aula, y no depender del acceso a los laboratorios para poder realizar las prácticas.



## **TRABAJO FUTURO**

Como trabajo futuro se plantea la realización de un enlace con radios definidos por software para el laboratorio de telecomunicaciones, integrando el software más adecuado (Ya sea GNU Radio, LabVIEW, entre otros) en dispositivo que permita una mayor movilidad del mismo, como lo puede ser una Raspberry con el fin de poder acceder a ellos por medio de red, y así mismo poder aprovechar de una mejor manera las capacidades de los SDR existentes en el laboratorio de la universidad y trabajar las prácticas en laboratorios virtualizados.

## REFERENCIAS

- [1] Telefonica Telecom, «Historia de las telecomunicaciones,» Telefonica, 2020. [En línea]. Available: <https://espacio.fundaciontelefonica.com/evento/historia-de-las-telecomunicaciones/>.
- [2] M. d. T. d. I. I. y. Comunicaciones, «MinTIC,» [En línea]. Available: <http://www.mintic.gov.co/portal/604/w3-article-6163.html>. [Último acceso: 25 09 2017].
- [3] Institución Universitaria Politecnico Grancolombiano, «PEI - Proyecto Educativo Institucional,» Politécnico Grancolombiano, 12 11 2013. [En línea]. Available: <https://www.poli.edu.co/sites/default/files/pei.pdf>. [Último acceso: 15 04 2020].
- [4] R. C. G. Vargas, Prácticas de Laboratorio - Uso de Radio Definida por Software SDR, Bogotá: Politécnico Grancolombiano, 2014.
- [5] F. F. d. Villegas, «SDR : EQUIPOS DE RADIO DEFINIDOS POR SOFTWARE,» 29 10 2008. [En línea]. Available: <http://www.ea1uro.com/sdr1/sdr.htm>.
- [6] C. D. Munoz, «Radio definido por software, una nueva opción en las comunicaciones espaciales,» 01 04 2017. [En línea]. Available: <http://haciaelespacio.aem.gob.mx/revistadigital/articul.php?interior=498>.
- [7] Psicología Online, «Taxonomía de Bloom: qué es, para qué sirve y objetivos,» 28 06 2019. [En línea]. Available: <https://www.psicologia-online.com/taxonomia-de-bloom-que-es-para-que-sirve-y-objetivos-4579.html>.
- [8] W. Tomasi, Sistemas de comunicaciones electrónicas, Pearson Education, 2003.
- [9] F. G. Stremmler, INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE COMUNICACION, Addison-Wesley Oberamericana S.A, 1993.
- [10] Ettus Research, «USRP SDR,» National Instruments, 2020. [En línea]. Available: <https://www.ettus.com/>. [Último acceso: 19 03 2020].

- [11] Trac Powered, «WARP Project,» WARP , 2020. [En línea]. Available: <https://www.warpproject.org/trac>. [Último acceso: 2020].
- [12] MediaWiki, «GNU Radio Wiki,» MediaWiki, 02 2020. [En línea]. Available: [https://wiki.gnuradio.org/index.php/Main\\_Page](https://wiki.gnuradio.org/index.php/Main_Page). [Último acceso: 2020].
- [13] J. P. M. Hidalgo, «Implementación de un sistema de comunicaciones basado en Software Radio,» Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, 2014.
- [14] MathWorks, «Matlab & Simulink,» MathWorks, 1994. [En línea]. Available: <https://la.mathworks.com/products/matlab.html>.
- [15] National Instruments, «LabView,» National Instruments, 2020. [En línea]. Available: <https://www.ni.com/es-co/shop/labview.html>. [Último acceso: 03 20 2020].
- [16] Free Software Foundation, «GNU Octave,» Free Software Foundation, 2020. [En línea]. Available: <https://www.gnu.org/software/octave/about.html>.
- [17] GOV.CO, «Software Público Colombia,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.softwarepublicocolombia.gov.co/es/node/1731>.
- [18] D. H. Schunk, Teorías del Aprendizaje, Naucalpán de Juárez: Pearson Education Mexico, 2010.
- [19] GESVIN, «Teorías del aprendizaje,» 13 01 2016. [En línea]. Available: <https://gesvin.wordpress.com/2016/01/13/teorias-sobre-como-aprenden-las-personas-infografia/>. [Último acceso: 01 05 2020].
- [20] Holos Consulting Chile, «11 métodos de aprendizaje, según Edgar Dale,» Holos Consulting, 2016. [En línea]. Available: <https://medium.com/@HolosConsulting/11-m%C3%A9todos-de-aprendizaje-seg%C3%BAAn-edgar-dale-e1982bb594f6>. [Último acceso: 2020].
- [21] D. R. K. B. S. B. Lorin W. Anderson, A taxonomy for learning, teaching, and assessing, Chicago: Universidad de Chicago, 2001.
- [22] National Instruments, «GNU Radio Downloads,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.gcndevelopment.com/gnuradio/downloads.htm>.

[23] National Instruments, «USRP B210,» Washington, 2018.

[24] J. Delors, «Los cuatro pilares de la Educación, La Educación encierra un tesoro,» UNESCO, París, 1998.

## ANEXOS

### 9.1 Encuesta a profesores

**Fecha de la encuesta:** 4/17/20 17:29:14

**Nombre del encuestado:** Ricardo Cesar Gomez Vargas

**Correo electrónico institucional:** rgomezva@poligran.edu.co

1. A continuación de una breve descripción de sus estudios y experiencia en el área de ingeniería

**Respuesta:** Ingeniero electrónico, con maestría en ingeniería electrónica y de computadoras, experiencia de 12 años en docencia 8 de los cuales se han desarrollado en el área de transmisión.

2. ¿En cuáles materias de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones se desempeña o se ha desempeñado como instructor?

**Respuesta:** Circuitos eléctricos I, Circuitos electrónicos II, Sistemas digitales y ensambladores, Fundamentos de telecomunicaciones, Medios de transmisión, Gestión de proyectos de telecomunicaciones

3. ¿Ha tenido problemas realizando clases de forma virtual? En caso de que su respuesta sea afirmativa ¿Cuáles?

**Respuesta:** Si, en los cursos de sistemas digitales y ensambladores.

4. ¿Qué piensa de implementar prácticas de laboratorio de ingeniería virtuales?

**Respuesta:** Es un requerimiento necesario, esto dada la tendencia de formación virtual y los altos costos de los equipos requeridos.

5. ¿Qué prácticas serían buenas para apoyar el desarrollo de los conocimientos adquiridos en las materias anteriormente nombradas?

**Respuesta:** En el área de telecomunicaciones se deben impartir prácticas en los siguientes temas:

Análisis espectral, modulaciones analógicas y digitales, radio-propagación, capacidad de canal. Vale la pena aclarar que no son prácticas puntuales sino temáticas que tienen una posibilidad de realización de prácticas

6. ¿Conoce o ha utilizado el software GNU Radio?

**Respuesta:** Si

7. ¿Conoce algún otro software parecido para realizar simulación, procesamiento de señales, o llevar a cabo prácticas de laboratorio para el desarrollo de prácticas de laboratorio en las asignaturas de Ingeniería en Telecomunicaciones?

**Respuesta:** Si, MATLAB (con el uso de Simulink), LabVIEW que también tiene una línea de SDR, CubicSDR.

8. ¿Ha realizado prácticas con radios definidos por software (SDR)? En caso de que su respuesta sea afirmativa por favor nombre algunas

**Respuesta:** Si, modulaciones analógicas y digitales, generador de señales, análisis espectral, construcción de radio receptor am.

9. ¿Qué piensa de llevar a cabo la integración de estos dispositivos para la realización de prácticas de laboratorio de Ingeniería en Telecomunicaciones en la institución?

**Respuesta:** Creo que es imprescindible.

Se evidencia que para el profesor Ricardo Gómez es importante la realización de prácticas de laboratorio, y que es importante plantear un modelo de prácticas para trabajar principalmente temas relacionados con materias como Fundamentos de telecomunicaciones, Señales y sistemas, entre otros; estas prácticas a desarrollar ayudan al entendimiento de los diferentes temas vistos en clase. Teniendo en cuenta que el profesor ya ha realizado prácticas con este software es un guía importante para el desarrollo del modelo planteado.

**Fecha de la encuesta:** 4/25/20 13:44:25

**Nombre del encuestado:** Franck Vladimir Munar Fontecha

**Correo electrónico institucional:** fmunar@poligran.edu.co

**1.** A continuación de una breve descripción de sus estudios y experiencia en el área de ingeniería

**Respuesta:** Directivo senior con más de quince años de experiencia en el sector de la tecnología, liderando los departamentos de Planeación, Ingeniería y Operaciones. Enfocado en la generación de valor al cliente, con una visión estratégica e innovadora, apasionado por entregar soluciones excepcionales. Experiencia en la gerencia de proyectos de alta inversión, en el seguimiento operativo y financiero. Con un fuerte espíritu para conseguir los objetivos, creando equipos multidisciplinarios de alto desempeño. Profundo conocimiento en tecnologías de vanguardia 4G/5G y en procesos de transformación digital. Experiencia en los mercados B2B y B2C.

- Maestría en Dirección de Empresas (EMBA), Escuela de Negocios INALDE
- Especialización en Teleinformática, Universidad Francisco José de Caldas, Bogotá
- Ingeniero Electrónico, Universidad Francisco José de Caldas, Bogotá

**2.** ¿En cuáles materias de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones se desempeña o se ha desempeñado como instructor?

