

**ESTUDIO DE TÉCNICAS DE MODULACIÓN DIGITAL PARA
TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN A FRECUENCIAS DE 2.4GHZ A
6GHZ.**

PI-678

CALI WU RUAN

REALIZADO CON LA ASESORÍA DE: CRISTIAN ANDRES TRIANA

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
JUNIO, 2021

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ÁREA DE ÉNFASIS: REDES Y TELECOMUNICACIONES

**ESTUDIO DE TÉCNICAS DE MODULACIÓN DIGITAL PARA TRANSMISIÓN
DE INFORMACIÓN A FRECUENCIAS DE 2.4GHZ A 6GHZ.**

PI-678

CALI WU RUAN

REALIZADO CON LA ASESORÍA DE: CRISTIAN ANDRES TRIANA

NOTA DE SALVEDAD

Según el artículo 37 del 14 de diciembre de 1989 del acuerdo 017, "La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia".

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente el acompañamiento de mi director en todo el proceso de mi proyecto de grado, frente a los inconvenientes y cada necesidad que tuve por cumplir los objetivos propuestos en este proyecto, también le agradezco a mis jurados del proyecto por ser comprensibles con todo lo sucedido durante estos semestres para poder cumplir satisfactoriamente esta meta de entregar finalmente mi proyecto de grado y finalmente le agradezco a cada persona que me apoyo y me ayudo en este proceso del desarrollo de mi proyecto de grado; no fue una tarea fácil trabajar en un proyecto orientado al área de telecomunicaciones, durante el desarrollo entendí y comprendí muchas cosas sobre la transmisión de datos en una modulación, este proyecto me hizo entender mejor el funcionamiento de las telecomunicaciones y me apporto un crecimiento en el área.

RESUMEN

En el siguiente documento se muestra el proceso de este proyecto de grado, donde inicialmente estaba enfocado en la problemática que se tenía en Parque Nacional Natural Río Puré, donde se tiene que es muy complicado tener un control total de la zona y debido a que no es posible tener un monitoreo constante de todo el parque, hay lugares donde no es posible saber que sucede y esto da a que se produzca una tala de árboles de manera ilegal u otras actividades no benéficas para esta zona, por este motivo se propuso realizar un análisis de esquemas de modulación digital que permita determinar que esquema es más eficiente para que en propuestas posteriores se utilice como soporte para evaluar una posible solución al problema que se tiene en el Parque Nacional Natural Río Puré. En el proyecto se propone evaluar dos esquemas de modulación digital, en este caso BPSK (Modulación por desplazamiento de fase binario) y QPSK (Modulación por desplazamiento de fase cuaternario) en un rango de frecuencias de 2.45GHz a 6GHz, se realizaron simulaciones en el programa GNU Radio donde se simulo BPSK y QPSK, debido a la falta de datos experimentales para el desarrollo del proyecto, se realizaron pruebas en el programa de LabVIEW debido a la compatibilidad de las tarjetas USRP 2901.

Teniendo en cuenta el alcance con el que cuentan las antenas que tiene la universidad, se optó por realizar las pruebas de LabVIEW con las frecuencias de 900MHz a 5GHz, para poder observar de manera más amplia el funcionamiento de los esquemas de modulación digital.

Dentro de las pruebas realizadas se pudo observar cómo a frecuencias mas bajas el sistema es estable manteniendo las gráficas con una dispersión menor, mientras que, a medida que se va aumentando la frecuencia y la distancia el receptor muestra una gráfica con los puntos de la constelación más dispersos.

Palabras clave: Modulación digital, USRP, LabVIEW, GNU Radio, EVM (Magnitud del vector de error).

ABSTRACT

The following document shows the process of this degree project, where it was initially focused on the problems that existed in the Río Puré National Natural Park, where it is very difficult to have total control of the area and because of this is not possible to have constant monitoring of the entire park, there are places where it is not possible to know what is happening and this leads to illegal cutting of trees or other non-beneficial activities for this area, for this reason it was proposed to carry out an analysis of digital modulation schemes that allows determining which scheme is more efficient so that in subsequent proposals it can be used as a support to evaluate a possible solution to the problem that exists in the Río Puré National Natural Park. The project proposes to evaluate two digital modulation schemes, in this case BPSK (Binary Phase Shift Keying) and QPSK (Quaternary Phase Shift Keying) in a frequency range from 2.45GHz to 6GHz, simulations were carried out in the GNU Radio program where BPSK and QPSK were simulated, due to the lack of experimental data for the development of the project, tests were carried out in the LabVIEW program due to the compatibility of the USRP 2901 cards.

Given the range of the university's antennas, it was decided to carry out the LabVIEW tests with frequencies from 900MHz to 5GHz, to be able to more fully observe the operation of the digital modulation schemes.

Within the tests carried out, it was possible to observe how at lower frequencies the system is stable, maintaining the graphs with a smaller dispersion, while, as the frequency and distance increases, the receiver shows a graph with the points of the constellation more dispersed.

Keywords: Digital modulation, USRP, LabVIEW, GNU Radio, EVM (Error Vector Magnitude).

Tabla de Contenidos

1	Introducción	1
2	Definición del problema	2
2.1	Contexto.....	2
2.2	Manifestación.....	3
2.3	Justificación del proyecto	3
2.4	Propuesta de solución	3
3	Objetivos:	4
3.1	General	4
3.2	Específicos.....	4
4	Requerimientos.....	4
5	Plan de Pruebas.....	5
6	Metodología.....	7
6.1	Proyecto I.....	7
6.2	Proyecto II.....	7
7	Recursos necesarios.....	7
7.1	Recursos de tiempo	7
7.2	Recursos humanos	7
7.3	Recursos técnicos.....	7
8	Estado del arte	8
8.1	Bases teóricas.....	8
8.2	Tecnología.....	9
9	Diseño de estudio y simulación.....	12
10	Simulaciones	17
11	Estudio de analisis.....	37
11.1	Simulaciones en GNU Radio.....	37
11.2	Pruebas del Sistema en LabVIEW.....	41
12	Resultados	58
13	Discusión.....	67
14	Conclusiones	69

15	Referencias Documentales	70
16	Anexos.....	71

Lista de Figuras

Figura 1 Caja Negra	4
Figura 2 Estado del arte Equipos	9
Figura 3 Estado del arte Esquema de conexionado	10
Figura 4 Estado del arte Diagramas de bloques	10
Figura 5 Estado del arte LabVIEW Esquema	11
Figura 6 Estado del arte Topología	11
Figura 7 Estado del arte Topología	12
Figura 8 Estructura del diseño.....	12
Figura 9 proceso de modulación.....	13
Figura 10 salidas de trabajo QPSK [8]	14
Figura 11 Esquema para BPSK [9].....	15
Figura 12 Plano para QPSK [9].....	15
Figura 13 Representación EVM [7]	17
Figura 14 Señal de entrada portadora base.....	17
Figura 15 Bloque Signal Source.....	18
Figura 16 Configuración bloque QT GUI Frequency Sink.	19
Figura 17 Señal Base 6GHz.....	20
Figura 18 Esquema BPSK.....	21
Figura 19 Bloque Signal Source.....	21
Figura 20 Bloque Packet Encoder	21
Figura 21 Bloque PSK Mod.....	22
Figura 22 Bloque Graficador	22
Figura 23 Comportamiento de salida BPSK en el dominio del tiempo	23
Figura 24 Constelación de BPSK.....	24
Figura 25 Esquema QPSK	26
Figura 26 Bloque Random Source QPSK.....	26
Figura 27 Bloque constellation modulator QPSK.....	27
Figura 28 Bloque channel model QPSK	27
Figura 29 Bloque graficador QPSK.....	28
Figura 30 Salida de QPSK en el dominio del tiempo	29
Figura 31 Salida de QPSK en el dominio de la frecuencia.....	29

Figura 32 Salida de QPSK Constelación	30
Figura 33 Esquema QPSK 2	32
Figura 34 Random source QPSK 2	32
Figura 35 Constellation modulator QPSK 2	33
Figura 36 Channel model QPSK 2	33
Figura 37 Graficador QPSK 2.....	34
Figura 38 Respuesta en frecuencia QPSK 2	35
Figura 39 Respuesta en tiempo QPSK 2	35
Figura 40 Constelación QPSK 2	36
Figura 41 Variable taps	38
Figura 42 Constelación QPSK con Cambio en taps	39
Figura 43 Variable excess bw.....	39
Figura 44 Constelación QPSK Cambio de excess bw	40
Figura 45 Frecuencia QPSK con Cambio en epsilon	40
Figura 46 Conexión PC a USRP.....	41
Figura 47 NI-USRP Configuration Utility	41
Figura 48 Tarjetas USRP con los nombres configurados	42
Figura 49 TX y RX LabView.....	42
Figura 50 Configuración de la modulación.....	43
Figura 51 Inicio de pruebas (boton Play)	43
Figura 52 Boton para guardar datos	44
Figura 53 Proceso de pruebas en Lab View	44
Figura 54 Bloque 1 interfaz LabVIEW.....	45
Figura 55 Filtro Coseno Elevado LabVIEW	45
Figura 56 Selección de modulación.....	46
Figura 57 Grafica del Transmisor.....	46
Figura 58 Grafica del Receptor	47
Figura 59 Configuración del tiempo de recepción.....	47
Figura 60 Transmisor QPSK LabVIEW	48
Figura 61 Receptor QPSK 1 misma tarjeta.....	48
Figura 62 Receptor QPSK 20cm.....	49
Figura 63 Receptor QPSK 2.5M	49

Figura 64 Transmisor BPSK a 2.45GHz LabVIEW.....	50
Figura 65 Receptor BPSK 2.45GHz sobre la misma tarjeta	50
Figura 66 Diagrama de constelación de un receptor BPSK a frecuencia de 2.45GHz a 10cm del transmisor.....	51
Figura 67 Receptor BPSK a una frecuencia de 2.54GHz y una distancia del transmisor de 50cm	51
Figura 68 Tabla del calculo de la diferencia y el EVM.....	52
Figura 69 Prueba BPSK 900MHz analisis del EVM.....	53
Figura 70 QPSK 900MHz simbolo 00	53
Figura 71 Prueba BPSK 2.45GHz Analisis del EVM	54
Figura 72 Prueba QPSK 2.45GHz simbolo 00	55
Figura 73 Prueba QPSK 2.45GHz simbolo 01	55
Figura 74 Prueba QPSK 2.45GHz simbolo 10	56
Figura 75 Prueba QPSK 2.45GHz simbolo 11	56
Figura 76 BPSK 4GHz Simbolo 0 y 1	57
Figura 77 QPSK 4GHz Simbolos 00 y 01	57
Figura 78 BPSK 5GHz Simbolos 0 y 1.....	57
Figura 79 QPSK 5GHz Simbolos 10 y 11.....	58
Figura 80 BPSK Resultados.....	59
Figura 81 QPSK Resultados.....	60
Figura 82 Grafica del EVM con la desviación estandar en BPSK	61
Figura 83 Grafica de la desviación estandar en QPSK.....	62
Figura 84 Estimación EVM VS BER BPSK 900MHz.....	63
Figura 85 Estimación EVM VS BER QPSK 900MHz	63
Figura 86 Estimación EVM VS BER BPSK 2.45GHz.....	64
Figura 87 Estimación EVM VS BER QPSK 2.45GHz.....	64
Figura 88 Estimación EVM VS BER BPSK 4GHz.....	65
Figura 89 Estimación EVM VS BER QPSK 4GHz	65
Figura 90 Estimación EVM VS BER BPSK 5GHz.....	66
Figura 91 Estimación EVM VS BER QPSK 5GHz	66

Lista de Tablas

Tabla 1 Plan de pruebas requerimiento 1	5
Tabla 2 Plan de pruebas requerimiento 2	6
Tabla 3 Plan de pruebas requerimiento 5	6
Tabla 4 Metodología Proyecto I	7
Tabla 5 Metodología proyecto II	7
Tabla 6 Resultados BPSK	58
Tabla 7 QPSK Resultados	59
Tabla 8 Resultados de Requerimientos	62

1 INTRODUCCIÓN

El siguiente documento contiene información de todo el proceso realizado para buscar una problemática y generar una solución correspondiente, en este documento se encuentra el paso a paso y la metodología para el desarrollo del proyecto de grado, en el Parque Nacional Natural Río Puré se tiene una problemática debido a la zona tan extensa que posee, al tener un espacio tan amplio es complicado tener un control total del parque, esto provoca que dentro del parque sucedan actos fuera del margen de la ley como lo son la tala de arboles en zonas protegidas, el comercio de la fauna y flora, etc. Inicialmente el proyecto estaba enfocado en encontrar una solución para generar un sistema de monitoreo que permita a los guardabosques del parque controlar y monitorear de mejor manera la zona, sin embargo, se optó por realizar este estudio de esquemas de modulación para que se pueda utilizar como base o referencia para próximos proyectos relacionados con sistemas de modulación digital.

La propuesta que se tiene para el desarrollo del proyecto es realizar un estudio y análisis de esquemas de modulación digital, donde se permita observar la eficiencia del sistema, se analizaron dos esquemas de modulación, BPSK y QPSK, se realizaron simulaciones en GNU Radio, donde se observa el comportamiento de la señal, sin datos experimentales; al ser necesario realizar un análisis mas completo para el desarrollo del proyecto se realizaron pruebas experimentales en el programa LabVIEW, donde se implementó sobre tarjetas USRP 2901 la modulación BPSK y QPSK en diferentes rangos de frecuencias (900MHz – 5GHz) y distancias (15cm – 100cm), se analizo un modulador y un receptor donde se recibieron los datos de las constelaciones, el rango de frecuencias se tuvo en cuenta de acuerdo a las antenas prestadas por la universidad, se optó por adicionar la frecuencia de 900MHz a las pruebas para poder ampliar el análisis del sistema.

2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

2.1 Contexto

Los parques nacionales de Colombia contienen una gran diversidad en fauna y flora, el Parque Nacional Natural Rio Puré está ubicado en la región del Amazonas, tiene una extensión de 432.164 Km², en esta región de Colombia se encuentra la mayor cantidad de la población indígena del país.

La preservación y conservación de las especies es importante para la sustentación de ecosistemas aptos para el ser humano y las demás especies, los actos que generan los seres humanos afectan de manera drástica los ecosistemas y las regiones naturales, hay muchas personas que codician estos recursos para beneficio propio, por eso es necesario tomar medidas para evitar que se pierdan estos recursos.

Los guardabosques del Parque Nacional Natural Rio Puré tienen dificultades con mantener un control de toda el área por su extensión, al abarcar un espacio tan amplio no se contempla en su totalidad que se tenga una vigilancia o control de lo que sucede cuando los guardabosques no se encuentran en ciertas partes del Parque.

Dentro del área de telecomunicaciones podemos encontrar diferentes sistemas de modulación el cual nos va a permitir transmitir datos a través de una señal, permitiendo que la información pueda ser llevada a diferentes lugares del alcance del sistema, a través del tiempo y el desarrollo de la tecnología, se han desarrollado diferentes métodos de transmitir la información y de aprovechar las ondas de radio para este fin, para poder transmitir información a través de las ondas de radio se debe tener claro en que frecuencia se va a trabajar, la frecuencia va a permitir adecuar el sistema o el hardware para poder emitir los datos a través de una frecuencia sintonizada, para el tema de la recepción de la señal se debe tener también un receptor sintonizado a la misma frecuencia para poder recibir lo que el emisor genere.

El área de las telecomunicaciones abarca una gran cantidad de sistemas que permiten transmitir información, inicialmente hay dos sistemas que son los más conocidos para transmitir información a través de las ondas de radio, los cuales son la Modulación AM y FM, la modulación AM significa amplitud modulada, esto quiere decir que al generar una variación de la amplitud

se va a generar una transmisión de datos, los datos se encuentran incorporados en la señal inicial, lo mismo sucede con la modulación FM, la modulación FM significa Modulación de frecuencia, esto quiere decir que variando la frecuencia podemos generar una transmisión de datos e información a través de una señal, el funcionamiento principal de la modulación es incorporar unos datos sobre una señal seno o coseno para poder enviar la información a través de un canal.

Durante el avance de la tecnología surgió unas opciones de generar sistemas de modulación que se puedan manejar por medio de las computadoras estos sistemas se denominaron SDR que significa Radio Definida por Software, esto hace que varios de los componentes que se manejaban en hardware se puedan configurar en software para poder generar una transmisión sobre las ondas de radio, gracias a estos sistemas se han generado diferentes tipos de modulación digital, los cuales son ASK, PSK, FSK y QAM.

2.2 Manifestación

No se cuenta con un estudio de desempeño de las técnicas de modulación digital.

2.3 Justificación del proyecto

Se desea realizar un estudio y análisis de técnicas de modulación digital que permita aprender más sobre el área de telecomunicaciones, este estudio va a permitir el desarrollo de conocimiento sobre los sistemas de modulación digital y así poder analizar su funcionamiento.

Los sistemas de modulación digital son una parte importante de las telecomunicaciones, el desarrollo de un sistema de comunicación a partir de un software facilita la implementación análoga que se maneja aun en sistemas de modulación análogos como lo son los radios convencionales, el desarrollo de un sistema de modulación digital permite que el sistema se controle con un computador y su salida también se pueda analizar en el mismo computador.

2.4 Propuesta de solución

Analizar diferentes esquemas de modulación con el fin de determinar que esquema es más eficiente.

3 OBJETIVOS:

3.1 General

Realizar un estudio que permita determinar que esquema de modulación digital es el más apto para comunicación inalámbrica en frecuencias de 2.4GHz a 6GHz.

3.2 Específicos

1. Realizar un estudio de los esquemas de modulación digital idóneos para un sistema de comunicación inalámbrico a frecuencias de 2.4GHz a 6GHz.
2. Evaluar el desempeño de la transmisión de datos en un enlace de comunicación digital mediante simulación en el software GNU Radio.
3. Analizar los diferentes esquemas de modulación digital en términos de la tasa de error y la frecuencia.

4 REQUERIMIENTOS

En este capítulo se van a realizar los requerimientos para el desarrollo del proyecto en la Figura 1 se muestra el diseño de la caja negra para el desarrollo de los requerimientos que se van a levantar para el proyecto de estudio de técnicas de modulación digital para transmisión de información entre módulos de sensado a frecuencias de 2.4GHz a 6GHz.

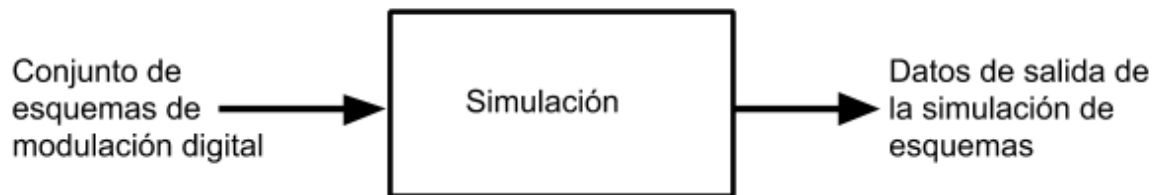


Figura 1 Caja Negra

Requerimientos del estudio

1. Se debe realizar el estudio a mínimo dos esquemas de modulación digital.
2. La frecuencia de trabajo de los esquemas de simulación debe estar en un rango 2.4GHZ a 6GHZ.

Requerimientos de la simulación

3. Se debe realizar el esquema en un software capaz de visualizar el esquema de modulación.

4. El software que a utilizar debe ser de licencia abierta.
5. El sistema debe ser capaz de realizar comunicación entre distancias de 5 a 10 metros.
6. El esquema debe ser claro.

Requerimientos del análisis

7. El sistema debe visualizar la tasa de transmisión que se logra entre el nodo transmisor y receptor.
8. Se debe determinar una tasa de error binario no superior al 30%
9. Se debe analizar el funcionamiento de cada bloque

Requerimientos de restricción

10. Los esquemas se van a comunicar entre tarjetas y una tarjeta se va a encargar de enviar la información a la antena.

5 PLAN DE PRUEBAS

Nombre de la prueba: Frecuencia de trabajo

Requerimiento(s) a comprobar:

Requerimiento 1: La frecuencia de trabajo del sistema de comunicación inalámbrico debe estar en un rango 2.45 a 6 GHZ.

Tabla 1 Plan de pruebas requerimiento 1

No de requerimiento	Funciona	No funciona
1		
Observaciones		
La prueba de frecuencia de trabajo consiste en elegir una frecuencia de libre uso que permita realizar el proyecto y también que no tenga mucha interferencia.		

Nombre de la prueba: Visualización de la tasa de transmisión

Requerimiento(s) a comprobar:

Requerimiento 2: El sistema debe visualizar la tasa de transmisión que se logra entre el nodo transmisor y receptor.

Tabla 2 Plan de pruebas requerimiento 2

No de requerimiento	Funciona	No funciona
2		
Observaciones		
Para la visualización de la tasa de transmisión se van a analizar los datos en software para observar la tasa de transmisión.		

Nombre de la prueba: Distancia de transmisión

Requerimiento(s) a comprobar:

Requerimiento 5: El sistema debe ser capaz de realizar comunicación entre distancias de 5 a 10 metros.

Tabla 3 Plan de pruebas requerimiento 5

No de requerimiento	Funciona	No funciona
5		
Observaciones		
La prueba se va a realizar ubicando tarjetas en un rango mínimo de 5 metros a un máximo de 10 metros.		

6 METODOLOGÍA

6.1 Proyecto I

Tabla 4 Metodología Proyecto I

Objetivo	Actividad	Entregable	Tiempo
Establecer la frecuencia de trabajo para los esquemas de modulación.	Revisar diferentes documentos que permitan trabajar en los rangos de frecuencias establecidos.	Documento de los análisis de diferentes archivos que trabajen en el rango de frecuencias establecido.	24/08/2020 – 04/09/2020 2 semanas
El sistema debe visualizar la tasa de transmisión que se logra entre el nodo transmisor y receptor.	Revisar diferentes softwares que permitan visualizar la tasa de transmisión de los datos.	Documento con las características del software y elegir cual es el más apto para el sistema	05/09/2020 – 10/09/2020 1 semana

6.2 Proyecto II

Tabla 5 Metodología proyecto II

Objetivo	Actividad	Entregable	Tiempo
Visualizar diferentes esquemas de modulación.	Realizar diferentes esquemas de modulación digital	Simulación de diferentes esquemas de modulación digital	10/09/2020 – 30/09/2020 3 ½ semanas
Implementar esquemas de modulación digital	Realizar simulaciones de los esquemas de modulación y validar la transmisión entre tarjetas.	Prueba y simulación de la transmisión de datos en los esquemas de modulación digital.	1/10/2020 – 20/10/2020 3 semanas

7 RECURSOS NECESARIOS

7.1 Recursos de tiempo

El desarrollo del proyecto será de alrededor de 14 semanas.

7.2 Recursos humanos

Para el desarrollo del proyecto se contará con el acompañamiento de:

Director de proyecto: Cristian Andrés Triana

7.3 Recursos técnicos

- Computador
- Programa GNU Radio

- Programa LabVIEW
- Máquina Virtual

8 ESTADO DEL ARTE

8.1 Bases teóricas

Modulación:

La modulación son las técnicas que se aplican en el transporte de datos a través de ondas portadoras, la modulación permite convertir datos que se encuentran en bits y pasarlos a valores simbólicos.

La modulación protege la señal de las interferencias y ruidos que se encuentran en el proceso, el proceso de modulación consiste en variar parámetros que se encuentran en una onda portadora en función de las alteraciones de la señal moduladora.

Tipos de modulación:

Modulación Analógica:

La modulación analógica está dividida en tres técnicas de modulación las cuales son:

- Modulación de la amplitud
es una técnica utilizada en el procesamiento de señales y la comunicación, más comúnmente para la transmisión de información a través de una onda transversal. La modulación en amplitud (AM) funciona mediante la variación de la amplitud de la señal transmitida en relación con la información que se envía.
- Modulación de la frecuencia
Es una técnica de modulación angular que permite transmitir información a través de una onda portadora variando la frecuencia.
- Modulación de la fase
La modulación por fase se caracteriza porque la fase de la onda portadora varía en forma directamente proporcional a la señal moduladora.

Modulación Digital:

La modulación digital se caracteriza por realizar una modulación mediante el uso de un software que permita realizar la modulación, un claro ejemplo es el SDR que consiste en definir una señal de radio mediante un software.

Para la modulación digital se tienen varios tipos de esquemas de modulación los cuales son:

- Modulación por variación de amplitud (ASK)
- Modulación por variación de frecuencia (FSK)
- Modulación por desplazamiento en fase (PSK)
- Modulación en amplitud de cuadratura (QAM)

8.2 Tecnología

Sistema de comunicación SDR para modulación PSK y QAM

En el documento se tuvo en cuenta la información teórica de los diferentes esquemas de modulación digital y se analizó cada uno de ellos, en la siguiente Figura podemos observar cómo se desarrolló el proyecto en un software y se implementó en unas tarjetas.

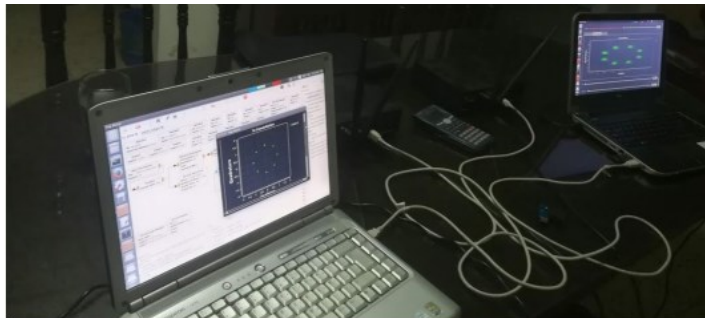


Figura 2 Estado del arte Equipos

En la Figura se puede observar el diagrama de conexionado implementado para el desarrollo del proyecto.

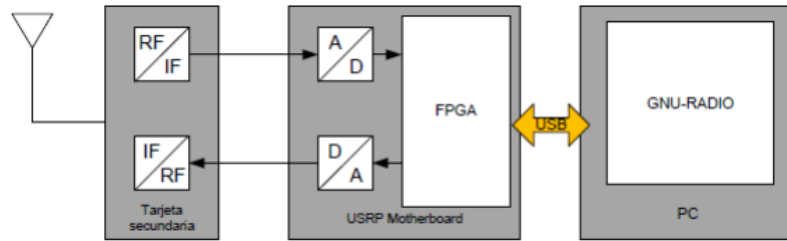


Figura 3 Estado del arte Esquema de conexionado

El desarrollo de este proyecto se realizó en el programa GNU Radio, que maneja programación mediante bloques.

Implementación de MPSK en LabVIEW

En este proyecto se realizó la implementación de un esquema MPSK donde se puede observar el diagrama de bloques en la siguiente Figura 4.

