

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:  
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN SIMULTÁNEA  
DE SEÑALES DIGITALES EN BANDA BASE Y PASANTE UTILIZANDO  
USRP 2920**

**AUTOR:  
EDISON ESTUARDO MORENO VILLARROEL**

**DIRECTOR:  
MILTON NAPOLEÓN TIPÁN SIMBAÑA**

**Quito, marzo del 2017**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Edison Estuardo Moreno Villarroel con documento de identificación N°1716817547, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy el autor del trabajo de titulación intitulado: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN SIMULTÁNEA DE SEÑALES DIGITALES EN BANDA BASE Y PASANTE UTILIZANDO USRP 2920”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



---

Nombre: Edison Estuardo Moreno Villarroel

Cédula: 1716817547

Fecha: Quito marzo del 2017

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación:  
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRANSMISIÓN SIMULTÁNEA DE  
SEÑALES DIGITALES EN BANDA BASE Y PASANTE UTILIZANDO USRP  
2920, realizado por Edison Estuardo Moreno Villarroel, obteniendo un producto que  
cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana  
para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, marzo del 2017



Milton Napoleón Tipán Simbaña

Cédula de identidad: 1713583126

## **DEDICATORIA**

Quiero agradecer a Dios por iluminar mi camino, de todo corazón este logro se lo dedico a mis padres por guiarme, apoyarme, por cada consejo que me ayudo a formarme como buena persona y profesional, además quiero dedicar esto a mis queridos hermanos y toda mi familia en general ya que ellos estuvieron durante todo este largo y duro camino que estoy acabando de recorrer, estoy muy agradecido con la Universidad Politécnica Salesiana con sus docentes de primer nivel que me guiaron y transmitieron sus conocimientos para alcanzar mi meta a mis compañeros y amigos en estos años de estudio por compartir los buenos y malos momentos de estudio y de la vida.

**Edison Estuardo Moreno Villarroel**

## INDICE DE CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....  | i         |
| DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....                          | ii        |
| DEDICATORIA .....   | iii       |
| INDICE DE CONTENIDOS .....  | iv        |
| INDICE DE FIGURAS.....  | vi        |
| INDICE DE TABLAS .....  | ix        |
| RESUMEN.....  | x         |
| ABSTRACT.....   | xi        |
| INTRODUCCIÓN .....  | xii       |
| <b>CAPÍTULO 1.....</b>  | <b>1</b>  |
| <b>MARCO CONCEPTUAL .....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 Sistema de comunicaciones.....  | 1         |
| 1.2 Modulaciones digitales.....   | 1         |
| 1.2.1 Modulación binaria de fase (BPSK- Binary Phase Shift Keing).....    | 2         |
| 1.2.2 Modulación cuaternaria de fase (QPSK- Quadriphase Shift Keing)..... | 3         |
| 1.2.3 Modulación por Ancho de Pulso (PAM 5).....                          | 4         |
| <b>CAPITULO 2.....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>ARQUITECTURA DEL SISTEMA.....</b>                                      | <b>7</b>  |
| 2.1 Equipos y Características .....                                       | 7         |
| 2.2 Conexiones Físicas .....  | 11        |
| 2.3 Configuración de Equipos y dispositivos.....                          | 13        |
| <b>CAPÍTULO 3.....</b>  | <b>17</b> |

|   |    |
|---|----|
| <b>SIMULACIÓN DEL SISTEMA</b> .....                                     | 17 |
| 3.1 Primera Etapa del Transmisor .....                                  | 18 |
| 3.2 Segunda Etapa del Transmisor .....                                  | 22 |
| 3.3 Primera Etapa del Receptor .....                                    | 24 |
| 3.4 Segunda Etapa del Receptor .....                                    | 27 |
| <b>CAPÍTULO 4</b> .....   | 31 |
| <b>ANÁLISIS Y RESULTADOS</b> .....                                      | 31 |
| 4.1 Pruebas con la señal modulada QPSK .....                            | 31 |
| 4.2 Análisis de las pruebas con QPSK .....                              | 43 |
| 4.3 Pruebas con la señal codificada PAM5 .....                          | 46 |
| 4.4 Análisis de las pruebas con PAM5 .....                              | 50 |
| 4.5 Pruebas con la señal modulada QPSK y la señal codificada PAM5 ..... | 52 |
| 4.6 Análisis de las pruebas QPSK y PAM5 juntas .....                    | 54 |
| <b>CONCLUSIONES</b> .....   | 57 |
| <b>RECOMENDACIONES</b> .....  | 58 |
| <b>REFERENCIAS</b> .....  | 59 |

## INDICE DE FIGURAS

|                    |  |    |
|--------------------|--|----|
| <b>Figura 1.1</b>  | Sistema de Comunicación .....                                  | 1  |
| <b>Figura 1.2</b>  | Cadena de Transmisión Digital .....                            | 2  |
| <b>Figura 1.3</b>  | Modulación BPSK.....   | 3  |
| <b>Figura 1.4</b>  | Diagrama de Constelación QPSK .....                            | 3  |
| <b>Figura 1.5</b>  | Esquema de la Modulación QPSK .....                            | 4  |
| <b>Figura 1.6</b>  | Espectro de Frecuencia Banda Pasante .....                     | 4  |
| <b>Figura 1.7</b>  | Proceso de Codificación PAM5 .....                             | 5  |
| <b>Figura 1.8</b>  | Espectro de Frecuencia en Banda Base .....                     | 5  |
| <b>Figura 2.1</b>  | Transceptor USRP 2920 .....                                    | 7  |
| <b>Figura 2.2</b>  | AGILENT N8241A AWG.....  | 9  |
| <b>Figura 2.3</b>  | Canal de Transmisión SMA .....                                 | 9  |
| <b>Figura 2.4</b>  | Conector Jack –Jack Tipo T .....                               | 10 |
| <b>Figura 2.5</b>  | Filtro Pasa Bajos .....  | 10 |
| <b>Figura 2.6</b>  | Osciloscopio Agilent HP MSO9254A.....                          | 11 |
| <b>Figura 2.7</b>  | Segmentación del Sistema de Transmisión .....                  | 11 |
| <b>Figura 2.8</b>  | Etapas de Transmisión .....                                    | 12 |
| <b>Figura 2.9</b>  | Etapas de Recepción .....                                      | 13 |
| <b>Figura 2.10</b> | Configuración de la IP en la PC1 .....                         | 14 |
| <b>Figura 2.11</b> | Pasos para Configuración del Software.....                     | 14 |
| <b>Figura 2.12</b> | Sincronización PC2 con el AWG .....                            | 15 |
| <b>Figura 2.13</b> | Software Control Utility .....                                 | 15 |
| <b>Figura 2.14</b> | Configuración de la IP en la PC3 .....                         | 16 |
| <b>Figura 2.15</b> | Configuración de la IP en el Software Labview PC3.....         | 16 |
| <b>Figura 3.1</b>  | Diagrama de bloques del Sistema de Transmisión.....            | 17 |
| <b>Figura 3.2</b>  | Diagrama de bloques del Sistema de Transmisión 1ra Etapa.....  | 18 |
| <b>Figura 3.3</b>  | Diagrama de Procesos de la Generación de bits.....             | 18 |
| <b>Figura 3.4</b>  | Generador de Bits .....  | 19 |
| <b>Figura 3.5</b>  | Diagrama de Procesos de la Modulación QPSK .....               | 20 |
| <b>Figura 3.6</b>  | Señal Modulada en Tiempo y su Constelación de QPSK .....       | 21 |
| <b>Figura 3.7</b>  | Parámetros de la Modulación .....                              | 21 |
| <b>Figura 3.8</b>  | Diagrama de Bloques del Sistema de Transmisión 2da Etapa ..... | 22 |
| <b>Figura 3.9</b>  | Diagrama de Flujo de la Codificación PAM5 .....                | 23 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 3.10</b> Señal Codificada PAM5 .....                             | 24 |
| <b>Figura 3.11</b> Diagrama de Bloques de la Etapa 1 de Recepción .....    | 25 |
| <b>Figura 3.12</b> Señal QPSK en el Receptor .....                         | 25 |
| <b>Figura 3.13</b> Diagrama de Procesos de la Demodulación QPSK.....       | 26 |
| <b>Figura 3.14</b> Diagrama de Bloques de la Etapa 2 de Recepción .....    | 27 |
| <b>Figura 3.15</b> Caracterización del filtro Pasa Bajos.....              | 27 |
| <b>Figura 3.16</b> Señal PAM5 recuperada .....                             | 28 |
| <b>Figura 3.17</b> Diagrama de Flujo de la Decodificación PAM5 .....       | 29 |
| <b>Figura 3.18</b> Recuperación de la PAM5 .....                           | 30 |
| <b>Figura 4.1</b> Implementación del sistema de Transmisión.....           | 31 |
| <b>Figura 4.2</b> Señal QPSK TX SNR=15 Ganancia k=0 .....                  | 33 |
| <b>Figura 4.3</b> Señal QPSK RX SNR=15 Ganancia k=0 .....                  | 33 |
| <b>Figura 4.4</b> Señal QPSK TX SNR=54 Ganancia k=0 .....                  | 34 |
| <b>Figura 4.5</b> Señal QPSK RX SNR=54 Ganancia k=0 .....                  | 34 |
| <b>Figura 4.6</b> Señal QPSK TX SNR=60 Ganancia k=0 .....                  | 35 |
| <b>Figura 4.7</b> Señal QPSK RX SNR=60 Ganancia k=0 .....                  | 35 |
| <b>Figura 4.8</b> Señal QPSK TX SNR=15 Ganancia k=20 .....                 | 36 |
| <b>Figura 4.9</b> Señal QPSK RX SNR=15 Ganancia k=20 .....                 | 37 |
| <b>Figura 4.10</b> Señal QPSK TX SNR=54 Ganancia k=20 .....                | 37 |
| <b>Figura 4.11</b> Señal QPSK RX SNR=54 Ganancia k=20 .....                | 38 |
| <b>Figura 4.12</b> Señal QPSK TX SNR=60 ganancia k=20 .....                | 38 |
| <b>Figura 4.13</b> Señal QPSK RX SNR=60 ganancia k=20.....                 | 39 |
| <b>Figura 4.14</b> Señal QPSK TX SNR=15 ganancia k=31 .....                | 40 |
| <b>Figura 4.15</b> Señal QPSK snr=15 RX ganancia k=31 .....                | 40 |
| <b>Figura 4.16</b> Señal QPSK TX SNR=55 ganancia k=31 .....                | 41 |
| <b>Figura 4.17</b> Señal QPSK RX SNR=55 ganancia k=31 .....                | 41 |
| <b>Figura 4.18</b> Señal QPSK TX SNR=60 ganancia k=31 .....                | 42 |
| <b>Figura 4.19</b> Señal QPSK RX SNR=60 ganancia k=31 .....                | 42 |
| <b>Figura 4.20</b> Grafica del BER de la señal QPSK ganancia k=31 dB ..... | 43 |
| <b>Figura 4.21</b> Grafica del BER de la señal QPSK ganancia k=20 dB ..... | 44 |
| <b>Figura 4.22</b> Grafica del BER de la señal QPSK ganancia k=31 dB ..... | 45 |
| <b>Figura 4.23</b> Grafica del BER de la señal QPSK ganancia 31dB.....     | 46 |
| <b>Figura 4.24</b> Señal PAM5 Tx SNR=15 .....                              | 47 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 4.25</b> Señal PAM5 Rx SNR=15 .....   | 48 |
| <b>Figura 4.26</b> Señal PAM5 Tx SNR=55 .....   | 48 |
| <b>Figura 4.27</b> Señal PAM5 Rx SNR=55 .....   | 49 |
| <b>Figura 4.28</b> Señal PAM5 Tx SNR=60 .....   | 49 |
| <b>Figura 4.29</b> Señal PAM5 Rx SNR=60 .....   | 50 |
| <b>Figura 4.30</b> Grafica del BER de la señal PAM5 las diferentes ganancias .....              | 51 |
| <b>Figura 4.31</b> Grafica del BER de la señal PAM5 con sus 3 ganancias<br>simultáneamente..... | 52 |
| <b>Figura 4.32</b> Espectro de las señales QPSK+PAM5 SNR=15 .....                               | 53 |
| <b>Figura 4.33</b> Espectro de las señales QPSK+PAM5 SNR=55 .....                               | 54 |
| <b>Figura 4.34</b> Espectro de las señales QPSK+PAM5 SNR=60 .....                               | 54 |
| <b>Figura 4.35</b> Comparación entre la señal QPSK sola y QPSK+PAM5.....                        | 55 |
| <b>Figura 4.36</b> Comparación entre la señal PAM5 sola y QPSK+PAM5 .....                       | 56 |

## INDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 2.1</b> Módulos de Transmisión del.....    | 8  |
| <b>Tabla 4.1</b> Parámetros para Señal QPSK.....    | 32 |
| <b>Tabla 4.2</b> Parámetros Señal PAM5 .....        | 47 |
| <b>Tabla 4.3</b> Parámetros Señal QPSK y PAM5 ..... | 53 |

## RESUMEN

En el presente proyecto se implementó un sistema de transmisión digital mediante multiplexación de frecuencias utilizando Radio Definido por Software (USRP 2920, Universal Software Radio Peripheral) controlado mediante el programa Labview, el cual permitió generar una fuente de información digital, se utilizó una Modulación Cuaternaria de Fase (QPSK, Quadriphase Shift Keing), esta señal se acopló en una señal portadora que la elevó en frecuencia, obteniendo una señal en banda pasante, la misma que se multiplexó a una señal Modulada por Amplitud de Pulsos de 5 Niveles (PAM5, Pulse Amplitud modulation), ésta se conservó en su banda base y se envió mediante un generador de señales arbitrarias (AWG, Generator Waves Arbitrary). La multiplexación de las señales se realizó mediante un conector tipo T y se transmitió al receptor mediante un cable SMA (Sub Miniature version A); permitiendo tratar la señal multiplexada por 2 canales diferentes.

En el primer canal se conectó el segundo USRP, el cual posee un filtro pasa banda interno que eliminó la señal en banda base, a través del software Labview se desarrolló una programación que permitió demodular la señal QPSK, recuperando la primera fuente de información. En el segundo canal se conectó un filtro pasa bajos que eliminó la señal pasa banda, recuperando la señal PAM5, de este modo se visualizó y guardó los datos obtenidos mediante el Osciloscopio de Tiempo Real (RTO, Oscilloscope Time Real), para decodificar la señal de modo Fuera de Línea (off-line).

A través de variaciones de ganancia en la señal modulada y la relación señal a ruido entre la señal individual y simultánea, se determinó la señal más estable utilizando la tasa de error de bit (BER, Bit Error Rate)

## ABSTRACT

In the present project, a digital transmission system was implemented by means of frequency multiplexing using Software Defined Radio (USRP 2920, Universal Software Radio Peripheral) controlled by the Labview program, which allowed to generate a source of digital information, a Quaternary Modulation (QPSK, Quadriphase Shift Keing), this signal was coupled in a carrier signal that raised it in frequency, obtaining a passband signal, the same that was multiplexed to a Pulse Amplitude Modulated signal of 5 Levels (PAM5, Press Amplitude modulation), it was conserved in its baseband and sent by means of an arbitrary generator of signals (AWG, Generator Waves Arbitrary). The multiplexing of the signals was done through a T-type connector and was transmitted to the receiver by means of an SMA (Sub Miniature version A) cable; Allowing to treat the multiplexed signal by 2 different channels.

In the first channel was connected the second USRP, which has an internal bandpass filter that eliminated the signal in baseband, through the software Labview developed a programming that allowed to demodulate the QPSK signal, retrieving the first source of information. In the second channel a low pass filter was connected, which eliminated the bandpass signal, recovering the PAM5 signal, thus visualizing and saving the data obtained by the Oscilloscope Real Time Oscilloscope (RTO), to decode the signal Off-line mode.

Through gain variations in the modulated signal and the signal-to-noise ratio between the individual and the simultaneous signal, the most stable signal was determined using the Bit Error Rate (BER)

# INTRODUCCIÓN

En este proyecto se explica la implementación de un sistema de comunicación simultánea de 2 señales digitales, una en banda base y otra en banda pasante mediante el USRP2920 y el AWG. Para describir este proceso el proyecto está dividido en 4 capítulos con la explicación concreta de la realización e implementación de la misma detallada a continuación.

## CAPÍTULO 1

En el primer capítulo se explica los conceptos básicos de un sistema de comunicación y los elementos que la conforman tales como: el transmisor, el canal y el receptor; además las modulaciones con las cuales se trabajaron para el envío de información de las señales digitales tales como: QPSK y PAM5.

## CAPÍTULO 2

En este capítulo se presenta la arquitectura del sistema de comunicación, características de los equipos a utilizarse para cada etapa, conexiones físicas y configuración de cada una de ellas.

## CAPÍTULO 3

En este capítulo se detalla la simulación del sistema mediante diagramas de flujo y diagramas de bloque, permitiendo visualizar las etapas de transmisión y recepción de las señales para explicar el funcionamiento del sistema.

## CAPÍTULO 4

Se realizó el análisis de las señales QPSK y PAM5, tanto individual como simultánea, efectuando variaciones en las ganancias y la relación señal a ruido, para observar los cambios en las gráficas del BER, y obtener la señal más estable en este sistema de transmisión.

## **OBJETIVO GENERAL**

Generar una transmisión simultánea de señales digitales en banda base y pasante utilizando los USRP 2920 mediante la programación en software Labview.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Generar una señal pseudo-aleatoria en banda base y banda pasante mediante el software Labview
- Desarrollar un codificador y decodificador para variaciones en banda base mediante software Labview.
- Desarrollar un modulador y demodulador variable en frecuencia mediante el software Labview para estudiar las variaciones de frecuencia en la transición.
- Transmitir las señales digitales en banda base y banda pasante mediante los USRP 2920 para obtener las variables de desempeño.
- Comparar el desempeño del sistema digital mediante el BER (Bite Error Rate) desarrollado en el software Labview

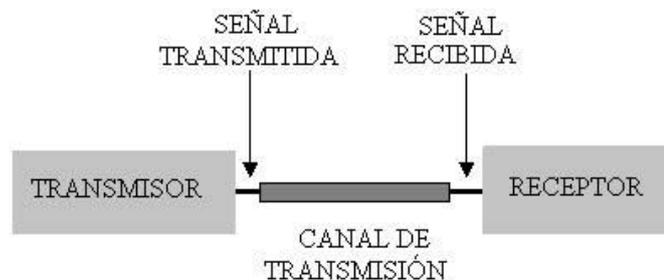
# CAPÍTULO 1

## MARCO CONCEPTUAL

### 1.1 Sistema de comunicaciones

La función principal de un sistema de comunicaciones es enviar un mensaje desde un transmisor a uno o varios receptores mediante un canal de comunicación. Como se puede observar en la Figura 1.1, los elementos básicos que conforman un sistema de comunicación son: el transmisor, la señal transmitida, el canal, la señal recibida y el receptor. El transmisor será aquel que varíe la información original de modo que pueda ser apropiada para su envío; la señal transmitida será la información que se enviará por el canal de transmisión, permitiendo al mensaje transitar hacia el receptor, el mismo que tiene como función principal convertir a su forma original la información recibida y seguidamente enviarla a su destino para ser procesada (Nieto & Díaz, 2007)

Figura 1.1 Sistema de Comunicación



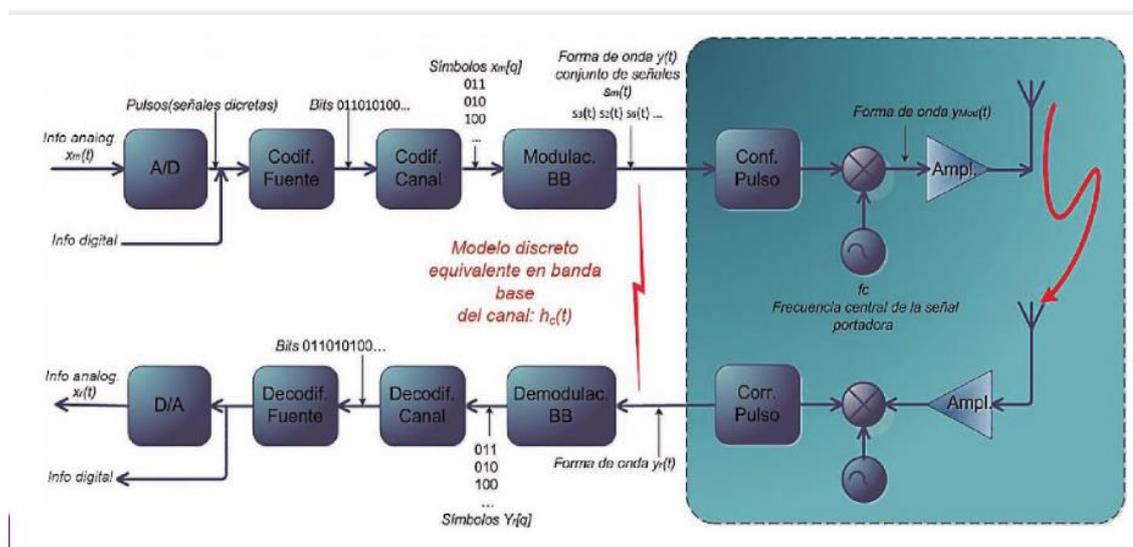
Componentes de un Sistema de Comunicación

### 1.2 Modulaciones digitales

El propósito de la modulación es adaptar mediante diferentes métodos una o varias señales al canal de comunicación para enviarlas en un sistema de transmisión de radio frecuencia.