**Respuesta:** Me he desempeñado como docente de las cátedras de Planeación, Despliegue y Oportunidades de Negocio redes Móviles y Antenas y Radioenlaces

**3.** ¿Ha tenido problemas realizando clases de forma virtual? En caso de que su respuesta sea afirmativa ¿Cuáles?

**Respuesta:** Si, la educación virtual significa un reto adicional para los docentes, considero que la principal dificultad es lograr la transformación (cambios de hábitos, apasionar, inspirar) en los estudiantes. Las herramientas son limitadas.

**4.** ¿Qué piensa de implementar prácticas de laboratorio de ingeniería virtuales?

**Respuesta:** Estoy totalmente de acuerdo. Con estas herramientas podríamos llegar a más estudiantes.

**5.** ¿Qué prácticas serían buenas para apoyar el desarrollo de los conocimientos adquiridos en las materias anteriormente nombradas?

**Respuesta:** Diseños Antenas, Simulación Sistemas de Comunicación, Simulación de patrones de radiación, Simulación cobertura móvil.

6. ¿Conoce o ha utilizado el software GNU Radio?

**Respuesta:** No lo conozco en detalle, me gustaría que lograría tener prácticas en Software de alto nivel como Matlab.

7. ¿Conoce algún otro software parecido para realizar simulación, procesamiento de señales, o llevar a cabo prácticas de laboratorio para el desarrollo de prácticas de laboratorio en las asignaturas de Ingeniería en Telecomunicaciones?

**Respuesta:** Matlab, Octave, R2, C++, LabVIEW.

8. ¿Ha realizado prácticas con radios definidos por software (SDR)? En caso de que su respuesta sea afirmativa por favor nombre algunas.

**Respuesta:** No he realizado.

9. ¿Qué piensa de llevar a cabo la integración de estos dispositivos para la realización de prácticas de laboratorio de Ingeniería en Telecomunicaciones en la institución?

**Respuesta:** Me parece que sería un complemento perfecto, para que los estudiantes asimilen en conocimiento.

El profesor Franck Munar conoce de software de licencia paga como LabVIEW, Matlab, R2, entre otros; los cuales tienen muchas funcionalidades iguales a las del software GNU Radio, nos indica que puede ser un software apropiado para la academia, en conjunto con LabVIEW para la ejecución de prácticas con SDR y otros. También nos indica de su interés por evidenciar prácticas con este nuevo software, puesto que es perfecto para la academia.



## 9.2 Entrevista grupal a estudiantes (Vía telefónica)

**Fecha de la encuesta:** 4/29/20 20:20:00

**Grupo:** Antenas y Radioenlaces

**Código del grupo:** B201-S359

**Cantidad de estudiantes:** 12

1. ¿Conocen o han trabajado prácticas de laboratorio en la universidad con SDR (Radios definidos por software)?

**Respuesta:** Hasta el momento no se ha realizado ninguna práctica de laboratorio con este tipo de herramientas, tampoco se tiene conocimiento exactamente del funcionamiento.

2. ¿Conocen de algún software de virtualización de radio o que permita la simulación de sistemas de comunicaciones?

**Respuesta:** Se tiene conocimiento de herramientas como Matlab – Simulink para realizar simulación de sistemas, pero no todos tenemos acceso ya que es un software de licencia paga, además el profesor Franck nos está enseñando a interactuar con otros softwares que nos permitan la simulación de patrón de radiación de antenas.

3. ¿Estaría bien realizar prácticas de laboratorio virtuales con las herramientas para SDR?

**Respuesta:** Si, los estudiantes evidenciamos que se requiere realizar más prácticas de laboratorio en las asignaturas de Telecomunicaciones, ya que para nosotros es importante poner en práctica nuestros conocimientos, además de poder utilizar todas las herramientas que nos pueda brindar la universidad para que nuestra formación como ingenieros sea lo más completa posible.

### 9.3 Práctica de laboratorio 1: Introducción a GNU Radio

#### Objetivos

1. Identificar los componentes de GNU Radio y sus características
2. Generar una simulación que permita aplicar conceptos básicos de ingeniería

#### Materiales

- ✓ Computador Portátil o PC de escritorio con las características requeridas
- ✓ Software GNU Radio

#### Preguntas previas

1. ¿Qué elementos componen una señal?
2. ¿Qué señales son audibles para el ser humano?
3. ¿Qué es una señal en banda base?
4. ¿Qué es la frecuencia de muestreo?

#### Exploración interface

Se debe ingresar al software GNU Radio de la siguiente manera:

**Linux:** Ya sea desde el panel de aplicaciones o desde la consola de Linux digitando el comando: *“gnuradio-companion”*.

**Windows:** En inicio de Windows, buscar la aplicación instalada *“gnuradio Companion”*

Una vez dentro del software, encontramos los componentes de la interfaz gráfica, como lo son el **Canvas**, es decir el área de construcción de diagramas de bloques, y la **lista de bloques**, en donde buscamos los bloques necesarios para realizar nuestro montaje.

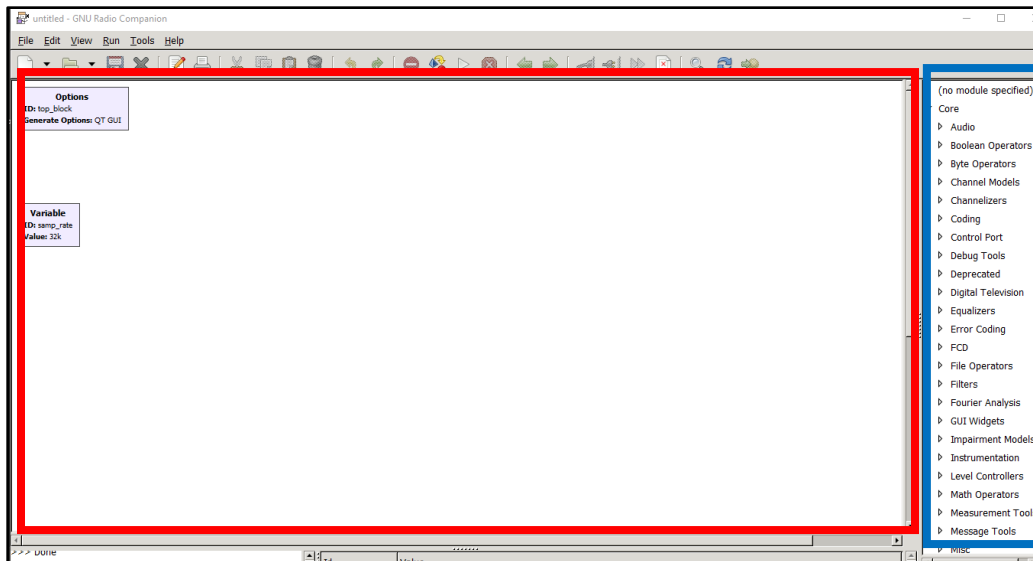


Ilustración 1: Página de inicio GNU Radio, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020)

Dirigirse al listado de bloques, y con la combinación de teclas “CTRL + F” ubicaremos los siguientes bloques:

- ✓ Signal source: Este bloque tiene la función de generar señales de cualquier tipo (Sinusoidales, cuadradas, triangulares, de sierra o DC). Se pueden ajustar los parámetros de la señal (Amplitud, frecuencia y fase) en la opción propiedades, como se muestra en la figura.

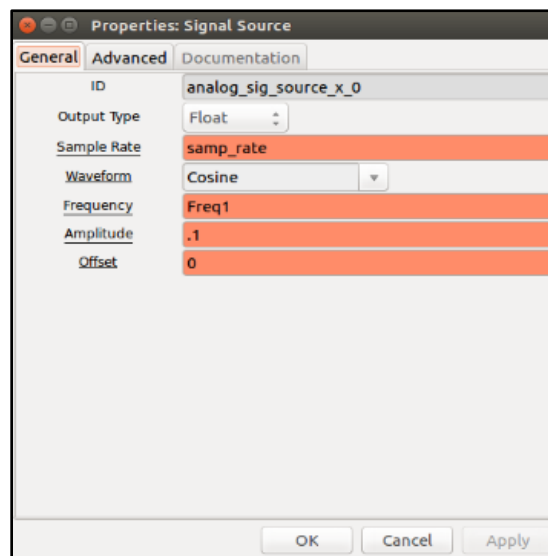
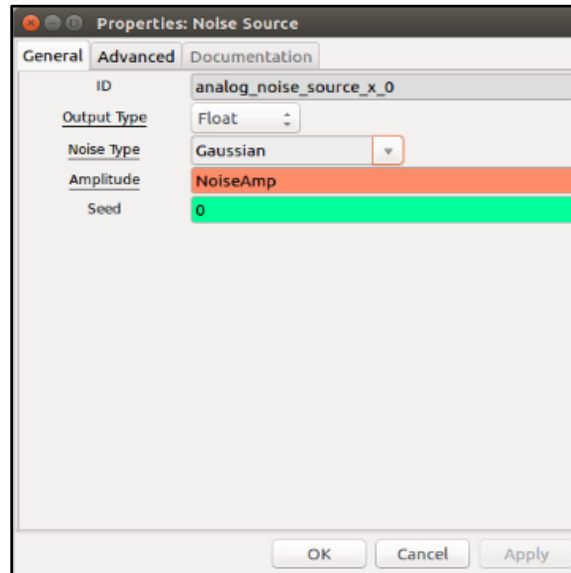


Ilustración 2: Bloque Signal Source, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020)

- ✓ Noise source: Este bloque actúa como generador de ruido, como bien sabemos el ruido es importante para la transmisión de señales. Se puede modificar el tipo de ruido y la amplitud en las propiedades de bloque, mostradas a continuación:



*Ilustración 3: Bloque Noise source, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020)*

- ✓ Add: Este bloque tiene la función de operación aritmética de suma, se pueden variar el número de entradas a sumar.
- ✓ Audio sink: Este bloque tiene como propósito dirigir la señal de salida del sistema a la tarjeta de audio del PC, es posible variar en propiedades el número de entradas y la frecuencia de muestreo, aunque es recomendable no modificar este último parámetro.
- ✓ WX GUI FFT Sink: Este bloque tiene la función de mostrar la respuesta en frecuencia del sistema, utilizando la transformada rápida de Fourier (FFT). En sus propiedades se pueden variar los parámetros como la frecuencia de muestreo, la frecuencia de banda base, entre otros. Para nuestro ejercicio se configurará el bloque de la siguiente manera.