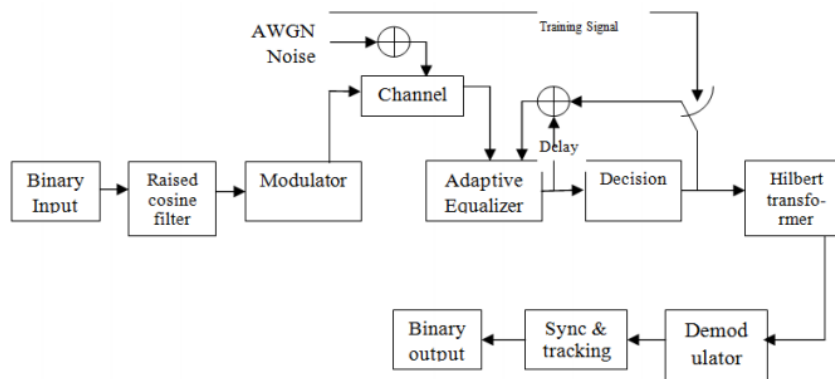


Figura 4 Estado del arte Diagramas de bloques

Este proyecto se realizó en el software LabVIEW que se caracteriza por su programación mediante imágenes o bloques.

En la siguiente Figura se puede observar el desarrollo de la programación realizada para el sistema.

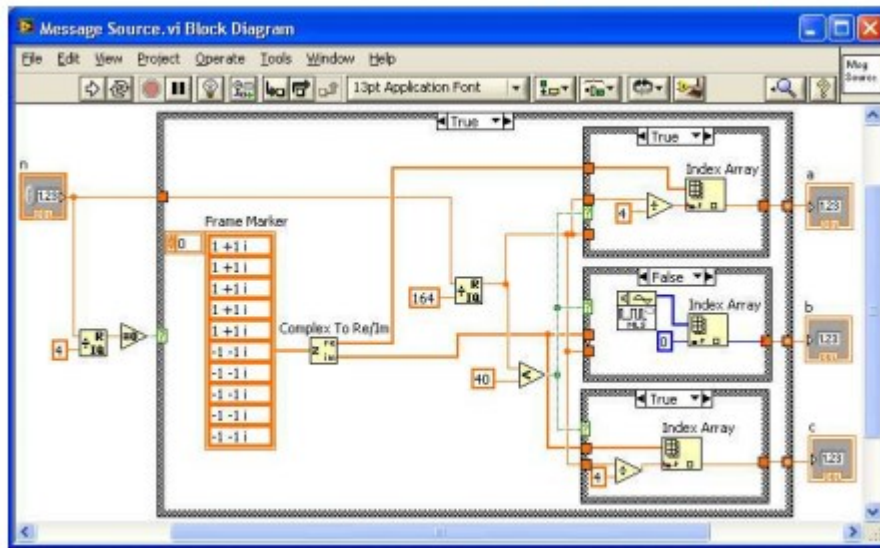


Figura 5 Estado del arte LabVIEW Esquema

Sistema de detección de intrusos mediante modelado de URI

Para el desarrollo de este proyecto se observó el uso de la siguiente topología para hacer el análisis de los datos al detectar intrusos.

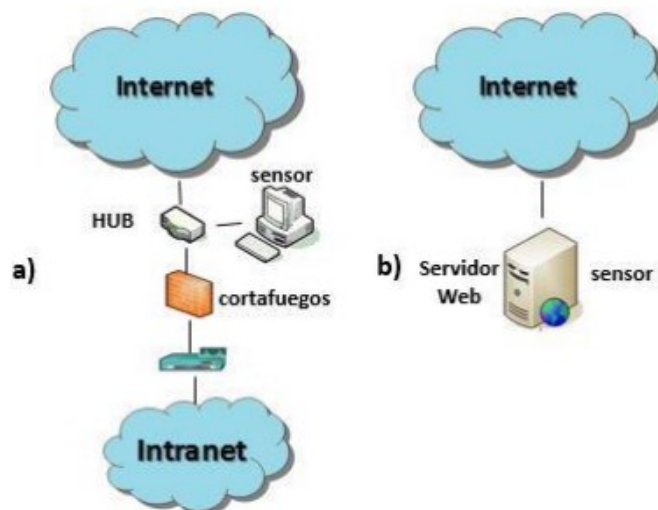


Figura 6 Estado del arte Topología

Esquemas de modulación digital en GNU Radio

En la Figura siguiente se ve un esquema de modulación digital DBPSK, este sistema consiste en agrupar bits de a pares para realizar la modulación y obtener la simbología a partir de los datos,

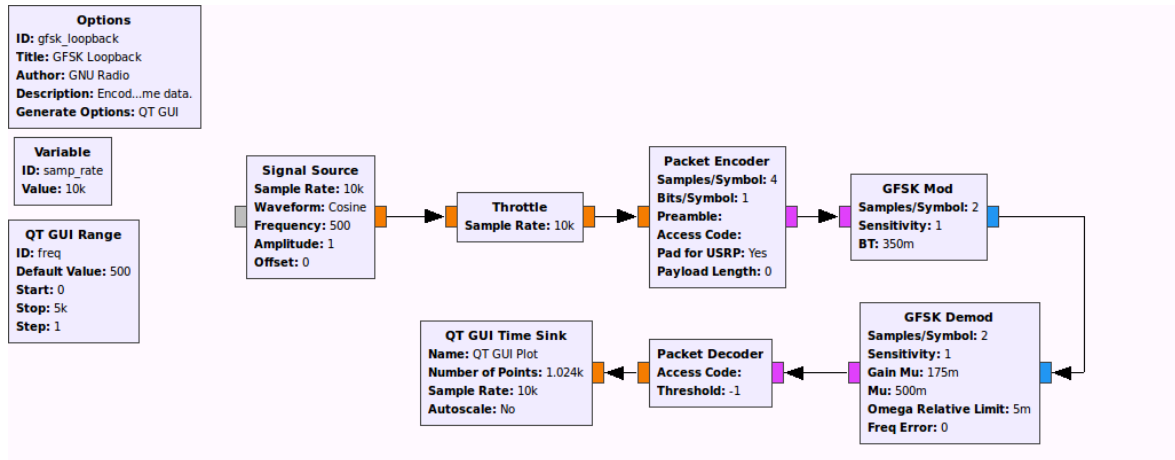


Figura 7 Estado del arte Topología

9 DISEÑO DE ESTUDIO Y SIMULACIÓN

En este capítulo se va a realizar el diseño para el estudio y la simulación de los esquemas de modulación digital, se va a determinar que esquemas se van a realizar para el estudio, también las actividades a realizar para el estudio y las simulaciones.

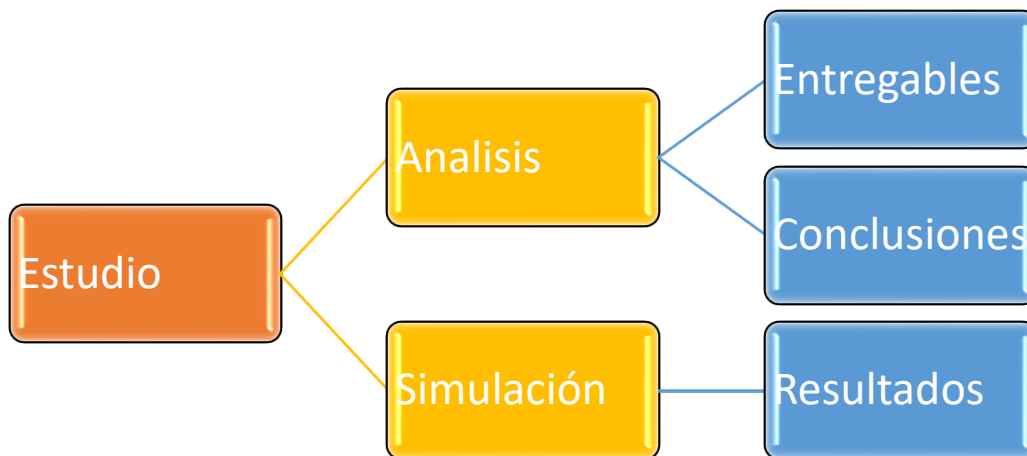


Figura 8 Estructura del diseño

Estudio:

Para realizar el estudio primero se deben determinar los esquemas de modulación digital con los que se va a trabajar como se habló en los capítulos anteriores se va a trabajar con modulación digital, lo cual nos referimos a esquemas de modulación por fase, amplitud y frecuencia, en este caso se va a trabajar con algunos de los siguientes esquemas:

- BPSK
- QPSK
- QAM

Para el estudio se van a realizar esquemas de modulación con unos parámetros los cuales son:

- Frecuencia de trabajo en un rango de 2.4GHZ a 6GHZ
- Análisis de la tasa de transmisión por distancia
- Análisis del BER

El sistema se va a realizar en un software abierto el cual se definió GNU Radio por su licencia abierta y compatibilidad con varios programas que permiten el análisis e interacción de sistemas de telecomunicaciones.

Para el desarrollo de este estudio se van a tener en cuenta los datos principales para realizar una modulación los cuales se describen en la Figura 9.



Figura 9 proceso de modulación

La codificación para los sistemas PSK se basan en el cambio de fase que se define como:

$$m = 2^n \quad (1)$$

m = número de símbolos

Donde n puede variar de 2 a 16, en este caso se va a analizar esquemas BPSK y QPSK, este tipo de modulación de fase se va a efectuar para un análisis binario.

$m=2$ Binario donde 0 indica un estado bajo y 1 indica un estado alto, estos estados varían en 180° .

$m=4$ Cuaternario en este tipo de modulación se tiene 4 estados de bits los cuales son 00, 01, 10 y 11.

Para los esquemas de modulación de QPSK se tiene la siguiente Figura 10:

	00	01	11	10
V_{22}	90°	0°	270°	180°
V_{26}	0°	90°	180°	270°
V_{26bis}	45°	135°	225°	315°

Figura 10 salidas de trabajo QPSK [8]

$$V_{outBPSK} = \cos Wm(\max) t \cdot \cos Wt$$

$$= \frac{1}{2} \cos(W - W(\max)) t - \frac{1}{2} \cos(W + W(\max)) t$$

$$BW = 2W(\max) = 2Rb/2 = Rb \quad (2)$$

Para los sistemas de modulación digital PSK, se tiene un plano donde se va a observar los puntos o datos que al tener la señal modulada va a mostrar en que puntos se está ubicando los datos de acuerdo con el tipo de modulación realizado.

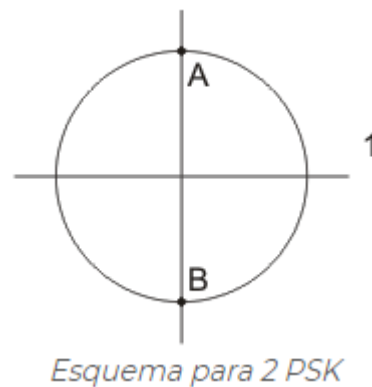


Figura 11 Esquema para BPSK [9]

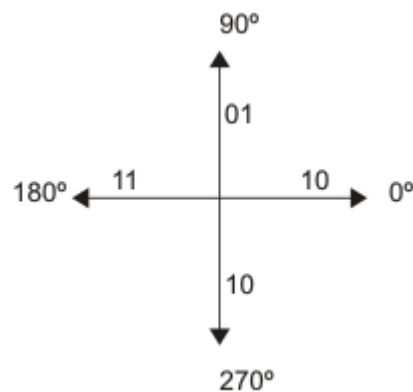


Figura 12 Plano para QPSK [9]

Para el análisis de esquemas de modulación se realiza una investigación sobre esquemas de modulación digital, donde se observan dos posibles opciones de sistemas, en este caso sistemas BPSK y QPSK, ambos son modulaciones digitales en las que se varía la fase de la señal de entrada para transmitir datos en la variación de su fase, este proceso en BPSK genera una variación o desfase de 180° que permite observar el corrimiento de la señal e indicar los respectivos cambios de la señal, este cambio permite que una entrada en bits pase a una modulación o más bien conocido como un cambio de bits a símbolos, en eso consiste la modulación el método PSK genera unos desfases en la fase y en la salida de la señal se puede observar diferentes puntos que representan un dato, los cuales se agrupan en diferentes coordenadas del plano, este plano se le conoce como una constelación de datos, donde se puede observar la pérdida de los datos y también se puede analizar si la modulación está bien o no.

Para determinar la eficiencia de un sistema de modulación se tienen varios métodos, se van a mencionar dos métodos en particular, uno es el BER (Bit Error Rate), este consiste en calcular la cantidad de bits perdidos en la recepción de la señal dependiendo de los bits enviados en el transmisor el BER se puede calcular con la siguiente formula:

$$BER = \frac{\text{Bits recibidos}}{\text{Bits enviados}} \quad (3)$$

Consiste en extraer los bits enviados y los bits recibidos para poder determinar la tasa de error por bit.

El segundo método es el EVM (Error Vector Magnitude) este método consiste en calcular la diferencia de los puntos del transmisor y el receptor para conocer qué tan separados se encuentran los puntos y poder determinar el error de vector este error permite observar en que puntos está llegando los datos y que tan lejos se encuentran del transmisor que sería lo ideal. El EVM se puede calcular con la siguiente formula:

$$EVM = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} I_{err}[n]^2 + Q_{err}[n]^2}}{EVM \text{ normalizado}} \quad (4)$$

n= Symbol index

N= number of symbols

I_{err}= I Ref – I Meas

Q_{err}= Q Ref – Q Meas

En la figura 13 se observa la representación del EVM.

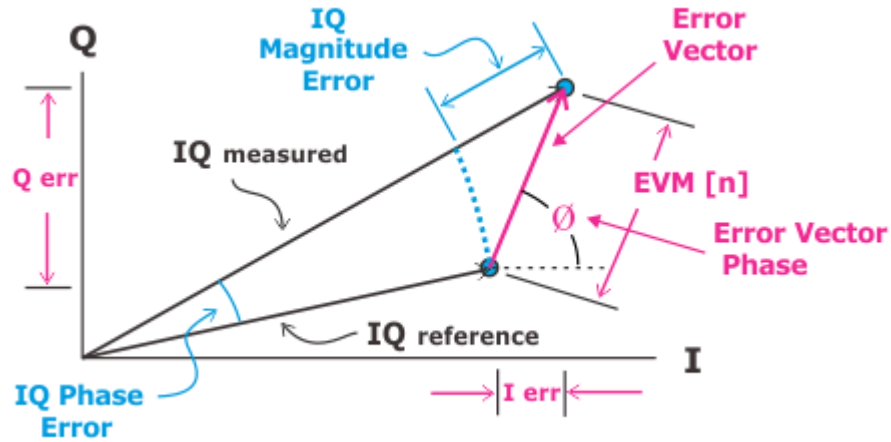


Figura 13 Representación EVM [7]

10 SIMULACIONES

En este capítulo se va a encontrar las simulaciones realizadas para esquemas de modulación digital donde se puede observar su configuración y salida del sistema.

En este capítulo se muestra el proceso de la estructuración y configuración de los bloques de GNU Radio para poder obtener una modulación adecuada a los sistemas que se implementaron, en este caso BPSK y QPSK.

En la siguiente Figura 11 se visualiza una señal cualquiera de entrada para visualizar la portadora inicial de trabajo.

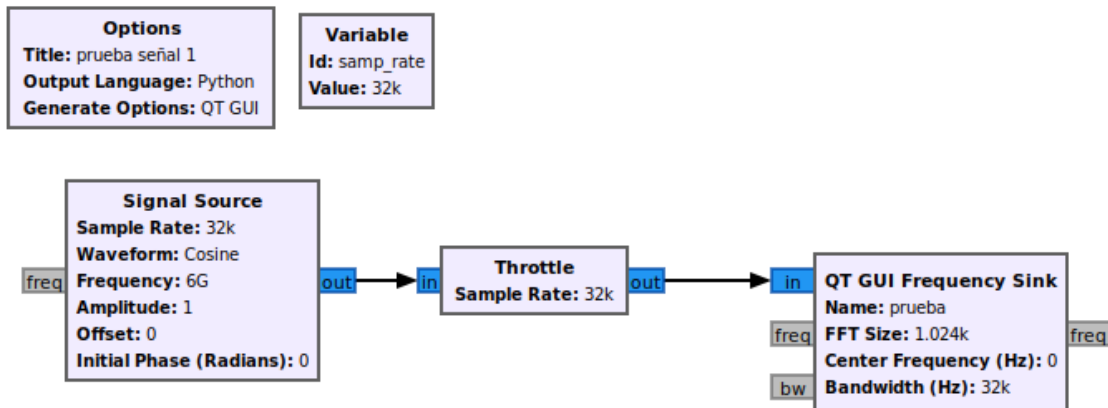


Figura 14 Señal de entrada portadora base

Para la configuración del esquema base de la portadora se toma un bloque de una señal, donde se configura con una señal coseno y una frecuencia de entrada de 6GHz, en la Figura 12 se puede observar la configuración del bloque de señal.

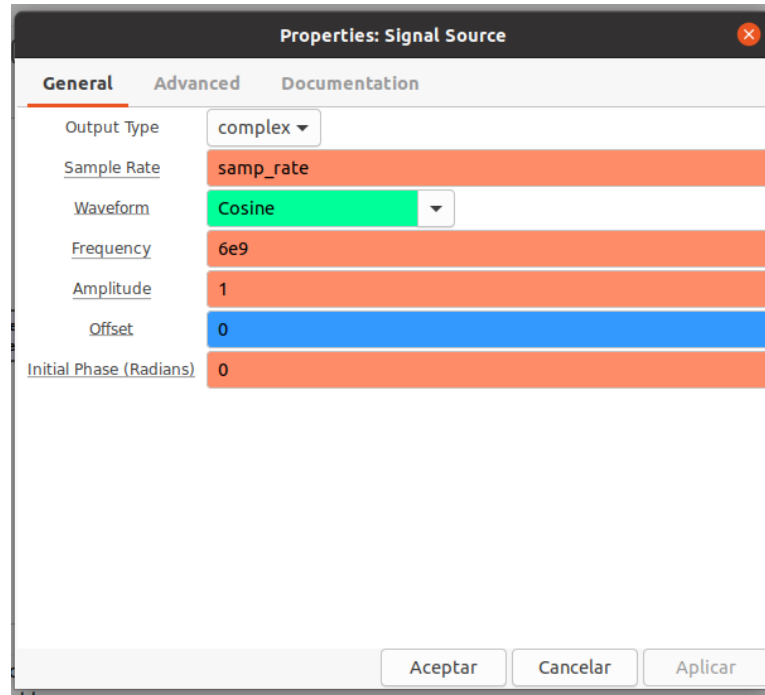


Figura 15 Bloque Signal Source

En la configuración del bloque de salida, que permite graficar la salida de la portadora se configura en la siguiente Figura 15.

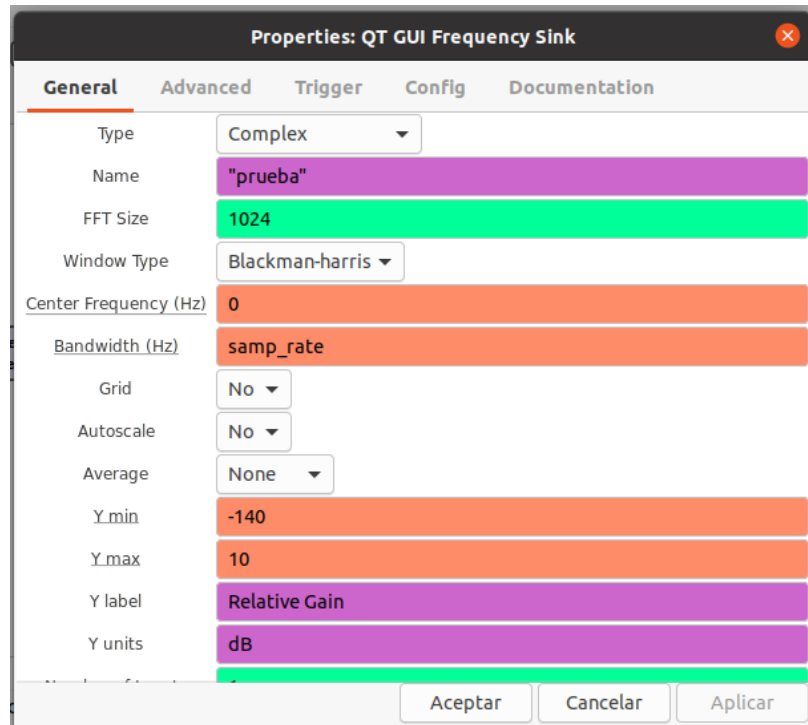


Figura 16 Configuración bloque QT GUI Frequency Sink.

En la Figura 16 se puede observar la señal portadora que tiene el esquema de una señal base.

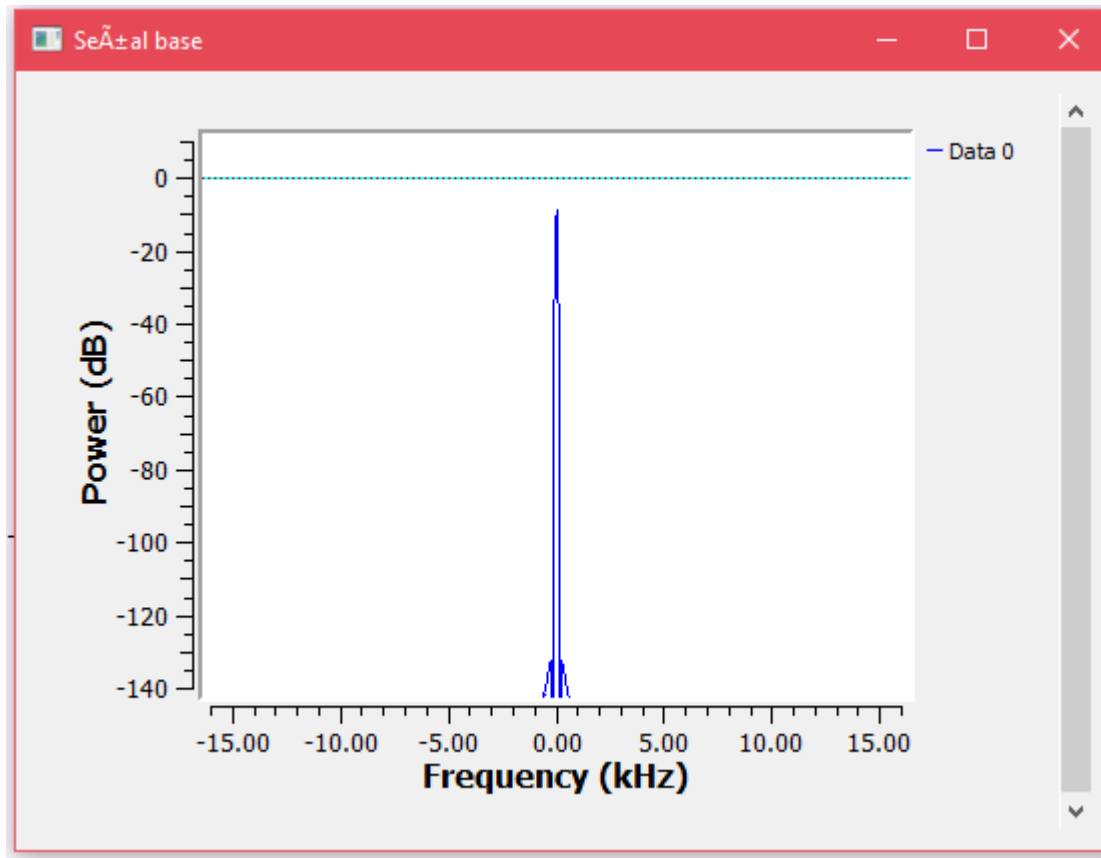


Figura 17 Señal Base 6GHz

A partir de la Figura 16 hasta la Figura 23 se puede observar el proceso y configuración de cada uno de los bloques que conforman el esquema BPSK, en la Figura 22 y 23 se observan las salidas donde tenemos una imagen con respuesta en el dominio del tiempo y en la siguiente imagen la respuesta de la constelación donde se observa el movimiento de la señal variando en los dos ejes que maneja la modulación de fase en 2 Bits.

