



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE INGENIERÍAS

CARRERA:

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA

Tesis previa a la obtención del título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

TEMA:

**DISEÑO DE UN ALGORITMO PARA EL ANÁLISIS Y MONITOREO DE
PARÁMETROS DE SEÑALES LTE 4G UTILIZANDO LA PLATAFORMA
DE RADIO DEFINIDO POR SOFTWARE (USRP).**

AUTORES:

**LUIS ANDRÉS BOLAÑOS DELGADO
ABEL ANTONIO RUIZ VILLAMAR**

DIRECTOR:

ING. CARLOS BÓSQUEZ

GUAYAQUIL, MAYO DE 2015

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros autorizamos a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro. Además, declaramos que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Guayaquil, Mayo de 2015

Luis Andrés Bolaños Delgado.

Abel Antonio Ruiz Villamar

DEDICATORIA

Dedico este proyecto, con el más sincero agradecimiento, a Dios. Ya que él es el dador de vida sin él no hubiese sido posible.

A toda mi familia, que creyó y puso toda su confianza en mí ya que jamás dudaron de mi capacidad para poder hacer este proyecto, y que puedo lograr cualquier objetivo que tenga en la vida y que saben que cada día puedo dar más de mí.

En especial, a esas personas que siempre me dieron las mejores sugerencias y a quienes han sido parte fundamental en mi vida al estar siempre conmigo dándome su apoyo y consejo, pero sobre todo, siendo el más grande ejemplo de que cuando se hacen las cosas con amor y en presencia de Dios, todo en la vida tiene sentido.

Luis Andrés Bolaños D.

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarlo cada día más.

A mi madre quien siempre me inculcó lo mejor para ser un hombre de bien, ahora estoy cumpliendo uno de sus sueños más anhelados.

A mi amada esposa Pamela y a mis hijos Iker y Moroni, que han sabido comprenderme y apoyarme en todos los momentos de mi vida, quienes son la mayor inspiración para enfrentar nuevos retos, a ellos que forman mi mayor orgullo, porque mis éxitos y fracasos, son compartidos y mis alegrías y tristezas también son suyas.

Abel Antonio Ruiz Villamar.

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios, el principal guía en el camino hacia el éxito de mis objetivos, por ser quien me dio la salud, la vida y el intelecto para alcanzarlos. Porque siempre estuvo y está allí cuando más lo necesito y en cada paso que doy.

A mis padres por ser mi ejemplo a seguir y pilar fundamental en mi vida. Por sus enseñanzas y sabios consejos, que con absoluto amor de aquella persona que me dio la vida terrenal, supo formar en mí el criterio necesario para alcanzar cualquier meta que me propusiera y lo lograra.

A mis hermanos que son aquellos que me enseñaron que para alcanzar el éxito se lo consigue venciendo el sueño y el cansancio, porque me enseñaron que agradar a Dios con mis acciones e infundirme el precepto de que con Dios todo se puede. Por enseñarme el equilibrio que debe existir en mi vida entre lo espiritual y lo intelectual.

A todos los profesores, que fueron mis instructores y formadores, en todas las etapas de mi vida estudiantil, dándome el carácter necesario para luchar por todo aquello que me proponga.

Al Ing. Carlos Bósquez por su apoyo para lograr finalizar mi trabajo de titulación de grado. Así mismo al Ing. Víctor Huilcapi por todo el aporte brindado en la etapa final de la universidad.

A todos mis familiares y amigos, por creer en mí y por ofrecerme sus consejos y sugerencias que son los que me impulsa cada día a salir adelante.

Luis Andrés Bolaños Delgado.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme permitido llegar hasta estas instancias, ya que sin él no hubiera sido posible hacer realidad mi sueño tan anhelado.

A mi esposa e hijos que siempre fueron mi motivación diaria y más importante para poder culminar con éxito mi carrera.

A mi madre y hermanos por todo el apoyo que me dieron durante mi transcurso como estudiante, tanto en los tiempos buenos como malos.

Y a todas las personas importantes en mi vida, que me apoyaron durante todo el proceso de titulación que me daban fuerzas para seguir adelante cuando más lo necesitaba, siendo pilares importantes en la obtención del título.

A mi Tutor, Ingeniero Carlos Bósquez quien nos brindó su apoyo para poder realizar de la mejor manera el proyecto de tesis. Al igual el resto de conocidos por su valiosa guía y asesoramiento a la realización de la misma.

Abel Antonio Ruiz Villamar.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA	3
1.1 Planteamiento del problema.....	3
1.2 Delimitación del Problema.....	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Justificación.....	6
1.5 Hipótesis.....	6
1.6 Variables e indicadores	7
1.6.1 Variables:	7
1.6.2 Indicadores	7
1.7.1 Métodos.....	9
1.7.2 Técnicas.....	10
1.7.2.1 Técnica Documental.....	10
1.7.2.2 Técnica de Campo.....	10
1.7.3 Instrumentos de investigación y recolección de datos	10
1.7.3.1 Investigación Científica	10
1.7.3.2 Investigación Experimental.....	10
1.8 Población y muestra	11

1.8.1 Población.....	11
1.8.2 Muestra.....	11
1.9 Descripción de la propuesta	11
1.9.1 Beneficiarios	11
1.9.2 Impacto.....	11
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	12
2.1 Antecedentes	12
2.2.1 Concepto de Radiación Electromagnética	12
2.2.2 Espectro Electromagnético.....	12
2.2.3 Tipos de radiacion	14
2.2.4 Propagación de radiofrecuencias.....	20
2.2.5 Modulación	24
2.2.5.1 Tipos de Modulación analógica	25
2.2.5.2 Tipos de modulación digital.....	27
2.3 OFDM	29
2.3.1 Historia.....	30
2.3.2 Funcionamiento OFDM	31
2.3.3 Imperfecciones de los sistemas OFDM.	32
2.4 LTE	33
2.4.1 Bandas E-UTRA Operativos.....	35
2.4.2 Arquitectura de Red LTE	35
División funcional entre la E-UTRAN y el EPC	39
2.5 SDR.....	39
2.5.1 USRP.....	40
2.5.2 LabVIEW	41
2.5.2.1 Partes del sistema	42
2.5.2.1.2 Diagrama de Bloques	43

CAPÍTULO III. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	45
3.1 Descripción del algoritmo	45
3.1.1 El Software de desarrollo Labview	45
3.1.2 El Transmisor	46
3.1.3 El receptor	52
3.1.3.2 Parámetros de configuración.....	55
3.2 Bloque de sincronización de frecuencia.....	56
3.2.1 Bloque de temporización de símbolos	58
3.2.2 Bloque de detección de trama	60
CAPÍTULO IV. PRESENTACIÓN DE MUESTRAS Y RESULTADOS	67
4.1 Pruebas realizadas en el Laboratorio.....	67
4.1.1 Configuración para el transmisor	69
4.1.2 Configuraciones para el receptor	71
CONCLUSIÓN	75
RECOMENDACIONES	76
CRONOGRAMA.....	77
PRESUPUESTO	77
BIBLIOGRAFIA	78
ANEXOS	79
ACRÓNIMOS.....	79

ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura 1: Gráfico de los tipos de espectro que existen.....	13
Figura 2: Gráfico de la refracción en el espacio	22
Figura 3: Tipos de reflexión de onda	23
Figura 4: Propagación de interferencias.....	24
Figura 5: Gráfica de la portadora AM.....	26
Figura 6: Onda de Frecuencia Modulada	26
Figura 7: Modulación por Fase	27
Figura 8: Diagrama de constelación 16-Qam.....	29
Figura 9: Imagen uso de prefijo cíclico para conservar la ortogonalidad	31
Figura 10: Esquema de un sistema OFDM en banda base.....	32
Figura 11: Grafico ilustrativo de velocidades de diferentes tecnologías	33
Figura 12: Transmisión OFDM antenas.....	34
Figura 13: Bandas en las que trabaja OFDM	35
Figura 14: Diagrama de Bloques	36
Figura 15 : Arquitectura de red UMTS	37
Figura 16: Arquitectura de núcleo de paquetes evolucionado (EPC)	38
Figura 17: EUTRAN – EPC.....	39
Figura 18: Diagrama de bloques de un SDR.....	40
Figura 19: Equipo NI-USRP 2920	41
Figura 20 : Panel frontal de un VI.....	43
Figura 21: Diagrama de bloques de un VI	44
Figura 22: Sistema de desarrollo Labview	46
Figura 23: Entorno de programación de Labview.....	46
Figura 24 : OFDM TX	47
Figura 25: VI principal OFDM TX.....	47
Figura 26: VI diagrama de bloques OFDM TX.....	48
Figura 27: pantalla principal del VI OFDM TX	48

Figura 28: Ventana NI-USRP Configuration Utility	49
Figura 29: Configuración básica de un transmisor	50
Figura 30: Paleta de controles del NI-USRP	51
Figura 31: Flujo general de programación TX.....	51
Figura 32: Esquema básico del transmisor	52
Figura 33: OFDM RX	52
Figura 34: Sistema de recepción OFDM en labview	53
Figura 35: VI diagrama de bloques OFDM RX parte 1.....	53
Figura 36: VI diagrama de bloques OFDM RX parte 2.....	54
Figura 37: Pantalla principal de VI OFDM RX	54
Figura 38: Flujo general de programación RX	55
Figura 39: Esquema básico del receptor	55
Figura 40: Pantalla principal de VI de sincronización	56
Figura 41: Pantalla principal de VI de sincronización	56
Figura 42: Pantalla principal de VI de sincronización	57
Figura 43: Bloque de sincronización OFDM.....	57
Figura 44: Panel frontal de VI temporización de símbolos.....	58
Figura 45: Diagrama de bloques del VI temporización de símbolos.....	59
Figura 46: Diagrama de bloques del VI temporización de símbolos.....	59
Figura 47: Panel frontal del VI Detección de Trama	60
Figura 48: Diagrama de bloques del VI detección de trama parte 1	60
Figura 49: Diagrama de bloques del VI detección de trama parte 2.....	61
Figura 50: Diagrama frontal del VI QAM TX	62
Figura 51: Pantalla de configuración de parámetros para transmitir	62
Figura 52: Bloques de programación de VI QAM TX	63
Figura 53: Bloque selector del tipo de QAM	63
Figura 54: Bloque selector del tipo de QAM	64
Figura 55: Vista Principal del VI Generador QAM System	64
Figura 56: Vista Principal del VI demodulador QAM RX	65
Figura 57: Diagrama de programación en bloque QAM RX entrada	65
Figura 58: Diagrama del demodulador QAM RX grafica de datos	66
Figura 59: Conexión de equipos para pruebas de TX y RX	67
Figura 60: Vista frontal de conexión de los equipos NI-USRP	68

Figura 61: Antena VERT400	68
Figura 62: Representación del EVM.....	69
Figura 63: Configuración de VI transmisor	69
Figura 64: Configuración de parámetros del NI-USRP	70
Figura 65: Configuración de parámetros OFDM transmisor	70
Figura 66: Configuración de parámetros OFDM receptor	71
Figura 67: Parámetros de modulación del receptor.....	72
Figura 68: Configuración de parámetros de OFDM del receptor	72
Figura 69: Vista principal del VI receptor OFDM.....	73

RESUMEN

AÑO	ALUMNO	DIRECTOR DE TESIS	TEMA DE TESIS
2015	Bolaños Delgado, Luis Andrés Ruiz Villamar, Abel Antonio	Ing. Carlos Bosquez	“Diseño de un algoritmo para el análisis y monitoreo de parámetros de señales 4G LTE utilizando la plataforma de Radio Definida por Software (USRP).”

El siguiente proyecto está enfocado al diseño de un algoritmo para el monitoreo de señales LTE 4G, esta es una tecnología nueva que está en auge en nuestro país que en la actualidad solo cuenta la empresa pública CNT EP y en los próximos meses las empresas privadas CONECEL y OTECEL, puede llegar a una velocidad de transferencia de datos mayor a los 100 Mbps siempre que haya una buena condición de señal, un ancho de banda de 1,4 MHz a 20 MHz y un Esquema de Modulación QPSK y QAM. Como componentes principales tenemos un dispositivo de transmisión y recepción de radiofrecuencias programable y de desarrollo (SDR) llamado NI USRP 2920 el cual permite trabajar en frecuencias de 1.7 GHz a 2.1GHz que utilizan los celulares con tecnología LTE 4G, además el algoritmo está diseñado con el software propietario LabVIEW de National Instrument quien cuenta con todos los implementos y herramientas virtuales necesarias, el cual tiene como tarea única, la medición de parámetros de señales LTE del espectro radio eléctrico y transmisión de señal. Este sistema se utiliza especialmente como una herramienta de análisis, para el estudio de este tipo de señales, de esta forma se puede facilitar a los nuevos estudiantes de la carrera de telecomunicaciones una nueva herramienta de estudio.

PALABRAS CLAVES: Recepción, Modulación OFDM, QAM, Banda LTE, Radiofrecuencia, Receptor, Frecuencia, Directividad, Ganancia.

ABSTRACT

AÑO	ALUMNO	DIRECTOR DE TESIS	TEMA DE TESIS
2015	Bolaños Delgado, Luis Andrés Ruiz Villamar, Abel Antonio	Ing. Carlos Bosquez	"Design of an algorithm for the analysis and monitoring of signal parameters 4G LTE platform using Software Defined Radio (USRP) . "

The next project is showing the design of an algorithm for monitoring 4G LTE signals, this is a new technology that is booming in our country that currently only has the public company CNT EP and in the coming months CONECEL private companies and OTECEL, can reach transfer speeds greater than 100 Mbps data whenever there is a good signal condition, a bandwidth of 1.4 MHz to 20 MHz and a modulation scheme QPSK and QAM. As main components have a device transmitting and receiving RF programmable and development (SDR) called NI USRP 2920 which allows working at frequencies of 1.7 GHz to 2.1GHz using LTE 4G cellular technology, and the algorithm is designed with own National Instruments LabVIEW software who has all the necessary tools and virtual tools, which has the sole task of measuring parameters LTE radio spectrum signals and signal transmission. This system is mainly used as an analytical tool for the study of this type of signals, thus can provide new students studying telecommunications a new study tool.

KEYWORDS: Reception, OFDM Modulation, QAM, LTE band, Frecuency, Gain, Receiver, Frequency, Directivity.

INTRODUCCIÓN

El avance de las telecomunicaciones, mayores velocidades de transmisión de datos, confiabilidad y seguridad, han sido factores muy decisivos dentro de nuestra sociedad cada vez más dependiente de un sistema de comunicación que se ajuste a las necesidades actuales de consumo para estar comunicado. Pero existe un factor a tener en cuenta, que es el ancho de banda. Este es un recurso limitado que está regulado por entidades gubernamentales, al ser un recurso muy escaso, es también muy costoso por lo cual debemos aprovechar el espectro disponible de manera eficiente.

Por la importancia del tema se ha decidido proponer como proyecto de grado, el desarrollo de un sistema de comunicación inalámbrico basado en la recepción de señales LTE 4G, con especial énfasis en el análisis y desarrollo de un algoritmo que analice los parámetros de calidad de las señales LTE emitidas por el generador de señales, para ser usado como tema educativo en el área de las telecomunicaciones.

Este proyecto está basado principalmente en el uso de una plataforma de hardware configurable que presta las posibilidades de trabajar con radios definidos por software, esta es NI-USRP 2920 y también el software LabVIEW en el que se desarrolla la interfaz controlador del sistema.

El objetivo principal del algoritmo es analizar señales de frecuencia LTE.

Los objetivos específicos son los siguientes

- Analizar los parámetros de calidad de las señales LTE
- Simular e implementar en un SDR de envío y recepción de señales LTE, utilizando módulos NI-USRP 2920 para la recepción de la señal.

En el capítulo uno se da una breve explicación acerca de la evolución de las señales celulares en el país y la eficiencia del sistema de comunicación OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales), la explicación de un esquema general de recepción de las señales LTE (Long Term Evolution).

En el capítulo dos se describe de manera más extensa cada una de las partes que conforman el sistema de comunicación OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales) y los conceptos necesarios para el entendimiento de este tipo de sistemas. Además se realiza el análisis de las variables de estimación dentro los algoritmos de sincronización de trama y corrección de la frecuencia de portadora. Estos valores serán verificados a través de simulaciones.

En el capítulo tres consta de todos las etapas necesarias para la realización del proyecto además de los parámetros que en conjunto, pondrán en marcha el sistema. Se detallan los diagramas de bloques y las conexiones que comprenden la totalidad del sistema tanto la parte física de la interfaz controladora de los parámetros del sistema.

En el capítulo cuatro se documenta las pruebas realizadas en el laboratorio y en campo una vez obtenido el sistema ensamblado y funcional en su totalidad. Estas pruebas constaran de tres etapas las en las que se denotan la funcionalidad y datos recolectados.

CAPÍTULO I. EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

En el país la tecnología 4G LTE (Long Term Evolution) representa un elemento clave en la evolución de las redes móviles ya que sus características lo convierten en la solución para los problemas de capacidad y conectividad que se presentan en la actualidad. Así mismo el número de usuarios en el país ha aumentado considerablemente ocasionando que los estándares de calidad sean cada vez más altos para satisfacer las necesidades de los usuarios.

Las altas tasas de velocidad y las tecnologías utilizadas en el estándar, basadas en IPv4 e IPV6, es capaz no solo de satisfacer la creciente demanda de tráfico de datos sino que también el uso de dispositivos avanzados y de aplicaciones en la nube. La tecnología LTE es un estándar desarrollado por 3GPP con el objetivo de lograr la convergencia entre redes alámbricas e inalámbricas mediante el uso de toda clase de dispositivos, además de optimizar el uso del espectro, reducir los costos, mejorar la calidad de servicio y brindar una mayor seguridad en la red.

Para una satisfactoria operación de las tecnologías IMT avanzadas son necesarios bloques de espectro más anchos y contiguos en los que se pueda aprovechar al máximo las características de la tecnología como el método OFDMA (versión multiusuario de la conocida OFDM), distinguido como la mejor forma de aprovechar anchos de banda mayores a 10 MHz. Es por esto que los países alrededor del mundo se han enfocado en liberar espectro y destinarlo a la implementación de la tecnología LTE. El Estado ecuatoriano asignó bandas de frecuencia AWS (1700/2100MHz) para la explotación del servicio en LTE a la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT), que específicamente, inició la comercialización masiva desde abril de 2014. Actualmente, en el espectro radioeléctrico existen Bandas de Frecuencia disponibles 700 MHz, 1900 MHz, 1700-2100 MHz y 2500 MHz. La tecnología LTE permite interactuar a los usuarios de dispositivos móviles con velocidad teóricas o ideales de 100Mbps y en el

caso de Ecuador de una velocidad máxima de hasta 20 Mbps de bajada y 4 Mbps de subida, según la oferta del operador público CNT EP.

Esta nueva tecnología móvil permite al usuario llegar a aplicaciones en alta definición y en 3D; hacer recolección de señales en alta definición y en tiempo real, sin interrupciones. Las altas velocidades son necesarias para el acceso a la información de tipo multimedia y en tiempo real, ya que son altamente demandadas para aplicaciones de teleeducación, telemedicina, videoconferencias, entre otras cosas lo que hace que cada vez los países inviertan en capacidad, infraestructura y conectividad. Con esta perspectiva, el Gobierno ecuatoriano apunta a crecer en el campo de las telecomunicaciones y ofrecer a la ciudadanía la mejor conexión, con servicios de calidad.

El presente proyecto procura entregar una síntesis de la arquitectura, características y otros métodos utilizados por las redes LTE para la entrega de servicios, los beneficios que ésta presenta frente a las tecnologías anteriores, la oferta y demanda por parte de las operadoras y los usuarios, las tasas de consumo que han impulsado el desarrollo de LTE, los planes de cobertura mediante la operación en distintas bandas de frecuencia, los aspectos que deben ser considerados al momento de elegir las bandas de operación, y el estado actual de las redes LTE en Ecuador especificando sus inicios en las telecomunicaciones, los procesos llevados a cabo en cada país, las reglas y condiciones impuestas por los reguladores, el estado de competencia en el que se encuentran, y los futuros progresos. Adicionalmente se presenta una comparación de los puntos más importantes de los estudios mencionados como las condiciones establecidas por los reguladores, los métodos de asignación de espectro y políticas de competencia.

1.2 Delimitación del Problema

El proyecto de grado luego de ser desarrollado y probado en el laboratorio de telecomunicaciones en la ciudad de Guayaquil, Ecuador en el año 2014 y 2015. El sistema de emisión de radiofrecuencias 4G LTE está compuesto primordialmente por un equipo USRP 2920 de National Instruments, una unidad de procesamiento o

cómputo, y las respectivas antenas de transmisión y recepción. Además de esto se tiene el soporte del software LabVIEW para el desarrollo de la interfaz controladora del sistema.

El procedimiento global del sistema abarca el análisis de los parámetros óptimos de las señales radioeléctricas para el logro de los objetivos planteados, la forma de intercepción de las señales LTE, análisis de potencia, radiación y frecuencias para estudiar este tipo de señales. Además de esto es importante considerar el estudio teórico de los factores que afectan la propagación de las ondas en el medio y los estándares establecidos para la transmisión inalámbrica.

Para la realización de las pruebas finales de funcionamiento en campo, el sistema en mención se realizaron pruebas de lo cual se tiene registro en gráficos de señales.

El proyecto se limita también dentro de los márgenes de conocimientos adquiridos durante el proceso de la carrera de ingeniería en electrónica y el conocimiento adquirido en las empresas donde laboramos el pensum académico de las materias impartidas durante el estudio de la carrera.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

El objetivo principal del algoritmo es analizar señales de frecuencia LTE para medir parámetros de TX y RX con la finalidad de que los estudiantes puedan hacer pruebas de señales LTE en los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana.

1.3.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Analizar señales LTE.
- Simular e implementar en un SDR, utilizando módulos NI-USRP 2920 para la recepción de la señales LTE.

- Diseñar y programar una aplicación para la interfaz controladora del dispositivo de transmisión-recepción NI-USRP.
- Calcular y analizar los parámetros de recepción de señales LTE
- Ensamblar el sistema y verificar su correcto y total funcionamiento.

1.4 Justificación

Con los conocimientos adquiridos durante el proceso de obtención del título de ingeniería en electrónica mención sistemas computacionales y con el objetivo de aportar significativamente al área de las telecomunicaciones, que las operadoras puedan ofrecer un buen servicios a los más de 1200000 usuarios que utilizan Smartphones es una problemática que acoge actualmente al sector de las telecomunicaciones, se analiza y diseña la propuesta de un sistema para el estudio de estas señales.

Este proyecto abarca en breves rasgos el análisis de los parámetros de transmisión de señales LTE, además de esto, la forma y niveles de propagación de la onda a transmitir, la integración total del sistema para lo cual, en hardware, es necesario un equipo NI-USRP y un software programable que sirva de interfaz y controle la transmisión los parámetros de la señal de radiofrecuencia.

1.5 Hipótesis

Mediante el diseño de un algoritmo del sistema para recepción y emisión de señales LTE, se obtiene una herramienta eficaz para el estudio de señales LTE, de esta manera mediante pruebas se adapta al actual sistema de toma de muestras de señales LTE y se fortalecerá el deseo del estudio de estas señales.