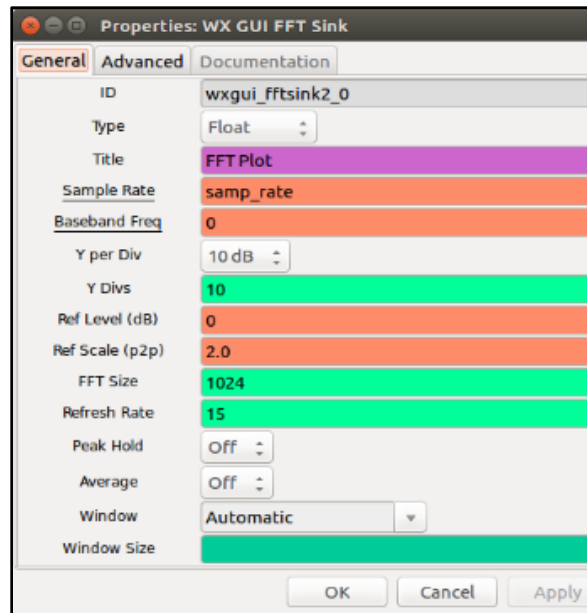


Ilustración 4: Bloque WX GUI FFT Sink, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020)

- ✓ WX GUI Slider: Este bloque tiene la función de generar variables en tiempo real sobre la simulación del sistema. Podemos configurar opciones como el ID o nombre de la variable, el valor inicial de la variable, valores mínimos y máximos y número de datos en un intervalo.

A parte de estos bloques tipo WX GUI, también existen en la aplicación los bloques QT GUI, No GUI (aplicación por CLI) y HIER BLOCK (Componentes Jerárquicos reutilizables)

## Montaje

1. Ubicar los bloques de manera semejante a como se muestra en la imagen a continuación:

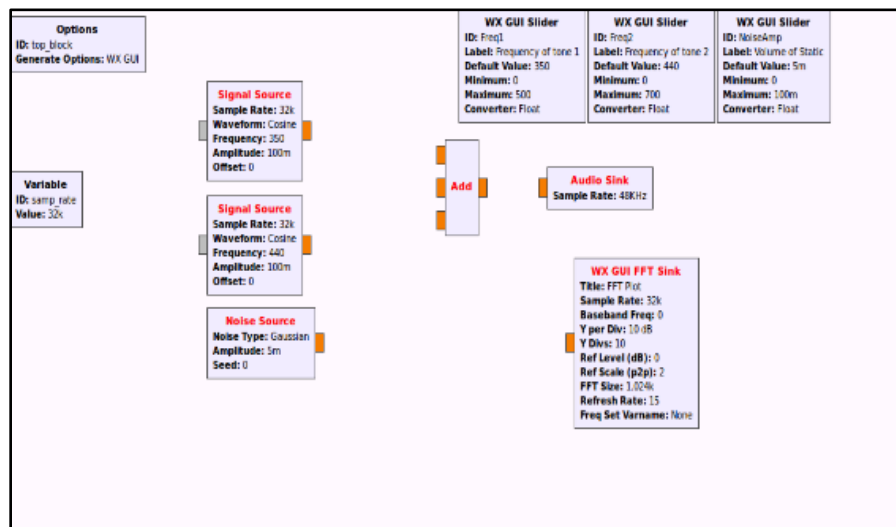


Ilustración 5: Ubicación de bloques, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020)

- Una vez tengamos los bloques necesarios, se deben conectar las respectivas entradas y salidas, seleccionando uno a uno los puertos y uniendo los bloques, que deben quedar de la siguiente manera:

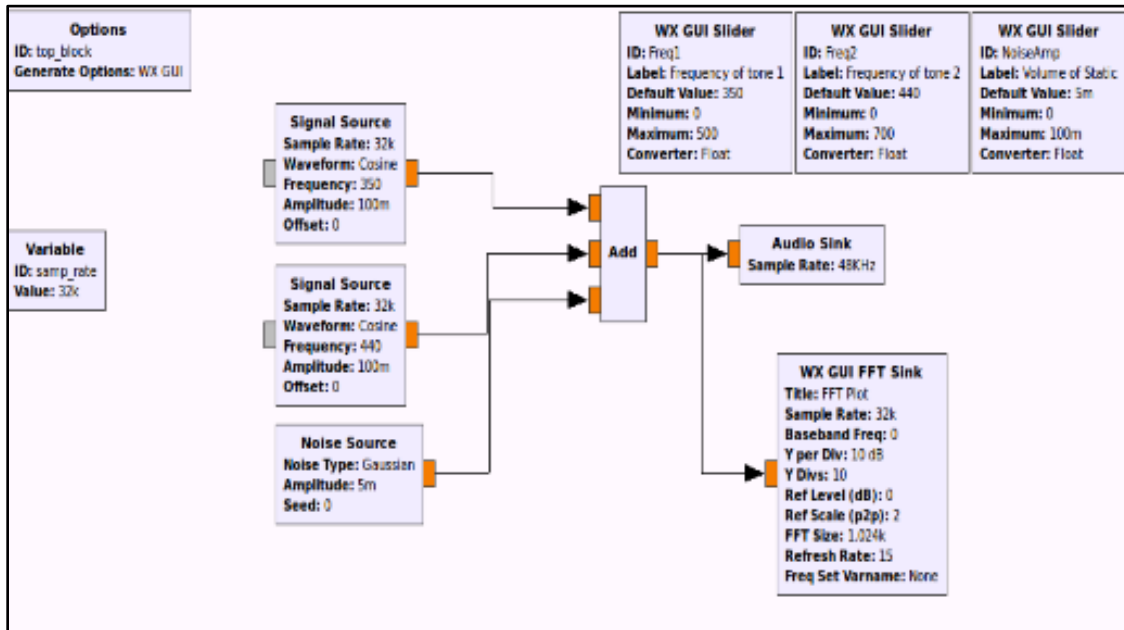


Ilustración 6: Conexión de bloques, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020)

Se evidencia en la imagen que la mayoría de los puertos están en color naranja, y otros en color gris; este color hace referencia al tipo de dato que está pasando por el conector, en el caso del color naranja son datos de tipo flotante, la siguiente imagen representa los tipos de datos usados por el software, y su respectivo color asignado.

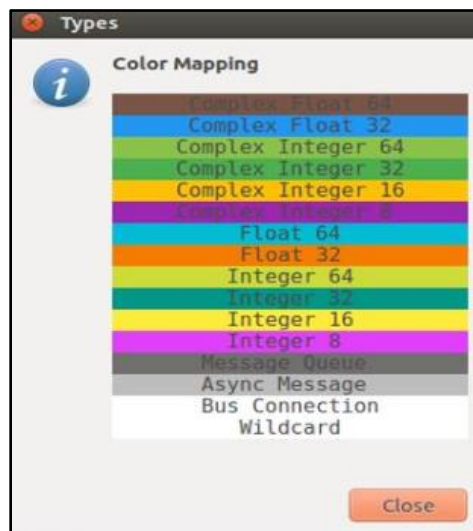


Ilustración 7: Código de colores según tipo de dato, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020)

3. Configurar los bloques con los siguientes valores:

- ✓ Signal source 1 y 2: Amplitud de 100m Frecuencia central: Freq1 (variable)
- ✓ Noise source: Amplitud = NoiseAmp (Variable), y Tipo de ruido Gaussiano
- ✓ Audio Sink: Frecuencia de muestreo 48KHz
- ✓ WX GUI SLIDER 1: ID Freq1, Default value: 350, Valor mínimo: 0 y máximo: 500.
- ✓ WX GUI SLIDER 2: ID Freq2, Default value: 440, Valor mínimo: 0 y máximo: 700.
- ✓ WX GUI SLIDER 3: ID NoiseAmp, Default Value: 5m, Valor mínimo: 0 y máximo: 100m.

Una vez finalizada esta configuración se debe ejecutar el programa, para esto nos solicita guardar los datos en una carpeta de libre elección por el usuario. El software genera entonces un archivo ejecutable de diagrama de bloques con extensión “.grc” y un archivo de Python de bloques donde está almacenada la información con extensión “.py”.

