

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA ELECTRÓNICA**

**TEMA:
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA BASADO EN DS-CDMA
UTILIZANDO USRPS 2920 COMO TRANSCEIVER.**

**AUTORA:
JENNIFFER PRISCILA CASTILLO REIMUNDO**

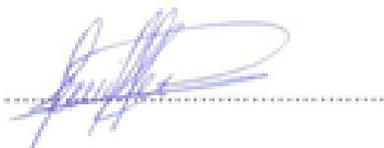
**TUTOR:
MILTON NAPOLEÓN TIPÁN SIMBAÑA**

Quito, Septiembre del 2016

Cesión de derechos de autor

Yo Jenniffer Priscila Castillo Reimundo, con documento de identificación N° 1718040338, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de grado/titulación intitulado: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA BASADO EN DS-CDMA UTILIZANDO USRPS 2920 COMO TRANCEIVER, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Electrónica, 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 autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Jenniffer Priscila Castillo Reimundo

Cédula: 1718040338

Fecha: Septiembre, 2016

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA BASADO EN DS-CDMA UTILIZANDO USRPS 2920 COMO TRANSCEIVER realizado por Jennifer Priscila Castillo Reimundo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Septiembre 2016



MILTON NAPOLEÓN TIPÁN SIMBAÑA

Cédula de identidad: 1713583126

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a Dios por darme siempre todo lo que he necesitado pero sobretodo por mis padres Juan y Lucia los cuales me han apoyado incondicionalmente en todas mis decisiones tanto personales como académicas, gracias mami gracias papi sin ustedes no lo hubiese logrado.

Si duda alguna este logro no sería lo mismo sin ti mi hermosa y amada hija Estefanny Gabriela ya que a través de este largo recorrido me has acompañado y apoyado en todo momento soportando mis largas noches y mis cortos días pero sin duda alguna llenando mi vida de felicidad en conjunto con mi amado sobrino Alejandro que en este año has tenido que pasar malas noches por causa mía.

A mis hermanos Paola, por apoyarme siempre y darme palabras de aliento cuando pensé que no podía más y Jhon por ayudarme a hacer algo que me parecía súper difícil y terminaba siendo algo tan obvio para ti. Los quiero mucho.

A mis amigos, que me han apoyado durante todo este tiempo pero en especial a Sebasthián por estar conmigo de manera incondicional y ayudarme a culminar esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por haberme acogido durante mis estudios de pregrado, y a todos aquellos docentes que imparten su conocimiento formando profesionales de bien.

De manera especial a mi tutor el Ing. Milton Tipán por guiarme durante todo este proceso pero sobre todo por su apoyo, paciencia y por el tiempo dedicado para que este proyecto pueda culminarse de manera satisfactoria.

INDICE

CAPÍTULO 1	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Técnicas de Acceso Múltiple.	1
1.2 Tecnología CDMA (CodeDivisionMultipleAccess).....	1
1.3 Espectro Ensanchado.....	2
1.4 Modulaciones digitales en DS-CDMA.....	5
1.4.1 ModulaciónQPSK	7
1.4.2 Modulación 8-PSK.....	8
1.5 Secuencias de Ensanchamiento	9
1.6 Usrp (Universal Software Radio Peripheral).....	11
CAPÍTULO 2	16
DISEÑO DEL SISTEMA	16
2.1 Transmisor.....	16
2.2 Receptor.....	24
CAPÍTULO 3	29
Pruebas y análisis de resultados	29
3.1 Configuración del transmisor	29
3.2 Configuración del Receptor.....	32
3.3 Funcionamiento del programa.....	34
3.4 Caracterización del USRP	35
3.5 Variación de tipo de modulación.....	37
3.6 Velocidad de modulación	38
3.7 Variación de distancia	40
3.8 Variación de chip rate.....	41
3.9 Variación de potencia de transmisión	44

3.10 Variación de número de usuarios	48
CAPÍTULO 4	52
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES	53
BIBLIOGRAFÍA.....	54
ANEXOS	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ejemplo de multiacceso CDMA	2
Figura 2 Principio Espectro Extendido	3
Figura 3 Sistema Digital con Espectro Ensanchado	3
Figura 4 Sistema SS mediante Secuencia Directa.....	4
Figura 5 Espectro Ensanchado por Secuencia Directa.....	5
Figura 6 Diagrama de bloques del modulador PSK.....	5
Figura 7 Señales de modulación PSK: (a) Señal binaria de información;(b) Señal modulada PSK.....	6
Figura 8 Diagrama de constelación BPSK.....	6
Figura 9 Diagrama de constelación QPSK.....	7
Figura 10 Diagrama de constelación 8-PSK	8
Figura 11 Registro de desplazamiento	10
Figura 12 Usrp 2920	12
Figura 13 Interfaces del USRP Ni 2920.....	12
Figura 14 IQ rate	13
Figura 15 Frecuencia de portadora.....	13
Figura 16 Ganancia en el USRP.....	14
Figura 17 Configuración de la dirección IP	14
Figura 18 Diseño del sistema DS-CDMA.....	16
Figura 19 Generador de números aleatorios	17
Figura 20 Escenario de etapas.....	18
Figura 21 Código PN	18
Figura 22 Código CDMA.....	19
Figura 23 Variación del espectro de potencia	20
Figura 24 Señal a enviar.....	21
Figura 25 Jerarquía del subVi “SubGeneratePackets”.....	21
Figura 26 Variables de entrada y salida del subVi. “SubGeneratePackets”	22
Figura 27 Longitud de cola y Gráfica de diagrama de constelación.....	23
Figura 28 Gráfica de espectro de potencia.....	24
Figura 29 SubVi InitPskRx	24
Figura 30 SubVi sub_Resamp_Demod_Shell.vi	25
Figura 31 Gráfica de diagrama de constelación.....	26

Figura32 Variables del subVi sub_Check_Rx_Packet_Validity.vi	26
Figura33 Variables del subVisub_Reconstruct	27
Figura 34 Gráfica del espectro de potencia receptor.....	27
Figura 35 Decodificador CDMA	28
Figura 36Cálculo del BER	28
Figura 37 Configuración del transmisor Parámetros TX.....	29
Figura 38 Configuración Especificar Modulación.....	30
Figura39 Parámetros del paquete	30
Figura 40Configuración Especificar Paquete.....	31
Figura 41 Configuración del Receptor Parámetros RX	32
Figura 42 Configuración Especificar Modulación.....	33
Figura 43 Configuración Especificar Paquete.....	33
Figura 44 Transmisor funcionando	34
Figura 45 Receptor funcionando	34
Figura 46 Valor del BER.....	35
Figura 47 Caracterización del USRP	36
Figura 48 Potencia de transmisión	36
Figura 49Espectro de frecuencia a) BPSK; b) QPSK; c) 8-PSK.....	37
Figura 50 Gráfica de BER para distintos tipos de modulación.....	38
Figura 51Espectro de frecuencia en variación de velocidad de modulación	39
Figura 52Gráfica del BER a distintas velocidades de modulación	40
Figura 53BER QPSK en variación de distancia.....	41
Figura 54 Espectro de frecuencia con variación de chip.....	42
Figura 55 Espectro de frecuencia con 2chips.....	42
Figura 56 Gráfica del BER BPSK a 2, 3,4 chip rate	43
Figura 57 Gráfica del BER QPSK a 2, 3, 4 chip rate.....	44
Figura 58 Espectro de potencia a -32dBm de transmisión.....	45
Figura 59Espectro de potencia a -2dBm de transmisión.....	45
Figura 60 Gráfica del BER BPSK en variación de potencia.....	46
Figura 61Gráfica del BER QPSK en variación de potencia	47
Figura 62 Gráfica del BER 8-PSK en variación de potencia.....	48
Figura 63Gráfica del BER con variación en número de transmisores	49
Figura 64 Gráfica del BER con variación en número de transmisores	50
Figura 65Comparación del sistema DS-CDMA	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tabla de verdad de la modulación QPSK	7
Tabla 2	Tabla de verdad 8-PSK	8
Tabla 3	Combinaciones de retroalimentaciones	11
Tabla 4	Parámetros del paquete	31

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.....	6
Ecuación 2.....	6
Ecuación 3.....	8
Ecuación 4.....	10
Ecuación 5.....	11
Ecuación 6.....	11
Ecuación 7.....	17
Ecuación 8.....	17
Ecuación 9.....	17
Ecuación 10.....	17
Ecuación 11.....	17
Ecuación 12.....	17

RESUMEN

El incremento de los dispositivos móviles ha generado la necesidad de implementar en hardware nuevas técnicas de modulación digital que permitan no solo incrementar la capacidad de los sistemas inalámbricos, si no hacer que estos sean flexibles. El presente trabajo tiene como finalidad el diseño y la implementación de un sistema DS-CDMA con USRP 2920 como transceiver, utilizando modulaciones digitales de tipo PSK como BPSK, QPSK, y 8-PSK, se diseñó el sistema de comunicación digital de hasta 16 usuarios de los cuales se implementaron 4, comprende de varios transmisores y receptores que pueden ser elegidos dependiendo de una secuencia pseudoruido (PseudoNoise, PN), el cual es asignado de acuerdo al número de usuarios, la cantidad de usuarios determina el número de USRPs a utilizar, se presenta la caracterización de la potencia de transmisión del USRP, la configuración tanto de transmisores como de receptores, se analiza el desempeño del sistema para las diferentes modulaciones digitales, además la variación del desempeño en canales con un incremento de ruido significativo para diferentes escenarios como: velocidad de modulación, distancias, variación de potencia de transmisión, chips de secuencias de pseudoruido, variación de número de usuarios, finalmente para comprobar la calidad del sistema se muestra la comparación del sistema DS-CDMA vs un sistema sin DS-CDMA. Para cada una de las configuraciones experimentales se obtiene como resultados gráficos de diagramas de constelación y espectros de frecuencias tanto en el transmisor como en el receptor además se muestra gráficas de BER.

ABSTRACT

The rise of mobile devices has created the need to implement in hardware new digital modulation techniques that allow not only increase the capacity of wireless systems, it also needs to make these more flexible. This paper aims to design and implementation of a DS-CDMA system with USRP 2920 as transceiver using digital modulations PSK such as BPSK, QPSK, and 8-PSK, the digital communication system is designed for 16 users of which were implemented 4 comprises various transmitters and receivers that can be chosen depending on a pseudonoise sequence (pseudonoise PN), which is assigned according to the number of users, the number of users determines the number of USRPs to use , the proyect shows the characterization of the transmission power of USRP , the configuration of both transmitters and receivers, the system performance for different digital modulations is analyzed also the performance variation in channels with increased significant noise for different scenarios as modulation speed, distances, transmission power variation, chips pseudonoise sequence, varying number of users, finally to check the quality of the system it compares the DS-CDMA system vs a system without DS_CDMA . For each experimental configurations it is obtained as graphical results of constellation diagrams and the frequency spectrum in the transmitter and the receiver finally it shown graphs of BER.

INTRODUCCIÓN

Las nuevas tecnologías emergentes inalámbricas tales como BLUETOOTH, GPRS y por supuesto UMTS permitirán en poco tiempo satisfacer las necesidades y demandas de diferentes grupos de usuarios, debido al incremento de servicios en tiempo real como video, voz y datos. (Hassan, sf).

Con el avance de la tecnología también se ha incrementado el número de usuarios los cuales cada vez demandan mejores servicios, a precios accesibles, así también, las redes de comunicación son de alto costo y su instalación puede llevar mucho tiempo debido a los equipos que se debe utilizar (moduladores, amplificadores, filtros, entre otros), el tiempo y costo de mantenimiento de estos equipos es elevado y de llegar a fallar alguno de ellos es necesario desconectar el sistema para poder dar solución causando así inconvenientes a los usuarios.

El uso de software definido por radio SDR ha permitido la reducción de la electrónica en los transmisores y receptores, trasladando tecnología de hardware a software obteniendo así mayor flexibilidad en el sistema, facilitando además la capacidad de una rápida reconfiguración del enlace y de sus parámetros tales como frecuencia, ancho de banda, modulaciones y potencia.(Montero, sf)

El incremento de usuarios que se conecta de manera ubicua ha hecho que se implementen en los sistemas de transmisión digital técnicas de acceso múltiple como CDMA (CodeDivisionMultipleAccess) que es una técnica de modulación digital que permite incrementar el número de usuarios, ya que permite ocupar todo el ancho de banda disponible todo el tiempo gracias a un código asignado a cada usuario. (Ayala)

En el capítulo uno se da una breve introducción a los conceptos básicos utilizados para la realización de este proyecto técnico, tales como técnicas de modulación, espectro expandido y Software Defined Radio, entre otros.

En el capítulo dos se describe el diseño del sistema tanto del transmisor como del receptor, la generación de códigos de pseudoruido y el decodificador CDMA.

En el capítulo tres, se presentan los resultados de las pruebas experimentales realizadas en el laboratorio, y su análisis. Finalmente, en el capítulo cuatro se exponen las conclusiones del presente trabajo.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Técnicas de Acceso Múltiple.

Las técnicas de acceso múltiple son uno de los puntos más importantes en un sistema de comunicaciones, estas técnicas se utilizan para que muchos usuarios puedan transmitir su información a través de un canal de comunicación, es decir muchos usuarios comparten un mismo canal.

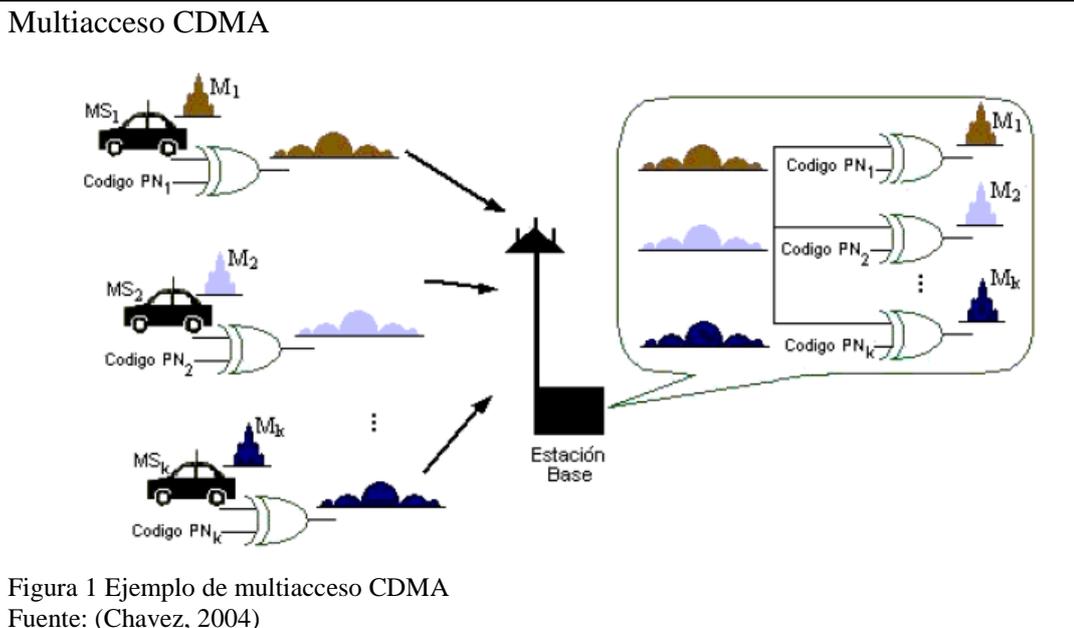
Las principales técnicas de acceso múltiple son:

- FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia).
- TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo).
- CDMA (Acceso Múltiple por División de Códigos).
- OFDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales).

Estas técnicas permiten acceder al canal de comunicaciones ya sea por frecuencia, tiempo, código o frecuencias ortogonales, siendo CDMA una de las más promisorias que permite el incremento del número de usuarios y usar el ancho de banda todo el tiempo.(Chavez, 2004)

1.2 Tecnología CDMA (CodeDivisionMultipleAccess)

En la figura 1 se muestra como en CDMA los usuarios comparten la misma frecuencia durante todo el tiempo requerido, sin embargo a cada usuario se le asigna un código digital que es una secuencia de pseudoruido, conocida únicamente por el transmisor y el receptor haciendo así la comunicación más segura para posibles intrusos. (Chavez, 2004)



Los beneficios que se obtienen al utilizar CDMA son una mayor capacidad ya que permite que un mayor número de usuarios compartan el mismo canal, seguridad y privacidad, gracias a el código de pseudoruido la potencia de la señal está a nivel del ruido y es muy difícil de interferir además tiene mayor cobertura al ser posible un control de potencia. La desventaja que presenta CDMA es que requiere mayor ancho de banda y secuencias de pseudoruido cada vez más grandes a medida que aumenta el número de usuarios del sistema.(Chavez, 2004)

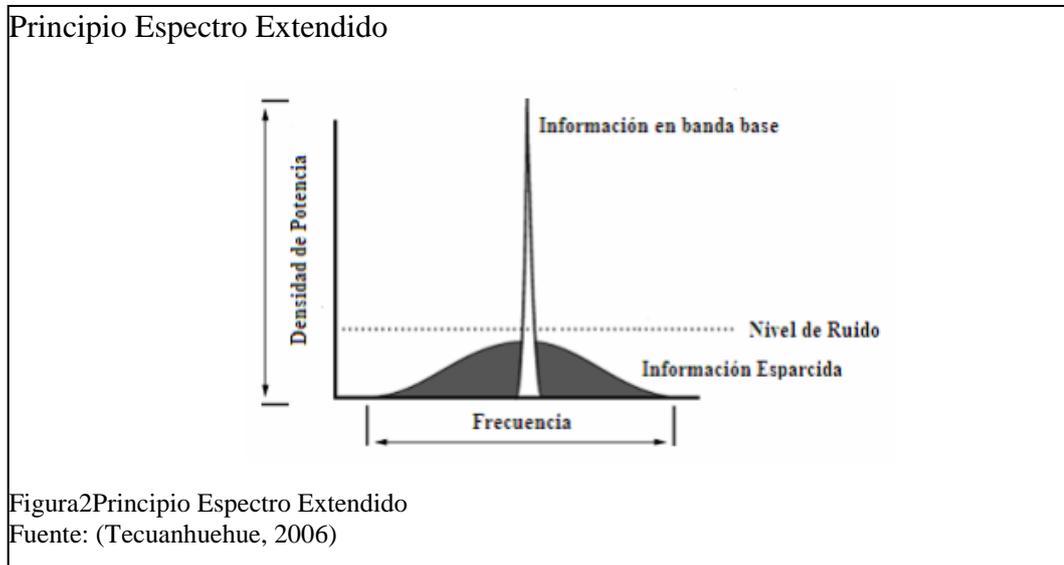
1.3 Espectro Ensanchado

La tecnología de espectro ensanchado nos ayuda a maximizar el uso del ancho de banda del canal de comunicación con esto se permite transmitir múltiples señales con menor interferencia.

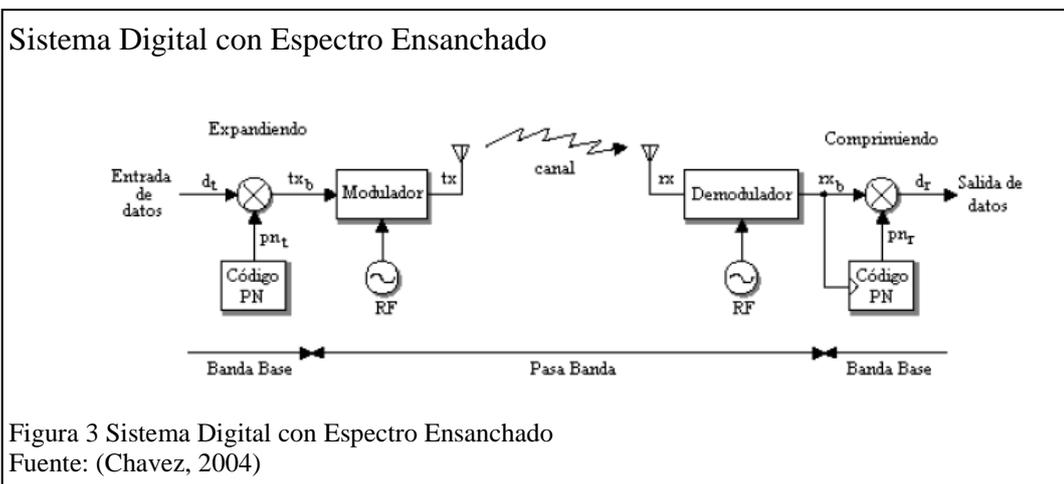
Existen varias ventajas al utilizar el espectro ensanchado entre las cuales se puede destacar que las señales llegan a ser poco detectables y su potencia de interferencia en otros equipos es muy pequeña, tiene alta resistencia frente a interferencias externas de otras redes radio, la privacidad, debida a la utilización de los códigos de expansión implica que pueda extraerse la información transmitida, a menos que se conozca el código de expansión.

El esparcimiento de espectro es posible gracias a un código pseudoaleatorio que tiene una velocidad mayor a la velocidad de la señal a transmitir, de esta manera es posible esparcir el ancho de banda, evitando así la interferencia causada por ruido. La figura

2 muestra el principio de espectro extendido en donde se puede apreciar la información en banda base y la información esparcida, la cual alcanza un valor menor al nivel de ruido. (Tecuanhuehue, 2006)



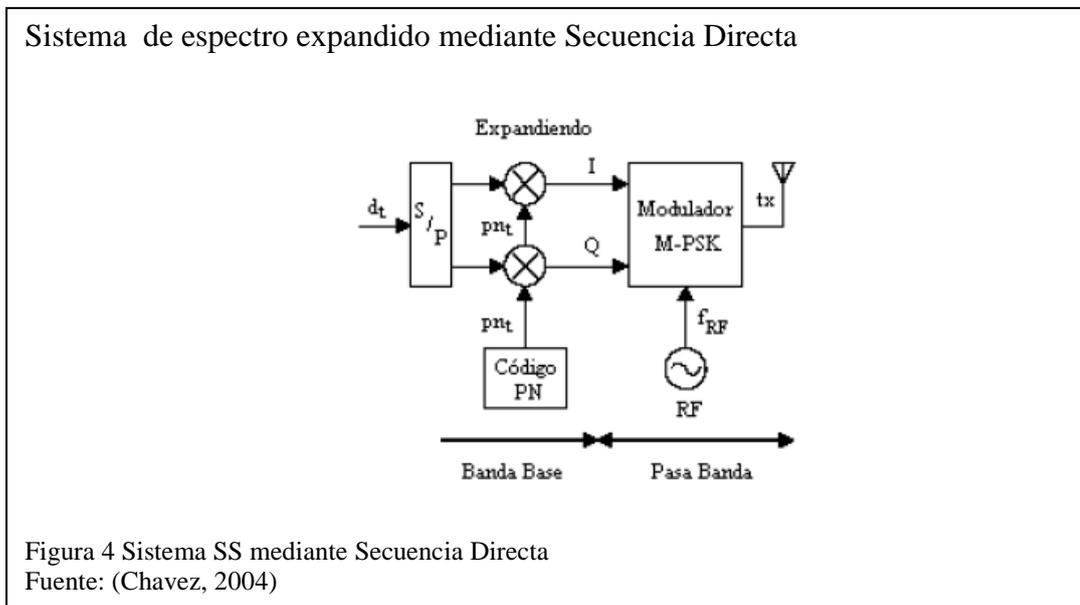
Para recuperar la información del espectro expandido el receptor debe contar con la información del código pseudoaleatorio utilizado de esta manera es capaz de recuperar la señal original. En la figura 3 se muestra el transmisor y el receptor en un sistema digital con espectro ensanchado.