1.6 Variables e indicadores

1.6.1 Variables:

- Señal Ruido
- Modulación QAM
- Modulación QPSK
- BER
- MER
- EVM
- OFDM

1.6.2 Indicadores

Señal Ruido: Relación Señal Ruido (SNR), se define como la proporción existente entre la potencia de la señal que se transmite y la potencia del ruido que la corrompe, de tal manera que una SNR mayor, indica un ruido de fondo menos perceptible.

Modulación Qam: Modulación de amplitud en cuadratura (Qam), es una técnica que transporta dos señales independientes, mediante la modulación de una señal portadora, tanto en amplitud como en fase, Esto se consigue modulando una misma portadora, desfasada en 90° . La señal modulada en QAM está compuesta por la suma lineal de dos señales previamente moduladas.

Modulación Qpsk: Modulación angular (PSK), es una forma de modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos. La diferencia con la modulación de fase convencional (PM) es que mientras

en ésta la variación de fase es continua, en función de la señal moduladora, en la PSK la señal moduladora es una señal digital y, por tanto, con un número de estados limitado.

BER: Es la tasa de error binario, e define como el número de bits recibidos de forma incorrecta respecto al total de bits enviados durante un intervalo especificado de tiempo

MER: Es la tasa de error de modulación, define un factor que nos informa de la exactitud de una constelación digital. Esta es una herramienta cuantitativa que permite valorar cómo es de buena una señal modulada digital. Es el equivalente a la información que aporta SNR (Relación señal/ruido), para las modulaciones analógicas. Al igual que esta puede ser expresado en dB o en tanto por cien.

EVM: La magnitud del vector de error una medida utilizada para cuantificar el rendimiento de un radio digital transmisor o receptor. Una señal enviada por un transmisor ideal o recibida por un receptor tendría todos los puntos de la constelación precisamente en los lugares ideales, sin embargo varias imperfecciones en la aplicación (tales como fuga de portadora, la baja relación de rechazo de imagen, ruido de fase, etc.) hacen que los puntos de la constelación reales para apartarse de los lugares ideales. Informalmente, EVM es una medida de hasta qué punto los puntos son de los lugares ideales.

OFDM: es una técnica de multiplexado multiportadora. Múltiples subportadoras de poca capacidad se combinan en el transmisor para formar un compuesto de alta capacidad. El concepto fundamental de OFDM es que las subportadoras son ortogonales, La mayor presencia de OFDM la encontramos en el estándar europeo de televisión digital terrestre DVB-T. El principio de operación de este estándar, – llamado OFDM codificado (COFDM) guarda ciertas semejanzas con el estándar 802.16.

1.7 Metodología

Para el desarrollo de la investigación de nuestro proyecto se procedió a utilizar los siguientes métodos:

1.7.1 Métodos

Método deductivo

Para el diseño del algoritmo para receptar señales conformado por los equipos de comunicación NI-USRP 2920 colocado juntos a las antenas de monitoreo que sirve para las señales emitidas por las radio bases emisoras, aplicamos nuestros conocimientos de Electrónica de telecomunicaciones, así como nuestro conocimiento en señales, todo esto para que se pueda realizar la conexión de cada uno de los equipos utilizados para las pruebas de campo y con ayuda de los foros de USRP de Labview podemos realizar la configuración adecuada del equipo, con nuestros conocimientos en electrónica y asesoramiento elegimos el equipo ideal para la ejecución de los parámetros que ingresados en la configuración y así lograr que procese correctamente el algoritmo diseñado.

Método inductivo

Se implementó este prototipo gracias a los conocimientos en configuración y programación de Labview, de aplicaciones en Internet, y por la elaboración de manuales donde se involucra elementos de señales LTE.

La fusión de estas experiencias permite crear el algoritmo adecuado para que el proyecto funcione como se desea y junto a las pruebas reales que se realizan, confirmando la correcta operatividad del proyecto, poder expandir los conocimientos en este tipo de señales a nivel de investigación.

1.7.2 Técnicas

El tipo de técnicas que se utilizaron para el desarrollo del proyecto fueron las siguientes:

1.7.2.1 Técnica Documental

Para realizar el marco teórico del proyecto se realizó a raíz de los conceptos, parámetros y conocimientos que fusionan lo práctico con lo teórico y obtener el resultado deseado para que el proyecto sea eficiente.

1.7.2.2 Técnica de Campo

Esta técnica se realizó por medio de pruebas con cada uno de los elementos del programa, componentes y dispositivos, para comprobar así su funcionamiento y comportamiento al momento de ejecutar cada acción de manera ordenada, confirmando interacción de los equipos con las disposiciones enviadas por el software Labview.

1.7.3 Instrumentos de investigación y recolección de datos

El tipo de instrumento de investigación y recolección de datos que se utilizaron para el desarrollo del proyecto son las siguientes:

1.7.3.1 Investigación Científica

Se denomina Científico debido a que se recolecta información de fuentes calificadas como, tesis, libros, artículos, páginas web, que traten sobre los componentes del proyecto como lo son el equipo NI-USRP 2920, Labview, y otros sistemas implementados por profesionales, durante investigaciones realizadas por distintos centros de investigación.

1.7.3.2 Investigación Experimental

El método de investigación se denomina Experimental debido a que para conseguir que se cumpla el proceso correcto del sistema se realizaron pruebas en tiempo real y

así confirmar que cada elemento funcione correctamente de manera individual y en conjunto.

1.8 Población y muestra

1.8.1 Población

La población de este proyecto son las señales LTE que emiten las radio bases cerca de la Universidad Politécnica Salesiana.

1.8.2 Muestra

La muestra son las señales LTE que llegan al laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana.

1.9 Descripción de la propuesta

Con este proyecto aportamos una gran idea que sirva como método de monitoreo de señales LTE para estudio, en este prototipo se tiene un emisor y un receptor de señales OFDM, las mismas que transmiten señales LTE.

1.9.1 Beneficiarios

Los estudiantes de la carrera de telecomunicaciones de la Universidad Politécnica Salesiana.

1.9.2 Impacto

El analizador de señales LTE, se dedica al análisis de señales LTE de calidad de las transmisiones OFDM, por ende es muy útil para hacer pruebas de señales en varias frecuencias.

También apoya mucho a los usuarios finales sobre todo a aquellos que cuentan con planes de datos contratados, es una forma adicional de monitoreo y a la vez es la pauta para el inicio de una serie de mejoras que se le deben hacer a todos los sistemas de análisis de señales de celulares.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

El concepto básico de las telecomunicaciones es el de transmitir información de un lugar a otro, cualquiera que sea el tipo de información o datos que se quieran transmitir, siempre se realiza desde un transmisor hasta un receptor. Teniendo este concepto como base del proyecto, se desea transmitir datos de portadoras OFDM y recibir datos otras técnicas de comunicación digital para cumplir con la meta de sensar señales LTE.

2.2 Fundamentación teórica

2.2.1 Concepto de Radiación Electromagnética

La radiación electromagnética es un grupo de ondas de radio en frecuencias comprendidas entre algunos hercios hasta llegar a los gigahercios. Estas ondas se propagan en el espacio dando forma a las ondas electromagnéticas las cuales están formadas de campos magnéticos y eléctricos. Para lograr la transmisión de ondas de radio de un punto a otro Esto se logra convirtiendo la información original a energía electromagnética, para transmitirla a continuación a una o más estaciones receptoras, donde se convierte a su forma original. La energía electromagnética se puede propagar en forma de voltaje o corriente, a través de un conductor o hilo metálico, o bien en forma de ondas de radio emitidas hacia el espacio libre, o como señales luminosas a través de una fibra óptica. (Monachesi, 2011).

2.2.2 Espectro Electromagnético

El espectro electromagnético (o simplemente espectro) es el rango de todas las radiaciones electromagnéticas posibles. El espectro de un objeto es la distribución característica de la radiación electromagnética de ese objeto.

El espectro electromagnético se extiende desde las bajas frecuencias usadas para la radio moderna (extremo de la onda larga) hasta los rayos gamma (extremo de la onda corta), que cubren longitudes de onda de entre miles de kilómetros y la fracción del

tamaño de un átomo. Se piensa que el límite de la longitud de onda corta está en las cercanías de la longitud Planck, mientras que el límite de la longitud de onda larga es el tamaño del universo mismo, aunque en principio el espectro sea infinito y continuo. (Espectrometría, 2012)

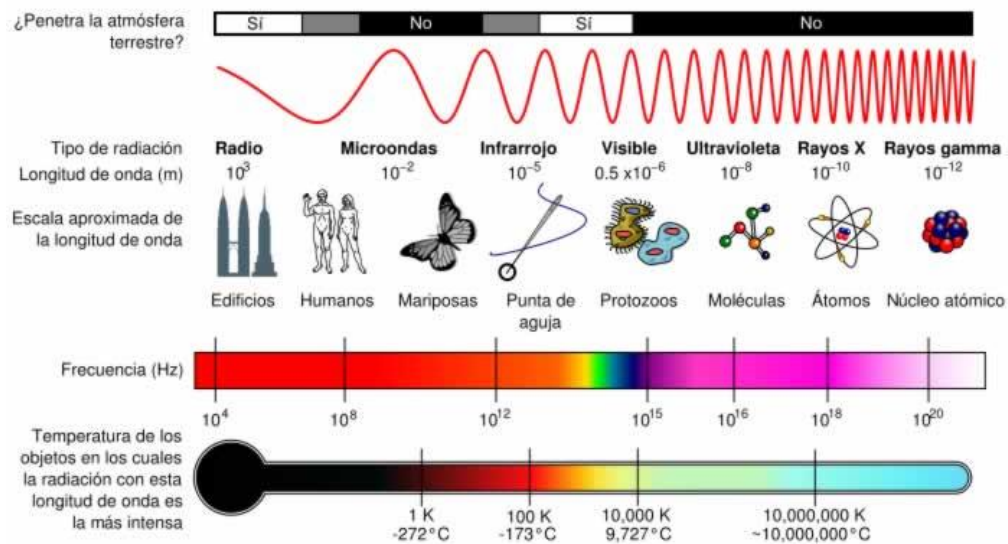


Figura 1: Gráfico de los tipos de espectro que existen

Fuente: Estudio de radiofrecuencias: Espectrometría, 2012

Recuperado de http://www.espectrometria.com/espectro_electromagnetico

2.2.2.1 Rango del Espectro

El espectro cubre la energía de ondas electromagnéticas que tienen longitudes de onda diferentes. Las frecuencias de 30 Hz y más bajas pueden ser producidas por ciertas nebulosas estelares y son importantes para su estudio. Se han descubierto frecuencias tan altas como 2.9×10^{27} Hz a partir de fuentes astrofísicas.

La energía electromagnética en una longitud de onda particular λ (en el vacío) tiene una frecuencia asociada f y una energía fotónica E . Así, el espectro electromagnético puede expresarse en términos de cualquiera de estas tres variables, que están relacionadas mediante ecuaciones.

De este modo, las ondas electromagnéticas de alta frecuencia tienen una longitud de onda corta y energía alta; las ondas de frecuencia baja tienen una longitud de onda

larga y energía baja.

Siempre que las ondas de luz (y otras ondas electromagnéticas) se encuentran en un medio (materia), su longitud de onda se reduce. Las longitudes de onda de la radiación electromagnética, sin importar el medio por el que viajen, son, por lo general, citadas en términos de longitud de onda en el vacío, aunque no siempre se declara explícitamente.

Generalmente, la radiación electromagnética se clasifica por la longitud de onda: ondas de radio, microondas, infrarroja y región visible, que percibimos como luz, rayos ultravioleta, rayos X y rayos gamma.

El comportamiento de la radiación electromagnética depende de su longitud de onda. Las frecuencias más altas tienen longitudes de onda más cortas, y las frecuencias inferiores tienen longitudes de onda más largas. Cuando la radiación electromagnética interacciona con átomos y moléculas, su comportamiento también depende de la cantidad de energía por cuanto que transporta. La radiación electromagnética puede dividirse en octavas (como las ondas sonoras).

La espectroscopia puede descubrir una región mucho más amplia del espectro que el rango visible de 400 nm a 700 nm. Un espectroscopio de laboratorio común puede descubrir longitudes de onda desde 2 nm a 2500 nm. Con este tipo de aparatos puede obtenerse información detallada sobre las propiedades físicas de objetos, gases o incluso estrellas. La espectrometría se usa sobre todo en astrofísica. Por ejemplo, muchos átomos de hidrógeno emiten ondas de radio que tienen una longitud de onda de 21.12 cm. (Espectrometría, 2012)

2.2.3 Tipos de radiación

Aunque el esquema de clasificación suele ser preciso, en realidad existe algo de trasposición entre tipos vecinos de energía electromagnética. Por ejemplo, las ondas de radio a 60 Hz pueden ser recibidas y estudiadas por astrónomos, o pueden ser

conducidas a lo largo de cables como energía eléctrica. También, algunos rayos gamma de baja energía realmente tienen una longitud de onda más larga que algunos rayos X de gran energía. Esto es posible porque "rayo gamma" es el nombre que se le da a los fotones generados en la descomposición nuclear u otros procesos nucleares y subnucleares, mientras que los rayos X son generados por transiciones electrónicas que implican electrones interiores muy energéticos. Por lo tanto, la diferencia entre rayo gamma y rayo X está relacionada con la fuente de radiación más que con la longitud de onda de la radiación. Generalmente, las transiciones nucleares son mucho más energéticas que las transiciones electrónicas, así que los rayos gamma suelen ser más energéticos que los rayos X. Sin embargo, hay transiciones nucleares de baja energía (p.ej. la transición nuclear de 14.4 keV del Fe-57) que producen rayos gamma que son menos energéticos que algunos de los rayos X de mayor energía. (Espectrometria, 2012).

2.2.3.1 Radiofrecuencia

Las ondas de radio suelen ser utilizadas mediante antenas del tamaño apropiado (según el principio de resonancia), con longitudes de onda en los límites de cientos de metros a aproximadamente un milímetro. Se usan para la transmisión de datos, a través de la modulación. La televisión, los teléfonos móviles, las resonancias magnéticas, o las redes inalámbricas y de radio-aficionados, son algunos usos populares de las ondas de radio. (Espectrometria, 2012)

Las ondas de radio pueden transportar información variando la combinación de amplitud, frecuencia y fase de la onda dentro de una banda de frecuencia. El uso del espectro de radio está regulado por muchos gobiernos mediante la asignación de frecuencias. Cuando la radiación electromagnética impacta sobre un conductor, se empareja con él y viaja a lo largo del mismo, induciendo una corriente eléctrica en la superficie de ese conductor mediante la excitación de los electrones del material de conducción. Este efecto (el efecto piel) se usó en las antenas. La radiación electromagnética también puede hacer que ciertas moléculas absorban energía y se

calienten, una característica que se utiliza en los microondas. (Espectrometria, 2012)

2.2.3.2 Microondas

La frecuencia super alta (SHF) y la frecuencia extremadamente alta (EHF) de las microondas son las siguientes en la escala de frecuencia. Las microondas son ondas lo suficientemente cortas como para emplear guías de ondas metálicas tubulares de diámetro razonable. La energía de microondas se produce con tubos klistrón y tubos magnetrón, y con diodos de estado sólido como los dispositivos Gunn e IMPATT. Las microondas son absorbidas por la moléculas que tienen un momento dipolar en líquidos. En un horno microondas, este efecto se usa para calentar la comida. La radiación de microondas de baja intensidad se utiliza en Wi-Fi.

El horno microondas promedio, cuando está activo, está en un rango cercano y bastante poderoso como para causar interferencia con campos electromagnéticos mal protegidos, como los que se encuentran en dispositivos médicos móviles y aparatos electrónicos baratos. (Espectrometria, 2012)

2.2.3.3 Rayos T

La radiación de terahertzios (o Rayos T) es una región del espectro situada entre el infrarrojo lejano y las microondas. Hasta hace poco, este rango estaba muy poco estudiado, ya que apenas había fuentes para la energía microondas en el extremo alto de la banda (ondas sub milimétrica o también llamadas ondas terahertzios). Sin embargo, están apareciendo aplicaciones para mostrar imágenes y comunicaciones. Los científicos también buscan aplicar la tecnología de rayos T en las fuerzas armadas, donde podrían usarse para dirigirlas a las tropas enemigas, ya que las ondas de alta frecuencia incapacitan los equipos electrónicos. (Espectrometria, 2012)

2.2.3.4 Radiación infrarroja

La parte infrarroja del espectro electromagnético cubre el rango desde aproximadamente los 300 GHz (1 mm) hasta los 400 THz (750 nm). Puede ser dividida en tres partes:

Infrarrojo lejano, desde 300 GHz (1 mm) hasta 30 THz (10 μm). La parte inferior de este rango también puede llamarse microondas. Esta radiación es absorbida por los llamados modos rotatorios en las moléculas en fase gaseosa, mediante movimientos moleculares en los líquidos, y mediante fotones en los sólidos. El agua en la atmósfera de la Tierra absorbe tan fuertemente esta radiación que confiere a la atmósfera efectividad opaca. Sin embargo, hay ciertos rangos de longitudes de onda ("ventanas") dentro del rango opaco que permiten la transmisión parcial, y pueden ser usados en astronomía. El rango de longitud de onda de aproximadamente 200 μm hasta unos pocos mm suele llamarse "radiación sub milimétrica" en astronomía, reservando el infrarrojo lejano para longitudes de onda por debajo de los 200 μm . (Espectrometria, 2012)

Infrarrojo medio, desde 30 a 120 THz (10 a 2.5 μm). Los objetos calientes (radiadores de cuerpo negro) pueden irradiar fuertemente en este rango. Se absorbe por vibraciones moleculares, es decir, cuando los diferentes átomos en una molécula vibran alrededor de sus posiciones de equilibrio. Este rango es llamado, a veces, región de huella digital, ya que el espectro de absorción del infrarrojo medio de cada compuesto es muy específico.

Infrarrojo cercano, desde 120 a 400 THz (2500 a 750 nm). Los procesos físicos que son relevantes para este rango son similares a los de la luz visible. (Espectrometria, 2012)

2.2.3.5 Radiación visible (luz)

La frecuencia por encima del infrarrojo es la de la luz visible. Este es el rango en el que el Sol y las estrellas similares a él emiten la mayor parte de su radiación. No es probablemente una coincidencia que el ojo humano sea sensible a las longitudes de onda que el sol emite con más fuerza. La luz visible (y la luz cercana al infrarrojo) son absorbidas y emitidas por electrones en las moléculas y átomos que se mueven desde un nivel de energía a otro. La luz que vemos con nuestros ojos es realmente una parte muy pequeña del espectro electromagnético. Un arco iris muestra la parte óptica (visible) del espectro electromagnético; el infrarrojo (si pudiera verse) estaría localizado justo a continuación del lado rojo del arco iris, mientras que el ultravioleta estaría tras el violeta.

La radiación electromagnética con una longitud de onda entre aproximadamente 400 nm y 700 nm es detectado por el ojo humano y percibida como luz visible. A otras longitudes de onda, sobre todo al infrarrojo cercano (más largo de 700 nm) y al ultravioleta (más corto que 400 nm) también se les llama luz a veces, sobre todo cuando la visibilidad para los humanos no es relevante.

Si la radiación que tiene una frecuencia en la región visible del espectro electromagnético se refleja en un objeto, como por ejemplo un plato hondo de fruta, y luego impacta en nuestros ojos, obtenemos una percepción visual de la escena. El sistema visual de nuestro cerebro procesa la multitud de frecuencias reflejadas en diferentes sombras y matices, y a través de este fenómeno psicofísico que todavía no se entiende completamente, es como percibiríamos los objetos.

En la mayor parte de las longitudes de onda, sin embargo, la información transportada por la radiación electromagnética no es directamente descubierta por los sentidos humanos. Las fuentes naturales producen radiación electromagnética a través del espectro, y nuestra tecnología también puede manipular un amplio rango de longitudes de onda. La fibra óptica transmite luz que, aunque no es adecuada para la visión directa, puede transportar datos que luego son traducidos en sonido o imagen. La codificación usada en tales datos. (Espectrometría, 2012)

2.2.3.6 Luz ultravioleta

La siguiente frecuencia en el espectro es el ultravioleta (o rayos UV), que es la radiación cuya longitud de onda es más corta que el extremo violeta del espectro visible.

Al ser muy energética, la radiación ultravioleta puede romper enlaces químicos, haciendo a las moléculas excepcionalmente reactivas o ionizándolas, lo que cambia su comportamiento. Las quemaduras solares, por ejemplo, están causadas por los efectos perjudiciales de la radiación UV en las células de la piel, y pueden causar incluso cáncer de piel si la radiación daña las moléculas de ADN complejas en las células. El Sol emite una gran cantidad de radiación UV, lo que podría convertir rápidamente la Tierra en un desierto estéril si no fuera porque, en su mayor parte, es absorbida por la capa de ozono de la atmósfera antes de alcanzar la superficie. (Espectrometria, 2012)

2.2.3.7 Rayos X

Después del ultravioleta vienen los rayos X. Los rayos X duros tienen longitudes de onda más cortas que los rayos X suaves. Se usan generalmente para ver a través de algunos objetos, así como para la física de alta energía y la astronomía.

Las estrellas de neutrones y los discos de acreción alrededor de los agujeros negros emiten rayos X, lo que nos permite estudiarlos.

Los rayos X pasan por la mayor parte de sustancias, y esto los hace útiles en medicina e industria. También son emitidos por las estrellas, y especialmente por algunos tipos de nebulosas. (Espectrometria, 2012)

2.2.3.8 Rayos gamma

Después de los rayos X duros vienen los rayos gamma. Son los fotones más energéticos, y no se conoce el límite más bajo de su longitud de onda. Son útiles a los astrónomos en el estudio de objetos o regiones de alta energía, y son útiles para los

físicos gracias a su capacidad penetrante y su producción de radioisótopos. La longitud de onda de los rayos gamma puede medirse con gran exactitud por medio de dispersión Compton.

No hay ningún límite exactamente definido entre las bandas del espectro electromagnético. Algunos tipos de radiación tienen una mezcla de las propiedades de radiaciones que se encuentran en las dos regiones del espectro. Por ejemplo, la luz roja se parece a la radiación infrarroja en que puede resonar algunos enlaces químicos. (Espectrometria, 2012)

2.2.4 Propagación de radiofrecuencias

2.2.4.1 Concepto

Se dice que para que exista la propagación de radiofrecuencias deben existir dos elementos primordiales que son el transmisor y el receptor. Si se tienen estos dos dispositivos la comunicación de radiofrecuencias se realizará dentro del rango de los 30 kHz hasta los 300 GHz. Dentro de este concepto, para que exista la comunicación, los dispositivos deben ser capaces de enlazarse entre ellos y para esto se requiere que la línea de vista entre el transmisor y receptor no presente obstrucciones capaces de interferir totalmente en la transmisión, puesto que puede darse el caso que existan factores que atenúen o afecten a la señal. (Udlap, 2008)

2.2.4.2 Características de la propagación

Las ondas de radio son ondas electromagnéticas que poseen una componente eléctrica y una componente magnética y como tales, están expuestas a ciertos fenómenos los cuales son capaces de modificar el patrón de propagación de las ondas. En condiciones especiales y con una atmósfera uniforme, las ondas de radio tienden a desplazarse en línea recta, esto quiere decir que siempre que haya una línea de vista entre el emisor y el receptor, se tendrá línea de vista óptima para conseguir una comunicación de calidad y que no existan pérdidas en la transmisión de datos o mensajes o que el mismo llegue distorsionado. Además de factores ambientales, se debe de tomar en cuenta la distancia

a la que realizara el enlace respectivo para la propagación de la radiofrecuencia ya que si no se tienen valores adecuados de potencia de transmisión en el trasmisor, también pueden existir pérdidas en la transmisión, y muchas veces es necesario adaptar un amplificador al transmisor para que cumpla con las funciones requeridas. (Udlap, 2008)

2.2.4.3 Propiedades de las ondas de radio

En la atmósfera terrestre, la propagación de frentes de onda y rayos puede diferir del comportamiento en el espacio libre debido a efectos ópticos. Estos efectos ópticos son principalmente clasificados en refracción, reflexión, difracción e interferencia llamándose ópticos debido a que fueron primeramente observados en la ciencia óptica que se encarga de estudiar a las ondas luminosas.