Al terminar la ejecución del programa nos encontramos con la siguiente ventana, donde se observa la gráfica de la señal resultante y 3 barras “de sonido”, las cuales son resultado de la variable Slider configurada como bloque. También gracias al bloque de Audio podemos escuchar la señal resultante, para esto es de vital importancia la frecuencia de muestreo configurada en el bloque, ya que si no es compatible con la tarjeta de audio del PC no será audible la señal.



Ilustración 8: Ejecución de programa, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020)

### **Actividades complementarias**

1. ¿Qué significan los colores de las entradas y salidas de los bloques?
2. ¿Cuál es el resultado de la ejecución del programa?
3. Modifique los valores de los bloques, tales como amplitud y frecuencia de las señales ¿Qué cambios observa en el resultado final (tanto gráfica como audio)?
4. Revise y explore los bloques tipo GUI de interface mencionados, ¿Para qué sirve cada uno?
5. ¿En qué se diferencia un bloque Signal source de un Noise source?



## 9.4 Práctica de laboratorio 2: Filtros digitales

### Objetivos

- ✓ Implementar un sistema con diversos filtros aplicados a señales análogas
- ✓ Aprender conceptos obtenidos en las clases teóricas sobre filtros digitales

### Materiales

- ✓ Computador Portátil o PC de escritorio con las características requeridas
- ✓ Software GNU Radio

### Preguntas previas

¿Cuáles son los filtros más comunes?

¿En qué se diferencia un filtro pasa banda de un filtro rechaza banda?

¿Qué aplicaciones tienen los filtros en el área de Telecomunicaciones?

### Desarrollo

Realizar el siguiente montaje de diagrama de bloques, con el cual veremos el funcionamiento de un filtro pasa altos.

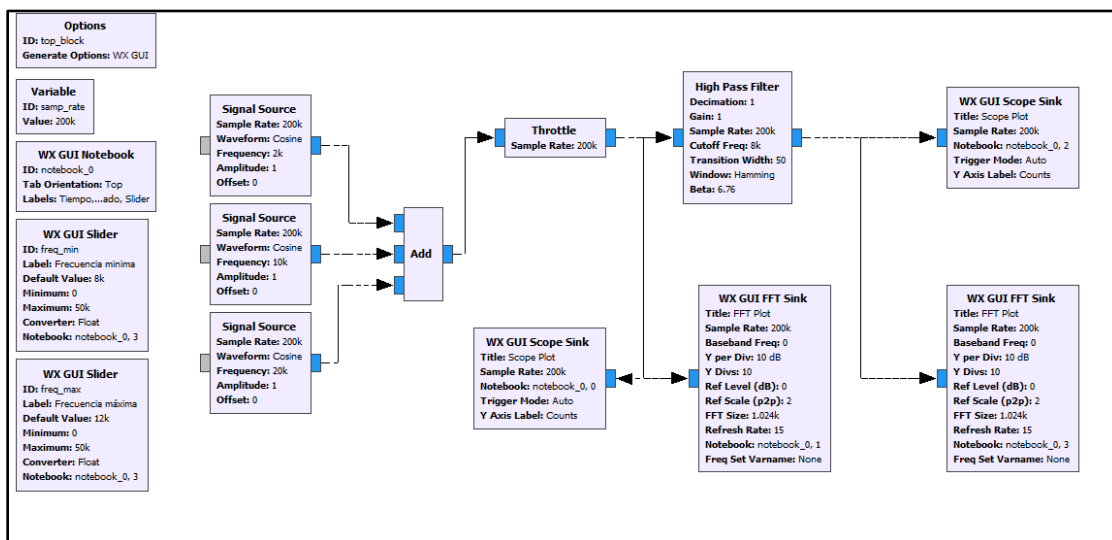


Ilustración 9: Canvas filtro pasa altos, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020)

Inicialmente configurar los siguientes valores para cada bloque, esto con el fin de identificar cómo funciona el montaje y la conexión entre los diferentes bloques en el canvas de tipo WX GUI:

- **Signal source:** Se tienen 3 bloques de fuente de señal, los cuales van a ser sumados, se deben configurar frecuencias diferentes. Para este ejemplo se configuran 2KHz, 10KHz y 20KHz, con una amplitud de 1 y el tipo de señal coseno, para el primer ejemplo configurar las tres señales del mismo tipo.
- **Add:** Se usa el bloque de suma para sumar las tres señales, configurar con 3 input y 1 output.
- **Variable:** Para este bloque configurar una frecuencia de 200KHz.
- **WX GUI Notebook:** Nos permite graficar en diferentes pestañas, ya que se va a graficar tanto en dominio de tiempo como en dominio de frecuencia, si no se configura de esta manera en la simulación no nos va a permitir graficar todas las señales.

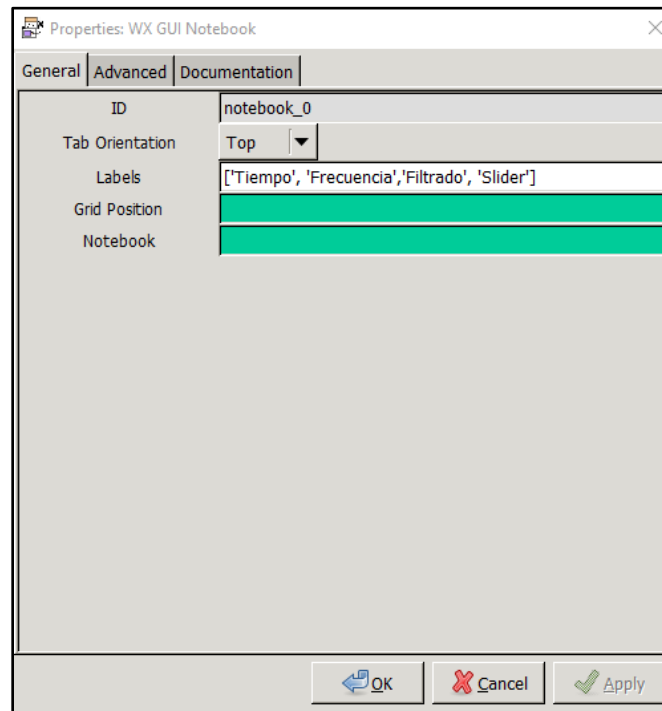
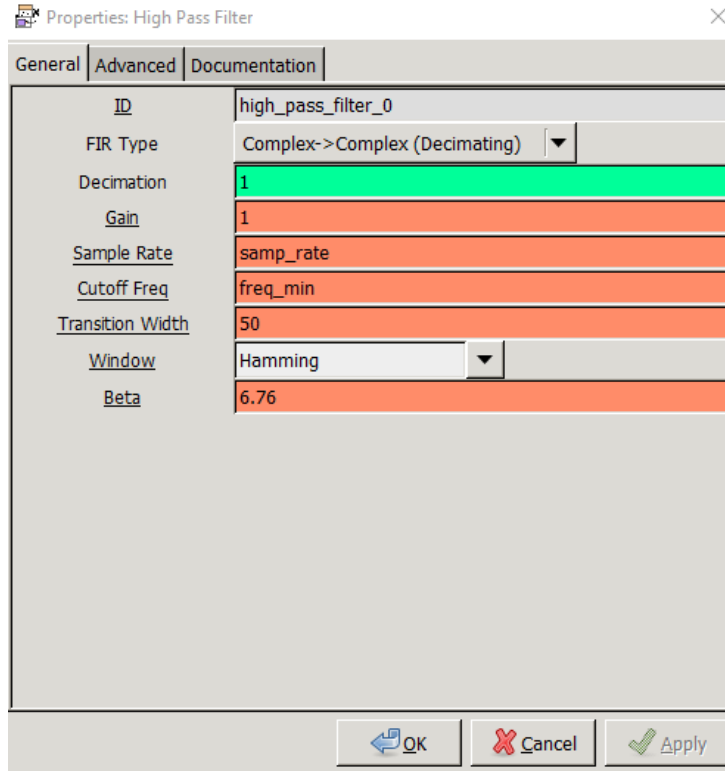


Ilustración 10: Bloque Notebook, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020)

- **High Pass Filter:** Este bloque es nuestro filtro digital, el cual se configurará inicialmente con una frecuencia de corte de 8KHz, aunque cabe aclarar que esta frecuencia va a ser variable a través de un bloque Slider.



- **WX GUI Slider:** Con este bloque se varía la frecuencia, se debe configurar un valor por defecto (8KHz) y los valores máximos y mínimos que podría tomar la frecuencia de corte del filtro.