En la Figura 1.2 se observa los bloques que constituyen una cadena de transmisión digital, la cual tiene un conversor análogo-digital para transformar una señal y pasar por los bloques de codificación de fuente y codificación de canal, los cuales permiten aumentar algunos bits para mejorar la señal digital y modularla en el siguiente bloque; de esta manera la señal será enviada en una señal portadora para elevarla en frecuencia y ser transmitida; una vez realizado este proceso, la información digital será amplificada y transmitida por un medio de comunicación hacia la etapa del receptor, aquí se amplificará la señal recibida, se eliminará la señal portadora, y pasará al bloque de demodulación que permite recuperar la señal digital, esta señal pasa por los bloques de decodificación del canal y de fuente eliminando bits extras, finalmente pasan al bloque de conversión digital - análogo y así completar el proceso de comunicación recuperando la señal fuente. (Luz, 2005)

Figura 1.2 Cadena de Transmisión Digital



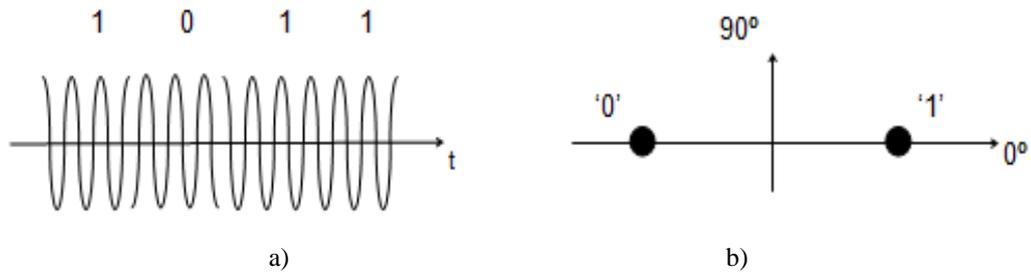
Proceso de Modulación y Demodulación en un Sistema de Transmisión, (Luz, 2005)

### 1.2.1 Modulación binaria de fase (BPSK- Binary Phase Shift Keing)

Es una técnica de modulación digital que emplea dos símbolos de representación cada uno con un bit de información como se muestra en la Figura 1.3 (a). Existe una fase de  $0^\circ$  y otra invertida  $180^\circ$  respecto a la primera, ambas con la misma amplitud como

se muestra en la Figura 1.3 (b), esta modulación posee una potencia elevada para que el receptor realice una decodificación correcta. (Zanuy, 2001)

Figura 1.3 Modulación BPSK

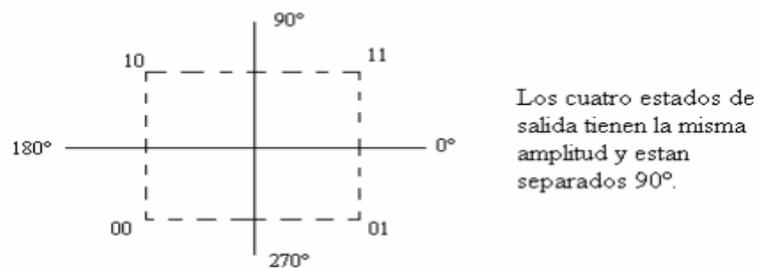


a) Según el Bit de Entrada b) Fases Representas en el Plano, (Zanuy, 2001)

### 1.2.2 Modulación cuaternaria de fase (QPSK- Quadriphase Shift Keing)

Modulación que presenta cuatro fases espaciadas de forma equitativa, las cuales representan los valores de 00, 01, 11, 10 cada una de estas fases transmite dos bits separados cada uno a 90 ° como se puede observar en la Figura 1.4

Figura 1.4 Diagrama de Constelación QPSK

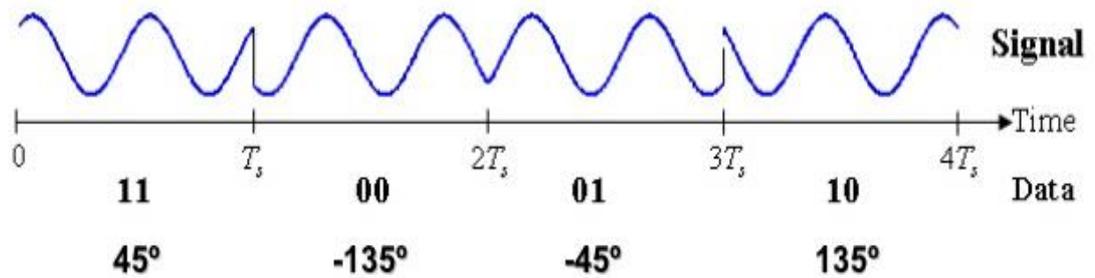


Estados de QPSK, (Piñeiros, 2010)

Esta modulación posee un ancho de banda que genera el doble de eficiencia con respecto BPSK, la combinación de éstas dos señales puede generar una señal QPSK,

su esquema de modulación presenta el cambio en sus fases dependiendo de la secuencia de bits que recibe, como se puede observar en la Figura 1.5 (Piñeiros, 2010)

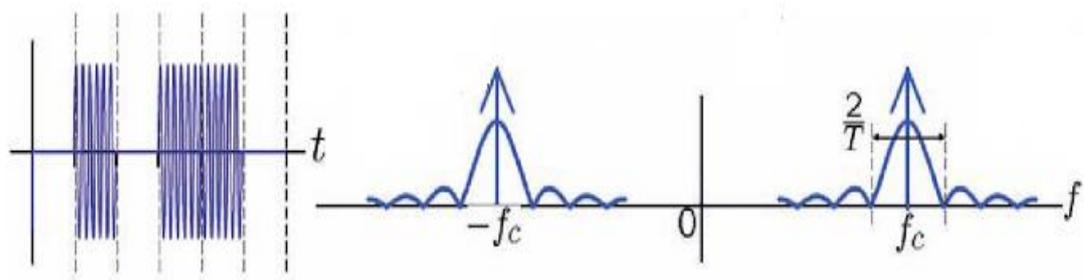
Figura 1.5 Esquema de la Modulación QPSK



Espectro de Frecuencia Banda Pasante, (Piñeiros, 2010)

Una vez que la señal sea modulada, se encuentra lista para enviar la información en una señal portadora ( $f_c$ ), permitiéndole desplazar su espectro de frecuencia de banda base a banda pasante, como se muestra en la Figura 1.6 (Vega, 2007)

Figura 1.6 Espectro de Frecuencia Banda Pasante



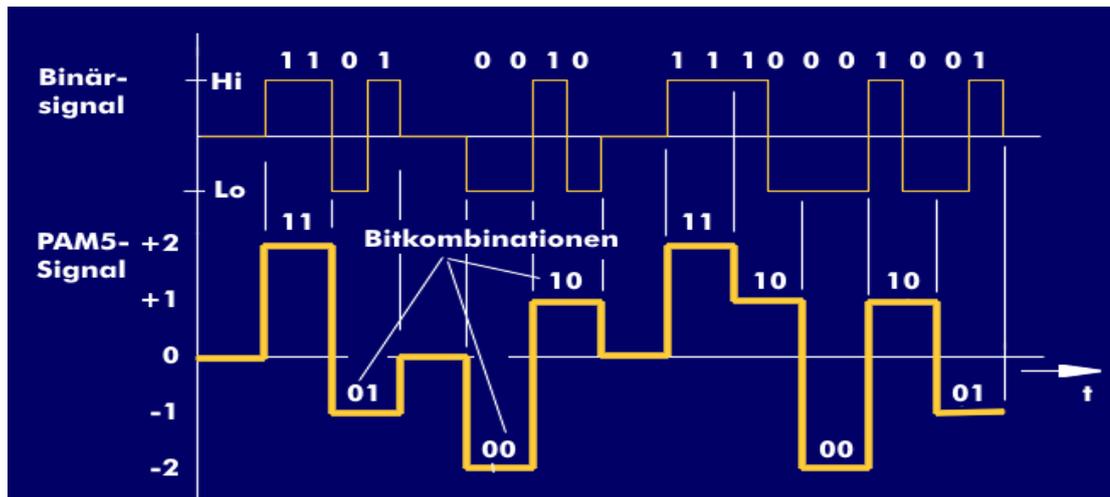
Espectro de Frecuencia de la Señal BP, (Luz, 2005)

### 1.2.3 Modulación por Ancho de Pulso (PAM 5)

Es una codificación de cinco niveles en la cual se combinan dos bits para formar niveles de voltaje. Al recibir esta secuencia 00,01,10,11 se obtiene un valor de voltaje

diferente para cada uno de los dibits (dos bits) los cuales son: -2,-1,1,2 como se observa en la Figura 1.7

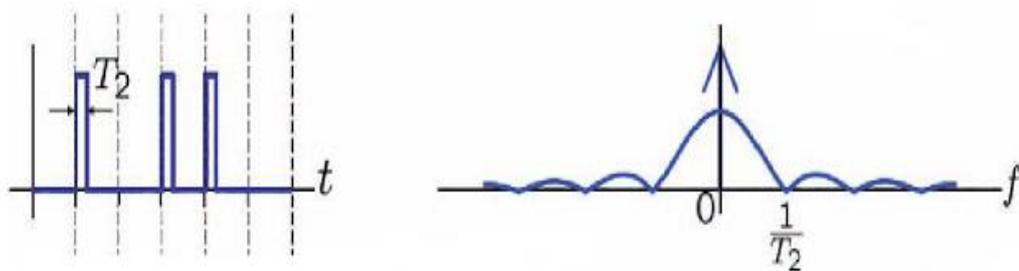
Figura 1.7 Proceso de Codificación PAM5



Niveles de Voltaje de la Codificación de PAM5, (ITWissen, 2014)

El ancho de banda de la señal se encuentra en su banda base y se caracteriza por su baja frecuencia, esta va a depender del tiempo de bit de la señal que se va a enviar, como se observa en la Figura 1.8. (Vega, 2007)

Figura 1.8 Espectro de Frecuencia en Banda Base



Espectro de Frecuencia BB, (Luz, 2005)

El ancho de banda se puede determinar mediante la Ecuación 1.1

$$AB = \frac{1}{T_2} \quad (1.1)$$

Donde:

AB = Ancho de Banda.

T2 = Tiempo de bit.

El quinto nivel de la codificación es 0 la cual permite una autocorrección de los símbolos redundantes, esto mejora la señal reduciendo atenuaciones de ruido a la misma. Como resultado de esta codificación se alcanza hasta una velocidad de 250Mbit/s las cuales son utilizadas en transmisiones de 100Base-T2 y 1000BASE-T (Fanny, 1998).

## CAPITULO 2

### ARQUITECTURA DEL SISTEMA

En este capítulo se explica de una forma breve las conexiones físicas y las características básicas de los equipos que se utilizan en la implementación del sistema de comunicaciones, consta de 2 secciones divididas en transmisión y recepción.

#### 2.1 Equipos y Características

A continuación, se mencionará las características de los equipos utilizados para la interconexión del sistema a implementar.

Uno de los equipos utilizados fue el USRP2920, este dispositivo permitió la comunicación en múltiples bandas de frecuencia ajustable desde 50MHz hasta 2.2GHz, controlado por el software NI Labview, el mismo que permite tratar la simulación de algoritmos, modulaciones analógicas y digitales. Mediante la controladora de software Labview, se usó algoritmos de comunicación para señales recibidas y sintetizar señales para transmitir hacia uno o más dispositivos USRP conectados. En la Figura 2.1 se observa al USRP2920 utilizado en la implementación de la comunicación del sistema. (National Instrument, 2016)

Figura 2.1 Transceptor USRP 2920



Equipo de Comunicaciones para Múltiples Frecuencias, (National Instrument, 2016)

A continuación, en la Tabla 2.1, se detalla los bloques necesarios para la comunicación entre el USRP2920 y el software Labview.

Los módulos presentados son exclusivos del USRP2920 y no se pueden utilizar sin estar conectados al equipo.

Tabla 2. 1 Módulos de Transmisión del USRP 2920

| Bloques   | Módulos de Transmisión           | Función   |
|---|----------------------------------|---|
|    | <b>niUSRP Open Tx Session</b>    | Prepara e inicia la sesión de transmisión (Tx) hacia el dispositivo y retorna una confirmación de sesión. |
|   | <b>niUSRP Configure Signal:</b>  | Configuración de las propiedades de transmisión (Tx) y recepción (Rx) del valor real del dispositivo      |
|  | <b>niUSRP Write Tx Data</b>      | Digita los datos de un canal determinado  |
|  | <b>niUSRP Close Session</b>      | Cierre de la sesión en el dispositivo   |
|  | <b>niUSRP Open Rx Session VI</b> | Prepara una sesión de recepción(Rx)   |

Tabla de bloques que utilizan los módulos USRP 2920, (International Journal of Science and Research, 2016)

El siguiente equipo utilizado en el presente proyecto es el AWG, posee altas velocidades de muestreo de alta resolución; permite crear formas de onda ideales para

las pruebas exactas de radares, satélites, radio digital y sistemas con agilidad de frecuencia. Cada canal proporciona un ancho de banda de modulación de 500 MHz a 1,25 GS / s o 250 MHz a 625 MS/s. (KEYSIGHT, 2016)

El equipo descrito se puede apreciar en la Figura 2.2

Figura 2.2 AGILENT N8241A AWG



Equipo Generador de Ondas Aleatorias, (KEYSIGHT, 2016)

El canal de transmisión utilizado fue el cable SMA, el mismo que ayudó a la conexión entre todos los equipos del sistema, posee una impedancia de 50 ohmios, un rango de frecuencia hasta los 4 GHz y alcanza una velocidad hasta 3.9ns, el cable se puede observar en la Figura 2.3 (Pomona, 2016)

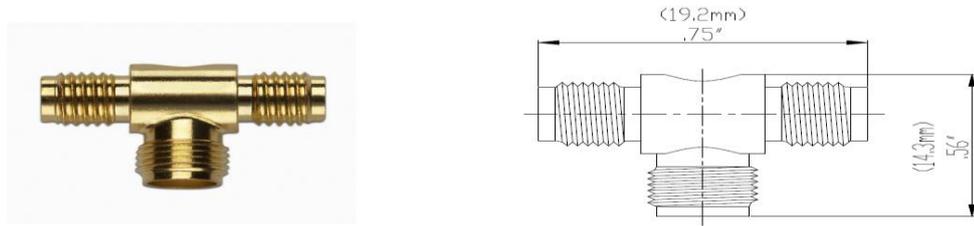
Figura 2.3 Canal de Transmisión SMA



Cable SMA, (Pomona, 2016)

Se determinó la utilización de un conector Jack-Jack Tipo T, el mismo que se encuentra bañado en oro para reducir pérdidas, trabaja hasta 50 ohmios y es de fácil manejo, como se puede observar en la Figura 2.4

Figura 2.4 Conector Jack –Jack Tipo T



Jack-jack Tipo T, (Pomona, 2016)

Se determinó la utilización de un filtro pasa bajos con una capacidad de 48MHZ, este elimina cualquier señal mayor a frecuencia antes mencionada, sus terminales son conectores coaxiales para una fácil conexión, está recubierta con una capa de oro para reducir pérdidas como se puede observar en la Figura 2.5 (Mini-Circuits, s.f.)

Figura 2.5 Filtro Pasa Bajos



Filtro Pasa Bajos 50 ohm a 48 MHZ

Para visualizar la señal PAM5 se utilizó el Osciloscopio de tiempo real (RTO), este equipo posee 4 canales analógicos y 16 digitales, además permite visualizar señales hasta 20Gs/s, permite visualizar varias señales simultáneamente además de su espectro de frecuencia. Este equipo permite guardar la información de las señales que se visualizan en formato “txt”, para poder trabajar de forma off-line (fuera de línea) y facilita guardar las imágenes que se obtienen en formato “jpg”. (Infiniium 9000A Series, 2009)

En la Figura 2.6 se observa el osciloscopio de tiempo real que se utiliza en la recepción de la señal codificada.

Figura 2.6 Osciloscopio Agilent HP MSO9254A

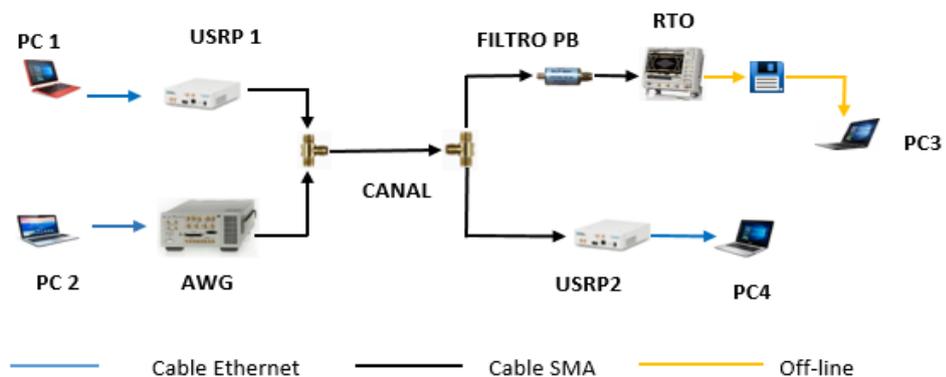


Osciloscopio de Tiempo Real

## 2.2 Conexiones Físicas

Para la implementación del sistema de comunicaciones fue necesario la utilización de varios equipos como: 4 computadoras, 2 USRP2920, el AWG, 5 cables SMA, 1 filtro pasa bajos, 2 conectores Jack-Jack tipo T, 3 cables ethernet y el Osciloscopio de tiempo real como se observa en la Figura 2.7

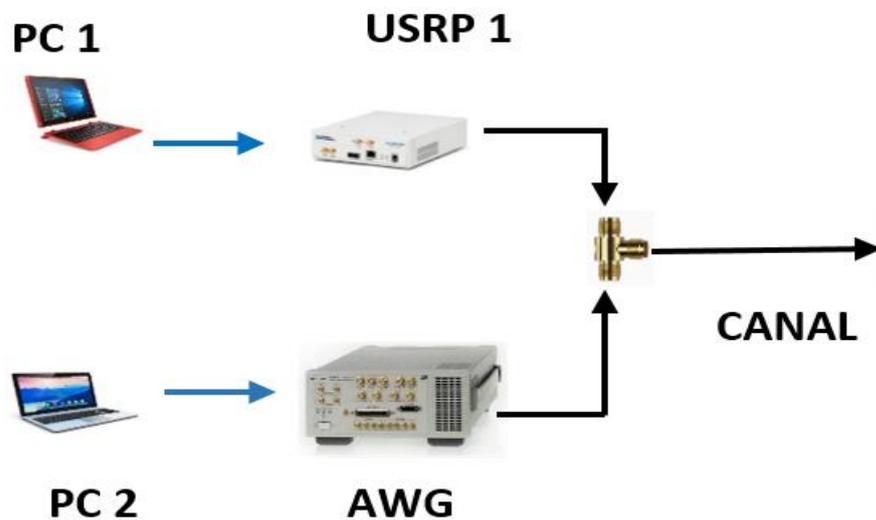
Figura 2.7 Segmentación del Sistema de Transmisión



Detalle de las Etapas del Sistema de Comunicación

Este sistema de comunicación se encuentra dividido en dos secciones; la sección de transmisión cuenta con una PC1 conectada mediante el cable Ethernet al transceptor USRP1, enlazando el software con el equipo y enviando la señal QPSK. Se conectó una PC2 mediante cable Ethernet al equipo AWG, el mismo que permitió enviar una, señal PAM5; utilizando 2 cables SMA se interconectó los equipos USRP1 Y AWG a un conector Jack-Jack tipo T, permitiendo multiplexar las señales enviadas, como se puede observar en la Figura 2.8

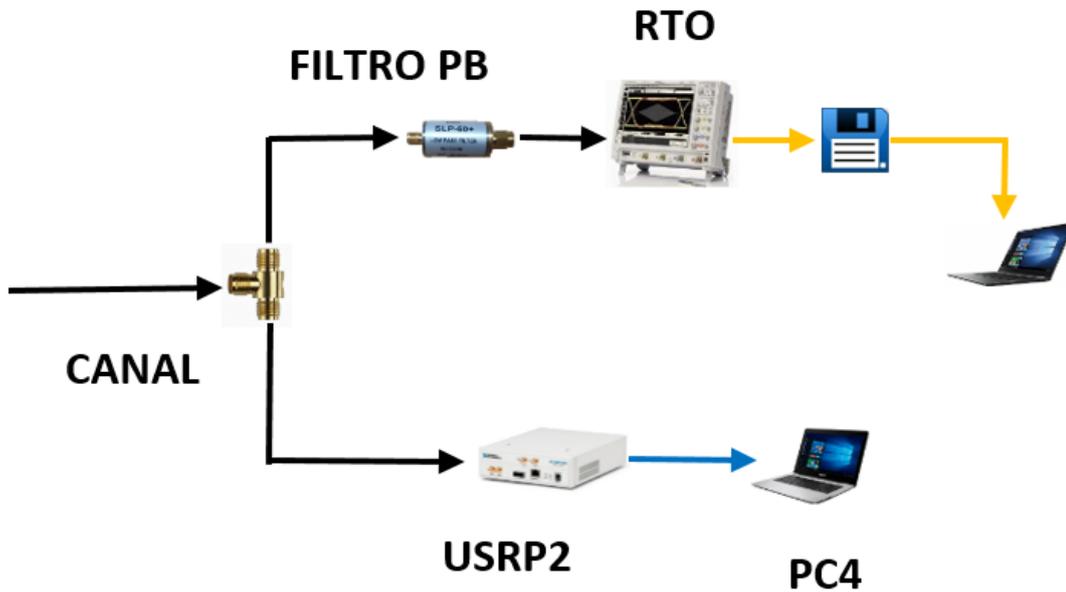
Figura 2.8 Etapa de Transmisión



Equipos Utilizados en la Etapa de Transmisión

A través de un nuevo cable SMA que servirá como canal de transmisión se interconectará la sección de recepción utilizando un segundo conector Jack-Jack tipo T; el mismo que permitió dividir en dos tramos la señal proveniente del canal de transmisión. En el primer tramo se conectó un filtro pasa bajos al osciloscopio de tiempo real mediante un cable SMA, posteriormente en una PC3 se observará la señal PAM5 que atravesó este tramo de forma off-line. En el segundo tramo se conectó el USRP2 a una PC4 mediante un cable ethernet para visualizar la señal QPSK recibida, como se puede observar en la Figura 2.9

Figura 2.9 Etapa de Recepción



Equipos Utilizados en la Etapa de Transmisión

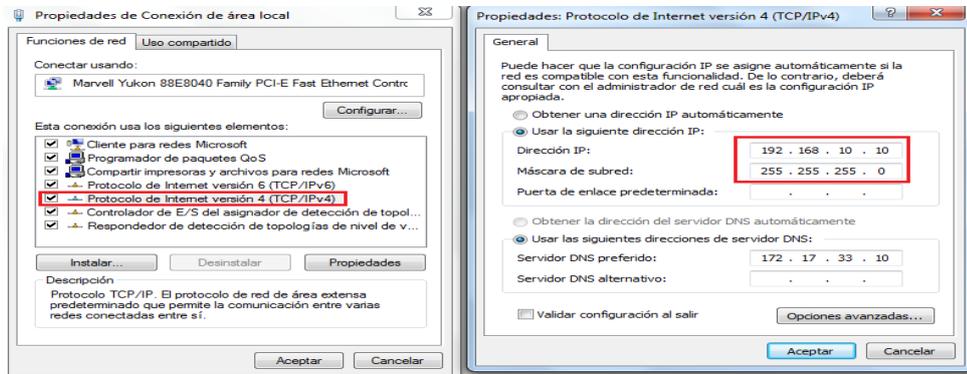
### 2.3 Configuración de Equipos y dispositivos

Para que todo el sistema funcione de manera correcta es necesario que todos los equipos se encuentren en la misma red, para este proyecto se ha definido la siguiente dirección de red 192.168.10.0 con máscara 255.255.255.0.

A continuación, se explica la configuración necesaria para que los equipos establezcan una conexión adecuada con el software.

En la PC1 ingresar al panel de control >>redes e Internet>>conexiones de red>> protocolo de Internet versión 4, en esta ventana se modificó la siguiente dirección estática 192.168.10.10 con máscara de 255.255.255.0. Cómo se puede observar en la Figura 2.10 (LINKSYS, s.f.)