Debido a que las ondas luminosas son ondas electromagnéticas de alta frecuencia también se pueden aplicar los mismos conceptos a las ondas de radio. Por esto se pueden sustituir las ecuaciones de Maxwell por el trazo geométrico de rayos haciendo los cálculos mucho más sencillos. (Udlap, 2008)

2.2.4.3.1 Refracción.

La refracción se refiere al cambio de dirección de un rayo al pasar en dirección oblicua de un medio a otro con distinta velocidad de propagación. La velocidad a la que se propaga una onda electromagnética es inversamente proporcional a la densidad del medio, en el que lo hace. Por lo tanto, hay refracción siempre que una onda de radio pasa de un medio a otro con distinta densidad como se muestra en la figura siguiente.

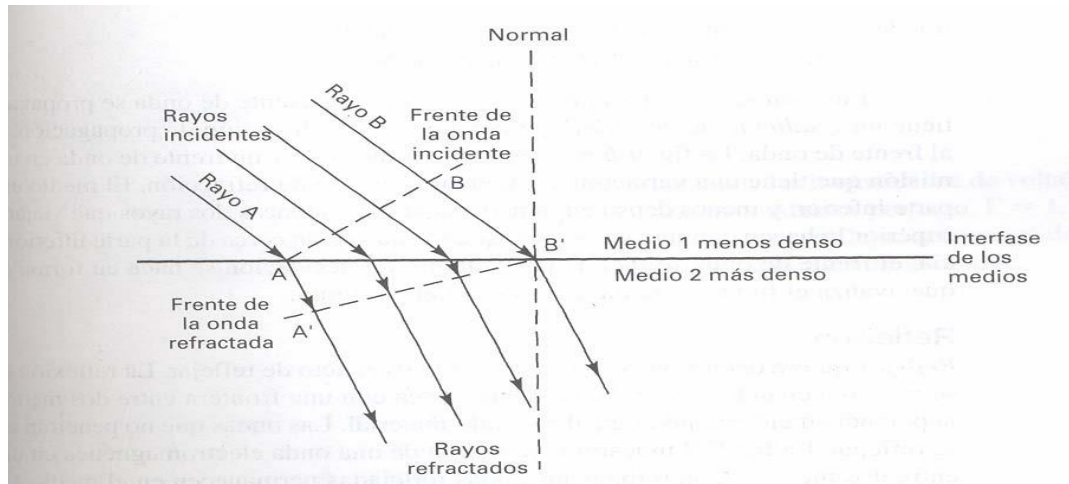


Figura 2: Gráfico de la refracción en el espacio

Fuente: Estudio de señales RF, (Udlap, 2008)

Recuperado de: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/campos_v_da/ capitulo1.pdf

2.2.4.3.2 Reflexión.

La reflexión refiere al choque de la onda electromagnética con la frontera entre dos medios y parte o toda la potencia de la onda no se propaga en el medio si no que es reflejada en dirección opuesta al segundo medio como se muestra en la figura 3 en donde el frente de onda incidente choca con el medio 2 con un ángulo de incidencia θ . Las ondas de radio (se abrevia RF por Radio Frequency) se propagan en línea recta en varias direcciones al mismo tiempo. En vacío, las ondas de radio se propagan a 3,108 m/s. Cuando una onda de radio se topa con un obstáculo, parte de su energía se absorbe y se convierte en otro tipo de energía, mientras que otra parte se atenúa y sigue propagándose. Es posible que otra parte se refleje.

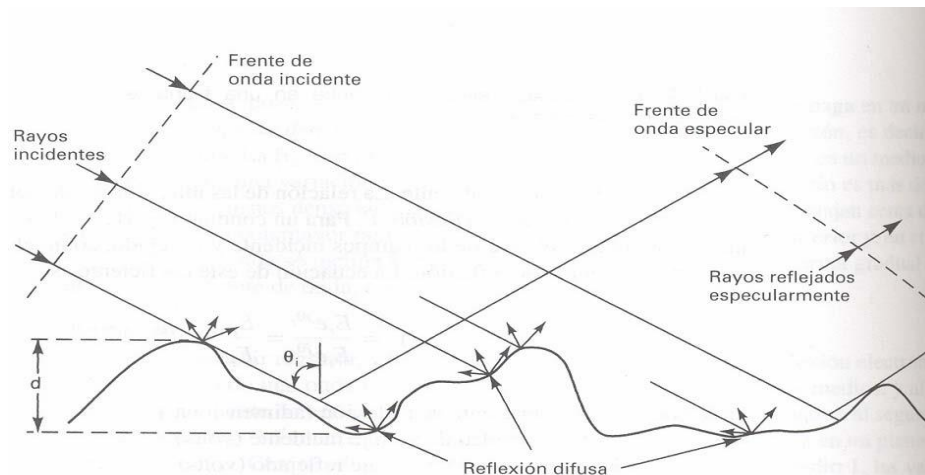


Figura 3: Tipos de reflexión de onda

Fuente: Estudio de señales RF, (Udlap, 2008)

Recuperado de: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/campos_v_da/capitulo1.pdf

2.2.4.3.3 Difracción.

La difracción refiere a la modulación o redistribución de la energía dentro de un frente de onda al pasar cerca de la orilla de un objeto opaco. La difracción es el fenómeno que permite que las ondas luminosas o de radio se propaguen en torno a las esquinas.

Cuando un frente de onda pasa cerca de un obstáculo o discontinuidad cuyas dimensiones sean del tamaño comparable a una longitud de onda, no se puede usar el análisis geométrico como en los casos anteriores. En estos casos se debe de usar el principio de Huygens. En los casos en el que el frente de onda es considerado plano y finito, es incompleta la anulación en direcciones aleatorias. En consecuencia, el frente de onda se reparte hacia fuera, o se dispersa a lo que en este caso se le llama difracción. Este fenómeno es comúnmente observado cuando se abre la puerta de un cuarto oscuro. Los rayos de luz se difractan en torno a la orilla de la puerta, e iluminan lo que hay detrás de ella

2.2.4.3.4 Interferencia

La interferencia es producida siempre que se combinan dos o más ondas electromagnéticas de tal manera que se degrada el funcionamiento del sistema. La

interferencia está sujeta al principio de superposición lineal de las ondas electromagnéticas, y se presenta siempre que dos o más ondas ocupan el mismo punto del espacio en forma simultánea. El principio de la superposición lineal establece que la intensidad total de voltaje en un punto dado en el espacio es la suma de los vectores de onda individuales. En la propagación por el espacio libre, puede existir una diferencia de fases solo porque difieran las polarizaciones electromagnéticas de las dos ondas. Según los ángulos de fase de los dos vectores, puede suceder una suma o resta. Esto implica simplemente que el resultado puede ser mayor o menor que cualquiera de los dos vectores, así que las ondas electromagnéticas pueden ser anuladas o reforzadas. (Udlap, 2008)

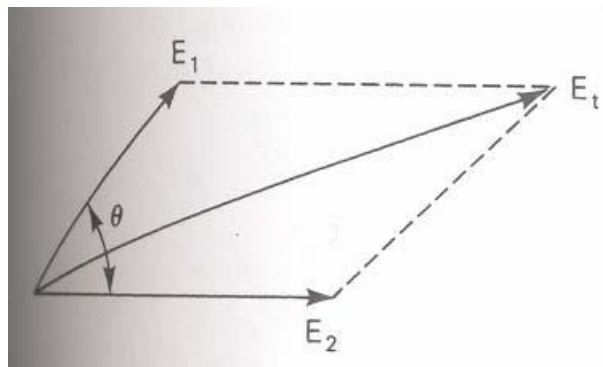


Figura 4: Propagación de interferencias

Fuente: Estudio de señales RF, (Udlap, 2008)

Recuperado de: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/campos_v_da/ capitulo1.pdf

2.2.5 Modulación

Es el conjunto de técnicas que se usan para transportar información sobre una onda portadora, típicamente una onda sinusoidal. Estas técnicas permiten un mejor aprovechamiento del canal de comunicación lo que posibilita transmitir más información en forma simultánea además de mejorar la resistencia contra posibles ruidos e interferencias. Según la American National Standard for Telecommunications, la modulación es el proceso, o el resultado del proceso, de variar una característica de una onda portadora de acuerdo con una señal que transporta información. El propósito de la modulación es sobreponer señales en las ondas portadoras.

Básicamente, la modulación consiste en hacer que un parámetro de la onda portadora cambie de valor de acuerdo con las variaciones de la señal moduladora, que es la información que queremos transmitir. (System, 2006)

2.2.5.1 Tipos de Modulación analógica

- AM Amplitud modulada
- FM Frecuencia modulada
- PM Modulación de fase
- QAM Modulación en cuadratura

2.2.5.1.1 Amplitud modulada

Amplitud modulada (AM) o modulación de amplitud es un tipo de modulación lineal que consiste en hacer variar la amplitud de la señal portadora de forma que esta cambie de acuerdo con las variaciones de nivel de la señal que contiene la información que se desea transmitir, llamada señal moduladora.

Una gran ventaja de AM es que su demodulación es muy simple y, por consiguiente, los receptores son sencillos y baratos. Otras formas de AM como la modulación por Banda lateral única o la Doble Banda Lateral son más eficientes en ancho de banda o potencia pero en contrapartida los receptores y transmisores son más complejos, ya que además deberán reinsertar la portadora para conformar la AM nuevamente y poder demodular la señal transmitida.(tripod, 2012)

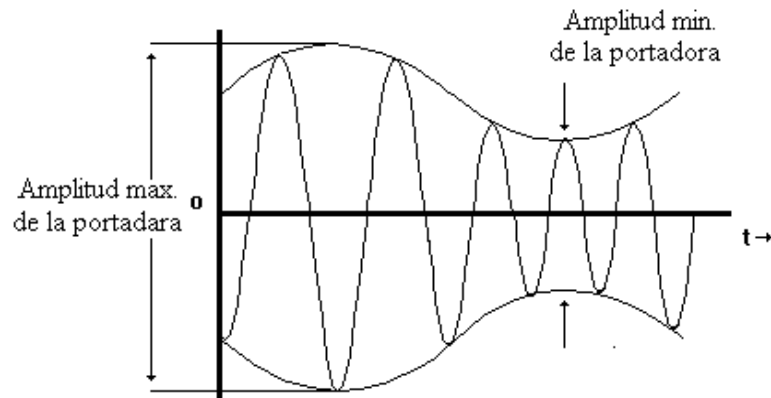


Figura 5: Gráfica de la portadora AM

Fuente: Estudio de señales Radio, (tripod, 2012)

Recuperado de: <http://arieldx.tripod.com/manualdx/bandas/modulacion.htm>

2.2.5.1.2 Frecuencia modulada

La frecuencia modulada (FM) o modulación de frecuencia que transmite información a través de una onda portadora variando su frecuencia (contrastando esta con la amplitud modulada o modulación de amplitud (AM), en donde la amplitud de la onda es variada mientras que su frecuencia se mantiene constante). Datos digitales pueden ser enviados por el desplazamiento de la onda de frecuencia entre un conjunto de valores discretos, una modulación conocida como FSK. (Tripod, 2012)

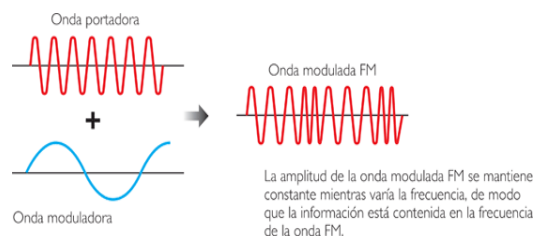


Figura 6: Onda de Frecuencia Modulada

Fuente: Estudio de señales Radio, (Tripod, 2012)

Recuperado de: <http://arieldx.tripod.com/manualdx/bandas/modulacion.htm>

2.2.5.1.3 Modulación de fase

Es una modulación que se caracteriza porque la fase de la onda portadora varía en función de la señal moduladora. La modulación de fase no suele ser muy utilizada porque se requieren equipos de recepción más complejos que los de frecuencia modulada. Además puede presentar problemas de ambigüedad para determinar si una señal tiene una fase de 0° o 180° , por lo que es un proceso donde el parámetro de la señal portadora que variará de acuerdo a señal moduladora es la fase.

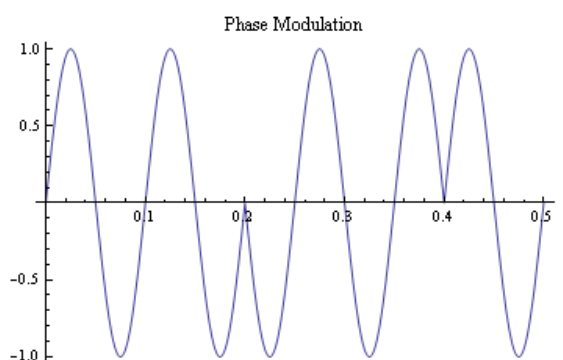


Figura 7: Modulación por Fase

Fuente: Estudio de señales Radio, (Tripod, 2012)

Recuperado de: <http://arieldx.tripod.com/manualdx/bandas/modulacion.htm>

2.2.5.1.4 QAM

La Modulación de amplitud en cuadratura (conocida también como QAM por las siglas en inglés de Quadrature amplitude modulation) es una técnica que transporta datos, mediante la modulación de la señal portadora, tanto en amplitud como en fase. Esto se consigue modulando una misma portadora, desfasada en 90° . La señal modulada en QAM está compuesta por la suma lineal de dos señales previamente moduladas en Doble Banda Lateral con Portadora Suprimida. (Tripod, 2012)

2.2.5.2 Tipos de modulación digital

ASK Modulación por desplazamiento de amplitud

FSK Modulación por desplazamiento de frecuencia

PSK Modulación por desplazamiento de fase

QPSK Modulación por desplazamiento de fase cuaternaria

QAM Cuantizada (Digital)

2.2.5.2.1 ASK

La modulación por desplazamiento de amplitud, en inglés Amplitude-shift keying (ASK), es una forma de modulación en la cual se representan los datos digitales como variaciones de amplitud de la onda portadora. (Tripod, 2012)

Es una modulación de amplitud todo o nada. Los "1" se transmiten portadora y los "0" ausencia de portadora (tripod, 2012)

2.2.5.2.2 FSK

La Modulación por desplazamiento de frecuencia o FSK, (Frequency Shift Keying) es una técnica de transmisión digital de información binaria (ceros y unos) utilizando dos frecuencias diferentes. La señal moduladora solo varía entre dos valores de tensión discretos formando un tren de pulsos donde un cero representa un "1" o "marca" y el otro representa el "0" o "espacio". (tripod, 2012)

2.2.5.2.3 PSK

La modulación por desplazamiento de fase o PSK (Phase Shift Keying) es una forma de modulación angular que consiste en hacer variar la fase de la portadora entre un número de valores discretos. Por ejemplo en un "1" se transmite la portadora en fase (0°) y en los "0" se transmite la portadora en contrafase (180°)

2.2.5.2.4 QPSK

Este esquema de modulación es conocido también como Quaternary PSK (PSK Cuaternaria), Quadriphase PSK (PSK Cuadrafásica) o 4-QAM, pese a las diferencias existentes entre QAM y QPSK. Esta modulación digital es representada en el diagrama

de constelación por cuatro puntos equidistantes del origen de coordenadas. (Tripod, 2012)

2.2.5.2.5 QAM (Digital)

La QAM Digital, conocida también como QAM Cuantizada (de la expresión inglesa Quantized QAM), se basa en los principios de su similar analógica, con la diferencia de que tiene como entrada un flujo de datos binarios, el cual es dividido en grupos de tantos bits como se requieran para generar N estados de modulación, de allí que se hable de N-QAM. Por ejemplo, en 8-QAM, cada tres bits de entrada, que proporcionan ocho valores posibles (0-7), se alteran la fase y la amplitud de la portadora para derivar ocho estados de modulación únicos. 3 En general, en N-QAM, cada grupo de m-bits genera 2^m estados de modulación. (tripod, 2012)

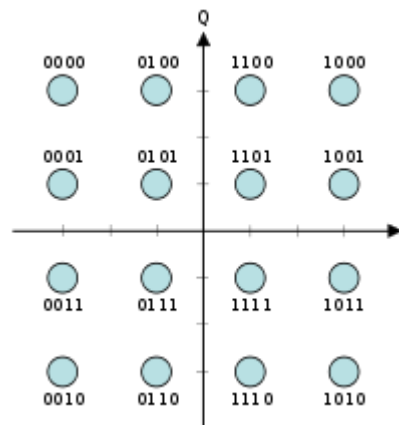


Figura 8: Diagrama de constelación 16-Qam

Fuente: Estudio de señales moduladas Radio, (Fernandez, 2010)

Recuperado de: <http://arieldx.tripod.com/manualdx/bandas/modulacion.htm>

2.3 OFDM

En inglés Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), o Discrete Multi-tone Modulation (DMT) es una multiplexación que consiste en enviar un conjunto de ondas portadoras de diferentes frecuencias, donde cada una transporta información, la cual es modulada en QAM o en PSK.

2.3.1 Historia

La historia de OFDM data de los años 60 cuando Chang publicó su artículo sobre la síntesis de transmisión multicanal de señales limitadas en banda. Él presentó el principio de la transmisión de mensajes simultáneamente a través de un canal lineal limitado en banda sin interferencia intercanal (ICI) ni íter simbólica (ISI). Poco después de Chang se presenta el artículo, realización Saltzberg un análisis del funcionamiento, donde se concluye que “la estrategia de diseño para un eficiente sistema paralelo debe centrarse más en la reducción de interferencia entre canales adyacentes que en perfeccionar los canales individuales en sí mismos, desde que la distorsión debida a la interferencia tienda a dominar”. Esta es una conclusión importante, la cual ha ayudado a corregir el procesamiento en banda base digital pocos años después. Un mayor empuje a OFDM fue presentado en 1971 por Weinstein y Ebert, quienes usaron la transformada discreta de Fourier (DFT) para realizar la modulación y demodulación en banda base. Este trabajo no se centró en perfeccionar los canales individualmente, pero aumento la eficiencia de procesamiento al eliminar los bancos de osciladores de las subportadoras. Para combatir la ISI y la ICI ellos usaron un espacio de guarda entre los símbolos y cosenos-alzados enventanados en el dominio del tiempo. El sistema no obtuvo una ortogonalidad perfecta entre subportadoras sobre un canal dispersivo pero fue un un mayor avance para OFDM. Otra importante contribución fue realizada por Peled y Ruiz en 1980, quienes introdujeron el prefijo cíclico (CP) o extensión cíclica, solucionando el problema de la ortogonalidad. En lugar de usar un espacio de guarda vacío, ellos llenaron el espacio de guarda con una extensión cíclica del símbolo OFDM. Este efecto simula un canal que realiza la convolución cíclica, lo que implica ortogonalidad sobre canales dispersivos cuando el CP es más largo que la respuesta impulsiva del canal. Esto introduce una pérdida de energía proporcional a la longitud del CP pero está perdida de energía está motivada por la anulación de la ICI. Los sistemas OFDM son usualmente realizados con pulsos rectangulares pero recientemente se ha incrementado el interés por los pulsos shaping. Al usar pulsos que no son rectangulares, el espectro puede ser formado para estar más localizado en frecuencia lo cual es beneficioso desde el punto de vista de la interferencia. OFDM se usa corrientemente en la banda de audio

digital europea, European digital audio broadcasting (DAB) Standard. Varios sistemas DAB propuestos en norte América están basados en OFDM y su aplicación a la televisión digital es ya una realidad. OFDM en combinación con técnicas de acceso múltiple son objeto de investigación. OFDM, bajo el sinónimo de DMT, ha atraído también mucho la atención como una eficiente tecnología para transmisión a alta velocidad sobre la red telefónica (ADSL y XDSL). (bibing, 2010)

2.3.2 Funcionamiento OFDM

La idea básica de OFDM es dividir el rango del espectro disponible en varios subcanales (subportadoras). Usando canales de banda estrecha, estos experimenten casi un desvanecimiento plano, haciendo la ecualización mucho más simple. Para obtener una mayor eficiencia espectral la respuesta en frecuencia de los subcanales son solapadas y ortogonales, de ahí el nombre de OFDM. Esta ortogonalidad puede ser completamente mantenida, aun cuando la señal pase a través del canal dispersivo en el tiempo, introduciendo un prefijo cíclico. Existen varias versiones de OFDM pero nosotros nos centraremos en sistemas que usan un prefijo cíclico. El prefijo cíclico es una copia de la última parte del símbolo OFDM. (Fernandez, 2010)

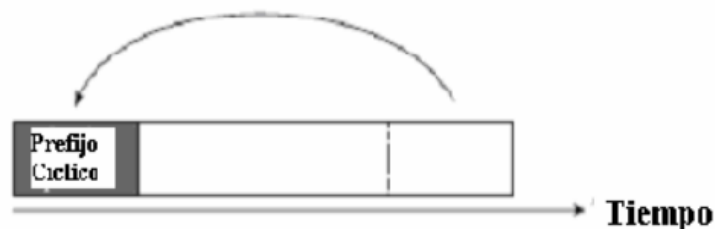


Figura 9: Imagen uso de prefijo cíclico para conservar la ortogonalidad

Fuente: Estudio de señales OFDM, (bibing, 2010)

Recuperado de: bibing.us.es/proyectos/abreproy/11983/fichero/Capítulo+2+-+LTE.pdf

Esto hace que la señal transmitida sea periódica, lo cual juega un papel decisivo para evitar la interferencia intersimbólica y entre portadoras. El prefijo cíclico introduce una pérdida en la razón señal-ruido (SNR) que supone el pequeño precio a pagar para mitigar la interferencia. Una de las principales ventajas de la modulación OFDM con respecto a emplear una sola portadora es la robustez frente a las diferencias de retardo.

La distribución del retardo de canal provoca interferencias entre símbolos que, a su vez, limitan la velocidad de los datos, al elevar el suelo de error. Pero en OFDM la duración de símbolo en cada subportadora es N veces mayor que en los sistemas monoportadora.