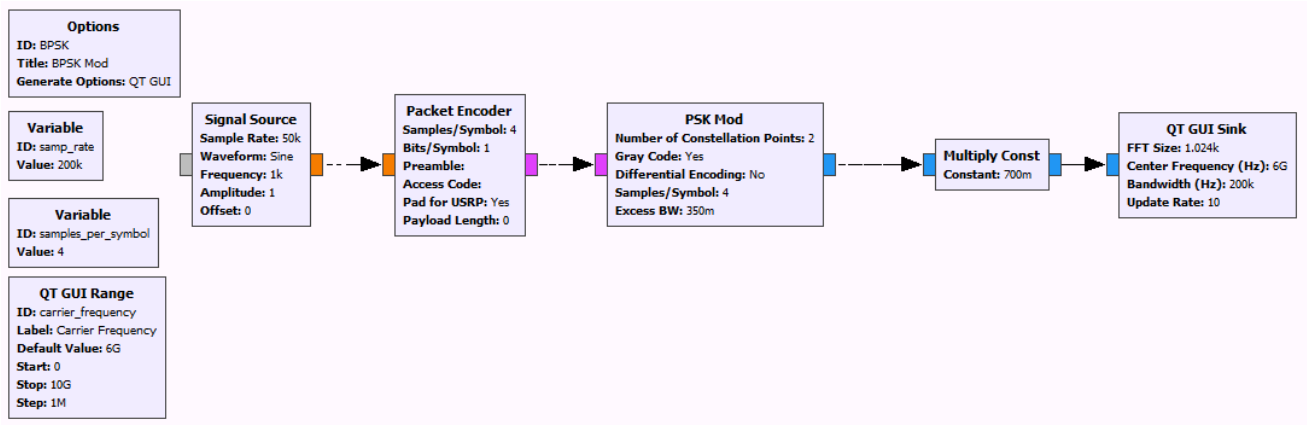


Figura 18 Esquema BPSK

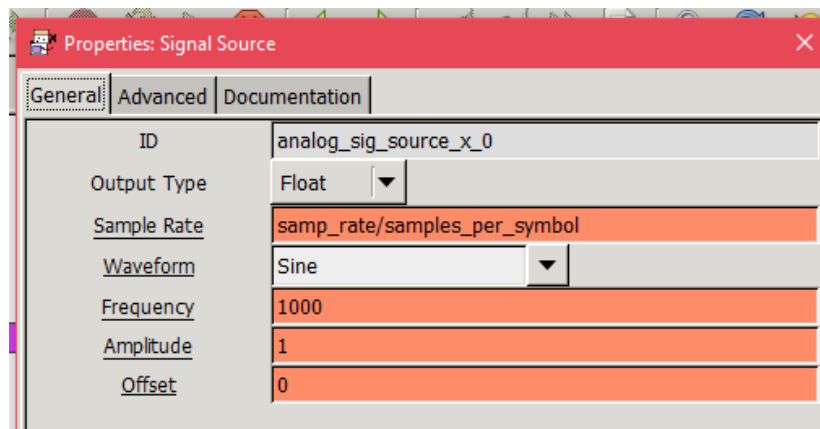


Figura 19 Bloque Signal Source

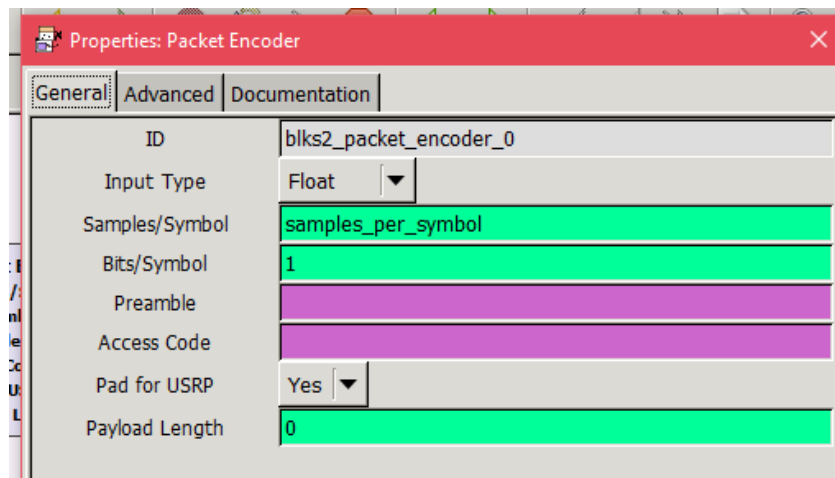


Figura 20 Bloque Packet Encoder

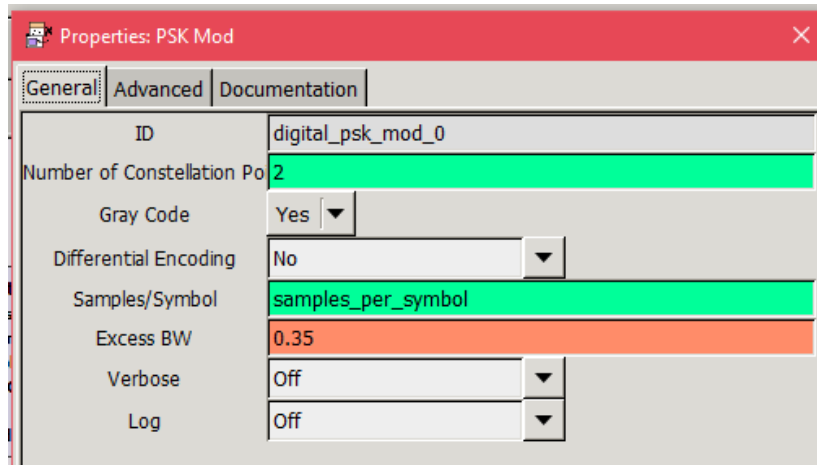


Figura 21 Bloque PSK Mod

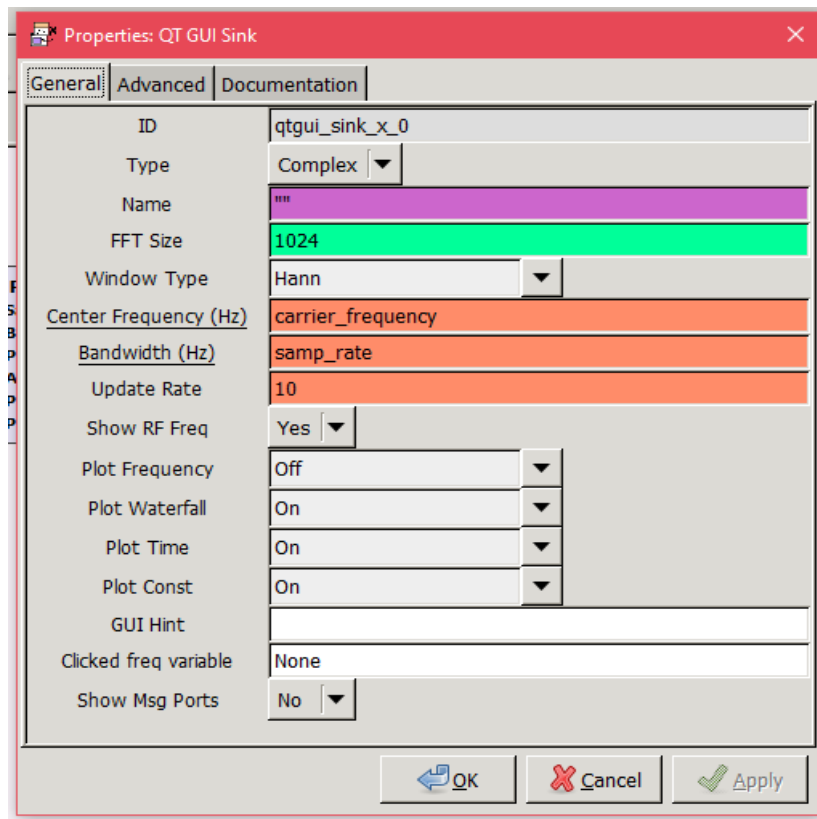


Figura 22 Bloque Graficador

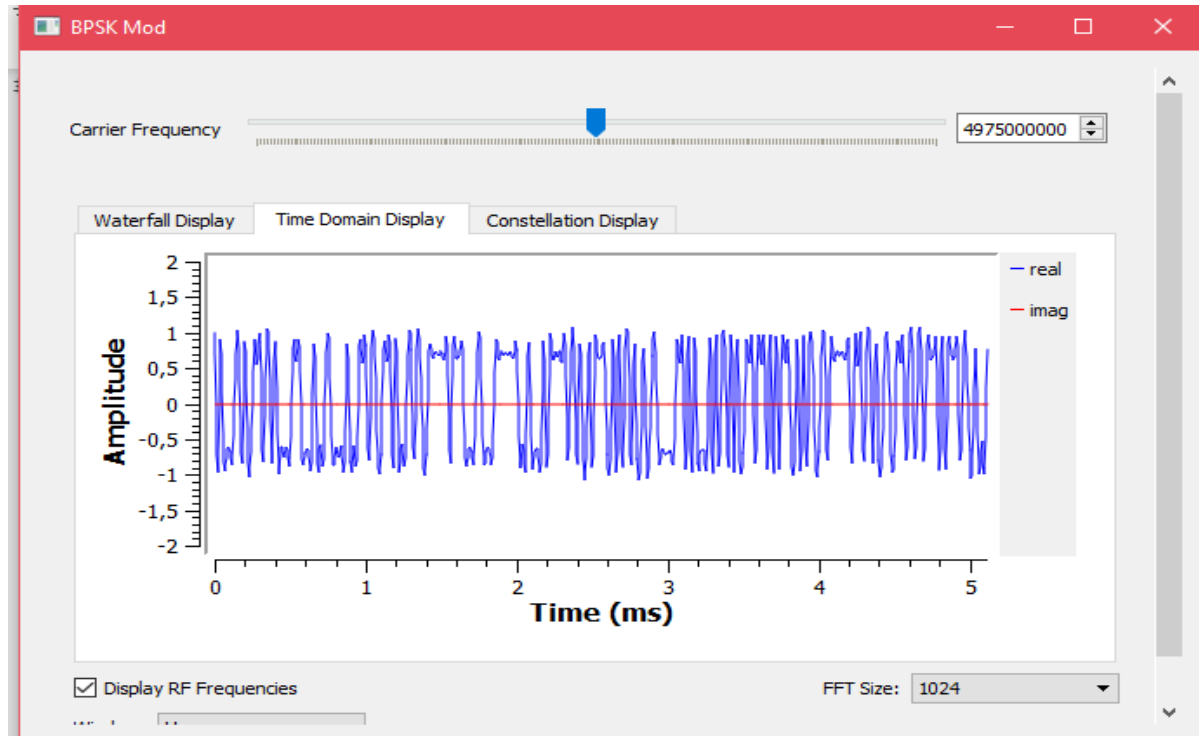


Figura 23 Comportamiento de salida BPSK en el dominio del tiempo

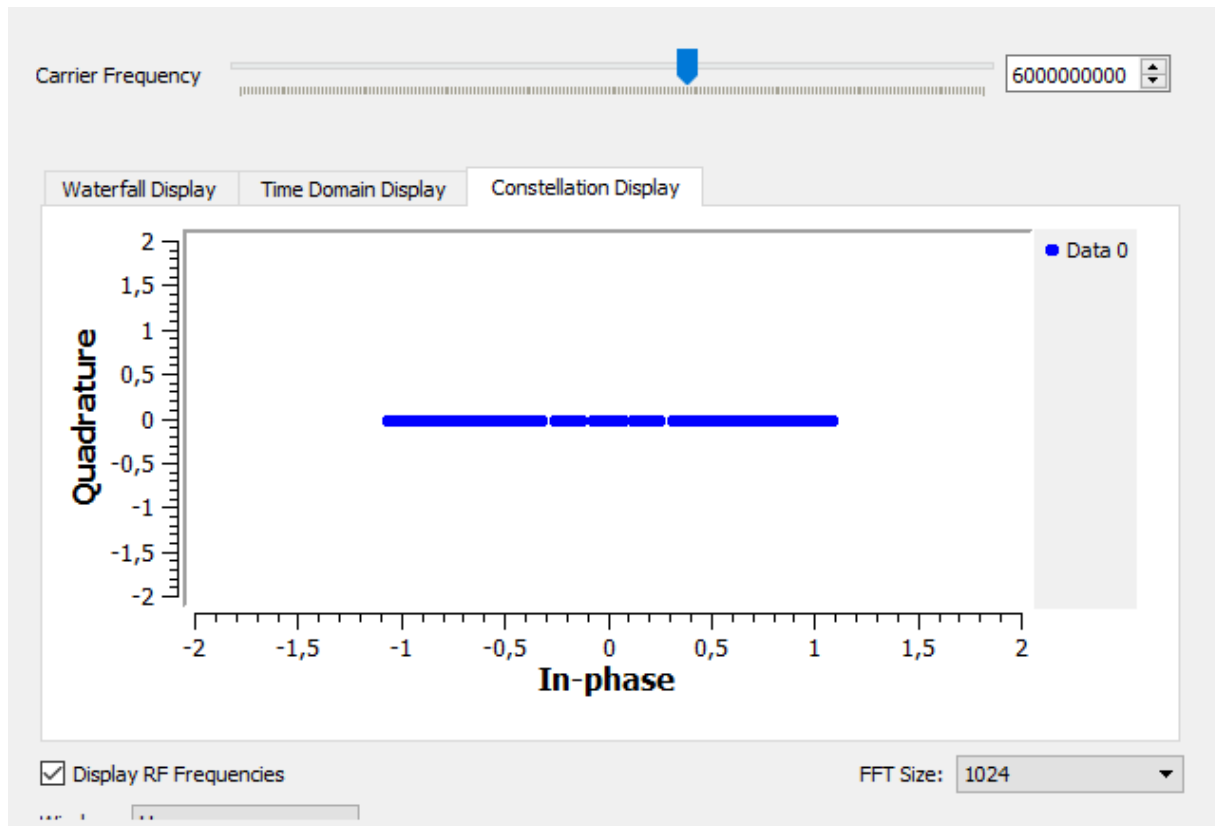


Figura 24 Constelación de BPSK

Signal source:

- Sample rate: (frecuencia de muestreo) tasa de muestreo de la señal.
- Waveform: (forma de onda) tipo de forma de la onda, puede ser cuadrada, seno, coseno, constante, triangular y diente de sierra.
- Frequency: (frecuencia) frecuencia de la forma de onda.
- Amplitude: (amplitud) amplitud de la señal.
- Offset: (compensador) genera un desplazamiento en la señal.

Packet Encoder:

- Samples\symbols: cantidad de muestras o símbolos.
- Bits\symbols: bits o símbolos, en este caso se coloca 1.

PSK Mod:

- Number of constellation points: número de puntos de la constelación en este caso se coloca 2 para el trabajo en BPSK.
- Samples\symbols: se ingresa con la variable Samples per-symbol que son la cantidad de muestras por símbolo, en este caso se configuro con 4
- Excess BW: Ancho de banda m

Multiply Const:

- Constant: constante

QT GUI Sink:

- FFT size: tamaño de la transformada de Fourier.
- Center Frequency: frecuencia central de la señal
- Bandwidth (Hz): ancho de banda

En el esquema QPSK se puede observar la estructura del esquema en la *Figura 22* y en la *Figura 27, 28 y 29*, se puede observar la salida en el dominio del tiempo, la frecuencia y la constelación. Debido a que se realizó un esquema QPSK que consiste en una modulación por medio de la fase que consta de una combinación de bits refiriéndose al nombre de cuadratura que significa una combinación de cuatro bits donde se puede observar una señal random de entrada, en el desarrollo de esta simulación se puede observar en las salidas el comportamiento de la señal después de la modulación, en la *Figura 29* se observa como los datos se agrupan a cuatro puntos en el plano que llevan las coordenadas base de la modulación digital por fase, en las *Figuras del 23 al 26* se muestra la configuración realizada a cada uno de los bloques que se usaron para realizar el esquema de modulación.