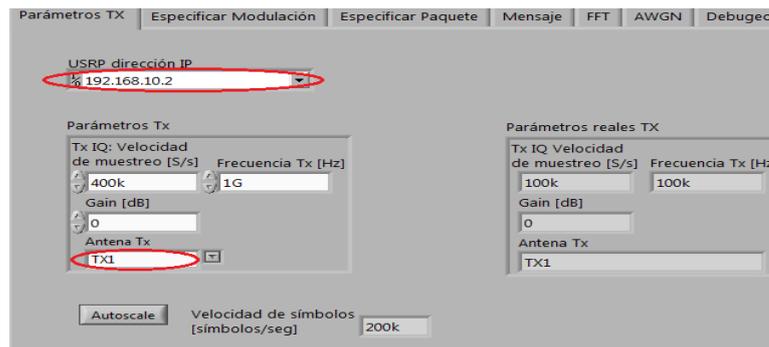
Figura 2.10 Configuración de la IP en la PC1



### Pasos para el Cambio de la IP en la PC1

Para que el software Labview se encuentre en línea con el equipo se colocó en el programa la dirección IP 192.168.10.2 que posee el equipo USRP2920 internamente, además de colocar el nombre de la antena que se utilizó “TX1” como se encuentra en la Figura 2.11

Figura 2.11 Pasos para Configuración del Software

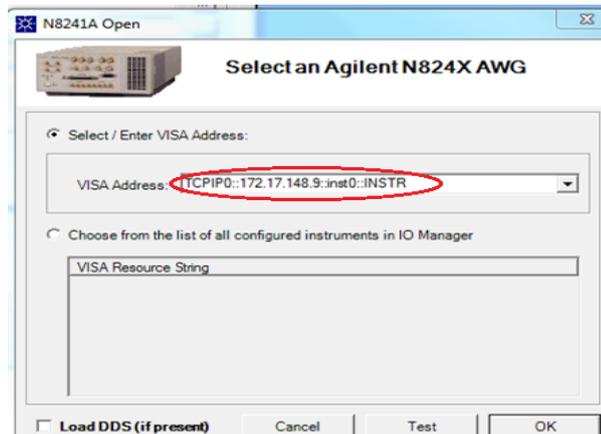


### Pasos para Configuración del Software

Para la PC2 se utilizó el programa Control Utility para la comunicación con el equipo AWG.

Al iniciar el programa se estableció la dirección IP 172.17.148.9 que corresponde al equipo AWG como se puede observar en la Figura 2.12

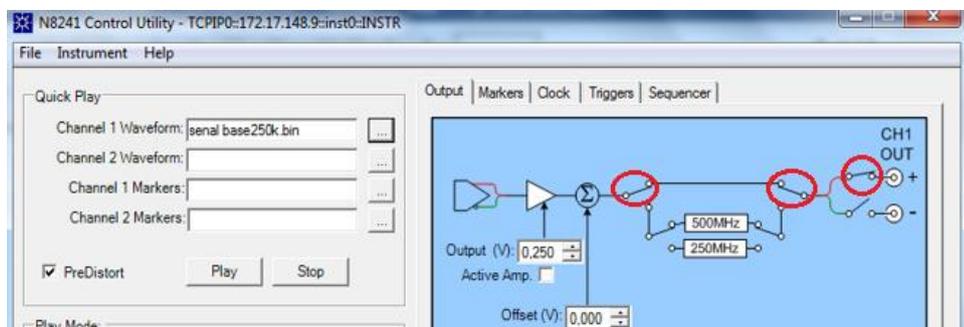
Figura 2.12 Sincronización PC2 con el AWG



Conexión Entre el Equipo con el Software

Una vez que la PC2 este en línea con el equipo se carga el programa y se cierra los nodos para que la señal se transmita como se puede observar en la Figura 2.13 (Arbitrary Waveform Generators, 2014)

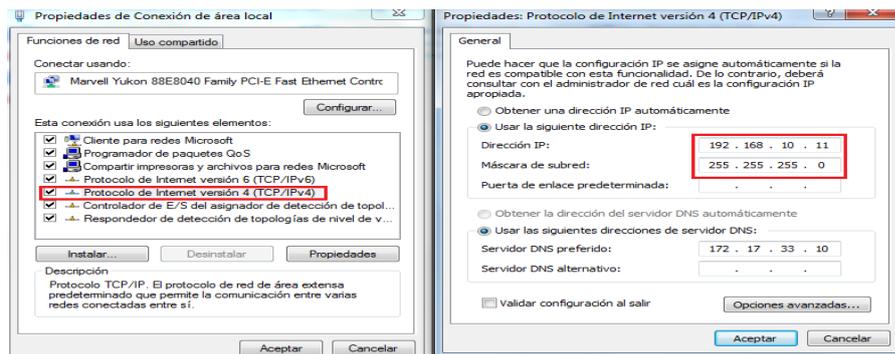
Figura 2.13 Software Control Utility



Configuración Interna del Control Utility

En la PC3 ingresar al panel de control >>redes e Internet >>conexiones de red >> protocolo de Internet versión 4; en esta ventana se modificó la siguiente dirección estática 192.168.10.11 con máscara de 255.255.255.0, cómo se puede observar en la Figura 2.14

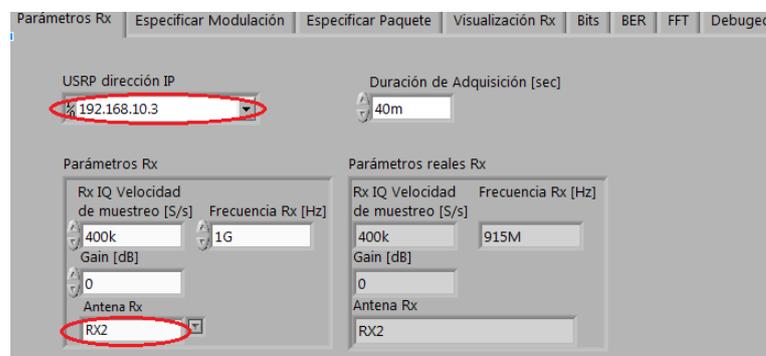
Figura 2.14 Configuración de la IP en la PC3



#### Pasos para el Cambio de la IP en la PC3

Se modificó la dirección IP existente en el software Labview por la dirección IP 192.168.10.3 que corresponde al equipo USRP2, además de colocar el nombre de la antena que se utilizó “RX2” como se observa en la Figura 2.15

Figura 2.15 Configuración de la IP en el Software Labview PC3



#### Pasos para Configuración del Software

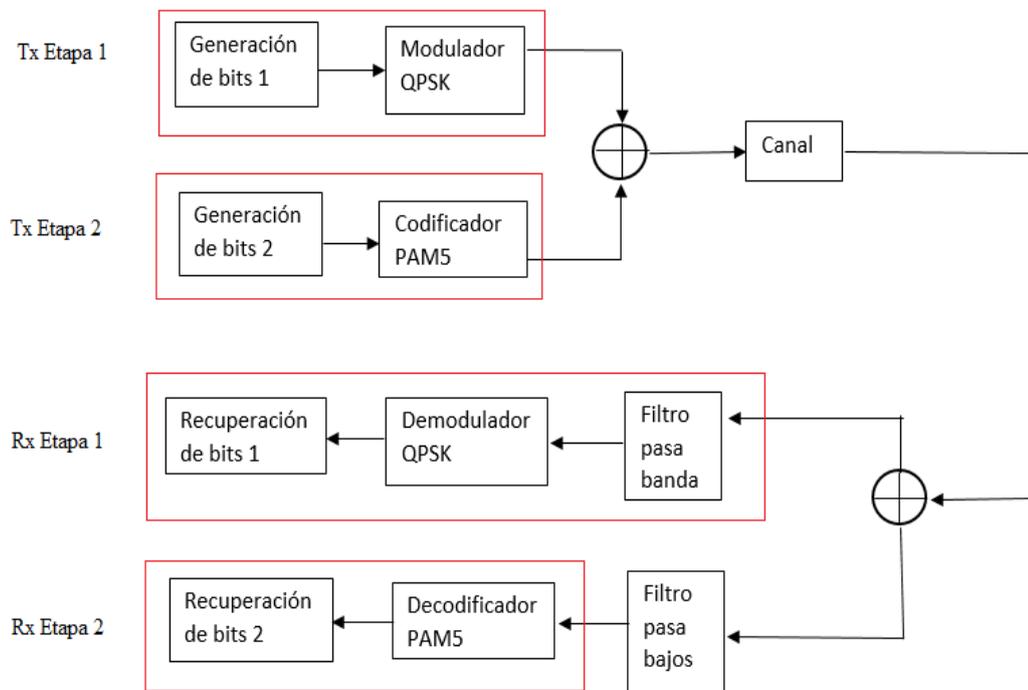
# CAPÍTULO 3

## SIMULACIÓN DEL SISTEMA

En este capítulo se observará el desarrollo del software. Se analizó cada etapa del sistema de transmisión mediante diagramas de flujo y diagramas de bloque; se dividió en cuatro etapas fundamentales: 2 en transmisión y 2 en recepción.

La primera etapa del transmisor contiene los bloques para la generación de bits “1” y el modulador QPSK. La segunda etapa del transmisor comprende los bloques de generación de bits “2” y la codificación PAM5. La primera etapa del receptor posee el filtro pasa banda, el bloque de demodulación y el bloque de recuperación de bits “1”. La segunda etapa del receptor posee un filtro pasa bajos el bloque de decodificación PAM5 y el bloque de recuperación de bits “2” como se puede observar en la Figura 3.1; estas etapas serán analizadas con más detalle en las siguientes secciones.

Figura 3.1 Diagrama de bloques del Sistema de Transmisión



Etapas del Sistema de Transmisión

### 3.1 Primera Etapa del Transmisor

Los primeros dos bloques que se programó en la primera etapa del transmisor fueron: la generación de bits “1” y el bloque de modulación QPSK como se observa en la Figura 3.2

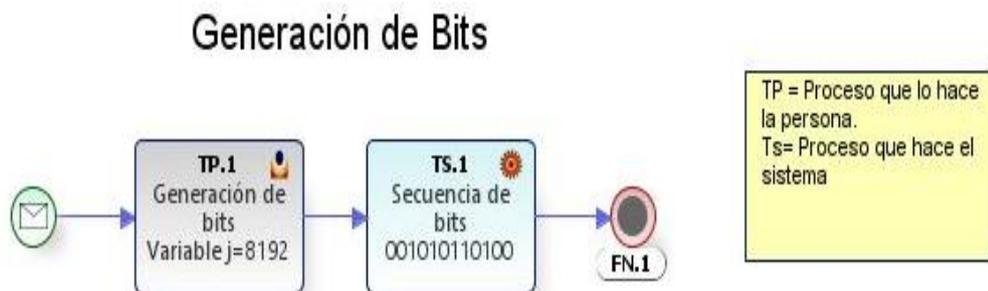
Figura 3.2 Diagrama de bloques del Sistema de Transmisión 1ra Etapa



Tx Etapa 1

En la Generación de bits “1” se ingresará la cantidad de bits a enviar, los mismos que se generaran automáticamente en una secuencia pseudo-aleatoria como se observa en la Figura 3.3

Figura 3.3 Diagrama de Procesos de la Generación de bits

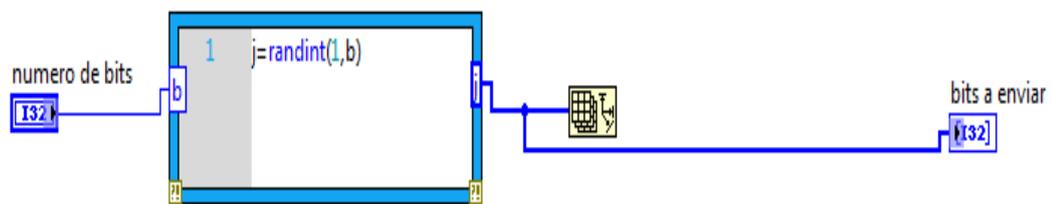


Programación de la Fuente de Información

En el software Labview se programó un script de Matlab que contiene: una variable “j” que sirvió para almacenar cierta cantidad de bits, esta cantidad puede variar de 1 a

8192 bits que es el rango de funcionamiento del programa, mediante el comando “randint” se generó una secuencia de bits pseudo-aleatorios los mismos que pasaron al bloque de modulación como se puede observar en la Figura 3.4 (Olivas, Sober, Villora, & Valls, 2003)

Figura 3.4 Generador de Bits

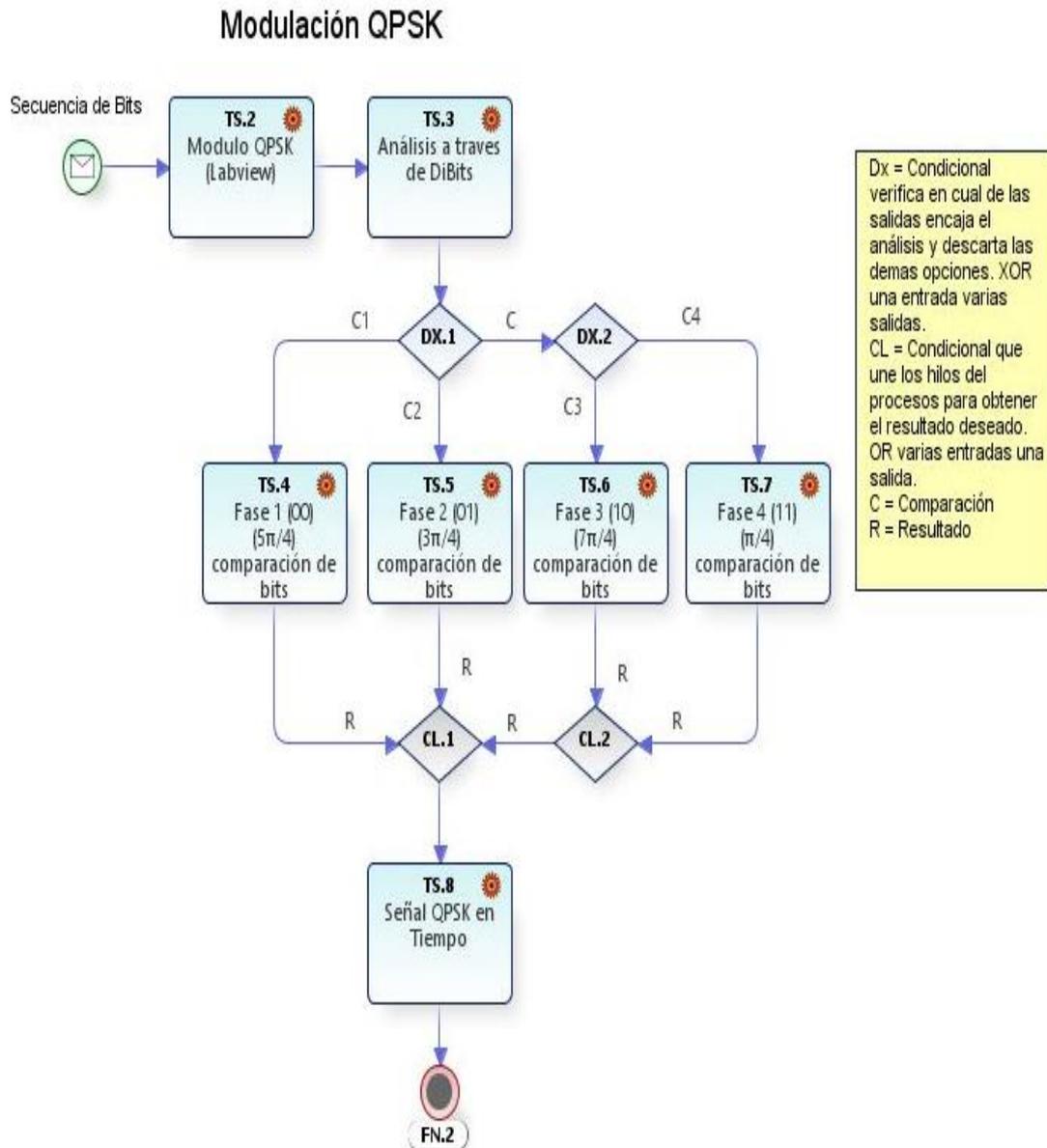


Generador de Bits Pseudo Aleatorio,

En el bloque de modulación QPSK se analizó dibits a través de las fases definidas en el proceso interno del módulo QPSK de Labview; si se recibe una secuencia de bits “00” la señal se desfasa “ $5\pi/4$ ” y generará un punto a  $225^\circ$  en el plano cartesiano, el mismo que está ubicado en el tercer cuadrante, si recibe una secuencia de bits “01” la señal se desfasa “ $3\pi/4$ ” y genera un punto a  $135^\circ$  del plano ubicado en el segundo cuadrante, si recibe una secuencia de bits “10” la señal se desfasa “ $7\pi/4$ ” y genera un punto a  $315^\circ$  del plano ubicado en el cuarto cuadrante, si recibe una secuencia de bits “11” la señal se desfasa “ $\pi/4$ ” y genera un punto a  $45^\circ$  del plano ubicado en el primer cuadrante.

Mediante el siguiente diagrama de flujo representado en la Figura 3.5 se describe la secuencia de bits enviada al bloque de modulación QPSK de Labview, el cual procesa la secuencia de bits en una modulación en cuadratura de fase. (Science, 2015)

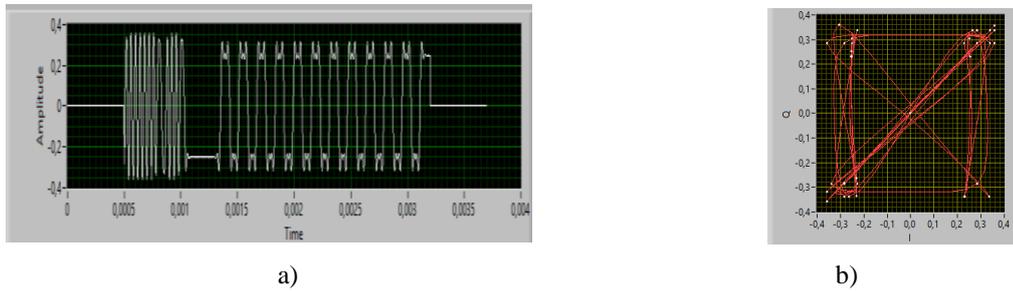
Figura 3.5 Diagrama de Procesos de la Modulación QPSK



#### Pasos para Realizar la Modulación QPSK

Una vez finalizado el proceso de modulación, el software procesa los datos ingresados y despliega las gráficas de tiempo de la señal QPSK modulada y el diagrama de constelación que se forma al enviar 8192 bits de información, como se puede observar en la Figura 3.6

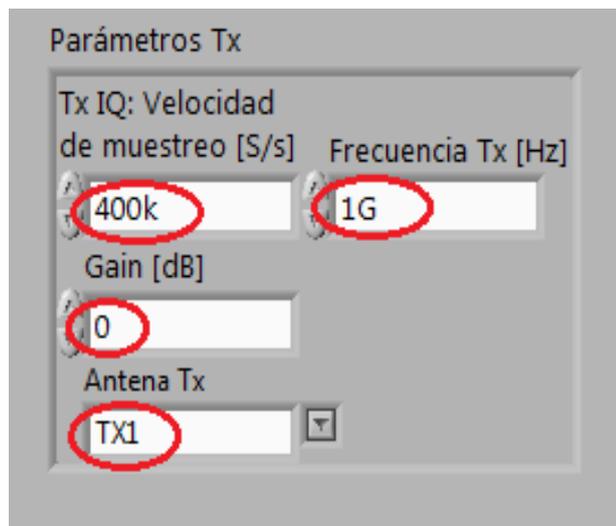
Figura 3.6 Señal Modulada en Tiempo y su Constelación de QPSK



a) Señal Adquirida en Tiempo. b) Constelación de la Señal QPSK

Mediante el módulo “niUSRP Configure Signal” detallado en la Tabla 1. Se configura todos los parámetros de la señal como: frecuencia de la señal portadora, la frecuencia de la señal modulada, la ganancia de la señal y finalmente la salida de la antena; parámetros requeridos para el envío de la señal QPSK, los cuales se determinaron por medio de la caracterización del USRP2920. Como se puede observar en la Figura 3.7 (International Journal of Science and Research, 2016)

Figura 3.7 Parámetros de la Modulación

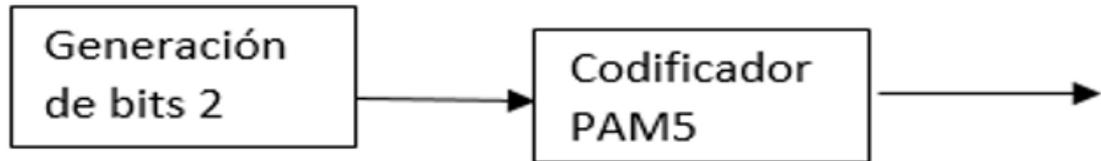


Valores que Pueden Variar en la Transmisión

### 3.2 Segunda Etapa del Transmisor

Esta etapa comprende los bloques de generación de bits “2” y la codificación PAM5, como observa en la Figura 3.8

Figura 3.8 Diagrama de Bloques del Sistema de Transmisión 2da Etapa



Tx Etapa 2

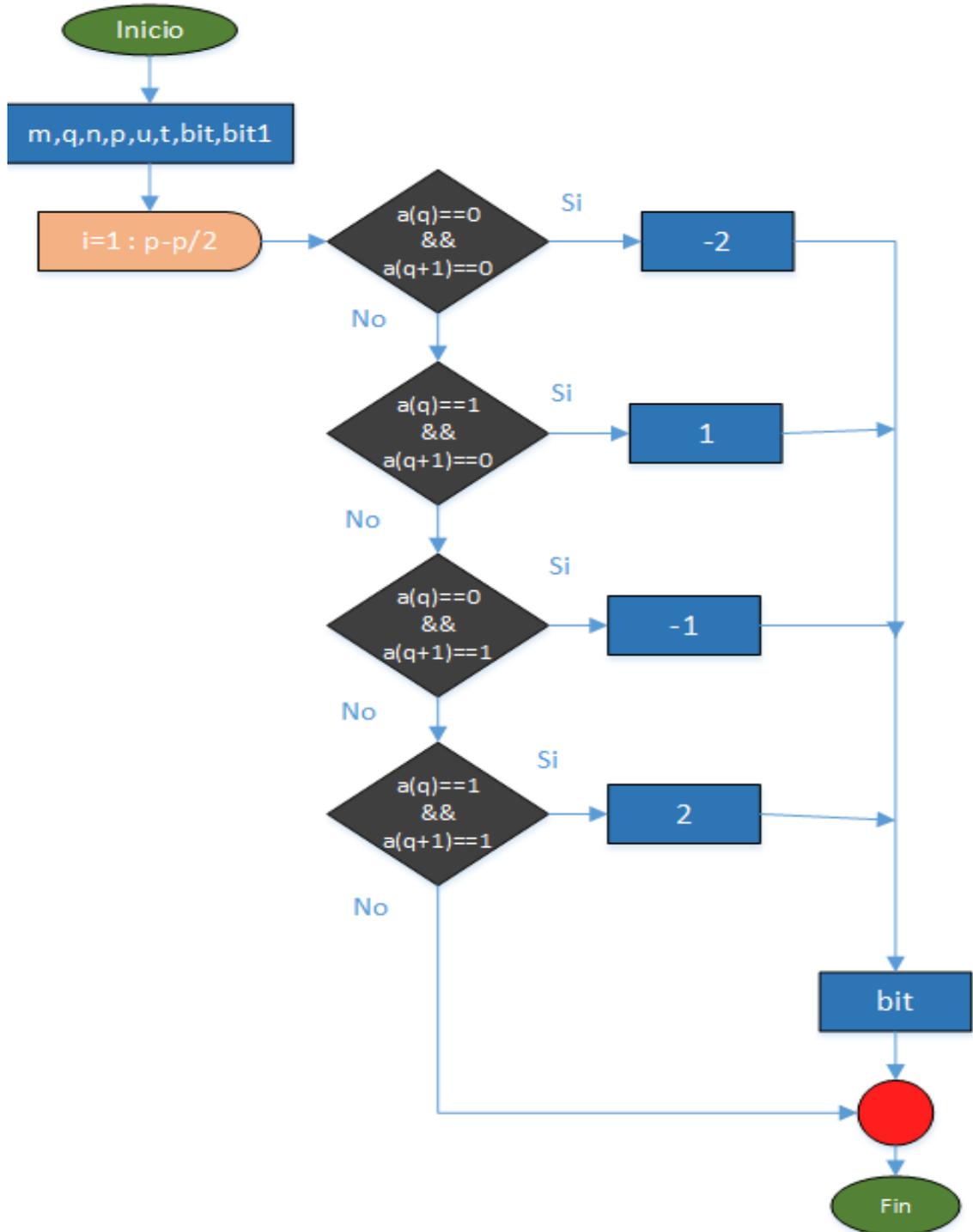
El generador de bits “2” se utilizó el mismo proceso mencionado en la sección 3.1” Generación bits1”, variando la secuencia de bits pseudo-aleatorios a enviar.