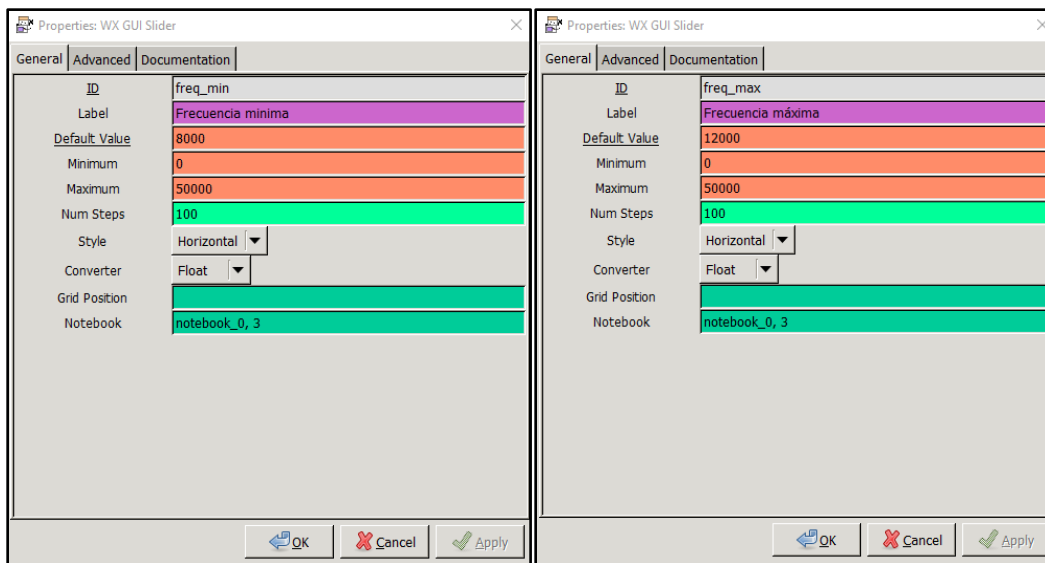


Ilustración 11: WX GUI Slider 1

Ilustración 12: WX GUI Slider 2

Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020)

Los demás bloques se dejan configurados por defecto, solo se debe añadir en el apartado *notebook* la inscripción respectiva (*notebook\_0*, 0 por ejemplo), para que se grafiquen en las diferentes pestañas al ejecutar la simulación como lo vemos en la siguiente imagen:

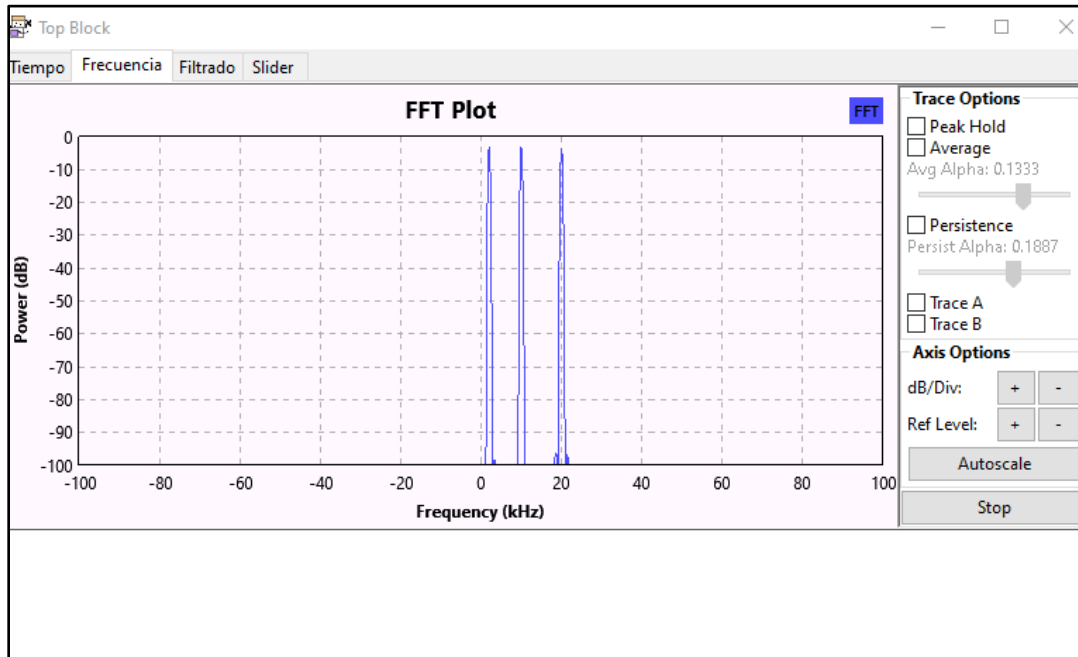


Ilustración 13: Ejecución de simulación, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020)

Se evidencia en las dos primeras pestañas la gráfica de las señales sumadas y su espectro de potencia, y en las dos siguientes pestañas la gráfica de las señales después del filtro y su espectro de potencia, para este caso debe desaparecer la frecuencia de 2Khz puesto que el filtro deja pasar frecuencias de 8KHz en adelante.

Ahora cambie el bloque de filtro por un “*Low Pass Filter*” y configurar en frecuencia de corte el ID “*freq\_max*”, evidencie lo que ocurre con las frecuencias en la simulación.

### Cuestionario de aprendizaje:

1. Ubique en conexión serial los filtros pasa alto y pasa bajo implementados anteriormente, ¿Cuál es el resultado de la simulación? ¿Qué frecuencias tiene este filtro nuevo?
2. Ahora cambie los dos filtros por el filtro “*Band Reject Filter*”, ¿Con qué frecuencias se elimina totalmente la señal de 10KHz? ¿Cómo evidenció su resultado?
3. Cambiar el tipo de señal de entrada por una señal cuadrada ¿Qué se evidencia en la simulación? ¿Cómo se explica en la teoría el fenómeno sucedido?

## 9.5 Práctica de laboratorio 3: Modulación digital QPSK

### Objetivos

1. Implementar un sistema de modulación digital QPSK para identificar los diferentes componentes vistos en la teoría
2. Aprender diferentes inconvenientes que se pueden tener en un sistema de telecomunicaciones real

### Materiales

- ✓ Computador Portátil o PC de escritorio con las características requeridas
- ✓ Software GNU Radio

### Preguntas previas

1. ¿Qué tipo de modulaciones digitales existen?
2. ¿Qué se entiende por plano IQ en telecomunicaciones?
3. ¿Qué tipos de modulaciones son usadas en los sistemas de comunicación móviles?
4. ¿Por qué usar modulación digital en vez de modulación analógica?

### Desarrollo

En esta práctica se va a realizar el siguiente montaje de bloques, correspondientes a un ejercicio de modulación digital tipo QPSK. Este modelo de bloques nos permite apreciar los símbolos sobre un plano IQ. También utilizamos la simulación de un canal real, ruido o interferencias existentes y sincronización entre los radios.

Los bloques para utilizar son los siguientes:

- Bloque de variable
- Bloque Random Source
- Constellation modulator
- Channel Model
- CMA Equalizer
- QT GUI Tab Widget
- QT GUI Range

- Throttle
- Polyphase Clock Sync
- QT GUI Constellation Sync
- Costas Loop
- Constellation Rect. Object

Se debe realizar un montaje siguiendo el orden del siguiente diagrama de bloques, en donde se ubican los bloques más importantes para la comunicación. Adicionalmente se presenta en la siguiente figura la ubicación de los demás bloques en el Canvas del programa GNU Radio.

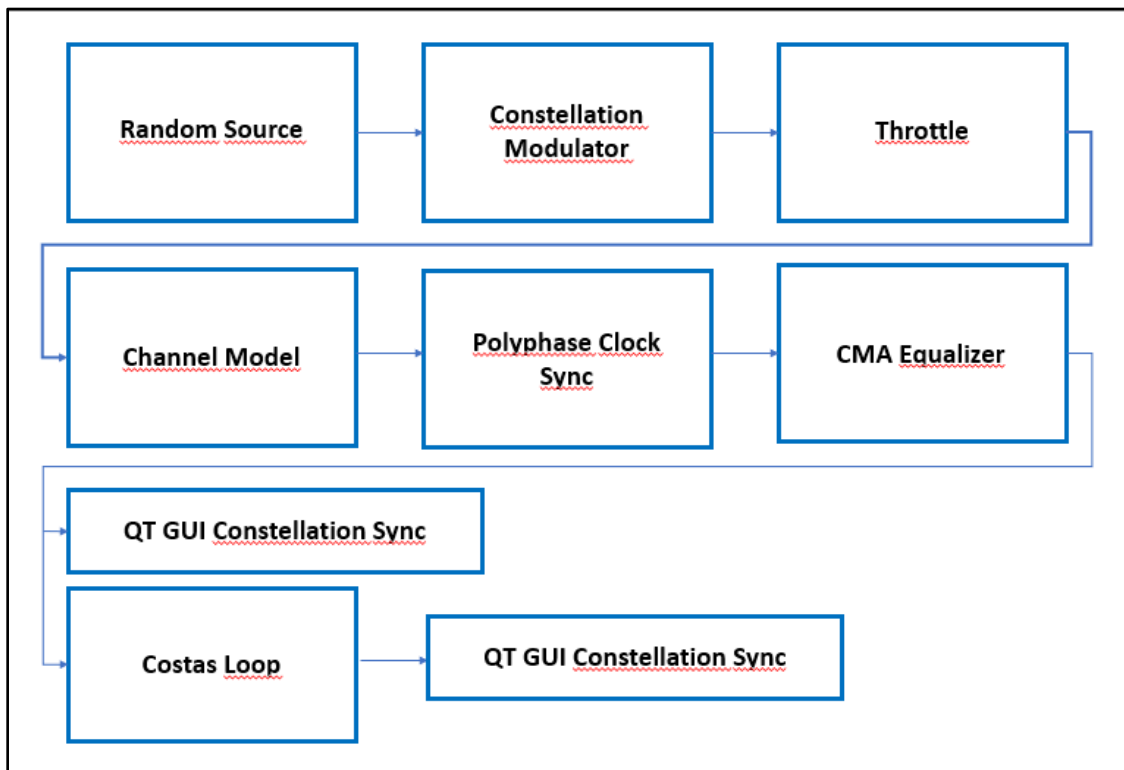


Ilustración 14: Diagrama de bloques, Fuente: Juez H, (2020)

