



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACION:
SIMULACIÓN DE SEÑALES DISTRIBUIDAS EN RoF PARA REDES WiMAX
A TRAVÉS DE LA MODULACIÓN OFDM Y 64-QAM

Previa la obtención del Grado Académico de Magíster en
Telecomunicaciones

ELABORADO POR:
Ing. Juan Carlos Navarro Viveros

Guayaquil, a los 30 días del mes de Junio del año 2015



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Magíster **Juan Carlos Navarro Viveros** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de Magíster en Telecomunicaciones.

Guayaquil, a los 30 días del mes de Junio del año 2015

DIRECTOR DE TESIS

MsC. Edwin Palacios Meléndez

REVISORES:

MsC. María Luzmila Ruilova Aguirre

MsC. Luis Córdova Rivadeneira

DIRECTOR DEL PROGRAMA

MsC. Manuel Romero Paz



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

YO, JUAN CARLOS NAVARRO VIVEROS

DECLARÓ QUE:

El Trabajo de Titulación “SIMULACIÓN DE SEÑALES DISTRIBUIDAS EN RoF PARA REDES WiMAX A TRAVÉS DE LA MODULACIÓN OFDM Y 64-QAM”, previa a la obtención del grado Académico de Magíster, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico de la tesis del Grado Académico en mención.

Guayaquil, a los 30 días del mes de Junio del año 2015

EL AUTOR

Ing. Juan Carlos Navarro Viveros



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO

AUTORIZACIÓN

YO, JUAN CARLOS NAVARRO VIVEROS

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación de Maestría titulado: “SIMULACIÓN DE SEÑALES DISTRIBUIDAS EN RoF PARA REDES WiMAX A TRAVÉS DE LA MODULACIÓN OFDM Y 64-QAM”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 30 días del mes de Junio del año 2015

EL AUTOR

Ing. Juan Carlos Navarro Viveros

Dedicatoria

Dedico esta tesis A. Dios, A mis padres quienes me dieron vida, educación, apoyo y consejos. A mis Hermanos. A mi Esposa, mis hermosos hijos. A mis maestros de Maestría, a mis compañeros de estudio y amigos.

A todos los que me apoyaron para escribir y concluir esta tesis.

Para ellos es esta dedicatoria de tesis, pues es a ellos a quienes se las debo por su apoyo incondicional.

Agradecimientos

En primer lugar doy infinitamente gracias a Dios, por haberme dado fuerza y valor para culminar esta etapa de mi vida.

Agradezco también la confianza y el apoyo brindado por parte de mi madre, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me ha demostrado su amor, corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A mi padre, que me ha brindado su amistad y sus buenos deseos.

A mis hermanos, quienes han sido el impulso para darles el mejor ejemplo de hermano.

A toda la familia por sus constantes consejos e impulsos en esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
Resumen	XII
Abstract.....	XIII
Capítulo 1: Descripción preliminar del proyecto de grado.....	14
1.1. Introducción.....	14
1.2. Antecedentes.....	15
1.3. Definición del problema	16
1.4. Objetivos.....	16
1.5. Hipótesis.....	16
1.6. Metodología de investigación.....	16
Capítulo 2: Fundamentos Teóricos.....	17
2.1. ¿Qué es WiMAX?	17
2.2. Antecedentes de WiMAX.....	17
2.3. Introducción de los estándares IEEE 802.16.....	20
2.3.1. Estándar IEEE 802.16-2001.....	20
2.3.2. Estándar IEEE 802.16a.....	21
2.3.3. Estándar IEEE 802.16-2004.....	22
2.3.4. Estándar IEEE 802.16-2005.....	22
2.4. Capas PHY y MAC de la tecnología WiMAX.....	23
2.4.1. Características de la Capa Física (PHY).....	23
2.4.2. Características de la capa MAC	24
2.5. Estructura del sistema de red WiMax.....	25
2.5.1. Red Central o Core Network.....	26
2.5.2. Red de Acceso.....	26
2.5.3. Estación Base.....	27
2.5.4. Equipo terminal de usuario.....	27

2.6. Tecnologías claves para Redes WiMAX.....	27
2.6.1. MIMO.....	27
2.6.2. OFDM.....	29
Capítulo 3: Desarrollo y Evaluación.....	32
3.1. Introducción.....	32
3.2. Configuraciones y Simulaciones para el despliegue de WiMAX.....	33
3.2.1. Simulación 1: Transmisor WiMAX.....	34
3.2.1.1. Resultados obtenidos de la simulación 1.....	36
3.2.2. Simulación 2: WiMAX a través RoF-SMF.....	37
3.2.2.1. Resultados obtenidos de la simulación 2.....	41
Conclusiones.....	49
Recomendaciones.....	50
Referencias Bibliográficas.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Miembros del WiMAX Forum.	20
Figura 2. 2: Capa MAC y PHY de WiMAX.	25
Figura 2. 3: Arquitectura de Red WiMAX basado en IP.	26
Figura 2. 4: Diagrama de bloque del sistema MIMO.	29
Figura 2. 5: Espectro de frecuencias entre OFDM y FDM.	31