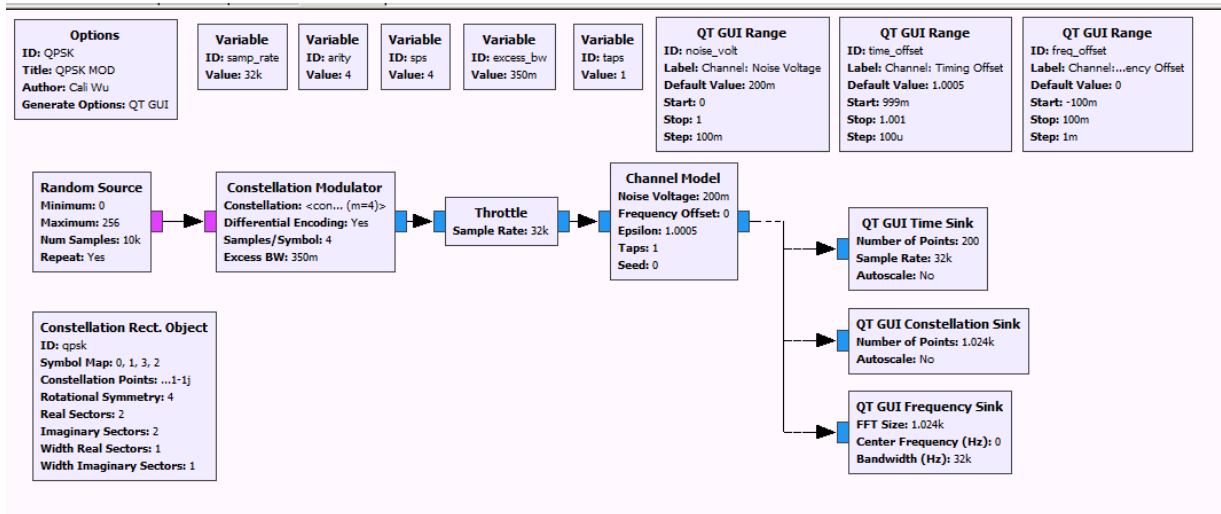


Figura 25 Esquema QPSK

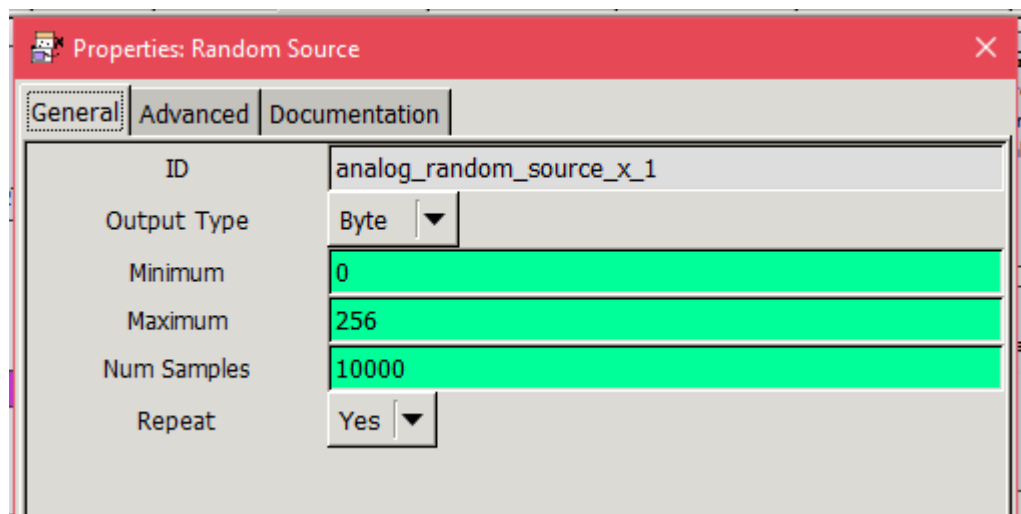


Figura 26 Bloque Random Source QPSK

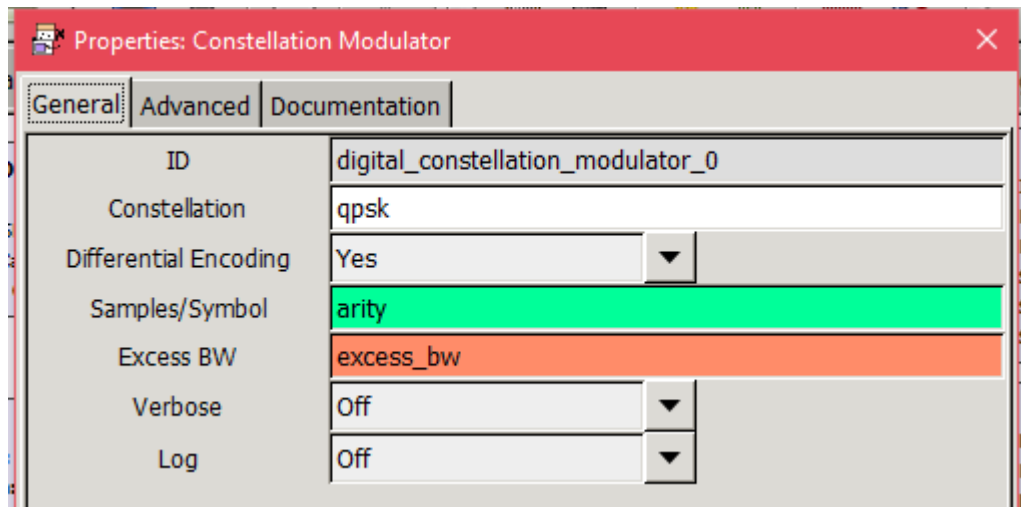


Figura 27 Bloque constellation modulator QPSK

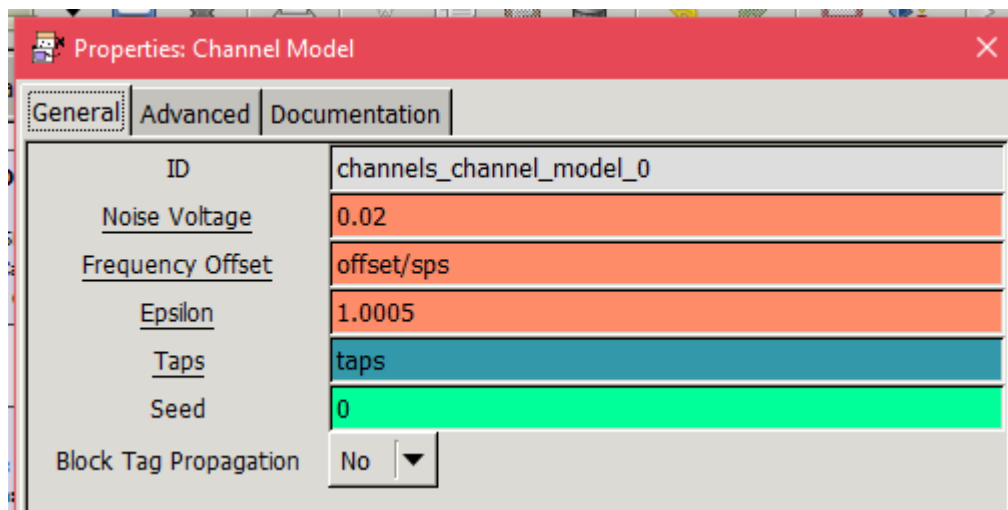


Figura 28 Bloque channel model QPSK

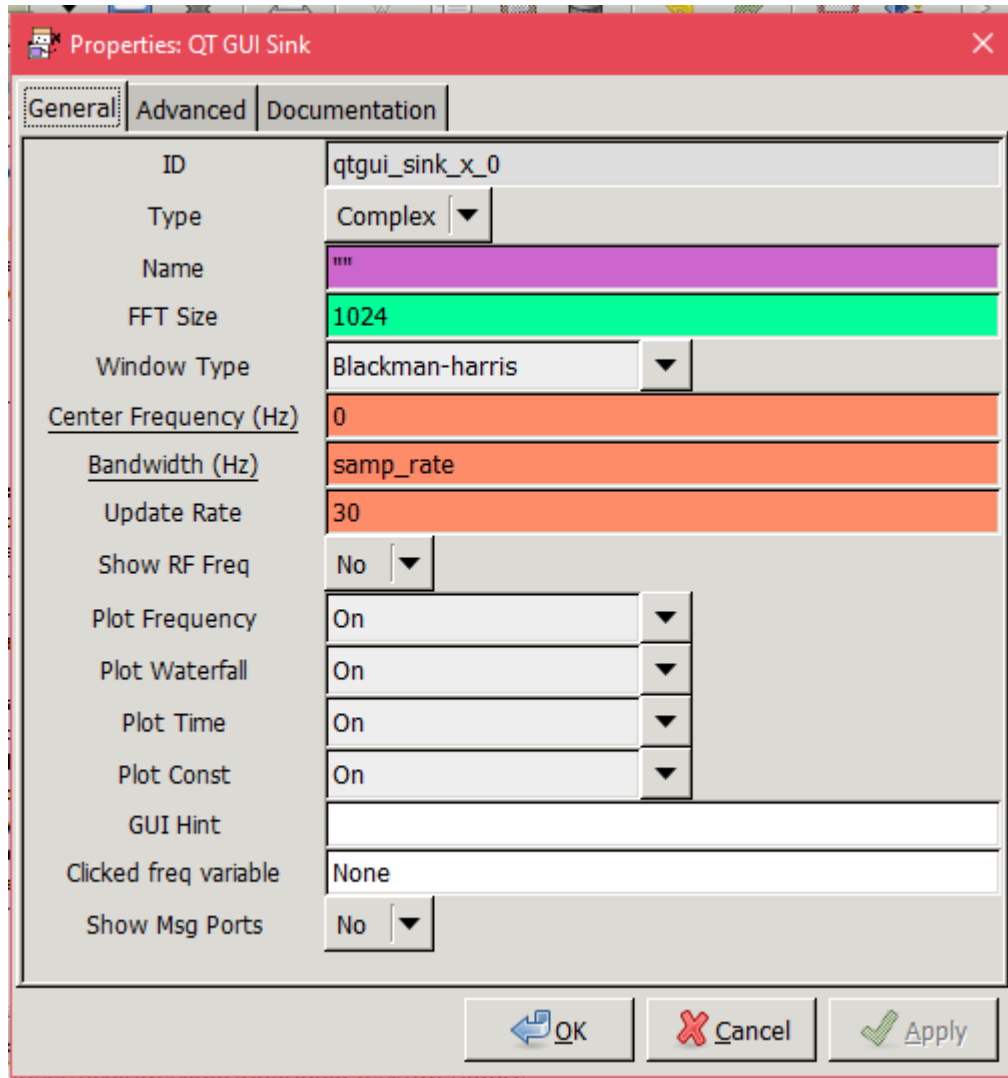


Figura 29 Bloque graficador QPSK

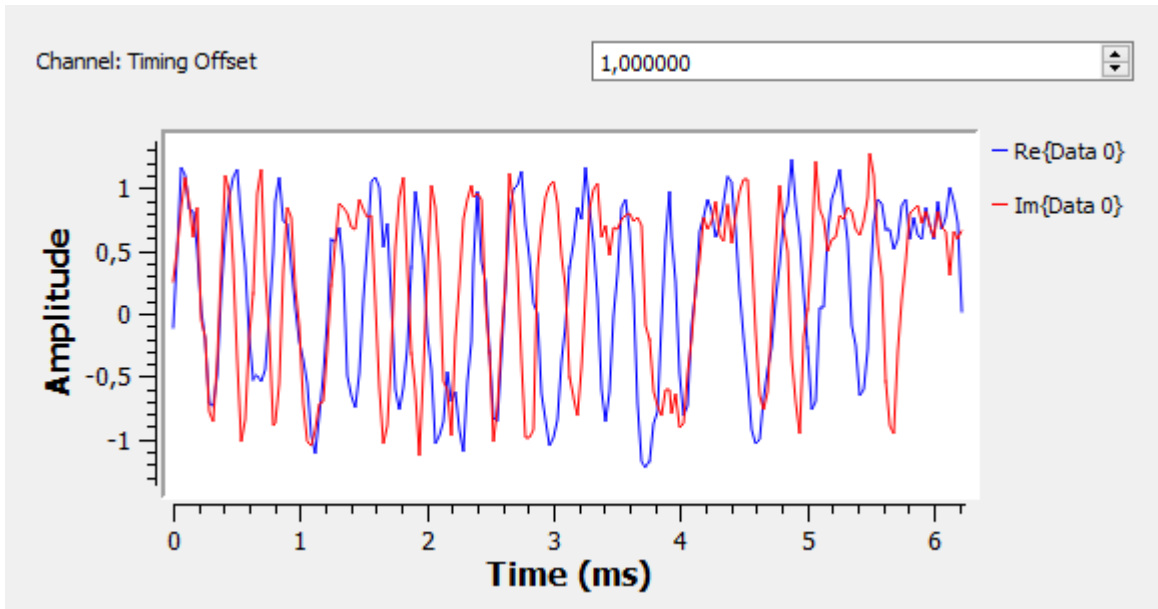


Figura 30 Salida de QPSK en el dominio del tiempo

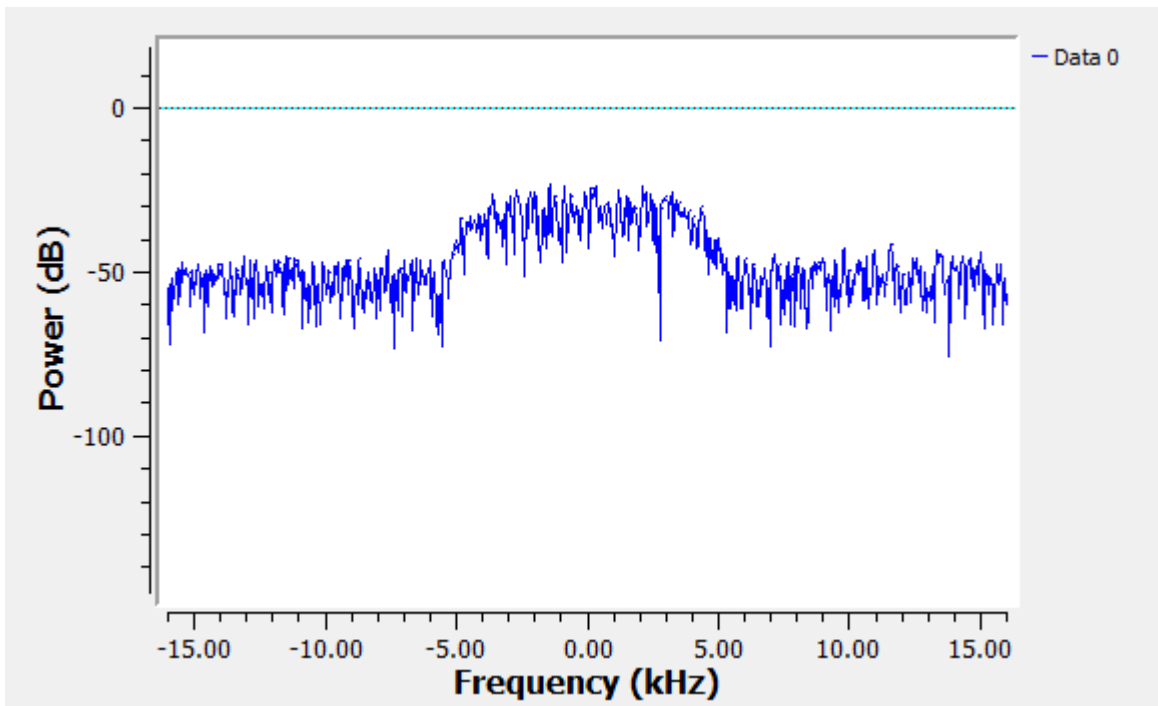


Figura 31 Salida de QPSK en el dominio de la frecuencia

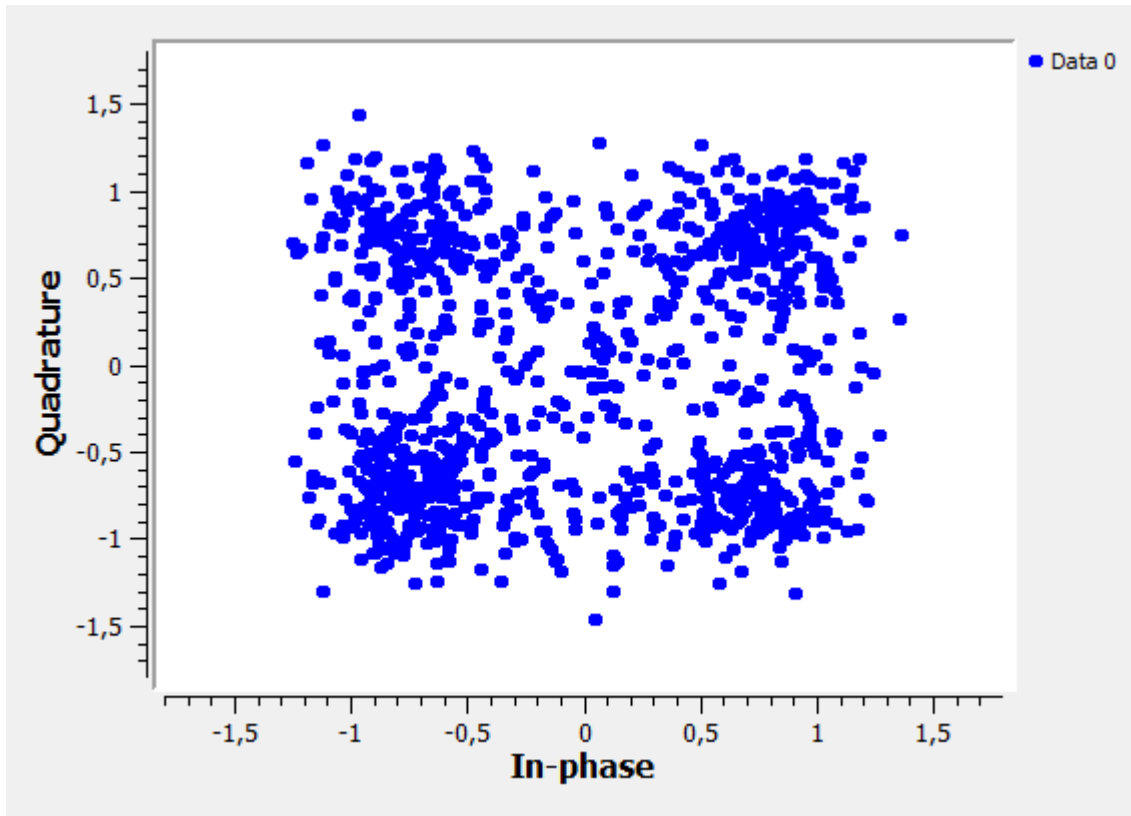


Figura 32 Salida de QPSK Constelación

En la figura 29 se puede observar la dispersión de los puntos, estos puntos significan datos, en la imagen se puede ver que el sistema tiene una gran dispersión de puntos que no llegan a los puntos establecidos para poder determinar un sistema más exacto.

Random Source:

- Minimum: Valor mínimo de bits
- Maximum: valor máximo de bits
- Num samples: número de muestras

El bloque genera una señal aleatoria de 0 a 256 bits y también genera la cantidad de datos que se van a enviar al modulador.

Constellation modulator:

- Constellation: variable de la constelación
- Samples\symbol: número de muestras por símbolo
- Excess BW: Filtro de exceso de ancho de banda

El funcionamiento de este bloque es una modulación de una constelación, utiliza los parámetros ingresados en la variable de objeto de constelación para generar la modulación en las coordenadas donde se van a ubicar los datos.

Channel Model:

- Noise voltaje: voltaje de ruido
- Frequency offset: corrimiento o desfase en la frecuencia
- Epsilon: desplazamiento en el temporizador
- Taps: orden del filtro de la señal

Este bloque representa un canal ideal donde ingresa la señal, al realizarse variaciones en el canal la constelación de salida va a tener mejoras o pérdidas de acuerdo con lo que se modifique en este canal.

QT GUI Sink:

- FFT size: tamaño de la transformada de Fourier
- Center frequency: punto central de la frecuencia
- Bandwidth: ancho de banda

Este bloque muestra cada una de las señales de salida del sistema, en este caso muestra la señal en función del tiempo, la frecuencia y la constelación.

A partir de las siguientes figuras, se observan variaciones de datos en algunos bloques, como el modelo del canal, se hacen cambios como eliminar el ruido de entrada al canal, cambio del orden del filtro y cambio de los puntos de la constelación.

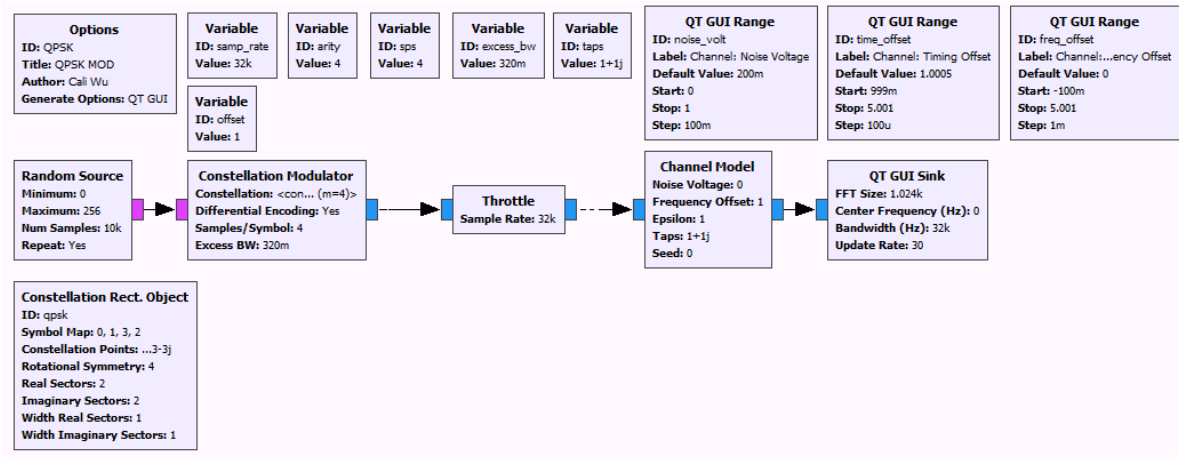


Figura 33 Esquema QPSK 2

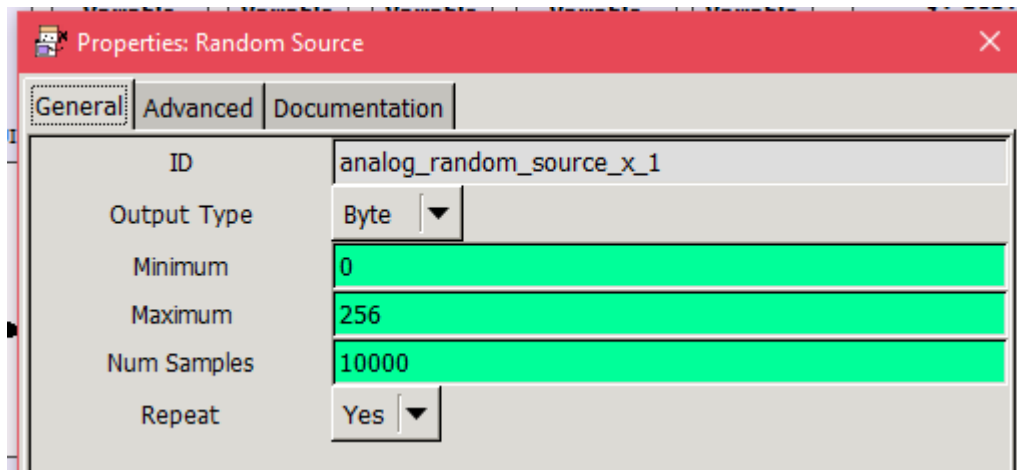


Figura 34 Random source QPSK 2

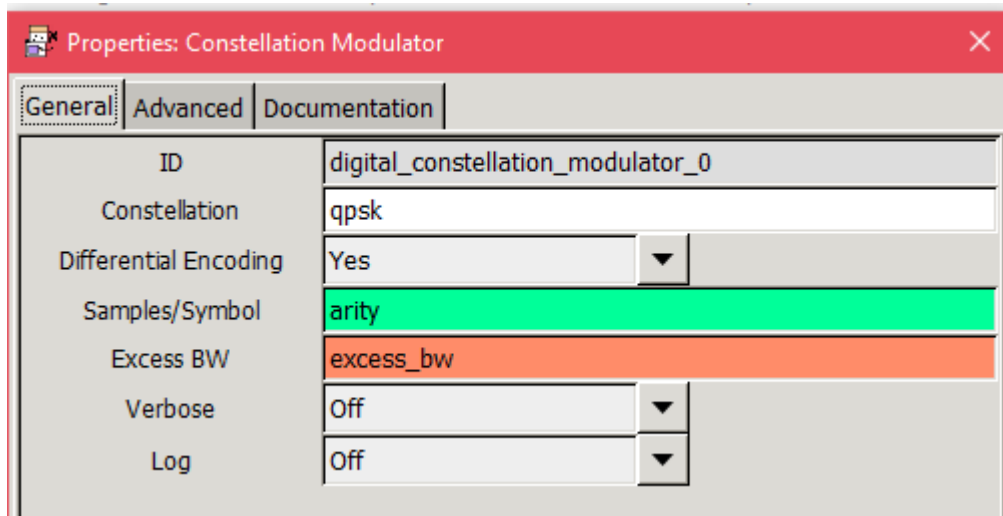


Figura 35 Constellation modulator QPSK 2

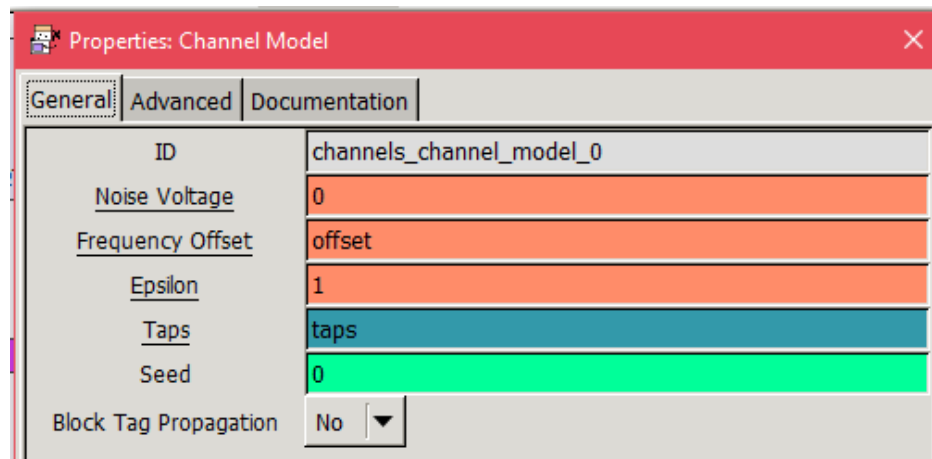


Figura 36 Channel model QPSK 2

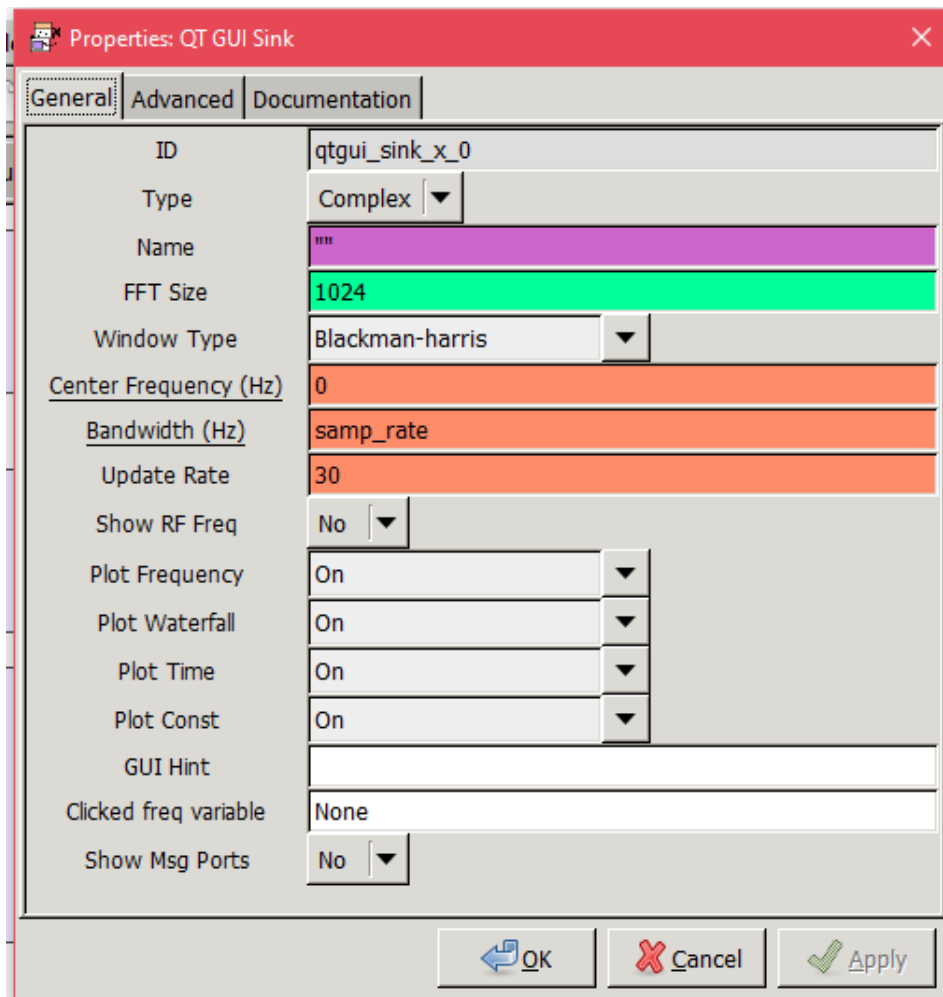


Figura 37 Graficador QPSK 2

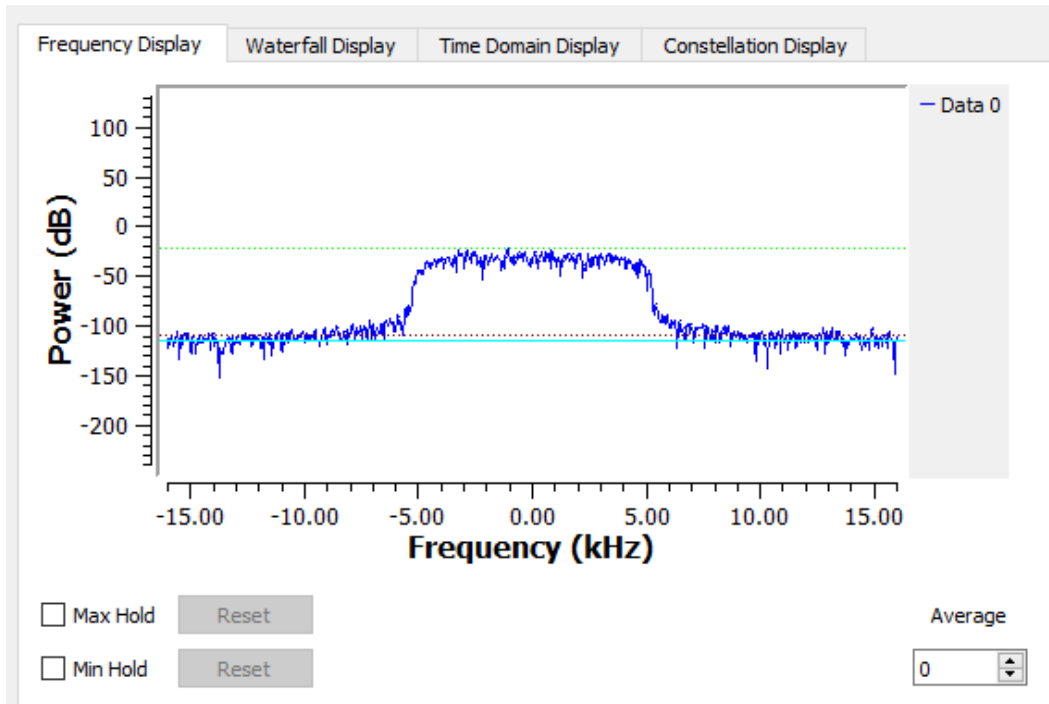


Figura 38 Respuesta en frecuencia QPSK 2

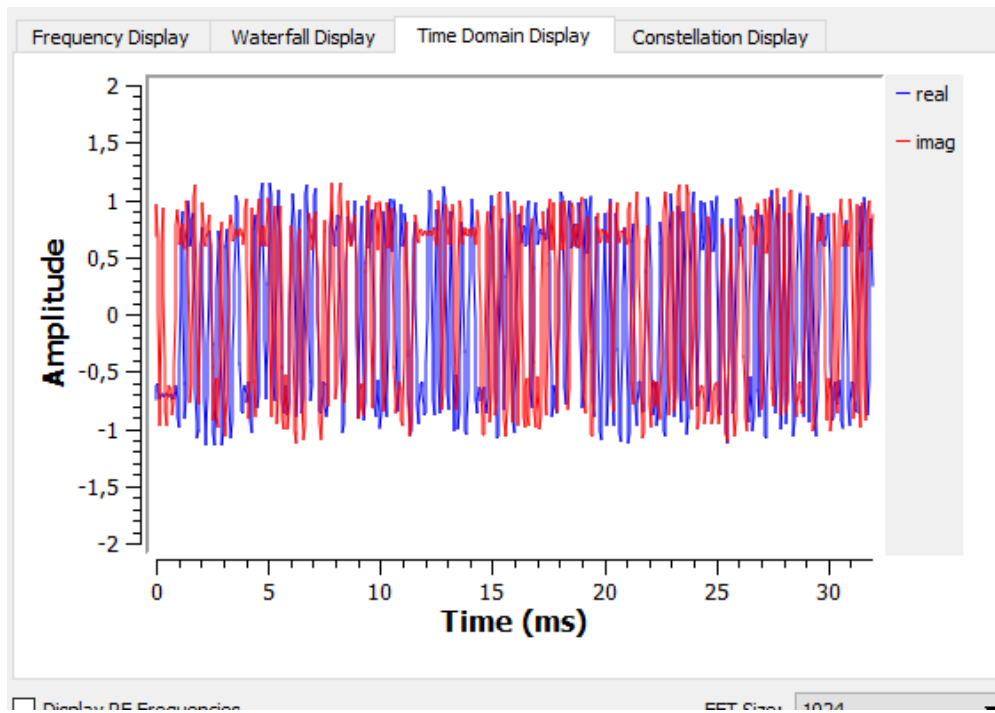


Figura 39 Respuesta en tiempo QPSK 2

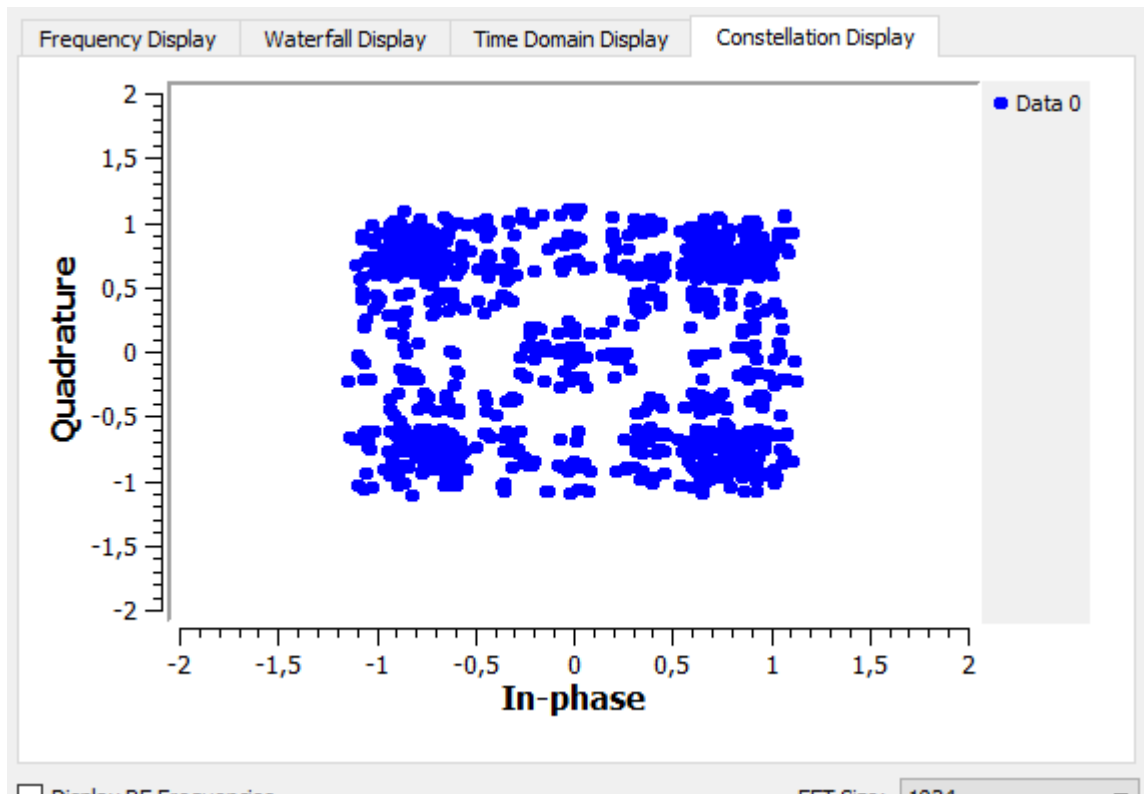


Figura 40 Constelación QPSK 2

Random Source:

- Minimum: Valor mínimo de bits
- Maximum: valor máximo de bits
- Num samples: número de muestras

El bloque genera una señal aleatoria de 0 a 256 bits y también genera la cantidad de datos que se van a enviar al modulador.

Constellation modulator:

- Constellation: variable de la constelación
- Samples\symbol: número de muestras por símbolo
- Excess BW: Filtro de exceso de ancho de banda

El funcionamiento de este bloque es una modulación de una constelación, utiliza los parámetros ingresados en la variable de objeto de constelación para generar la modulación en las coordenadas donde se van a ubicar los datos.

Channel Model:

- Noise voltaje: voltaje de ruido
- Frequency offset: corrimiento o desfase en la frecuencia
- Epsilon: desplazamiento en el temporizador
- Taps: orden del filtro de la señal

Este bloque representa un canal ideal donde ingresa la señal, al realizarse variaciones en el canal la constelación de salida va a tener mejoras o pérdidas de acuerdo con lo que se modifique en este canal.

QT GUI Sink:

- FFT size: tamaño de la transformada de Fourier
- Center frequency: punto central de la frecuencia
- Bandwidth: ancho de banda

Este bloque muestra cada una de las señales de salida del sistema, en este caso muestra la señal en función del tiempo, la frecuencia y la constelación.

En este capítulo del Proyecto se puede observar el proceso de la estructuración y el conexasión entre los bloques para poder realizar la modulación digital, en estas simulaciones se puede observar los esquemas de BPSK y QPSK.

11 ESTUDIO DE ANALISIS

11.1 Simulaciones en GNU Radio

Se realizaron dos tipos de modulación digital, los cuales son BPSK y QPSK, ambos esquemas permiten generar una modulación, donde su principal función es transmitir y recibir datos a través de una señal portadora este sistema permite que la información en bits viaje a través de la modulación en determinada frecuencia. En estas simulaciones se puede apreciar como los datos se dispersan del punto ideal al que deben llegar.

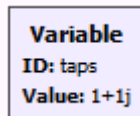
Para el esquema QPSK se va a tener cuatro coordenadas o referencias donde los datos se van a agrupar, los puntos en la constelación van a representar unos datos y los grupos donde se relacionen van a ser las referencias, de esta manera se puede saber si los datos se están dispersando o no están llegando a las coordenadas de la constelación y también si la

modulación está bien hecha. En caso de tener muchos puntos dispersos en el área esto indicaría que el sistema tiene ruido o demoras en la transmisión de los datos.

En el primer esquema de modulación QPSK, la salida de la constelación muestra muchos datos dispersos, esto se debe a que este primer esquema maneja una entrada de ruido por voltaje en el bloque del canal, al quitar este ruido como se muestra en la segunda simulación se puede observar que tiene una menor dispersión de datos.

Si se realiza un cambio en el Offset (desplazamiento en la señal) se puede observar que la señal va a tener un desfase en su salida, en el caso de cambiar el orden del filtro se va a generar un giro en la salida de la señal o más bien un corrimiento que se genera en la frecuencia, donde la constelación se gira unos 90° , en las siguientes figuras se puede observar los cambios.