Una vez generada la secuencia de bits “2”, la información se envió hacia el codificador PAM5; mediante el software Labview se programó un script de Matlab que permitió tomar los bits pseudo-aleatorios generados anteriormente, se crearon las siguientes variables q, n, u, t, con un valor constante igual a 1, los mismos que ayudaran en la fabricación de contadores para recorrer el vector que contiene la secuencia de bits de información.

Realizando un algoritmo de comparación en el script antes mencionado se determina que si la secuencia de dibits que ingresa es de “00” su nivel de voltaje equivale a “-2”; si la secuencia de dibits es “10” su nivel de voltaje es de “1”; si la secuencia es de “01” su nivel de voltaje equivale a “-1”; si la secuencia de dibits es de “11” su nivel de voltaje es de “2”.

En el siguiente diagrama de flujo representando en la Figura 3.9, describe el proceso de la programación para la codificación PAM5.

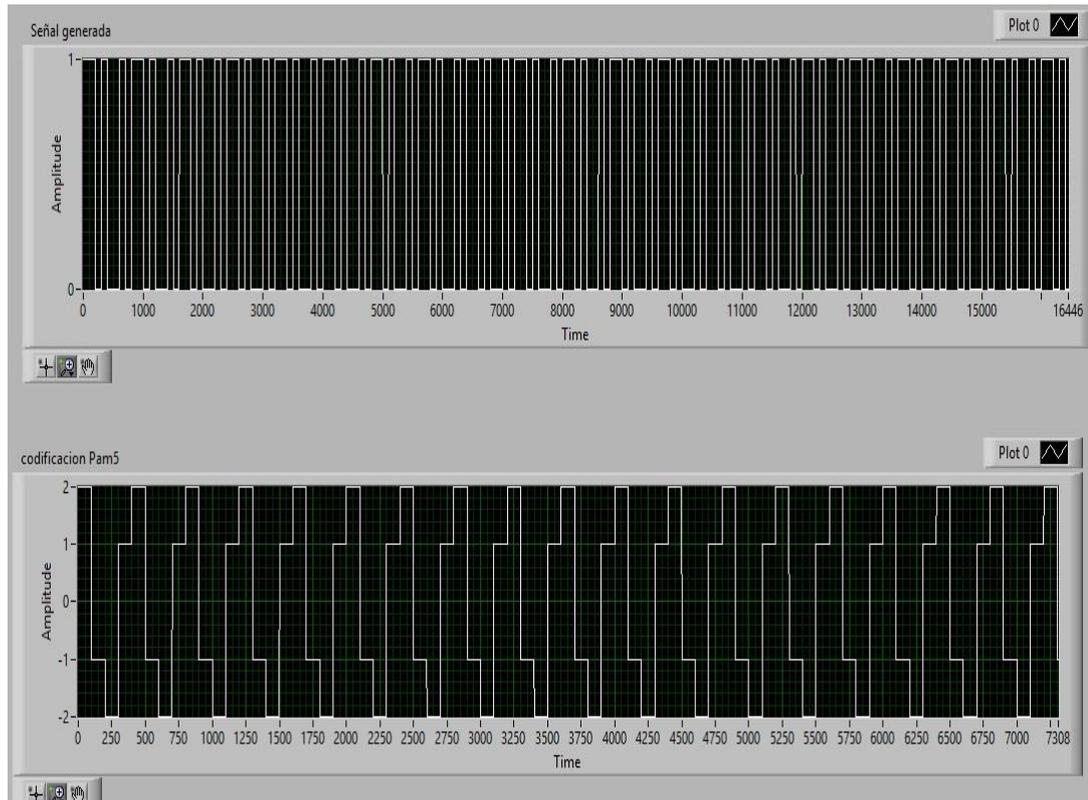
Figura 3.9 Diagrama de Flujo de la Codificación PAM5



Programación de PAM5

Al acabar la secuencia de bits, se guardó los nuevos datos en la variable “bit” y se puede graficar la nueva señal codificada PAM5 adquirida como se observa en la Figura 3.10

Figura 3.10 Señal Codificada PAM5



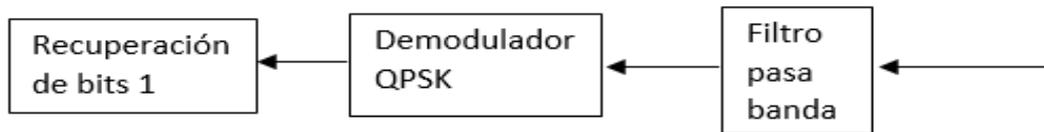
Señal Obtenida de Labview

Una vez obtenida la codificación, se procede a crear un archivo “.bin” de la señal PAM5 mediante algunas funciones de Matlab, enviando la señal a través del equipo AWG al proceso de multiplexación con la señal QPSK antes generada.

### 3.3 Primera Etapa del Receptor

En esta etapa se presenta 3 bloques: el filtro pasa banda, el bloque de demodulación QPSK y el bloque de recuperación de bits “1” como se observa en la Figura 3.11

Figura 3.11 Diagrama de Bloques de la Etapa 1 de Recepción

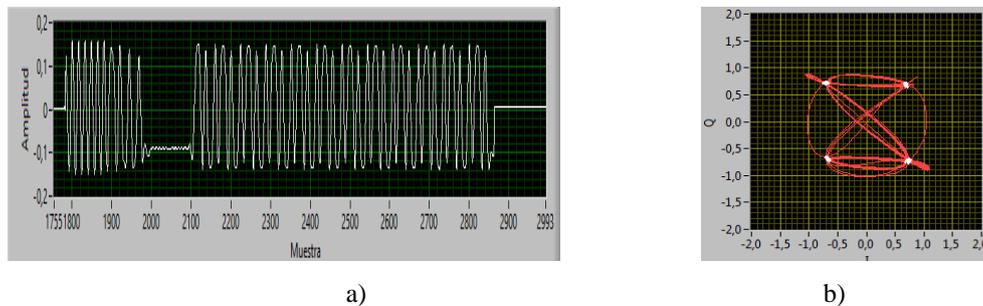


Rx Etapa 1

En el primer bloque del filtro pasa banda la señal codificada fue filtrada por características propias del USRP 2920 ya que su rango de frecuencia es de 50MHZ a 2.2 GHZ eliminando señales menores a esa frecuencia, descartando de esta manera la señal PAM5 y recuperando la señal QPSK.

La señal filtrada es representada en el software Labview, a través de la señal en tiempo y su diagrama de constelación recuperada como se observa en Figura 3.12

Figura 3.12 Señal QPSK en el Receptor



a) Recuperación de la Señal en Tiempo b) Constelación de la señal QPSK en Rx

Finalmente, en los bloques de demodulación QPSK y recuperación de Bits la señal modulada QPSK ingresa al bloque “InitPskRx” de Labview, el cual realiza una comparación de las fases para poder demodular la señal.

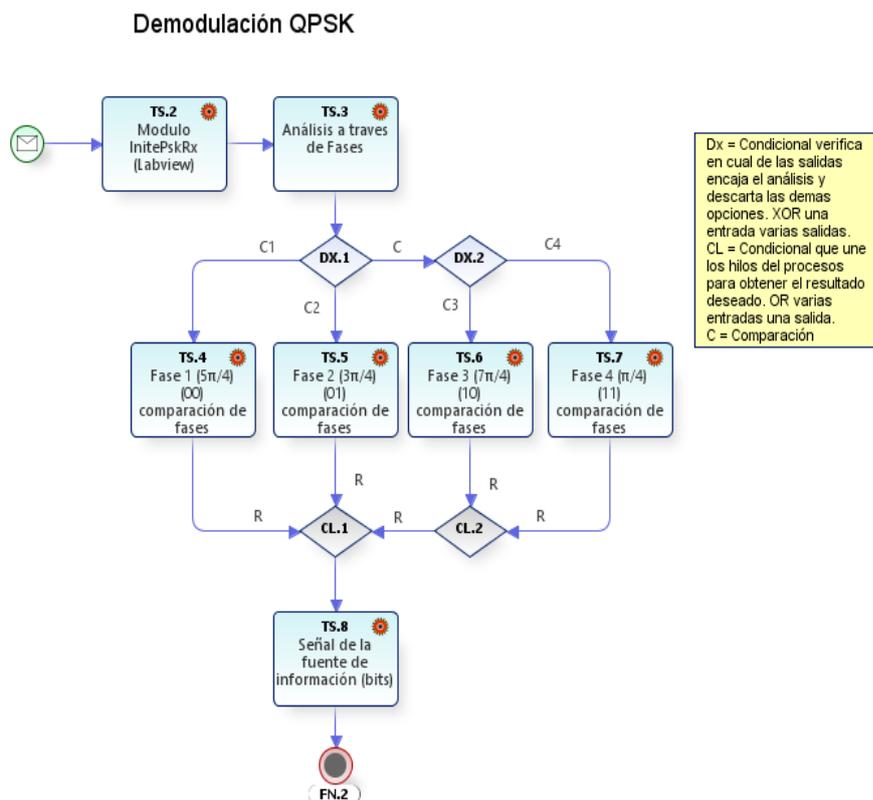
Si se encuentra la señal desfasada “ $5\pi/4$ ” el bloque procesa la información y genera una secuencia de bits de “00”; si se encuentra la señal desfasada “ $3\pi/4$ ” el bloque

procesa la información y genera una secuencia de bits de “01”; si se encuentra la señal desfasada “ $7\pi/4$ ” el bloque procesa la información y genera una secuencia de bits de “10”, si se encuentra la señal desfasada “ $\pi/4$ ” el bloque procesa la información y genera una secuencia de bits de “11”. (Moussavi, 2012)

De esta manera se cumple el proceso de demodulación para la recuperación de bits 1 y completar la primera etapa de recepción.

Mediante el siguiente diagrama de flujo se explica el proceso de demodulación que realizó el software Labview como se observa en la Figura 3.13

Figura 3.13 Diagrama de Procesos de la Demodulación QPSK

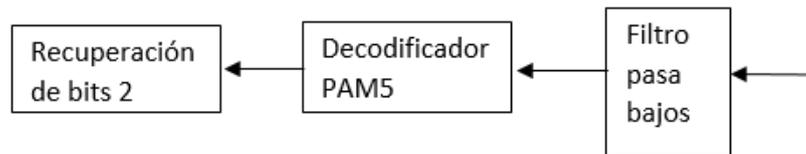


Pasos para Realizar la Demodulación QPSK

### 3.4 Segunda Etapa del Receptor

La segunda etapa del receptor posee tres bloques: bloque de filtrado, proceso de decodificación PAM5 y la recuperación de los bits “2”, como se puede observar en la Figura 3.14

Figura 3.14 Diagrama de Bloques de la Etapa 2 de Recepción



Rx Etapa 2

En el Bloque de filtrado PAM5 se recibe la señal multiplexada enviada al filtro pasa bajos de 48MHz, el mismo que eliminó la señal modulada ya que se encontraba elevada en frecuencia a 1GHZ.

Se observó los puntos críticos del filtro, que determina desde que frecuencia empieza a eliminar la señal, en este caso es de 50.24 MHz en adelante, como muestra la Figura 3.15

Figura 3.15 Caracterización del filtro Pasa Bajos

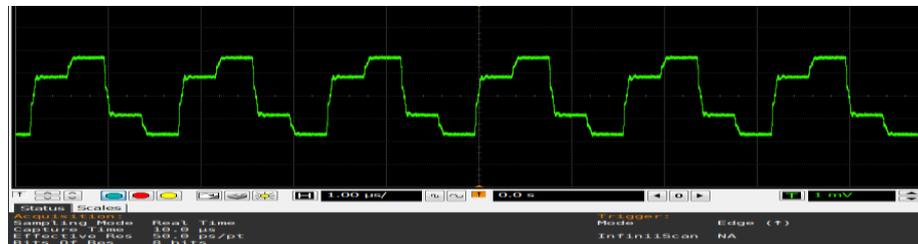


Puntos Críticos del Filtro

Una vez filtrada la señal modulada, los datos codificados fueron recuperados para visualizarlos mediante el osciloscopio en tiempo real.

Los datos recuperados son visualizados y guardados mediante el osciloscopio de tiempo real en un archivo “txt” para realizar el proceso de decodificación de forma off-line, además de guardar una captura de la señal recuperada en formato “jpg”, como se observa en la Figura 3.16

Figura 3.16 Señal PAM5 recuperada



Señal PAM5 Visualizada en el RTO

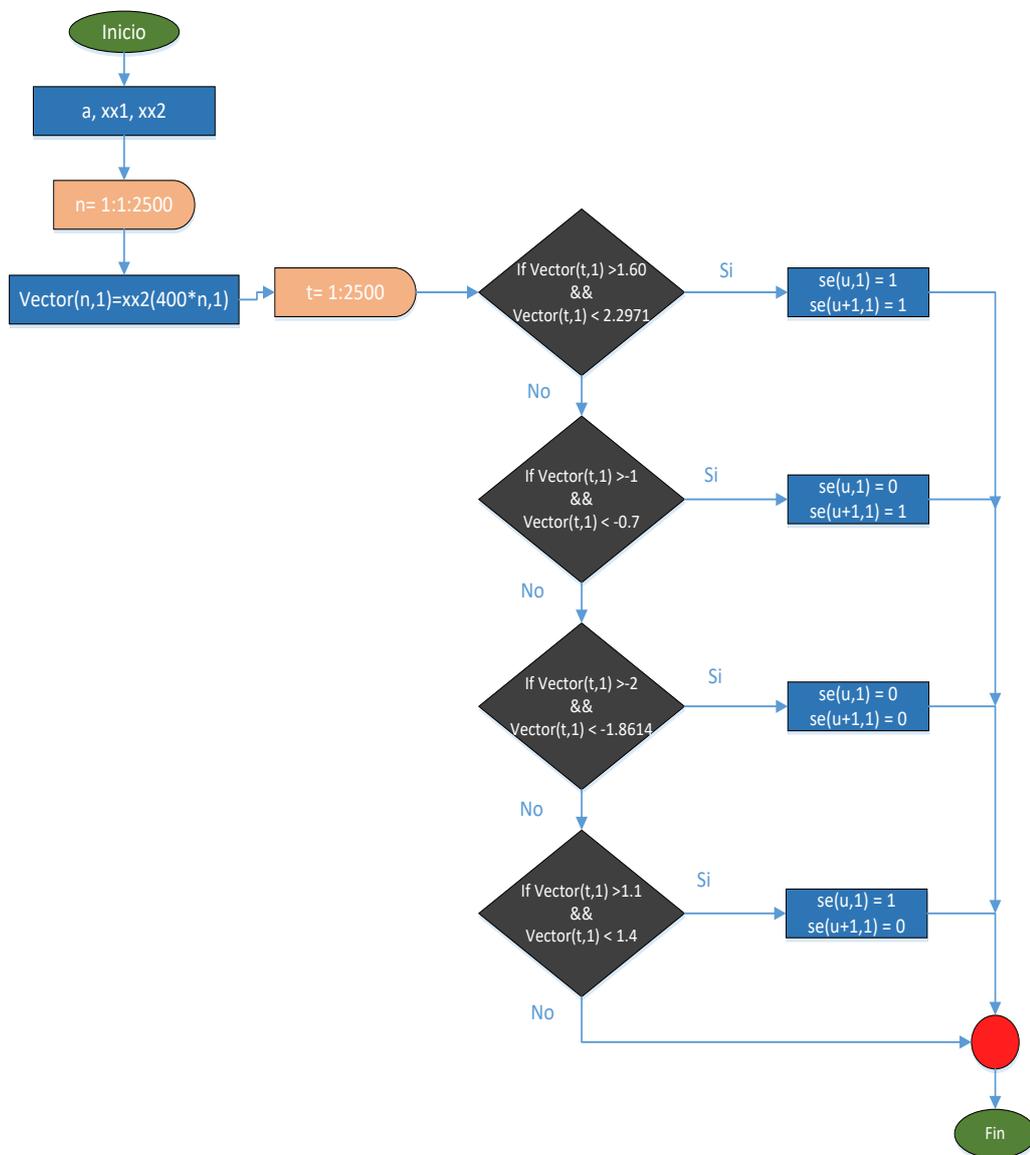
Finalmente, en decodificación PAM5 y recuperación de bits los datos son procesados mediante un script de Matlab en Labview, el proceso de la decodificación PAM5 será explicado mediante un diagrama de flujo que describe la programación realizada para este proceso.

Una vez que se cargue el documento “.txt” en el programa de Labview, se genera un script de Matlab, que contiene una variable “a” donde se almacenó la información recibida correspondiente a la señal recuperada PAM5. Primero se crea una variable “xx1” constante inicializada con el valor de 28 para multiplicar la señal recibida y de esta manera amplificarla, la nueva señal se guarda en la variable” xx2”.

Posteriormente se creó un contador para poder tomar un dato cada 400 muestras hasta el final de la variable, estos datos son guardados en la variable “vector” para que de esta manera se pueda procesar los datos, ingresando 4 condiciones que ayudaran a decodificar la señal. Si el dato que recibe de la variable vector se encuentra en un límite

de “1.6 y 2. 2971”; el programa generara una secuencia de 2 bits “11”, si el dato que recibe se encuentra en un límite de “-0.7 y -1”; el programa generará una secuencia de 2 bits “01”, si el dato que recibe se encuentra en un límite de “-1.18614 y -2”; el programa generara una secuencia de 2 bits “00”, si el dato que recibe se encuentra en un límite de “1.1 y 1.4”; el programa generará una secuencia de 2 bits “10”, como se puede observar en la Figura 3.17

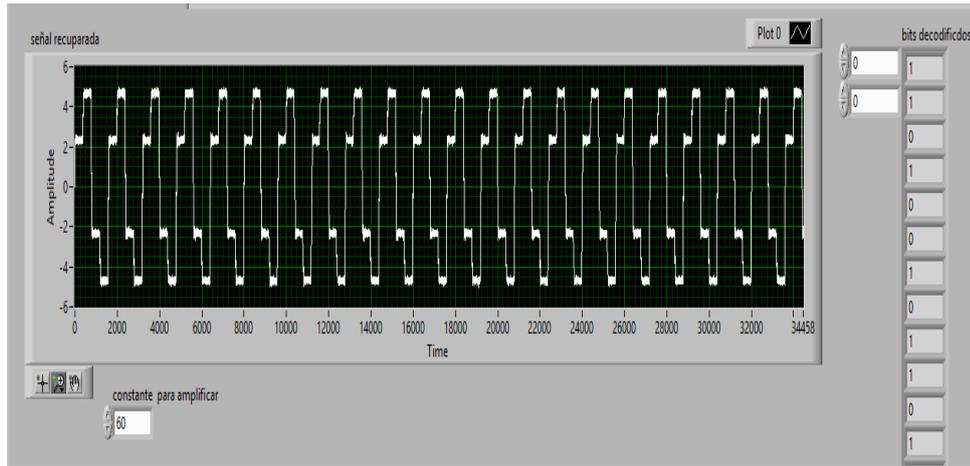
Figura 3.17 Diagrama de Flujo de la Decodificación PAM5



Pasos para realizar la Decodificación PAM5

Una vez finalizado el barrido de todo el vector, la recuperación de bits “2” finaliza, por lo cual los datos se guardan en la variable “se” y se la gráfica, como se puede observar en la Figura 3.18

Figura 3.18 Recuperación de la PAM5



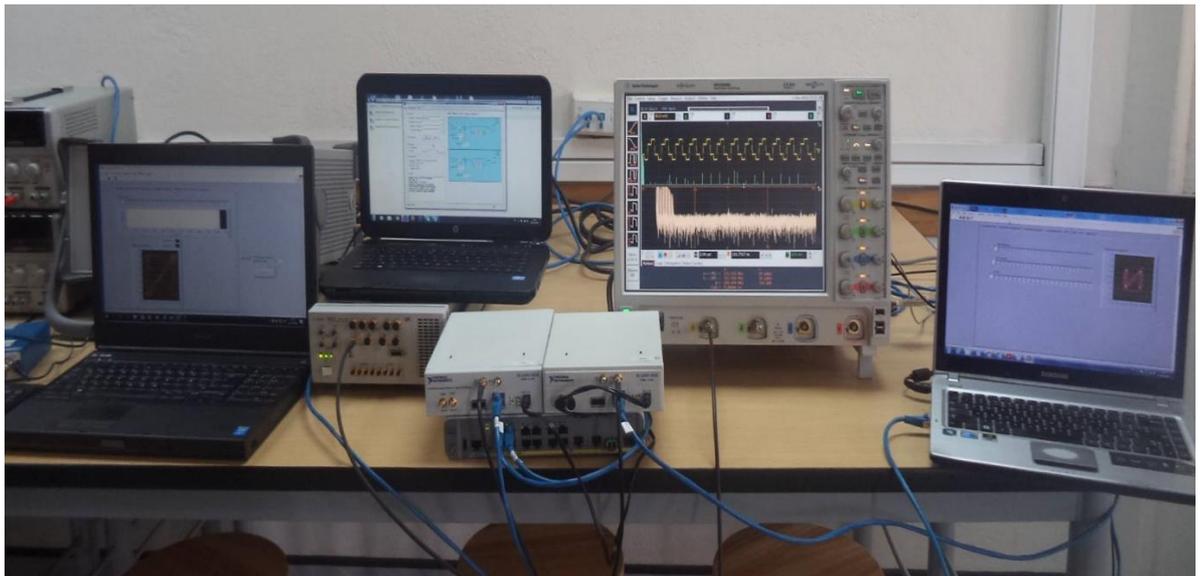
PAM5 vía Off-line

## CAPÍTULO 4

### ANÁLISIS Y RESULTADOS

En este capítulo se muestra los resultados experimentales de las pruebas efectuadas en el sistema de transmisión completamente implementado como se observa en la Figura 4.1, se tomaron datos de las variaciones de las ganancias en la potencia de transmisión, la variación de la señal a ruido para las señales individual y simultánea, para obtener el cálculo del BER y comparar su rendimiento, tomando como límite la línea de Corrección de errores hacia adelante (FEC, forward error correction), con una tasa de error de “ $10^{-3}$ ” donde la señal mejora su rendimiento. (Jafar, Omar , & Thomas , 2014)

Figura 4.1 Implementación del sistema de Transmisión



Sistema de Trasmisión Completo

#### 4.1 Pruebas con la señal modulada QPSK

Las pruebas fueron realizadas en base a los parámetros indicados en la Tabla 4.1, los mismos que serán utilizados en la caracterización de la señal modulada QPSK. Cuando se realizó la prueba sin ruido se determinó que el ancho de banda ideal para la señal fue 400Khz, debido a la efectividad de envío de la señal; la relación señal a ruido se

tomará de 0 a 60 dB, analizando 3 muestras significativas las cuales tendrán una relación de SNR=15, SNR=54, SNR=60 ya que se encuentran en el límite FEC establecido. Para las ganancias se tomaron los límites mínimo, intermedio y máximo del equipo: k=0, k=20, k=31, la velocidad de transmisión fue de 250 Kbps, por último, la frecuencia de portadora será de 1GHZ por la eficiencia de conexión en el sistema.