Las técnicas de modulación de espectro extendido fueron creadas para uso militar y se puede conseguir una señal ensanchada a partir de técnicas como son DSSS: el cual expande el espectro por Secuencia Directa, FHSS que expande el espectro por Salto de Frecuencia, THSS expande el espectro por Salto de Tiempo y HSS que es Espectro Extendido Híbrido.

Para realizar espectro extendido por secuencia directa es necesario multiplicar la señal por un código de spreading el cual ayudara a ensanchar la señal de acuerdo al número de bits utilizados.

El código de spreading, también llamado código de pseudoruido es independiente de la señal de información y tiene una velocidad mayor. En la figura 4 se muestra un diagrama de bloques de un sistema de espectro extendido mediante secuencia directa, se puede apreciar la conformación desde banda base hacia banda pasante con la implementación de un modulador PSK.(Chavez, 2004)



En la figura 5 se puede apreciar el proceso para ensanchar la señal, cada bit de datos de entrada representa 4 bits en la secuencia PN con lo cual se logra expandir la señal obteniendo así la señal transmitida a una banda de frecuencia mayor.

Ejemplo de Espectro Ensanchado por Secuencia Directa

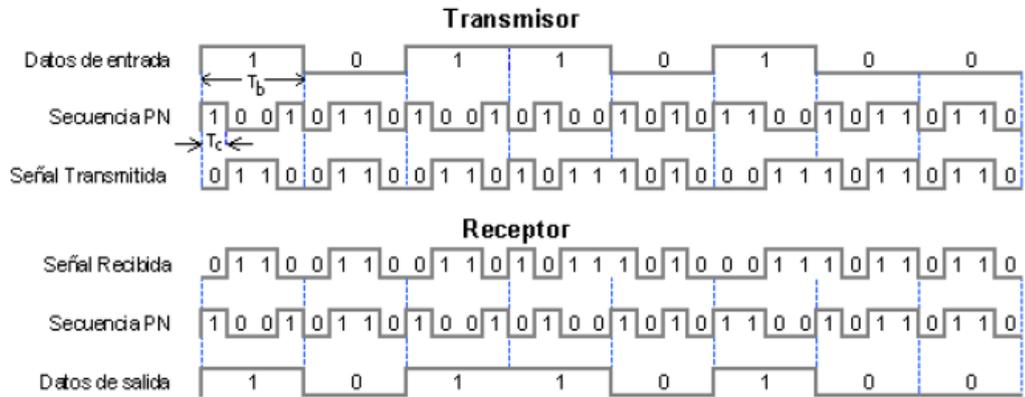


Figura.5 Espectro Ensanchado por Secuencia Directa
Fuente: (Chavez, 2004)

1.4 Modulaciones digitales en DS-CDMA

Las técnicas de modulación usadas en DSSS son de la forma PhaseShiftKeying (PSK). PSK o también llamada modulación por desplazamiento binario de fase es una técnica de modulación digital en la que la información se va a modular en fase, es decir, dependiendo de los valores de la entrada digital, la señal va a tener una u otra fase de salida.

Si se considera una señal binaria que contiene la información $f(t)$ a transmitir, con unos niveles de tensión de ± 1 Volt, y de anchura de bit T_b y una señal portadora de alta frecuencia $\cos W_c t$. La figura 6 muestra el diagrama de bloques de un modulador PSK. (Sánchez, 2014)

Diagrama de bloques del modulador PSK

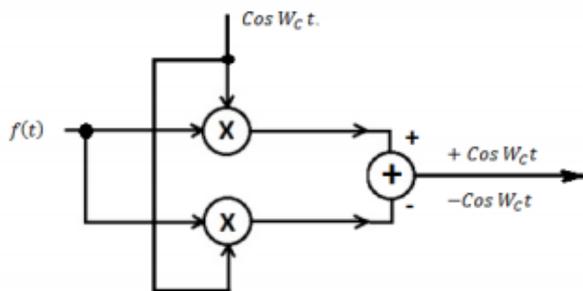


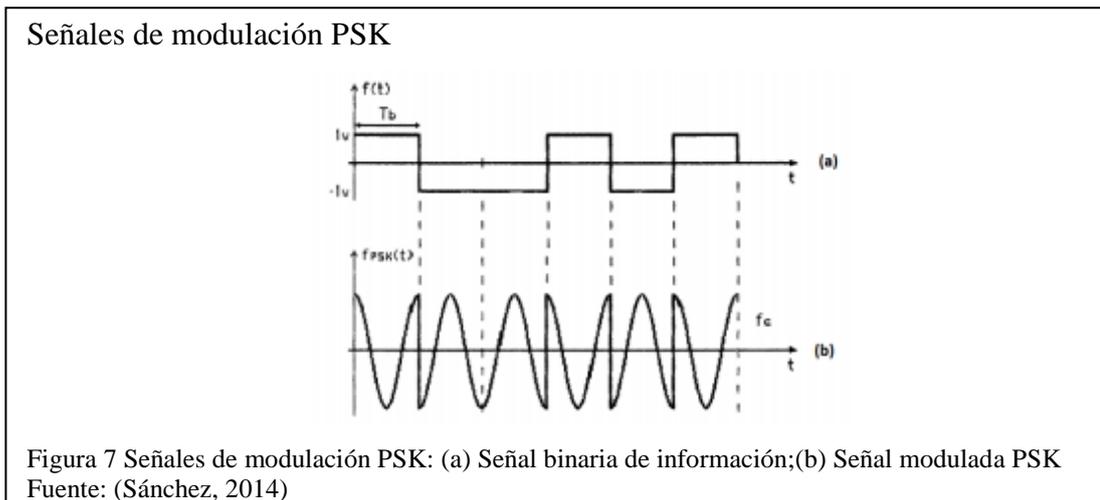
Figura 6 Diagrama de bloques del modulador PSK
Fuente:(Sánchez, 2014)

La función de la señal modulada PSK se define como:

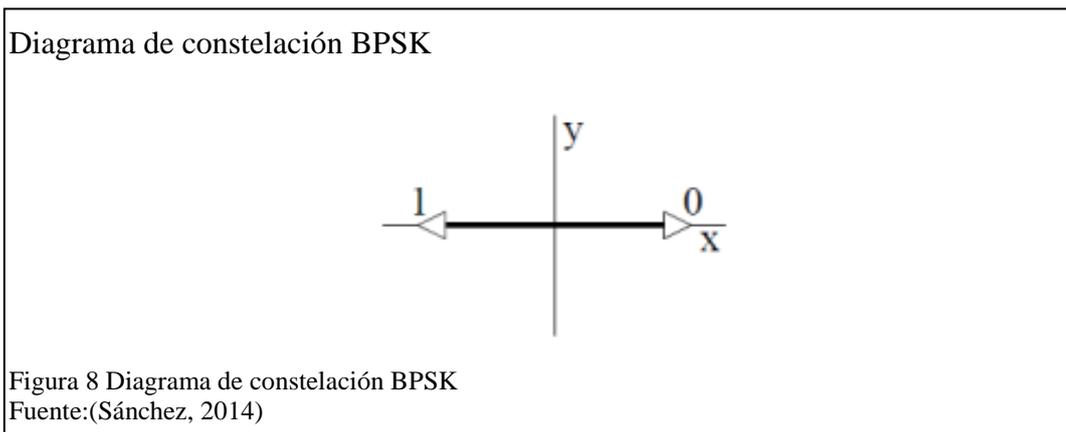
$$f_{PSK}(t) = f(t)\cos W_c t = \begin{cases} +\cos W_c t & \text{Si } f(t) = +1V \quad (1 \text{ lógico}) \\ -\cos W_c t & \text{Si } f(t) = -1V \quad (0 \text{ lógico}) \end{cases}$$

Ecuación 1

En consecuencia la señal de salida del modulador PSK será como se muestra en la figura 7



El modulador trabaja de la siguiente forma: Cuando la entrada corresponde con un 0 lógico, la fase absoluta de salida de la señal PSK es 180°. Si la entrada es un 1 lógico entonces la fase de salida va a ser 0°. La figura 8 ejemplifica este proceso. (Sánchez, 2014)



Las señales analógicas MPSK tienen una amplitud constante. Matemáticamente se tiene que:

$$M = 2^k \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

k = número de bits.

$M =$ número de combinaciones de salida posibles de k bits. (Sánchez, 2014)

Entonces lo que se hace es convertir grupos de k bits de información de información en una señal analógica de amplitud constante y con 2^k fases posibles.

1.4.1 Modulación QPSK

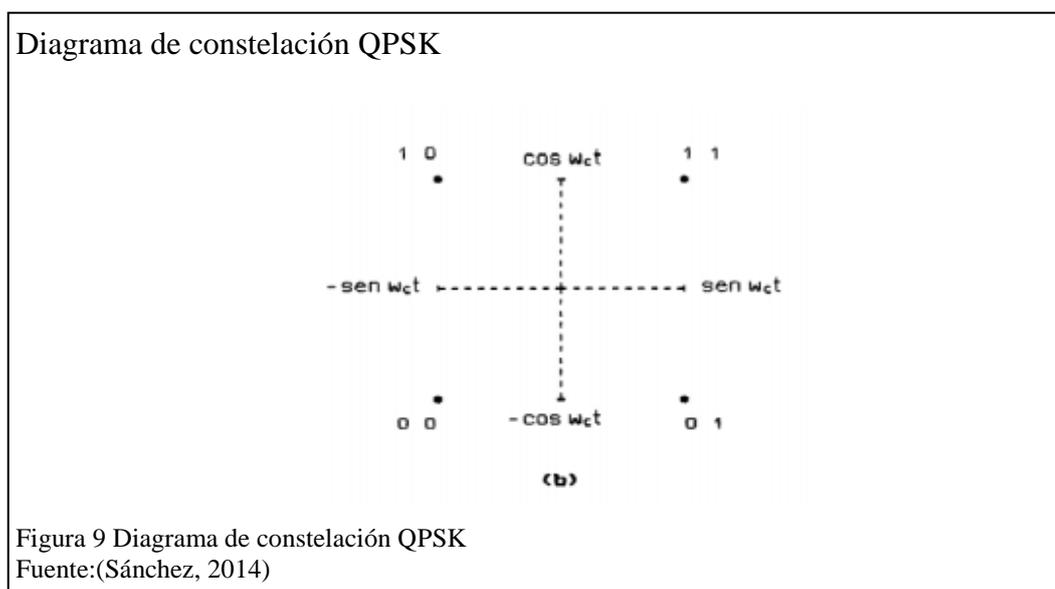
QuaternaryPhaseShiftKeying, como se deduce de su nombre, es un tipo de modulación MPSK en la que $M=4$, es decir la señal portadora de frecuencia puede tener 4 fases de salida diferentes, y por consiguiente $k = 2$ ($4 = 2^2$). Entonces en QPSK los datos de entrada binarios están compuestos por grupos de 2 bits que reciben el nombre de dibits y que producen 4 posibles combinaciones: 00, 01, 10 y 11.(Sánchez, 2014)

Los valores que puede tomar la señal de salida $f_{QPSK}(t)$ se presentan en la tabla 1.

Entrada Binaria		$f_{QPSK}(t)$	Fase de salida de la señal QPSK
Q	I		
0	0	$-CosW_c t - senW_c t$	-135°
0	1	$-CosW_c t + senW_c t$	-45°
1	0	$+CosW_c t - senW_c t$	$+135^\circ$
1	1	$+CosW_c t + senW_c t$	$+45^\circ$

Tabla 1Tabla de verdad de la modulación QPSK
Fuente :(Sánchez, 2014)

En la figura 9 se representa el diagrama de constelación de QPSK.



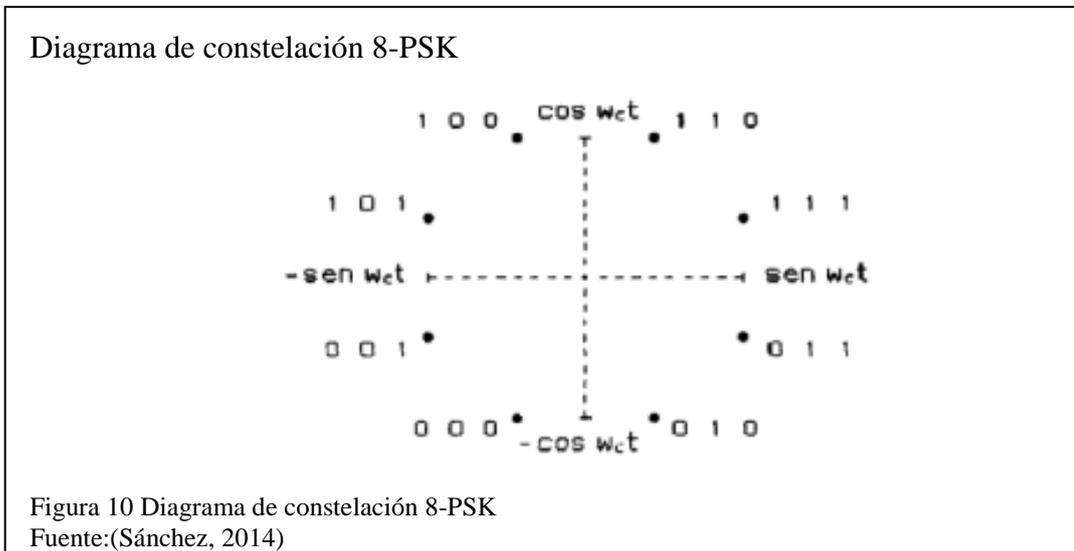
1.4.2 Modulación 8-PSK

Eight-phase PSK, es una técnica de modulación digital MPSK en la que $M=8$, siendo entonces $k=3$ ($8 = 2^3$). Estos grupos de 3 bits de información reciben el nombre de tribits. Así pues, la señal analógica modulada tendrá 8 posibles fases. Los posibles valores que pueden alcanzar esta señal aparecen en la tabla 2. (Sánchez, 2014)

Entrada Binaria			$f_{8PSK}(t)$	Fase de salida de la señal 8-PSK
Q	I	C		
0	0	0	$-1.307\cos W_c t - 0.541\sin W_c t$	-112.5°
0	0	1	$-0.541\cos W_c t - 1.307\sin W_c t$	-157.5°
0	1	0	$-1.307\cos W_c t + 0.541\sin W_c t$	-67.5°
0	1	1	$-0.541\cos W_c t + 1.307\sin W_c t$	-22.5°
1	0	0	$+1.307\cos W_c t - 0.541\sin W_c t$	$+112.5^\circ$
1	0	1	$+0.541\cos W_c t - 1.307\sin W_c t$	$+157.5^\circ$
1	1	0	$+1.307\cos W_c t + 0.541\sin W_c t$	$+67.5^\circ$
1	1	1	$+0.541\cos W_c t + 1.307\sin W_c t$	$+22.5^\circ$

Tabla 2 Tabla de verdad 8-PSK
Fuente: (Sánchez, 2014)

En la figura 10 se representa el diagrama de constelación de 8-PSK.



El ancho de banda mínimo necesario para pasar portadoras M-arias moduladas digitalmente se determina con la siguiente ecuación:

$$B = \frac{V_b}{k} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde :

- B= Ancho de banda mínimo
- V_b = velocidad de transmisión en bps
- k= número de bits

En base a la ecuación se puede deducir cual de entre todas las modulaciones MPSK es la que consigue una mayor inmunidad al ruido. Cuanto menor sea M ($M = 2^k$), menos afectado por el ruido se verá el sistema. (Sánchez, 2014)

1.5 Secuencias de Ensanchamiento

Para ensanchar la señal de información se puede generar el código pseudoaleatorio a partir de secuencias como Secuencias Gold las cuales son construidas mediante la operación XOR a partir de dos secuencias m, las secuencias Barker son códigos cortos con favorable propiedad de auto correlación, los códigos Walsh son un conjunto de secuencias ortogonales con una correlación de cruce de cero entre ellas.

A continuación se detallara las secuencias PN ya que en el presente proyecto se utilizara este tipo de secuencias para realizar el código pseudoaleatorio(Martínez, 2006).

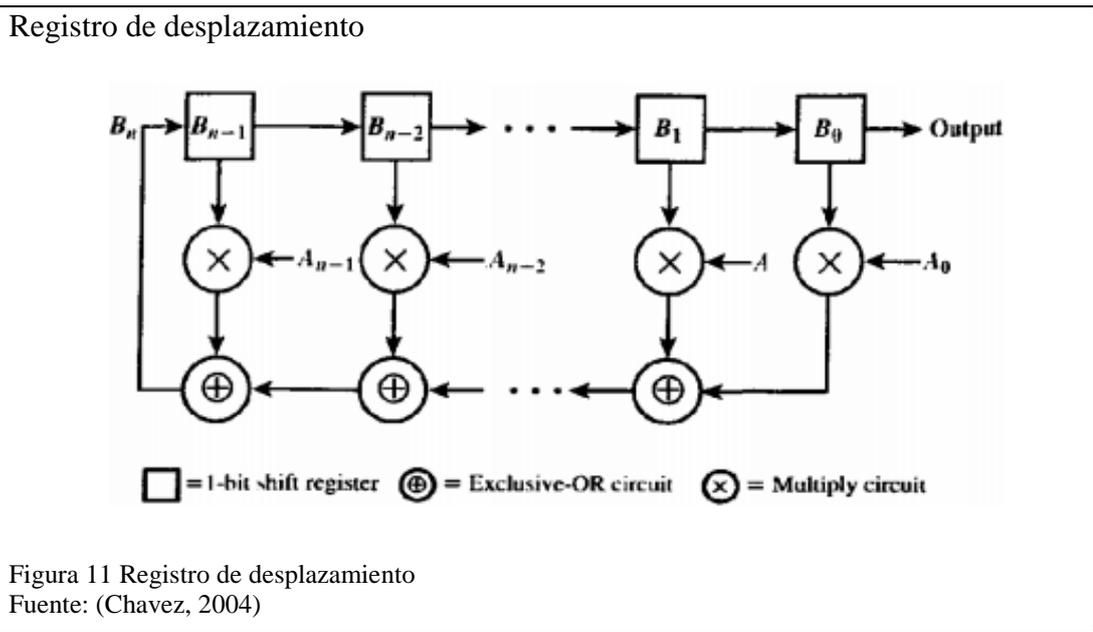
Las secuencias PN aparentan ser aleatorias sin embargo son el resultado de un algoritmo determinístico de modo que tanto el transmisor como el receptor pueden conocer la secuencia para de esta manera transmitir y recuperar la señal de información, tienen algunas características que se deben tomar en cuenta al crear el algoritmo.(Chavez, 2004)

- **Distribución Uniforme:** al ser secuencias binarias el número de unos y el número de ceros deben diferir en un solo número.
- **Independencia:** una secuencia no puede ser formada a partir de otra.
- **Correlación:** la correlación sirve para ver qué tanta coincidencia puede haber entre un código y otro de esta manera, teniendo así valores de 1 si los códigos son exactamente iguales y valores de 0 si son totalmente diferentes y -1 si él un código resulta ser espejo del otro (caso ideal).
- **Auto correlación:** es el grado de concordancia entre un código y otro si existe un desplazamiento de fase

Las secuencias PN pueden ser generadas a partir de registros de desplazamiento de retroalimentación lineal, un registro de desplazamiento es una serie de memorias en cascada y puede ser definida de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$B_n = A_0B_0 \oplus A_1B_1 \oplus A_2B_2 \dots \dots \oplus A_{n-1}B_{n-1} \quad \text{Ecuación 4}$$

La ecuación 4 es ilustrada en la figura 11 mediante un registro de desplazamiento.(Deslarmes, 2008)



Determinadas combinaciones de retroalimentaciones permiten producir secuencias de máxima longitud. No todas las realimentaciones producen secuencias máximas solo algunas, en la tabla 3 se muestra las diferentes combinaciones de realimentación para obtener secuencias de máxima longitud. (Deslarmes, 2008)

m	Conexiones Realizadas en modulo 2	m	Conexiones Realizadas en modulo 2
2	1,2	13	1,10,11,13
3	1,3	14	1,5,9,14
4	1,4	15	1,15
5	1,4	16	1,5,14,16
6	1,6	17	1,15
7	1,7	18	1,12
8	1,5,6,7	19	1,15,18,19

9	1,6	20	1,18
10	1,8	21	1,20
11	1,10	22	1,22
12	1,7,9,12	23	1,19

Tabla 3 Combinaciones de retroalimentaciones
Fuente: (Deslarmes, 2008)

Para m etapas, la longitud máxima de código que se puede obtener esta dada por la expresión:

$$L = 2^m - 1 \quad \text{Ecuación 5}$$

En las m etapas pueden variar todas las combinaciones de 0 y de 1 excepto todos 0, pues de esta situación no existen cambios. Una importante característica de las secuencias es la función de auto correlación que se puede calcular con la siguiente formula.

$$R_c(m) = \sum_{n=1}^L C_n C_{n+m} \quad 0 \leq m \leq L - 1 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde L es el periodo de la secuencia y C_n la secuencia bipolar.

La selección del código es importante ya que de este depende la capacidad del sistema. (Deslarmes, 2008)

1.6 Usrp (Universal Software Radio Peripheral)

Es un SDR el cual permite utilizar un hardware para recibir y/o transmitir señales RF, es un radio en el que algunas o todas las operaciones de capa física pasan a ser realizadas por software, es decir filtrado, amplificación, modulación y demodulación de señales de radio pueden ser fácilmente manipuladas sobre computadores. Combinado con el software Ni LabView, los equipos ofrecen una plataforma potente para generar rápidamente prototipos de sistemas inalámbricos de radio frecuencia. (Rodriguez & Rugel, 2015). En la figura 12 se aprecia un USRP 2920 con su descripción general.