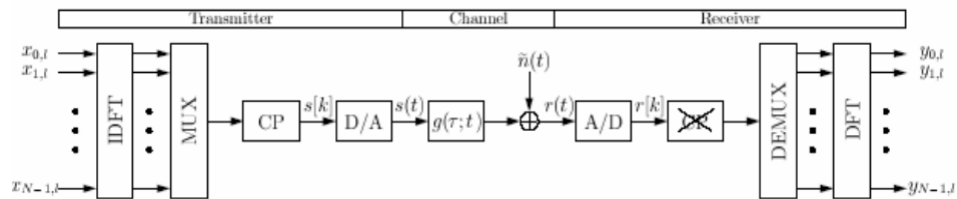


Figura 10: Esquema de un sistema OFDM en banda base

Fuente: Estudio de señales PFDM, (bibing, 2010)

Recuperado de: bibing.us.es/proyectos/abreproy/11983/fichero/Capítulo+2+-+LTE.pdf

2.3.3 Imperfecciones de los sistemas OFDM.

Dependiendo de la situación analizada, las imperfecciones en un sistema real OFDM pueden ser ignoradas o explícitamente incluidas en el modelo. Vamos a mencionar algunas imperfecciones y sus efectos correspondientes:

- **Dispersión** La dispersión tanto en tiempo como en frecuencia del canal puede acabar con la ortogonalidad del sistema, introduce tanto ICI como ISI si estos efectos no son suficientemente mitigados por un prefijo cíclico y un gran espacio entre portadoras, por lo que estos deben ser incluidos en el modelo. Una solución para modelar estos efectos es incrementar el ruido aditivo.

- **No linealidades y distorsión truncada.** Los sistemas OFDM tienen una gran razón de promedio de potencia y grandes demandas en amplificadores lineales. Las no linealidades de los amplificadores pueden causar ISI e ICI en el sistema. Especialmente, si el amplificador no está diseñado de manera correcta, la distorsión puede causar una grave degradación del sistema. Se han sugerido estrategias especiales de codificación con el mismo nivel de potencia.

- Interferencia externa. Tanto en sistemas inalámbricos como con hilos se sufre la interferencia proveniente del exterior. En sistemas inalámbricos esta interferencia normalmente procede de transmisores de radio y otros tipos de equipos electrónicos de los alrededores del receptor. En sistemas con hilos el factor limitante suele ser la interferencia debida al cruce de señales. La interferencia puede ser incluida en el modelo como ruido coloreado. (bibing, 2010)

2.4 LTE

LTE es una tecnología de comunicación de cuarta generación. En el estándar 4G incluye esta tecnología de comunicación móvil que puede ofrecer a los suscriptores la velocidad de conexión a Internet de al menos 100 Mbit / s. LTE permitirán a los usuarios tener acceso a Internet de banda ancha, una buena calidad de las llamadas de video de dos vías, ver películas en línea en un formato Full HD y así sucesivamente.

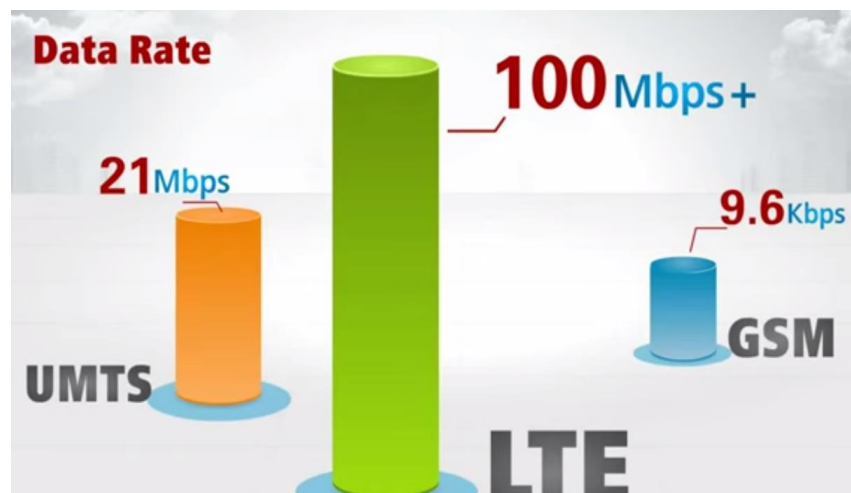


Figura 11: Grafico ilustrativo de velocidades de diferentes tecnologías

Fuente: Estudio de señales OFDM, (huawei, 2010)

Recuperado de: <http://www.huawei.com/en/>

Además de la tecnología LTE se implementa en la red 3G y permite el uso de la infraestructura existente. Esto hace que la transición de 3G a la comunicación cuarta generación sea más suave y transparente para los usuarios. Además, en la mayoría de los casos con Smartphone LTE son capaces de trabajar en redes de tercera generación, y hasta 2G. En otras palabras, incluso si una persona desde el área de cobertura de LTE, la unidad cambia automáticamente al modo de 3G sin perder la conexión.

Los principales requisitos para la nueva red de acceso son de alta eficiencia espectral, altas velocidades de datos de pico, corto tiempo de ida y vuelta, así como flexibilidad en la frecuencia y ancho de banda. La nueva solución de acceso, LTE, basada en OFDMA (Orthogonal Frequency División Multiple Access) y en combinación con modulación de orden superior (hasta 64 QAM), grandes anchos de banda (hasta 20 MHz) y la multiplexación espacial en el enlace descendente (hasta 4x4) altas velocidades de datos pueden ser alcanzados.

Para un usuario final el tiempo de conexión para una sesión de datos en tiempo real es en muchos casos fundamental, sobre todo en los juegos en línea. El tiempo para el traspaso es esencial para los servicios en tiempo real donde los usuarios finales tienden a terminar las llamadas si la entrega tarda demasiado.

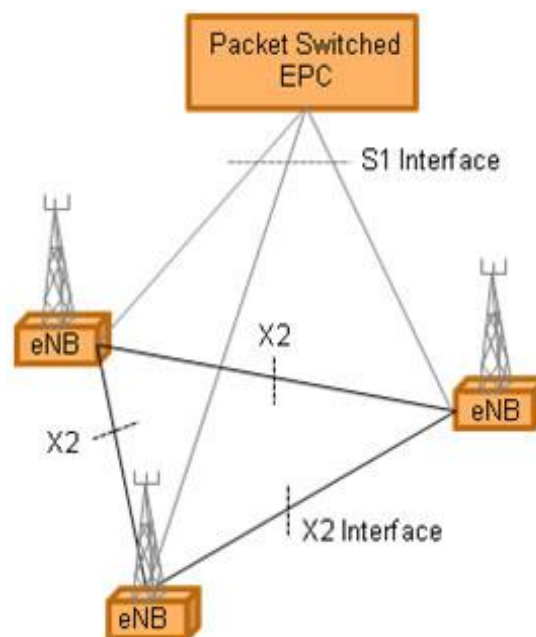


Figura 12: Transmisión OFDM antenas

Fuente: Estudio de señales OFDM, (huawei, 2010)

Recuperado de: <http://www.huawei.com/en/>

2.4.1 Bandas E-UTRA Operativos

A continuación se presenta la tabla de bandas de trabajo E-UTRA tomadas de LTE Especificación

E-UTRA Operating Band	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit		Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive		Duplex Mode
	F _{UL, low}	F _{UL, high}	F _{DL, low}	F _{DL, high}	
1	1920 MHz	1980 MHz	2110 MHz	2170 MHz	FDD
2	1850 MHz	1910 MHz	1930 MHz	1990 MHz	FDD
3	1710 MHz	1785 MHz	1805 MHz	1880 MHz	FDD
4	1710 MHz	1755 MHz	2110 MHz	2155 MHz	FDD
5	824 MHz	849 MHz	869 MHz	894 MHz	FDD
6	830 MHz	840 MHz	875 MHz	885 MHz	FDD
7	2500 MHz	2570 MHz	2620 MHz	2690 MHz	FDD
8	880 MHz	915 MHz	925 MHz	960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz	1784.9 MHz	1844.9 MHz	1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz	1770 MHz	2110 MHz	2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz	1447.9 MHz	1475.9 MHz	1495.9 MHz	FDD
12	698 MHz	716 MHz	728 MHz	746 MHz	FDD
13	777 MHz	787 MHz	746 MHz	756 MHz	FDD
14	788 MHz	798 MHz	758 MHz	768 MHz	FDD
17	704 MHz	716 MHz	734 MHz	746 MHz	FDD
...					
33	1900 MHz	1920 MHz	1900 MHz	1920 MHz	TDD
34	2010 MHz	2025 MHz	2010 MHz	2025 MHz	TDD
35	1850 MHz	1910 MHz	1850 MHz	1910 MHz	TDD
36	1930 MHz	1990 MHz	1930 MHz	1990 MHz	TDD
37	1910 MHz	1930 MHz	1910 MHz	1930 MHz	TDD
38	2570 MHz	2620 MHz	2570 MHz	2620 MHz	TDD
39	1880 MHz	1920 MHz	1880 MHz	1920 MHz	TDD
40	2300 MHz	2400 MHz	2300 MHz	2400 MHz	TDD

Figura 13: Bandas en las que trabaja OFDM

Fuente: Estudio de señales OFDM, (TutorialspointLTE, 2014)

Recuperado de: <http://www.tutorialspoint.com/lte/>

2.4.2 Arquitectura de Red LTE

La arquitectura de red de alto nivel de LTE se compone de tres componentes principales:

- El equipo de usuario (UE).
- La Red Evolved UMTS Acceso de Radio Terrestre (E-UTRAN).

- El Evolved Packet Core (EPC).

El núcleo de paquetes evolucionado comunica con las redes de paquetes de datos en el mundo exterior, como Internet, redes corporativas privadas o el subsistema multimedia IP. Las interfaces entre las diferentes partes del sistema se denotan Uu, S1 y SGI como se muestra a continuación:

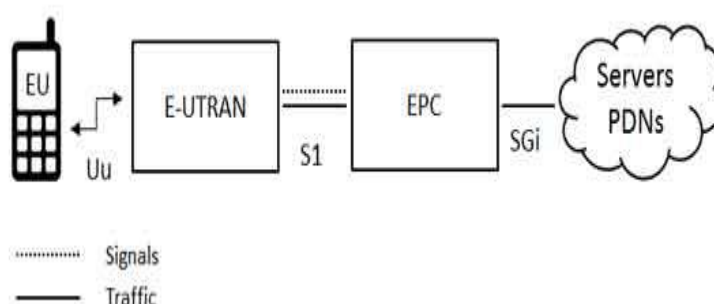


Figura 14: Diagrama de Bloques

Fuente: Estudio de señales PFDM, (TutorialspointLTE, 2014)

Recuperado de: <http://www.tutorialspoint.com/lte/>

2.4.2.1 El equipo de usuario (UE)

La arquitectura interna del equipo de usuario para la LTE es idéntica a la utilizada por UMTS y GSM, que es en realidad un equipo móvil (ME). El equipo móvil compuesto por los siguientes módulos importantes:

- La terminación móvil (MT): Este se encarga de todas las funciones de comunicación.
- Equipo terminal (TE) : Esto termina los flujos de datos.
- UICC (UICC) : Esto también se conoce como la tarjeta SIM para los equipos LTE. Se ejecuta una aplicación conocida como el Módulo de Identidad del Suscriptor universal (USIM).

A USIM almacena datos específicos del usuario muy similares a la tarjeta SIM 3G. Esto mantiene la información sobre el número del usuario del teléfono, la identidad red doméstica y claves de seguridad etc.

2.4.2.2 E-UTRAN (La red de acceso)

La arquitectura de la red UMTS evolucionado Acceso de Radio Terrestre (E-UTRAN) se ha ilustrado a continuación.

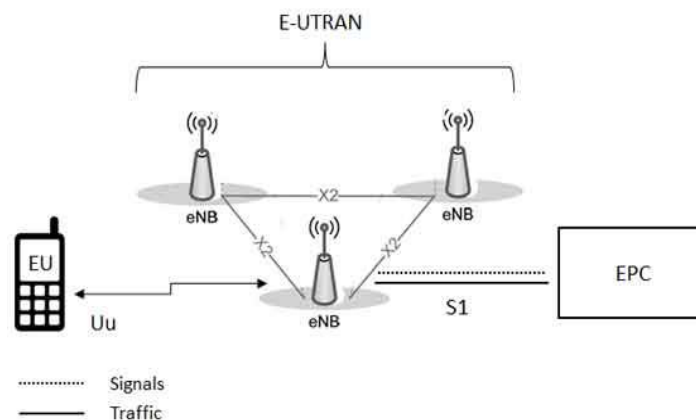


Figura 15 : Arquitectura de red UMTS

Fuente: Estudio de señales OFDM, (TutorialspointLTE, 2014)

Recuperado de: <http://www.tutorialspoint.com/lte/>

E-UTRAN maneja las comunicaciones de radio entre el móvil y el núcleo de paquetes evolucionado y sólo tiene un componente, las estaciones base evolucionados, llamados eNodeB o eNB . Cada eNB es una estación base que controla los móviles en una o más células. La estación base que se está comunicando con un móvil se conoce como su eNB de servir. LTE móvil se comunica con una sola estación base y una célula a la vez y hay tras dos funciones principales apoyados por eNB:

- La EBN envía y recibe transmisiones de radio para todos los móviles que utilizan el análogo y las funciones de procesamiento de señales digitales de la interfaz aérea LTE.
- El eNB controla el funcionamiento de bajo nivel de todos sus móviles, mediante el envío de mensajes de señalización, tales como comandos de traspaso.

Cada EBN conecta con el EPC por medio de la interfaz S1 y también se puede conectar a las estaciones base cercanas por la interfaz X2, que se utiliza principalmente para la señalización y el reenvío de paquetes durante el traspaso.

2.4.2.3 Evolved Packet Core (EPC) (La red principal)

La arquitectura de núcleo de paquetes evolucionado (EPC) ha sido ilustrada a continuación. Hay pocos componentes más que no han sido mostrados en el diagrama que sea sencillo. Estos componentes son como el Sistema de Terremoto y Tsunami Warning (ETWS), el Registro de Identidad de Equipo (EIR) y Control de Estrategia y Cargo Reglas Function (PCRF). Movilidad Entidad de Gestión (MME) gestiona los estados de sesión y autentica y seguimiento de un usuario a través de la red. Sirviendo Gateway (S -gateway) - paquetes de datos a través de las rutas de la red de acceso.

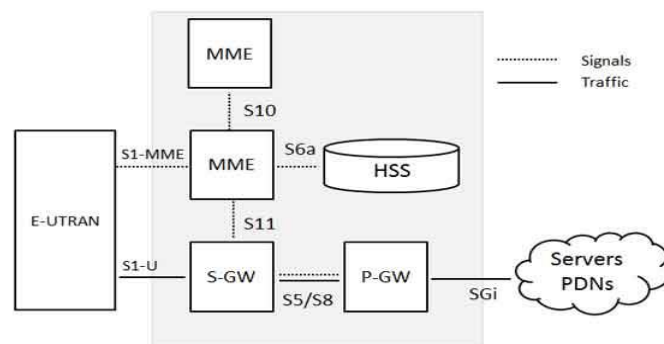


Figura 16: Arquitectura de núcleo de paquetes evolucionado (EPC)

Fuente: Estudio de señales OFDM, (TutorialspointLTE, 2014)

Recuperado de: <http://www.tutorialspoint.com/lte/>

División funcional entre la E-UTRAN y el EPC

El siguiente diagrama muestra la división funcional entre la E-UTRAN y el EPC para una red LTE:

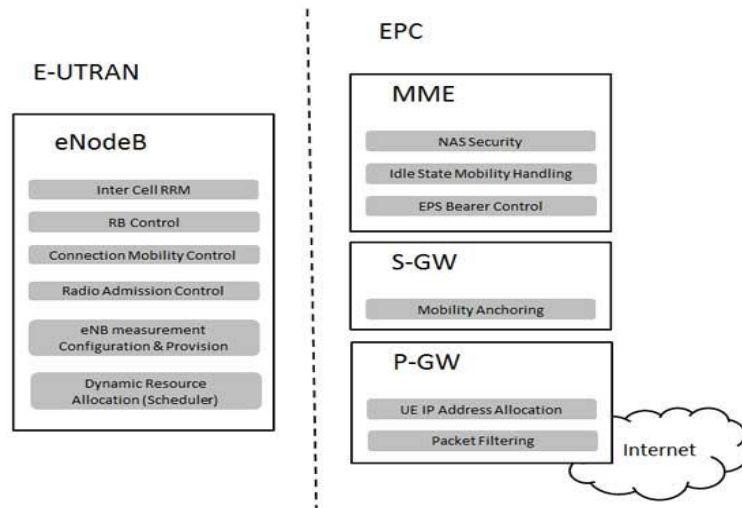


Figura 17: EUTRAN – EPC

Fuente: Estudio de señales OFDM, (TutorialspointLTE, 2014)
Recuperado de: <http://www.tutorialspoint.com/lte/>

2.5 SDR

Significa Radio definido por Software este concepto fue definido por Joseph Mitola en 1992, su idea base fue utilizar un hardware para recibir y/o transmitir señales RF, usando un software para definir la funcionalidad y composición de las señales Rx-TX.

Los más usados en el mercado son los USRP elaborados por National Instruments y los ETTUS.

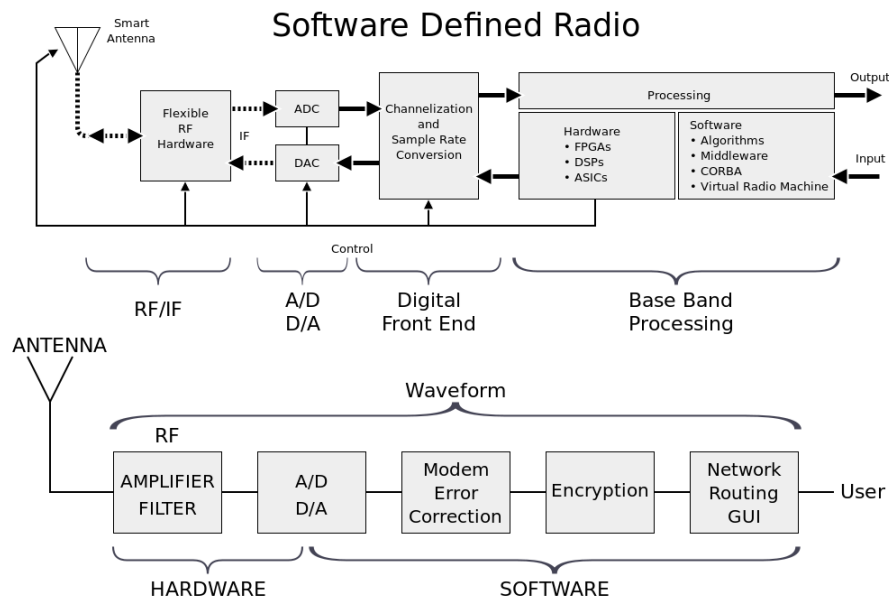


Figura 18: Diagrama de bloques de un SDR

Fuente: Equipos SDR, (National Instruments, 2015)

Recuperado de: <http://latam.ni.com/>

2.5.1 USRP.

Es un SDR flexible y rentable que transforma una PC estándar en una plataforma de generación de prototipos inalámbrica. Combinado con el software NI LabVIEW, los equipos NI USRP ofrecen una plataforma potente para generar rápidamente prototipos de sistemas inalámbricos de Radio Frecuencia (RF).

Los USRP ofrecen un nuevo enfoque para la educación, la cual tradicionalmente siempre ha sido limitada a la conceptualización matemática. Con los USRP y la plataforma LabVIEW, es posible obtener experiencia práctica explorando los sistemas de comunicaciones. Es una plataforma rentable basada en PC usada con software NI LabVIEW para construir sistemas de comunicaciones inalámbricas. (National Instruments, 2015)

Vistazo Rápido a NI USRP

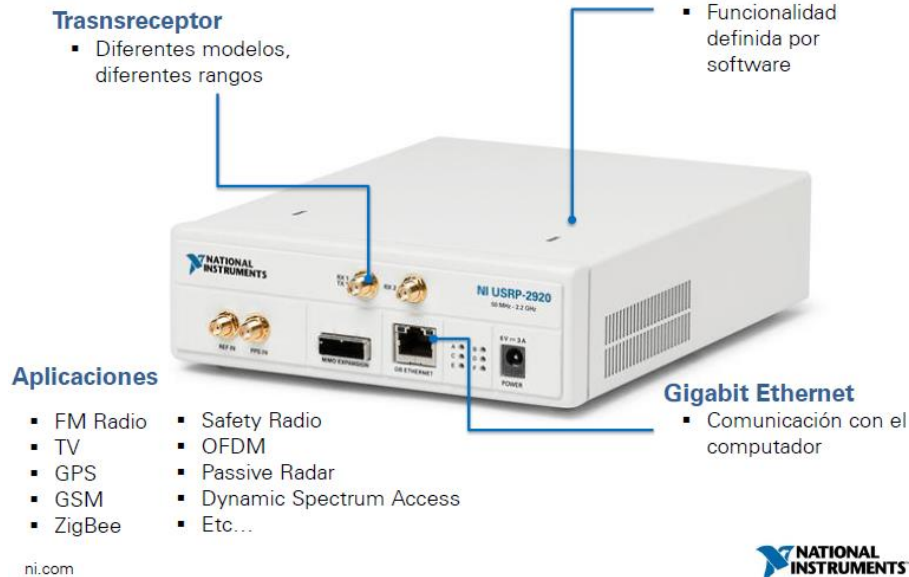


Figura 19: Equipo NI-USRP 2920

Fuente: Equipos SDR, (National Instruments, 2015)

Recuperado de: <http://latam.ni.com/>

2.5.2 LabVIEW

LabVIEW es una plataforma con una infinidad de posibilidades, es un software con un extenso entorno de desarrollo que brinda a ingenieros y científicos una integración con hardware sin precedentes y amplia compatibilidad. La finalidad de LABVIEW es resolver problemas, acelerar la productividad y da seguridad para innovar, crear y desplegar continuamente sistemas de medidas y control tanto para el sector productivo como educativo. Para nuestro uso nos enfocamos en el procesamiento digital de señales con los bloques de la transformada rápida de Fourier y su Inversa (FFT/IFFT). Su interfaz gráfica permite desarrollar programas de forma intuitiva basados en diagramas de bloque de poca complejidad pero con una alta gama de aplicaciones.

2.5.2.1 Partes del sistema

LabVIEW es una herramienta gráfica de POO basado en bloques por lo que es indispensable tener una interfaz para poder interactuar con el usuario. Los Programas en LabVIEW son llamados instrumentos virtuales (VIs). Haga énfasis en que controles es igual a entradas, e indicadores es igual a salidas.

- Cada VI contiene dos partes principales:
- Panel frontal Cómo el usuario interacciona con el VI.
- Diagrama de bloque El código que controla el programa.
- Icono/Conector Medios para conectar un VI con otros VIs.

2.5.2.1.1 Panel Frontal

Es la interfaz, la utilizamos para interactuar cuando el programa se está ejecutando y los usuarios puedan observar los datos actualizados en tiempo real.

El panel frontal es utilizado para interactuar con el usuario cuando el programa está corriendo. Usuarios pueden controlar el programa, cambiar entradas, y ver datos actualizados en tiempo real. Haga énfasis en que los controles son usados como entradas - ajustando controles de deslizamiento para colocar un valor de alarma, encendiendo o apagando un switch, o parando un programa. Los indicadores son usados como salidas. Termómetros, luces, y otros indicadores indican valores del programa. Esto puede incluir datos, estados de programa y otra información.

Cada control o indicador del panel frontal tiene una terminal correspondiente en el diagrama de bloques. Cuando un VI se ejecuta, los valores de los controles fluyen a través del diagrama de bloques, en donde estos son usados en las funciones del diagrama, y los resultados son pasados a otras funciones o indicadores.