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Modelo de simulación 1.	35
Figura 3. 2: Radiación de la Antena de Tx - WiMAX.	35
Figura 3. 3: Gráfica de atenuación de la potencia para la simulación 1.	37
Figura 3. 4: Simulación del enlace descendente a través de WiMAX RoF-SMF.	37
Figura 3. 5: Propiedades del modulador OFDM para Tx-WiMAX.	39
Figura 3. 6: Propiedades del demodulador OFDM para Rx-WiMAX.	40
Figura 3. 7: Constelación de la transmisión de señales WiMAX en el Tx-WiMAX.	41
Figura 3. 8: Constelación de la transmisión de señales WiMAX en el Rx-WiMAX.	42
Figura 3. 9: Espectro de RF para WiMAX sobre RoF para SMF de longitud 20 km.	43
Figura 3. 10: Constelación de la transmisión de señales WiMAX en el Rx-WiMAX.	44
Figura 3. 11: Espectro de RF para WiMAX sobre RoF para SMF de longitud 100 km.	45
Figura 3. 12: Constelación de SMF de 140 km y la EDFA con atenuación de 35 dB.	46
Figura 3. 13: Constelación de Rx-WiMAX para una EDFA con atenuación de 65 dB.	47

Figura 3. 14: Constelación de SMF de 180 km y la EDFA con atenuación de 65 dB. 48

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2:

Tabla 2. 1: Estándares IEEE para Redes WiMAX.	23
--	----

Resumen

El propósito de este trabajo fue realizar modelos de simulación de señales distribuidas en radio sobre fibra (RoF) para diferentes escenarios a través de redes WiMAX utilizando las modulaciones OFDM Y 64-QAM. Para realizar los modelos de simulación se utilizaron las plataformas MatLab/Simulink y OptiSystem. Se realizaron modificaciones en las variables de transmisión y recepción en relación a RoF con fibra monomodo (SMF) para comprobar la degradación de la señal a grandes distancias.

Abstract

The purpose of this study was to perform simulation models distributed radio signals over fiber (RoF) for different scenarios through WiMAX networks using OFDM modulation and 64-QAM. To make the simulation models the MatLab / Simulink and OptiSystem platforms were used. Changes in the transmission and reception variables regarding RoF with monomode fiber (SMF) is made to check the degradation of the signal over long distances.

Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.

1.1. Introducción.

El uso de Internet está aumentando día a día. Wi-Fi ofrece acceso inalámbrico a Internet, pero esta gama está limitada a sólo ciertos metros. Así que el concepto de WiMAX se introdujo para aumentar el alcance. WiMAX significa amplia interoperabilidad mundial para acceso por microondas.

WiMAX es también conocida como banda ancha inalámbrica. WiMAX puede cubrir una ciudad mediante el uso de concepto de célula que es muy similar a GSM. Estándar IEEE 802.16 se utiliza para WiMAX. En seguridad de la red inalámbrica es muy importante entonces por cable de red. En red con cable de seguridad de la capa física no es muy importante en comparación con la red inalámbrica.

La razón principal es que en las redes inalámbricas se utiliza aire como medio. En las redes de cable cables se utilizan para transportar datos. Así redes cableadas son algunos lo seguro compara con redes inalámbricas. El principal objetivo es modelar las amenazas de la capa física. Hay dos maneras de hacer esto.

Los usuarios móviles futuros pueden tener múltiples anchos de banda y servicios personalizados entregados. Se sabe que debido a la indisponibilidad de frecuencias de microondas más bajas y ancho de bandas insuficientes de las bajas frecuencias, los sistemas de acceso inalámbricos de próxima generación (tanto móviles y fijos) tendrán que utilizar frecuencias de microondas/milimétricas (26 a 100GHz) [Medeiros, M., et al (2009)] [Frigyes, I. (2005)].

Como resultado de la alta frecuencia, las características de propagación limitadas (pérdidas de propagación aumentan con el cuadrado de la frecuencia) y los parámetros de las células relacionadas con el sistema serán más pequeños, para lo cual serían necesarias más antenas. Los sistemas de comunicaciones móviles de próxima generación pueden proporcionar acceso de banda ancha con enlaces de fibra óptica a las antenas de celular que juegan un papel principal.