NI. Usrp 2920



Figura 12 Usrp 2920
Fuente: (Instruments, 2016)

El Hardware NI USRP-2920 consta de una tarjeta madre principal como se muestra en la figura 13, en la cual descansan diferentes puertos de comunicación, los cuales se muestran en el panel frontal del equipo, dichas interfaces son las siguientes:

- Interfaz de Transmisión y Recepción de RF primario (Tx1/Rx1)
- Interfaz de Recepción RF secundario (Rx2)
- Entrada para señal de referencia externa
- Entrada para señal de referencia de reloj
- Expansión MIMO
- Puerto RJ-45 Gigabit Ethernet
- Entrada para alimentación de poder
- Led's indicadores

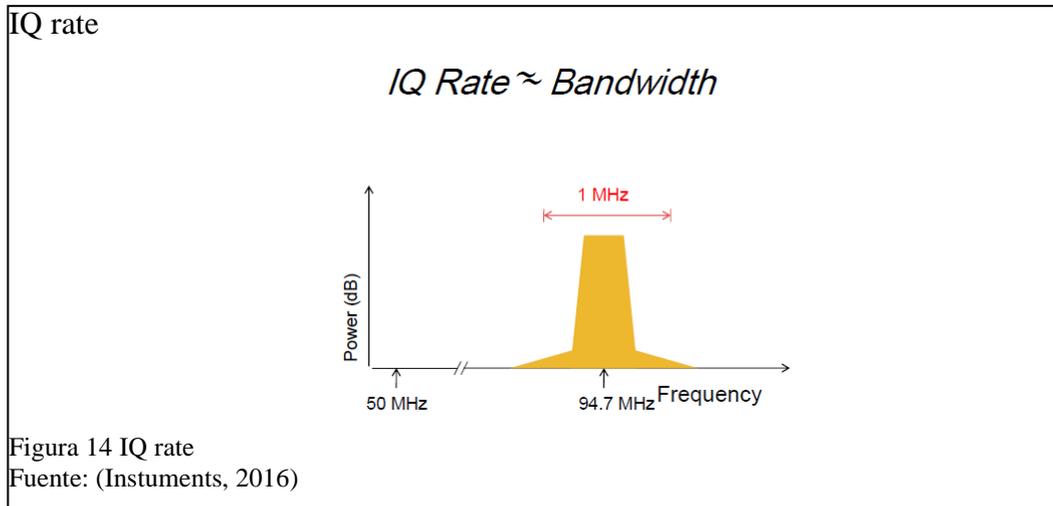
Interfaces del USRP NI 2920



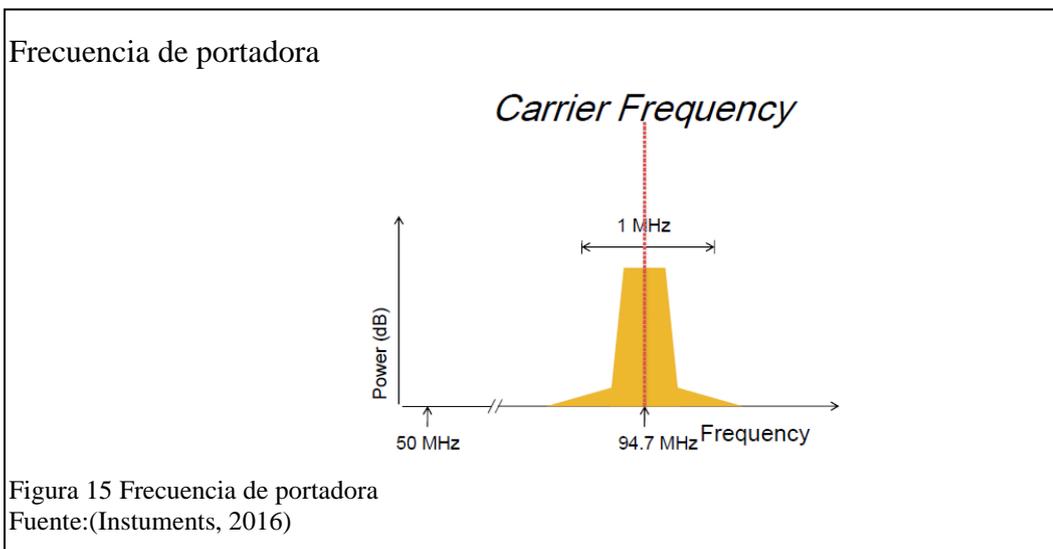
Figura 13 Interfaces del USRP Ni 2920
Fuente: (Instruments, 2016)

Para el correcto funcionamiento del USRP se tiene conceptos básicos de configuración los cuales se detallan a continuación.(Instuments, 2016)

- **IQ rate:** Velocidad de muestreo en cuadratura lo que equivale al ancho de banda. La figura 14 ejemplifica el concepto de IQ Rate.



- **Carrierfrequency:**frecuencia de portadora. La figura 15 ejemplifica el concepto de frecuencia de portadora.



- **Active antenna:** muestra el puerto de antena que se va a utilizar.
- **Gain:** Ganancia en la figura 16 se muestra la variación de ganancia.

Ganancia en el USRP

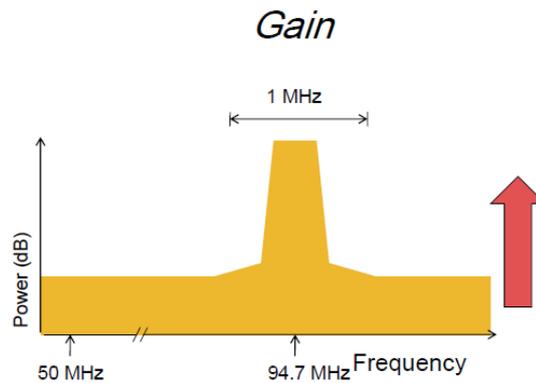


Figura 16 Ganancia en el USRP
Fuente:(Instuments, 2016)

El equipo NI USRP-2920 funciona mediante el uso de una tarjeta GigabitEthernet, de esta manera el computador a usarse debe integrar una tarjeta del mismo tipo, para que mediante el acople de un cable UTP de categoría 5e o superiores la conexión entre estos 2 equipos sea adecuada. (Instuments, 2016)

Para realizar la configuración de la dirección IP en el sistema operativo Windows 7, basta con configurar el controlador de adaptador de red de la siguiente manera.

- Ingresar a Panel de Control > Redes e Internet > Conexiones de Red
- Luego en la opción propiedades del controlador de red se elige la pestaña de Protocolo de Internet versión 4 (TCP/IPv4)
- Se procede a configurar la dirección IP.

Configuración de la dirección IP

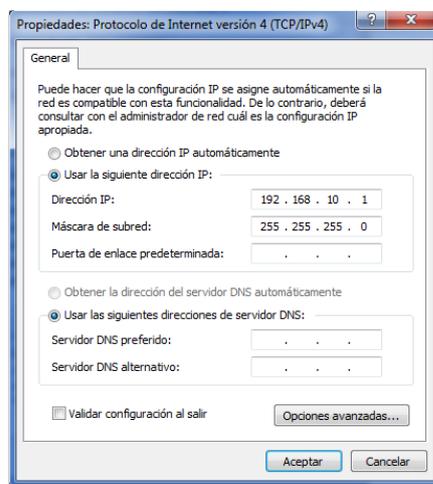
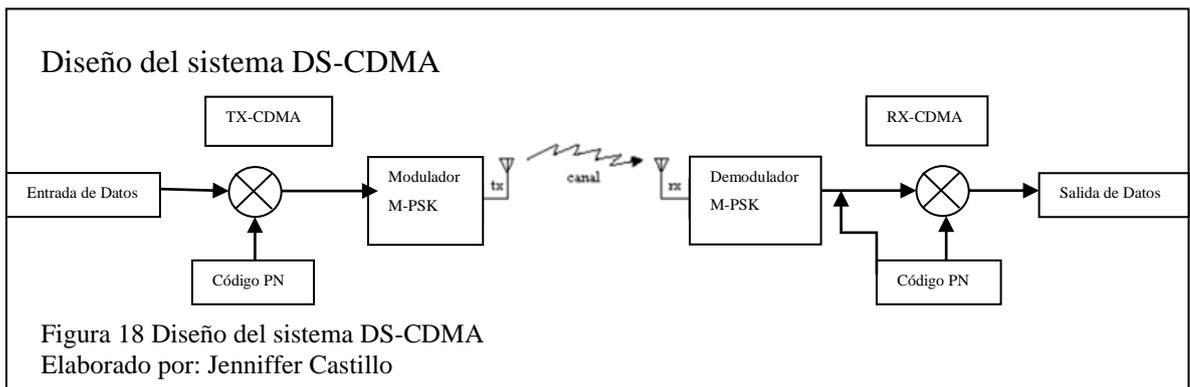


Figura 17 Configuración de la dirección IP
Elaborado por: Jenniffer Castillo

Como se observa en la figura 17 los únicos parámetros que se deben configurar dentro de las propiedades de IPv4 son la dirección IP que en este caso es 192.168.10.1 y la máscara de subred que es 255.255.255.0.

CAPÍTULO 2 DISEÑO DEL SISTEMA

El sistema consta de un generador de datos aleatorio, un generador de secuencias de Pseudoruido para generar tramas CDMA y un modulador digital, como se muestra en la figura 18. Está diseñado para ser utilizado por 16 receptores, los mismos que cuentan con un código PN que espacera la señal cuatro veces, es decir tiene un chip rate de 4, el cual puede ser modificado.



2.1 Transmisor

El transmisor consta de tres etapas: Generación de bits aleatorios, código PN y el Modulador M-PSK. Para la generación de bits aleatorios y código PN se utiliza el script de Matlab para Labview el cual facilita y simplifica la programación, se lo encuentra en el diagrama de bloques en Structures.

El generador de números aleatorios consta de variables de entrada como: número de bits y chip rate tal como se muestra en la figura 19.

Generador de números aleatorios

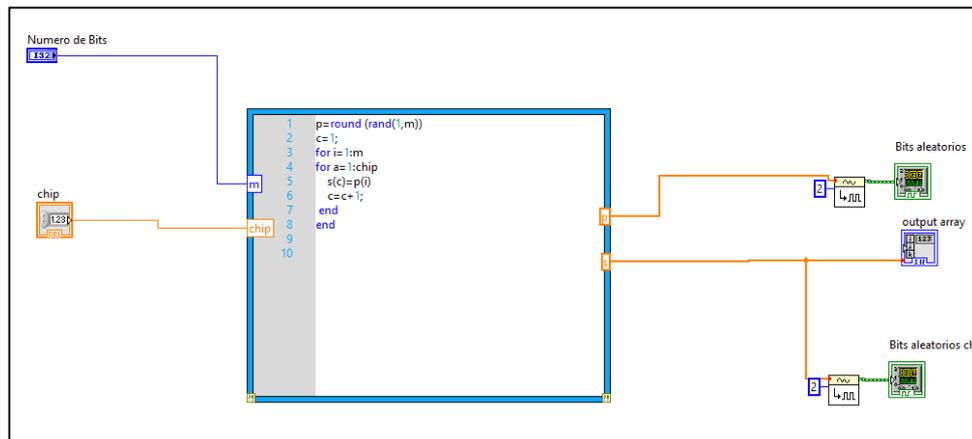


Figura 19 Generador de números aleatorios
Elaborado por: Jenniffer Castillo

El número de etapas utilizadas para la creación de la secuencia PN es de 15 ya que desea obtener un BER de 10^{-3} , así, si la reemplazamos en la ecuación 5 se tiene:

$$L = 2^m - 1 \quad \text{Ecuación 7}$$

$$L = 2^{15} - 1 \quad \text{Ecuación 8}$$

$$L = 32767 \quad \text{Ecuación 9}$$

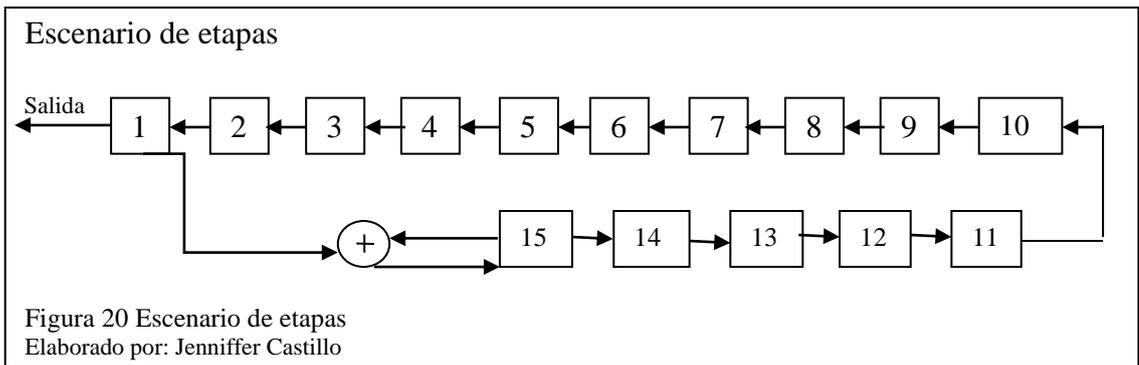
Lo cual quiere decir que la secuencia PN máxima es de 32767 bits, en el proyecto se utilizara un valor máximo de chip rate de 4 por lo tanto se tiene:

$$\#bits = \frac{L}{chip\ rate} \quad \text{Ecuación 10}$$

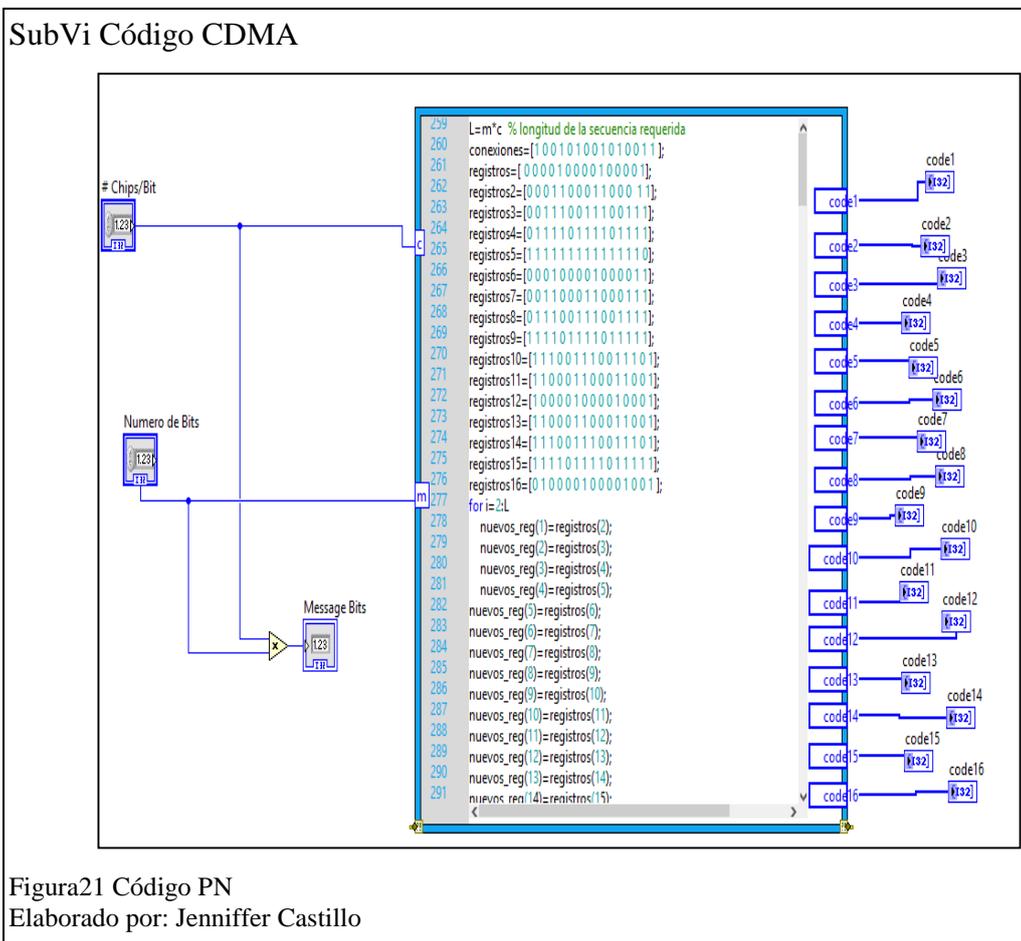
$$\#bits = \frac{32767}{4} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$\#bits = 8191,75 \quad \text{Ecuación 12}$$

Lo que nos indica que el mayor número de bits que se puede enviar es de 8191 cumpliendo el objetivo para el BER, se procede a crear la conexión del escenario de etapas propuesto el cual se muestra en la figura 20.

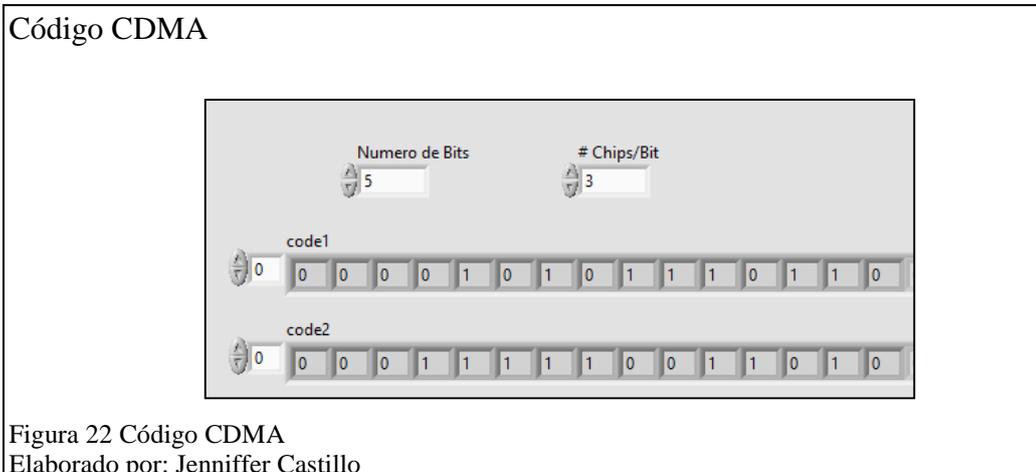


Con el escenario de etapas creadas, es posible generar un algoritmo que implemente las etapas anteriores en Labview llamando a un script de Matlab como se muestra en la figura 21, el cual tiene como variables de entrada el número de bits (puede ser hasta 8000) y el número de chip.



Para comprobar que el código generado cumpla con las características de los códigos PN la figura 22 muestra un ejemplo de código, para mejor apreciación se utilizó 5 bits y un número de chips de 3 logrando así un código de 15 bits.

El código tiene distribución uniforme porque el número de unos y el número de ceros difieren en un solo número. Además, de independencia ya que una secuencia no ha sido formada a partir de otra.



El chip rate tiene una relación directamente proporcional con el ancho de banda, así en la figura 23 se muestra la variación del espectro de potencia de acuerdo al valor del chip rate. Para el ejemplo se utiliza una frecuencia de portadora de 4MHz y una velocidad de transmisión de 200K[Samples/s]. En la figura 23(a) se muestra el espectro de potencia sin utilizar el chip rate, se puede apreciar claramente que el ancho de banda corresponde a 400KHz. En la figura 23(b) se tiene un ancho de banda correspondiente a 800KHz ya que se aplica un chip rate igual a 2; en la última parte se aplica un chip rate de 4, el ancho de banda para este valor corresponde a 1.6MHz, como indica la fig. 23(c).

Espectro de potencia de acuerdo al chip rate

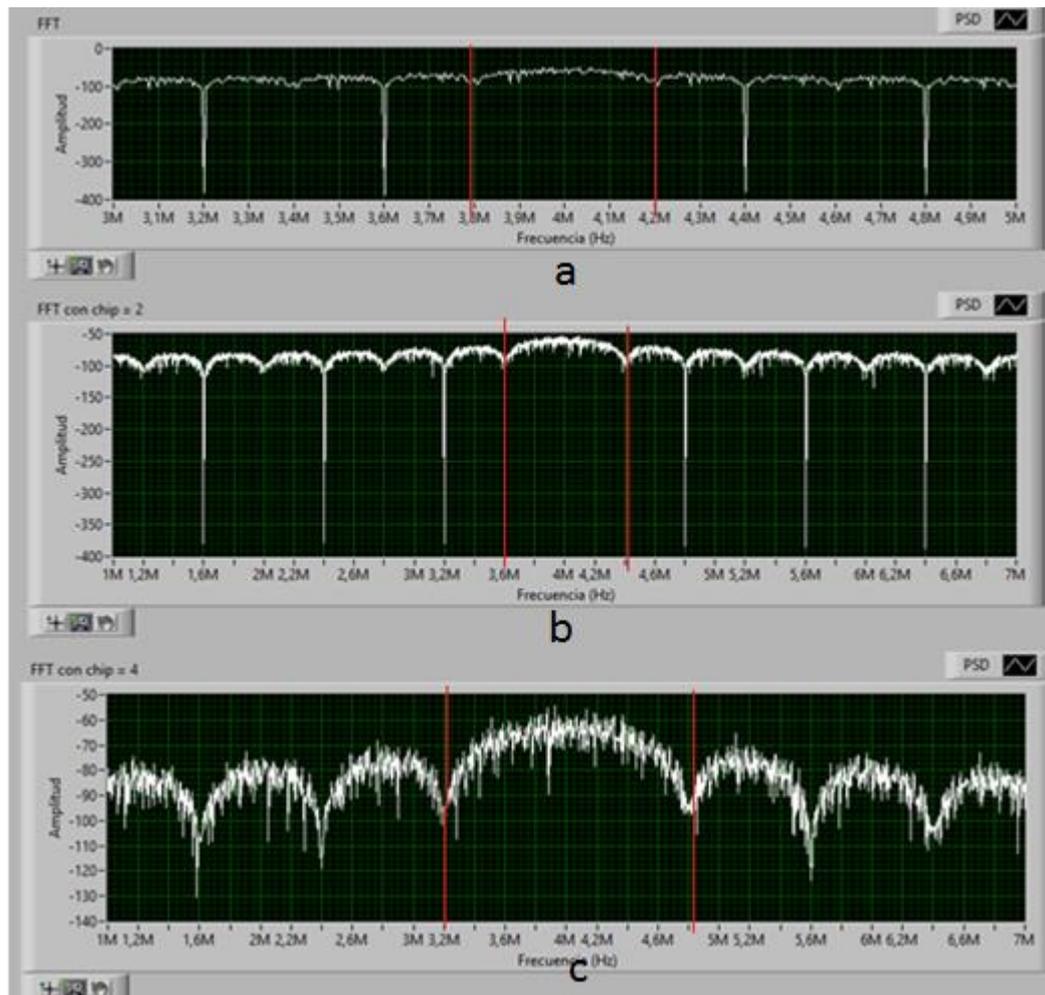


Figura 23 Variación del espectro de potencia
Elaborado por: Jenniffer Castillo

Una vez realizado la secuencia aleatoria de bits y el código de pseudoruidos necesario realizar la operación XOR debido a que tiene las mismas propiedades de la suma módulo dos, si a una secuencia PN se suma módulo dos el resultado es la misma secuencia de código con un nuevo desplazamiento en el tiempo obteniendo así la señal a enviar, este proceso se muestra en la figura 24. (Martínez, 2006)

Señal a enviar

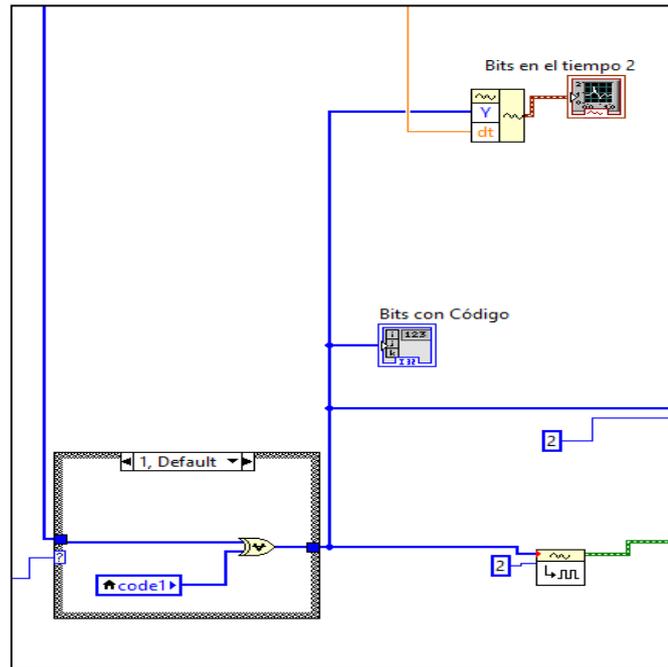


Figura24 Señal a enviar
Elaborado por: Jenniffer Castillo

Para modular la señal se cuenta con el subVi “SubGeneratePackets” el cual contiene subVis que ayudan a preparar los paquetes para ser enviados. La figura 25 muestra la jerarquía del subVi en el cual se puede apreciar como a partir de este se obtiene la cabecera del paquete y la señal modulada en el tiempo.