Tabla 4.1 Parámetros para Señal QPSK

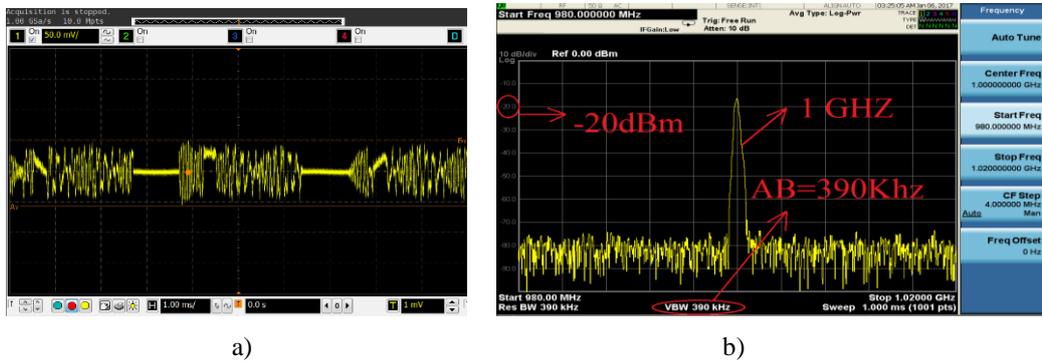
| PARÁMETROS                  | QPSK      |
|-----------------------------|-----------|
| ANCHO DE BANDA              | 400KHz    |
| SEÑAL A RUIDO(SNR)          | 0-60dB    |
| GANANCIA DE TRANSMISIÓN (k) | 0,20,31dB |
| FRECUENCIA DE MUESTREO      | 1.25 GS/s |
| VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN    | 400 Kbps  |
| FRECUENCIA DE PORTADORA     | 1GHZ      |

Tabla con los parámetros de transmisión de la señal QPSK

En la primera parte de la experimentación, la señal QPSK se envió una ganancia de k=0dB que equivale a -20dBm de potencia y se varió la relación señal a ruido de 0 a 60 dB, de las cuales solo se tomará 3 datos que serán los puntos críticos en este caso serán con la relación SNR=15, SNR=54 y SNR=60 establecidos por los límites FEC.

La señal en tiempo fue afectada por la cantidad de SNR=15 que ingresó en el sistema como se puede observar en la Figura 4.2(a). El espectro de frecuencia mostró el desplazamiento de la señal hasta 1GHZ, el ancho de banda de la señal y la potencia de transmisión que fue -20dBm, como se puede observar en la Figura 4.2(b).

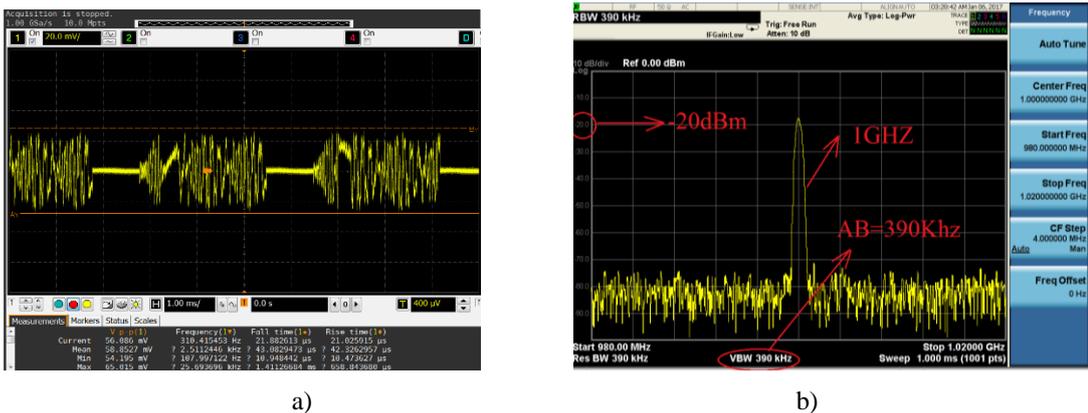
Figura 4.2 Señal QPSK TX SNR=15 Ganancia k=0



a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

En esta etapa se encuentra la señal que recibe el receptor después de pasar por el canal. Se puede observar la señal en tiempo con SNR=15 en la Figura 4.3(a) y las características de la señal en frecuencia recuperada, como se observa en la Figura 4.3(b).

Figura 4.3 Señal QPSK RX SNR=15 Ganancia k=0



a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

La señal en tiempo fue afectada por la cantidad de SNR=54 que ingresó en el sistema como se puede observar en la Figura 4.4(a). El espectro de frecuencia mostró el

desplazamiento de la señal hasta 1GHZ, el ancho de banda de la señal y la potencia de transmisión que fue -20dBm, como se puede observar en la Figura 4.4(b).

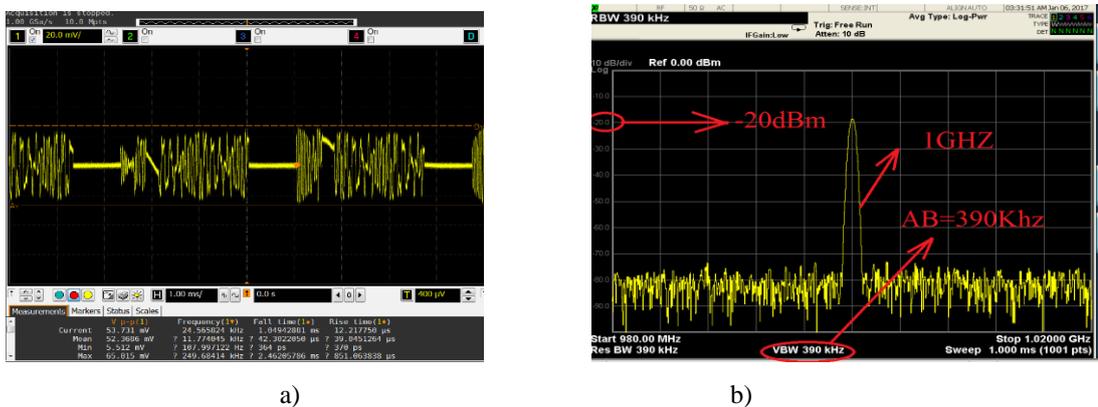
Figura 4.4 Señal QPSK TX SNR=54 Ganancia k=0



a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

En esta etapa se encuentra la señal que recibe el receptor después de pasar por el canal. Se puede observar la señal en tiempo con SNR=54 en la Figura 4.5(a) y las características de la señal en frecuencia recuperada, como se observa en la Figura 4.5(b).

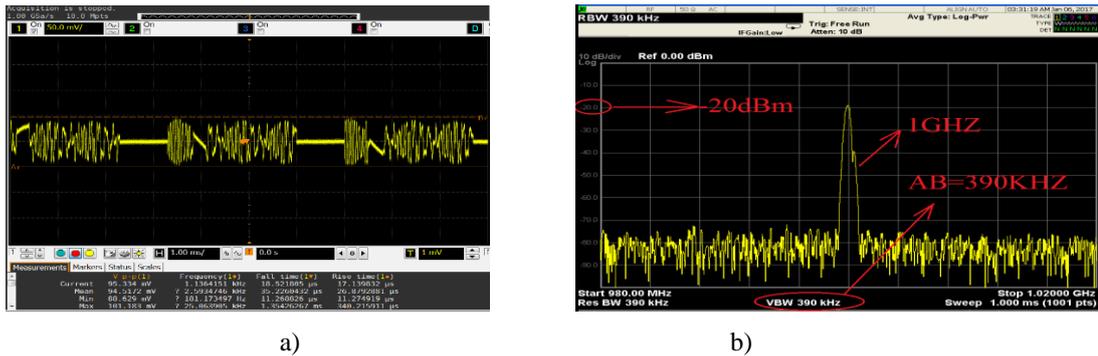
Figura 4.5 Señal QPSK RX SNR=54 Ganancia k=0



a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

La señal en tiempo fue afectada por la cantidad de SNR=60 que ingresó en el sistema como se puede observar en la Figura 4.6(a). El espectro de frecuencia mostró el desplazamiento de la señal hasta 1GHZ, el ancho de banda de la señal y la potencia de transmisión que fue -20dBm, como se puede observar en la Figura 4.6(b).

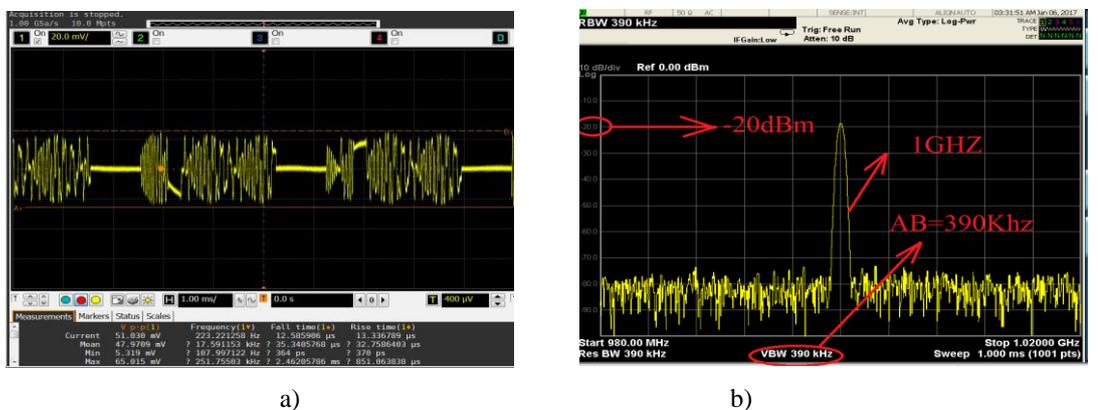
Figura 4.6 Señal QPSK TX SNR=60 Ganancia k=0



a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

En esta etapa se encuentra la señal que recibe el receptor después de pasar por el canal. Se puede observar la señal en tiempo con SNR=60 en la Figura 4.7(a) y las características de la señal en frecuencia recuperada, como se observa en la Figura 4.7(b).

Figura 4.7 Señal QPSK RX SNR=60 Ganancia k=0

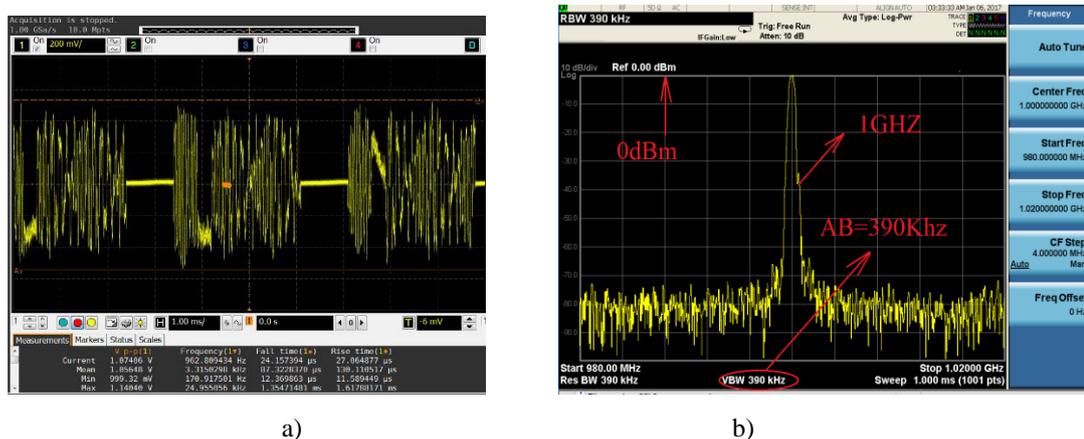


a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

En la segunda parte de la experimentación, la señal QPSK se envió una ganancia  $k=20\text{dB}$  que equivale a  $0\text{dBm}$  de potencia y se varió la relación señal a ruido de 0 a 60 dB, de las cuales solo se tomó 3 datos que serán los puntos críticos en este caso serán con la relación  $\text{SNR}=15$ ,  $\text{SNR}=54$  y  $\text{SNR}=60$  establecidos por los límites FEC.

La señal en tiempo fue afectada por la cantidad de  $\text{SNR}=15$  que ingresó en el sistema como se puede observar en la Figura 4.8(a). El espectro de frecuencia mostró el desplazamiento de la señal hasta  $1\text{GHz}$ , el ancho de banda de la señal y la potencia de transmisión que fue  $0\text{dBm}$ , como se puede observar en la Figura 4.8(b).

Figura 4.8 Señal QPSK TX  $\text{SNR}=15$  Ganancia  $k=20$



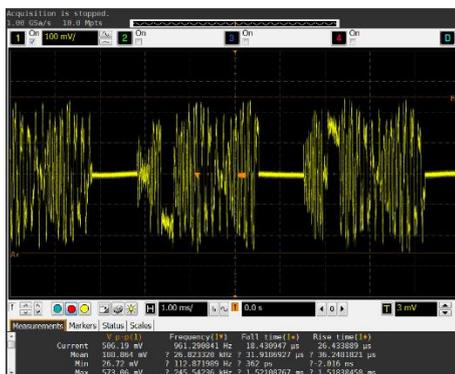
a)

b)

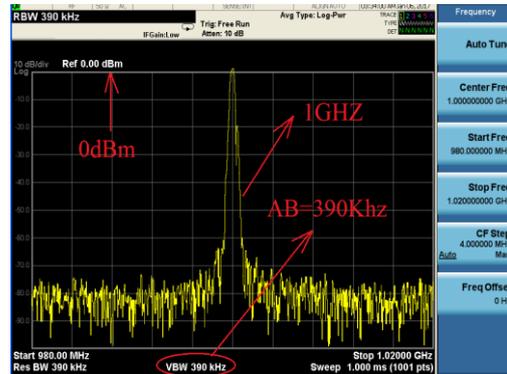
a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

En esta etapa se encuentra la señal que recibe el receptor después de pasar por el canal. Se puede observar la señal en tiempo con  $\text{SNR}=15$  en la Figura 4.9(a) y las características de la señal en frecuencia recuperada, como se observa en la Figura 4.9(b).

Figura 4.9 Señal QPSK RX SNR=15 Ganancia k=20



a)



b)

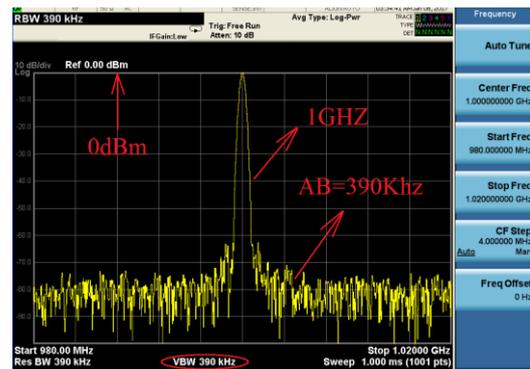
a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

La señal en tiempo fue afectada por la cantidad de SNR=15 que ingresó en el sistema como se puede observar en la Figura 4.10(a). El espectro de frecuencia mostró el desplazamiento de la señal hasta 1GHZ, el ancho de banda de la señal y la potencia de transmisión que fue 0dBm, como se puede observar en la Figura 4.10(b).

Figura 4.10 Señal QPSK TX SNR=54 Ganancia k=20



a)



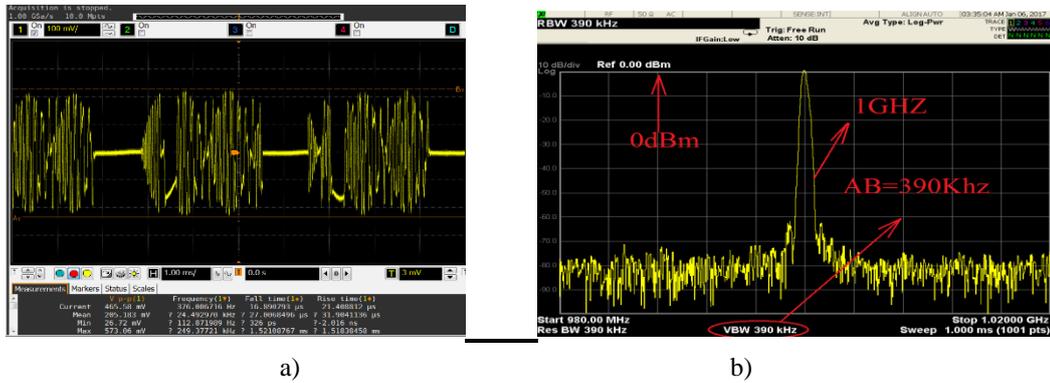
b)

a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

En esta etapa se encuentra la señal que recibe el receptor después de pasar por el canal. Se puede observar la señal en tiempo con SNR=54 en la Figura 4.11(a) y las

características de la señal en frecuencia recuperada, como se observa en la Figura 4.11(b).

Figura 4.11 Señal QPSK RX SNR=54 Ganancia k=20

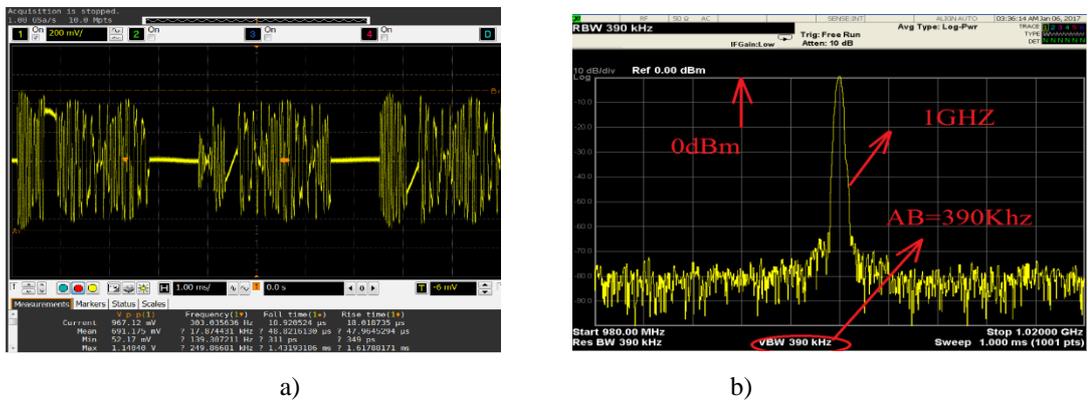


a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

La señal en tiempo fue afectada por la cantidad de SNR=60 que ingresó en el sistema como se puede observar en la Figura 4.12(a). El espectro de frecuencia mostró el desplazamiento de la señal hasta 1GHZ, el ancho de banda de la señal y la potencia de transmisión que fue 0dBm, como se puede observar en la Figura 4.12(b).

Figura 4.12 Señal QPSK TX SNR=60 ganancia k=20

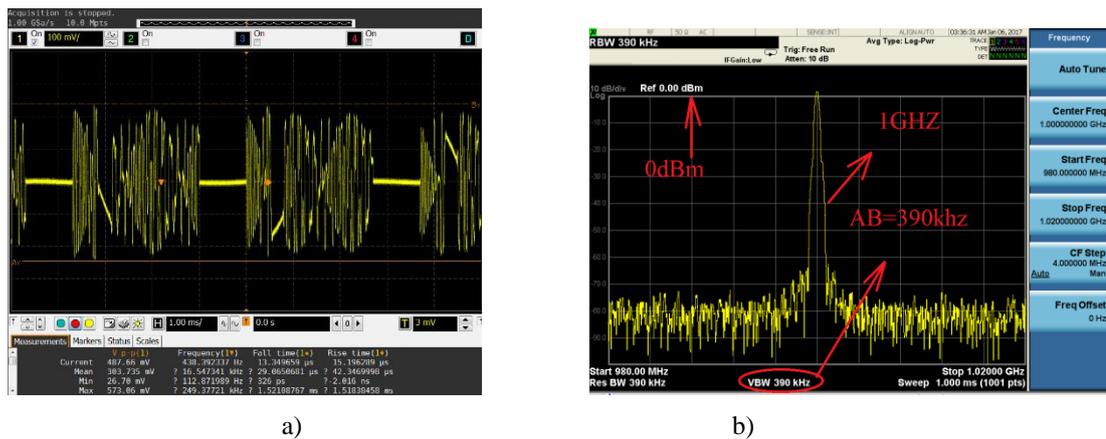


a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

En esta etapa se encuentra la señal que recibe el receptor después de pasar por el canal. Se puede observar la señal en tiempo con SNR=15 en la Figura 4.13(a) y las características de la señal en frecuencia recuperada, como se observa en la Figura 4.13(b).

Figura 4.13 Señal QPSK RX SNR=60 ganancia k=20



a)

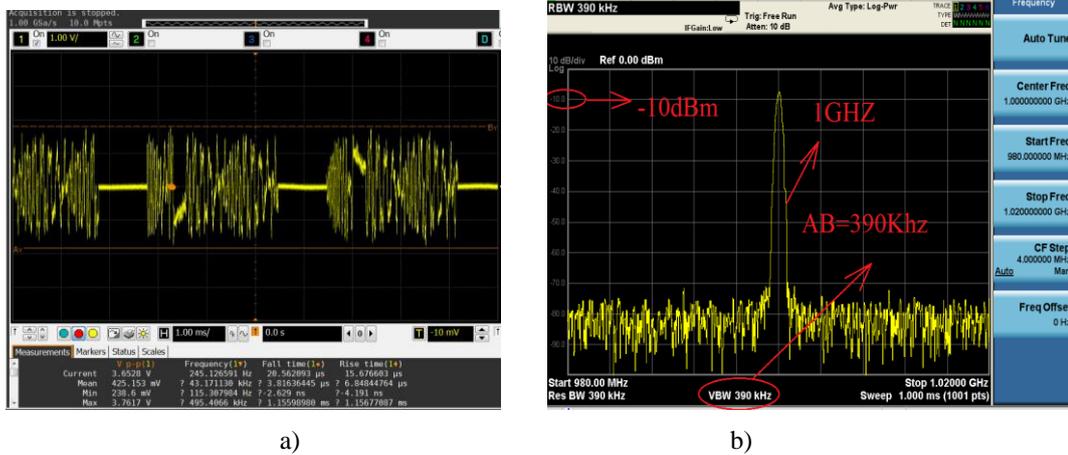
b)

a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

En la tercera parte de la experimentación, la señal QPSK se envió una ganancia  $k=31\text{dB}$  que equivale a  $10\text{dBm}$  de potencia, debido a que la capacidad máxima del RTO es de  $10\text{dBm}$ , se procedió a usar un atenuador de  $20\text{dB}$  para visualizar las gráficas y se varió la relación señal a ruido de 0 a  $60\text{dB}$ , de las cuales solo se tomó 3 datos que serán los puntos críticos en este caso serán con la relación SNR=15, SNR=55 y SNR=60 establecidos por los límites FEC.