Por este motivo surge Radio sobre Fibra (RoF), que en si es un enlace óptico para transmitir señales (RF) moduladas en radiofrecuencia. Permite utilizar también enlaces tanto descendentes (Downlink) y ascendentes (Uplink). La modulación de la señal RF es en la mayoría de los casos digital como PSK, QAM, OFDM [Frigyes, I. (2005)]. La modulación óptica podría tener también diversas formas que permite poner en práctica muchas aplicaciones diferentes y sofisticadas que se describen en el capítulo 3 de esta tesis.

1.2. Antecedentes.

La tecnología aplicable en los sistemas de acceso de banda ancha de ondas milimétricas de alta capacidad es radio sobre fibra (RoF) llamada también Fiber-to-the-Antena (FTTA) o Fiber-to-Air (FTA). Para disminuir los costos de estaciones base (BS), que será la parte principal de la totalidad de los costes del sistema, a causa de células pequeñas, la mayor parte del procesamiento de señales (incluyendo la codificación, multiplexación, la generación, la modulación, etc.) tienen que ser hecho más bien en el centro estaciones (CS's) [Frigyes, I. (2005)]. Las BS's podrían simplificarse en unidades de antenas remotas que podrían estar relacionados con CS's a través de un alto rendimiento y las tasas de la red de fibra óptica.

1.3. Definición del problema

Necesidad de modelar señales distribuidas de la tecnología RoF en fibra monomodo para redes WiMAX a través de modulaciones OFDM y 64 QAM utilizando Simulink y OptiSystem.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General:

Diseñar y evaluar modelos de simulación de señales distribuidas de la tecnología RoF en fibras monomodo para redes WiMAX a través de modulaciones OFDM y 64-QAM.

1.4.2. Objetivos específicos:

- ✓ Fundamentar las bases teóricas de las redes inalámbricas WiMAX.
- ✓ Elaborar modelos de simulación utilizando la tecnología RoF en fibra monomodo para redes WiMAX mediante modulaciones OFDM y 64-QAM.
- ✓ Mostrar los resultados obtenidos en los modelos de simulación realizado en Simulink y OptiSystem.

1.5. Hipótesis

Mediante los modelos de simulación de la tecnología RoF en fibra monomodo para redes WiMAX sobre Simulink y OptiSystem permitirá demostrar como variando la longitud de la fibra monomodo los niveles de potencia se incrementan aun así se utilicen las modulaciones OFDM y 64-QAM.

1.6. Metodología de investigación.

Los diseños realizados bajo las plataformas Simulink y OptiSystem son de carácter empírico-analítico ya que utilizan el método explicativo. El presente trabajo final de maestría tiene un enfoque cuantitativo, debido a que se modifican las variables dependientes, es decir, los parámetros que demuestran la degradación de la señal a transmitirse por la red WiMAX.

Capítulo 2: Fundamentos Teóricos.

2.1. ¿Qué es WiMAX?

Con el desarrollo acelerado de las redes de comunicaciones, WiMax tiene gran importancia como un estándar orientada al "último kilómetro" acceso, sobre todo cuando no se ha establecido una norma uniforme a nivel mundial para el acceso inalámbrico de banda ancha. Existen dos tipos principales de dicho estándar:

- a. IEEE 802.16d soporta la interfaz aérea del sistema de acceso inalámbrico de banda ancha fija
- b. IEEE 802.16e en los trabajos apoyan la interfaz aérea de los sistemas fijos y de acceso inalámbrico de banda ancha móvil.

WiMax es una tecnología de acceso de banda ancha de redes de área metropolitana inalámbrica (BWA-MAN) basada en el estándar IEEE 802.16, que también se llama el MAN IEEE Wireless. Se trata de un nuevo estándar de interfaz aérea en conexión con los rangos de frecuencia de microondas y ondas milimétricas. Su objetivo principal es proporcionar un enfoque de acceso inalámbrico de banda ancha que se puede interoperar eficazmente en el entorno de múltiples fabricantes con "punto a multipunto" en la red de área metropolitana.

2.2. Antecedentes de WiMAX.

La tecnología de acceso inalámbrico de banda ancha se desarrolló rápidamente en la década de los años 90's. Andrews, J., Ghosh, A., & Muhamed, R. (2007) sostiene que la tecnología inalámbrica, es representada por el Sistema de Distribución Local Multipunto (*Local Multipoint Distribution System, LMDS*) y el Servicio de Distribución Multicanal Multipunto (*Multipoint Multichannel Distribution System, MMDS*), que encontró su posición en el

mercado orientado a los usuarios de pequeñas empresas y de centros comerciales urbanos.