Jerarquía del subVi “SubGeneratePackets”

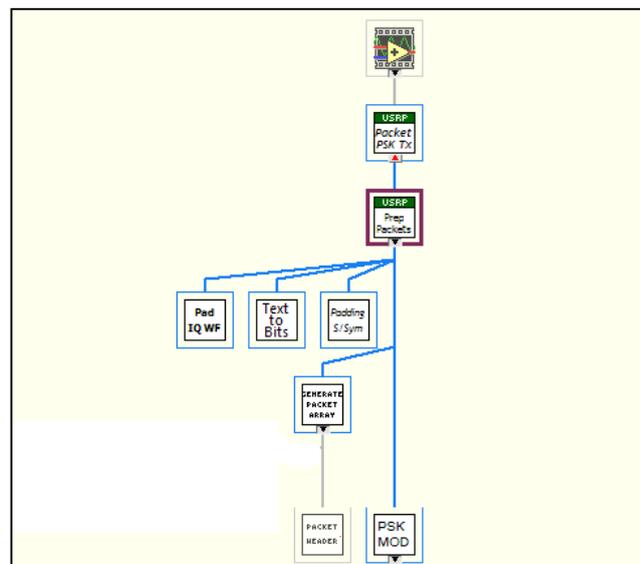


Figura 25 Jerarquía del subVi “SubGeneratePackets”
Elaborado por: Jenniffer Castillo

Variables de entrada y salida del subVi. "SubGeneratePackets"

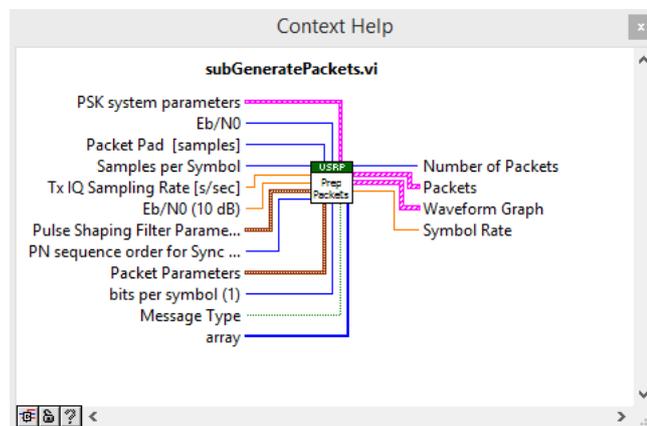


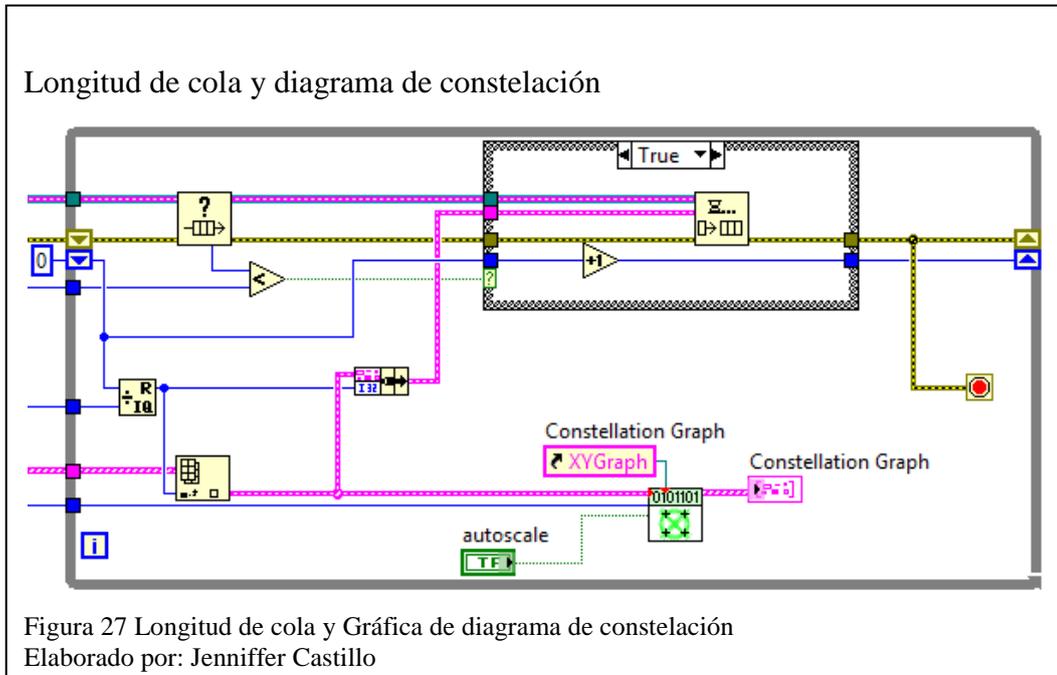
Figura 26 Variables de entrada y salida del subVi. "SubGeneratePackets"
Elaborado por: Jenniffer Castillo

Las variables de entrada y salida del subVi "SubGeneratePackets" se muestran en la figura 26, a continuación se detalla cada una de ellas.

- **PSK system parameters.** En esta entrada se especifica el tipo de modulación psk que se utilizara y sus parámetros.
- **Eb-N0.** Se indica si se utilizara una relación señal a ruido.
- **PacketPad[samples].** Garantizan que los paquetes no se pierdan ni al inicio ni al final de la transmisión.
- **Samples per Symbol.** Muestras por símbolo depende del tipo de modulación
- **Tx IQ Sampling Rate [s/sec].** Ancho de banda a utilizar.
- **Eb/N0(10 dB).** Valor de la relación señal a ruido
- **Pulse Shaping Filter Parameters.** Parámetros del filtro a utilizar.
- **PN sequence order for Synchronization.** Secuencia de sincronismo puede variar entre 0 y 31
- **PacketParameters.** Parámetros del paquete se configura bits de guardia, de sincronismo y longitud del mensaje
- **Bits per symbol.** Depende del tipo de modulación
- **Message type.** Tipo de mensaje en este caso es bits.
- **Array.** Bits a enviar
- **Number of packets.** Número de paquetes a enviar.
- **Packets.** Paquetes a enviar

- **WaveformGraph.** Gráfica de la forma de onda.
- **Symbol Rate.** Velocidad de símbolo.

Una vez obtenidos los paquetes se procede a obtener la longitud de la cola y graficar el diagrama de constelación correspondiente, el cual se aprecia en la figura 27.



Con la longitud de cola obtenida y el diagrama de constelación se procede a hacer la gráfica del espectro de potencia y finalmente se tiene la señal a enviar como se muestra en la figura 28.

Gráfica de espectro de potencia.

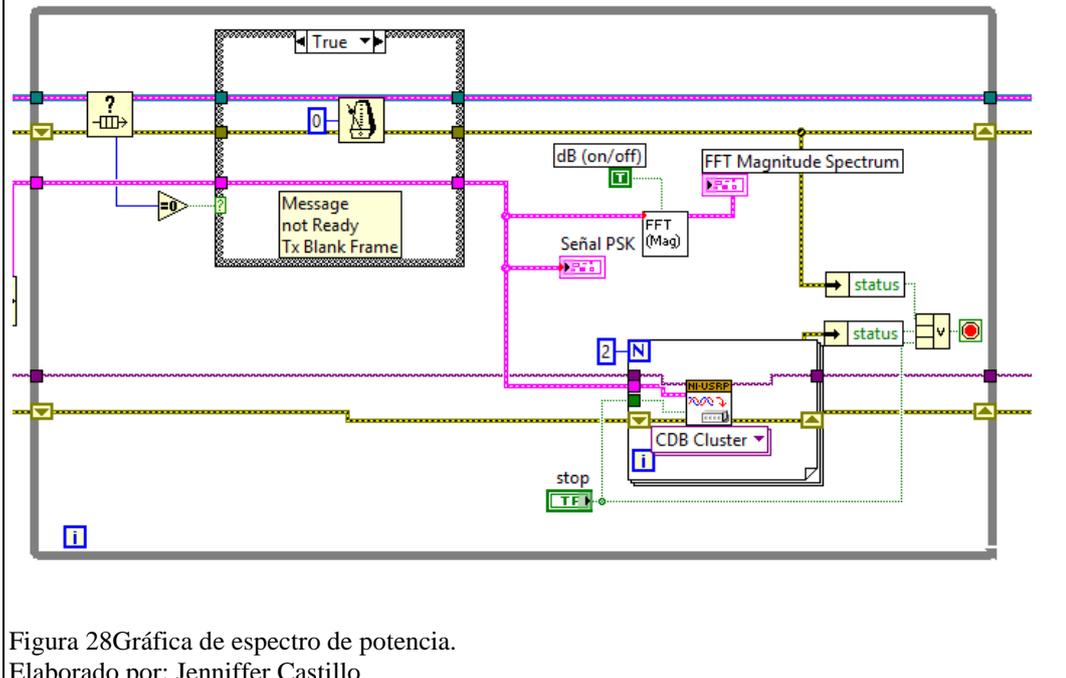


Figura 28 Gráfica de espectro de potencia.
Elaborado por: Jenniffer Castillo

2.2 Receptor.

En el receptor se puede apreciar tres etapas: el demodulador M-PSK, el decodificador CDMA y el cálculo de BER

Para el demodulador M-PSK se utiliza el subVi “InitPskRx” en la figura 29 se detallan las variables a utilizar.

SubVi “InitPskRx”

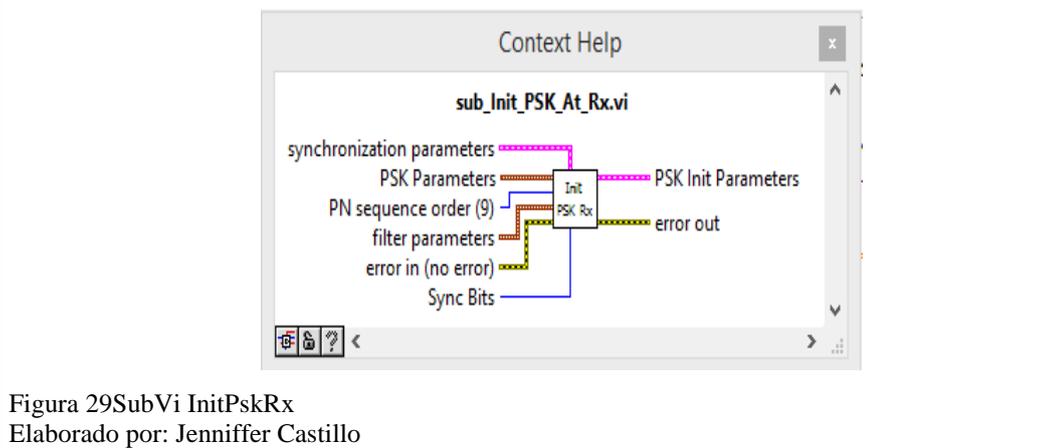
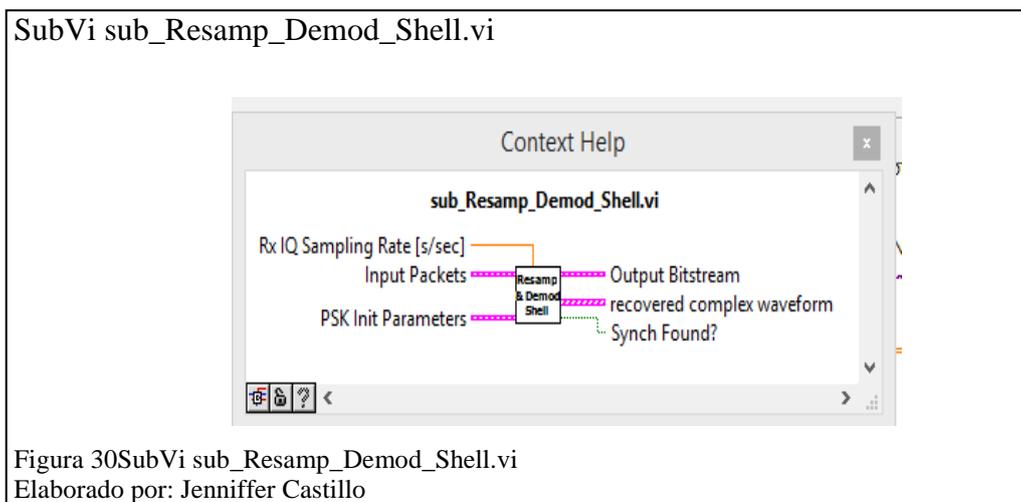


Figura 29 SubVi InitPskRx
Elaborado por: Jenniffer Castillo

- **Synchronization parameters.** Parámetros de sincronización.
- **PSK Parameters.** Parámetros PSK

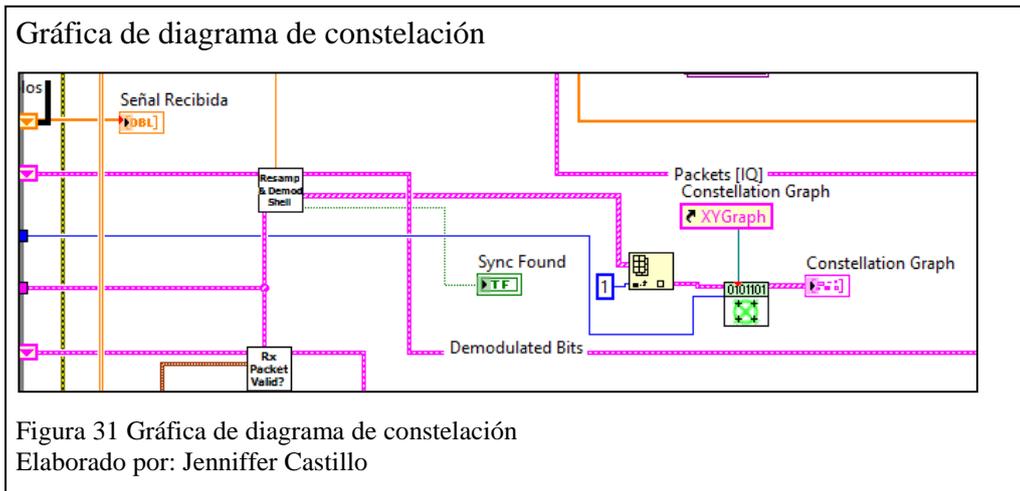
- **PN sequenceorder** Secuencia de sincronismo puede variar entre 0 y 31
- **Filterparameters.** Parámetros del filtro utilizado
- **Error in (no error).** Mensaje de entrada de error
- **Sync bits.** Bits desincronismo.
- **PSK InitParameters.** Parámetros Iniciales PSK
- **Error out.** Mensaje de salida de error

El demodulador PSK está diseñado en el subVi sub_Resamp_Demod_Shell.vi, sus variables de entrada y salida se muestran en la figura 30.

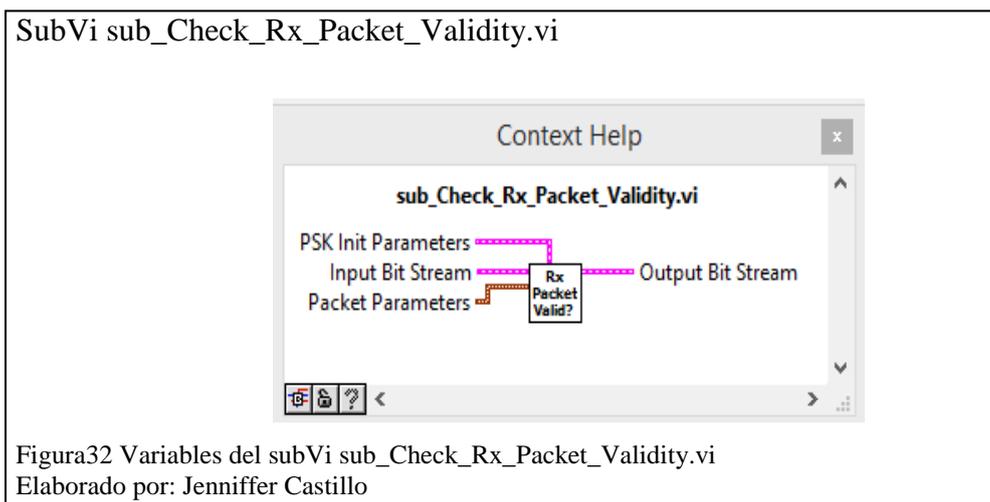


- **Rx IQ Sampling Rate [s/sec].** Ancho de banda a utilizar
- **Input Packets.** Paquetes de entrada.
- **PSK InitParameters.** Parámetros iniciales PSK.
- **Output Bitstream.** Bits de salida
- **Recovered complex waveform.** Forma de onda recuperada.
- **Synch found.** Muestra un valor verdadero si se encontró sincronización.

Una vez que se ha recuperado la forma de onda de entrada se procede a graficar el diagrama de constelación como se muestra en la figura 31. Se debe tener en cuenta que este diagrama de constelación es graficado en base a los paquetes entrantes.



Con los paquetes entrantes se debe validar si estos coinciden con los parámetros de paquetes configurados para realizar este proceso se cuenta con el subVi sub_Check_Rx_Packet_Validity.vi, el cual se muestra en la figura 32

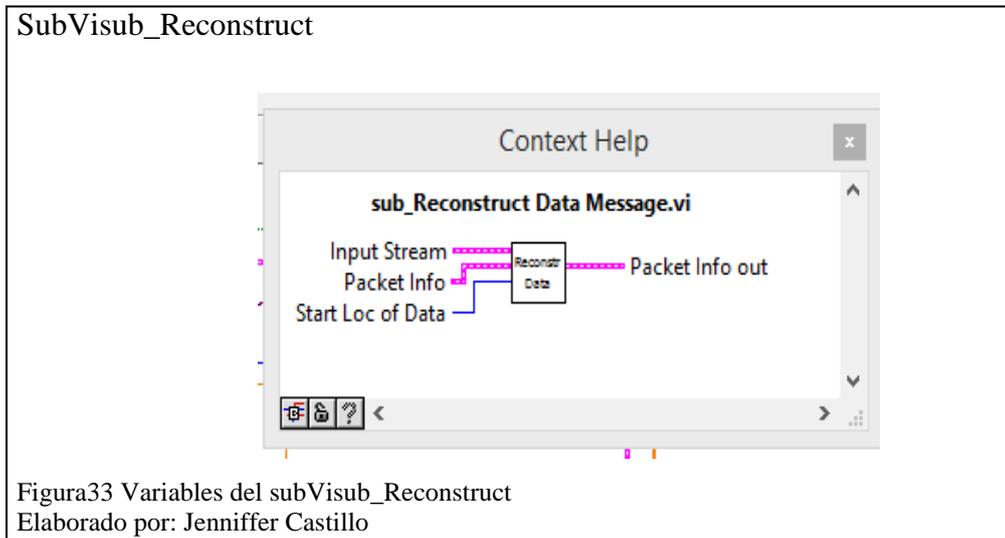


Para el funcionamiento del subVi sub_Check_Rx_Packet_Validity.vi se necesita de las siguientes variables:

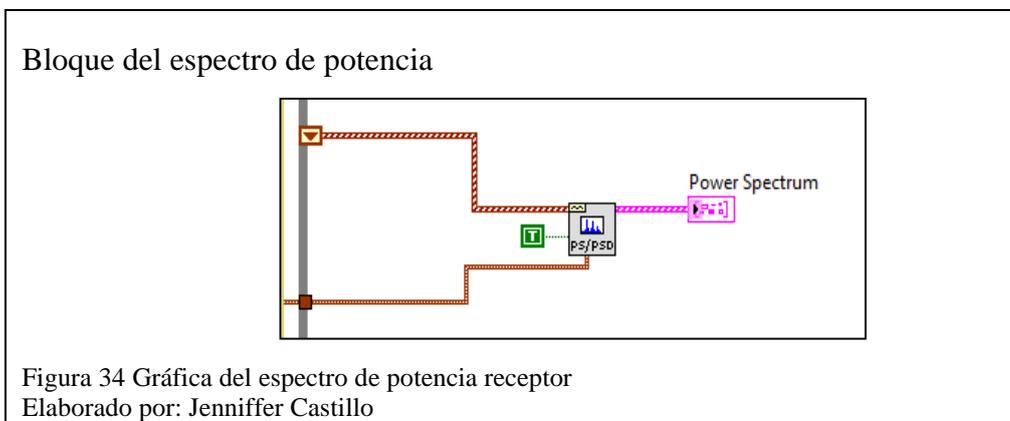
- **PSK InitParameters.** Parámetros iniciales de PSK
- **Input Bit Stream.** Bits de entrada
- **PacketParameters.** Parámetros del paquete.

A la salida del subvi se obtendrá los bits del paquete enviado, los mismos que deben ser reconstruidos para poder obtener la información enviada.

El subVisub_Reconstruct Data Message.vi se muestra en la figura 33, el cual recibe los bits entrantes la información del paquete y la localización del dato para así poder generar el paquete de salida el cual contiene los bits enviados.



Con el paquete recibido se puede graficar el espectro de potencia para ello se utiliza el bloque FFT powerspectrum and PSD el cual se muestra en la figura 34.



Para realizar la decodificación CDMA el receptor debe conocer el código PN utilizado. Al tener los bits de entrada se realiza una operación XOR con el código PN y de esta manera se logra obtener los bits enviados. Este proceso se muestra en la figura 35.