Al cambiar el orden del filtro, en este caso la variable TAPS se puede observar un corrimiento o giro de la constelación, se define la variable como $1 + 1j$ se tiene en cuenta una parte real e imaginaria donde se genera un desfase en la frecuencia y genera este caso donde la constelación esta rotada 90° .



Variable
ID: taps
Value: 1+1j

Figura 41 Variable taps

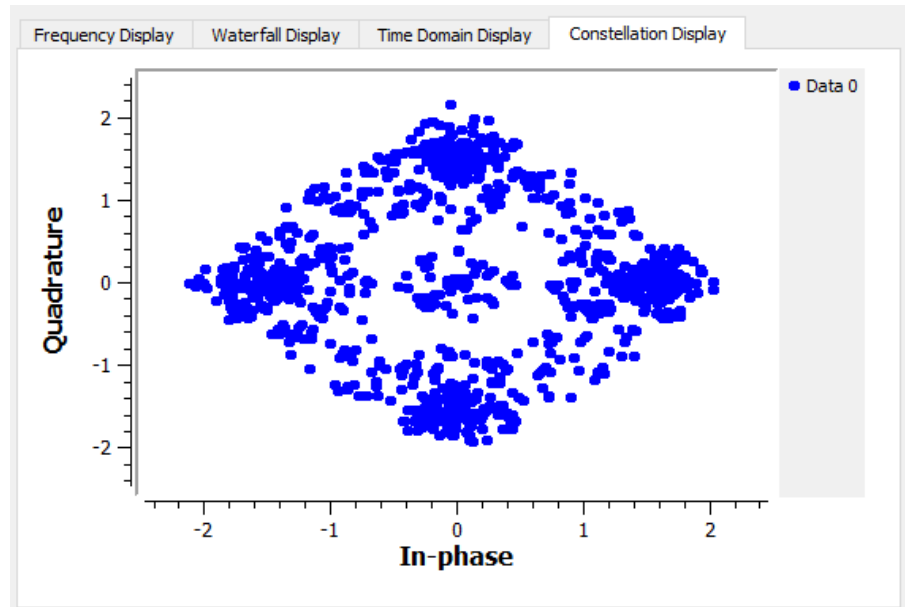


Figura 42 Constelación QPSK con Cambio en taps

Si se baja el exceso del ancho de banda del canal se puede observar como la salida de la constelación se vuelve más pequeña y también se puede analizar que tiene menos datos dispersos y puntos alrededor, esto se debe a que no se están tomando todos los datos de entrada de la señal, sino que se toma un rango menor de datos.

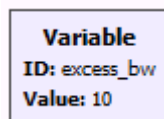


Figura 43 Variable excess bw

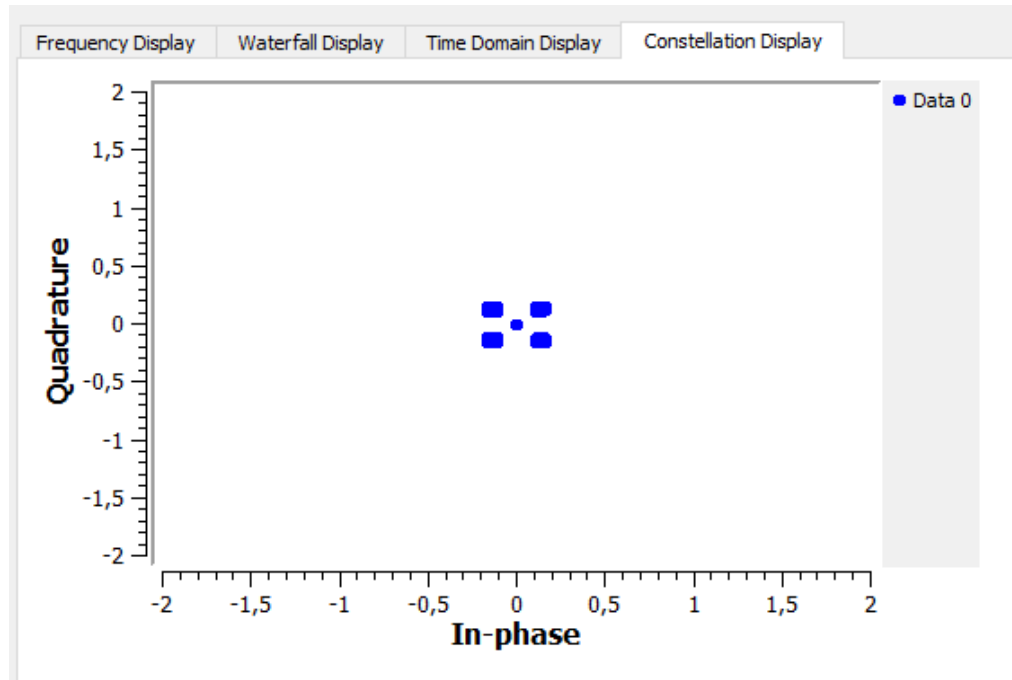


Figura 44 Constelación QPSK Cambio de excess bw

Si se realiza una modificación en el canal y se coloca un valor de ϵ de 5, en este caso la ϵ es un desplazamiento en el tiempo, al realizar este cambio la salida de la frecuencia no nos muestra el intervalo de trabajo de la señal.

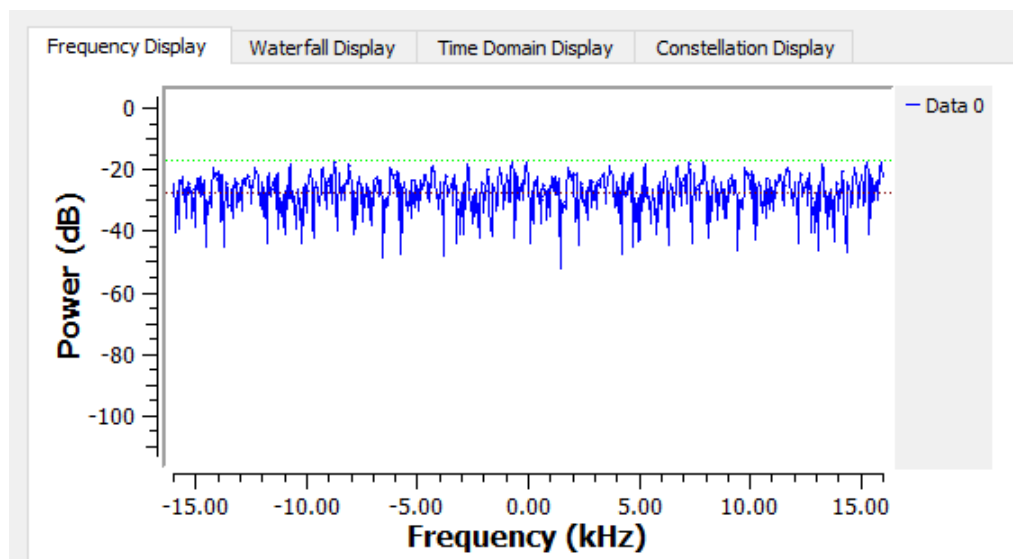


Figura 45 Frecuencia QPSK con Cambio en epsilon

Se realiza más Adelante pruebas sobre el programa de LabVIEW para probar los esquemas de modulación BPSK y QPSK en tarjetas USRP.

11.2 Pruebas del Sistema en LabVIEW

Se realizaron pruebas del funcionamiento del sistema en tarjetas USRP, para estas pruebas se realizaron dos programas un transmisor y un receptor, sobre las tarjetas se modulo una señal BPSK y QPSK, las pruebas se realizaron en dos frecuencias 900MHz y 2.45GHz, se dejó una ganancia de 12 dB y se dejó una cantidad de muestras por segundo de 125K.

Se realizo en este programa debido a que las tarjetas son compatibles con el software LabVIEW.

Proceso de realización de pruebas

1. conectar la USRP en el puerto G Ethernet hacia un puerto USB del computador



Figura 46 Conexión PC a USRP

2. Abrir el programa **NI-USRP Configuration Utility** y configurar los nombres de las tarjetas.

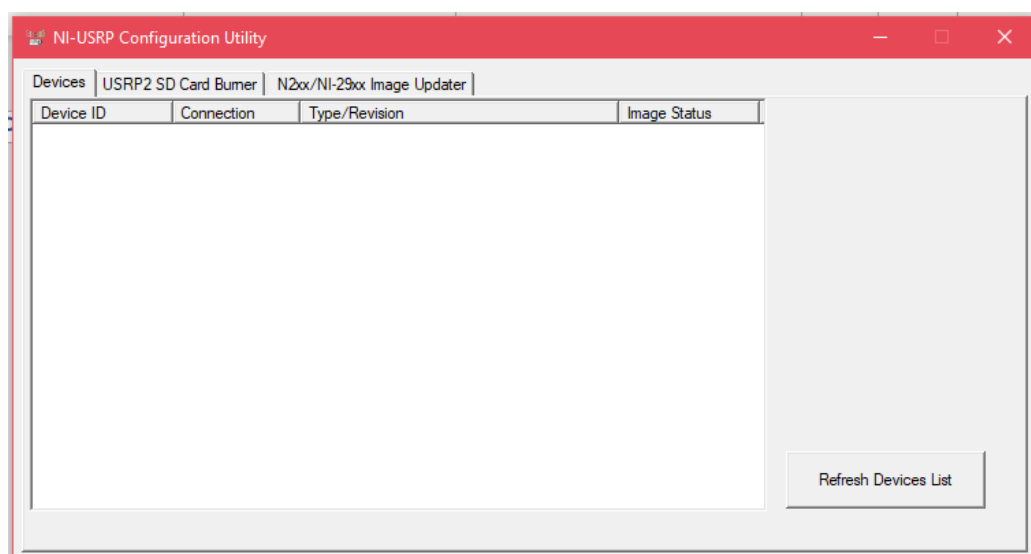


Figura 47 NI-USRP Configuration Utility

- Colocar un nombre a cada tarjeta para poder distinguir el transmisor (TX) del receptor (RX).



Figura 48 Tarjetas USRP con los nombres configurados

- Abrir LabVIEW y comenzar a ejecutar los programas del transmisor y el receptor

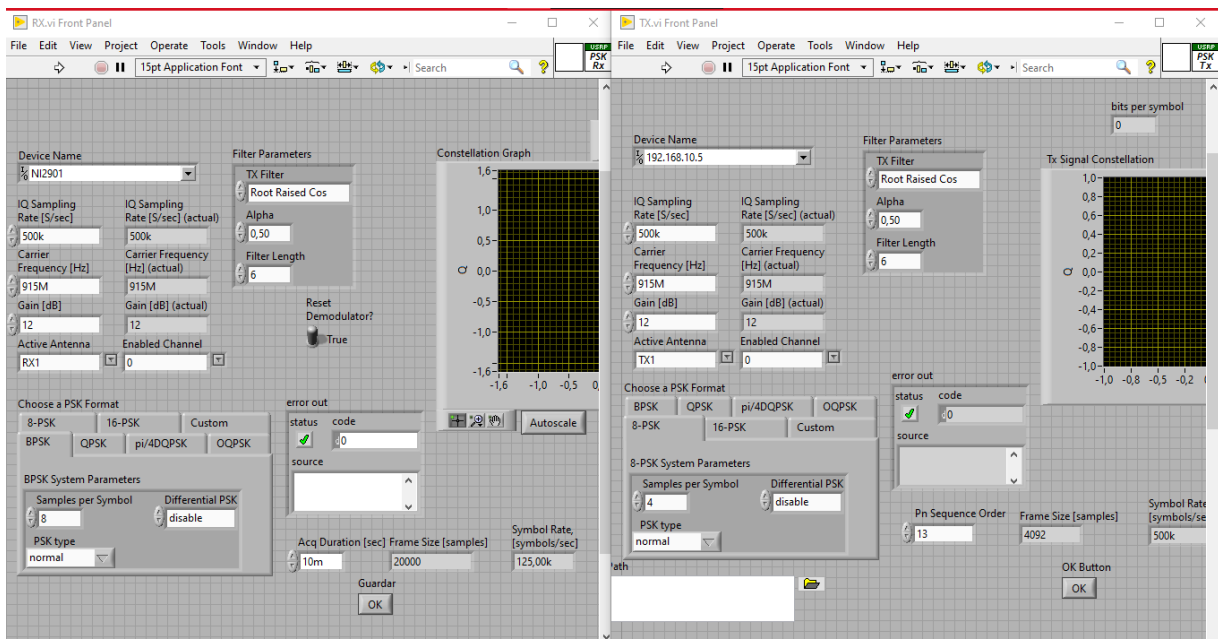


Figura 49 TX y RX LabView

- Configurar en el transmisor y en el receptor el tipo de modulación que se desea ejecutar y la frecuencia, en la casilla **Active Antenna** se debe seleccionar RX1 o RX2, para RX1 para recibir los datos sobre la misma tarjeta del transmisor y RX2 para la otra tarjeta que se tiene conectada, para TX1 y TX2 funciona de la misma manera que el RX solo que esta parte va a ser para el transmisor.

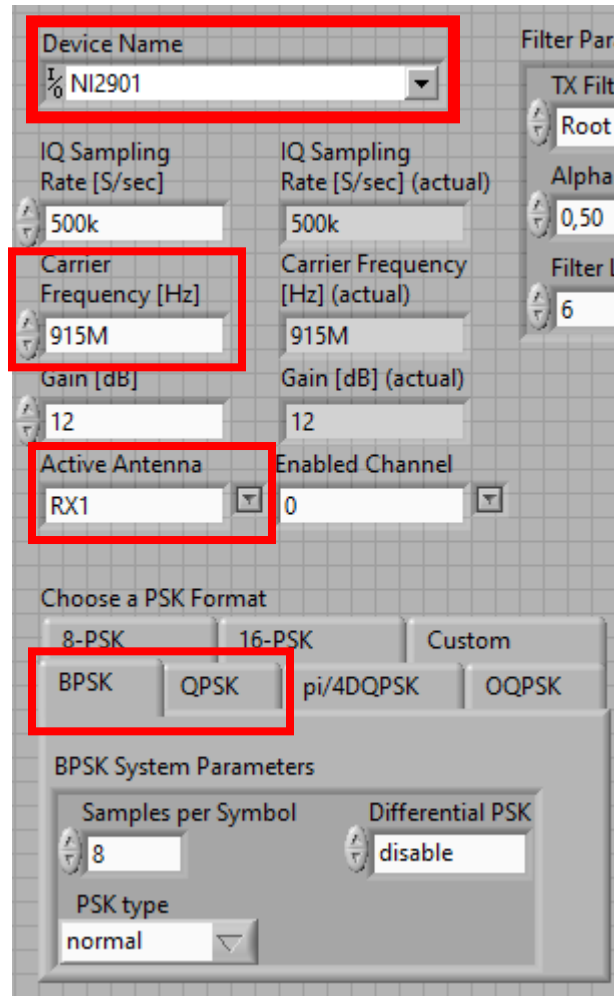


Figura 50 Configuración de la modulación

- Iniciar las pruebas (Play)

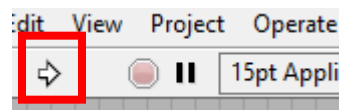


Figura 51 Inicio de pruebas (boton Play)

7. Ejecutar los programas y guardar los datos, para que los datos queden en un archivo .xls

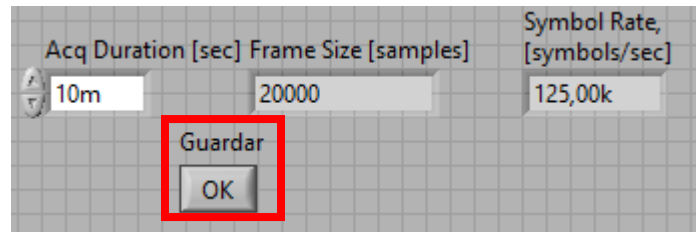


Figura 52 Boton para guardar datos

En la Figura 53 se muestra el diagrama del proceso de las pruebas realizadas en LabVIEW para poder obtener los datos y analizar mas adelante la eficiencia de ambos sistemas.

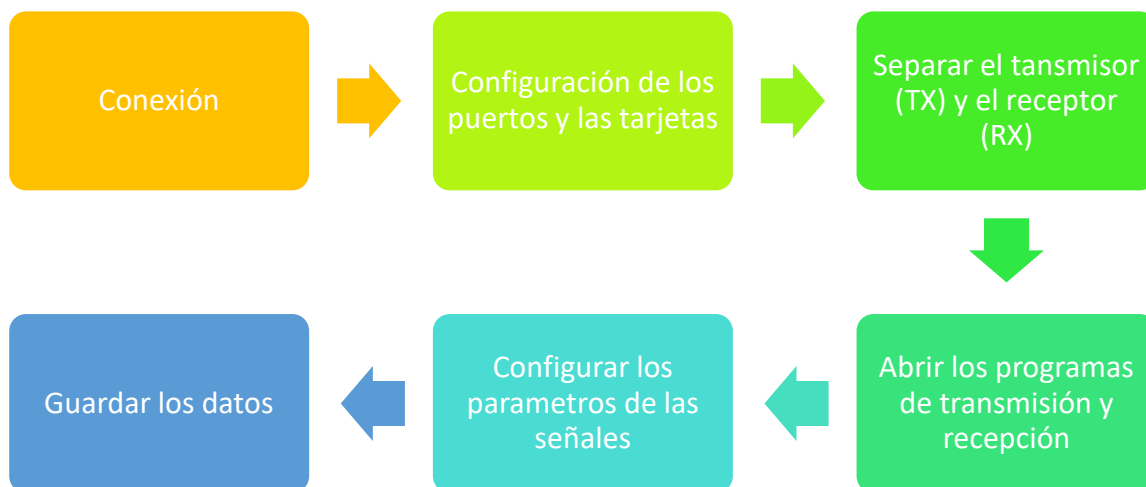


Figura 53 Proceso de pruebas en Lab View

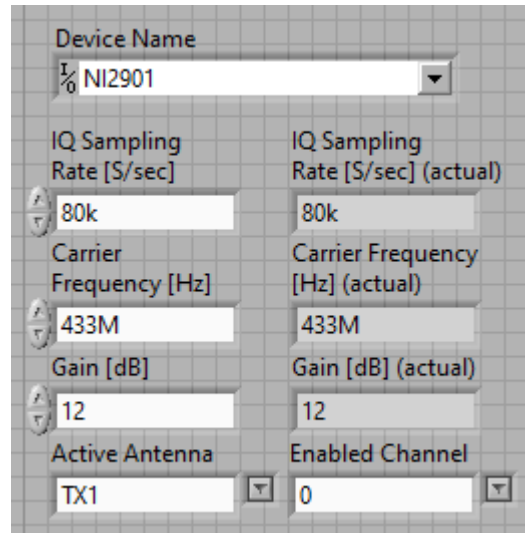


Figura 54 Bloque 1 interfaz LabVIEW

Device Name: Nombre asignado al dispositivo (USRP)

IQ Sampling: Cantidad De muestras por segundo

Carrier Frequency: Frecuencia de transmisión o recepción, depende del programa que se ejecute

Gain: Ganancia

Active Antena: Seleccionar la antena que va a transmitir o recibir

Enable Channel: Canal en el que se desea transmitir o recibir

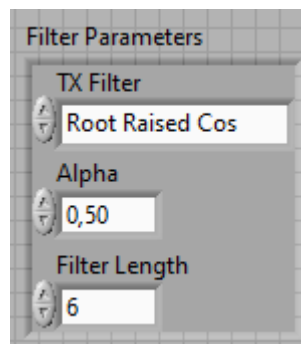


Figura 55 Filtro Coseno Elevado LabVIEW

TX Filter: Filtro TX, en este caso un filtro de coseno elevado

Alpha: Factor de reducción

Filter Length: Longitud del filtro

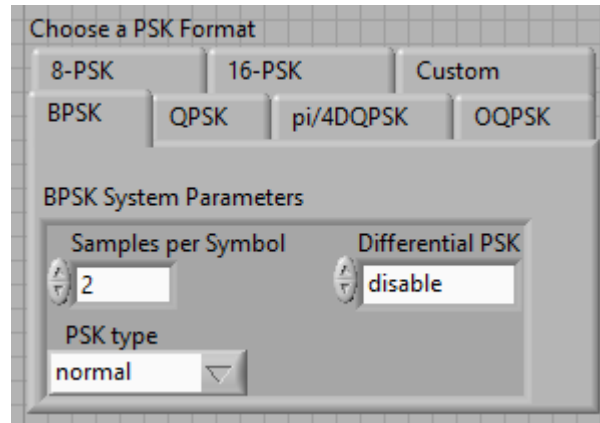


Figura 56 Selección de modulación

Samples per-Symbol: Muestras por símbolo

PSK type: Tipo de PSK (Normal, Desplazada, Compensada)

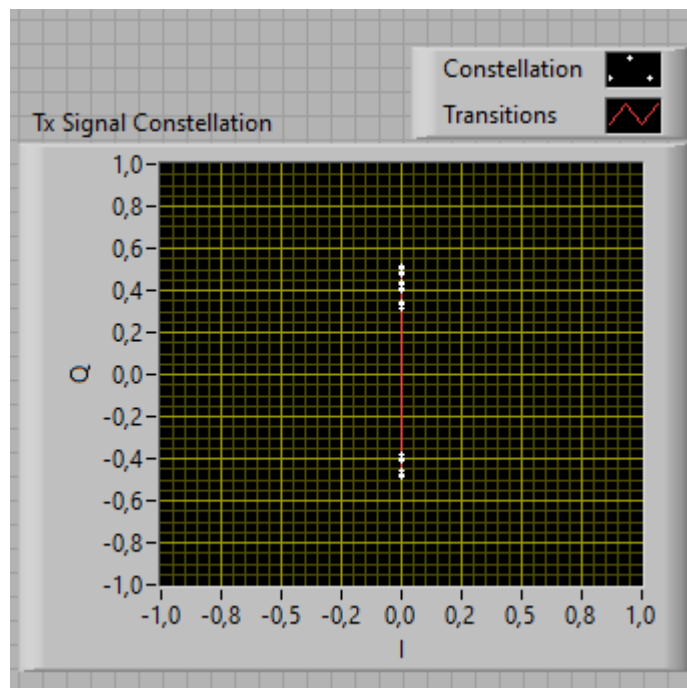


Figura 57 Grafica del Transmisor

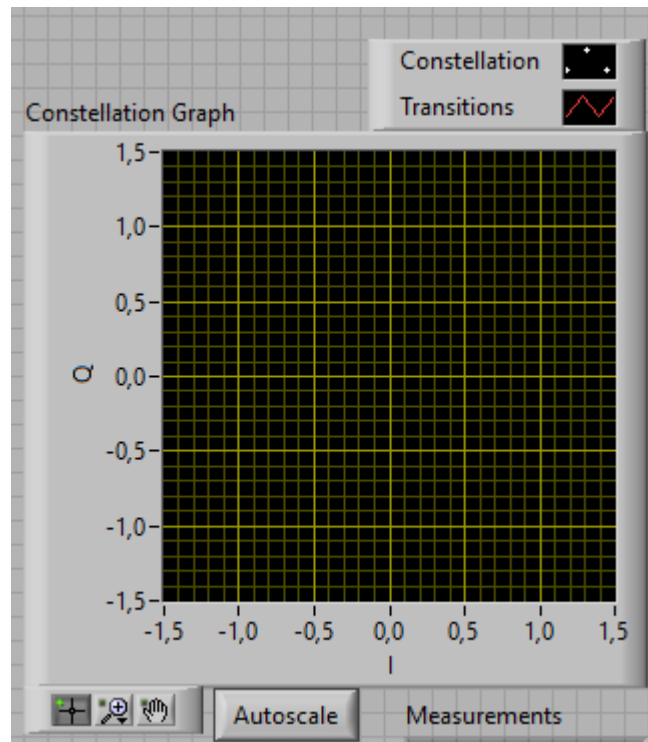


Figura 58 Grafica del Receptor

Grafica de la señal recibida, el botón Autoscale permite ajustar la escala para poder observar de mejor manera la señal recibida.

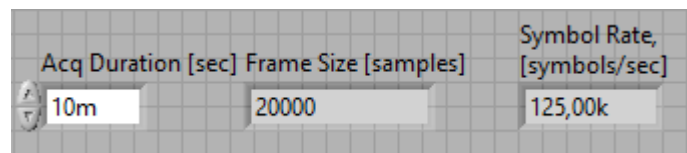


Figura 59 Configuración del tiempo de recepción

Acq Duration: Duración de la recepción

Frame Size: Tamaño de muestreo

Symbol Rate: Velocidad de símbolo

En la figura 60 se puede observar el transmisor QPSK transmitiendo a 2.45GHz.

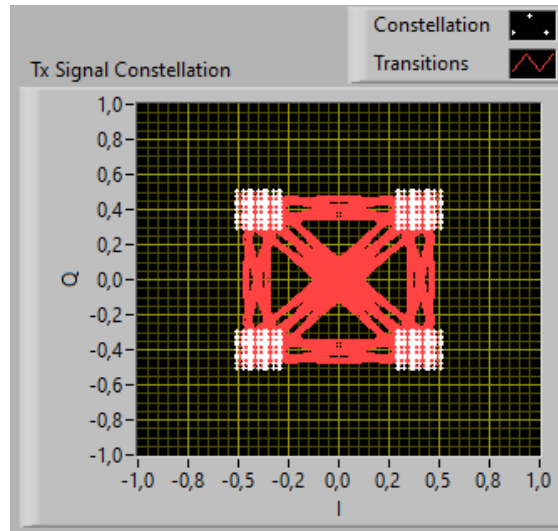


Figura 60 Transmisor QPSK LabVIEW

De acuerdo a las siguientes figuras 61, 62 y 63 se puede observar como la recepción de la señal va cambiando de acuerdo a las distancias a las que se encuentran el receptor y el transmisor, se observa que mientras más aumente la distancia los datos de la señal se ven dispersando y por eso se visualiza que la constelación se ensancha, esto da a entender que la distancia también es un factor importante en los sistemas de telecomunicación inalámbricos para determinar cómo se está recibiendo la señal de acuerdo al distanciamiento del transmisor del receptor.