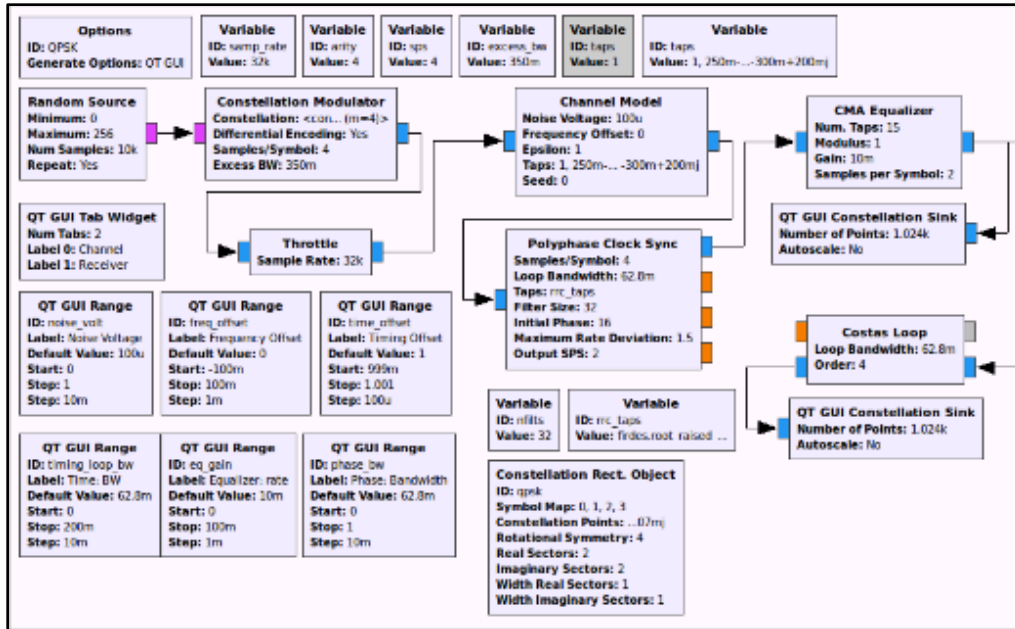


Ilustración 15: Canvas, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020)

A continuación, la explicación de cada módulo:

- Random source: Genera un “tren” de pulsos aleatorios.
- Constellation Modulator: Asigna niveles definidos de modulación para el modulador correspondiente (BPSK, QPSK, 8PSK).
- Channel Model: La señal modulada entra en este canal de transmisión, donde se simula el ruido AWGN y otros problemas comúnmente presentados comúnmente en un sistema de telecomunicaciones. Si se observa la información en este punto se puede apreciar dispersión en los datos sobre la cuadratura (IQ).

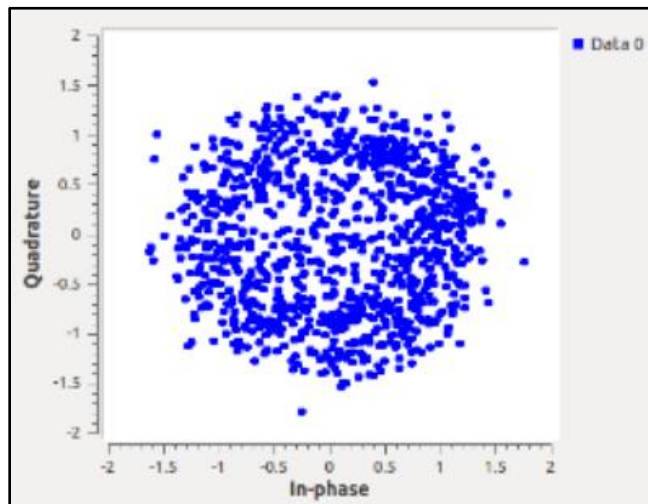


Ilustración 16: Cuadratura sin sincronismo, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020)

- Polyphase Clock Sync: Bloque de sincronismo, cumple con recuperar la señal de reloj entre los dispositivos transmisor y receptor.
- CMA Equalizer: Ecuáliza la señal después de sincronizada, para que el sistema pueda “escuchar” mejor las señales que ingresan.
- Costas Loop: Sincroniza según la modulación que corresponda, el valor del bloque cambia según la modulación implementada: BPSK = 2, QPSK = 4, 8PSK = 8.

Algunos bloques tipo variable son configurados con valores que son tanto reales como imaginarios, se muestra a continuación se muestran los valores para la configuración de estos:

Constellation Rect. Object = [0.707+0.707j, -0.707+0.707j, -0.707-0.707j, 0.707-0.707j]

Variable “taps” = [1.0, 0.25-0.25j, 0.50 + 0.10j, -0.3 + 0.2j]

Variable “rrc\_taps” = firdes.root\_raised\_cosine(nfilts, nfilts, 1.0/float(sps), 0.35, 11\*sps\*nfilts)

Después de que la señal pasa por estos bloques, podemos evidenciar el resultado en el diagrama IQ:

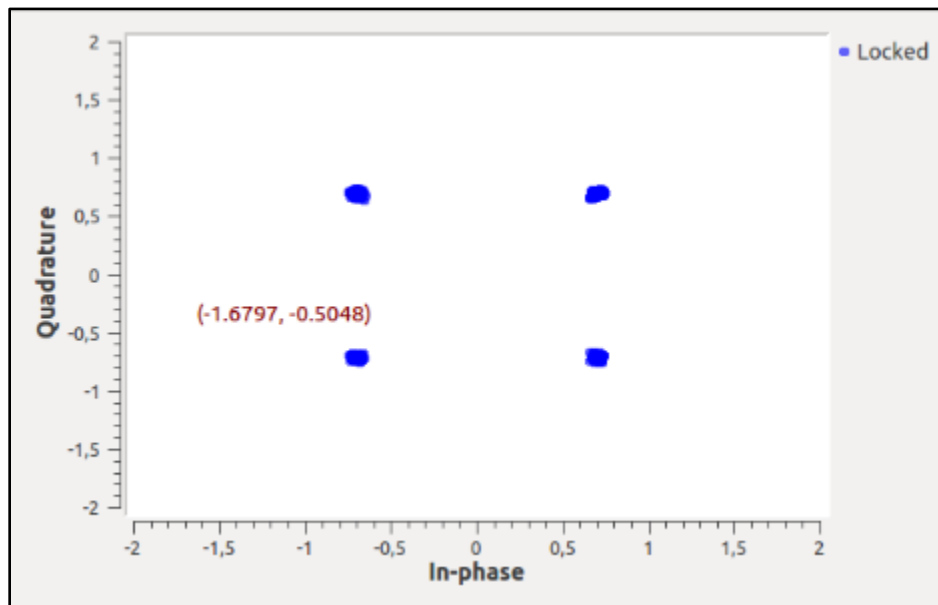


Ilustración 17: Diagrama IQ, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020)



### Cuestionario de aprendizaje:

4. ¿Para qué necesitamos un circuito de sincronismo reloj de señal?
5. ¿Cuál es el objetivo de ecualizar la señal?
6. ¿Qué es el ruido AWGN?
7. Al ejecutar el programa aparecerá la ventana de la imagen a continuación, modifique los valores Noise Voltage, Frequency Offset, y Time Offset; ¿Qué se evidencia en el diagrama IQ? ¿Cómo interpretar estos cambios?

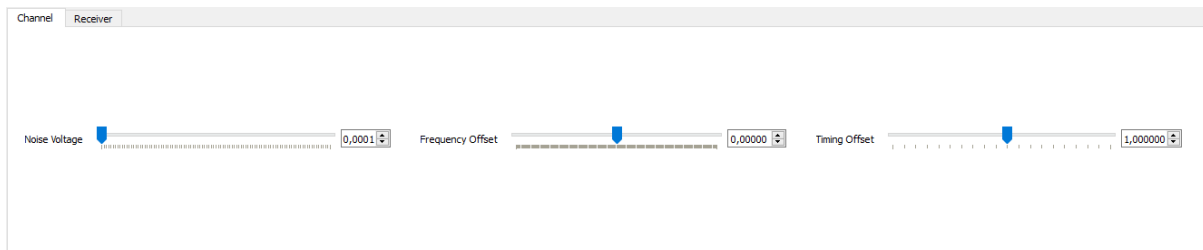


Ilustración 18: Controles de simulación, Tomado de GNU Radio. Juez H, (2020)

## 9.6 Guía de preparación entorno de trabajo

### Introducción

En este documento se presenta una guía de instalación y configuración de las diferentes herramientas que se usarán en el desarrollo de las diferentes prácticas, garantizando lo que denominamos el entorno de trabajo para nuestras prácticas a desarrollar.

### Requerimientos previos

Se debe contar con un equipo que tenga la suficiente capacidad para la ejecución del programa, con mínimo 25GB libres en disco duro, 2GB de RAM y procesador a 2GHz de 2 núcleos. El sistema operativo puede ser tanto Windows como Linux, en nuestro caso utilizamos Linux Debian v8.11, realizar la instalación ya sea en un equipo o en una máquina virtual configurada con acceso a las conexiones físicas del equipo SDR.