Sin embargo, España B., M. (2010) sostiene que más allá de la expectativa de todo, este sector no fue un boom y tampoco para ampliarse aún más. Mientras que Andrews, J., et al (2007) indica que la razón principal, fue la falta de un estándar uniforme a nivel mundial para el acceso inalámbrico de banda ancha.

En 1999, se organizó el grupo de trabajo IEEE 802.16 para especializarse en las especificaciones técnicas para el acceso inalámbrico de banda ancha, con el objetivo de establecer un criterio uniforme a nivel mundial para el acceso inalámbrico de banda ancha. Según Andrews, J., et al (2007) en la actualidad, IEEE 802.16 viene dada principalmente por las dos normas: la 802.16-2004, es decir, la norma 802.16d para el acceso inalámbrico de banda ancha fija, y el estándar 802.16e como apoyo del acceso inalámbrico de banda ancha móvil.

Maggi S., W. (2014) manifiesta que el 1ero de octubre de 2004 fue publicado el estándar IEEE 802.16d que especifica la interfaz aérea entre el terminal de usuario y el sistema de estación base en el acceso fijo, y define principalmente la capa física y la capa MAC de la interfaz aérea. La característica principal de la norma 802.16e es el apoyo a la movilidad.

Andrews, J., et al (2007) sostiene que el estándar 802.16e especifica un sistema de apoyo al acceso inalámbrico de banda ancha, tanto fija como móvil, que funciona en un rango de frecuencia permitida y menor a 6 GHz adecuados para la movilidad y que soporta al terminal de usuario en movimiento. Mientras tanto, la capacidad de usuarios de acceso inalámbrico fijo especificado por 802.16d no se verá afectada.

El grupo de trabajo estableció la especificación del estándar IEEE 802.16 y específicamente a la capa física y la capa MAC del MAN inalámbrica. Para componer una red operativa, la tecnología IEEE 802.16 requiere el soporte de otros componentes. Como resultado, el Foro WiMax surge debido a la demanda.

El WiMax Forum se creó en abril de 2001. En un principio, la organización pretendía ofrecer servicios de certificación de conformidad e interoperabilidad de productos inalámbricos de acceso de banda ancha inalámbrica basado en el estándar IEEE 802.16 y el estándar ETSI HiperMAN.

El producto certificado por WiMax es identificado por la marca "WiMax Certificado". Así como el desarrollo de la tecnología y especificación 802.16e. En la cual el propósito de la organización se expandió gradualmente. No sólo tiene la intención de establecer un conjunto del sistema de certificación basado en el estándar 802.16 y el ETSI HiperMAN.

También Kumar, A. (2014) manifiesta que con este estándar se desarrolló la investigación sobre los sistemas de acceso de banda ancha inalámbrica, así como el análisis de la demanda, la exploración de los modos de aplicación, la expansión del mercado, que en gran medida fue promover el desarrollo del mercado de acceso inalámbrico de banda ancha.

Para Pareit, D., Lannoo, B., Moerman, I., & Demeester, P. (2012) sostiene que el grupo de trabajo IEEE 802.16 es la constitución de la especificación de interfaz aérea WiMax IEEE 802.16, mientras que WiMax Forum es el propulsor de la tecnología y la cadena de la industria, en la figura 2.1 se muestra los miembros que pertenecen a WiMAX Forum. Hoy en día, WiMax es denominado tecnología WiMax IEEE 802.16, con la especificación de interfaz aérea que cubre estándares IEEE 802.16d / e.