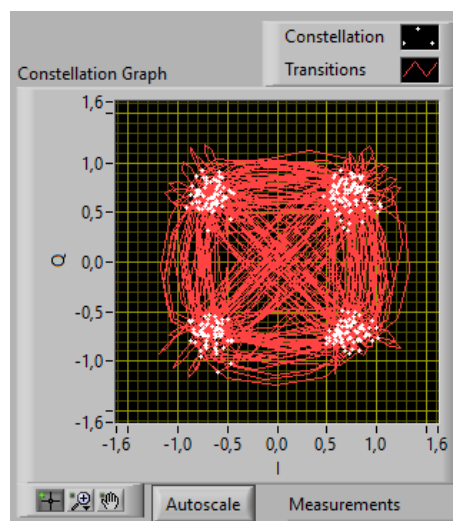


Figura 61 Receptor QPSK 1 misma tarjeta

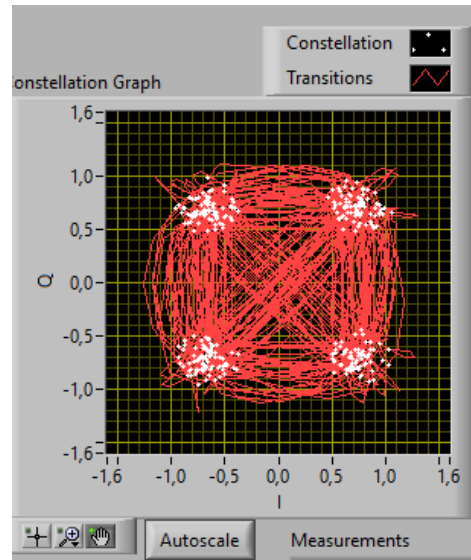


Figura 62 Receptor QPSK 20cm

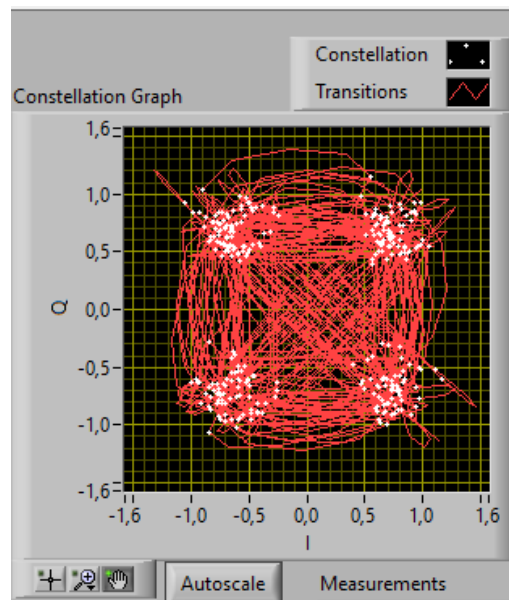


Figura 63 Receptor QPSK 2.5M

La figura 64 muestra el transmisor de BPSK con frecuencia de 2.45GHz, en las siguientes figuras 65, 66, y 67 se observa los receptores de BPSK, de acuerdo con la distancia en la que se encuentren la señal del receptor va a variar y cambiar un poco debido a que al irse separando cada vez más del receptor los datos se van a ir dispersando de los puntos de la constelación lo cual puede determinar ruido en el canal de transmisión o demoras en la recepción de los datos.

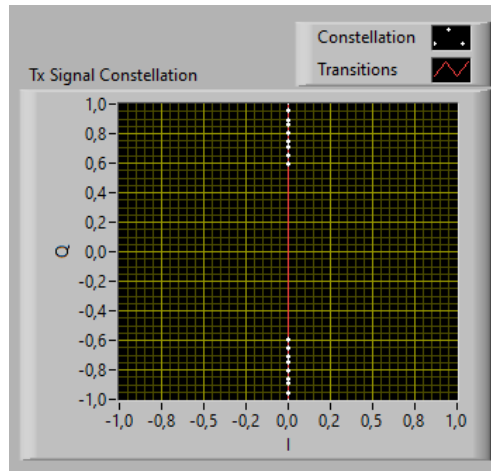


Figura 64 Transmisor BPSK a 2.45GHz LabVIEW

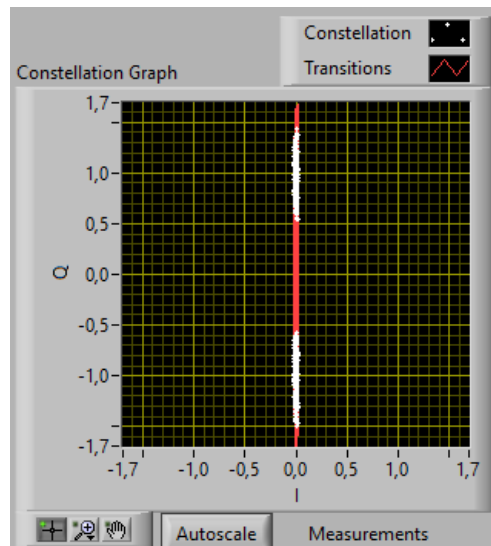


Figura 65 Receptor BPSK 2.45GHz sobre la misma tarjeta

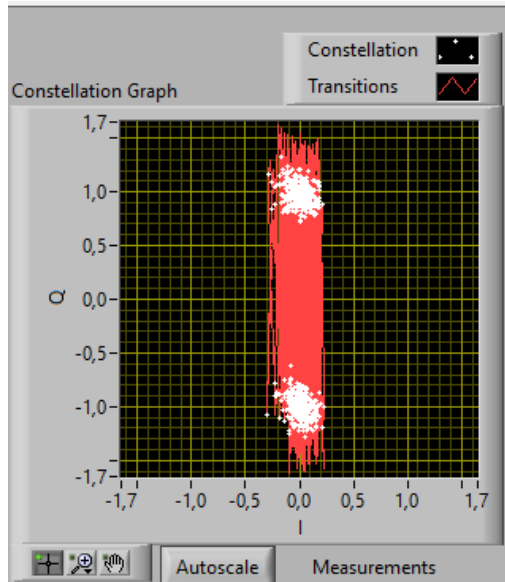


Figura 66 Diagrama de constelación de un receptor BPSK a frecuencia de 2.45GHz a 10cm del transmisor

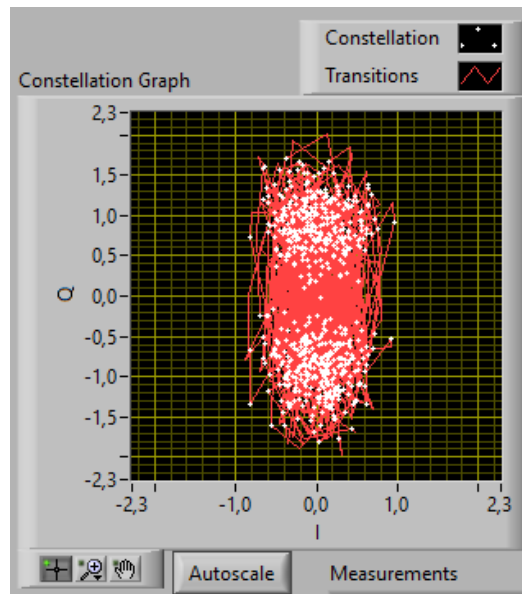


Figura 67 Receptor BPSK a una frecuencia de 2.54GHz y una distancia del transmisor de 50cm

Para la realización del cálculo del EVM se utilizó la fórmula 4 donde se sacaron los datos de las pruebas y se procedió a calcular la diferencia entre los puntos del transmisor y el receptor, al obtener la diferencia se procedió a calcular el EVM y normalizando el resultado.

$$Diferencia = \sqrt{(a - c)^2 + (bi - di)^2} \quad (5)$$

La normalización de los datos se hizo sobre el dato más grande que se tenía de los 4000 datos que guardo el receptor. Para la normalización se tomó el EVM y se divide por el valor más grande.

50 cm				Max Dif	2,52194391	
REAL	IMAGINARIO	SIMBOLO	Real Tx	Img Tx	DIFERENCIA	EVM
0,038	1,172	0	3,2481E-17	0,444728	0,72826407	0,28877092
0,036	1,312	0	3,2481E-17	0,444728	0,86801885	0,34418642
0,027	1,385	0	3,2481E-17	0,444728	0,94065957	0,37298989
0,014	1,398	0	3,2481E-17	0,444728	0,9533748	0,37803172
-0,006	1,369	1	-3,2481E-17	-0,444728	1,81373792	0,7191825
-0,032	1,317	1	-3,2481E-17	-0,444728	1,7620186	0,69867478

Figura 68 Tabla del calculo de la diferencia y el EVM

En la figura 69 se observan los datos obtenidos de las posiciones de las constelaciones en referencia a los puntos del transmisor y el receptor, el EVM es la medida de la diferencia entre las constelaciones para determinar el porcentaje de lejanía del Sistema.

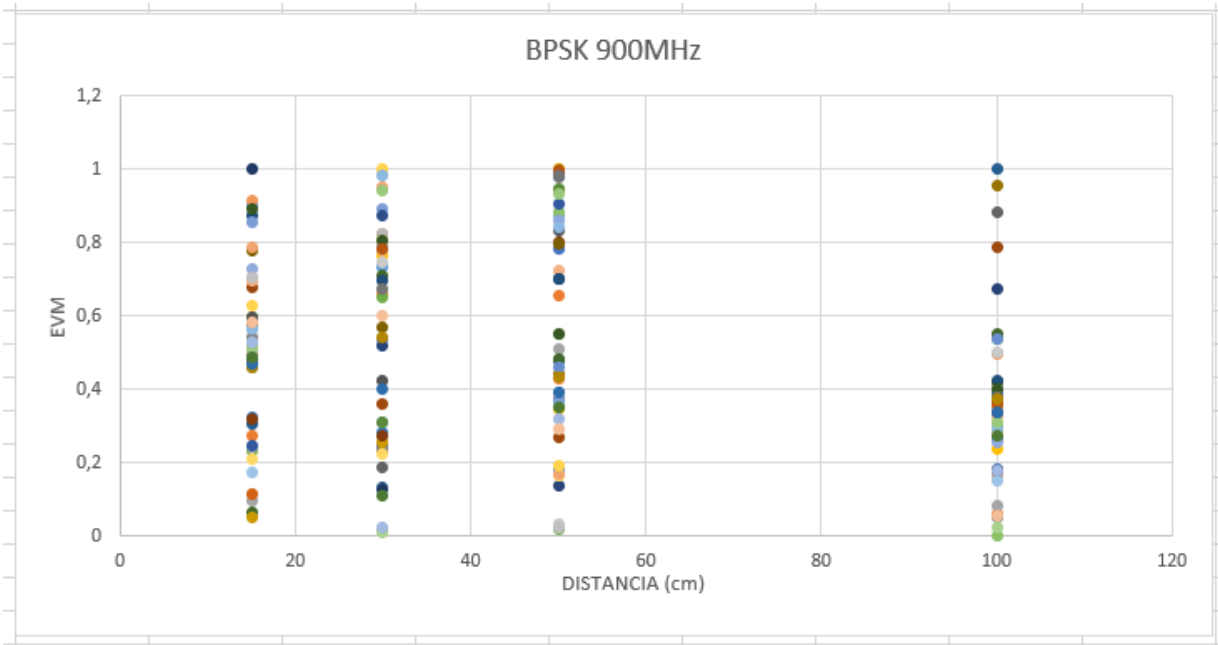


Figura 69 Prueba BPSK 900MHz analisis del EVM

Para la figura 70 se observa la distribución de los puntos en referencia a la diferencia entre el receptor y transmisor en la modulación QPSK para una frecuencia de 900MHz.

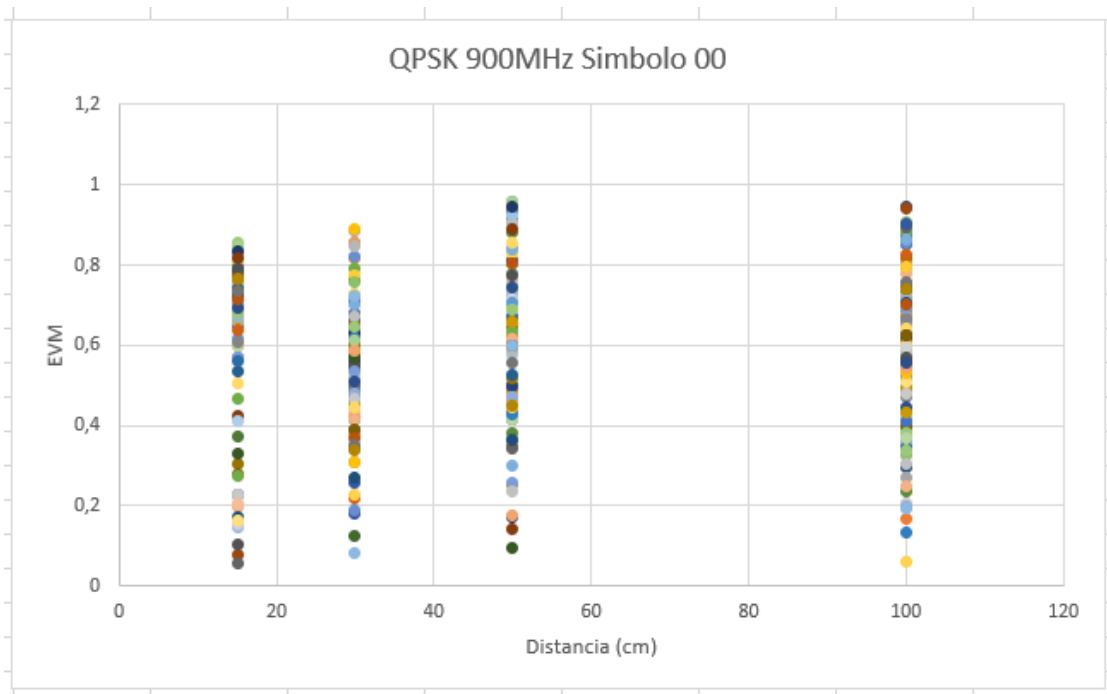


Figura 70 QPSK 900MHz simbolo 00

En la Figura 71 se observa el resultado del EVM en las pruebas de BPSK a una frecuencia de 2.45GHz, donde la diferencia más grande se encuentra en la distancia de 15 cm de acuerdo con la toma de datos, se tomaron alrededor de 4000 datos donde se tomaron 100 datos para poder graficarlos, en estas graficas se puede observar la diferencia de los puntos del transmisor y el receptor.

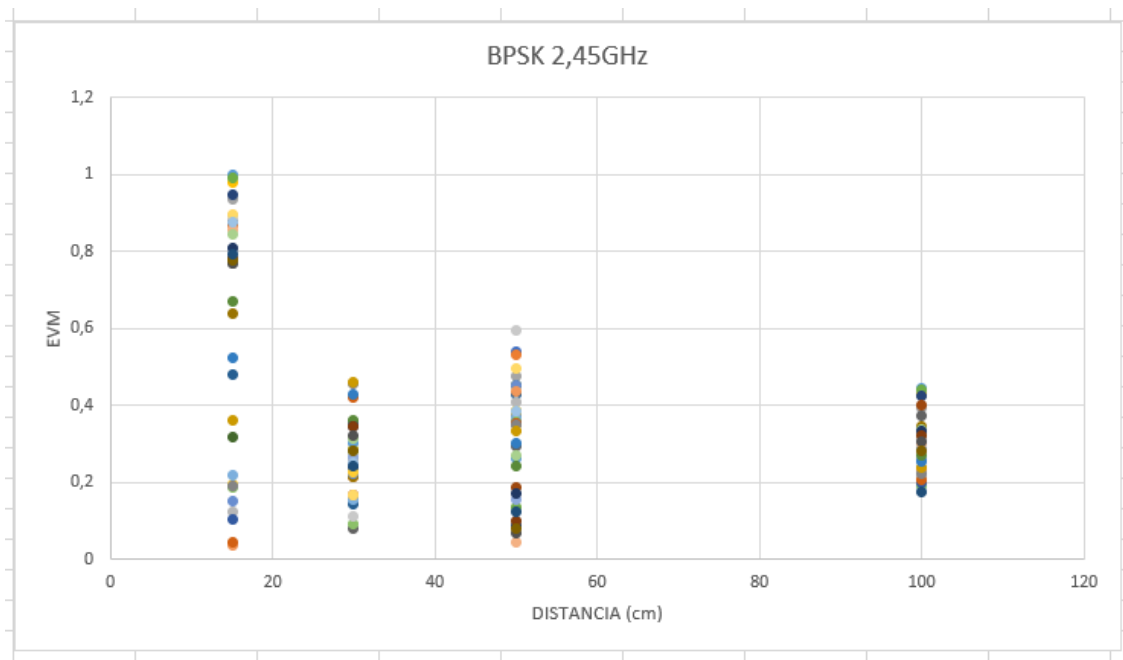


Figura 71 Prueba BPSK 2.45GHz Analisis del EVM

En las figuras 72 a 75 se observan las pruebas en QPSK para una frecuencia de 2.45GHz donde se observa la diferencia entre símbolos.

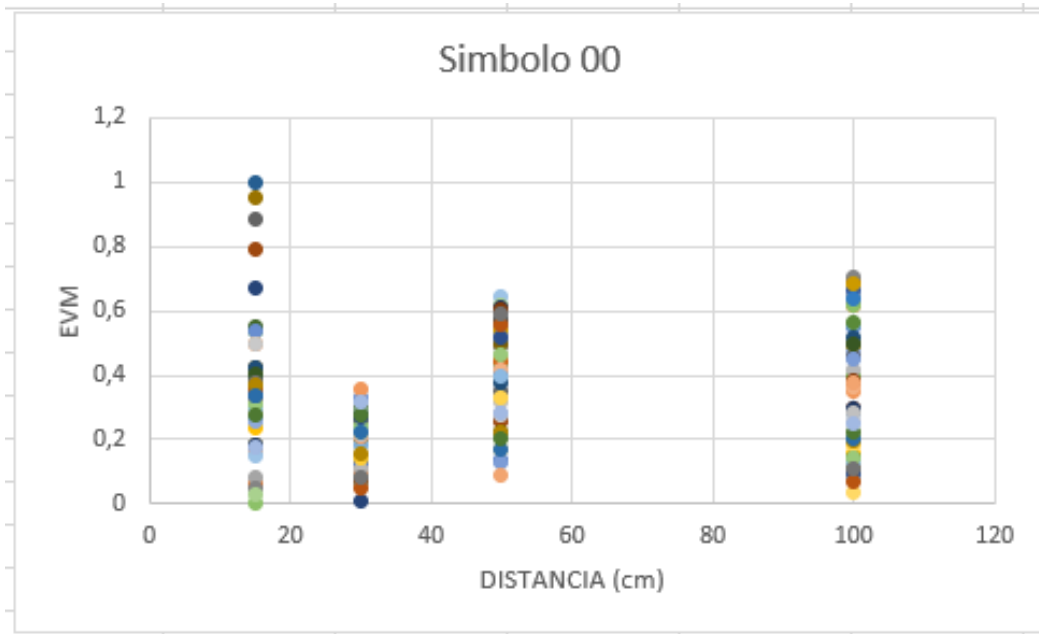


Figura 72 Prueba QPSK 2.45GHz simbolo 00

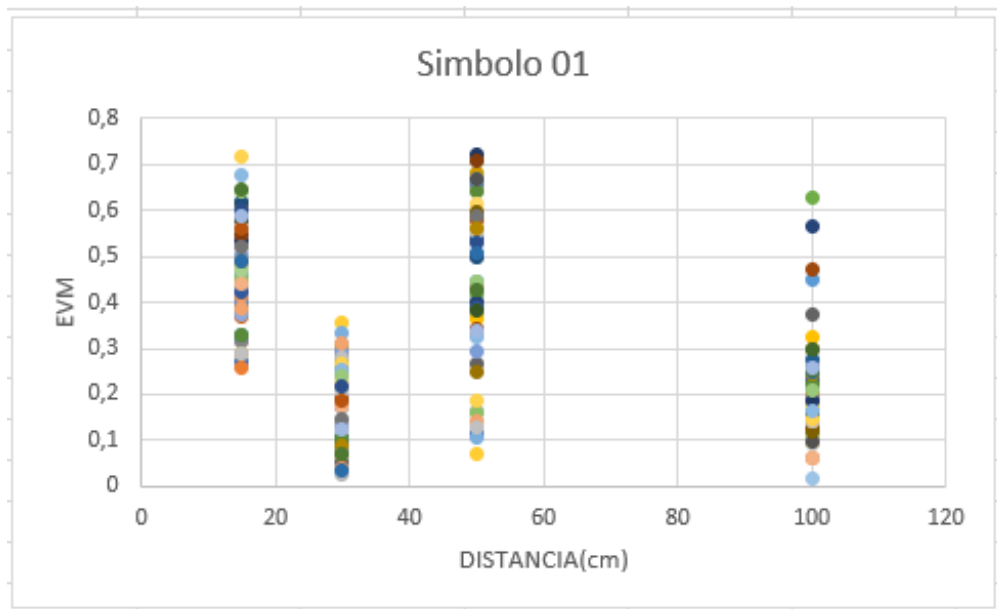


Figura 73 Prueba QPSK 2.45GHz simbolo 01

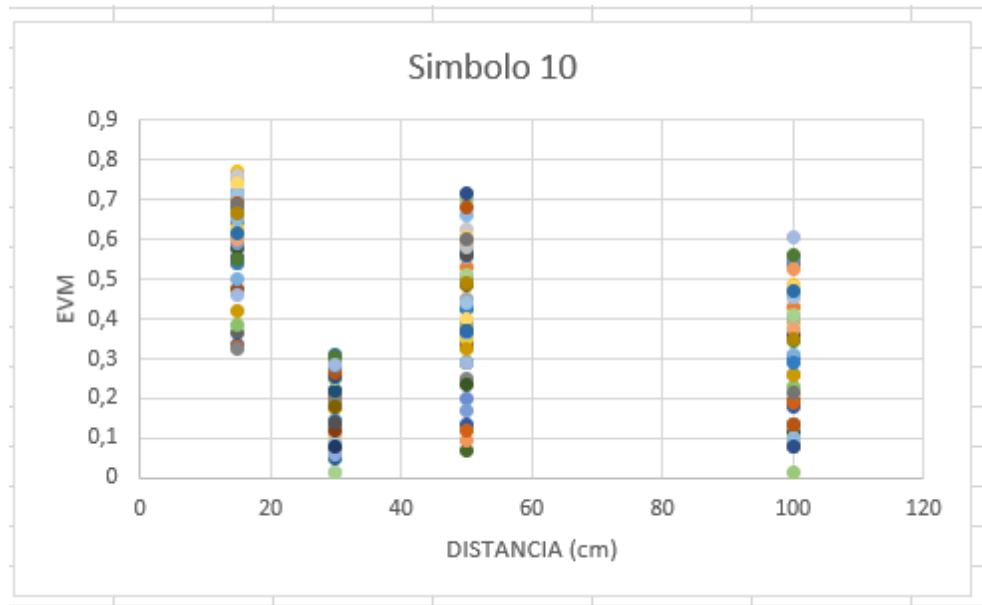


Figura 74 Prueba QPSK 2.45GHz simbolo 10

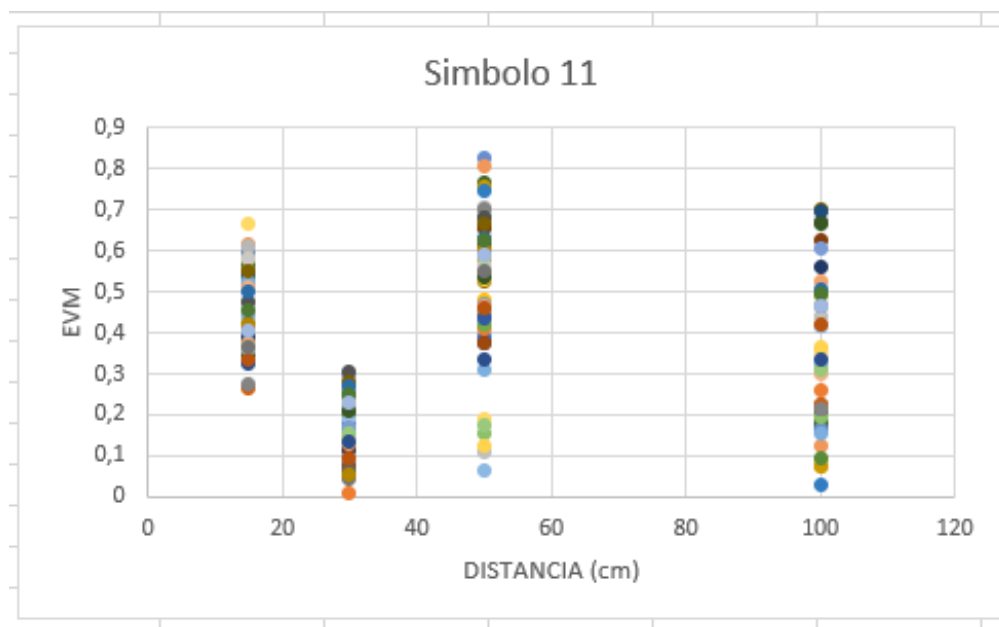


Figura 75 Prueba QPSK 2.45GHz simbolo 11

En la Figura 76 se observa el resultado del EVM para una modulación BPSK a una frecuencia de 4GHz en los símbolos 1 y 0.

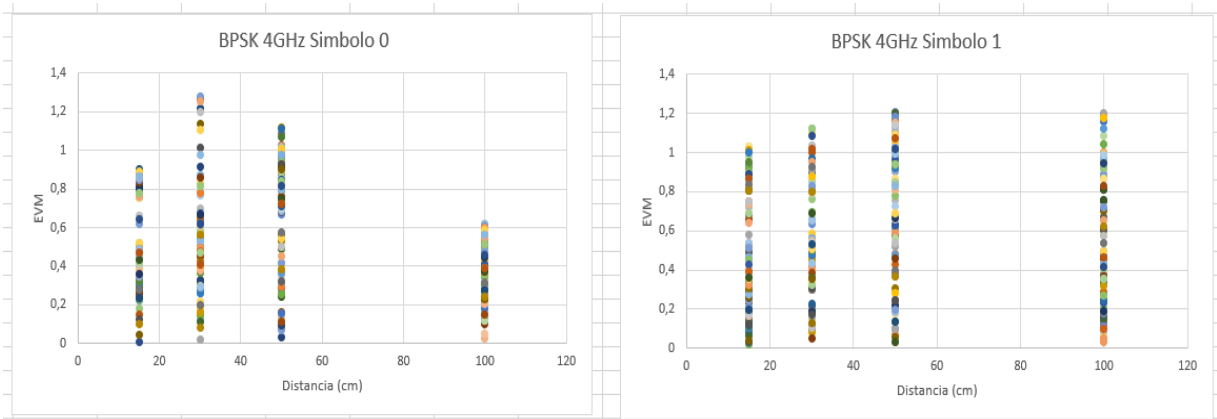


Figura 76 BPSK 4GHz Simbolo 0 y 1

En las figuras 77 a 79 se puede observar el EVM en las frecuencias de 4GHz y 5GHz para modulaciones BPSK y QPSK.