### Instalación GNU Radio

#### Linux:

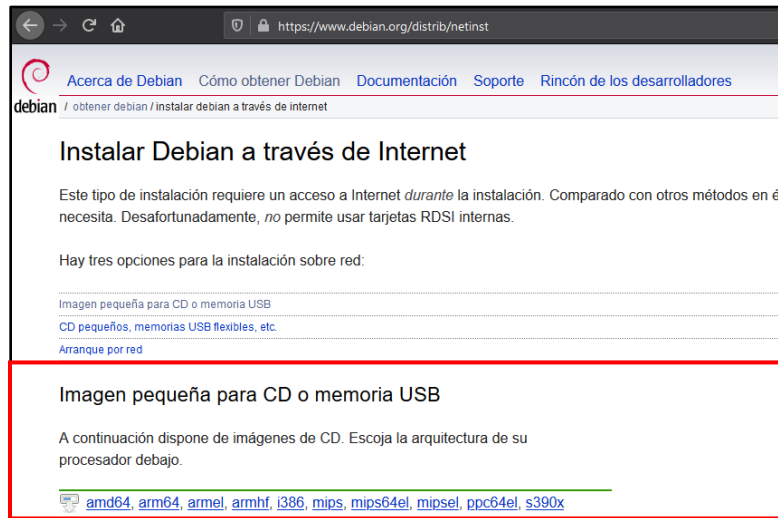
Para este ejemplo se realizará la configuración en una máquina virtual creada en VirtualBox.

- Descargar VirtualBox última versión de la página oficial de Oracle: <https://www.virtualbox.org/>



Ilustración 19:Virtual Box, Tomado de VirtualBox. Juez H, (2020)

- Descargar imagen de disco para instalación de Linux en la página del proyecto Debian <https://www.debian.org/distrib/netinst>.



*Ilustración 20: Proyecto debian, Tomado de Debian Project. Juez H, (2020)*

- Realizar la instalación del sistema operativo y ejecutar las siguientes líneas para instalación de gnu radio:
 

```
sudo nano /etc/apt/ sources.list
deb http://httpredir.debian.org/debian/ jessie main contrib non-free
sudo apt -get update
sudo apt -get upgrade
sudo apt -get install gnuradio
```
- Una vez terminado el proceso de instalación Podemos ejecutar el programa desde el menú de aplicaciones.

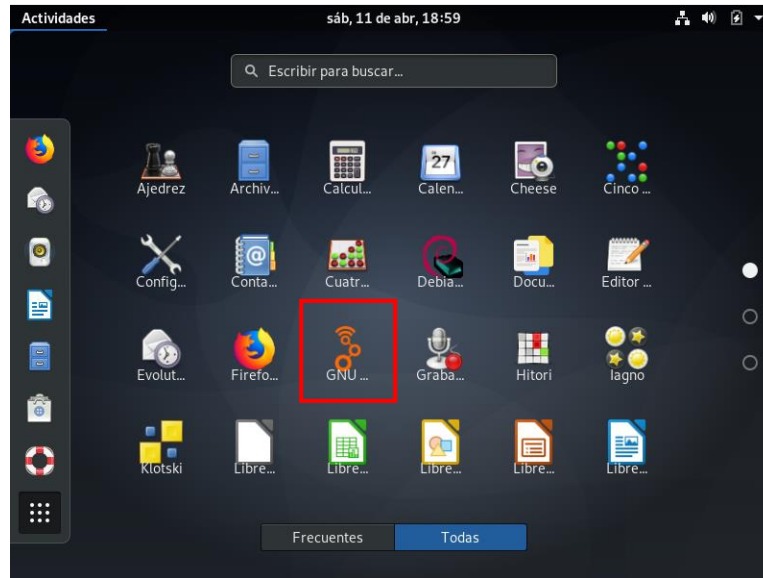


Ilustración 21: Ejecución en Debian, Fuente: Juez H, (2020)

## Windows:

Para este ejemplo se realizará la configuración en un equipo con sistema operativo Windows 10, tener en cuenta que para esta instalación previamente debió instalar el programa Java.

- Ingresar al explorador de su preferencia y buscar “*descargar gnu radio software*”
- Dar click en el link oficial de descargas de la página “*GNURadio 3.7.x Win64 Binaries – Download*”, lo que nos redirigirá al link de GNC development para descarga de freeware <http://www.qcndevlopment.com/gnuradio/downloads.htm>
- En el apartado “Windows Installer” escoger la versión más actualizada según el Kernel de procesador que se tenga

GNURadio 3.7.x Win64 Binaries - Download

[Home](#)

Please ensure you pick the correct column for your CPU. If in doubt, choose the 'Any CPU' column as it will work on any machine. The Haswell/AVX2 column will work marginally faster on the right machine, but will crash on other CPUs.

If you intend to debug, the symbol files for release and debug versions are available at the 'pdb's' link. Normal users will not need these. You'll need to add the directory you unpack them to MSVC symbol search directory list.

I do not plan on releasing a 32-bit version since I believe there will be little demand from the average GNURadio user. And devices unable to support 64-bit are probably better off using the Linux version. If there is a driving use case I haven't thought of, please contact me via the mailing list.

The "source" links below will not link directly to the original dependency source code. The 'Patch/Build Wrapper' column has only code mods needed to get the original to work in these scripts.

Complete GNURadio 3.7.9.2 64-bit Packages	64-Bit Any CPU	64-bit HASWELL+ (AVX2) CPU	64-Bit Any CPU (Debug)	Patch/Build Wrapper (if req'd)	Lic
Windows Installer	<a href="#">v3.8.0.0/v1.7 BETA</a> <a href="#">v3.7.13.5/v1.6 (pdb's)</a> <a href="#">v3.7.13.4/v1.5 (pdb's)</a> <a href="#">v3.7.12/v1.4 (pdb's)</a> <a href="#">v3.7.11.1/v1.3 (pdb's)</a> <a href="#">v3.7.11/v1.2</a> <a href="#">v3.7.10.1/v1.1.2</a> <a href="#">v3.7.9.2/v1.1.1</a>	<a href="#">v3.7.13.5/v1.6</a> <a href="#">v3.7.13.4/v1.5</a> <a href="#">v3.7.12/v1.4</a> <a href="#">v3.7.11.1/v1.3</a> <a href="#">v3.7.11/v1.2</a> <a href="#">v3.7.10.1/v1.1.2</a> <a href="#">v3.7.9.2/v1.1.1</a>	<a href="#">v3.7.13.5/v1.6 (pdb's)</a> <a href="#">v3.7.13.4/v1.5 (pdb's)</a> <a href="#">v3.7.12/v1.4 (pdb's)</a> <a href="#">v3.7.11.1/v1.3 (pdb's)</a>	NA	
Level 2 Build From Source (GNURadio source + all dependencies as binaries)		<a href="#">github repo</a> (Choose Option 2 on run)		NA	
Level 1 Build From Source (100% source wrappers)		<a href="#">github repo</a> (Choose Option 1 on run)		NA	

Ilustración 22: Link de descarga, Fuente: Juez H, (2020)

- Ejecutar el instalador descargado y seguir las instrucciones de instalación



Ilustración 23: MSI Installer, Fuente: Juez H, (2020)

- Una vez instalado podremos ejecutar el programa desde el menú de aplicaciones de Windows

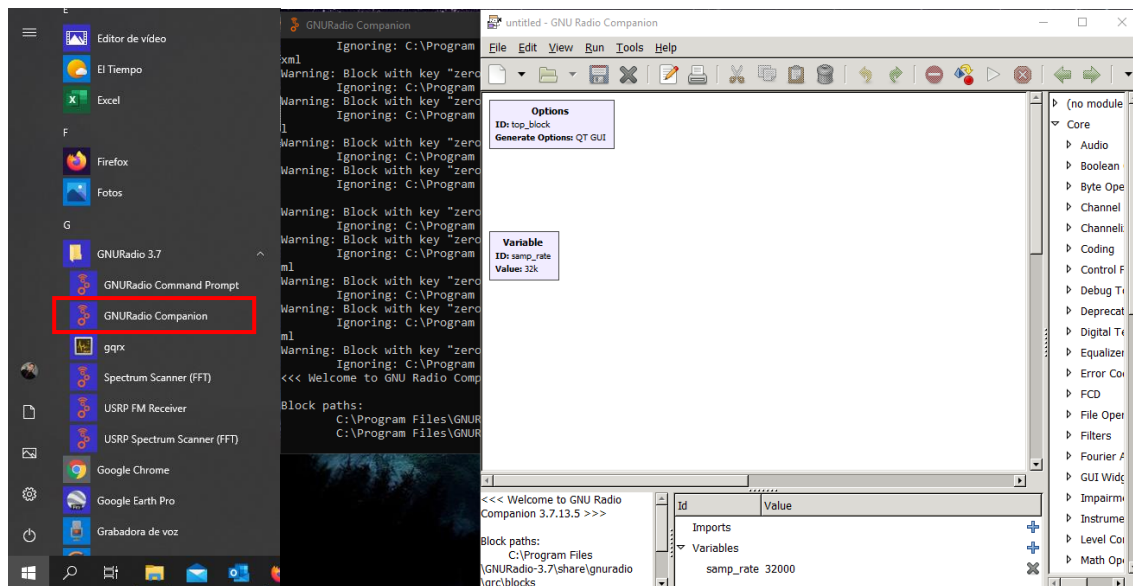


Ilustración 24: Ejecución en Windows, Fuente: Juez H, (2020)

## Aplicaciones

El software GNU radio puede ser utilizado para simulación de sistemas de comunicación inalámbrica de largo alcance, también se puede optimizar con él los sistemas de radio definido por software (SDR), Sistemas de radiofrecuencia, entre otros.