Decodificador CDMA

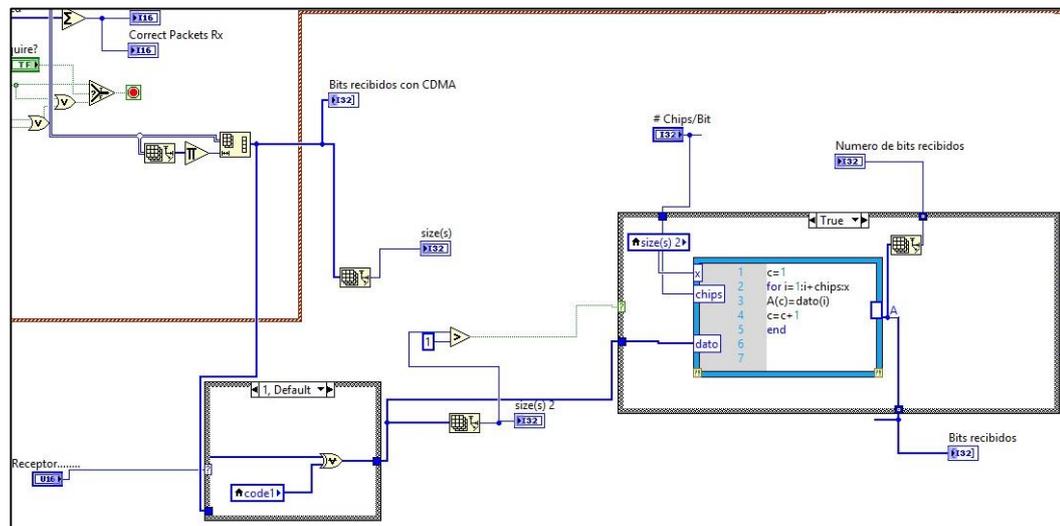


Figura 35 Decodificador CDMA
Elaborado por: Jenniffer Castillo

Para realizar el cálculo del BER se ha utilizado el MathScript de Labview como se muestra en la figura 36. El algoritmo conoce los bits enviados y los compara con los bits recibidos para devolver el valor del BER, es decir se calcula mediante un conteo directo de los errores.

Cálculo del BER

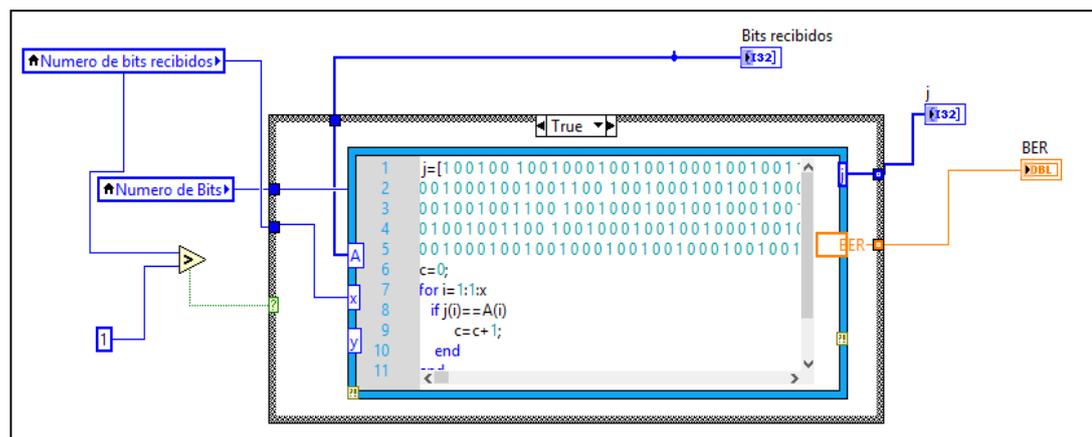


Figura 36 Cálculo del BER
Elaborado por: Jenniffer Castillo

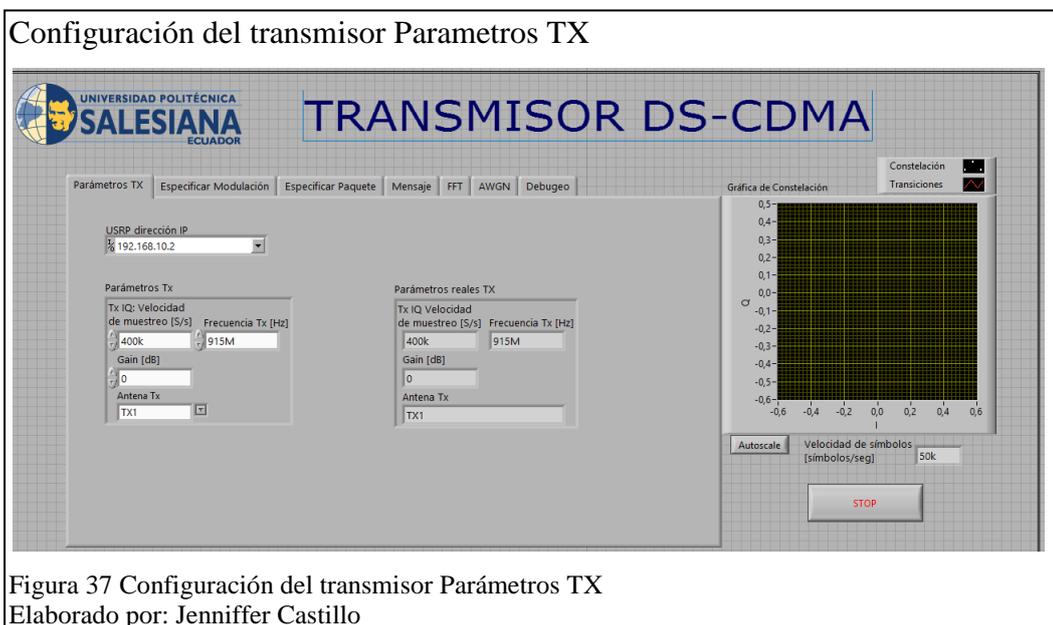
CAPÍTULO 3

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para la obtención de los resultados se realizaron pruebas experimentales en el Laboratorio de telecomunicaciones de la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA sede Quito campus Sur. El presente proyecto fue probado con diferentes parámetros, los cuales arrojaron datos que fueron analizados mediante gráficas de BER.

3.1 Configuración del transmisor

En la primera parte de la configuración del transmisor se procede a establecer la dirección IP del USRP, la velocidad de muestreo en 400K[Samples/s], la ganancia se configura en 31 [dB] lo que equivale a la máxima potencia en transmisión, obteniendo así el menor BER posible, y la frecuencia de transmisión en 915MHz. Estas configuraciones se muestran en la figura 37, estos parámetros se mantendrán fijos durante las pruebas realizadas a excepción de la prueba de variación de velocidad de muestro.



Luego se configura el tipo de modulación a utilizar entre los cuales se encuentra BPSK, QPSK, 8-PSK. En el valor de muestras por símbolo se utilizara 2 para BPSK, 4 para QPSK, y 8 para 8-PSK. En esta parte se dejara el filtro en el predeterminado. Para obtener las gráficas del BER se utiliza la relación señal-ruido en la pestaña

E_b/N_0 se configura en SI y se varia el valor de acuerdo al requerido. Esta configuración se muestra en la figura 38.

Configuración del transmisor Especificar Modulación

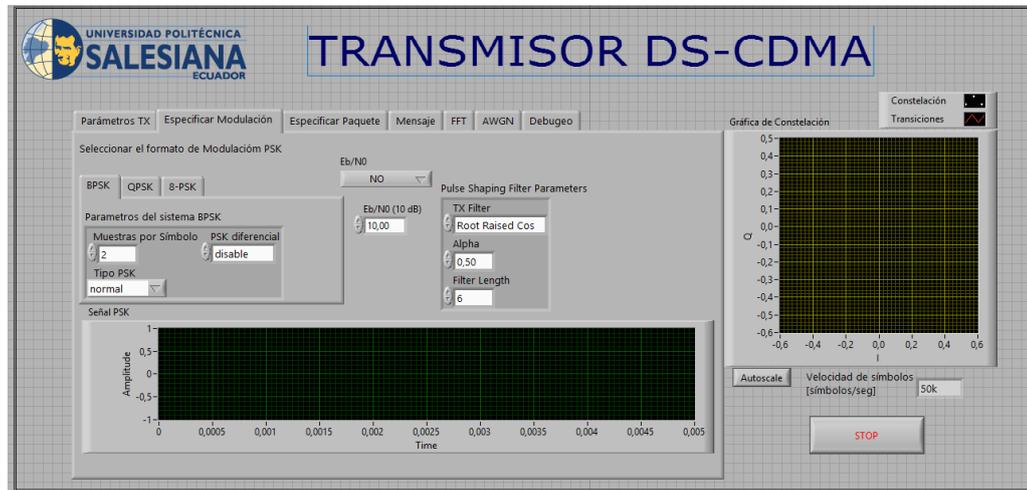


Figura 38 Configuración Especificar Modulación
Elaborado por: Jenniffer Castillo

En la pestaña especificar paquete se configura los diferentes parámetros del paquete en este caso se utilizara la misma configuración para todas las pruebas la cual se muestra en la figura 39.

Parámetros del paquete

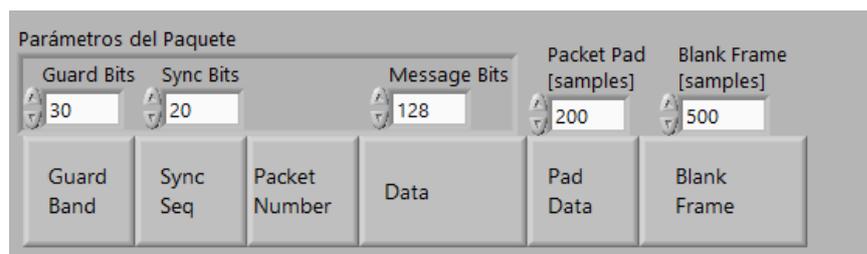


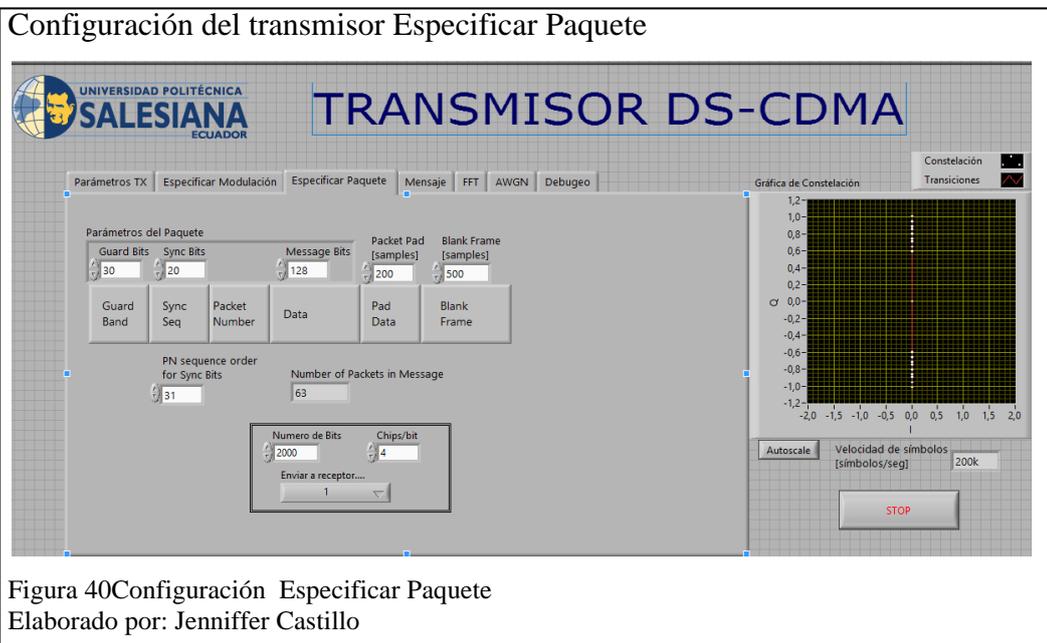
Figura39 Parámetros del paquete
Elaborado por: Jenniffer Castillo

Campo	Longitud (bits)	Descripción
Guard Band	30	Permite la inicialización de PLL Rx, filtros etc.
Sync Bits	20	Trama y símbolos de sincronización.
Message Bits	64-256	Campos de datos de longitud variable son detectados al final en el RX
Pad	200	Habilita los efectos del filtro
Blankframes	500	Trama en blanco de no enviar nada no corta la comunicación

Tabla 4 Parámetros del paquete
Fuente: (National & Instrument, 2014)

En la tabla 4 se muestra la descripción de los campos de parámetros de paquete se puede apreciar la longitud de bits que estos tienen y la función que realiza cada campo.

En la pestaña especificar paquete que se muestra en la figura 40, en la parte inferior de la pestaña está la configuración del número de bits a enviar, el número de chips por bit, y el receptor al que se enviara la información.

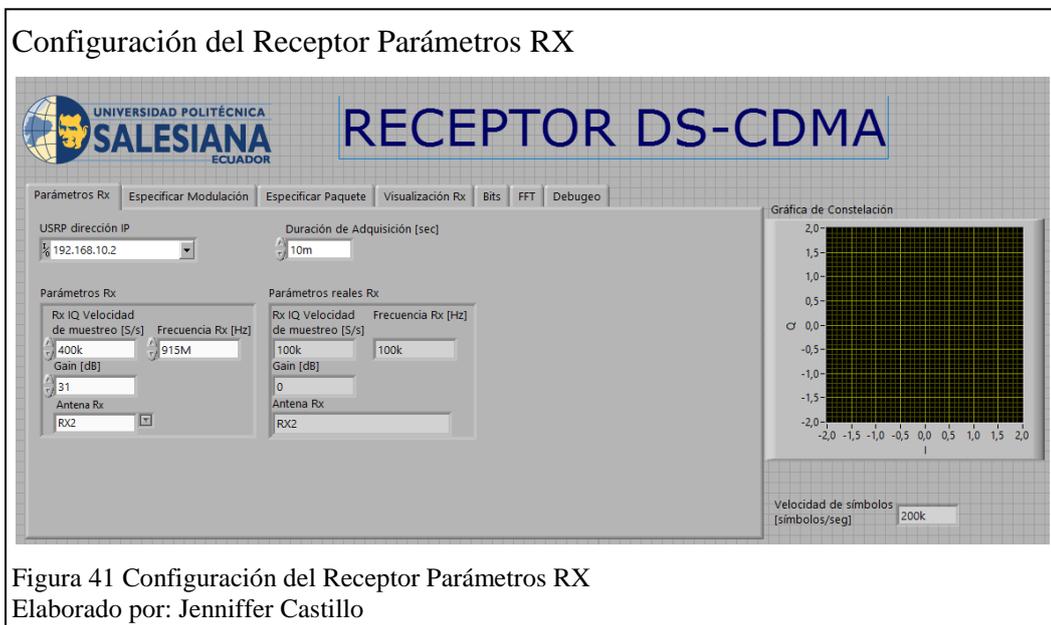


Cuando comienza a funcionar el programa este devuelve automáticamente el número de paquetes en el mensaje el cual debe ser configurado en el receptor.

Las pestañas siguientes no necesitan configuración ya que estas muestran únicamente el proceso de transmisión se puede apreciar el mensaje modulado en el tiempo, el espectro de frecuencia, la relación señal a ruido y el debugeo.

3.2 Configuración del Receptor

En la primera parte se configura los parámetros de recepción la velocidad de modulación y la frecuencia deben coincidir con los parámetros del transmisor, para las pruebas se utilizara una ganancia en el receptor de 0 [dB] y una duración de adquisición de 10m[s], la antena de recepción debe ser configurada de acuerdo a la conectada en el USRP. Esta configuración se muestra en la figura 41.



En la pestaña especificar modulación se configura el tipo de modulación las configuraciones de esta pestaña deben coincidir con las del transmisor como se muestra en la figura 42.

Configuración del Receptor Especificar Modulación

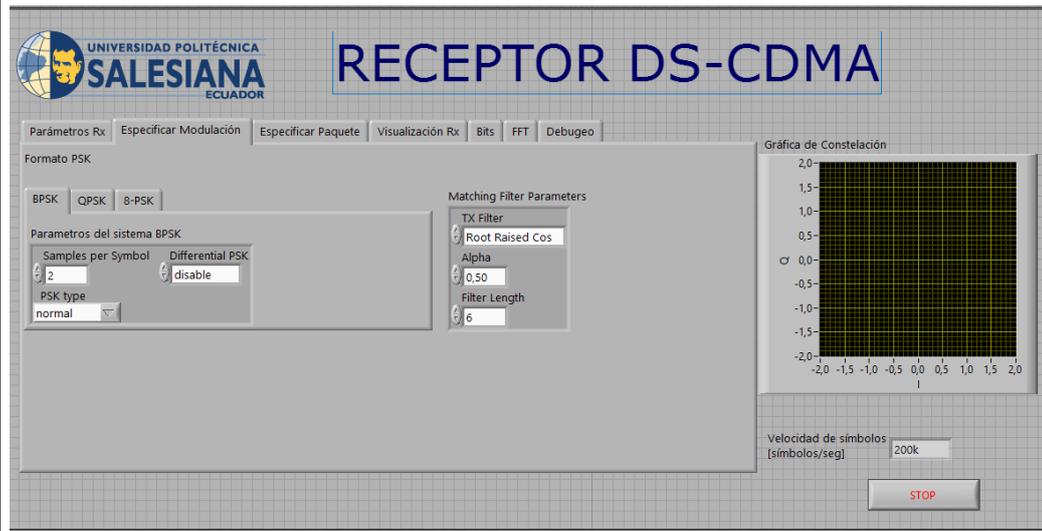


Figura 42 Configuración Especificar Modulación
Elaborado por: Jenniffer Castillo

En la pestaña especificar paquete, se configura los mismos valores que en el transmisor como se muestra en la figura 43, en el parámetro número de paquetes esperados se debe colocar el valor devuelto en el transmisor en este caso el valor de 63. Y en el campo receptor se pondrá el número de receptor asignado.

Configuración del Receptor Especificar Paquete

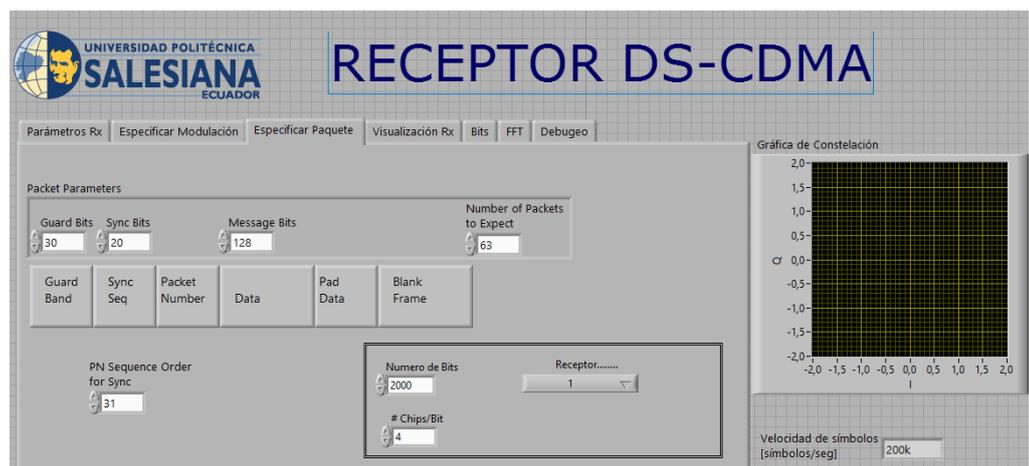
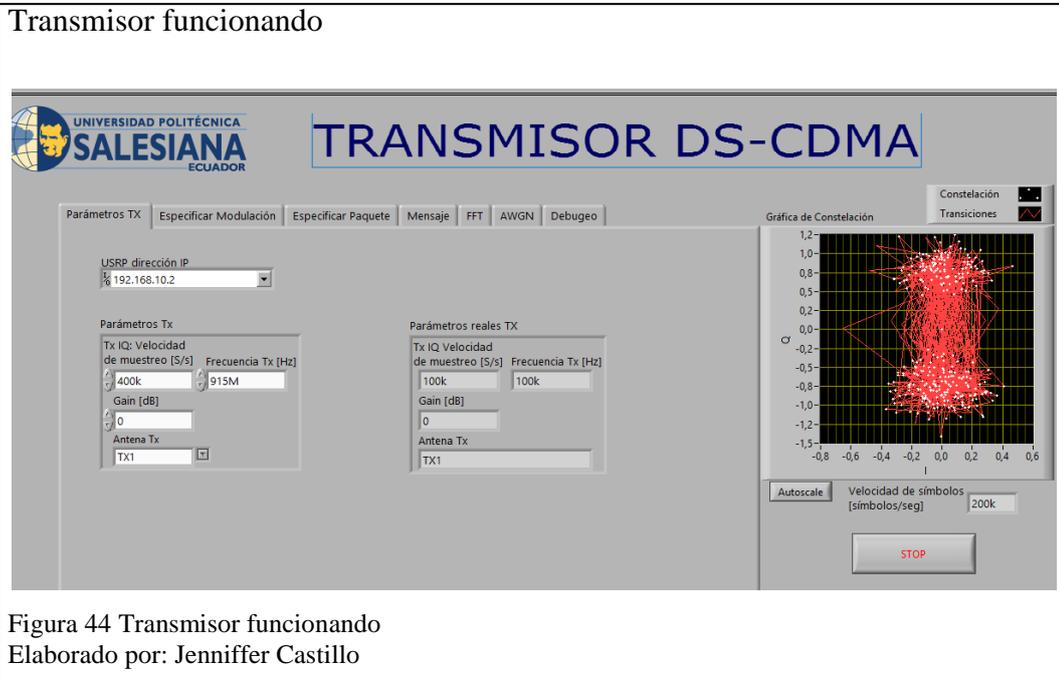


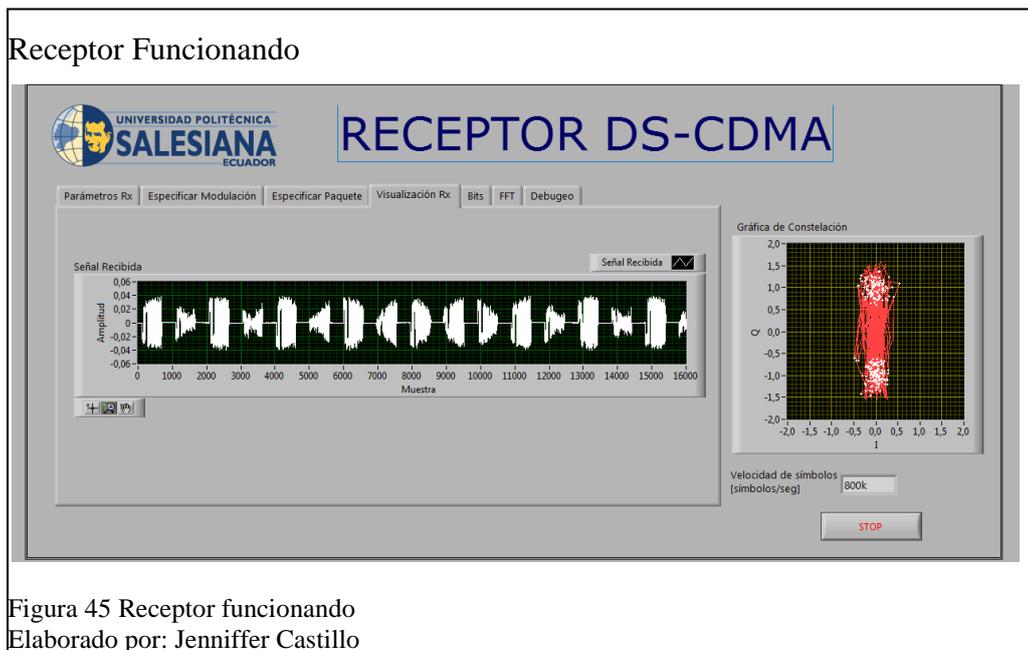
Figura 43 Configuración Especificar Paquete
Elaborado por: Jenniffer Castillo

3.3 Funcionamiento del programa

Con las configuraciones realizadas se procede a dar inicio al programa para ello se da clic en el botón run primero en el transmisor y luego en el receptor. La figura 44 muestra el transmisor funcionando.