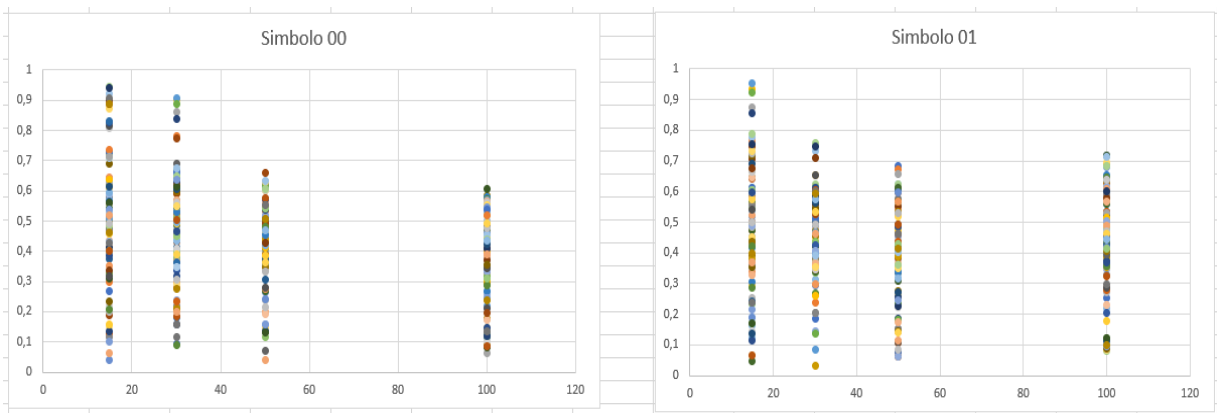


Figura 77 QPSK 4GHz Simbolos 00 y 01

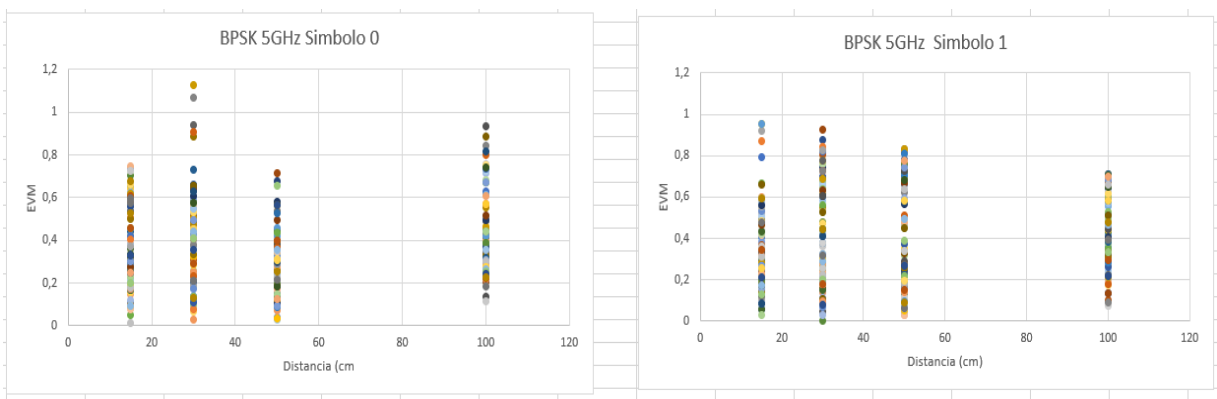


Figura 78 BPSK 5GHz Simbolos 0 y 1

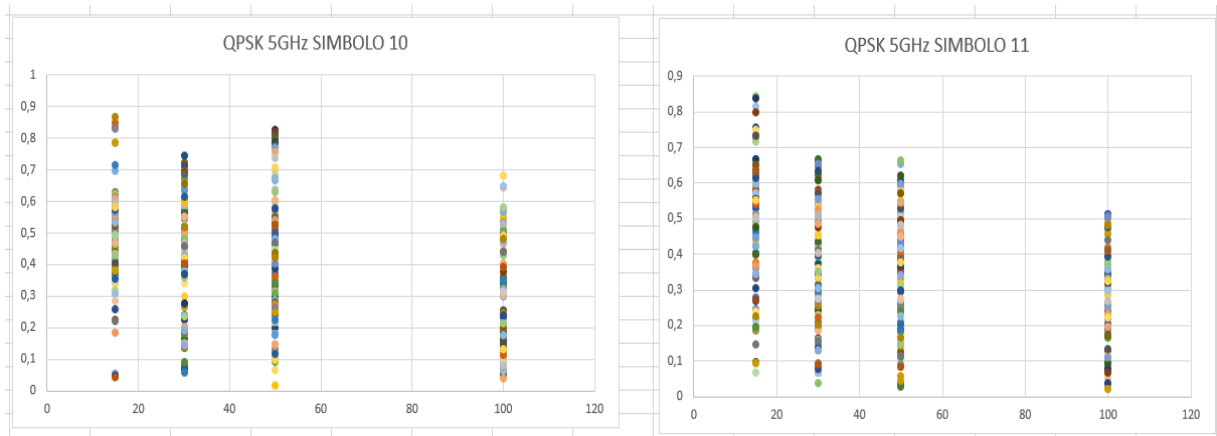


Figura 79 QPSK 5GHz Simbolos 10 y 11

Todos los resultados de las pruebas anteriores se realizaron en modulaciones BPSK y QPSK en cuatro diferentes frecuencias, las cuales son 900MHz, 2.45GHz, 4GHz y 5GHz; en distancias de 15cm, 30cm, 50cm y 100cm, después de sacar todos los datos se realizó el cálculo de las diferencias entre las constelaciones y se procedió a calcular el EVM que se puede observar en las gráficas anteriores.

Durante la realización de las pruebas se notó que mientras aumenta más la frecuencia se dispersa en gran medida los puntos que llegan para formar la constelación y de la misma manera sucede al aumentar la distancia, lo que se noto es que en frecuencias más bajas se ve una dispersión menor en los puntos de llegada al receptor.

12 RESULTADOS

En la tabla 6 se observa el resultado del EVM donde se puede determinar que en una distancia de 30cm y una frecuencia de 2.45GHz el porcentaje de la magnitud del vector de error (EVM) es más bajo que en las otras distancias y frecuencias para la modulación BPSK.

Tabla 6 Resultados BPSK

BPSK				
Frecuencia (Hz)/Distancia(cm)	15cm	30cm	50cm	100cm
900MHz	0,51774797	0,53529934	0,5644671	0,34676653
2,45GHz	0,43168515	0,35118961	0,36433288	0,38558692
4GHz	0,52526942	0,58364148	0,55451534	0,43853569
5GHz	0,4091604	0,51349773	0,44322117	0,38181396

En la Figura 80 se observa cómo se ubica el EVM en las diferentes distancias y frecuencias, notando que el porcentaje esta entre 30% a 60% de magnitud del vector de error (EVM).

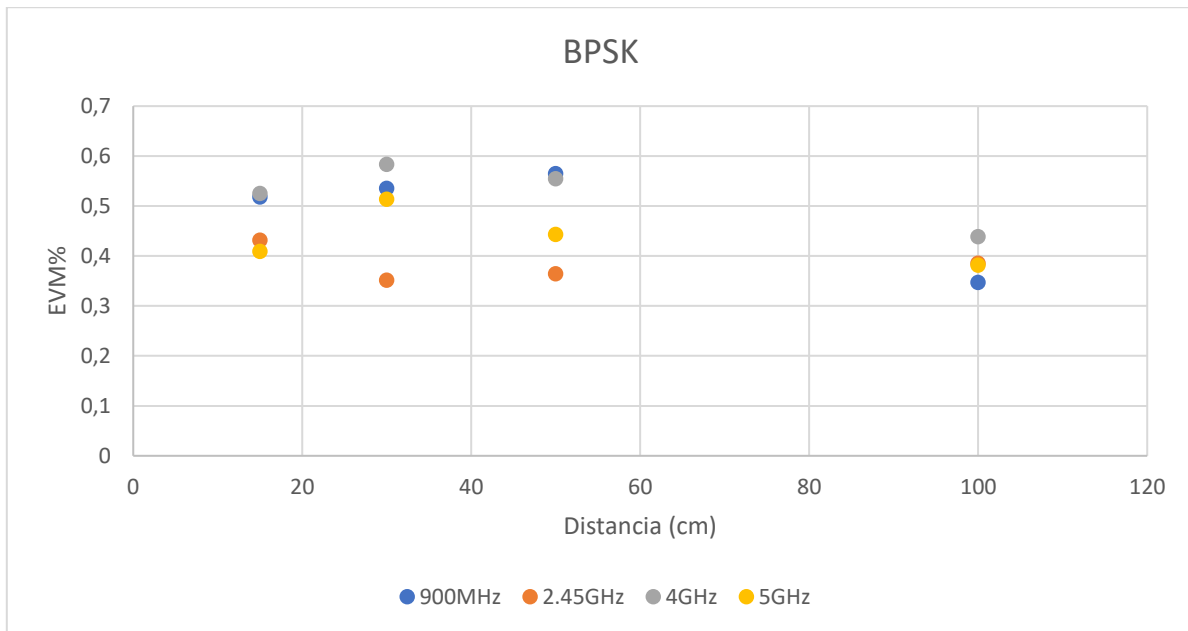


Figura 80 BPSK Resultados

En la tabla 7 se observa el resultado del EVM donde se puede determinar que en una distancia de 30cm y una frecuencia de 2.45GHz el porcentaje de la magnitud del vector de error (EVM) es más bajo que en las otras distancias y frecuencias para la modulación QPSK.

Tabla 7 QPSK Resultados

QPSK	15cm	30cm	50cm	100cm
Frecuencia (Hz)/Distancia(cm)				
900MHz	0,50186804	0,50634034	0,50582817	0,4712958
2,45GHz	0,48122983	0,2136036	0,42473812	0,28962404
4GHz	0,46571604	0,44291643	0,4125573	0,34753515
5GHz	0,4949924	0,40447012	0,41650808	0,33647669

En la Figura 81 se observa cómo se ubica el EVM en las diferentes distancias y frecuencias, notando que el porcentaje esta entre 20% a 50% de magnitud del vector de error (EVM).

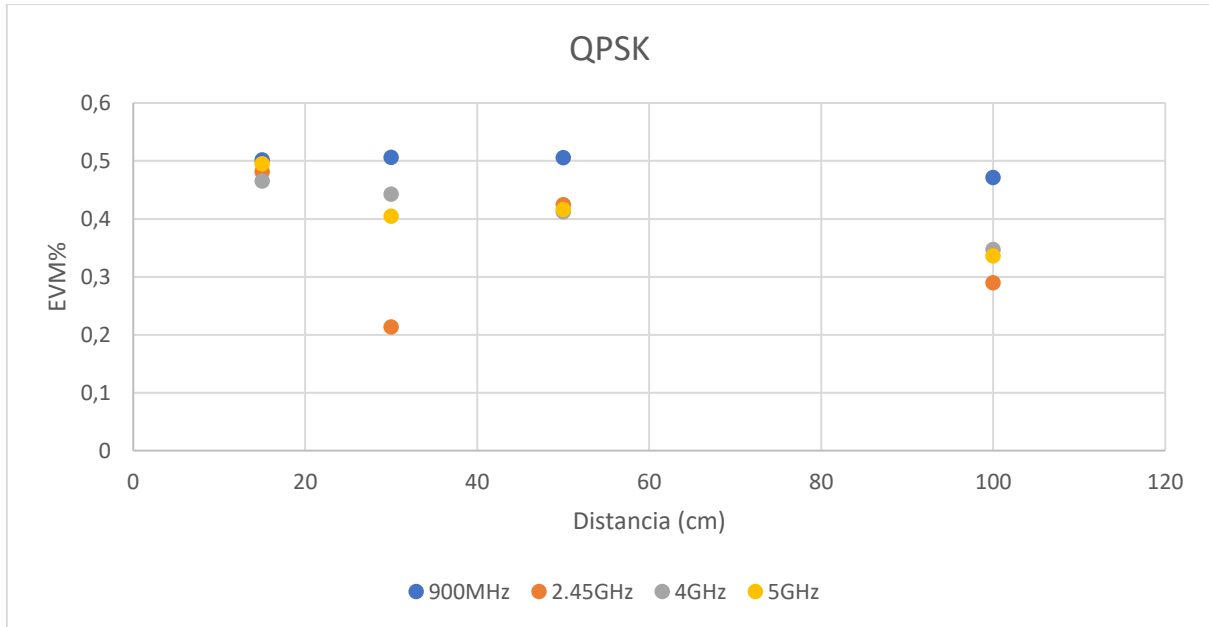


Figura 81 QPSK Resultados

En la tabla 8 se observan los datos de la desviación estándar de los datos en cada una de las frecuencias y distancias para la modulación BPSK, en la tabla 8 y la figura 82 se observa como la desviación estándar se ubica alrededor del 60%.

Tabla 8 Desviación estandar en BPSK

BPSK Desviación Estandar				
Frecuencia(Hz)/Distancia(cm)	15cm	30cm	50cm	100cm
900MHz	0,65942114	0,66145444	0,66539091	0,66286228
2,45GHz	0,66490774	0,66868514	0,67669807	0,66203765
4GHz	0,66796188	0,66099118	0,66258038	0,67077606
5GHz	0,65997366	0,66044061	0,67069385	0,66707302

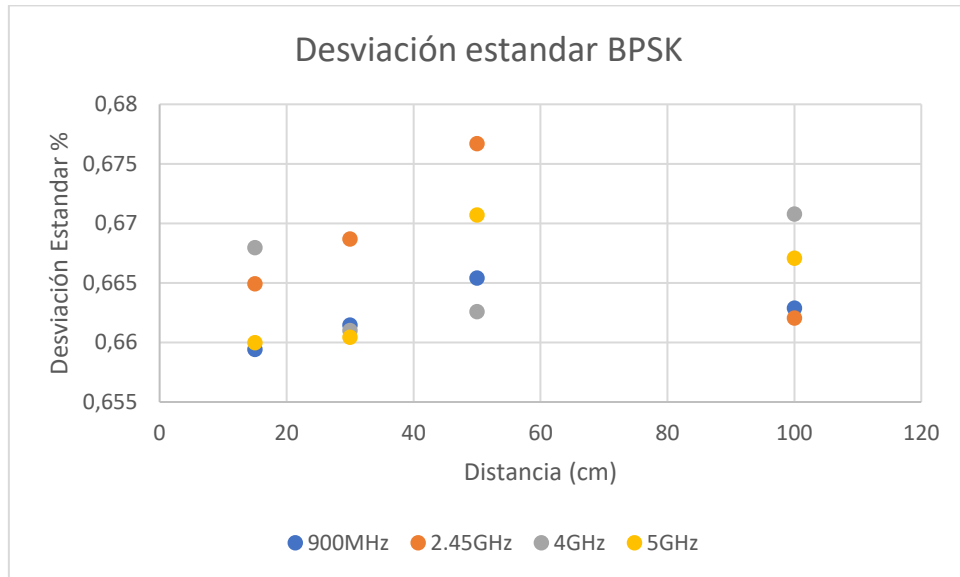


Figura 82 Grafica del EVM con la desviación estandar en BPSK

En la tabla 9 se observan los datos de la desviación estándar de los datos en cada una de las frecuencias y distancias para la modulación QPSK, en la tabla 9 y la figura 83 se observa como la desviación estándar se ubica entre 40% a 60% donde la desviación es mas baja en una frecuencia de 2.45GHz a una distancia de 100cm.

Tabla 9 Desviación estandar en QPSK

QPSK Desviación Estandar				
Frecuencia(Hz)/Distancia(cm)	15cm	30cm	50cm	100cm
900MHz	0,66510723	0,65933699	0,66440432	0,66529063
2,45GHz	0,65559534	0,6637785	0,64842353	0,43430948
4GHz	0,65963205	0,66610481	0,65821223	0,66643288
5GHz	0,66100678	0,67303883	0,6647402	0,67533135

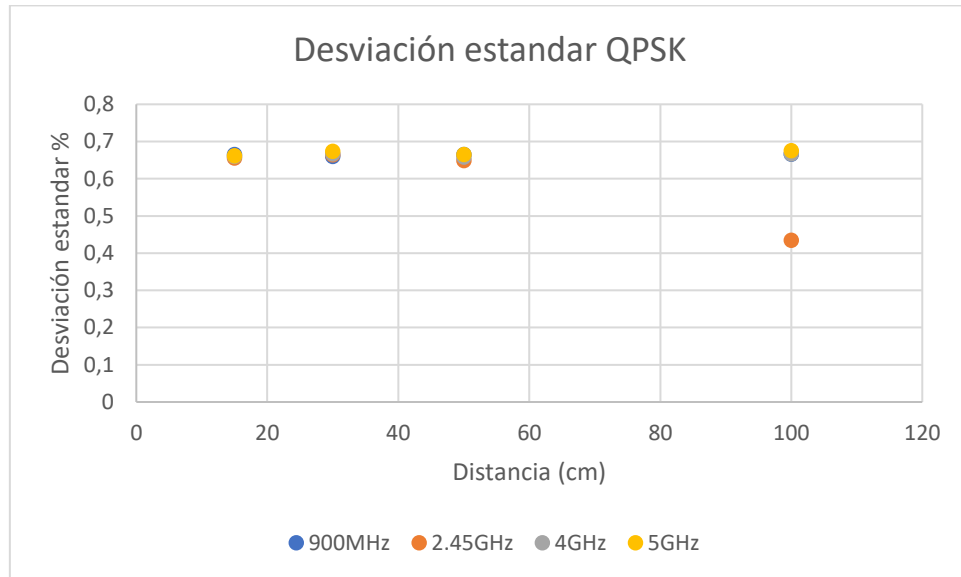


Figura 83 Grafica de la desviación estándar en QPSK

Estimación del BER a partir de las formulas de relación con el EVM

$$BER = Q \left(\frac{1}{EVM} \right) \quad (6)$$

$$Q = \int_X^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2}} dy \quad (7)$$

$$Q = \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left(\frac{y}{\sqrt{2}} \right) + c \quad (8)$$

$$Q = \int_x^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2}} dy = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left(\frac{x}{\sqrt{2}} \right) \quad (9)$$

Q= Función error

X= coordenadas de los puntos

De acuerdo con la fórmula 6 se puede estimar una aproximación del BER a partir de los datos que se tienen con el EVM, donde se tiene que resolver primero la incógnita de la ecuación 7 que representa la función de error, se resuelve la integral y se calculan los límites de la función utilizando las coordenadas de los datos, en este caso se utiliza la diferencia de los puntos y se reemplaza dentro de la fórmula 9 donde se encuentra el BER para cada conjunto de puntos entre el transmisor y el receptor.

En las figuras 84 a la 91 se puede observar la estimación de error en todos los datos adquiridos por modulación, frecuencia y distancias.