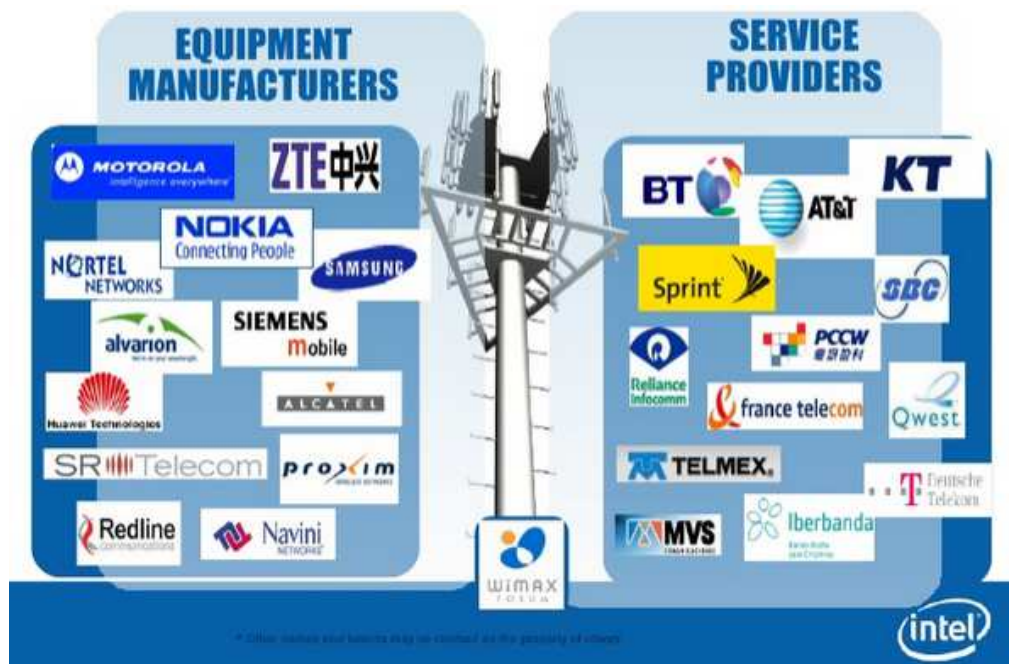


Figura 2. 1: Miembros del WiMAX Forum.

Fuente: WiMAX (2014)

2.3. Introducción de los estándares IEEE 802.16.

Cuando un usuario desea un servicio de red de acceso de banda ancha, él o ella generalmente consideran (o se restringirá) utilizar DSL, T1 o cable-módem para conectarse con la red. Sin embargo, por el alto costo de la construcción de infraestructura de red de cable, un ISP no es probable ya que está dispuesto a instalar los equipos necesarios, como la fibra óptica y los cables, en las zonas escasamente pobladas o fuera del camino. Como se mencionó anteriormente, algunas tecnologías de acceso de banda ancha como LMDS o MMDS se han propuesto al inicio de la tecnología WiMAX.

2.3.1. Estándar IEEE 802.16-2001.

Al principio del desarrollo, teniendo en cuenta la compatibilidad con el sistema LMDS existente, el estándar IEEE 802.16-2001 regularía solamente la gama de frecuencias de 10-66 GHz. IEEE 802.16-2001 es una especificación de red inalámbrica aplicable para la red de área metropolitana inalámbrica (WMAN).

Sin embargo, IEEE 802.16-2001 sólo es adecuado para las áreas claras porque las señales de microondas en el rango de frecuencia de 10 a 66 GHz tienen escasa penetración, y las señales son fácilmente afectadas por atenuación debido a la lluvia. Por lo tanto, el enfoque LOS debe ser adoptado para la comunicación entre la estación base (BS) y la estación suscriptora (SS). También tiene mayores requerimientos en la instalación de la antena.

2.3.2. Estándar IEEE 802.16a.

Para hacer que el estándar IEEE 802.16 pueda operar sin problemas en áreas con edificios y estructuras extensas (por ejemplo, áreas metropolitanas), el grupo de trabajo IEEE 802.16 presentó la versión IEEE802.16a en abril de 2003. El estándar 802.16a IEEE es la extensión de IEEE 802.16-2.001. Está funciona en el rango de frecuencias de 2 a 11GHz, incluyendo las bandas de frecuencia que requieran y sin requerimiento de licencia. La cobertura de la señal alcanza hasta 50 kilómetros (generalmente dentro de un radio de 10 km).

En comparación con la banda de alta frecuencia, la banda de frecuencias utilizada por IEEE 802.16a puede operar en el entorno “sin línea de visión” (Non-Line-of-Sight, NLOS), rara vez se ve afectada por la atenuación de la lluvia. Por lo tanto, los requisitos sobre la instalación de la antena son reducidos. Además, se añade el apoyo de la topología en malla de IEEE 802.16a, y MAC también ofrece garantía de calidad de servicio, que soporta mensajes de voz y video. Todas estas características hacen que el estándar IEEE 802.16a sean más competitivos en el mercado.

Desde una perspectiva diferente, este tipo de WiMAX transmitida por NLOS fijo es una súper-estación base WiFi. A medida que la cobertura de WiMAX es mucho más allá de la WiFi, y la velocidad de transmisión también es mayor que el segundo, siendo esto más atractivo para los ISP.