La señal en tiempo fue afectada por la cantidad de SNR=15 que ingresó en el sistema como se puede observar en la Figura 4.14(a). El espectro de frecuencia mostró el desplazamiento de la señal hasta  $1\text{GHz}$ , el ancho de banda de la señal y la potencia de transmisión visualizada fue  $-10\text{dBm}$ , debido al atenuador usado, como se puede observar en la Figura 4.14(b).

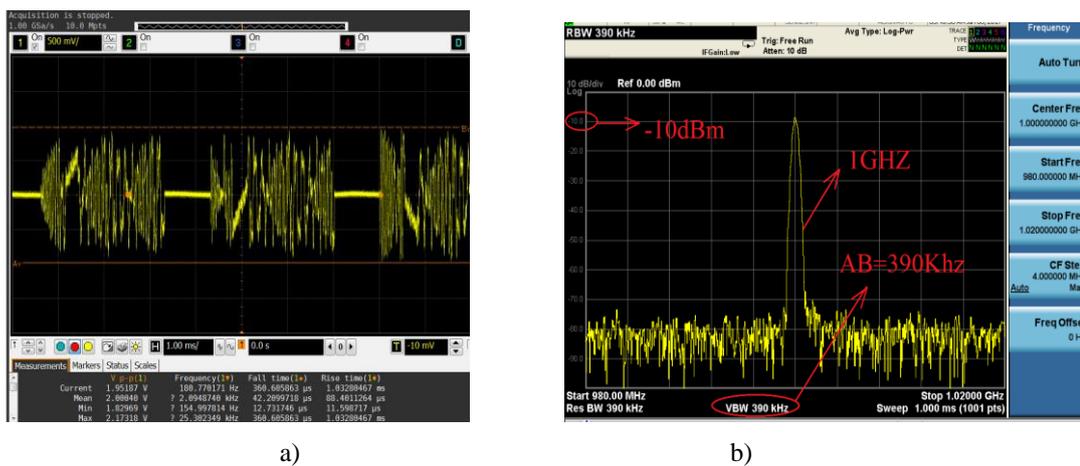
Figura 4.14 Señal QPSK TX SNR=15 ganancia k=31



a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

En esta etapa se encuentra la señal que recibe el receptor después de pasar por el canal. Se puede observar la señal en tiempo con SNR=15 en la Figura 4.15(a) y las características de la señal en frecuencia recuperada, como se observa en la Figura 4.15(b).

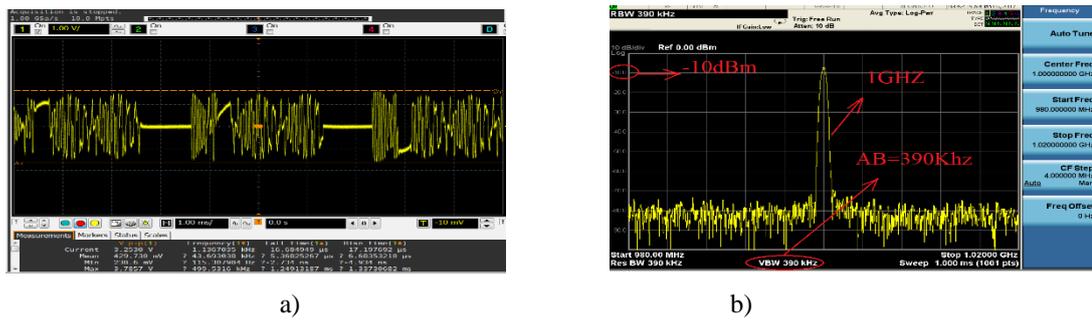
Figura 4.15 Señal QPSK snr=15 RX ganancia k=31



a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

La señal en tiempo fue afectada por la cantidad de SNR=55 que ingresó en el sistema como se puede observar en la Figura 4.16(a). El espectro de frecuencia mostró el desplazamiento de la señal hasta 1GHZ, el ancho de banda de la señal y la potencia de transmisión visualizada fue -10dBm, debido al atenuador usado, como se puede observar en la Figura 4.16(b).

Figura 4.16 Señal QPSK TX SNR=55 ganancia k=31



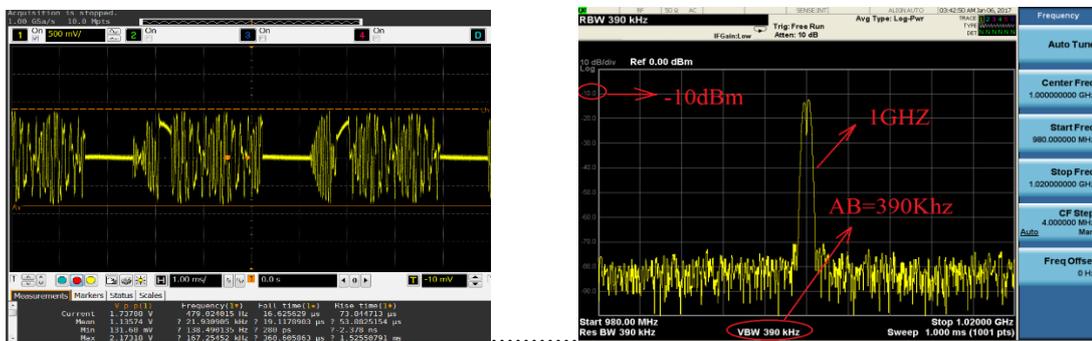
a)

b)

a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

En esta etapa se encuentra la señal que recibe el receptor después de pasar por el canal. Se puede observar la señal en tiempo con SNR=55 en la Figura 4.17(a) y las características de la señal en frecuencia recuperada, como se observa en la Figura 4.17(b).

Figura 4.17 Señal QPSK RX SNR=55 ganancia k=31



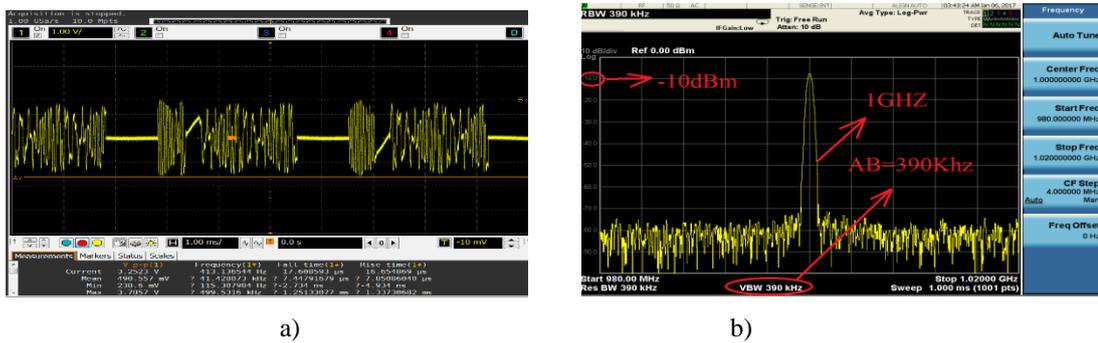
a)

b)

a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

a señal en tiempo fue afectada por la cantidad de SNR=60 que ingresó en el sistema como se puede observar en la Figura 4.18(a). El espectro de frecuencia mostró el desplazamiento de la señal hasta 1GHZ, el ancho de banda de la señal y la potencia de transmisión visualizada fue -10dBm, debido al atenuador usado, como se puede observar en la Figura 4.18(b).

Figura 4.18 Señal QPSK TX SNR=60 ganancia k=31



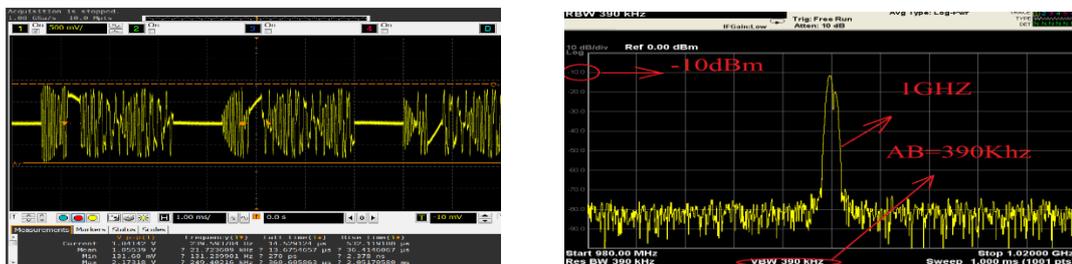
a)

b)

a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

En esta etapa se encuentra la señal que recibe el receptor después de pasar por el canal. Se puede observar la señal en tiempo con SNR=60 en la Figura 4.19(a) y las características de la señal en frecuencia recuperada, como se observa en la Figura 4.19(b).

Figura 4.19 Señal QPSK RX SNR=60 ganancia k=31



a)

b)

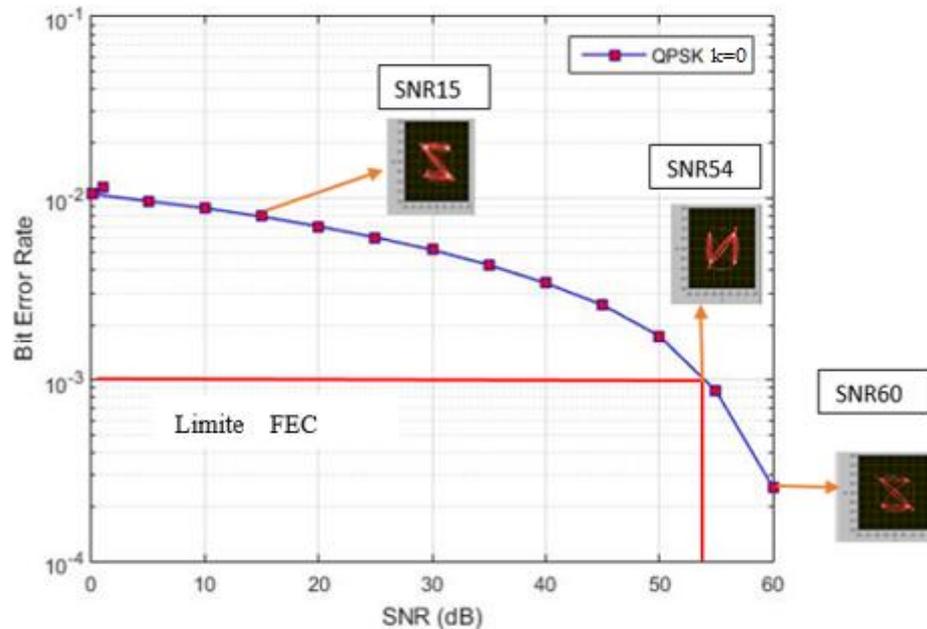
a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

## 4.2 Análisis de las pruebas con QPSK

Una vez realizada todas las pruebas se procedió analizar mediante las gráficas del BER, que no es más que comparar el número de bits erróneos en la transmisión sobre el número de bits enviados.

La señal QPSK mostró la mayor eficacia a partir de una relación señal a ruido de 54dB en adelante tomando de referencia una tasa de error de  $10^{-3}$  que fue el límite FEC para comprobar la eficiencia de la transmisión con  $k=0$ dB como se observa en la Figura 4.20.

Figura 4.20 Grafica del BER de la señal QPSK ganancia  $k=31$  dB



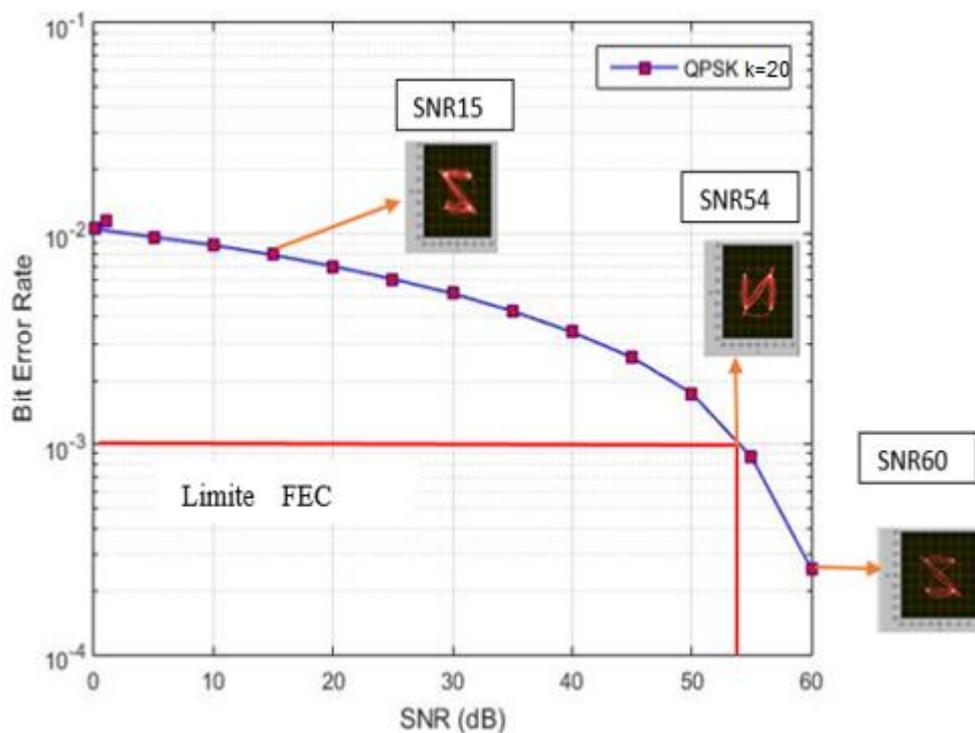
Muestras del BER

La señal QPSK mostro la mayor eficacia desde  $SNR=54$ dB en adelante tomando de referencia una tasa de error de  $10^{-3}$  que fue el límite FEC para comprobar la eficiencia de la transmisión con  $k=20$ dB, los últimos datos de esta prueba variaron levemente en el número de bits erróneos recibidos, mejorando la transmisión.

La conexión con los equipos de transmisión y recepción no perdieron sincronización para el envío de información.

El aumento de la potencia no provocó ningún tipo de interferencia en la señal PAM5 como se muestra en la Figura 4.21.

Figura 4.21 Grafica del BER de la señal QPSK ganancia k=20 dB



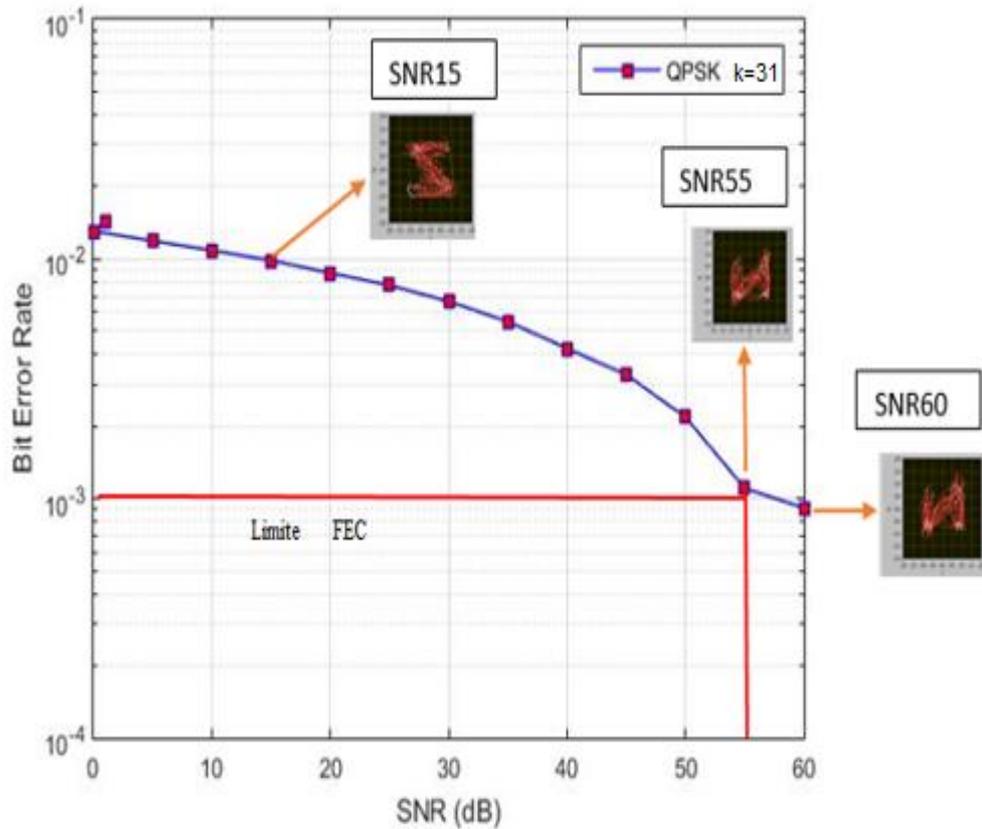
Muestras del BER

En la señal QPSK con una ganancia de k=31dB; se observó un aumento en los bits erróneos de toda la transmisión, el problema se debe a que la conexión entre el transmisor y el receptor no fue estable y por momentos se desconectaban, impidiendo una buena comunicación por ser la ganancia máxima con la que se logró transmitir.

La comunicación solo afecta a la señal QPSK ya que la señal PAM5 sigue transmitiendo sin ningún problema. La mayor eficacia de la señal fue desde

SNR=55dB en adelante tomando de referencia una tasa de error de  $10^{-3}$  que fue el límite FEC Como se puede observar en la Figura 4.22

Figura 4.22 Grafica del BER de la señal QPSK ganancia k=31 dB

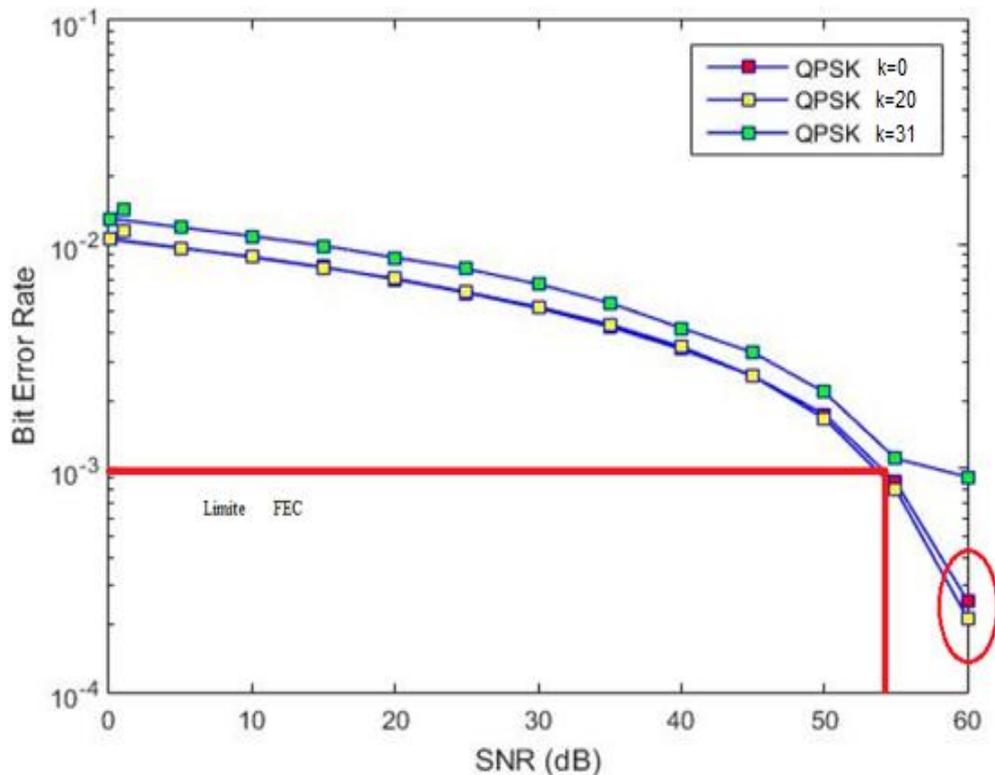


Muestras del BER

Se comparó las tres señales simultáneamente; el rendimiento de la señal con una ganancia de k=0dB y k=20dB son prácticamente iguales, las dos presentan una mayor efectividad con SNR=54, pero posee una ligera mejora con la ganancia de k=20dB, mientras que la señal con ganancia de k=31dB presenta un aumento en el error de los bits, por la falta de estabilidad en la conexión entre el transmisor y el receptor con una relación SNR=55, empeorando en 1 SNR la efectividad del sistema.

Mediante esta caracterización de la señal QPSK se definió que la señal con  $k=20$ dB tuvo la mejor eficacia en el sistema de transmisión como se puede observar en la Figura 4.23

Figura 4.23 Grafica del BER de la señal QPSK ganancia 31dB



Muestras del BER

### 4.3 Pruebas con la señal codificada PAM5

Las siguientes pruebas son realizadas con las 2 señales enviadas simultáneamente; la señal QPSK varió las ganancias de  $k=0$ ,  $k=20$ ,  $k=31$ dB, mientras que la señal PAM5 varió la relación señal a ruido de 0 a 60dB tomando 3 puntos crítico:  $SNR=15$ ,  $SNR=55$  y  $SNR=60$ , que fueron referencia del límite FEC.