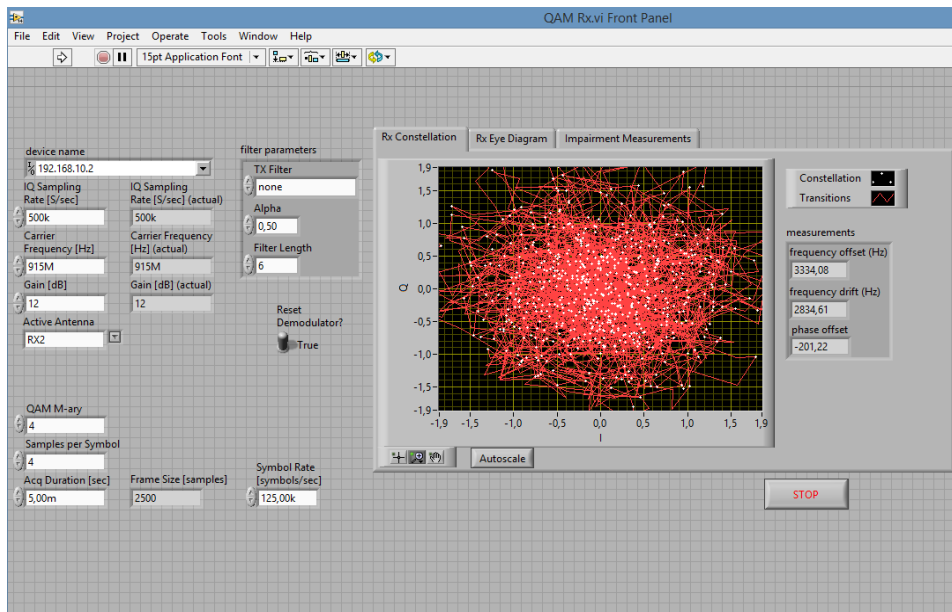


Figura 20 : Panel frontal de un VI

Fuente: Equipos SDR, (National_Instruments, 2015)
 Recuperado de: <http://latam.ni.com/>

2.5.2.1.2 Diagrama de Bloques

Se define la funcionalidad del programa de forma gráfica, aquí se colocan íconos que realizan una determinada función y se interconectan entre sí, es el código que controla el programa.

El diagrama de bloque contiene el código fuente gráfico. Los objetos del panel frontal aparecen como terminales en el diagrama de bloque. Adicionalmente, el diagrama de bloque contiene funciones y estructuras incorporadas en las bibliotecas de LabVIEW VI. Los cables conectan cada uno de los nodos en el diagrama de bloques, incluyendo controles e indicadores de terminal, funciones y estructuras.

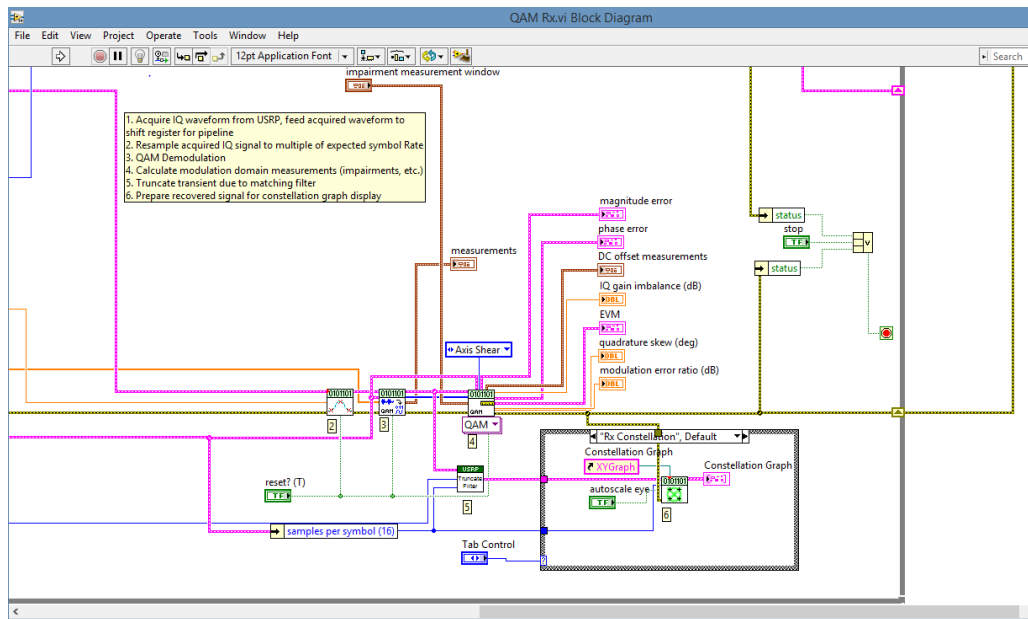


Figura 21: Diagrama de bloques de un VI

Fuente: Equipos SDR, (National_Instruments, 2015)

Recuperado de: <http://latam.ni.com/>

CAPÍTULO III. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

En este capítulo se explica la forma en que funciona el sistema en LABVIEW, los pasos a seguir para que funcione el transmisor y receptor con cada una de sus partes, va archivos con los que se trabaja son .vi, en este capítulo se refiere a estos archivos como VI.

Se muestra los paneles frontales e internos de cada VI utilizado para su fácil comprensión y se hace una explicación del funcionamiento de cada VI, también la explicación de las conexiones de los equipos con graficas explicativas.

3.1 Descripción del algoritmo

Un sistema de comunicación es como un conjunto de dispositivos interconectados que realizan acciones las cuales permiten que las personas se comuniquen o se conecten entre sí, todo sistema de comunicación tiene tres partes fundamentales: Transmisor, Medio y Receptor. Para este proyecto se trabaja con un transmisor y un receptor diseñado en Labview donde se utiliza el espectro radio eléctrico para transmitir.

En este proyecto se trabaja mayormente con el receptor, ya que es aquí donde se realiza la sincronización de la trama y del desplazamiento de la frecuencia, también la temporización de los símbolos a recibir.

3.1.1 El Software de desarrollo Labview

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench), es un software con entorno visual de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de visual gráfico. Recomendado para sistemas hardware y software de pruebas eléctricas, electrónicas, control y diseño, simulado o real, pues acelera la productividad. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G significa que es lenguaje Gráfico.

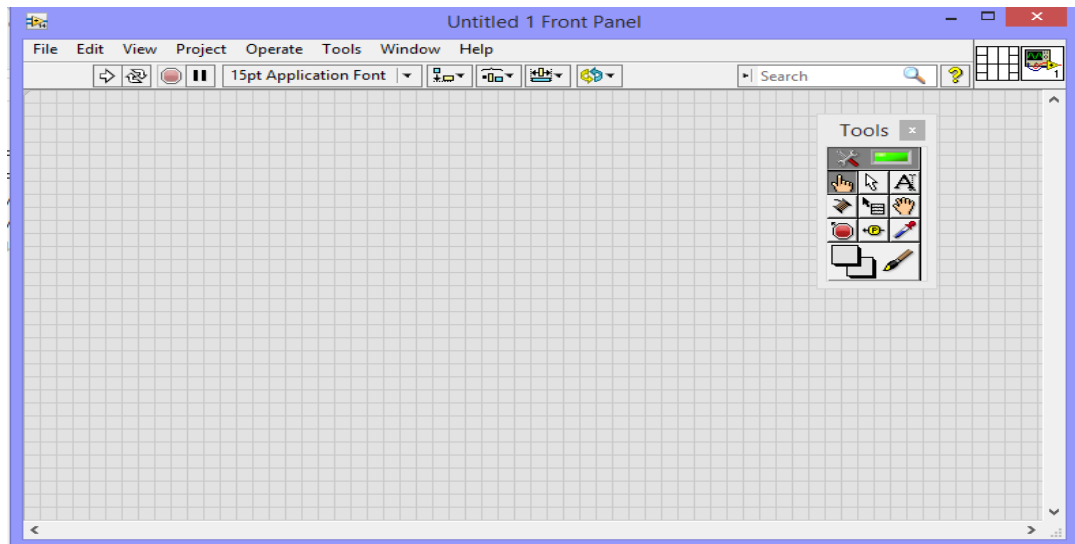


Figura 22: Sistema de desarrollo Labview
Fuente: Los Autores

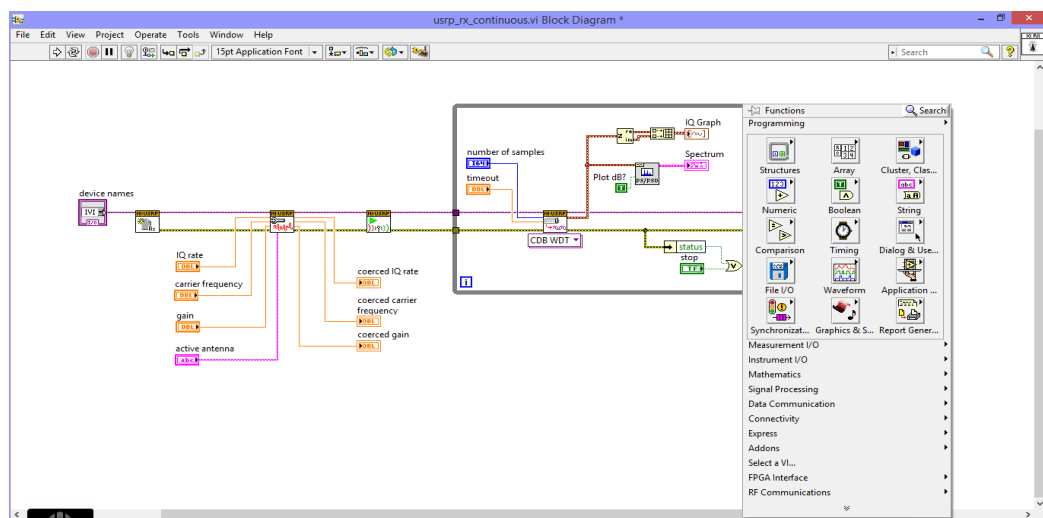


Figura 23: Entorno de programación de Labview
Fuente: Los Autores

3.1.2 El Transmisor

El transmisor se encuentra realizado en el VI top_ofdm_tx, en este VI se establece la conexión con el equipo NI-USRP vía Ethernet, dentro del código de programación gráfica del VI se encuentra el Sub VI de programación OFDM TX, el cual está diseñado para realizar la transmisión.

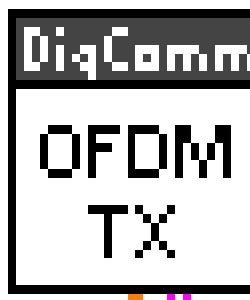


Figura 24 : OFDM TX
Fuente: Los Autores

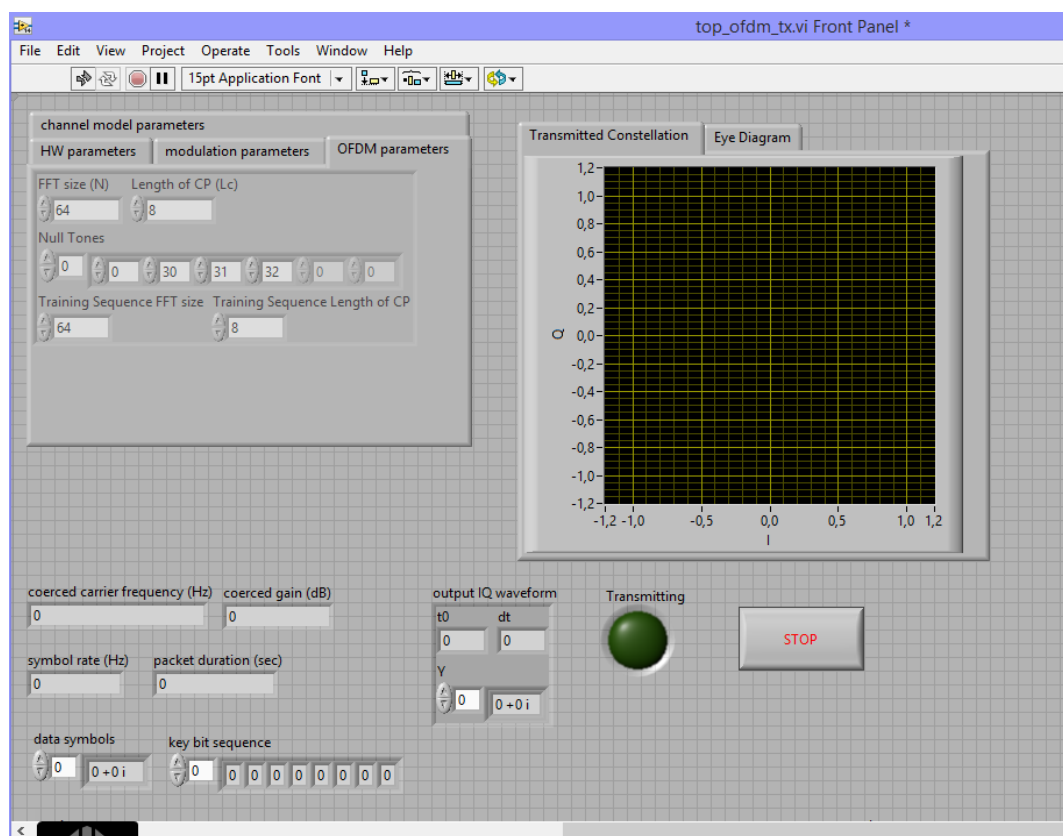


Figura 25: VI principal OFDM TX
Fuente: Los Autores

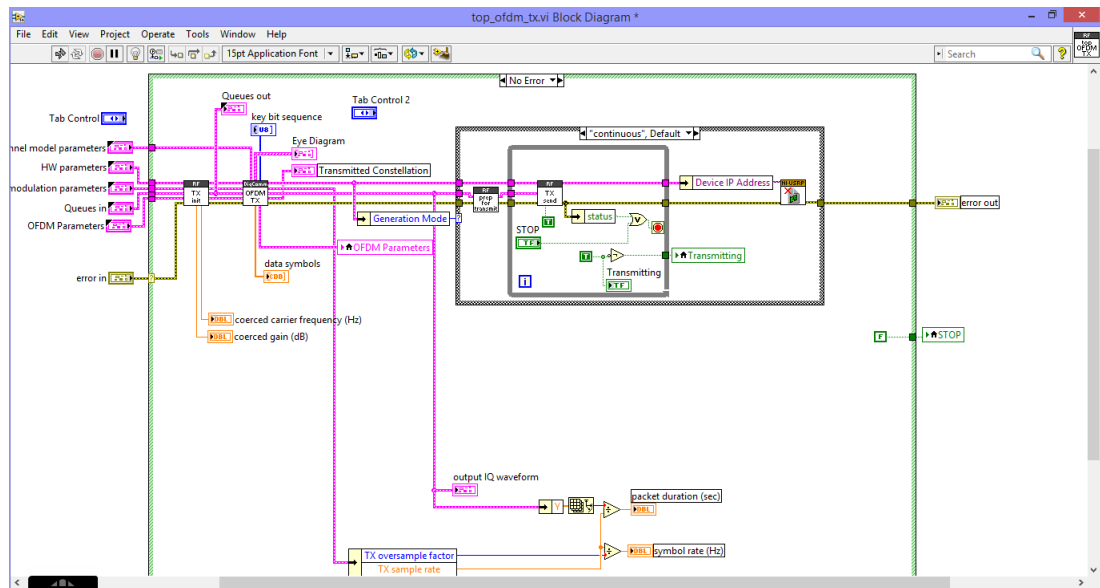


Figura 26: VI diagrama de bloques OFDM TX
Fuente: Los Autores

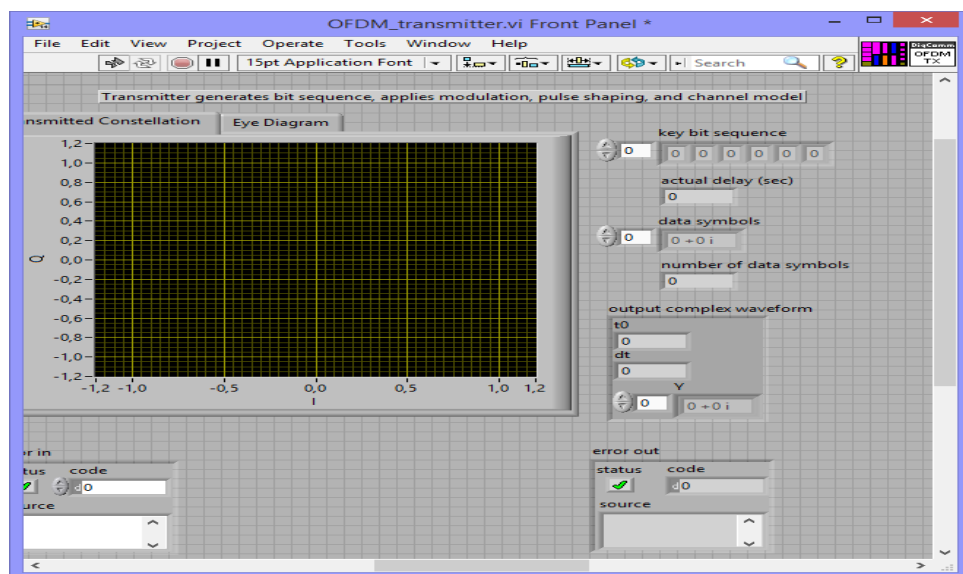


Figura 27: Pantalla principal del VI OFDM TX
Fuente: Los Autores

Dentro de los diagramas de bloques del VI figura 26, se encuentra el OFDM_TX, los demás bloques están conectados al mismo para poder establecer la conexión con el NI-USRP.

3.1.2.1 Proceso para establecer conexión con el equipo NI-USRP

Las direcciones IP en el computador y en el USRP deben ser únicas

- Dirección IP predeterminada del USRP: 192.168.10.2
- Configurar la tarjeta de red del computador con una dirección estática en la misma subred, ejemplo: 192.168.10.1

Nota: NI-USRP utiliza paquetes broadcast UDP para localizarlo. Considerar que el firewall del sistema operativo podría bloquear estos paquetes, por lo que se recomienda desactivarlo.

- Abrir el programa NI-USRP Configuration Utility

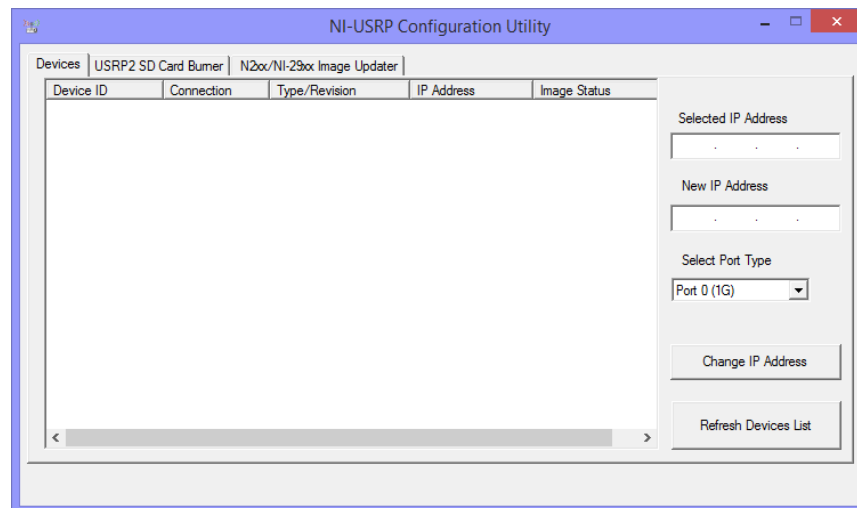


Figura 28: Ventana NI-USRP Configuration Utility

Fuente: Los Autores

Desde este utilitario se puede:

- Confirmar la comunicación con USRP
- Modificar la dirección IP del USRP
- Cargar un firmware diferente
- Ver manual NI USRP-292x Getting Started Guide.pdf (<http://www.ni.com/pdf/manuals/375717e.pdf>) para conexión de varios USRP a un host, sistemas MIMO, sincronización, resetear la IP a su valor default, etc.

3.1.2.2 API básico para NI-USRP

- API: Application Programmer Interface
- Son las funciones (bloques) de LabVIEW que nos permiten manejar los diferentes módulos, toolkits y hardware.

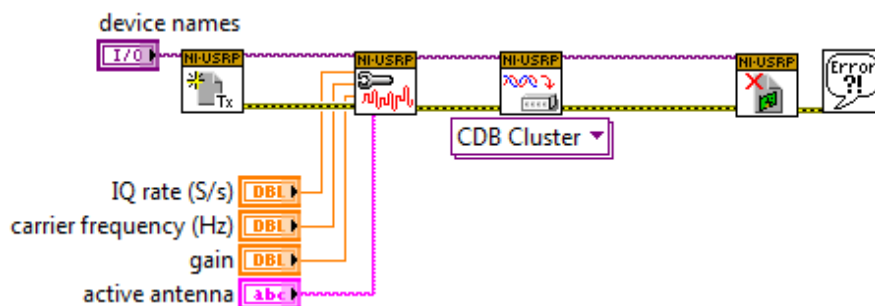


Figura 29: Configuración básica de un transmisor

Fuente: Los Autores

En este bloque tenemos los bloques que abren la sesión del NI-USRP ejecutan la transmisión y cierran la sesión respectiva del equipo.