2.3.3. Estándar IEEE 802.16-2004.

El estándar IEEE 802.16a es en realidad una versión simple añadida y revisada de IEEE 802.16-2.001 (IEEE 802.16c es la suplementación del estándar IEEE 802.16, que se omite en este trabajo). Para el año 2004, el grupo de trabajo IEEE 802.16 integró la nueva revisión de los estándares IEEE 802.16-2001 e IEEE 802.16a, y emitió el estándar IEEE 802.16-2004 (generalmente llamado IEEE 802.16d).

IEEE 802.16-2004 define detalles específicamente a la capa física y la capa MAC de la gama de frecuencias de 2 a 66 GHz. En comparación con la serie vieja IEEE 802.16, IEEE 802.16-2004 es una versión relativamente madura y práctica.

2.3.4. Estándar IEEE 802.16-2005.

En su constitución, el estándar IEEE 802.16 en primer lugar, hizo hincapié en la aplicación de la red fija. Sin embargo, como resultado de los avances de la tecnología de comunicación inalámbrica y la demanda del mercado de usuarios, sólo las características de movilidad podían garantizar una perspectiva de mercado más amplia de los servicios de acceso de banda ancha inalámbrica.

Para apoyar este servicio de acceso inalámbrico de banda ancha móvil, el grupo de trabajo IEEE 802.16 presentó la versión IEEE 802.16e cuyo estándar se basó en el estándar IEEE 802.16-2004, con el objetivo de proponer una solución de banda ancha inalámbrica que proporcionaría la transmisión de información de alta velocidad y de soporte de movimiento de alta velocidad.

Sólo porque IEEE 802.16e soporta la transmisión de información de alta velocidad en movimiento, se consideró la única tecnología de banda ancha inalámbrica de la próxima generación competitiva a 3G. Además de

apoyar la comunicación móvil, IEEE 802.16e también define algunas funciones en estrecha relación con las características de movilidad, incluyendo soporte de Handoff, el modo de suspensión de ahorro de energía, la búsqueda de llamadas, y la mejora de la seguridad.

En la tabla 2.1 se muestra la comparación entre cada uno de los estándares IEEE 802.16.

Tabla 2. 1: Estándares IEEE para Redes WiMAX.

	802.16	802.16a	802.16e
Spectrum	10-66 GHz	2-11 GHz	2-6 GHz
Channel bandwidth	20, 25, and 28 MHz	1.5 to 20 MHz	1.5 to 20 MHz with UL sub channels
Modulation	QPSK, 16QAM, 64 QAM	OFDM 256 sub carriers QPSK, 16QAM, 64 QAM	OFDM 256 sub carriers QPSK, 16QAM, 64 QAM
Bit rate	32-134 Mbps (28 MHz)	75 Mbps (20 MHz)	15 Mbps (5 MHz)
Channel conditions	LOS	Non-LOS	Non-LOS
Typical cell radius	2-5 Km	7-10 Km, max 50 Km	2-5 Km
Application	Fixed	Fixed and portable	Mobility

Fuente:

2.4. Capas PHY y MAC de la tecnología WiMAX.

En esta sección se describirá cada una de las características de las capas PHY y MAC que permiten el funcionamiento de la tecnología WiMAX.

2.4.1. Características de la Capa Física (PHY).

La frecuencia de trabajo de WiMAX varía de 2 a 66GHz (2-11GHz para estándar IEEE802.16; 10-66GHz para el estándar IEEE802.16a), y el ancho de banda del canal se puede ajustar de forma flexible dentro de la gama de 1.5 a 20MHz, que es favorable para la plena utilización de los recursos del espectro de frecuencias en la banda de canal de distribución.

WiMAX adopta células macro con la cobertura máxima de hasta 50 kilómetros. En el ancho de banda de canal de 20 MHz, soporta una velocidad de transmisión de datos para compartir lo más alto 70 Mbps (la cobertura máxima es de 3 a 5km en este caso). La tecnología multisectorial

se puede utilizar para ampliar la capacidad del sistema, con cada sector de apoyo a más de 60 usuarios de la compañía o cientos de usuarios de la familia de E1/T1 simultáneamente.

WiMAX adopta diversas tecnologías avanzadas para realizar la transmisión NLOS y ONLOS, como OFDM, la diversidad de transmisión de recibir, modulación adaptativa, que mejoran en gran medida la eficiencia de la transmisión inalámbrica en las ciudades. La capa física es compatible con dos tipos de acceso inalámbrico dúplex múltiple, es decir, TDD/FDD y DMTA/TDMA, para adaptarse a los requisitos de sistema de telecomunicaciones en los diferentes países o regiones.