Los datos que se utilizaron fueron: el ancho de banda 250Khz, ya que presentó mayor efectividad en los equipos con esta señal, se enviaron 5000 bits, que es el límite que

resiste el sistema, la frecuencia de muestreo fue 1.25 GHz, que es la frecuencia máxima que soporta el AWG. Los datos se muestran en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Parámetros Señal PAM5

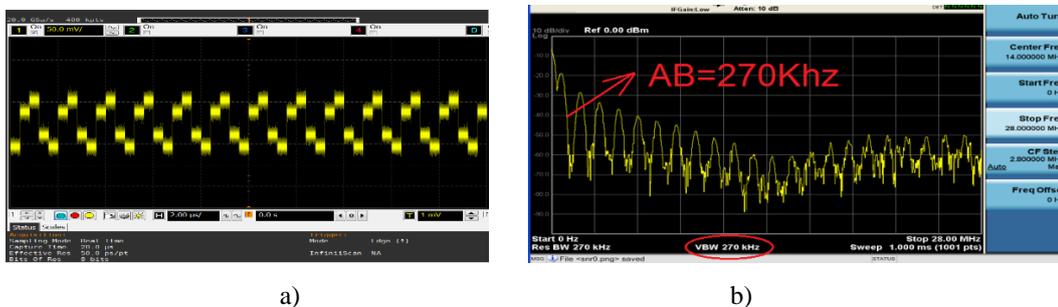
| PARÁMETROS               | PAM5     |
|--------------------------|----------|
| ANCHO DE BANDA           | 250KHz   |
| SEÑAL A RUIDO(SNR)       | 0-60     |
| VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN | 250Kbps  |
| BITS ENVIADOS            | 5000     |
| FRECUENCIA DE MUESTREO   | 1.25 GHz |

Tabla con los parámetros de transmisión de la señal PAM5

En las primeras pruebas realizadas para la señal PAM5 se varió la potencia de la señal QPSK, se envió una ganancia  $k=0\text{dB}$ ,  $k=20\text{dB}$ ,  $k=31\text{dB}$ , mientras se cambiaba el valor SNR de la señal PAM5. El cambio de las potencias en la señal QPSK no afectó la señal PAM5, por lo cual se tomó las muestras de las variaciones de señal a ruido.

La señal en tiempo fue afectada por la cantidad de  $\text{SNR}=15$  que ingresó en el sistema como se puede observar en la Figura 4.24(a). El espectro de frecuencia se muestra con un ancho de banda de 270Khz, como se observa en la Figura 4.24(b).

Figura 4.24 Señal PAM5 Tx SNR=15



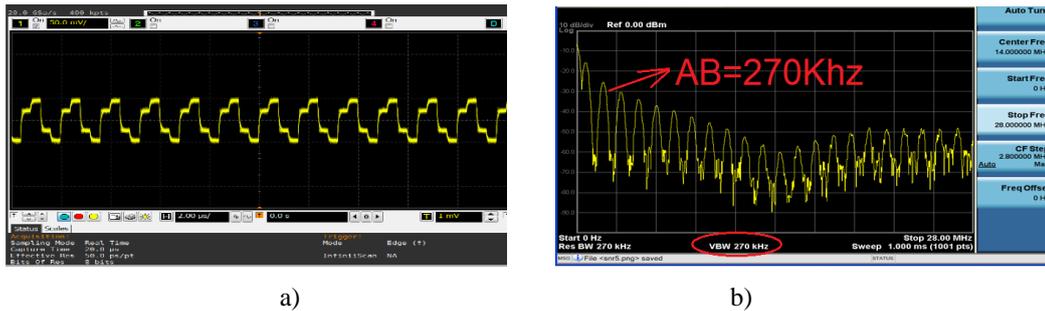
a)

b)

a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

En esta etapa se encuentra la señal que recibe el receptor después de pasar por el canal. Se puede observar la señal en tiempo con SNR=15 en la Figura 4.25(a) y las características de la señal en frecuencia recuperada, como se observa en la Figura 4.25(b).

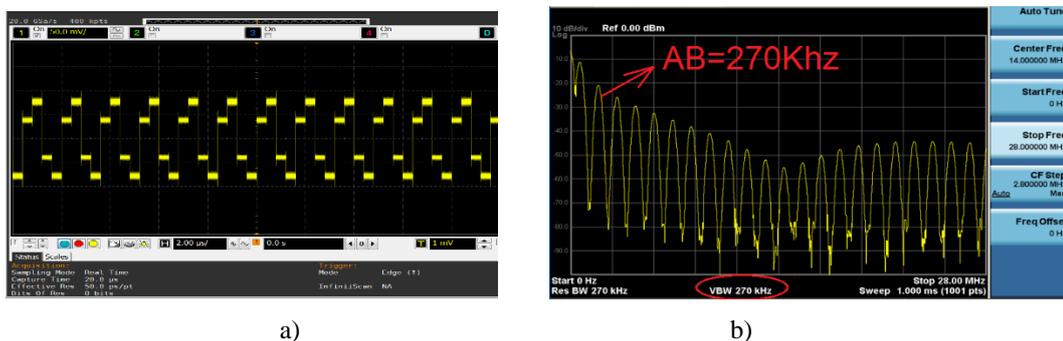
Figura 4.25 Señal PAM5 Rx SNR=15



a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

La señal en tiempo fue afectada por la cantidad de SNR=55 que ingresó en el sistema como se puede observar en la Figura 4.26(a). El espectro de frecuencia se muestra con un ancho de banda de 270Khz, como se observa en la Figura 4.26(b).

Figura 4.26 Señal PAM5 Tx SNR=55



a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

En esta etapa se encuentra la señal que recibe el receptor después de pasar por el canal. Se puede observar la señal en tiempo con  $SNR=55$  en la Figura 4.27(a) y las características de la señal en frecuencia recuperada, como se observa en la Figura 4.27(b).

Figura 4.27 Señal PAM5 Rx  $SNR=55$



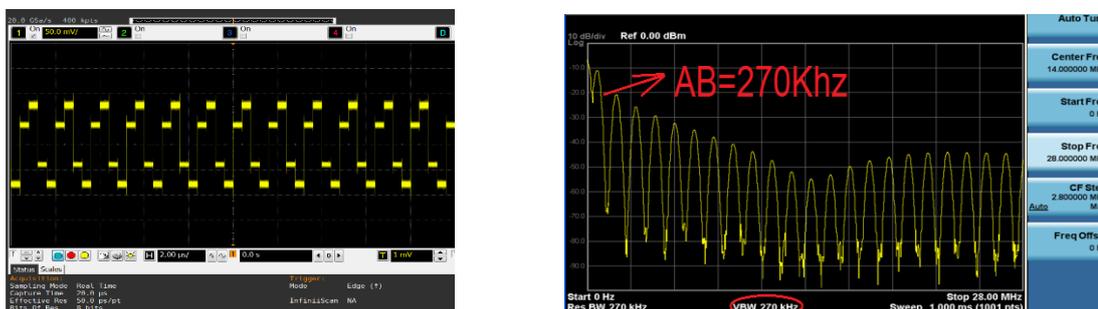
a)

b)

a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

La señal en tiempo fue afectada por la cantidad de  $SNR=60$  que ingresó en el sistema como se puede observar en la Figura 4.28(a) El espectro de frecuencia se muestra con un ancho de banda de 270Khz, como se observa en la Figura 4.28(b).

Figura 4.28 Señal PAM5 Tx  $SNR=60$



a)

b)

a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

En esta etapa se encuentra la señal que recibe el receptor después de pasar por el canal. Se puede observar la señal en tiempo con SNR=60 en la Figura 4.29(a) y las características de la señal en frecuencia recuperada, como se observa en la Figura 4.29(b).

Figura 4.29 Señal PAM5 Rx SNR=60

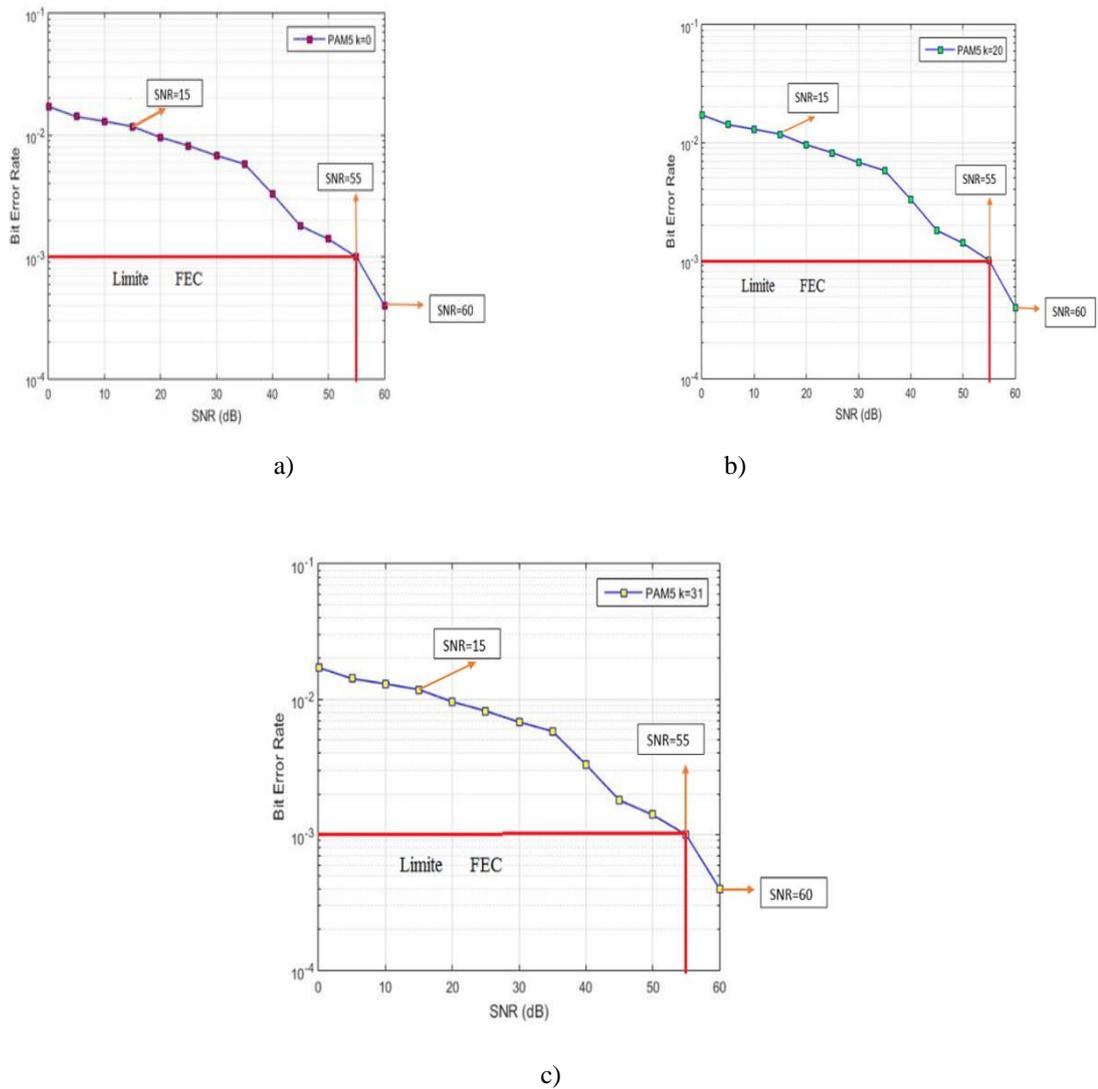


a) Señal en Tiempo b) Señal en Frecuencia

#### 4.4 Análisis de las pruebas con PAM5

En este análisis se observa el rendimiento de la señal PAM5 mediante su grafica del BER para las diferentes ganancias de  $k=0$ ,  $k=20$ ,  $k=31$  y la variación de la relación SNR=15, SNR=55, SNR=60 que fueron los limites FEC como se observa en la Figura 4.30.

Figura 4.30 Grafica del BER de la señal PAM5 las diferentes ganancias

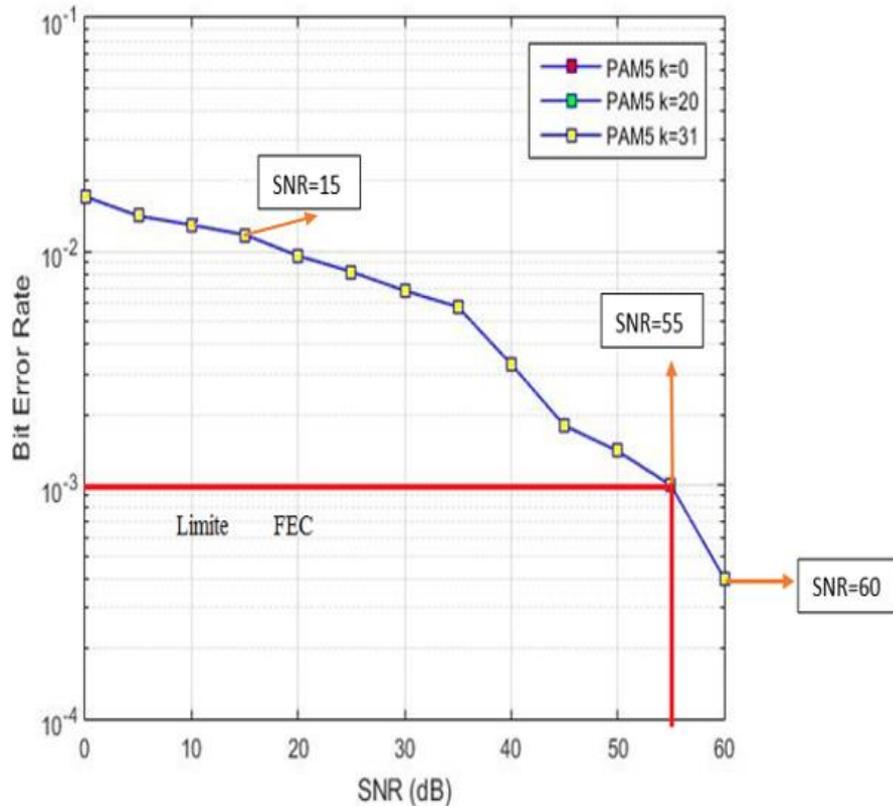


a) Señal PAM5 k=0dB b) Señal PAM5 k=20dB c) Señal PAM5 k=31dB

Las variaciones de la ganancia no provocaron ningún cambio en la transmisión de la señal PAM5.

La caracterización de la señal PAM5 mostró que no tiene ninguna relevancia, las ganancias que se puedan utilizar no afectaran al resultado final de la transmisión como se observa en la Figura 4.31.

Figura 4.31 Grafica del BER de la señal PAM5 con sus 3 ganancias simultáneamente



Señal PAM5 con k=0, k=20, k=31

## 4.5 Pruebas con la señal modulada QPSK y la señal codificada PAM5

Las siguientes pruebas son realizadas con las 2 señales enviadas simultáneamente y se modificaran la relación señal a ruido de 0 a 60 dB, con una ganancia de k=20 ya que mediante la caracterización de ambas señales, esta ganancia brinda mejor eficiencia en la señal QPSK y en la señal PAM5, además se utilizó las mismas frecuencias que en las anteriores pruebas, por que cumplen con la mejor eficacia en el sistema de transmisión; los bits máximos que se enviaran son: 8192 en QPSK y 5000 en PAM5 que son los límites para el correcto funcionamiento de la transmisión como se ven en la Tabla 4.3

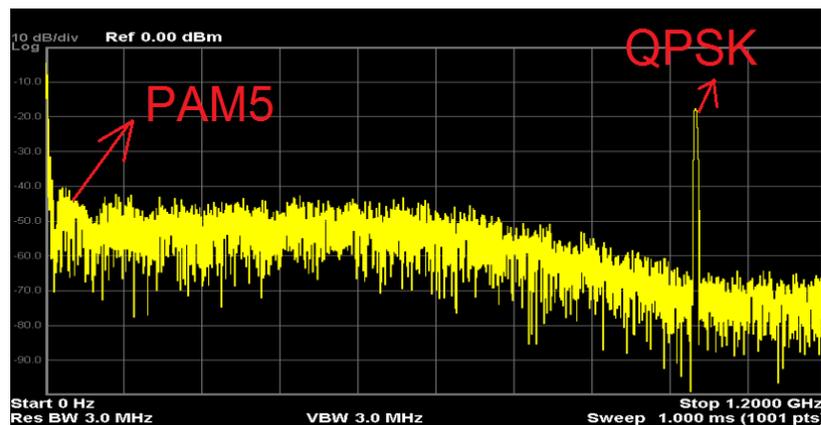
Tabla 4.3 Parámetros Señal QPSK y PAM5

| PARÁMETROS               | QPSK y PAM5     |
|--------------------------|-----------------|
| ANCHO DE BANDA           | 1GHZ-250KHz     |
| SEÑAL A RUIDO(SNR)       | 0-60            |
| VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN | 400Kbps-250Kbps |
| BITS ENVIADOS            | 8192-5000       |
| FRECUENCIA DE MUESTREO   | 1.25 GHz        |

Tabla con los parámetros de transmisión de la señal QPSK y PAM5

El espectro de frecuencia de las señales multiplexadas con SNR=15 se observa en la Figura 4.32.

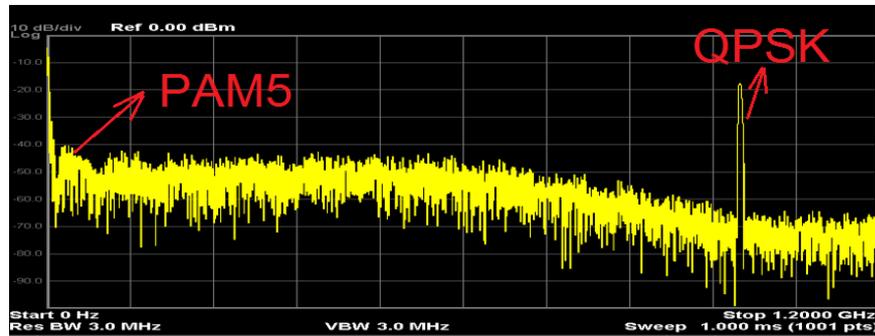
Figura 4.32 Espectro de las señales QPSK+PAM5 SNR=15



La Suma de las Señales en Frecuencia

El espectro de frecuencia de las señales multiplexadas con SNR=55 se observa en la Figura 4.33.

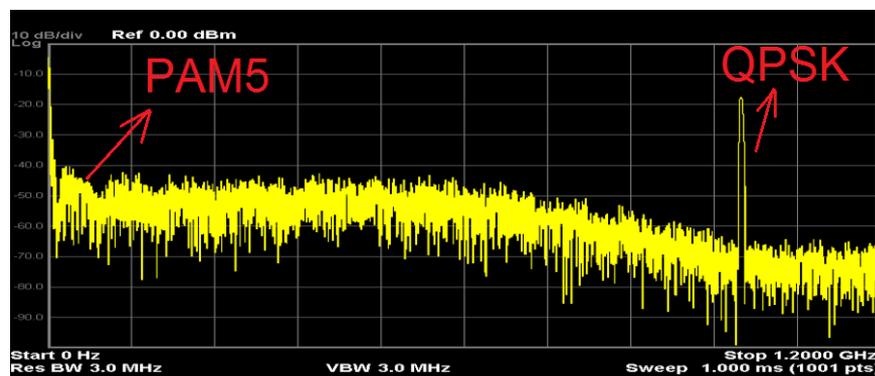
Figura 4.33 Espectro de las señales QPSK+PAM5 SNR=55



La Suma de las Señales en Frecuencia snr55

El espectro de frecuencia de las señales multiplexadas con SNR=60 se observa en la Figura 4.34.

Figura 4.34 Espectro de las señales QPSK+PAM5 SNR=60



La Suma de las Señales en Frecuencia

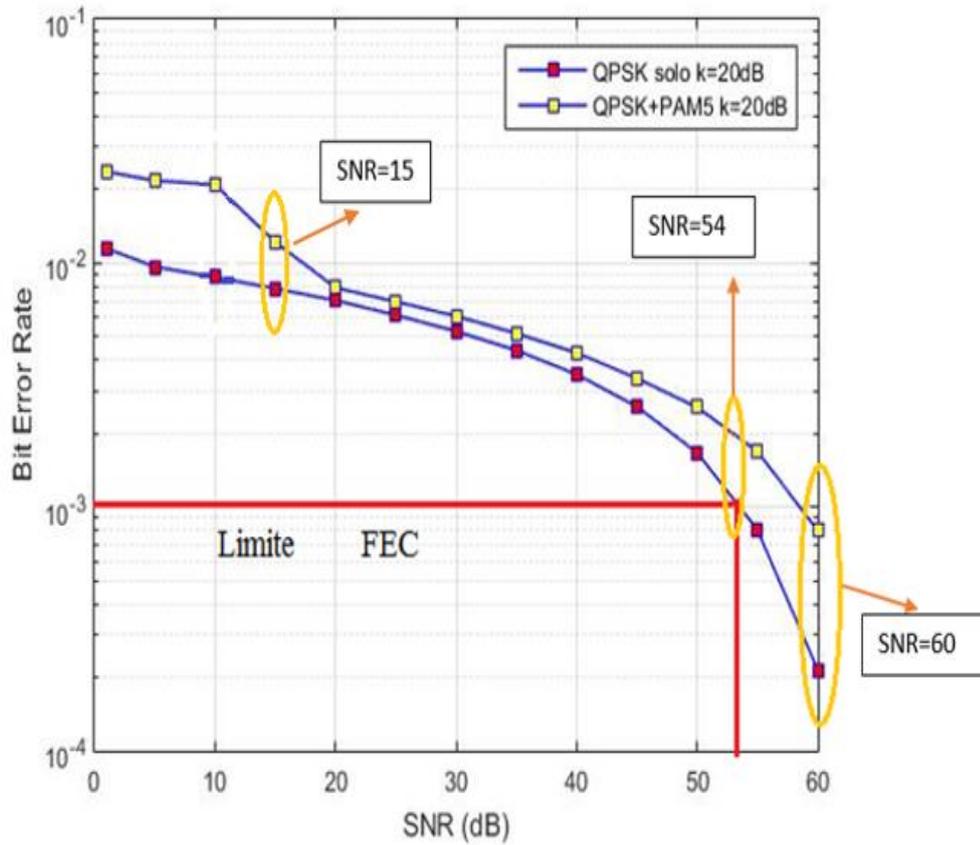
#### 4.6 Análisis de las pruebas QPSK y PAM5 juntas

En este análisis se observa el rendimiento de la señal QPSK+ PAM5 mediante su grafica del BER, para una ganancia  $k=20$ , la variación de SNR=15, SNR=54, SNR=58, que fueron los limites FEC.

La cantidad de bits erróneos en la señal QPSK aumento al incluir la señal PAM5.