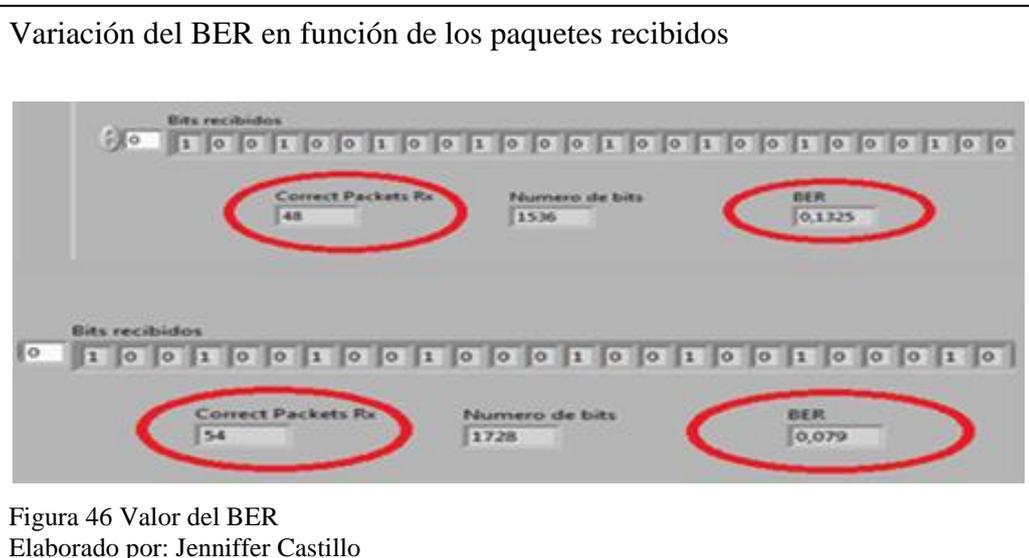


Para saber que el receptor está funcionando correctamente se debe tener una señal de entrada en la pestaña visualización RX como se muestra en la figura 45.



A partir de este punto se procede a tomar los datos de BER hay que tomar en cuenta que el valor del BER varía de acuerdo al número de paquetes que se recibe el valor

final a graficar corresponde al número de paquetes esperado en este caso 63. La figura 46 muestra la variación del BER en función de los paquetes recibidos en la parte superior se aprecia que para un número de 48 paquetes se tiene un valor en el BER de 0.1325, en la parte inferior para un valor de 54 paquetes se tiene un valor de BER de 0,079.



3.4 Caracterización del USRP

Con las configuraciones en el programa antes de realizar las pruebas correspondientes es necesario caracterizar el USRP para conocer los valores de potencia que maneja de acuerdo a la variación de la ganancia.

Para realizar la caracterización de la potencia de salida se usó la modulación BPSK, a una velocidad de modulación de 400K [Samples/s] con una frecuencia de portadora de 915MHz que nos permite coincidir con la banda libre de frecuencias, entonces se procedió a variar la ganancia en el transmisor desde 0dB hasta 31 dB para medir la potencia de salida se utilizó el AgilentFieldFoxHandheldAnalyzer, como se muestra en la figura 47.

Caracterización del USRP



Figura 47 Caracterización del USRP
Elaborado por: Jenniffer Castillo

La función de transferencia se muestra en la figura 48, esta indica la variación de la potencia de transmisión en función de la ganancia, como se puede apreciar se tiene una relación de tipo lineal así para una ganancia de 0dB se tiene una potencia de -32dBm, y para una ganancia de 31dB se tiene una potencia de -2dBm

Variación de la potencia de transmisión

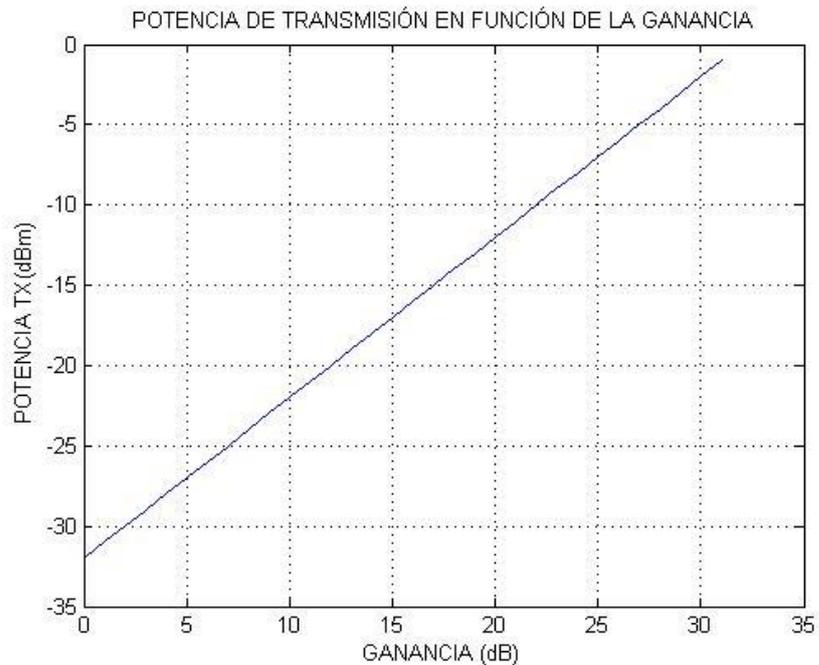


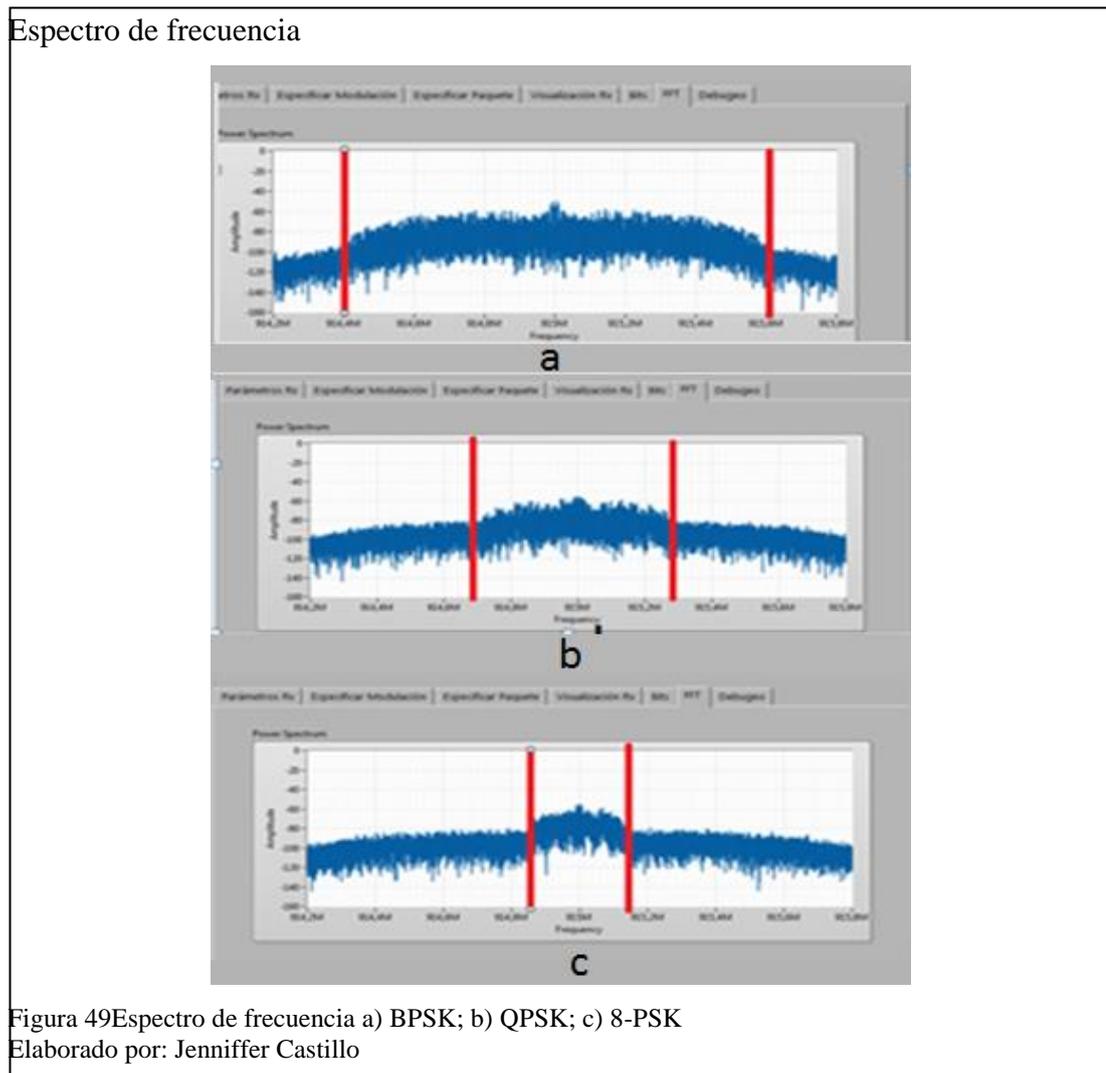
Figura 48 Potencia de transmisión
Elaborado por: Jenniffer Castillo

3.5 Variación de tipo de modulación.

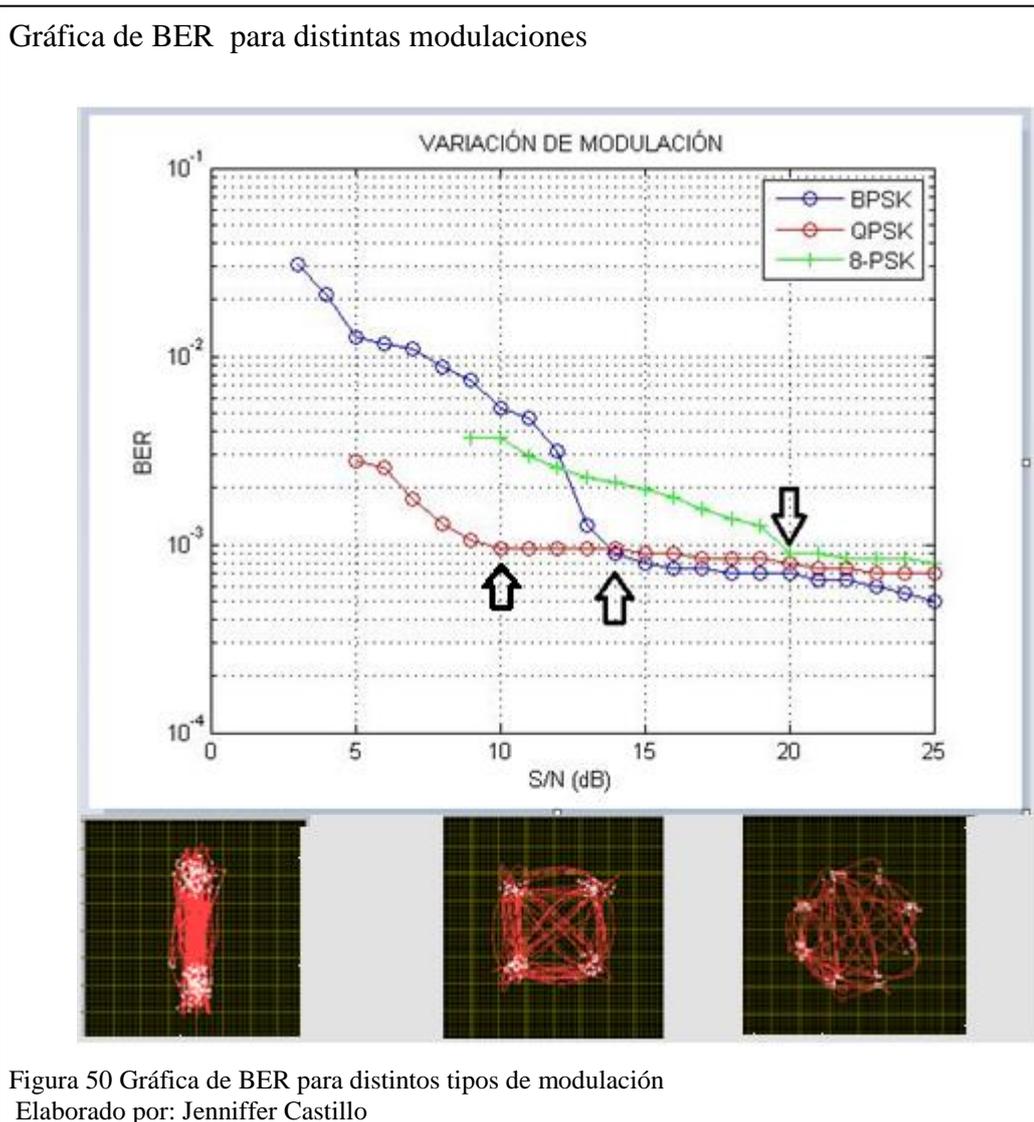
En esta prueba se analizó el desempeño del sistema frente a diferentes tipos de modulación, para lo cual se colocó una distancia de 2[m] entre el transmisor y el receptor y una velocidad de modulación de 400K [Samples/s] la frecuencia de portadora se mantuvo en 915MHz.

En la figura 49 la parte a) muestra el espectro de frecuencia de la modulación BPSK se aprecia la frecuencia central de 915MHz y un ancho de banda de 1.2MHz, en la parte b) se muestra el espectro de frecuencia de la modulación QPSK tiene un ancho de banda de 0.6MHz, en la parte c) se muestra el espectro de frecuencia de 8-PSK al cual le corresponde un ancho de banda de 0.3MHz.

La variación del ancho de banda en el resultado comprueba la ecuación 3, la cual nos habla sobre el ancho de banda mínimo necesario para cada modulación.



La modulación de QPSK logra tener un BER de 10^{-3} con una relación señal a ruido de 10dB se muestra una diferencia de 4dB para obtener el mismo BER con la modulación de BPSK y una diferencia de 10dB con la modulación de 8-PSK, sin embargo para un valor de relación señal a ruido mayor a 20 dB se muestra un BER flow en todas las modulaciones este resultado se muestra en la figura 50, en la parte inferior se muestra los diagramas de constelación en el receptor a una relación señal a ruido de 10 dB.



3.6 Velocidad de modulación

Esta prueba se realizó para la modulación de QPSK ya que esta tuvo mejor desempeño en la prueba de tipo de modulación, se usó la distancia de 2[m], una frecuencia de portadora de 915MHz y se varió la velocidad de modulación se realizó

únicamente dos variaciones debido a que la capacidad del USRP no soporta mayor variación.

El espectro de frecuencia varía de acuerdo a la velocidad de modulación en la figura 51 en la parte a) muestra el espectro de frecuencia de la modulación QPSK a una velocidad de modulación de 200K [Samples/s] con un ancho de banda de 0.3MHz, en la parte b) se muestra el espectro de frecuencia a una velocidad de modulación de 400K [Samples/s] con un ancho de banda de 0.6 MHz.

Espectro de frecuencia QPSK

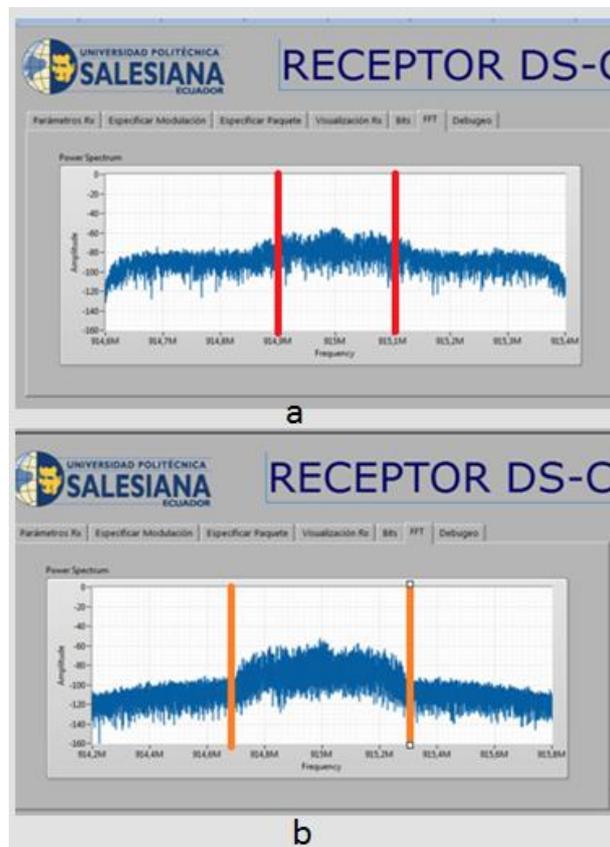
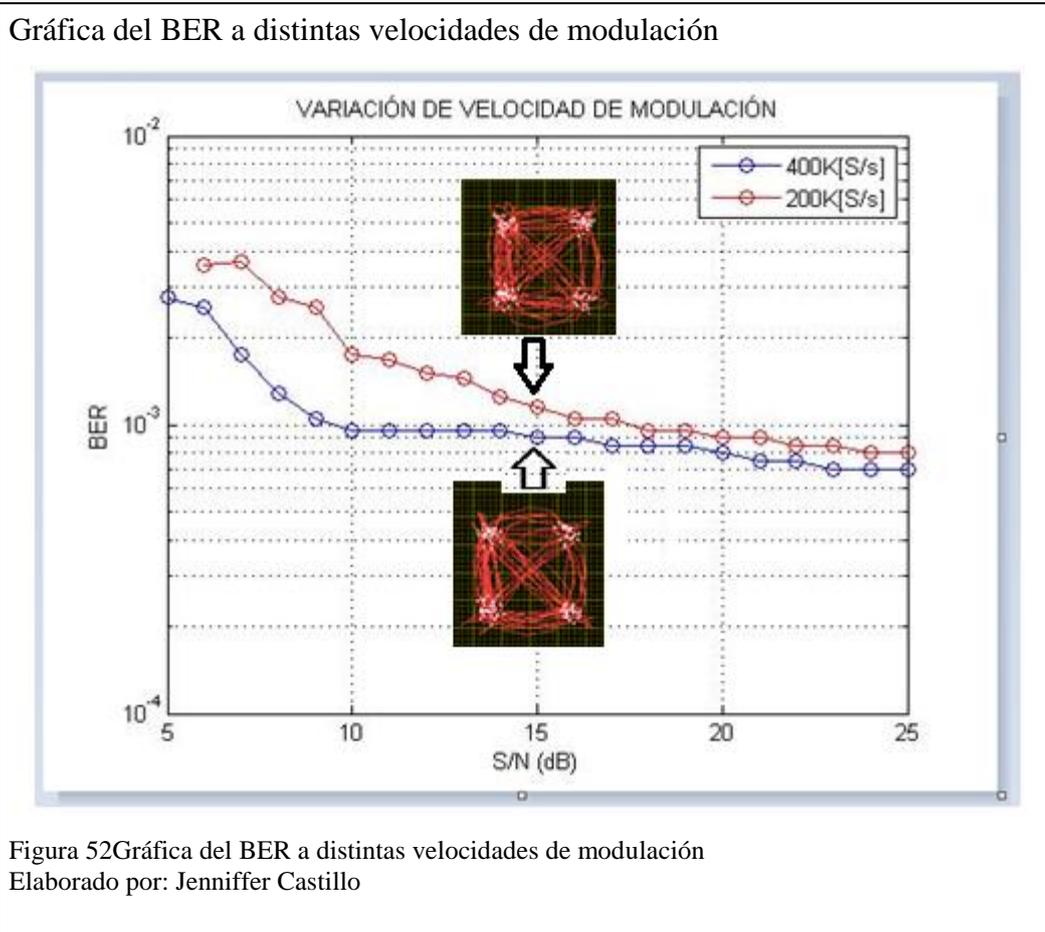


Figura 51 Espectro de frecuencia en variación de velocidad de modulación
Elaborado por: Jenniffer Castillo

A una velocidad de modulación de 400K [Samples/s] se tiene una mejora en el BER equivalente a 8 dB en comparación a la velocidad de modulación de 200K [Samples/s], como se muestra en la figura 52, a pesar de esto se debe tomar en cuenta que para poder alcanzar ese valor es necesario duplicar el ancho de banda a utilizar, además se muestran los diagramas de constelación en recepción con una relación señal a ruido de 15dB. En la parte superior se muestra el diagrama de constelación a

una velocidad de modulación de 400K [Samples/s] y en la parte inferior se muestra el diagrama de constelación a una velocidad de modulación de 200K [Samples/s]



3.7 Variación de distancia

En esta prueba se usó el tipo de modulación QPSK, la velocidad de modulación 400K[Samples/s], la frecuencia de la portadora 915MHz y se varía la distancia entre el transmisor y el receptor.