- Ubicación: Paleta de Funciones / Instrument IO / Instrument Drivers / NI – USRP

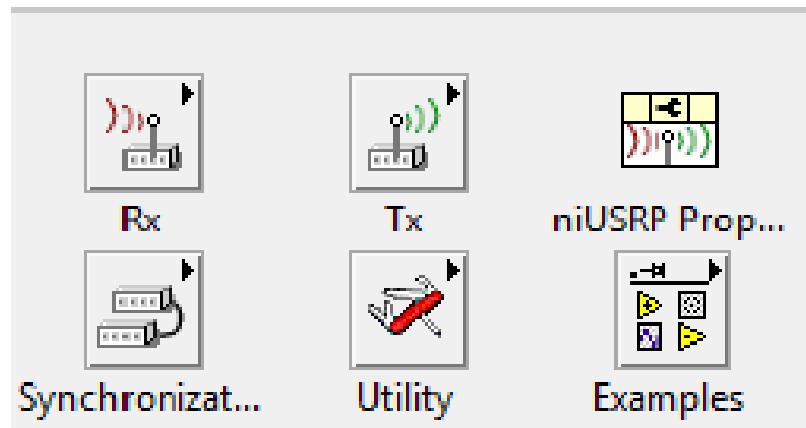


Figura 30: Paleta de controles del NI-USRP

Fuente: Los Autores

- Modelo Abrir (Configurar) – Utilizar – Cerrar

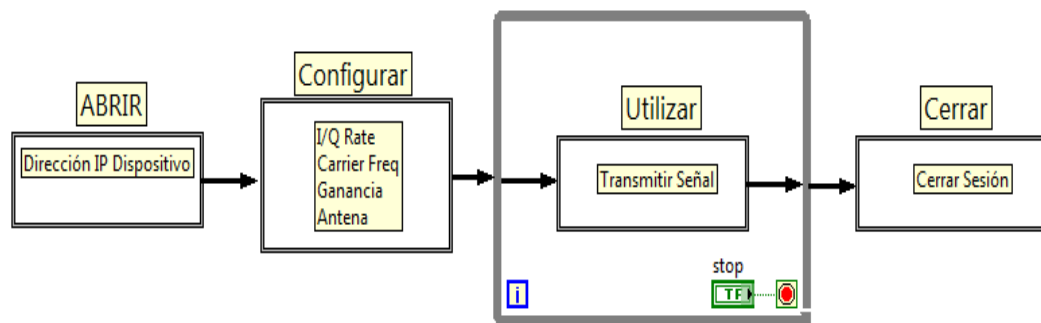


Figura 31: Flujo general de programación TX

Fuente: Los Autores

3.1.2.3 Parámetros de configuración

- Nombre del Dispositivo
 - Dirección IP
- I/Q rate
 - Velocidad de muestreo en S/s
- Carrier Frequency
 - Frecuencia del carrier en Hz
- Ganancia
 - Ganancia en dB
- Nombre de la antena para transmitir / recibir
 - TX1, RX1, RX2

3.1.2.4 Flujo básico de programación TX

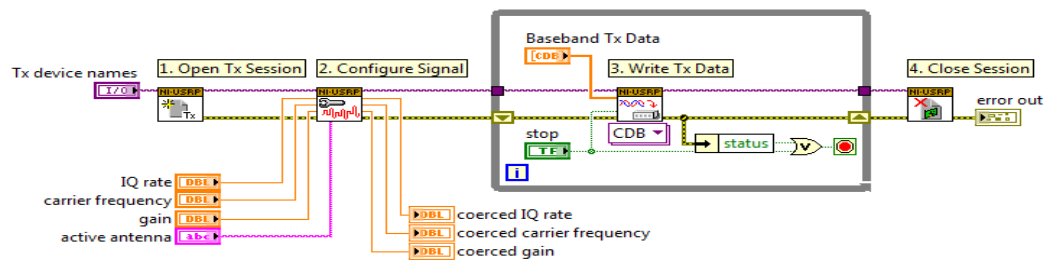


Figura 32: Esquema básico del transmisor

Fuente: Los Autores

3.1.3 El receptor

El receptor se encuentra realizado en el VI top_ofdm_rx, en este VI se establece la conexión con el NI-USRP vía Ethernet, dentro del código de programación gráfica del VI se encuentra el Sub VI de programación OFDM RX, el cual está diseñado para realizar la recepción.



Figura 33: OFDM RX

Fuente: Los Autores

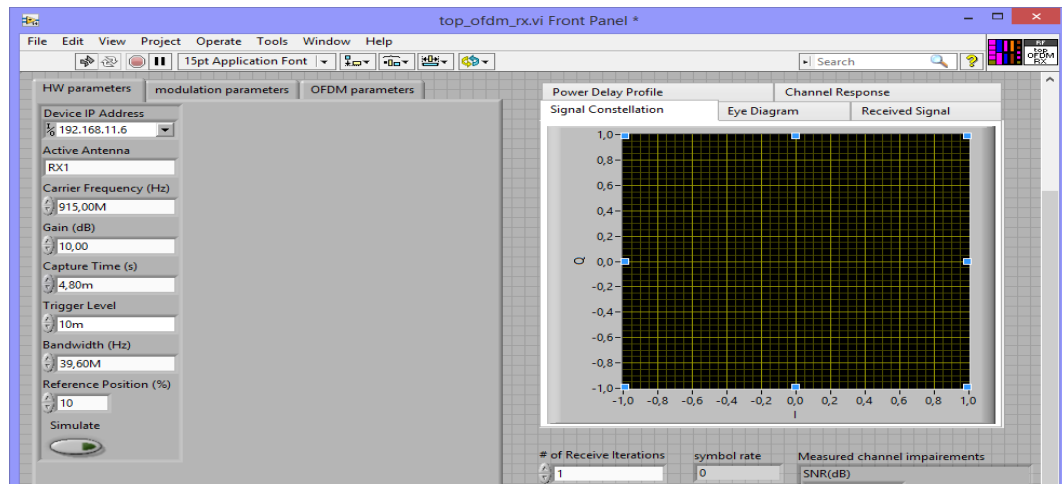


Figura 34: Sistema de recepción OFDM en labview
Fuente: Los Autores

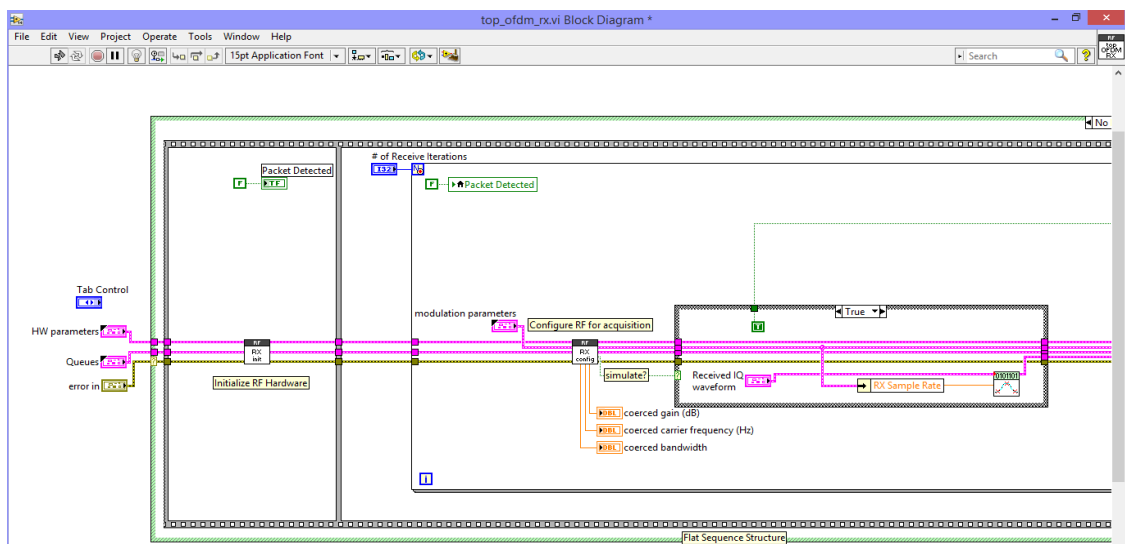


Figura 35: VI diagrama de bloques OFDM RX parte 1
Fuente: Los Autores

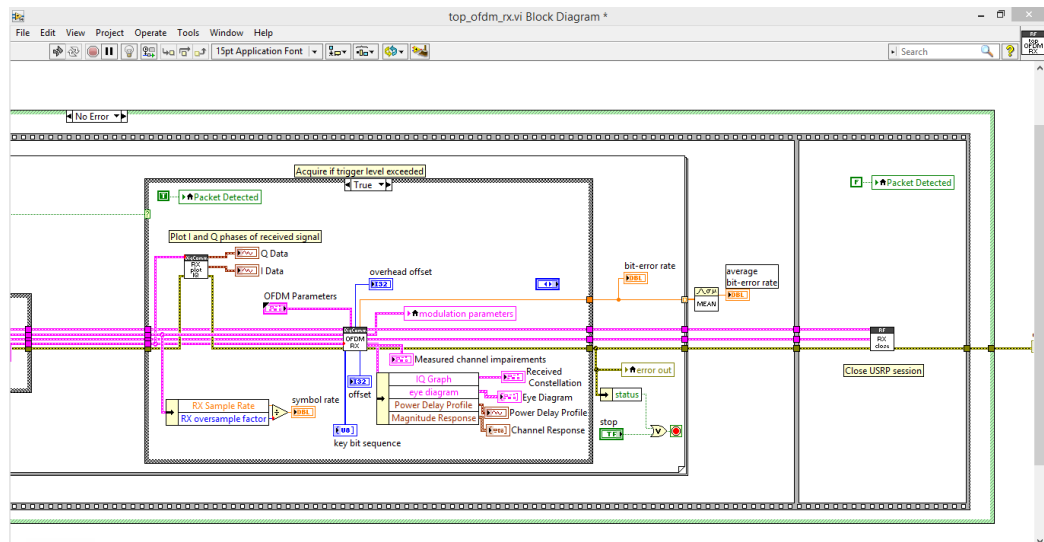


Figura 36: VI diagrama de bloques OFDM RX parte 2
Fuente: Los Autores

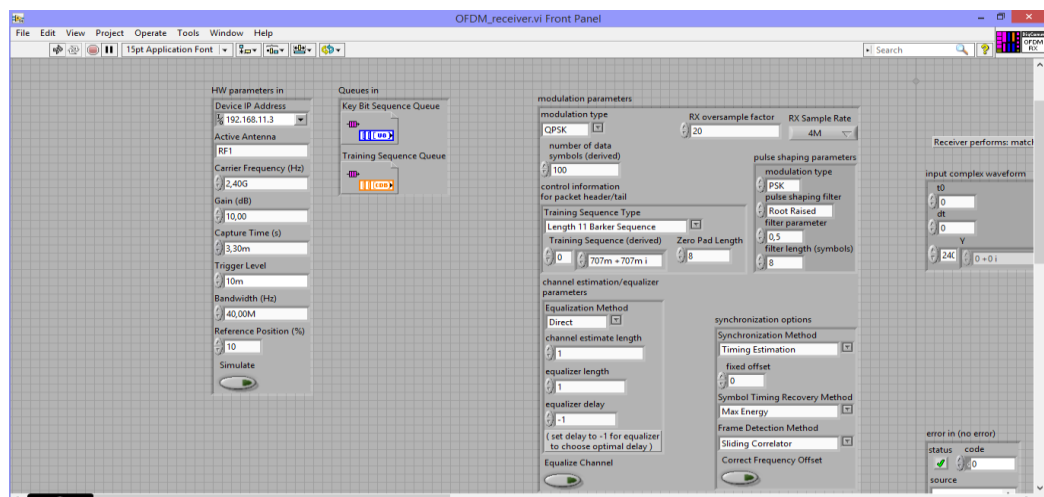


Figura 37: Pantalla principal de VI OFDM RX
Fuente: Los Autores

Dentro de los diagramas de bloques del VI figura 36, se encuentra el OFDM_RX, los demás bloques están conectados al mismo para poder establecer la conexión con él NI-USRP.

3.1.3.1 Flujo general de programación RX

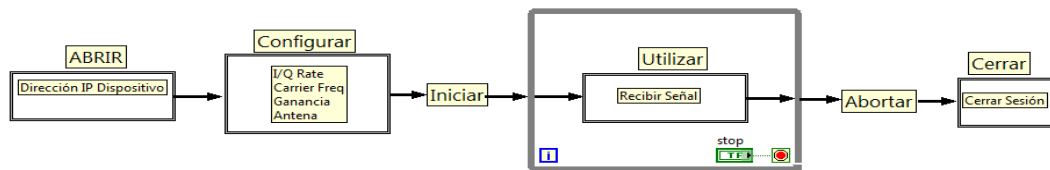


Figura 38: Flujo general de programación RX

Fuente: Los Autores

3.1.3.2 Parámetros de configuración

- Nombre del Dispositivo
 - Dirección IP
- I/Q rate
 - Velocidad de muestreo en S/s
- Carrier Frequency
 - Frecuencia del carrier en Hz
- Ganancia
 - Ganancia en dB
- Nombre de la antena para transmitir / recibir
 - TX1, RX1, RX2

3.1.3.3 Flujo básico de programación RX

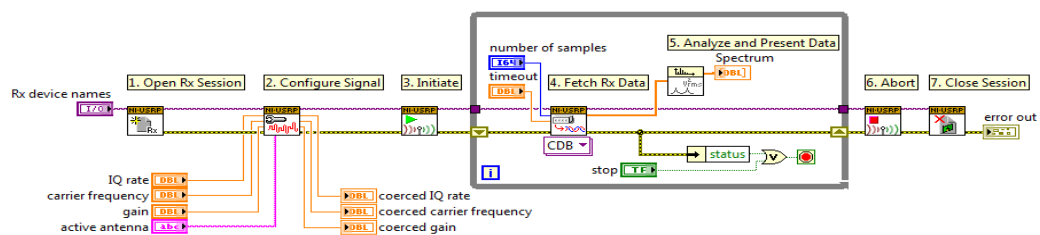


Figura 39: Esquema básico del receptor

Fuente: Los Autores

3.2 Bloque de sincronización de frecuencia

El bloque de sincronización realiza tres funciones muy importantes: la temporización de símbolos, detección de trama y estimación del desplazamiento de frecuencia. El bloque se encuentra implementado en el VI OFDM_synchronize, internamente tiene dos sub Vis muy importantes que son el symbol_timing.vi y frame_detec.vi

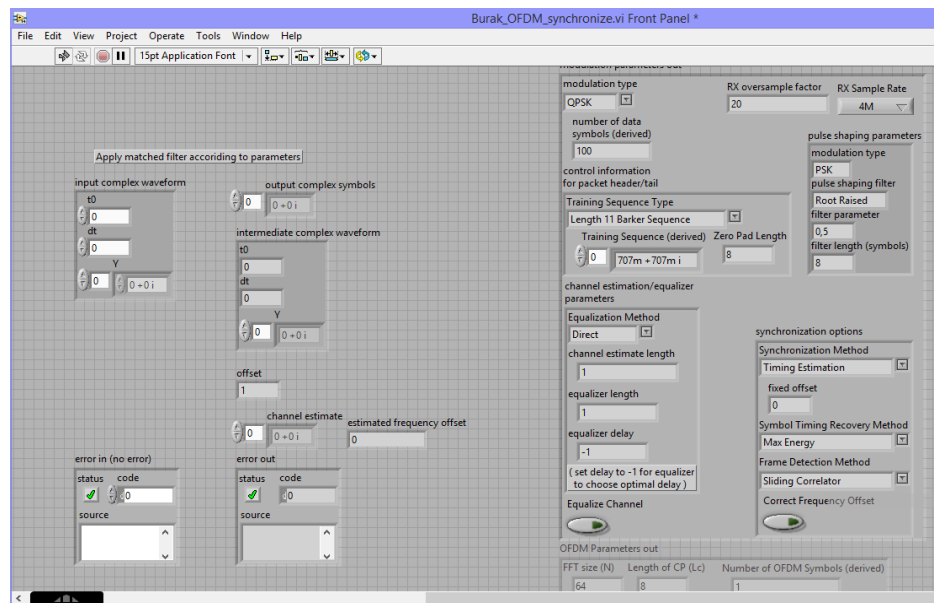


Figura 40: Pantalla principal de VI de sincronización
Fuente: Los Autores

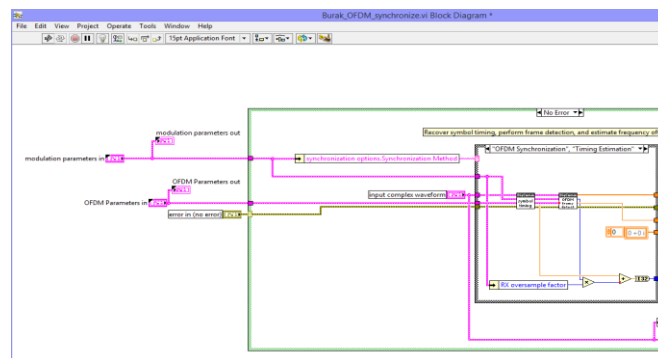


Figura 41: Pantalla principal de VI de sincronización
Fuente: Los Autores

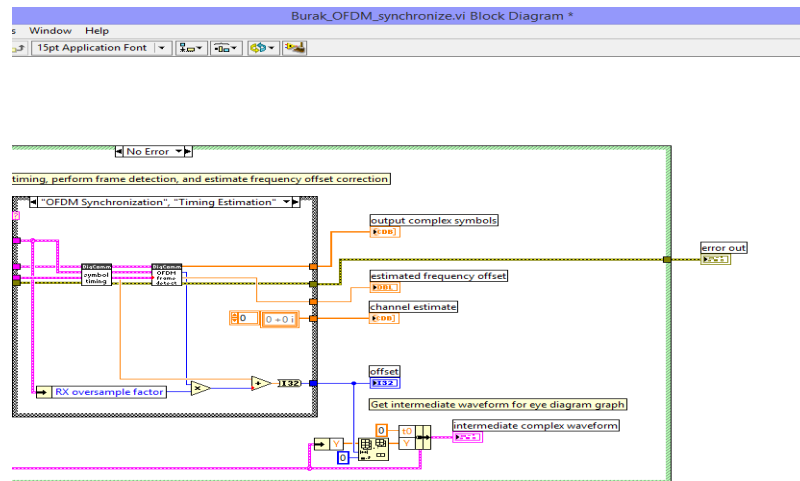


Figura 42: Pantalla principal de VI de sincronización
Fuente: Los Autores

La figura 41 muestra las entradas de parámetros del VI de sincronización, en la figura 42 se nota que primero se realiza la configuración de los símbolos, luego la detección de la trama y finalmente la corrección del desplazamiento de la frecuencia de la portadora.

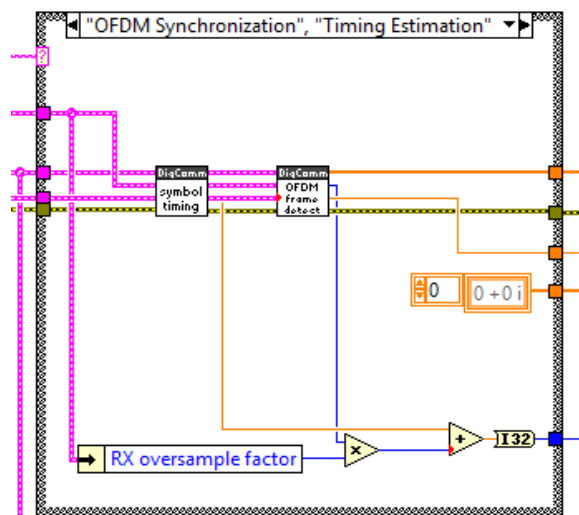


Figura 43: Bloque de sincronización OFDM
Fuente: Los Autores

De los desplazamientos obtenidos en ambos bloques se calcula el total de desplazamiento, para luego corregir la onda compleja, la onda antes mencionada se

utiliza para construir el diagrama de ojo y poder observar en el visualizador de Labview.

El bloque envía la correspondiente salida de símbolos a los siguientes bloques de sincronización, estimación de canal, control de paquete y luego al generador de graficas de constelación del VI principal.

La frecuencia de desplazamiento estimada total se calcula y se envia al bloque que recolecta datos para mostrarlos dentro de un cluster en el panel frontal de VI.

3.2.1 Bloque de temporización de símbolos

Se encuentra desarrollado dentro del VI symbol_timig, el bloque se encarga de recuperar la temporización de símbolos, de tal manera logra que el receptor muestree la señal correctamente. En esta parte también se realiza el downsamplig del sistema.

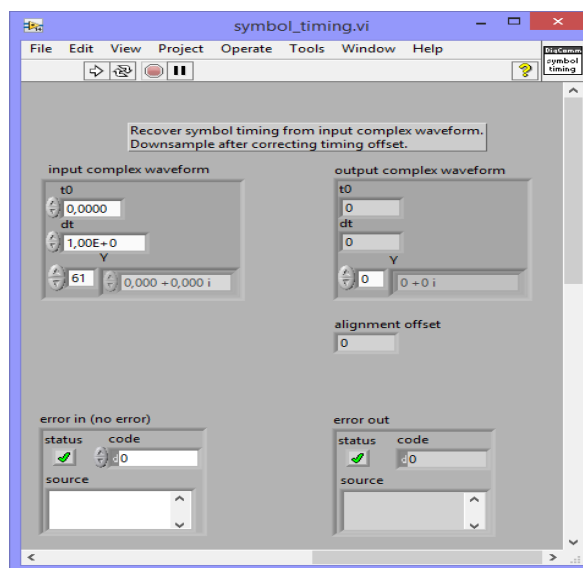


Figura 44: Panel frontal de VI temporización de símbolos

Fuente: Los Autores

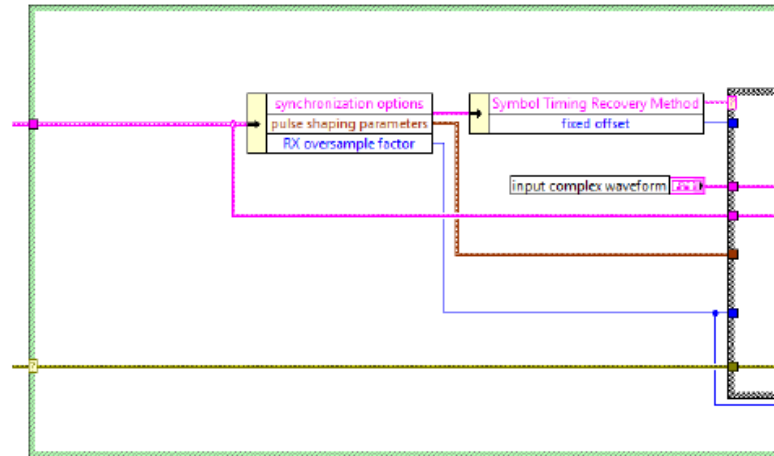


Figura 45: Diagrama de bloques del VI temporización de símbolos
Fuente: Los Autores

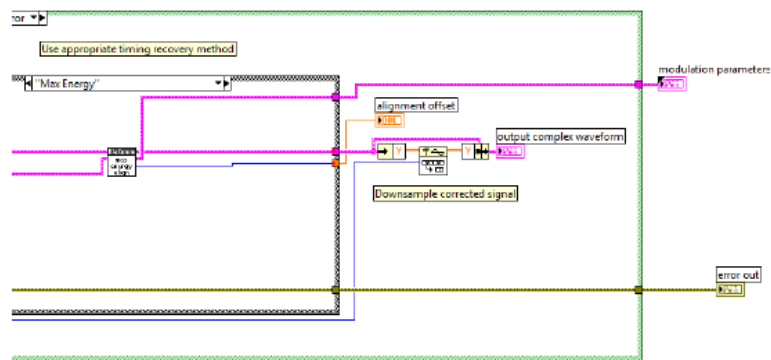


Figura 46: Diagrama de bloques del sub-VI temporización de símbolos
Fuente: Los Autores

Dentro del VI de temporización de símbolos, se encuentran los sub VI que realizan el algoritmo de temporización de símbolos. En la figura 46 se encuentra un sub VI que realiza el método de máxima energía, este dependerá de la opción que se escoja para que aparezca el sub VI deseado.

La onda obtenida del proceso de este bloque con temporización de símbolos, será el ingreso del bloque de detección de trama del siguiente algoritmo.

3.2.2 Bloque de detección de trama

Dentro de este bloque esta implementado el VI frame_detect, este bloque es el encargado de detectar el inicio de la trama y de corregir en caso de ser necesario, el desplazamiento de frecuencia.