## Pruebas

Podemos observar elementos como el Canvas, las listas de bloques, la ventana de registros del software y bloque de opciones, entre otras partes del software, evidenciamos el funcionamiento del software para simulación. También se puede integrar con hardware para hacer radios definidos por software, sistemas de comunicaciones activos, entre otros.

## 9.7 Encuesta de satisfacción prácticas

Muchas gracias por su colaboración llenando esta encuesta, de la cual no se recogerán datos personales y los datos de sus respuestas serán usados para documentación del proyecto de grado en curso, con lo cual se busca evaluar los diferentes aspectos de las prácticas de laboratorio propuestas para la facultad de ingeniería.

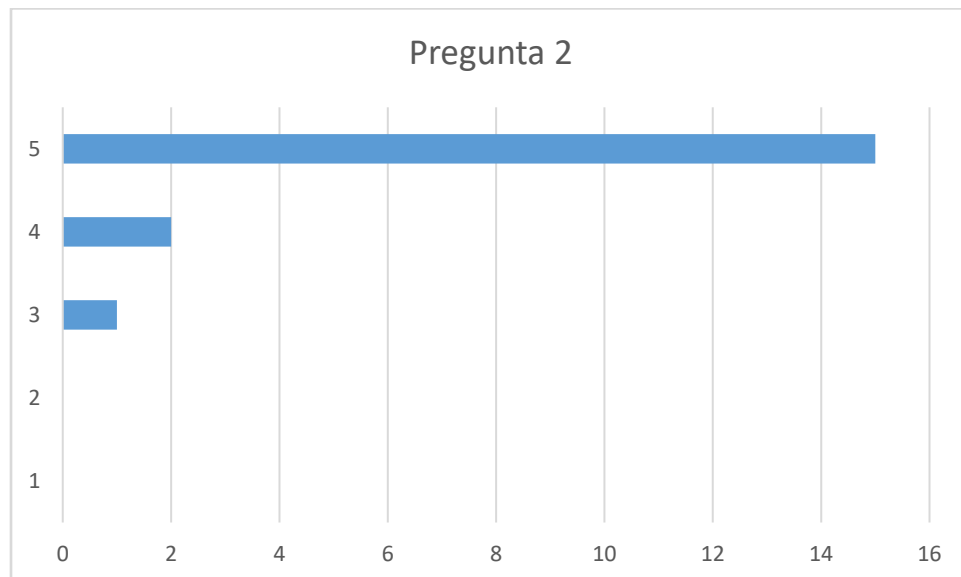
**Número de encuestados: 18**

1. ¿Podrían prácticas como esta ayudar a mejorar el aprendizaje de los temas vistos en la carrera de telecomunicaciones? Justifique su respuesta

Para esta pregunta abierta, en la mayoría de los casos hubo aceptación de las prácticas, los estudiantes indican su conformidad con el modelo planteado e indican que es muy importante la realización de este tipo de prácticas para su desarrollo específicamente en la Ingeniería de Telecomunicaciones.

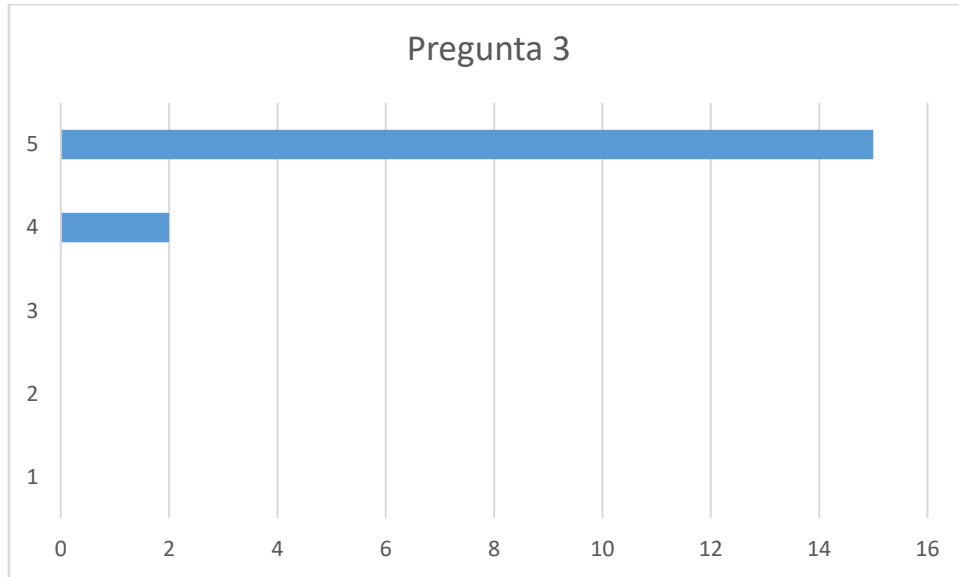
2. De acuerdo con lo visto en el taller realizado, y con respecto al desarrollo de la práctica valore los siguientes temas de 1 a 5:

- a. Hay claridad en los conceptos de la práctica



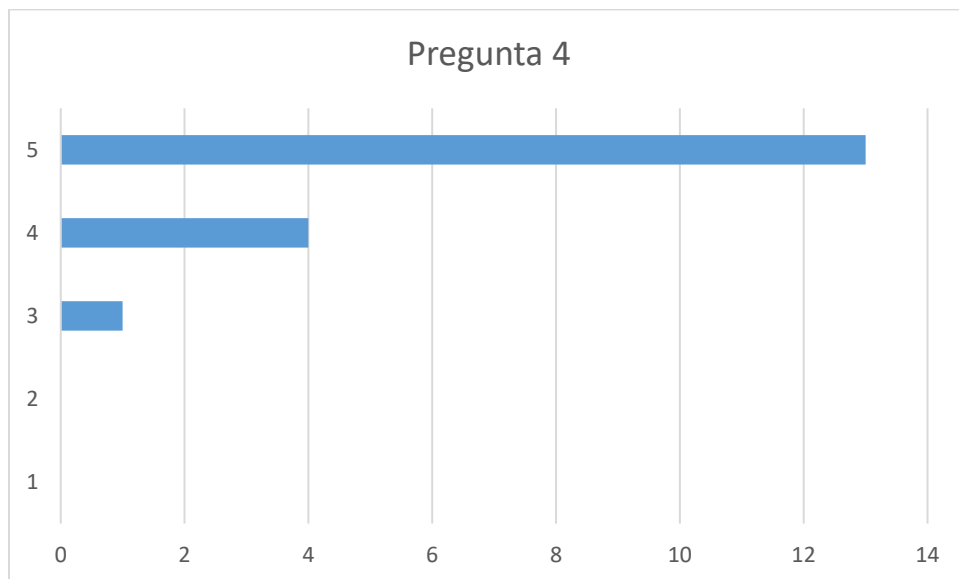
**Calificación media: 4.78**

b. Relación de las prácticas con su carrera



**Calificación media: 4.89**

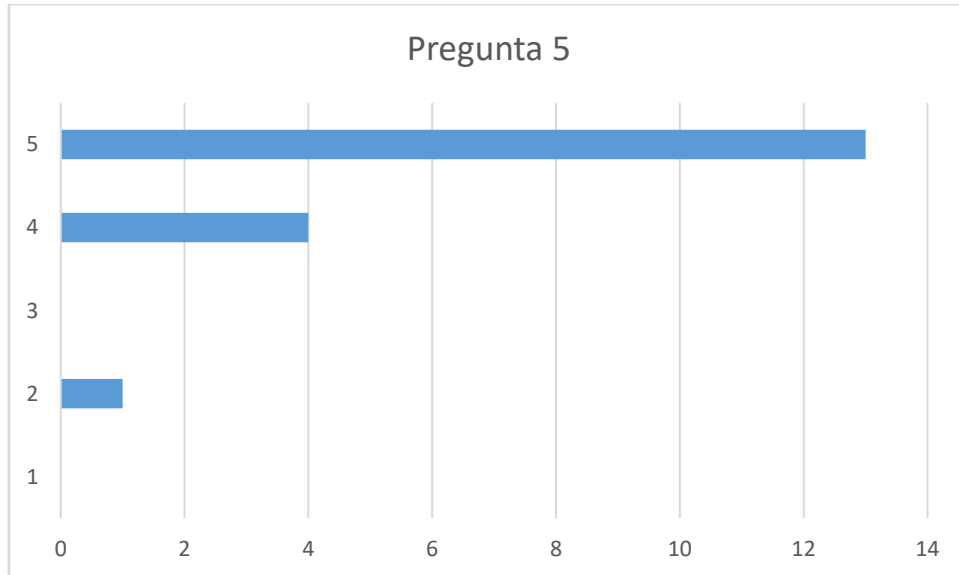
c. Se logra comprender más a fondo las temáticas de clase



**Calificación media: 4.67**



d. Hubo orden en las prácticas realizadas



**Calificación media: 4.61**

### Conclusión

Con esta encuesta de satisfacción se concluye que para la prueba piloto se tuvo una aceptación general de las prácticas, se evidencia que entre los participantes hubo un buen número de estudiantes a las cuales les gustaría que se aplicaran estas prácticas en las materias de Ingeniería en Telecomunicaciones.