Se tiene una diferencia de 3 dB de relación señal a ruido entre la distancia de 2[m] y la distancia de 3[m] la cual se aprecia en la figura 53 en conjunto con los diagramas de constelación en recepción a 15dB, para 2[m], 4[m] y 5[m], de la misma manera se puede observar una diferencia de 4dB de relación señal a ruido entre la distancia de 3[m] y 4 [m],

Si se toma como valor mínimo aceptable un valor de 15 dB de relación señal a ruido la distancia máxima entre transmisor y receptor es de 3[m]. Además se puede

observar un comportamiento similar para todas las distancias a partir de una relación señal a ruido de 20 dB

Gráfica del BER QPSK en variación de distancia

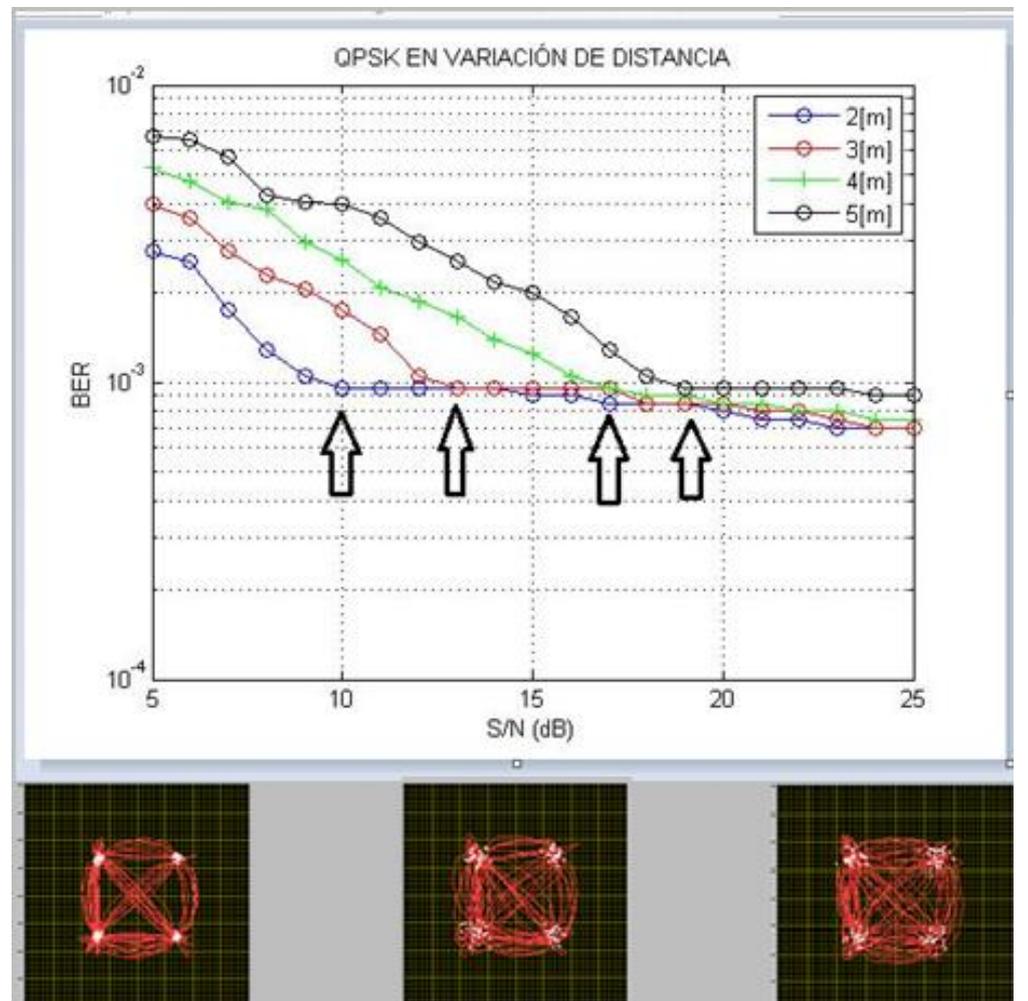


Figura 53 BER QPSK en variación de distancia
Elaborado por: Jenniffer Castillo

3.8 Variación de chip rate

Esta prueba se la realizó para las modulaciones BPSK y QPSK ya que tienen mejor desempeño frente a la modulación de 8-PSK, se mantuvo la velocidad de modulación 400K [Samples/s], la distancia 2[m] y se varia el valor del chip rate.

El chip tiene una relación directamente proporcional con el ancho de banda mientras mayor sea el valor del chip mayor será el ancho de banda la figura 54 ilustra la relación del chip y el ancho de banda, en la parte a) se puede apreciar que para un chip de 2 en BPSK el ancho de banda corresponde a 0.6MHz lo cual es menor en referencia al ancho de banda con 4 chips el cual se ilustra en la parte b).

Espectro de frecuencia BPSK con variación de chips

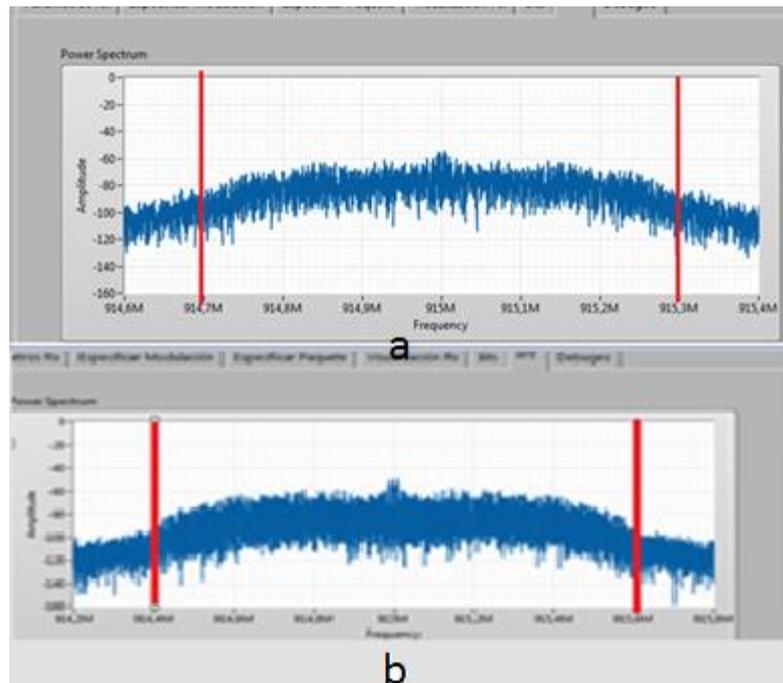


Figura 54 Espectro de frecuencia con variación de chip.
Elaborado por: Jenniffer Castillo

De igual manera como se muestra en la figura 55 se obtiene un ancho de banda de 0.3MHz para la modulación de QPSK cuando se utiliza un valor de chip rate de 2.

Espectro de frecuencia QPSK con 2 chips

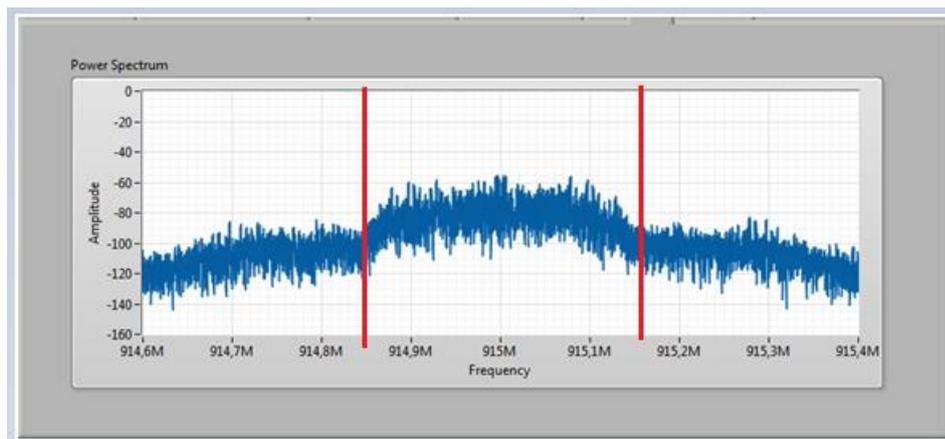
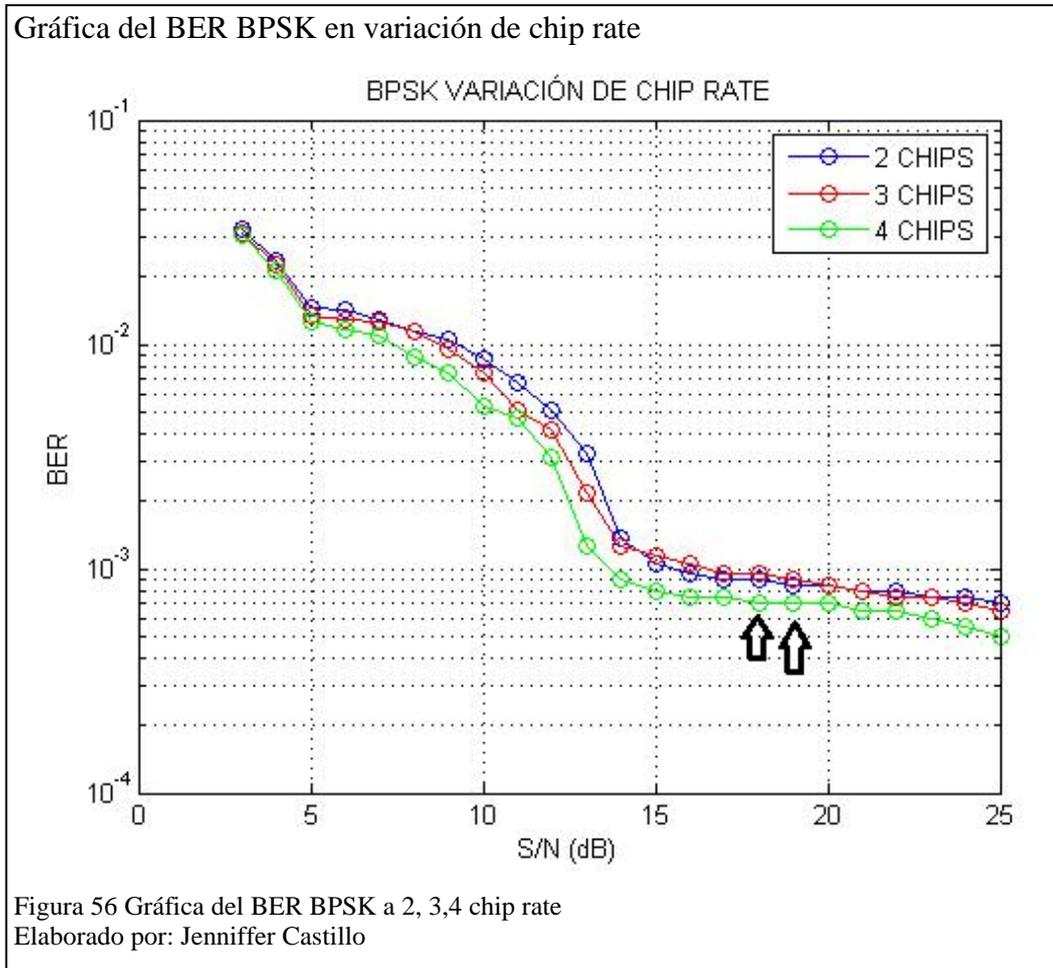


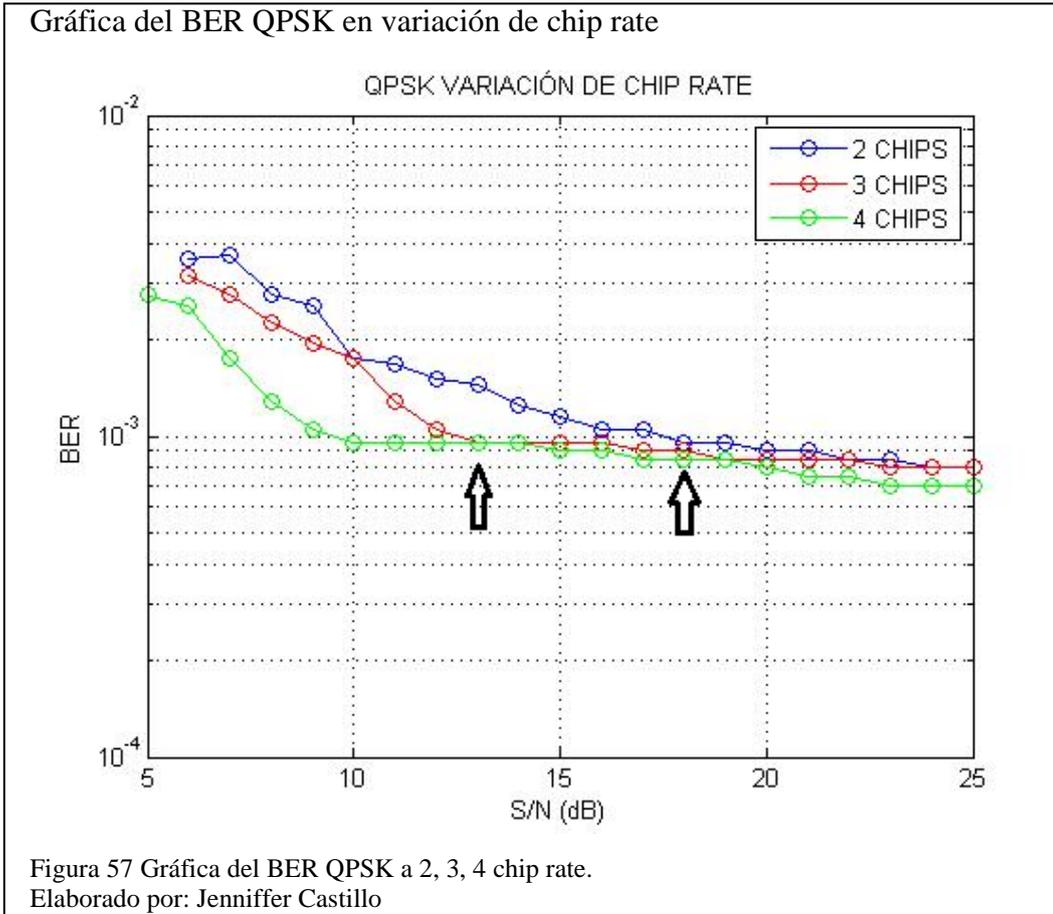
Figura 55 Espectro de frecuencia con 2chips
Elaborado por: Jenniffer Castillo

En la figura 56 para un valor de BER por debajo de 10^{-3} con la modulación de BPSK se tiene una diferencia de 4 dB de relación señal a ruido entre un chip de 3 y

un chip de 4, de la misma manera se puede observar una diferencia de 5dB de relación señal a ruido entre un chip de 2 y un chip de 4.



Para un mismo valor de BER por debajo de 10^{-3} la figura 57 muestra una diferencia de 3 dB de relación señal a ruido entre un chip de 3 y un chip de 4, de la misma manera se puede observar una diferencia de 8 dB de relación señal a ruido entre un chip de 2 y un chip de 4, obteniendo así un mejor desempeño del sistema con un chip de 4.



Hay que tener en cuenta que para lograr estos valores tanto en BPSK como en QPSK el ancho de banda también se ve afectado de acuerdo al valor del chip mientras más alto sea este, mayor será el ancho de banda.

3.9 Variación de potencia de transmisión

Esta prueba se la realizó para las modulaciones BPSK, QPSK y 8-PSK, se usó la velocidad de modulación 400k[Samples/s], la distancia 2[m] y el chip rate 4, se varió la potencia de transmisión para lo cual fue necesario variar la ganancia en el transmisor.

En la figura 58 se muestra el espectro de frecuencia de BPSK con una potencia de transmisión de -2dBm se puede ver que alcanza una amplitud de -60dB.

Espectro de potencia a -2dBm

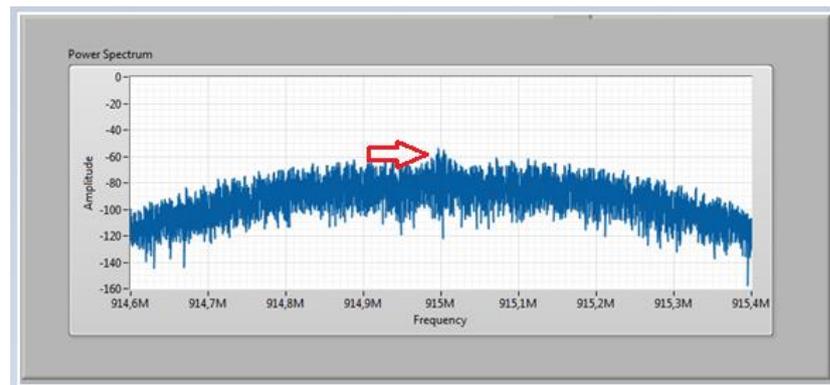


Figura 58 Espectro de potencia a -32dBm de transmisión
Elaborado por: Jenniffer Castillo

De la misma manera en la figura 59 se obtiene el espectro de potencia de la señal con una potencia de transmisión de -32dBm y se muestra una amplitud de aproximadamente -90dB.

Espectro de potencia a -32dBm

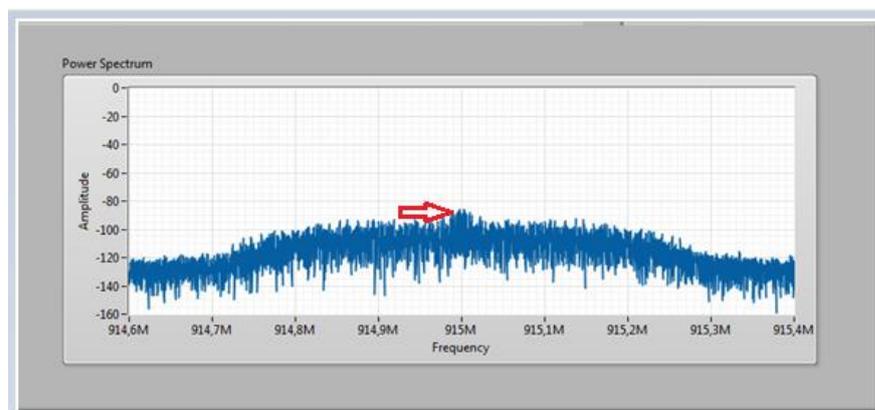
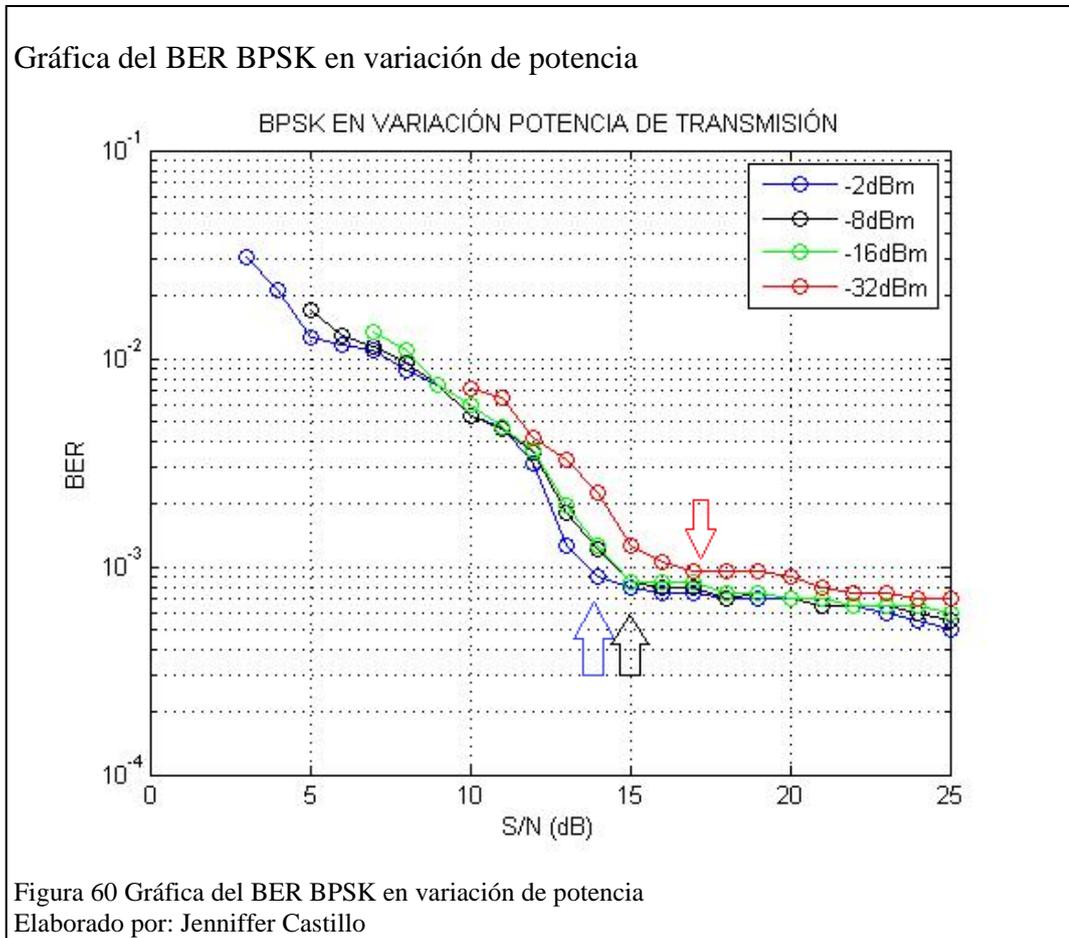


Figura 59 Espectro de potencia a -2dBm de transmisión
Elaborado por: Jenniffer Castillo

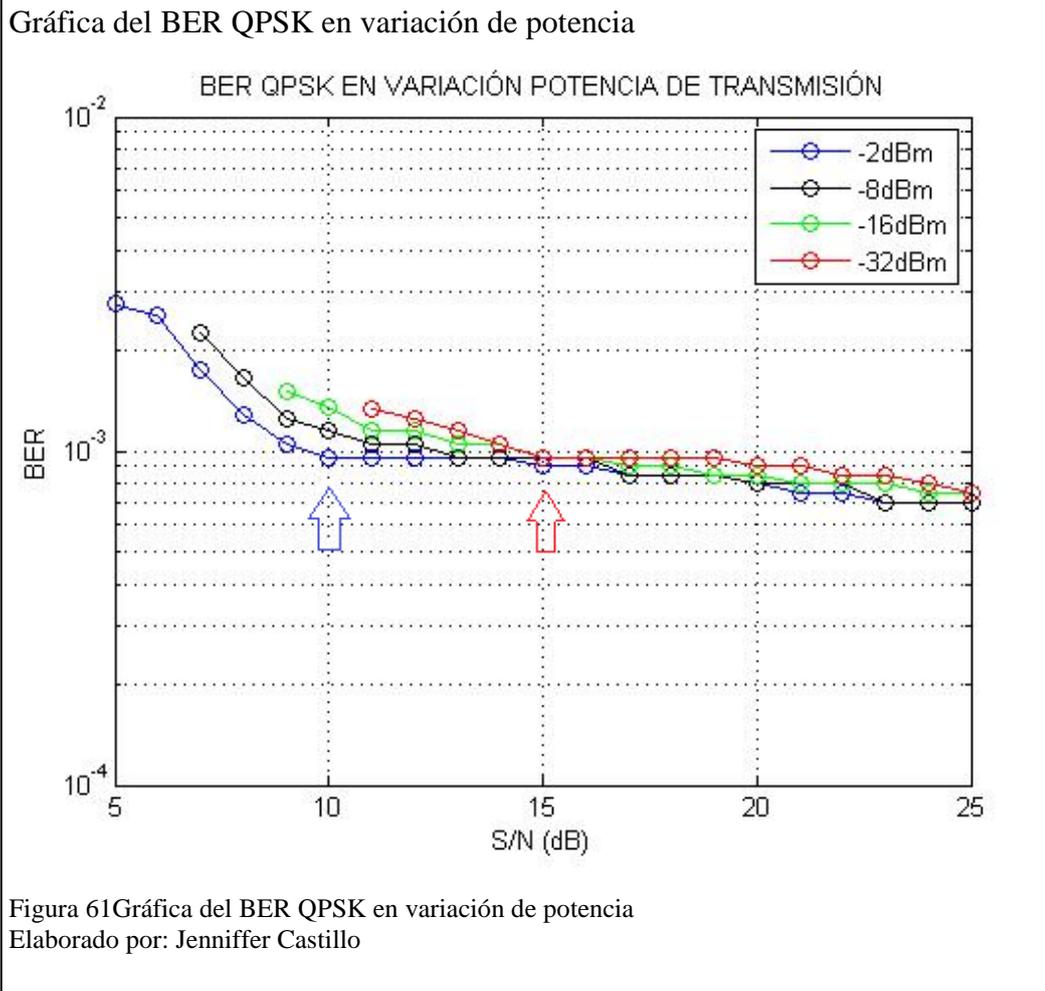
En cuanto a espectros de frecuencia se consigue los mismos valores en los tres tipos de modulación ya que la amplitud del espectro de frecuencia depende de la potencia de transmisión y no del tipo de modulación.