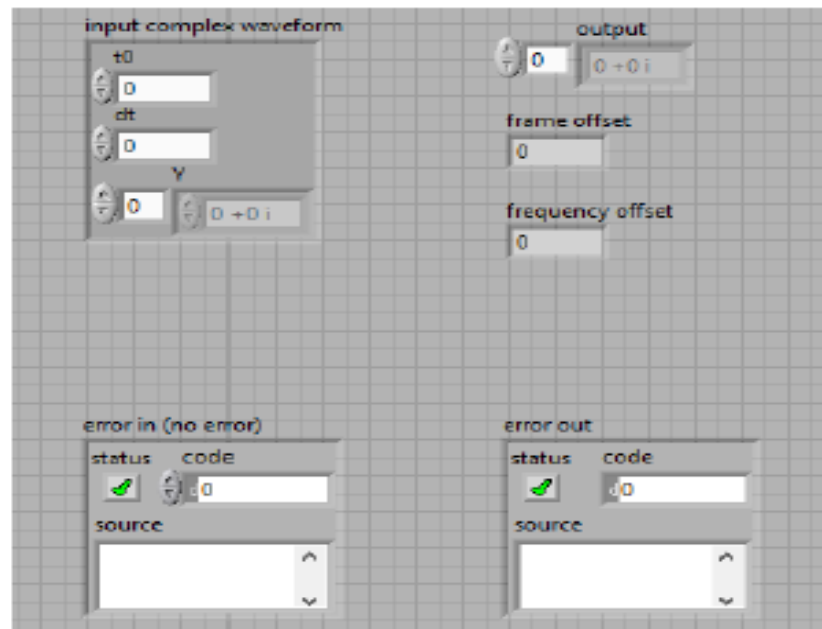


Figura 47: Panel frontal del VI Detección de Trama

Fuente: Los Autores

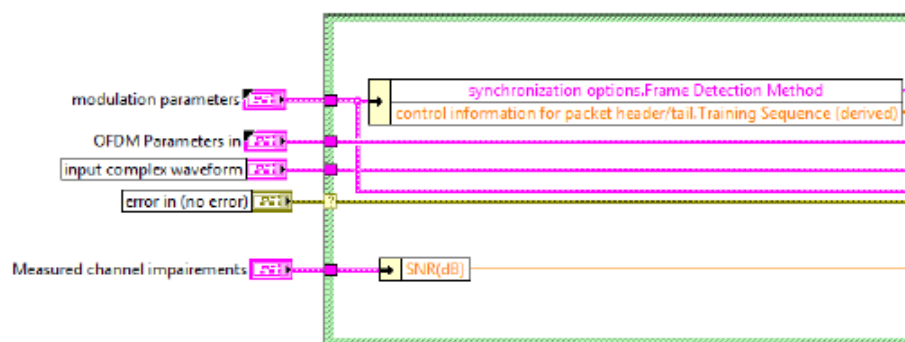


Figura 48: Diagrama de bloques del VI detección de trama parte 1

Fuente: Los Autores

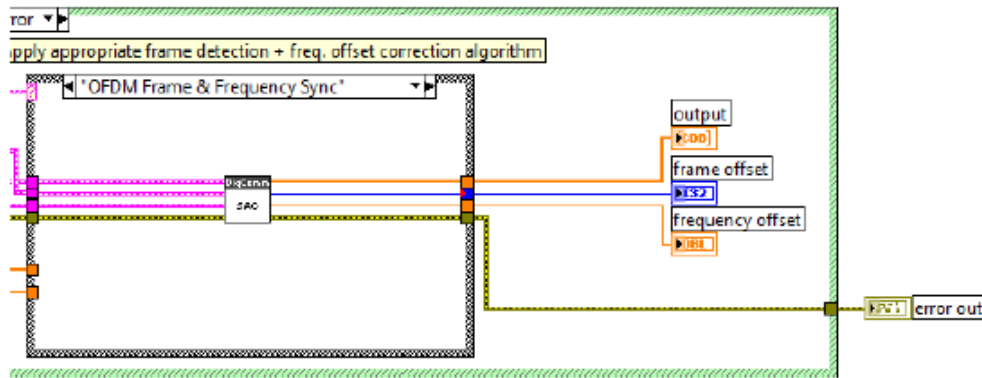


Figura 49: Diagrama de bloques del VI detección de trama parte 2

Fuente: Los Autores

En este bloque se encuentran los sub VI necesarios para la detección de trama, dentro del mismo se puede escoger el tipo de algoritmo que se desee para poder realizar la detección de la trama.

3.3 Modulador QAM TX, RX

Entre los VI que se va a utilizar tenemos los que realizan la modulación para la transmisión en OFDM estos VI se llaman EX QAM Rx.vi y el EX QAM Tx.vi, que demuestran cómo establecer una conexión digital entre dos dispositivos para transmitir (Tx) y recibir señales (Rx) .

Estos ejemplos muestran una forma que puede utilizar Modulación con los Toolkit VIs para establecer enlaces de comunicaciones digitales.

Cuando se realiza la transmisión se realiza la modulación Toolkit VIs para generar un mensaje de secuencia PN, mapear los bits de este mensaje a símbolos, y aplicar un filtro de conformación de impulsos.

De la misma manera los Toolkit VIs para recepción utilizan Modulation Toolkit VIs para demodular la señal adquirida, las operaciones tales como la frecuencia, símbolo de sincronización, y la recuperación poco rendimiento.

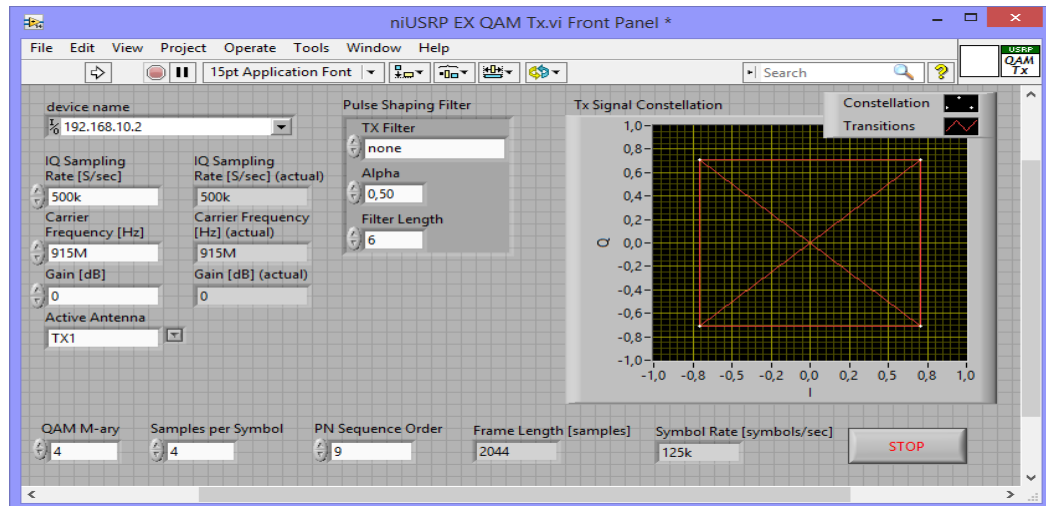


Figura 50: Diagrama frontal del VI QAM TX
Fuente: Los Autores

En este VI tenemos que configurar los parámetros para el envío de los paquetes, se deben configurar los parámetros de IQ Sampling, Carrier Frequency, Gain, Active antena y el QMA, estos para metros deben ser configurados igual del lado del receptor.

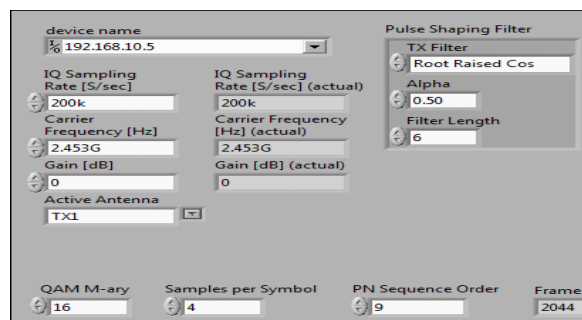


Figura 51: Pantalla de configuración de parámetros para transmitir
Fuente: Los Autores

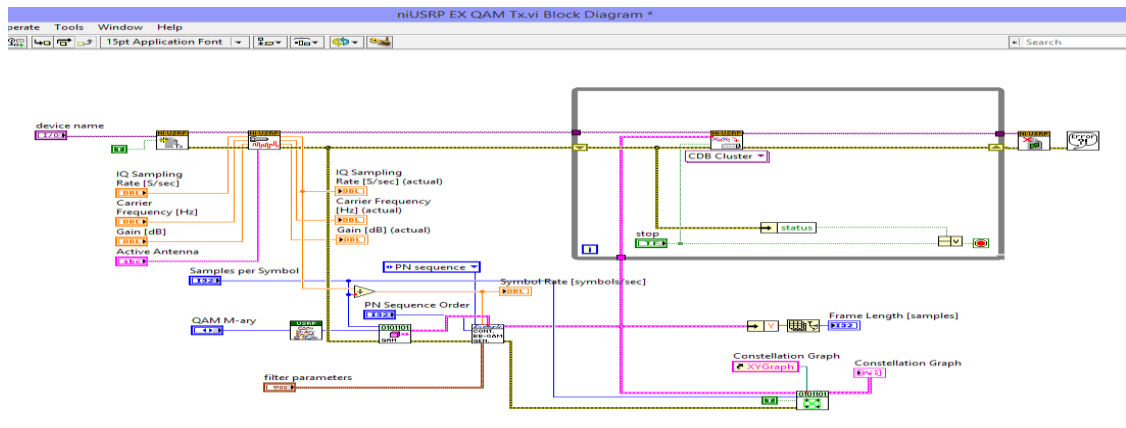


Figura 52: Bloques de programación de VI QAM TX
Fuente: Los Autores

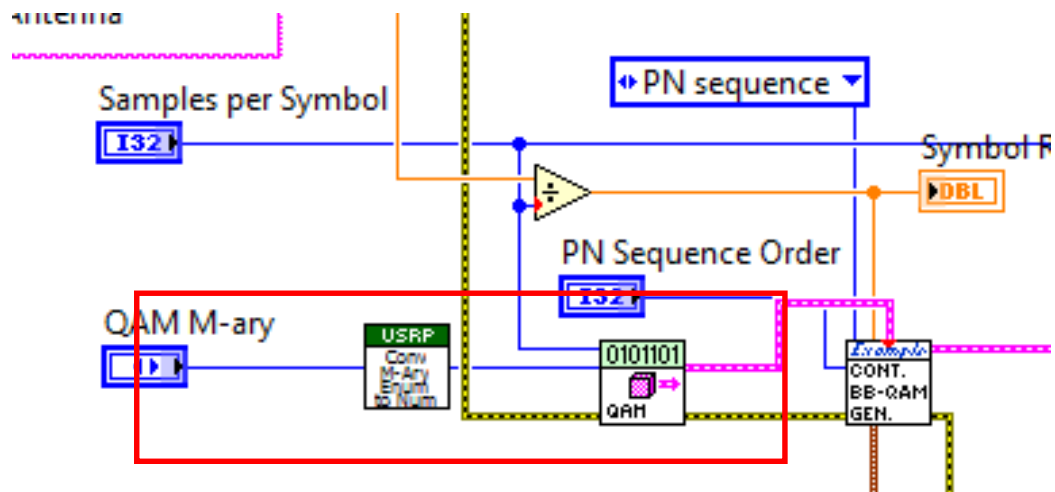


Figura 53: Bloque selector del tipo de QAM
Fuente: Los Autores

Como se detalla en la figura anterior esta es la parte donde se selecciona el tipo de Modulación QAM con la que se desee transmitir, por ejemplo, 16QAM, 32QAM, 64QAM.

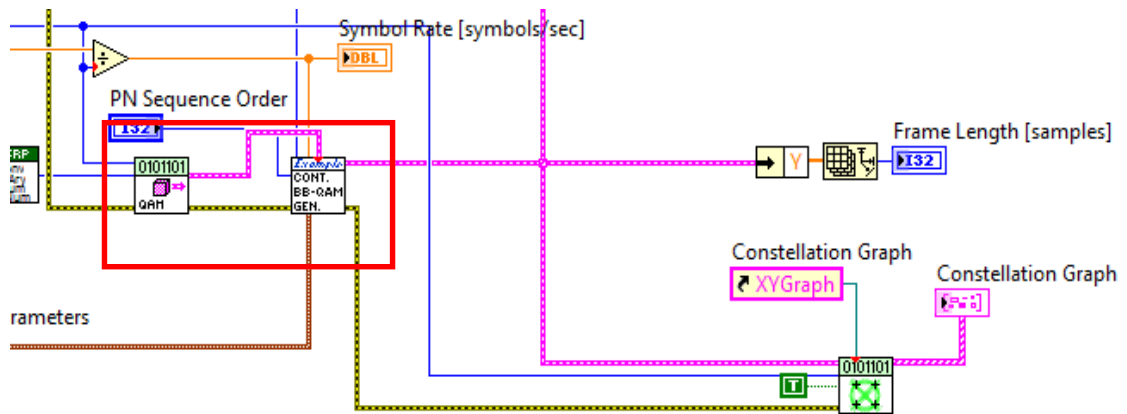


Figura 54: Bloque selector del tipo de QAM

Fuente: Los Autores

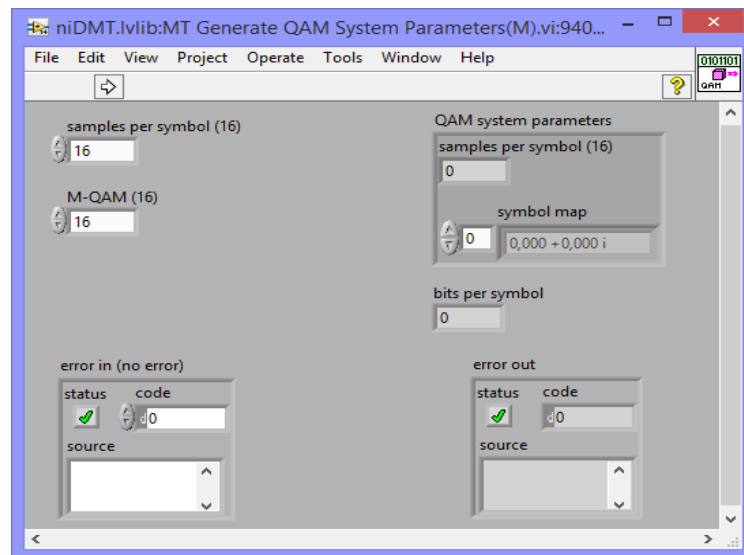


Figura 55: Vista Principal del VI Generador QAM System

Fuente: Los Autores

En este VI se configuran los parámetros de QAM y de los símbolos a transmitir

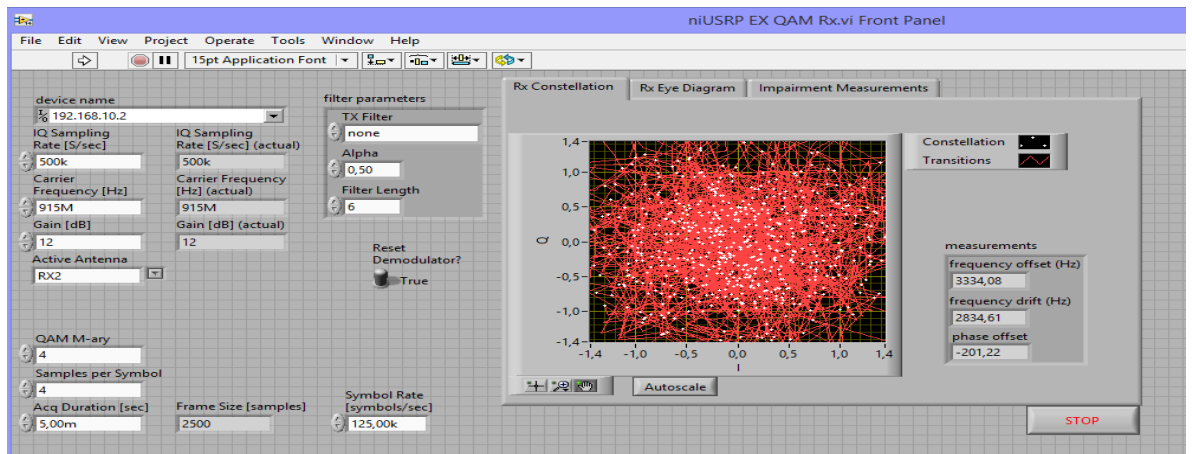


Figura 56: Vista Principal del VI demodulador QAM RX
Fuente: Los Autores

Fuente: Los Autores

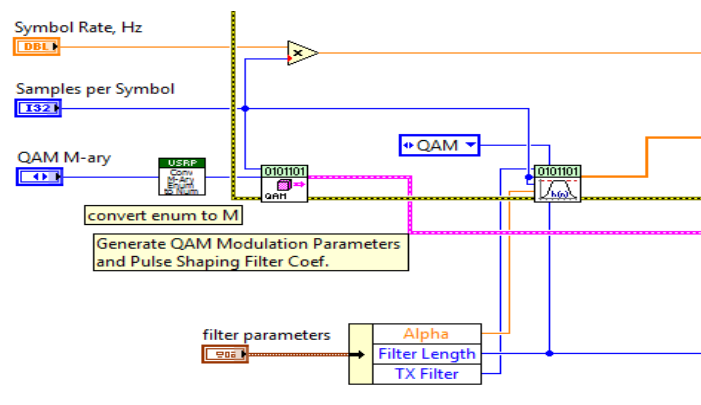


Figura 57: Diagrama de programación en bloque QAM RX entrada
Fuente: Los Autores

Fuente: Los Autores

En este bloque se realiza la configuración de la captura de los datos para luego de procesado para generar la señal en los visualizadores del sistema.

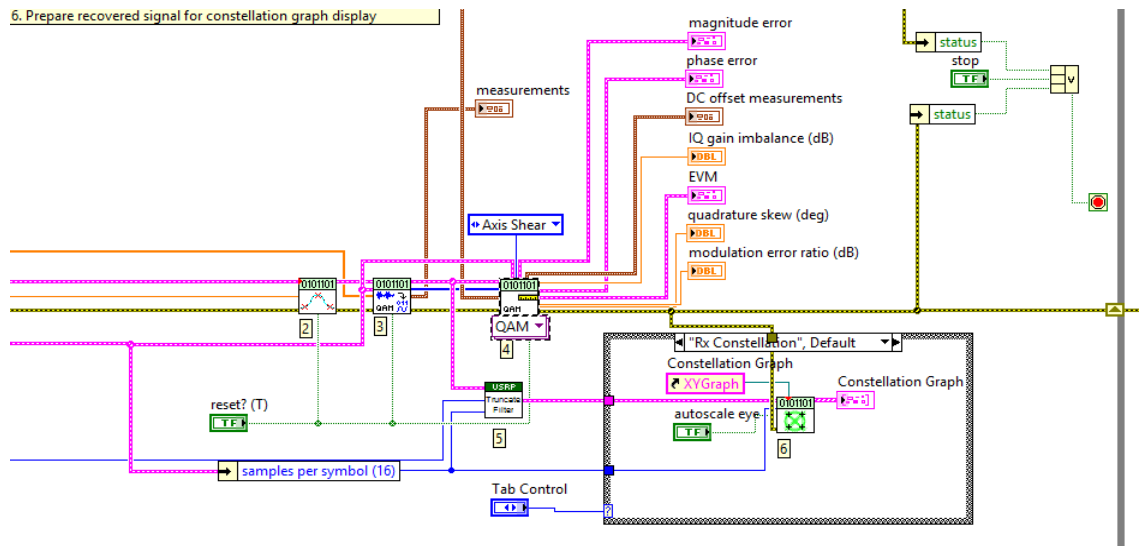


Figura 58: Diagrama del demodulador QAM RX grafica de datos
Fuente: Los Autores

CAPÍTULO IV. PRESENTACIÓN DE MUESTRAS Y RESULTADOS

Para la obtención de los resultados, el proyecto fue probado con diferentes parámetros para el estudio de este tipo de señal, los cuales arrojaron resultados que se reflejan en los parámetros a analizar dependiendo de la distancia entre el emisor y el receptor.

Las pruebas de simulación se realizaron en:

- Laboratorio de telecomunicaciones de la UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA sede Guayaquil
- Pruebas de implementación en campo

4.1 Pruebas realizadas en el Laboratorio

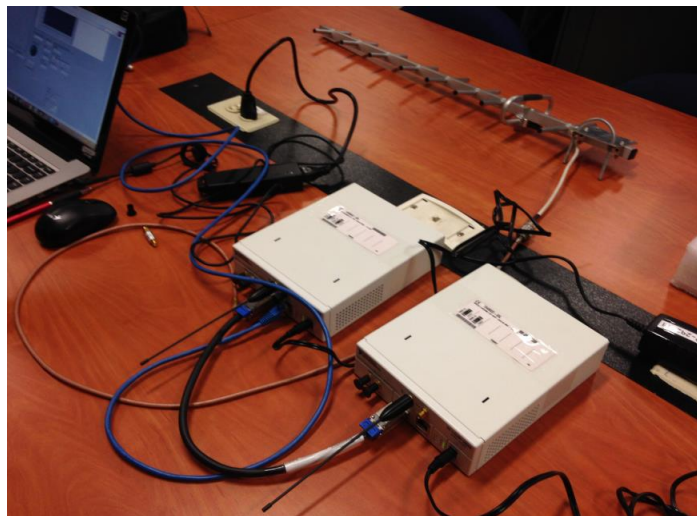


Figura 59: Conexión de equipos para pruebas de TX y RX

Fuente: Los Autores

Se realizaron preliminarmente pruebas con diferentes antenas y ganancias.

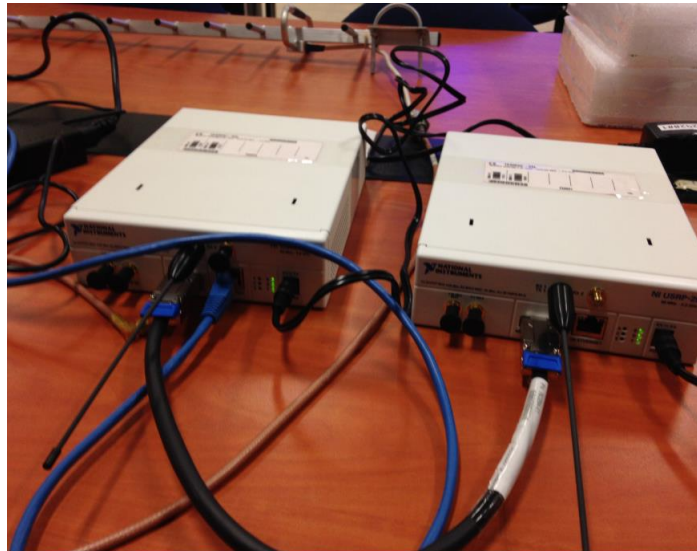


Figura 60: Vista frontal de conexión de los equipos NI-USRP
Fuente: Los Autores



Figura 61: Antena VERT400
Fuente: Los Autores

El uso de sistemas de modulación de orden superior como 16-QAM y 64-QAM son necesarios en esta interfaz radioeléctrica para conseguir aumentar la velocidad de transmisión de los datos. Modulaciones de más alto nivel proporcionan mayor número de bits eficaces por símbolo y por lo tanto mayor tasa binaria. Por el contrario, estas modulaciones presentan constelaciones más complejas y son más sensibles a interferencias, por lo que necesitarán mayores requisitos de potencia para mantener el mismo EVM (Error Vector Magnitude) representado en la Figura siguiente

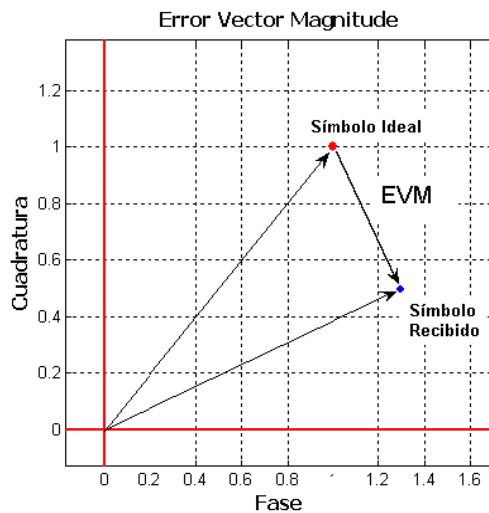


Figura 62: Representación del EVM

Fuente: Los Autores

El EVM (Error Vector Magnitude) representa la diferencia vectorial entre la posición ideal del símbolo en la constelación frente al valor detectado en condiciones no ideales de interferencia, cuantificado como el módulo del vector diferencia entre ambos.