En la Figura 4.35 se observa el rendimiento de la señal QPSK sola y la señal QPSK+PAM5 mediante su grafica del BER

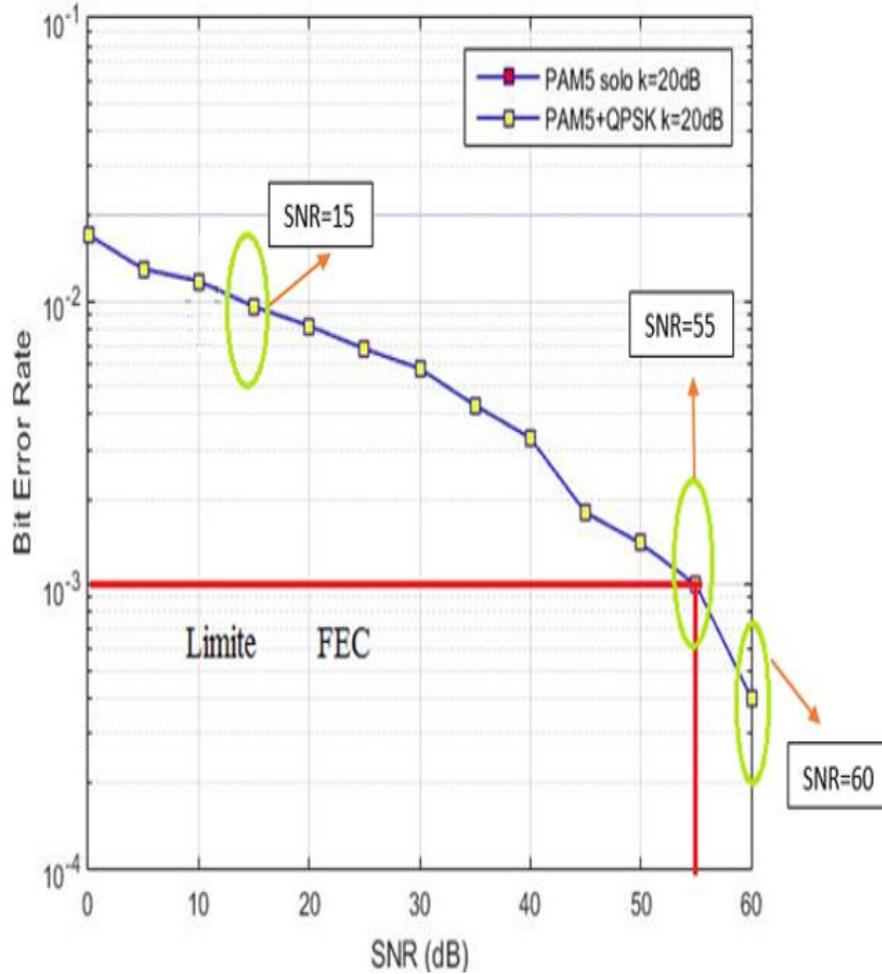
Figura 4.35 Comparación entre la señal QPSK sola y QPSK+PAM5



Muestras del BER en la Señal QPSK y QPSK+PAM5

En la Figura 4.36. se observa el rendimiento de la señal PAM5 sola y la señal PAM5+QPSK mediante su grafica del BER, la ganancia utilizada es de k=20 y los puntos tomados son snr=15, snr=55, snr=60.

Figura 4.36 Comparación entre la señal PAM5 sola y QPSK+PAM5



Muestras del BER en la Señal QPSK y QPSK+PAM5

Como resultado la señal PAM5 no sufre ninguna alteración al multiplexar la señal QPSK. Se recupera la información sin ningún problema, la conexión se mantiene constante para que el sistema se encuentre estable.

## CONCLUSIONES

- Se consiguió implementar un sistema de transmisión de señales digitales simultáneas mediante el USRP 2920 y el generador de señales arbitrarias, a través de la multiplexación en frecuencia de las señales QPSK y PAM5.
- La caracterización del USRP al transmitir la señal QPSK permitió determinar el valor  $k=20\text{dB}$  de ganancia de transmisión, en el cual el sistema presenta el mejor rendimiento; además, se observó que al transmitir solo la señal PAM5 el rendimiento del sistema no se ve afectada para distintos valores  $k$  de ganancia.
- La caracterización de la frecuencia de trabajo de la señal QPSK fue establecida a  $1\text{GHZ}$ , ya que con esta frecuencia el sistema presenta el mayor rendimiento, reduciendo el número de errores en la transmisión.
- La transmisión de la señal PAM5 es mucho más estable que la señal QPSK y se ve menos afectada por las variaciones de potencia y de la relación señal a ruido en todo el rango de valores experimentales realizado que van desde  $k=0$  hasta  $k=31$  y  $\text{SNR}=0$  hasta  $\text{SNR}=60$ , siendo los parámetros que determinan las variaciones en las señales transmitidas.
- El aumento de la relación señal a ruido en la señal PAM5 incrementa el nivel de error en la señal QPSK en un valor de alrededor de  $4\text{dB}$  para un BER de  $10^{-3}$  que representa el límite FEC establecido para el sistema de transmisión.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda variar la ganancia del transmisor entre los primeros veinte puntos para un óptimo desempeño del sistema
- Se recomienda revisar que los puertos Ethernet de las computadoras ya que deben ser Gigabit Ethernet para que sean compatibles con los USRP2920.
- Se recomienda utilizar la misma frecuencia de muestreo en todos los equipos para facilitar el proceso de reconstrucción de las señales.
- Utilizar un atenuador en el Oscilador de tiempo real para realizar pruebas con la máxima ganancia que transmite el USRP2920, ya que puede causar daños al equipo.
- Se recomienda realizar un análisis de la separación de frecuencias existentes entre QPKS y PAM5 para determinar una mejor frecuencia de portadora para QPSK y mejorar la eficiencia espectral en este sistema.

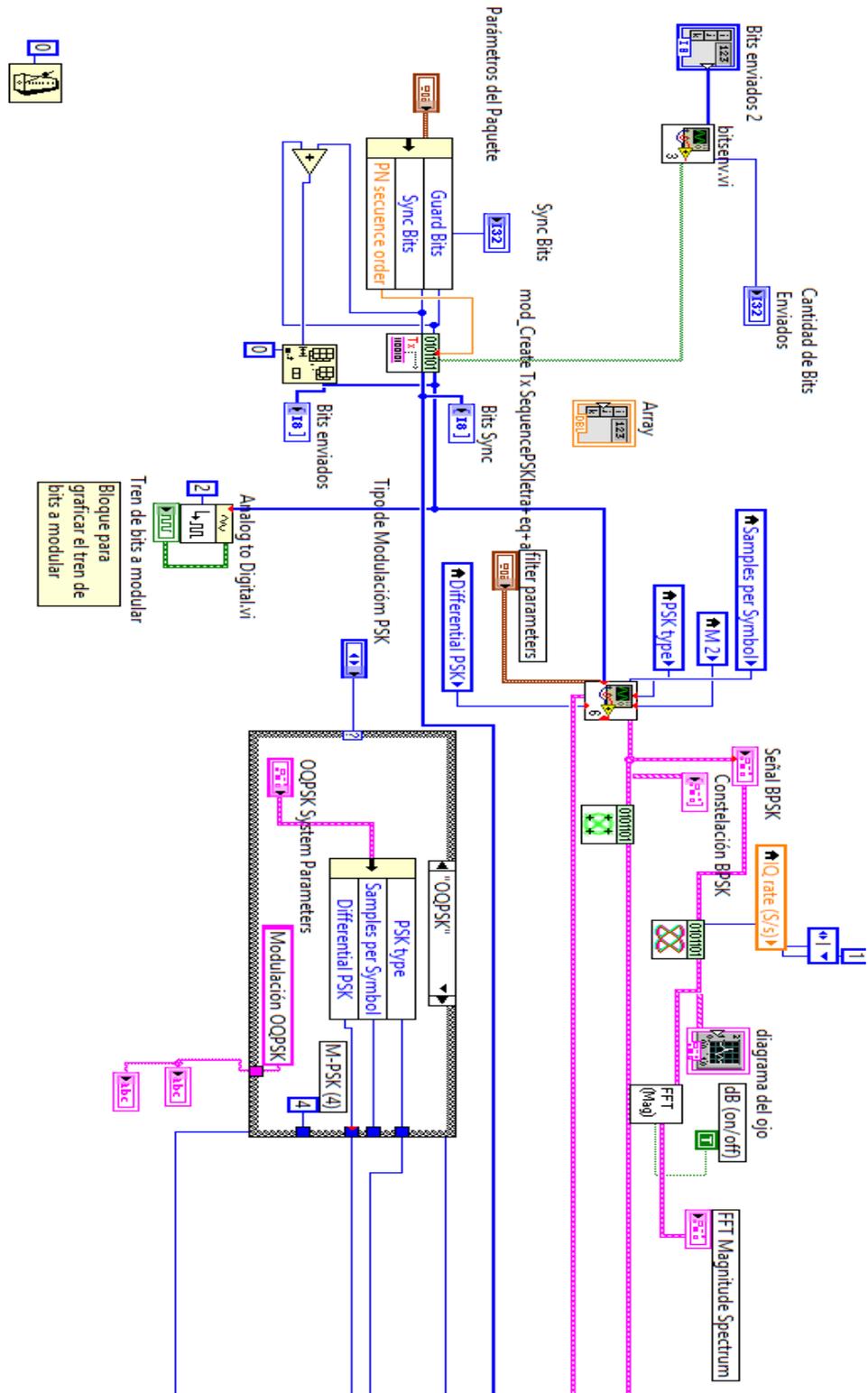
## REFERENCIAS

- Arbitrary Waveform Generators. (Agosto de 2014). *N8241A/N8242A Arbitrary Waveform Generators*.
- F. M. (1998). Gigabit Ethernet over Category 5. *SCOPE communications,inc*, 3.
- Infiniium 9000A Series. (Octubre de 2009). *Infiniium 9000A Series User's Guide*.
- International Journal of Science and Research. (5 de mayo de 2016). Energy detection Using NI USRP 2920. *International Journal of Science and Research*, 599.
- ITWissen. (Octubre de 2014). *Lexikon fur Informations technologie*.
- J. I., O. A., & T. C. (2014). *Forward Error Correction Based On Algebraic-Geometric Theory*. New York: Springer.
- KEYSIGHT. (2016). *KEYSIGHT TECHNOLOGIES*. Obtenido de Arbitrary Waveform Generator.
- LINKSYS. (s.f.). *LINKSYS support*.
- Luz, R. R. (2005). *Sistema de radiocomunicaciones*. Valencia, España: Paraninfo.
- Mini-Circuits. (s.f.). *Mini-Circuits*.
- Moussavi, M. (2012). *Data Communication and Networking*. DELMAR. Recuperado el 20 de septiembre de 2016
- National Instrument. (15 de diciembre de 2016). *National Instrument*. Obtenido de National Instrument.
- Nieto, Á. T., & Díaz, R. S. (2007). *Telecomunicaciones y telematica*. Colombia: Escuela colombiana de ingenieria.
- Olivas, E. S., Sober, M. M., Villora, J. F., & Valls, G. C. (2003). *Tratamiento Digital de Señales*. cantabria, España: pearson.
- Piñeiros, G. F. (2010). *Docplayer ESCUELA POLITÉCTICA DEL EJÉRCITO*. Obtenido de Docplayer ESCUELA POLITÉCTICA DEL EJÉRCITO.
- Pomona. (2016). *Pomona electronics*.
- Science, A. (Septiembre de 2015). Design and Implementation of QPSK Modulator by using MATLAB /VHDL. *International Journal of Electronics, Electrical and Computational System*.
- Vega, C. P. (2007). *Sistemas de comunicaciones*. Cantabria: Universidad de Cantabria.
- Zanuy, M. F. (2001). *Sistemas de comunicaciones*. Barcelona: Marcombo.

# ANEXOS

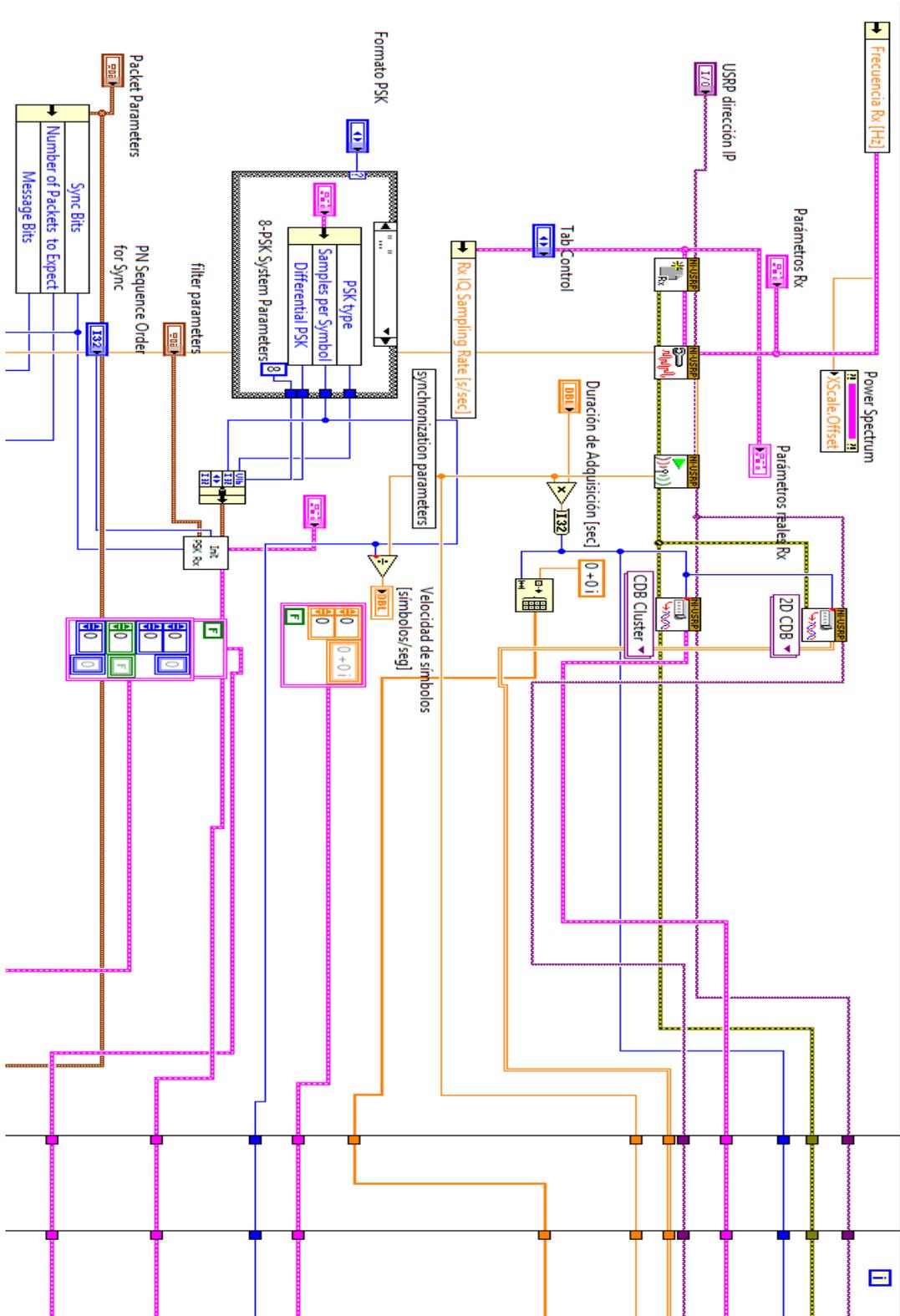
## ANEXO 1

Diagrama de la etapa de modulación de la señal QPSK en el software Labview



## ANEXO 2

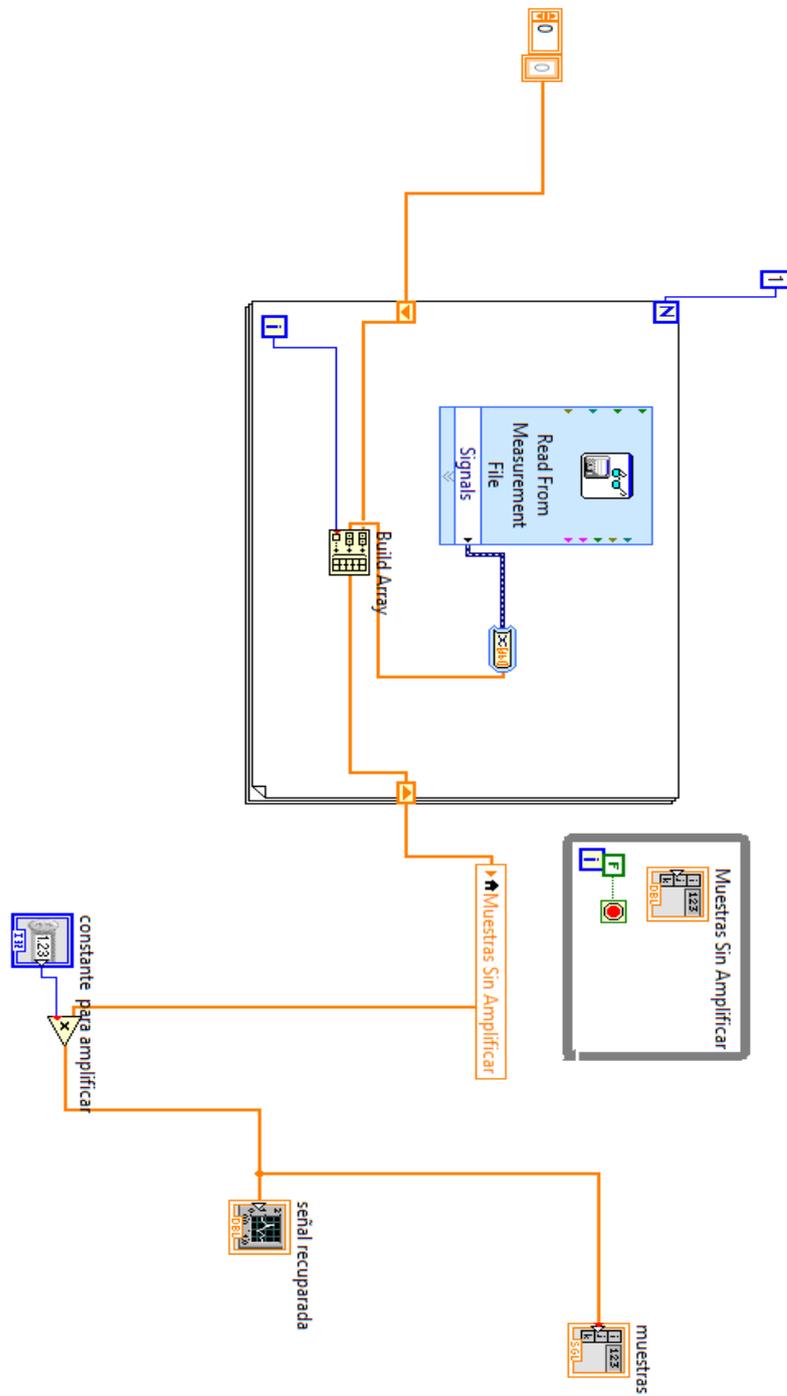
Diagrama de la etapa de demodulación de la señal QPSK en el software Labview





## ANEXO 4

Diagrama de la etapa de decodificación de la señal PAM5 en el software Labview



# ANEXO 5

## Datasheet del filtro pasa bajos utilizado

50Ω DC to 48 MHz

### Maximum Ratings

|                       |                |
|-----------------------|----------------|
| Operating Temperature | -55°C to 100°C |
| Storage Temperature   | -55°C to 100°C |
| RF Power Input        | 0.5W max.      |

### Features

- good attenuation rate, 1.35 typ. 20dB/3dB BW ratio
- rugged shielded case
- other SLP models available with wide selection of cut-off frequencies

### Applications

- lab use
- test equipment
- video equipment



CASE STYLE: FF99

| Connectors | Model     | Price       | Qty.  |
|------------|-----------|-------------|-------|
| SMA        | SLP-50(+) | \$34.95 ea. | (1-9) |

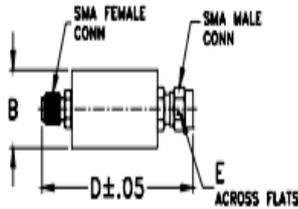
+ RoHS compliant in accordance with EU Directive (2002/95/EC)

The + Suffix identifies RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications.

### Low Pass Filter Electrical Specifications

| PASSBAND (MHz) | fco (MHz) Nom. | STOPBAND (MHz) |                | VSWR (:1)     |               |
|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
|                |                | (loss > 20 dB) | (loss > 40 dB) | Passband Typ. | Stopband Typ. |
| DC-48          | 55             | 70-90          | 90-200         | 1.7           | 18            |

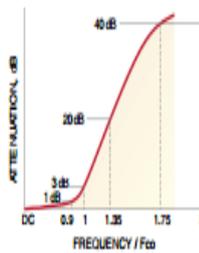
### Outline Drawing



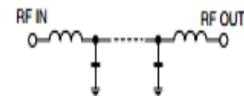
### Outline Dimensions (Inch/mm)

| B     | D     | E    | wt    |
|-------|-------|------|-------|
| .87   | 1.98  | .312 | grams |
| 17.02 | 50.29 | 7.92 | 42.0  |

### typical frequency response



### electrical schematic



### Typical Performance Data

| Frequency (MHz) | Insertion Loss (dB) |          | Return Loss (dB) | Frequency (MHz) | Group Delay (nsec) |
|-----------------|---------------------|----------|------------------|-----------------|--------------------|
|                 | $\bar{x}$           | $\sigma$ |                  |                 |                    |
| 1.00            | 0.05                | 0.0      | 41.2             | 1.00            | 16.62              |
| 15.50           | 0.23                | 0.1      | 22.7             | 8.50            | 16.73              |
| 23.00           | 0.37                | 0.1      | 15.7             | 15.50           | 17.87              |
| 30.50           | 0.43                | 0.1      | 15.4             | 23.00           | 17.45              |
| 38.00           | 0.40                | 0.1      | 25.1             | 30.50           | 18.79              |
| 45.00           | 0.65                | 0.1      | 14.8             | 38.00           | 21.89              |
| 48.00           | 0.70                | 0.1      | 17.1             | 45.00           | 25.87              |
| 52.00           | 1.46                | 0.2      | 9.9              | 48.00           | 30.56              |
| 55.00           | 4.65                | 0.3      | 3.0              | 49.50           | 33.92              |
| 57.00           | 7.96                | 0.4      | 1.5              | 52.00           | 42.09              |
| 61.00           | 14.84               | 0.5      | 0.5              | 53.50           | 42.83              |
| 65.00           | 20.96               | 6.0      | 0.3              | 55.00           | 38.77              |
| 67.00           | 23.73               | 0.6      | 0.2              | 57.00           | 29.20              |
| 69.00           | 26.33               | 0.7      | 0.2              | 59.00           | 22.03              |
| 70.00           | 27.59               | 0.7      | 0.2              | 61.00           | 16.66              |
| 72.50           | 30.55               | 0.8      | 0.2              | 63.00           | 14.04              |
| 80.00           | 38.67               | 1.2      | 0.1              | 65.00           | 11.17              |
| 82.50           | 41.07               | 1.4      | 0.1              | 67.00           | 10.62              |
| 85.00           | 43.54               | 1.6      | 0.1              | 69.00           | 8.06               |
| 87.50           | 45.78               | 1.8      | 0.1              | 70.00           | 7.57               |
| 90.00           | 47.97               | 2.2      | 0.1              | 72.50           | 7.70               |
| 100.00          | 56.91               | 4.1      | 0.1              | 75.00           | 7.14               |
| 133.50          | 68.38               | 5.2      | 0.1              | 80.00           | 6.57               |
| 150.00          | 67.23               | 4.2      | 0.1              | 81.00           | 4.93               |
| 163.00          | 68.62               | 4.6      | 0.1              | 82.50           | 3.61               |
| 170.50          | 69.35               | 3.3      | 0.1              | 85.00           | 0.84               |
| 175.00          | 69.36               | 5.8      | 0.1              | 87.50           | 1.23               |
| 185.50          | 77.07               | 8.8      | 0.1              | 90.00           | 0.73               |
| 192.50          | 69.51               | 5.2      | 0.1              | 100.00          | 0.70               |
| 200.00          | 71.27               | 9.7      | 0.1              | 125.00          | 0.69               |

INSERTION LOSS

RETURN LOSS

GROUP DELAY