La gráfica de BER BPSK para esta prueba se ilustra en la figura 60, la cual muestra en el indicador azul un BER de 10^{-3} a una relación señal a ruido de 14dB para una potencia de -32dBm, el indicador negro para una potencia de -8dBm y -16dBm, el indicador rojo indica el valor del BER a una relación señal a ruido de 17dB, con lo cual se muestra una diferencia de 3dB de relación señal a ruido entre una potencia de

transmisión de -2dBm y -32dBm, con lo cual se muestra que la transmisión mejora con el incremento de la potencia.



Para la modulación de QPSK la mejora del BER con una potencia de transmisión de -2dBm equivale a 5 dB en relación con la potencia de transmisión de -32dBm, -8dBm y -16dBm como se muestra en la figura 61.



En la modulación de 8-PSK en la figura 62 se puede observar que para un mismo valor de BER por debajo de 10^{-3} en 8-PSK se muestra una diferencia de 2 dB de relación señal a ruido entre la potencia de transmisión de -2dBm y las potencias de transmisión de -8dBm, -16dBm y -32dBm.

Gráfica del BER 8-PSK en variación de potencia

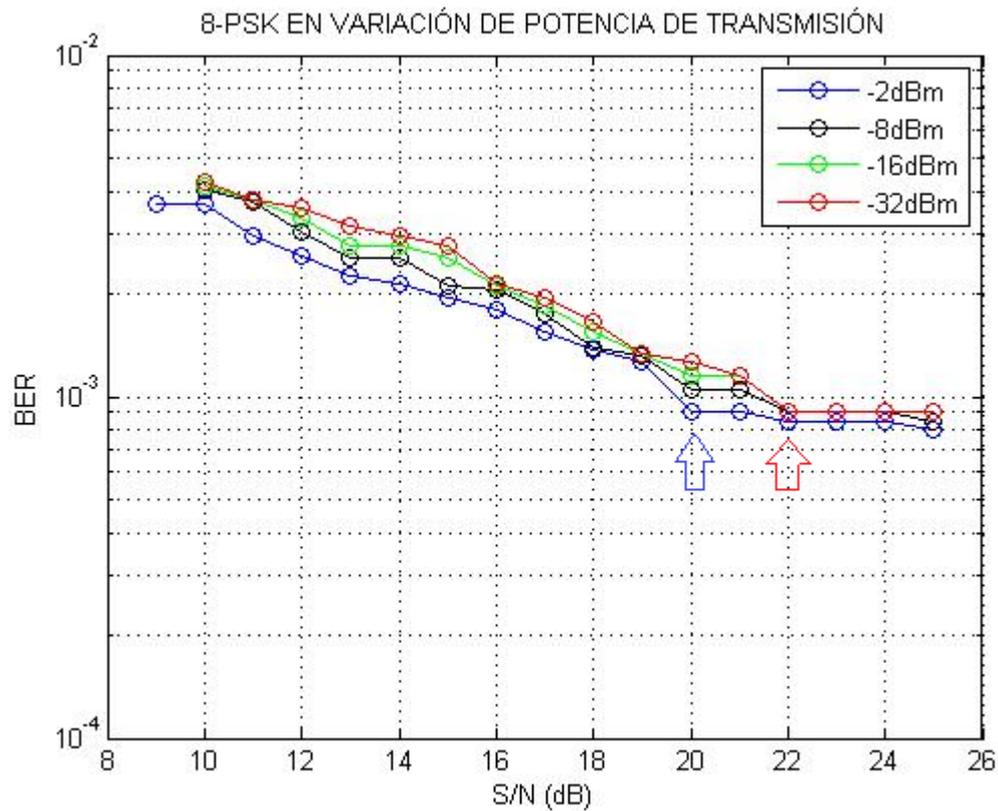


Figura 62 Gráfica del BER 8-PSK en variación de potencia
Elaborado por: Jenniffer Castillo

Para poder obtener el mejor valor de BER a la mayor relación señal a ruido, en todas las modulaciones ha sido necesario incrementar 30dBm en la potencia de transmisión lo que equivale a una ganancia de 31 dB.

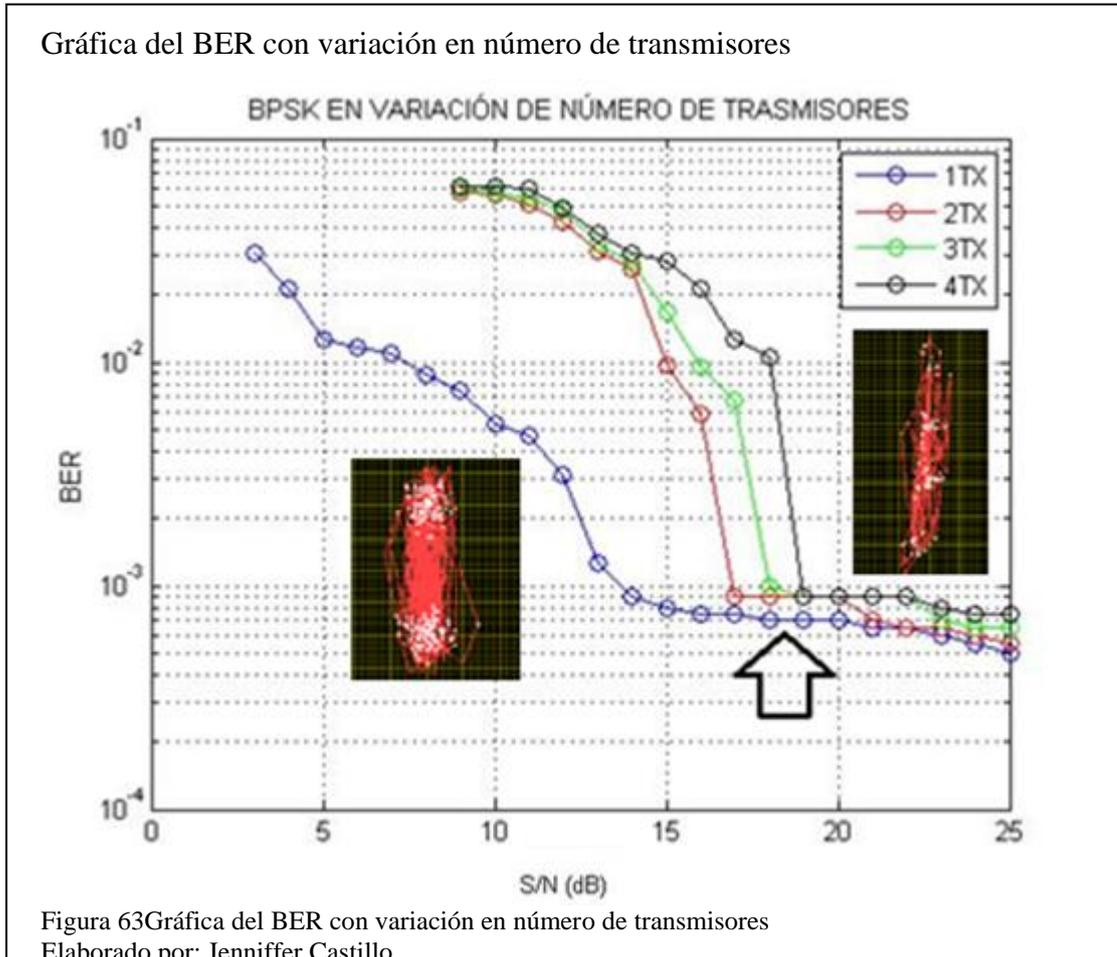
3.10 Variación de número de usuarios

Esta prueba se realizó para las modulaciones de BPSK y QPSK porque muestran mejor desempeño con la variación de la relación señal a ruido, se usó la velocidad de modulación de 400K [Samples/s], la distancia de 2[m] y el chip rate de 4 y se incrementaron usuarios.

Un BER por debajo de 10^{-3} se muestra en la figura 63 con una diferencia de 4 dB de relación señal a ruido entre un transmisor y 2 transmisores a partir de este punto se muestra una diferencia de 2dB para alcanzar el mismo BER tanto para 3 transmisores como para 4 transmisores.

Se obtiene un BER aceptable a partir de una relación señal a ruido de 19 dB. Los picos en el BER que se muestran en la gráfica se deben a que el Receptor no es capaz

de recibir los 63 paquetes enviados, en cuanto el receptor recibe los 63 paquetes alcanza un BER de 10^{-3} . Además se aprecia el diagrama de constelación a una relación señal a ruido de 17 dB para 1 transmisor y 4 transmisores.



Al realizar la prueba para QPSK como se muestra en la figura 64 no se consiguen valores aceptables de BER para más de 1 transmisor esto se debe a que QPSK al tener 4 muestras por símbolo tiene menor inmunidad al ruido, se aprecia los diagramas de constelación a una relación señal a ruido de 17dB para 1 transmisor y para 4 transmisores.

Gráfica del BER con variación en número de transmisores

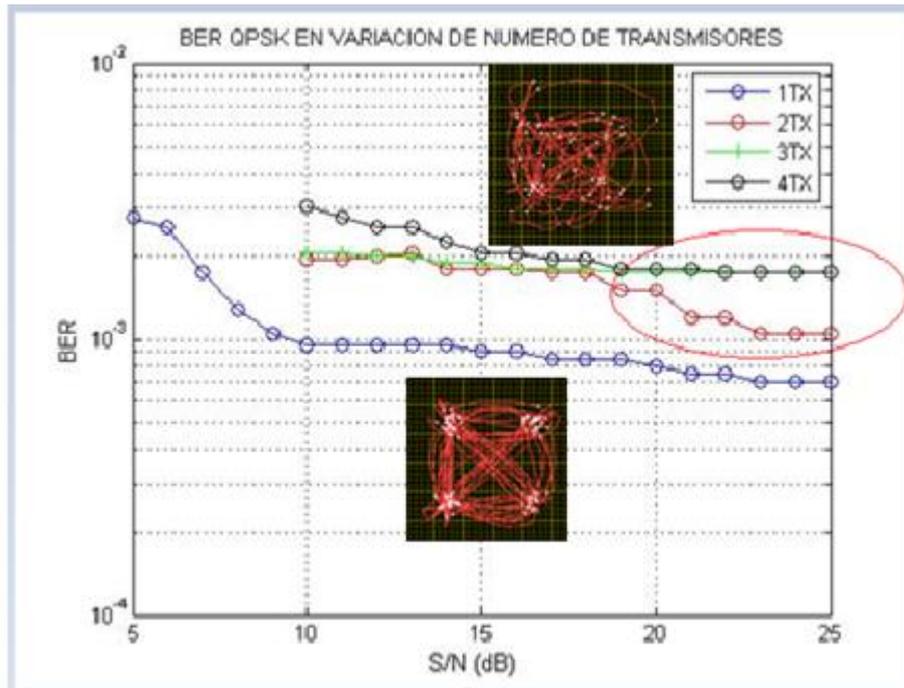


Figura 64 Gráfica del BER con variación en número de transmisores
Elaborado por: Jenniffer Castillo

Por lo tanto la modulación de BPSK es la seleccionada para trabajar con el sistema, para comprobar el desempeño DS-CDMA se realizó una prueba con 4 transmisores utilizando DS-CDMA y sin DS-CDMA, la figura 65 ilustra la gráfica del BER para esta prueba se puede apreciar claramente que al no utilizar DS-CDMA no se logra alcanzar un BER de 10^{-3} , comprobando así el funcionamiento del sistema.

Comparación del sistema DS-CDMA con 4 transmisores

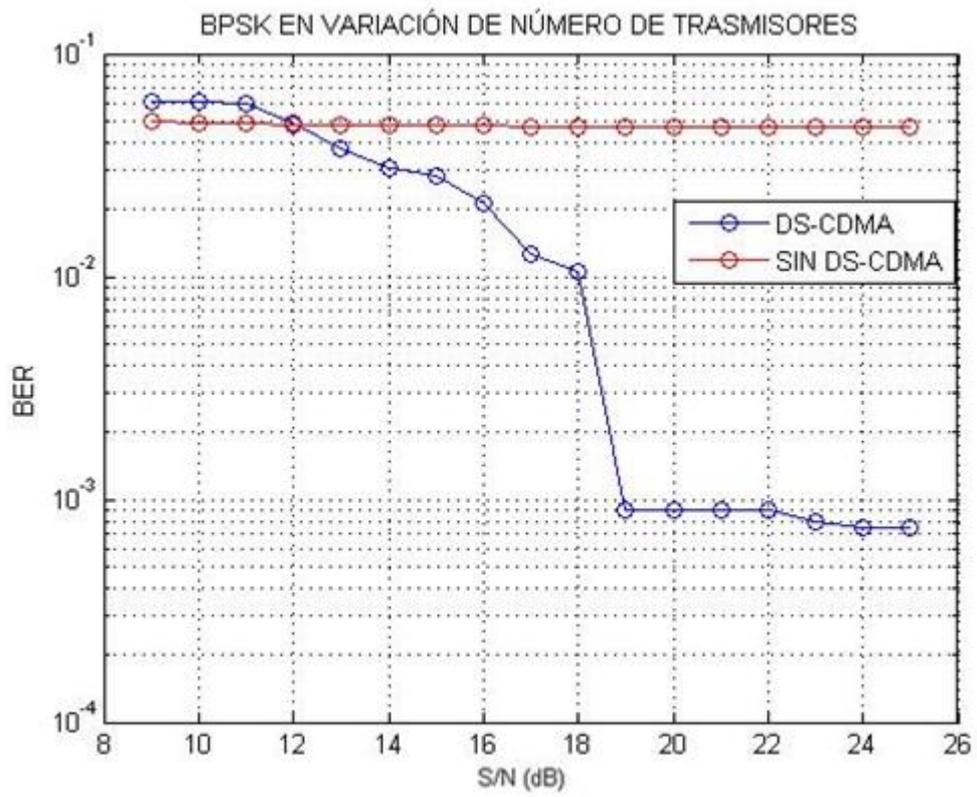


Figura 65 Comparación del sistema DS-CDMA
Elaborado por: Jenniffer Castillo

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES

- Se ha conseguido implementar y caracterizar un sistema de comunicaciones basado en DS_CDMA con USRP 2920, para la transmisión de datos mediante modulaciones BPSK, QPSK y 8-PSK.
- Los códigos pseudoaleatorios de secuencia PN de longitud 15 permitieron obtener un BER de 10^{-3} adecuado para las transmisiones inalámbricas, ya que permitieron generar secuencias con menor correlación.
- Para un sistema DS_CDMA la modulación que obtuvo mejor comportamiento en las pruebas realizadas es QPSK ya que muestra una BER de 10^{-3} con una relación señal a ruido de 10 dB teniendo una diferencia de 4dB en comparación con BPSK y de 10dB en comparación con 8-PSK.
- Cuando se incrementa el número de usuarios en el sistema DS_CDMA se observa que el mejor desempeño lo tiene la modulación BPSK, debido a que es más robusta frente al ruido y es la única que alcanza un BER de 10^{-3} con una relación señal a ruido de 19dB.

RECOMENDACIONES

- Al aumentar la longitud del paquete transmitido es recomendable fijar el tiempo de captura en el sistema ya que si este es demasiado pequeño se perderá información y se obtendría un valor de BER alto.
- Se recomienda para trabajos futuros un estudio más profundo de códigos de ensanchamiento ya que estos pueden ayudar significativamente en el desempeño del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- Ayala, E. (s.f.). *Repositorio digital EPN (sf)*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2015, de Estudio de la técnica de acceso múltiple por división de código óptico: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4175>
- Chavez, P. (2004). *Repositorio digital ESPOL*. Recuperado el 1 de Marzo de 2016, de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/3275/1/5794.pdf>
- Deslarmes, J. (1 de Agosto de 2008). *Spread Spectrum: análisis de la técnica direct sequence y sus aplicaciones*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2015, de <http://repositorio.edu.edu.ar:8080/xmlui/handle/123456789/298>
- Gallardo, J. (1 de Junio de 2006). *e-Reading*. Recuperado el 3 de Marzo de 2016, de Trabajos y proyectos fin de estudio de la E.T.S.I: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11244/fichero>
- Gallardo, P. (sf). *e-Reading Trabajos y proyectos de estudios de la E.T.S.I*. Recuperado el 15 de 09 de 2015, de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11244/direccion/Volumen+1%252F>
- Hassan, M. (sf). *Repositorio digital Universidad Tecnica De Valencia*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2015, de Planificación de sistemas UMTS mediante sistemas de información geográfica: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/2902/tesisUPV1930.pdf>
- Instuments, N. (2016). Recuperado el 21 de Marzo de 2016, de <http://latam.ni.com>
- Martínez, C. (Marzo de 2006). *DETECTOR MULTIUSUARIO PARA DS-CDMA BASADO EN SVM*. Recuperado el 21 de Agosto de 2016, de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11185>
- Montero, J. (sf). *Repositorio Digital UAM*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2015, de implementación de un sistema de comunicaciones basado en Software Radio: <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20140130JuanPabloMonteroHidalgo.pdf>
- National, & Instrument. (7 de Enero de 2014). *Comunicación digital entre dos NI USRP*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2015, de <https://decibel.ni.com/content/docs/DOC-34760>
- Rodriguez, M., & Rugel, M. (1 de Abril de 2015). *Diseño de un algoritmo para el análisis y monitoreo del estándar ISDB-Tb de la televisión digital terrestre*

usando una plataforma de radio definifo por software. Recuperado el 21 de Marzo de 2016, de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10383>

Sánchez, R. (9 de Mayo de 2014). *ANÁLISIS E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL ASK, FSK, M-PSK Y M-QAM MEDIANTE LA PROGRAMACIÓN DE CÓDIGO VHDL UTILIZANDO LA TECNOLOGÍA FPGA*". Recuperado el 12 de Julio de 2016, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3335#sthash.xNvYqoL6.dpuf>

Tecuanhuehue, J. (1 de Febrero de 2006). *UDLAP Bibliotecas*. Recuperado el 2 de Marzo de 2016, de Coleccion de Tesis Digitales: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/tecuanhuehue_r_j/capitulo_2.html

ANEXOS

Anexo 1 Datasheet USRP 2920



Technical Sales

(866) 531-6285
o1dms@ni.com

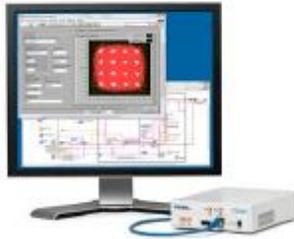
Requirements and Compatibility | Ordering Information | Detailed Specifications

For user manuals and dimensional drawings, visit the product page resources link on the card.

Last Revised: 2015-08-17 15:09:46.0

NI USRP-292x/293x Datasheet

Universal Software Radio Peripherals



- Affordable, rapid prototyping solution
- Tunable RF transceivers options covering 50MHz – 6GHz
- Stream up to 25MS/s baseband IQ for live host-based processing with LabVIEW
- Optional GPS disciplined OCXO improves clock precision and enables global device synchronization position (USRPs-293x)
- Plug-and-play MIMO synchronization
- Reference design examples for record & playback, physical layer prototyping, and spectral monitoring
- NI technical support and 1-year extendable warranty

Overview

NI USRP-292x and 293x software defined radio transceivers are designed for wireless communications teaching and research. Programmable with LabVIEW software, the USRP hardware is an affordable and easy-to-use RF platform for rapid prototyping applications such as record & playback, physical layer communication, spectrum monitoring, and more. With the ability to transmit and receive RF signals across a wide range of frequencies with up to 20 MHz of real-time bandwidth and plug-and-play MIMO support, the NI USRP enables a broad range of RF/communications applications covering common standards such as broadcast radio, digital TV, GSM Cellular, GPS, 802.11 (WiFi) and ZigBee®. LabVIEW brings increased productivity with an intuitive graphical programming approach, and m-file script compatibility enabling development of algorithms for physical layer communications. The NI USRP-293x has an integrated GPS-disciplined dock that provides improved frequency accuracy, synchronization capabilities, and GPS position information.

[Back to Top](#)

Requirements and Compatibility

OS Information

- Windows 7 32-bit
- Windows 7 64-bit
- Windows 8 1 32-bit
- Windows 8 1 64-bit
- Windows XP

Driver Information

- NI-USRP

Software Compatibility

- LabVIEW

[Back to Top](#)

Comparison Tables

Model	Frequency	GPS-Disciplined	Freq. Accuracy (No GPS Antenna)
NI USRP-2920	50 MHz to 2.2 GHz	No	2.5 ppm
NI USRP-2921	2.4 to 2.5 GHz and 4.9 to 5.9 GHz	No	2.5 ppm
NI USRP-2922	400 MHz – 4.4 GHz	No	2.5 ppm
NI USRP-2930	50 MHz – 2.2 GHz	Yes	25 ppb
NI USRP-2932	400 MHz – 4.4 GHz	Yes	25 ppb

Detailed Specifications

Characteristics	NI USRP-2920	NI USRP-2921	NI USRP-2922	NI USRP-2930	NI USRP-2932
Transmitter					
Frequency Range	50MHz-2.2GHz	2.4GHz-2.5GHz 4.9GHz-5.9GHz	400MHz-4.4GHz	50MHz- 2.2GHz	400MHz-4.4GHz
SW Adjustable TX Frequency Step			< 1KHz		
MAX Output Power			15 dBm - 20 dBm		
TX Output Power Gain Range			0 dB - 31 dB		
SW Adjustable Output Power Step Size			1dB		
Instantaneous Real-Time Bandwidth			20MHz (16bit samples) 40MHz (8bit-samples)		
DAC (Digital to Analog Conversion)			2 channels, 400MS/s, 16 bit		
DAC SFDR (Spurious Free Dynamic Range)			80 dB		
Receiver					
Software Adjustable RX Frequency Step			< 1KHz		
Max Input Power (Pin)			0 dBm		
Noise Figure			5 to 7 dB		
			20MHz (16bit samples)		
Instantaneous Real-Time Bandwidth			40MHz (8bit-samples)		
ADC (Analog to Digital Conversion)			2 channels, 100MS/s, 14 bit		
ADC SFDR (Spurious Free Dynamic Range)			88 dB		

Anexo 2 Imágenes de toma datos



Captura de datos a 3 m de distancia



Prueba con 4 Transmisores y modulación BPSK