Para realizar las pruebas primero se deben configurar el transmisor y el receptor de manera correcta.

4.1.1 Configuración para el transmisor

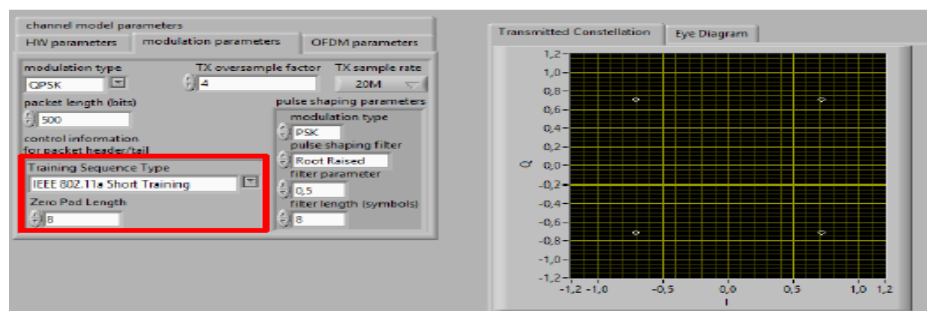


Figura 63: Configuración de VI transmisor

Fuente: Los Autores

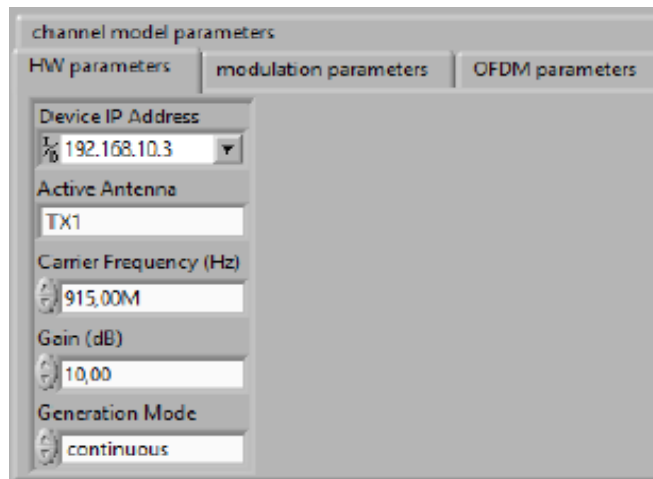


Figura 64: Configuración de parámetros del NI-USRP
Fuente: Los Autores

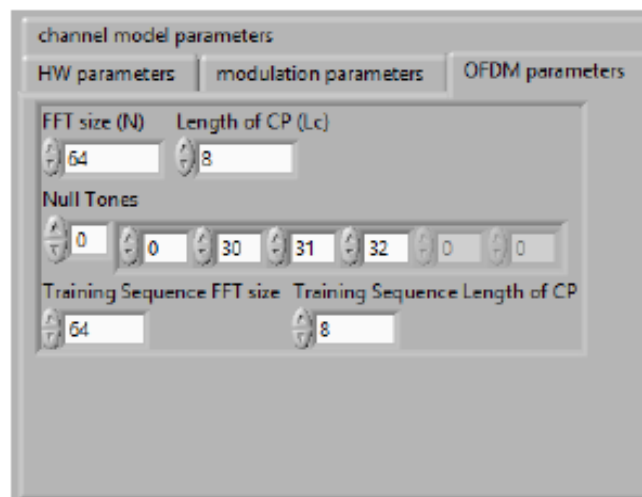


Figura 65: Configuración de parámetros OFDM transmisor
Fuente: Los Autores

En la figura 64 se puede observar la constelación transmitida con los parámetros ingresados para esta prueba, también se configuró los parámetros de sincronización. En la figura 65 configuramos respectivos del equipo NI-USRP a utilizar y la frecuencia portadora, tipo de canal, potencia de ruido, respuesta de canal, desplazamiento de frecuencia, tamaño del FFT. La potencia de ruido nos ayuda a calcular la SNR deseada,

ya que este es el parámetro de entrada en la que se basa los resultados. El SNR se calcula dividiendo, la potencia de la señal transmitida sobre la potencia de ruido fijada todo en $-dB$. Se conecta la Computadora al NI-USRP vía Ethernet, por lo que es necesaria una dirección IP que identifique al dispositivo transmisor. La frecuencia de portadora se utilizara para transmitir la señal al medio, de esta manera se debe fijar en el receptor la misma frecuencia para poder recibir la señal.

Se utiliza 64 subportadoras OFDM con un CP de 8

4.1.2 Configuraciones para el receptor

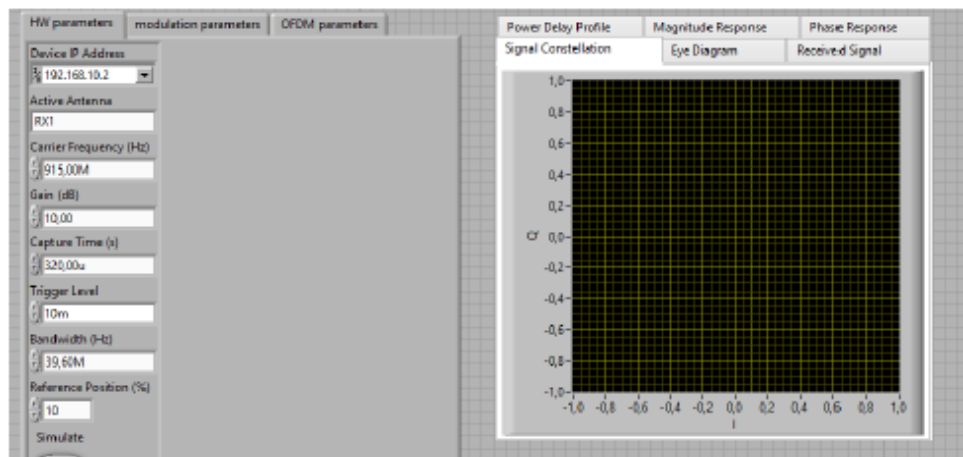


Figura 66: Configuración de parámetros OFDM receptor
Fuente: Los Autores

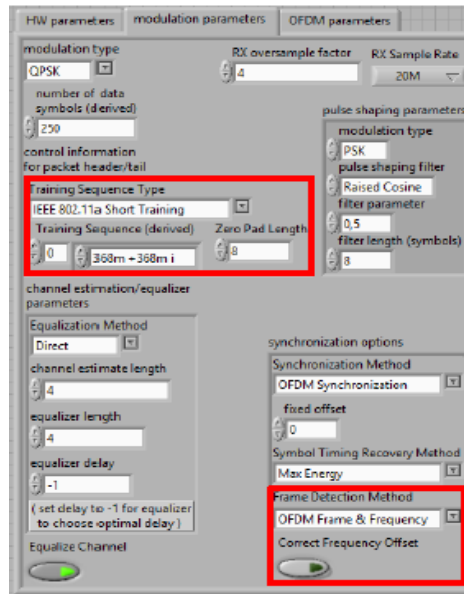


Figura 67: Parámetros de modulación del receptor
Fuente: Los Autores

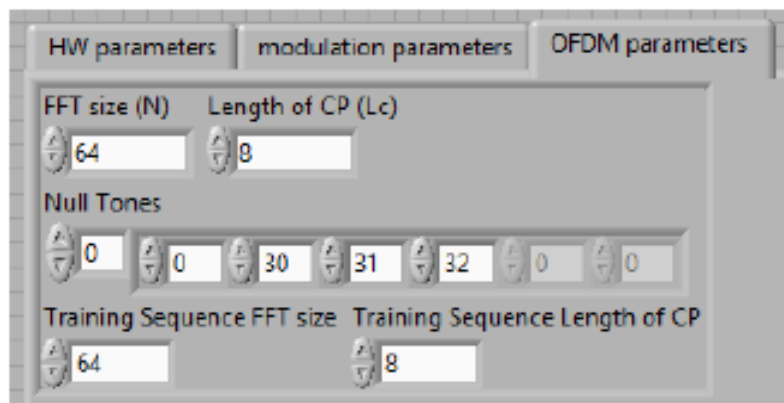


Figura 68: Configuración de parámetros de OFDM del receptor
Fuente: Los Autores

En la figura 67 se pueden observar los parámetros de configuración del equipo NI-USRP que deben ser los mismos que se configuraron en el transmisor excepto la dirección IP ya que el equipo receptor debe tener una IP distinta a la del transmisor

En la figura 68 observamos los parámetros de modulación configurados para el receptor, tales como la sincronización, el tipo de modulación, etc.

En la figura 69 se puede observar los parámetros de configuración para OFDM del receptor, estos deben ser los mismos que se fijaron en el transmisor para que la comunicación sea efectiva.

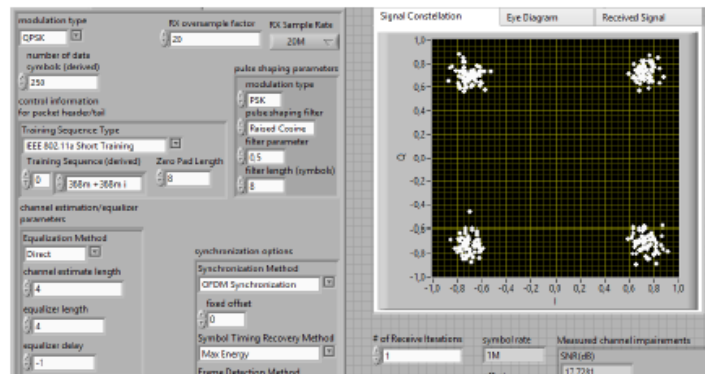


Figura 69: Vista principal del VI receptor OFDM

Fuente: Los Autores

Además se observan los puntos de la constelación se encuentran cada uno en la región correspondiente, tenemos un BER=0 esto indica claramente que se logró detectar adecuadamente el inicio de la trama.

Se obtuvo un SNR de 17.73 dB lo que indica el buen funcionamiento del algoritmo, El que el SNR sea superior a lo deseado se debe a las ganancias de las antenas y la corta distancia a la que se encuentran.

Los esparcimientos de los puntos de la constelación se deben al SNR deseado utilizado, ya que se consideró que la señal transmitida es de baja potencia -1.45 db, un SNR de 15, si el algoritmo no detectase correctamente el inicio de la trama, la constelación se presentaría completamente esparcida con un BER alto.

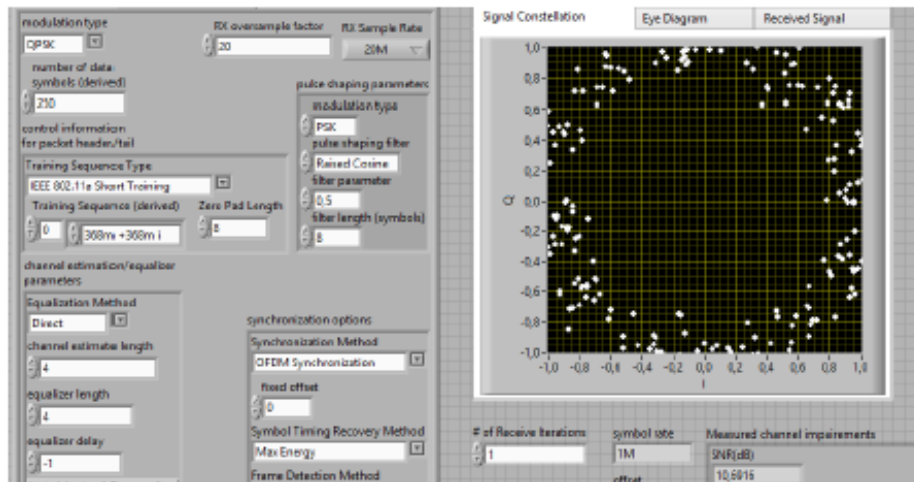


Figura 70: Constelación recibida utilizando SCA-W
Fuente: Los Autores

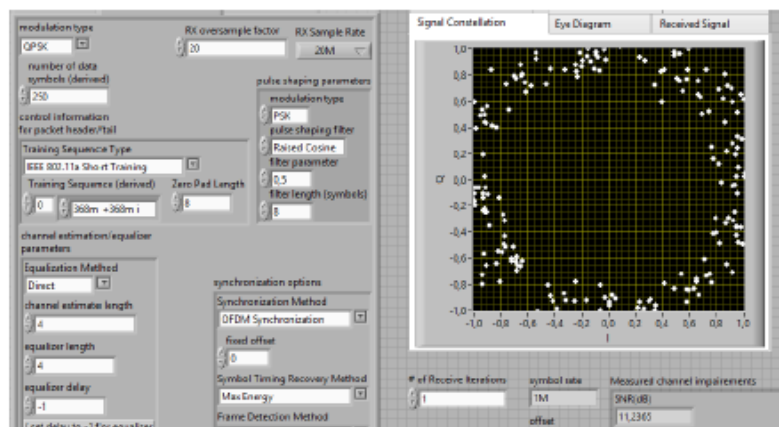


Figura 71: Constelación recibida utilizando SCA-V
Fuente: Los Autores

CONCLUSIÓN

Se concluye que la separación entre portadoras del canal interferente es suficiente siempre que la relación señal interferencias es mayor o igual a 13 dB.

En caso de una separación entre canales mayor que la necesaria, por un lado se consigue mejorar la calidad de la comunicación GSM-R, y por otro lado podemos mantener la misma calidad transmitiendo una señal con menor nivel de potencia o llegando a distancias más lejos.

En un caso real la comunicación se verá afectada por interferencias procedente de diferentes canales al mismo tiempo, aun así el canal que más afecta a dicha comunicación es el que está más cerca a la portadora de la señal deseada.

Se concluye con lo verificado de los resultados las simulaciones realizadas, los filtros no ofrecen una solución aceptable a este problema, como vimos en las simulaciones por un lado los filtros reducen el nivel emisiones no deseadas.

RECOMENDACIONES

Colocar el transmisor y receptor equipos USRP, lo más cerca que se pueda para evitar interferencias del medio y los errores debido a la sensibilidad del cable MIMO.

Si se desea aumentar la longitud del paquete transmitido, hay que fijar el tiempo de captura fijado en el sistema, ya que si es pequeño se puede perder la información y se obtendría un BER alto.

Evitar todo tipo de interferencias ya que va a llegar una señal con ruido y distorsionada en el receptor.

Utilizar computadoras con un procesador mínimo a un Intel Core I3 o semejante, una memoria de 4Gb o superior, con la finalidad de que la transmisión y recepción no tenga problemas o que la PC se inhiba.

CRONOGRAMA

Actividad	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 5				Mes 6			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Recolección de la información																								
Diseño del modelo de manera grafica																								
Cotización de materiales y herramientas																								
Investigación y Aprendizaje de Usrp																								
Adquisición de Materiales																								
Elaboración del documento																								
Elaboración de la programación																								
Implementación del Sistema																								
Prueba del sistema																								
Presentación de la investigación																								

PRESUPUESTO

RECURSOS	CANTIDAD	VALOR
1. Curso de Programación en USRP	2	500
2. Materiales varios	varios	160
3. Trabajos en cyber	varios	50
4. Movilización	varios	50
5. Asesoramiento	1	150
6. Recursos Bibliográficos y Software.	varios	25
7. Impresiones, Copias y Encuadernado	1	150
8. Total		1085

BIBLIOGRAFIA

- bibing. (2010). *Sistemas OFDM*. Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11479/fichero/2-Sistemas+OFDM.pdf>
- Espectrometria. (2012). *ESPECTROMETRIA .COM*. Obtenido de ESPECTROMETRIA .COM: http://www.espectrometria.com/espectro_electromagntico
- Fernandez, M. M. (2010). *MODULACION EN AMPLITUD*. Valladolid.
- huawei. (2015). *huawei LTE*. Obtenido de huawei LTE: <http://www.huawei.com/ec/group-search/index.htm?ssUserText=lte>
- Monachesi, E. (2011). *Conceptos generales de Antenas*. San Miguel de Tucuman, Argentina: edutecne.
- National_Instruments. (2015). *National Instruments*. Obtenido de <http://latam.ni.com/>
- System, A. d. (2006). *Fundamentos de Redes Inalámbricas*. Madrid: Pearson Educación,S.A. Obtenido de Fundamentos de Redes Inalámbricas.
- Tripod. (2012). *SISTEMAS DE MODULACION DE SEÑAL*. Obtenido de SISTEMAS DE MODULACION DE SEÑAL: <http://arieldx.tripod.com/manualdx/bandas/modulacion.htm>
- TutorialspointLTE. (2014). *LTE*. Obtenido de http://www.tutorialspoint.com/lte/lte_basic_parameters.htm
- Udlap. (2008). *Propagación de RF*. Obtenido de Propagación de RF: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/campos_v_da/capitulo1.pdf

ANEXOS

ACRÓNIMOS

3GPP: Third Generation Partnership Project; Proyectos de Asociación de Tercera Generación

3GPP2: Third Generation Partnership Project 2; Proyectos de Asociación de Tercera Generación 2

AAA: Authentication, Authorization, Accounting; Autenticación, Autorización, Contabilización

Abonados: Usuarios que hayan recibido o realizado al menos una llamada en un período de tiempo.

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line; Línea de abonado digital asimétrica

AKA: Authentication and Key Agreement, Autenticación y Acuerdo de Clave

Algoritmo: Número de operaciones secuenciales que buscan solución a un problema.

AMC: Modulación y Codificación Adaptativa.

Ancho de Banda: Cantidad de datos que se pueden transmitir en un periodo de tiempo

APAC: Región Asia Pacífico.

Área de Cobertura: Considerado como el espacio geográfico a la cual se dispone un servicio.

ARPU: Average Revenue Per User, ingresos medios por usuario.

ARQ: Automatic Repeat ReQuest, Peticiones de Retransmisión Automáticas.

Autenticar: Confirmar la validez de una identidad.

AUTN: Authentication Token, Parámetro de Autenticación.

AWS: Advanced Wireless Services, banda de Servicios Inalámbricos Avanzada

Banda ancha: Capacidad para transmitir datos un canal compartido.

BD: Base de Datos

Broadcast: Difusión.

BTS: Estación Base Transceptora

Canal de Radio: Un par de frecuencias portadoras, utilizadas como canales de tráfico en una transmisión.

CDMA: Code Division Multiple Access; Acceso múltiple por División de Códigos.

Celda: Área geográfica manejada por un elemento de red (BTS en una red GSM).

Cifrado: Método para asegurar la información de un mensaje

CNT: Corporación de Telecomunicaciones

Conmutación de circuitos: Establecimiento de un camino de comunicación único (dedicado) entre dos elementos de una red

Conmutación de paquetes: Transmisión de información mediante paquetes entre dos elementos de red, de forma independiente.

CS: Circuit Switching, Conmutación de Circuitos

CT: Core Network & Terminals, Red de Núcleo y Terminales.

Cuádruple play: Servicios de televisión por cable, Internet, telefonía fija y móvil ofrecidos por un operador

DD: Dividendo Digital

DL: Down Link; Enlace Descendente

Duplexado: Forma de comunicación bidireccional simultánea.

EMBMS: evolved Multimedia Broadcast Multicast Services, plataforma de Servicio de Multidifusión Multimedia evolucionado.

Enlace ascendente: Dirección en la que viajan los datos de una comunicación; de móvil a estación base.

Enlace descendente: Dirección en la que viajan los datos de una comunicación; estación base a móvil.

ENodeB: evolved NodeB; Nodo B evolucionado.

EPC: Evolved Packet Core; Núcleo de Paquetes Evolucionado.

EPS: Evolved Packet System; Sistema de Paquetes Evolucionado.

E-UTRAN: Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network, Red de Acceso de Radio Terrestre Universal Evolucionado.

Exabyte: Unidad de medida informática simbolizada como EB F.O.: Fibra Óptica.

FDD: Frequency Division Duplex; Duplexación por División de Frecuencia

FDMA: Frequency Division Multiple Access; Acceso múltiple por División de Frecuencias

FEC: Forwarding Error Correction; Corrección de Errores hacia adelante.

Femtocélulas o Femtoceldas: Similar a una celda pero con un área menor de cobertura de servicios.

GERAN: GSM EDGE Radio Access Networks, Redes de Acceso por Radio GSM y EDGE.

GPON: Gigabit Passive Optical Network; Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit.

GSA: Global mobile Suppliers Association; Asociación Mundial de Proveedores.

GSM: Global System for Mobile communications; Sistema Global para las comunicaciones Móviles.

HD: High Definition; Alta Definición.

HeNB: Home evolved NodeB; NodoB Local evolucionado.

HSDPA: High Speed Downlink Packet Access; Enlace descendente de alta velocidad de paquetes.

HSS: Home Subscriber Server; Servidor de Suscripción local.

IETF: Internet Engineering Task Force; Fuerza de Tareas de Ingeniería de

Internet.

IMS: IP Multimedia Subsystem; Servicios del Subsistema Multimedia IP.

IMSI: International Mobile Subscriber Identity; Identidad Internacional del Abonado a un Móvil)

IMT-2000: International Mobile Telecommunications-2000, Telecomunicaciones

Móviles Internacionales-2000

Interconexión: Conexiones tanto lógicas como físicas entre diferentes operadores.

Interferencia de multitrayectoria: Superposición de las ondas que viajan en el espacio por diferentes caminos.

Interferencia intersimbólica: Alteración de una señal transmitida debido al ensanchamiento de los pulsos en las señales digitales.

IP: Protocol Internet; Protocolo de Internet.

ISP: Internet Service Provider; Proveedor de Servicios de Internet. Kbps: Kilobit por segundo.

Latencia: El total de retardos de tiempo en la transmisión de información de una red.

LTE: Long Term Evolution, Evolución a Largo Plazo

M2M: Machine to Machine, Máquina a Máquina

MAC: Media Access Control; Control de Acceso al Medio.

MIMO: Multiple Input-Multiple Output, Múltiple Entrada-Múltiple Salida.

MMDS: Microwave Multipoint Distribution Service; Servicio de distribución multipunto multicanal

MME: Mobility Management Entity, Entidad de Gestión de Movilidad.

Modo Idle: Se encuentran en modo idle los UE que no se encuentran en conexión de control con la red de acceso E-UTRAN.

MSC: Mobile Switching Center; Central de Conmutación Móvil.

MTS: Mobile Telephone Service; Servicio de Telefonía Móvil.

Multicast: Multidifusión, designada a la transmisión de información de un emisor a varios receptores.

Multihoming: Método utilizado para generar mayor confiabilidad en una red IP.

Multimedia: Denominado a todo dispositivo o sistema que presentan todo tipo de información.