Es compatible con portadora única (SC), OFDM (256 puntos), y OFDMA (2048 puntos), que se puede seleccionar de forma flexible según sea necesario. La capa física puede cambiar sujeto a la realización de canal de transmisión. El modo de modulación y los parámetros de la capa física (tales como, parámetros de modulación, parámetro FEC, nivel de potencia, el método de polarización, etc.) pueden ser ajustados dinámicamente para garantizar una buena calidad de transmisión.

2.4.2. Características de la capa MAC

Enríquez, A., Hamilton, J., & Taha, B. (2014) la capa MAC se divide en tres sub-capas: Sub-capa de Convergencia Específica al Servicio (CS), Sub-capa Parte Común (CPS), y Sub-capa de Privacidad (PS). En la figura 2.2 se muestran las capas MAC y PHY.

- La función principal del CS es convertir y asignar externamente los datos de red recibidas por SAP a la MAC SDU, y luego transmitir a la SAP de la capa MAC. El protocolo proporciona múltiples especificaciones de CS como interfaz para varios protocolos externos.

- CPS es el núcleo duro de MAC, con las principales funciones de acceso al sistema, la asignación de ancho de banda, de establecimiento de conexión y mantenimiento de la conexión. Recibe los datos de diferentes niveles de CS vía MAC SAP, y los clasifica en conexiones MAC específicas. Mientras tanto, se implementa el control de calidad de servicio (QoS) a los datos transmitidos y enviados en la capa física.
- La principal función de PS es proporcionar autenticación, intercambio de claves y el proceso de cifrado / descifrado.

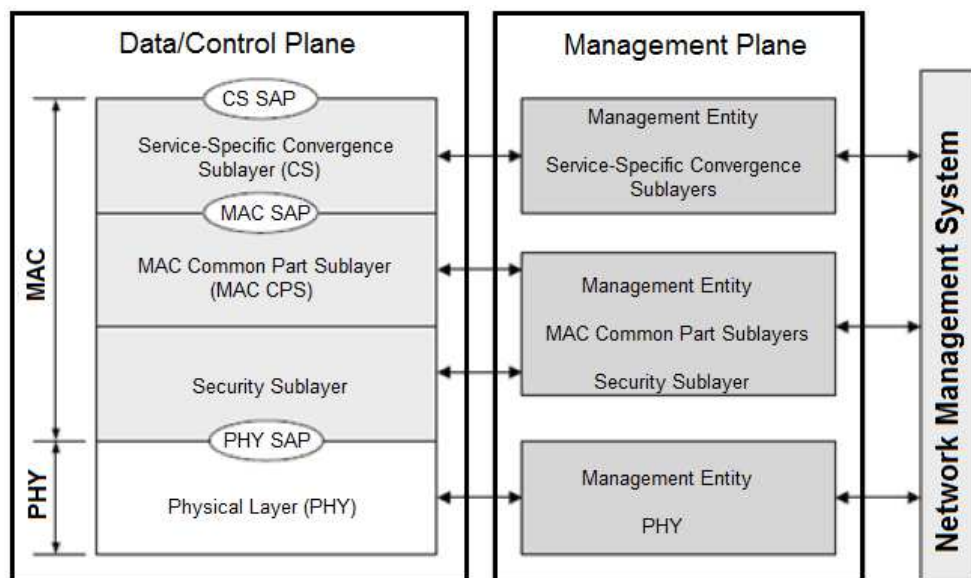


Figura 2. 2: Capa MAC y PHY de WiMAX.
Fuente: Kumar, A. (2014)

2.5. Estructura del sistema de red WiMax.

El sistema de red WiMax comprende principalmente de red central y red de acceso. La red principal incluye el sistema de gestión de red, router, la agencia de AAA o servidor, base de datos del usuario, y el equipo de puerta de enlace interna. Proporciona principalmente una conexión IP a los usuarios de WiMax.

La red de acceso incluye una estación base (BS), la estación de abonado (SS) y la estación de abonado móvil (MS). Proporciona

principalmente el acceso inalámbrico a los usuarios de WiMax tal como se muestra en la figura 2.3.