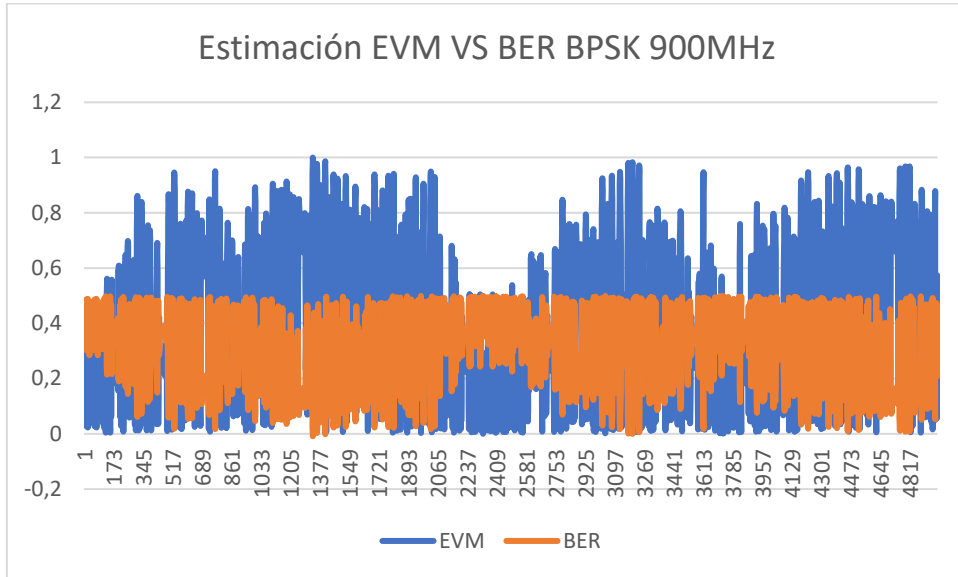


Figura 84 Estimación EVM VS BER BPSK 900MHz

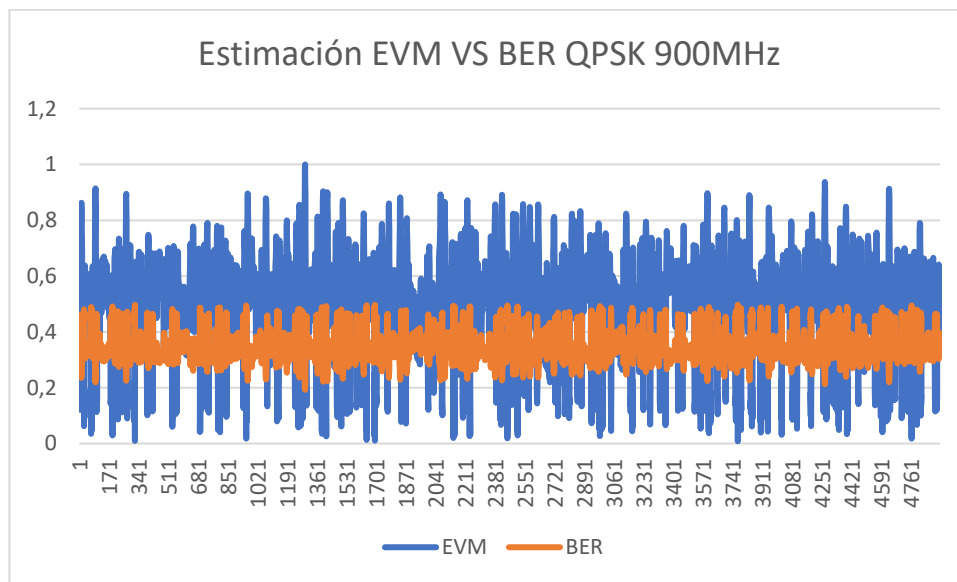


Figura 85 Estimación EVM VS BER QPSK 900MHz

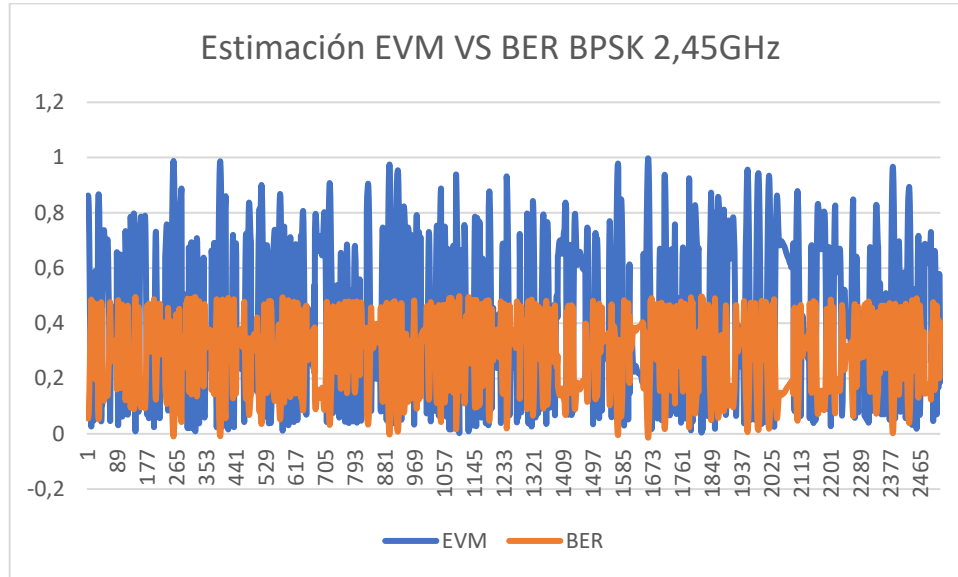


Figura 86 Estimación EVM VS BER BPSK 2.45GHz

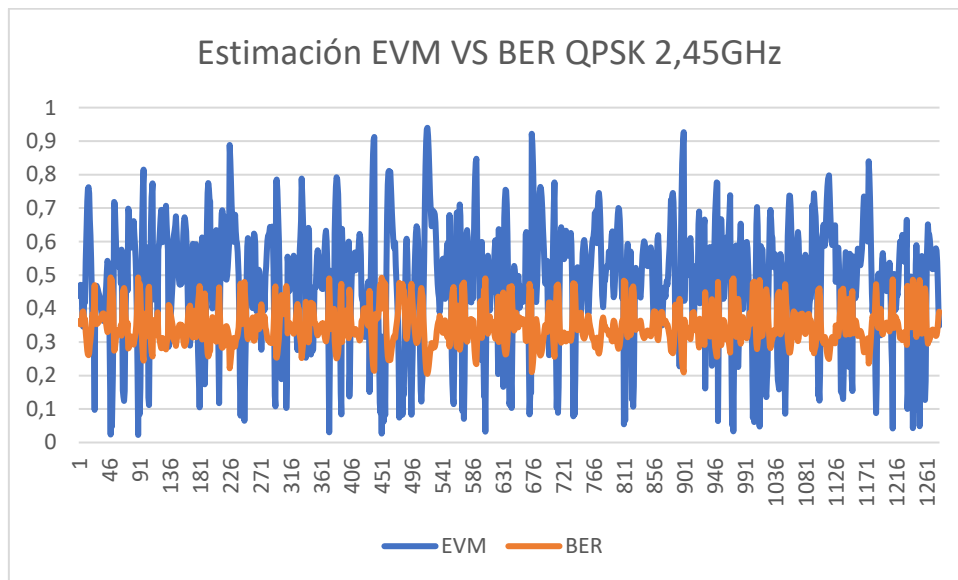


Figura 87 Estimación EVM VS BER QPSK 2.45GHz

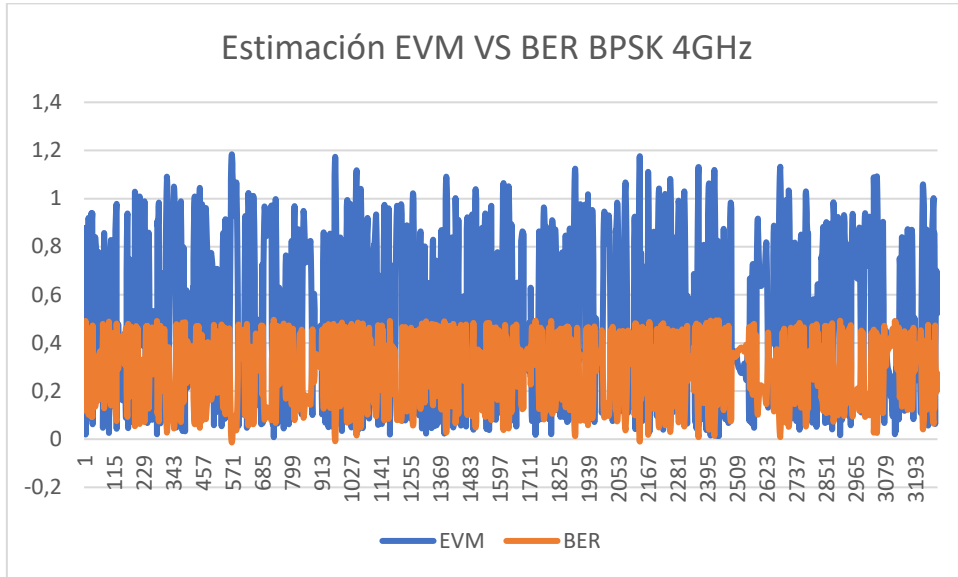


Figura 88 Estimación EVM VS BER BPSK 4GHz

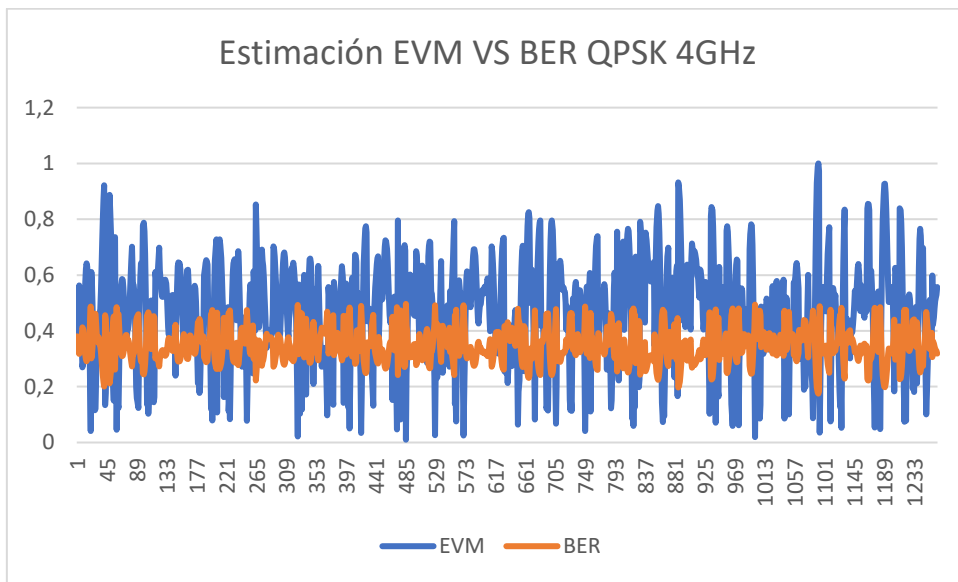


Figura 89 Estimación EVM VS BER QPSK 4GHz

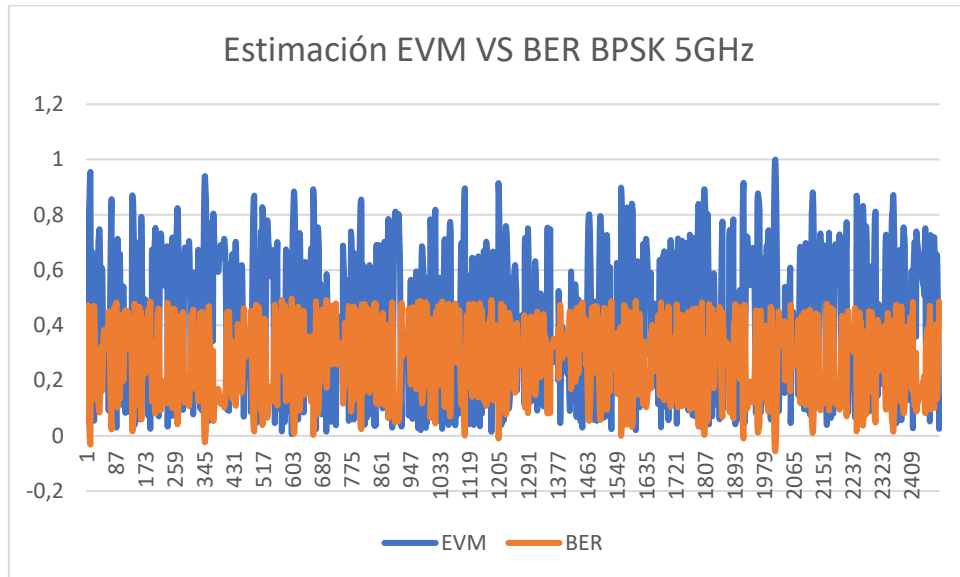


Figura 90 Estimación EVM VS BER BPSK 5GHz

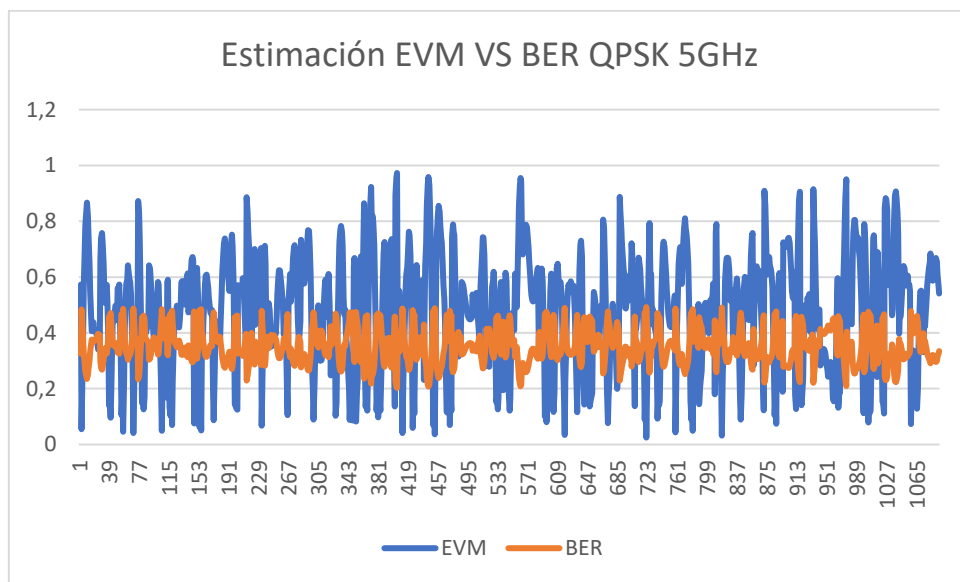


Figura 91 Estimación EVM VS BER QPSK 5GHz

Tabla 10 Resultados de Requerimientos

Requerimiento	Cumple	No cumple	Parcialmente	Observación
Se debe realizar el estudio a mínimo dos esquemas de modulación digital.	x			Se realizaron esquemas BPSK y QPSK
La frecuencia de trabajo de los esquemas de simulación debe estar en un rango 2.4GHZ a 6GHZ.	x			Se realizaron pruebas en frecuencias de

				900MHz y 2.45GHz.
Se debe realizar el esquema en un software capaz de visualizar el esquema de modulación.	x			Se utilizó el programa GNU Radio y LabVIEW.
El sistema debe ser capaz de realizar comunicación entre distancias de 5 a 10 metros.		x		El esquema se probó en distancias de 0 a 2.5 metros
El esquema debe ser claro.	x			En los esquemas se ve de manera clara las conexiones y cada bloque que se usó para el proyecto.
Se debe determinar una tasa de error binario no superior al 30%		x		No se pudieron hacer pruebas para obtener la tasa de error binario
Se debe analizar el análisis del funcionamiento de cada bloque	x			Se realiza en el capítulo de simulación

13 DISCUSIÓN

De acuerdo con la tabla 10 se puede observar que se cumple en su mayoría los requerimientos propuestos para el proyecto, en este proyecto se realizaron varias simulaciones para esquemas de modulación digital donde se puede observar cómo algunas de las variables afectan la salida, en este caso la constelación, si se realiza un cambio en el ancho de banda donde el valor sea más pequeño que la señal de entrada se pierde en este caso la señal y a la salida no se tendría una señal para analizar.

Durante el proceso del proyecto se tuvo diversos inconvenientes con la realización de los esquemas de modulación, el principal fue la instalación del programa en una máquina virtual del sistema operativo Linux, en este caso la versión de Ubuntu, donde al correr una simulación simple de una señal cualquiera no hacía el muestreo de la gráfica o la salida indicada en el esquema, esto tuvo un gran impacto en el proyecto porque se perdió mucho tiempo en la instalación del sistema operativo en alrededor de tres máquinas virtuales, al ver que no estaba funcionando el programa de GNU Radio en las máquinas virtuales, se procedió a intentar la instalación en el sistema operativo de Windows, había información de que el programa no tenía

aun una buena compatibilidad con el sistema operativo pero al intentar hacer la instalación con varios videos se pudo instalar y también se pudo trabajar sin inconvenientes en el sistema operativo de Windows. Otro inconveniente durante el proceso fue en la realización de los esquemas debido a que no hay mucha información sobre esquema PSK en GNU Radio y lo que se encuentra es un poco general, los bloques tenían datos que se desconocían al principio y en las guías de GNU Radio no se especificaba como completar esa información.

Se realizaron pruebas sobre el programa LabVIEW y las tarjetas USRP, en los cuales se ejecutaron modulaciones BPSK y QPSK en dos frecuencias, estas pruebas determinaron que el sistema funciona de manera adecuada, este sistema permite visualizar la señal transmitida y la señal recibida, las pruebas se realizaron en ciertos rangos de distancia permitiendo observar cómo los datos varían en el receptor de acuerdo con las distancias que hay entre el transmisor y el receptor. Estas simulaciones se realizaron en dos frecuencias, las cuales son 900MHz y 2.45GHz, se optó por realizar pruebas en frecuencias de 900MHz debido a que se tenían dichas antenas, por esta razón también se realizaron las pruebas y un análisis más amplio..

Para futuras pruebas se espera poder realizar un análisis de la eficiencia del sistema, para el desarrollo de estas pruebas, en la programación realizada en LabVIEW se encuentra un bloque que permite ingresar los datos a transmitir en el programa, este bloque funciona ingresando datos binarios en un archivo texto (.txt) para que al realizar la modulación se transmitan los datos en la señal, al recibir los datos el receptor guarda la información en otro archivo texto (.txt), después de obtener estos datos se puede proceder a calcular el BER (tasa de error binario), al obtenerlo se puede determinar el porcentaje de error del sistema.

Otra de las alternativas para evaluar la eficiencia del sistema es utilizar el EVM (magnitud del vector de error) esta alternativa consiste en analizar la distancia en la cual se encuentran los puntos del receptor en la constelación de los puntos determinados para la recepción de los datos, este método consiste en calcular la diferencia de estos puntos para ver qué tan alejados se encuentran al sistema ideal o sin pérdidas de datos.

De acuerdo con las pruebas realizadas se puede observar que el EVM varía dependiendo de la diferencia, donde a diferencias más grandes y frecuencias más altas, se encuentra un EVM mayor.

Conforme a las pruebas realizadas en LabVIEW con las tarjetas USRP, no se tuvo en cuenta la ganancia de las antenas, por esta razón al tener antenas en diferentes ganancias, no se tiene una precisión sobre la recepción de los datos en las diferentes modulaciones digitales que se usaron en las pruebas realizadas en el proyecto. Por esta razón se recomienda para pruebas futuras o proyectos similares, realizar la caracterización para poder obtener la ganancia respectiva de las antenas y poder realizar las pruebas en una misma ganancia, esto permite que tanto el transmisor y el receptor tengan la misma intensidad.

14 CONCLUSIONES

1. Los bloques utilizados para las modulaciones mostraron un mejor acoplamiento para realizar esquemas QPSK, para esquemas BPSK fue más complicado porque la mayoría de los bloques de constelaciones funcionaban a partir de 4 símbolos de trabajo en el programa de GNU Radio.
2. La distancia es un factor importante, mientras más aumente la distancia se observa una mayor dispersión de datos en el receptor.
3. Ambos sistemas BPSK y QPSK funcionan bien sobre las tarjetas USRP.
4. De acuerdo con las pruebas realizadas en LabVIEW se observó que mientras aumenta la distancia y la frecuencia, se observa una dispersión mayor, para que la dispersión disminuya es necesario compensar la señal con un aumento de potencia.
5. En BPSK se observó una mayor estabilidad entre la transmisión y recepción de la señal, a estabilidad me refiero a que durante el proceso de recepción de datos el sistema mostro una definición de la constelación en BPSK, mientras que en QPSK en frecuencias y distancias más grandes se iba perdiendo la constelación.
6. Se puede observar en las tablas 6 y 7 el EVM en las diferentes frecuencias y distancias, donde se puede concluir que el esquema de modulación con un error más bajo es QPSK en una frecuencia de 2.45GHz

Para desarrollos futuros de un análisis similar se recomienda instalar el programa de GNU Radio en sistema operativo Windows ya que permite trabajar de manera más fluida que en máquina virtual, también se recomienda tener muy en cuenta la conformación de cada bloque.

15 REFERENCIAS DOCUMENTALES

[1]E. Espectador, "Continúa la minería ilegal en el Parque Río Puré", *ELESPECTADOR.COM*, 2020. [Online]. Available: <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/continua-la-mineria-ilegal-en-el-parque-rio-pure/>. [Accessed: 01- Sep- 2020].

[2]E. Espectador, "Continúa la minería ilegal en el Parque Río Puré", *ELESPECTADOR.COM*, 2020. [Online]. Available: <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/continua-la-mineria-ilegal-en-el-parque-rio-pure/>. [Accessed: 01- Sep- 2020].

[3]E. Espectador, "Continúa la minería ilegal en el Parque Río Puré", *ELESPECTADOR.COM*, 2020. [Online]. Available: <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/continua-la-mineria-ilegal-en-el-parque-rio-pure/>. [Accessed: 01- Sep- 2020].

[4]"Colombia: cámaras trampa muestran por primera vez la fauna del Parque Nacional Río Puré", *Noticias ambientales*, 2020. [Online]. Available:

<https://es.mongabay.com/2019/09/colombia-camaras-trampa-fauna-rio-pure/>. [Accessed: 01-Sep- 2020].

[5] Wiki.gnuradio.org. 2020. Guided Tutorial PSK Demodulation - GNU Radio. [online] Available at: <https://wiki.gnuradio.org/index.php/Guided_Tutorial_PSK_Demodulation> [Accessed 9 November 2020].

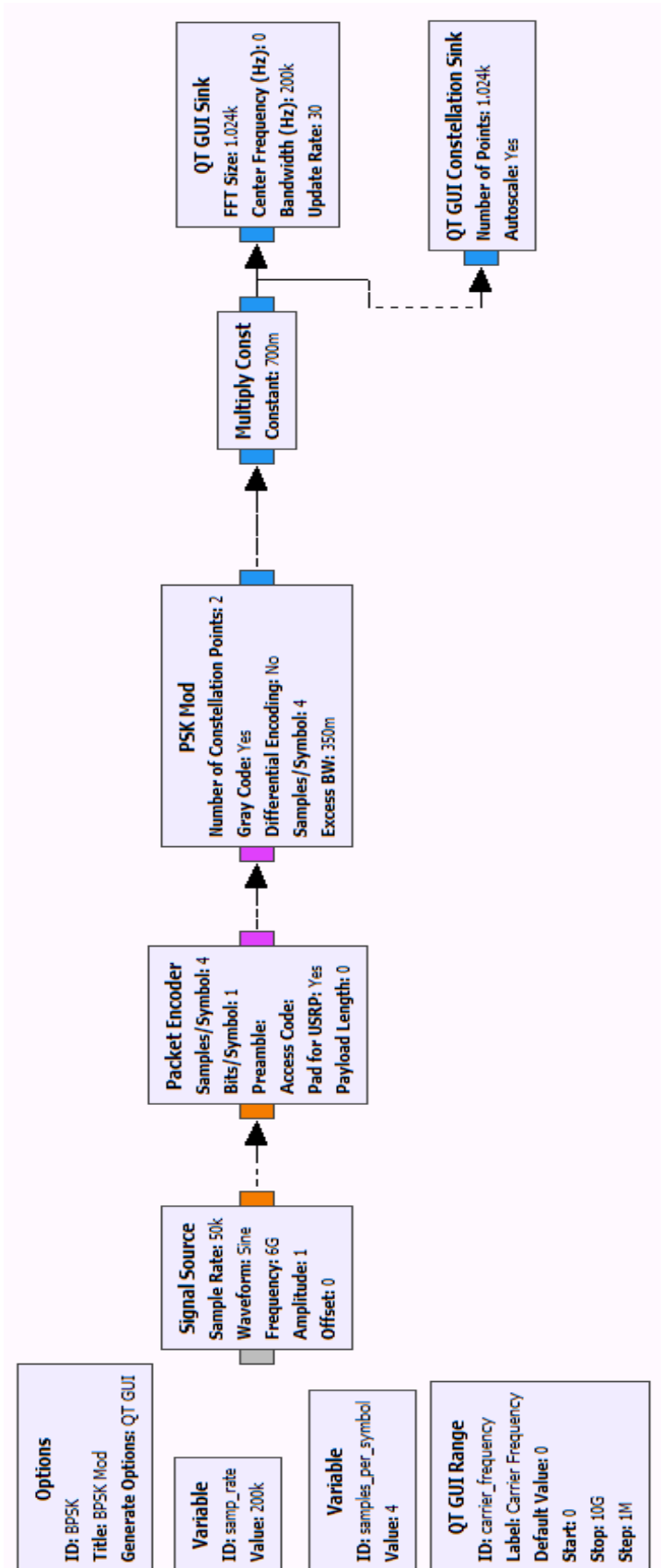
[6] S, P. and D, S., 2017. *Research Gate*. [online] Available at: <https://www.researchgate.net/publication/319126061_Design_and_Implementation_of_BPSK_Audio_Transmitter_Receiver_Using_SDR> [Accessed 11 September 2020].

[7] Error Vector Magnitude (Digital Demodulation). (s. f.). Recuperado 17 de junio de 2021, de https://rfmw.em.keysight.com//wireless/helpfiles/89600b/webhelp/subsystems/digdemod/Content/digdemod_symlerrdata_evm.htm

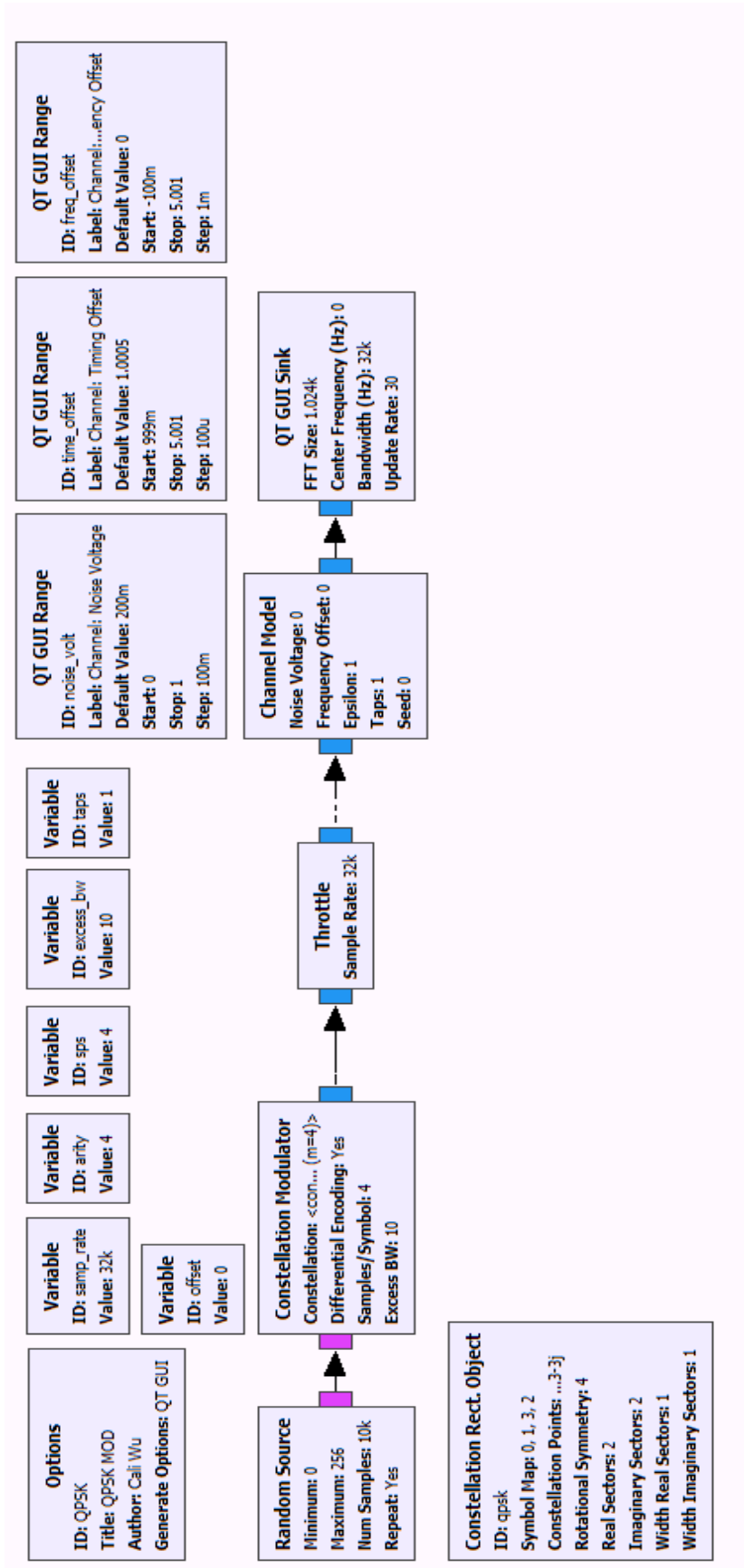
[8] H, E. (s. f.). *Sistemas de Telecomunicación* (Enrique ed., Vol. 3). Recuperado de <https://www.uv.es/~hertz/hertz/Docencia/teoria/Trasmdigital.pdf>

[9] PSK - DESPLAZAMIENTO DE FASE. (2005, 4 agosto). Recuperado 15 de octubre de 2020, de <https://www.textoscientificos.com/redes/modulacion/psk>

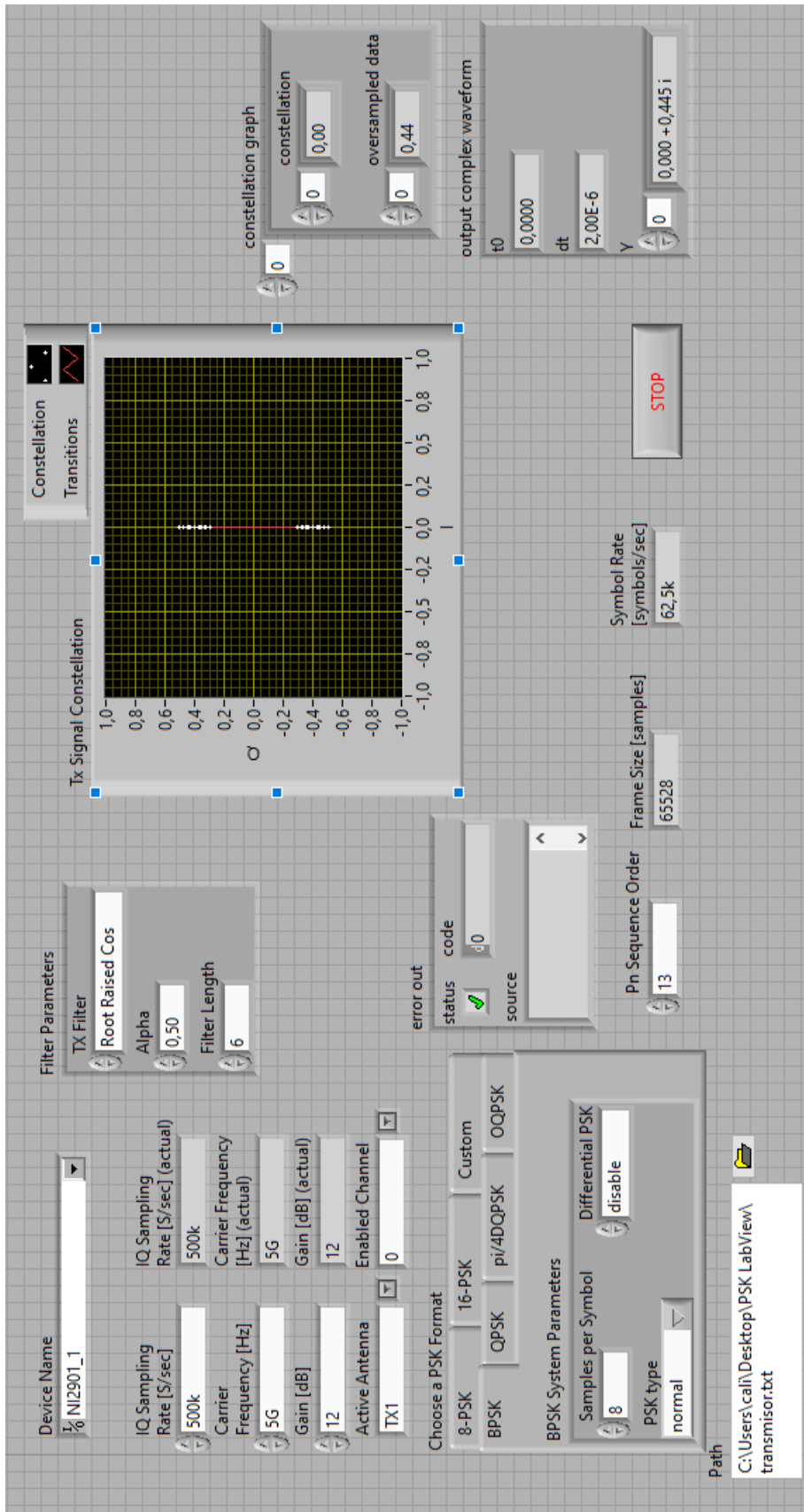
16 ANEXOS



Esquema BPSK



Esquema QPSK



Transmisor LabView

The screenshot displays the Receptor LabView interface with several key sections:

- Device Name:** NI2901
- TX Parameters:** IQ Sampling Rate [S/sec] (500k), Carrier Frequency [Hz] (5G), Gain [dB] (12), Active Antenna (RX2), Enabled Channel (0).
- Filter Parameters:** TX Filter (Root Raised Cos), Alpha (0,50), Filter Length (6), Reset Demodulator? (True).
- Constellation Graph:** A central plot showing a constellation diagram with axes ranging from -1,5 to 1,5.
- PSK System Parameters:** Choose a PSK Format (8-PSK, 16-PSK, Custom, BPSK, QPSK, pi/4DQPSK, OQPSK), Samples per Symbol (8), PSK type (normal), Differential PSK (disable).
- Measurements:** frequency offset (Hz) (-11,93), frequency drift (Hz) (0,09), phase offset (52,67).
- Constellation graph controls:** constellation (0,00), oversampled data (0,00).
- output complex waveform:** t0 (0,0000), dt (0,00E+0), V (0,000 + 0,000 i).
- Acquisition Settings:** Acq Duration [sec] (10m), Frame Size [samples] (20000), Symbol Rate, [symbols/sec] (125,00k).
- Buttons:** Autoscale, STOP.

Receptor LabView