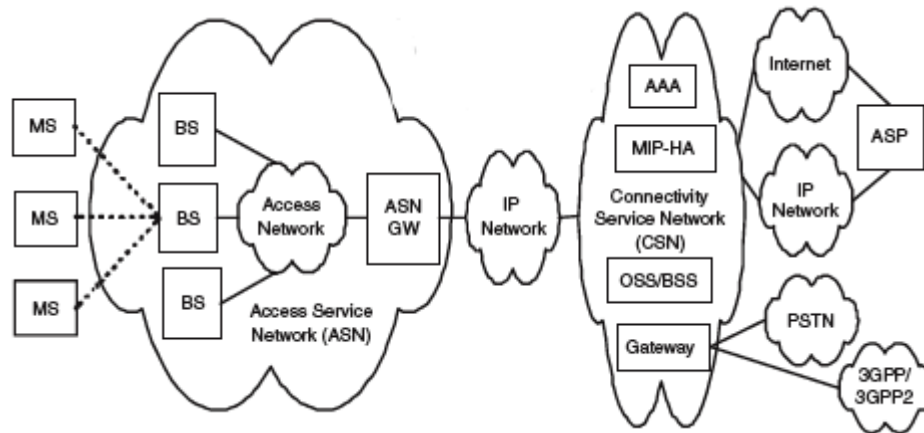


Figura 2. 3: Arquitectura de Red WiMAX basado en IP.

Fuente:

2.5.1. Red Central o Core Network.

El núcleo de red WiMax es el principal responsable de la autenticación de usuario, servicio de roaming, la administración de la red y también proporciona una interfaz a otras redes. Su sistema de administración de la red se utiliza para monitorizar y controlar todas las estaciones base y estaciones de abonado de la red, y proporcionar las funciones de investigación, monitoreo de condiciones, descarga de software, y la configuración de los parámetros del sistema.

La red IP conectado al sistema WiMax es generalmente una red de conmutación tradicional o el Internet u otras redes. El sistema WiMax proporciona la interfaz de conexión entre la red IP y estaciones base. Sin embargo, el sistema WiMax no cubre estas redes IP.

2.5.2. Red de Acceso.

La estación base proporciona una conexión entre la estación de abonado y la red central. Por lo general, utiliza una antena sectorizada o tipo sombrilla, que proporciona acuerdo flexible y la configuración de los sub-

canales, las actualizaciones y se expande la red basándose en las condiciones de los usuarios. La estación de abonado es un tipo de estación base, que proporciona la conexión repetidor entre la estación base y el equipo de terminal de usuario.

Por lo general, utiliza una antena de haz instalado en el techo. El modo de modulación adaptativa dinámica de la señal se utiliza entre la estación base y estación de abonado. MS se refiere principalmente a la terminal móvil WiMAX y dispositivos de mano encargadas de la realización de la conexión inalámbrica para los usuarios de WiMAX móvil.

2.5.3. Estación Base.

La estación base proporciona una conexión entre la estación de abonado y la red central. Por lo general, utiliza una antena sectorizada que proporciona medidas de flexibilidad y la configuración de los sub-canales, las actualizaciones y expansiones de la red basándose en las condiciones de los usuarios.

2.5.4. Equipo terminal de usuario.

El sistema WiMAX define la interfaz de conexión entre el equipo terminal de usuario y la estación base, y proporciona el acceso de los equipos terminales. Sin embargo, el equipo terminal de usuario no pertenece al sistema WiMAX.

2.6. Tecnologías claves para Redes WiMAX.

En esta sección se describirán algunas de las técnicas modulación digital compatibles en redes WiMAX.

2.6.1. MIMO

El rápido desarrollo de las comunicaciones inalámbricas establece requisitos más estrictos para la vuelta de la capacidad del sistema y la

eficiencia del espectro de frecuencias. Ha habido varios intentos para cumplir con estos requisitos, tales como la expansión del ancho de banda del sistema, optimizando el modo de modulación, o la adopción de un sistema CDMA compleja. Sin embargo, la aplicación de estos métodos es restrictiva. Obviamente, ni la expansión de ancho de banda ni el aumento de la orden de modulación es ilimitado, y los canales de sistema de CDMA no son ortogonales entre sí perfectamente.

El sistema MIMO (Multiple Input Multiple Output) nació en el momento oportuno. Mediante el uso de la tecnología de codificación del tiempo de espacio (Space Time Coding, STC), realiza la multiplexación por división de espacio usando multi-elementos de la matriz, lo que mejora en gran medida la eficiencia del espectro de frecuencias dentro del ancho de banda limitado. Por esta razón, MIMO se convierte en una de las tecnologías necesarias para WiMAX, LTE, 802.11n y casi todos los sistemas de comunicaciones inalámbricas "populares" en el futuro.

Larsson, E., Edfors, O., Tufvesson, F., & Marzetta, T. (2014) indican que MIMO significa el uso de múltiples antenas de transmisión y recepción en la transmisión y recepción de terminales, respectivamente. Las señales son transmitidas y recibidas por múltiples antenas en los terminales de transmisión y recepción, y en consecuencia la calidad de servicio se mejora para cada usuario.

En comparación con el sistema de un solo elemento tradicional, la tecnología MIMO mejora en gran medida la tasa de utilización del espectro de frecuencias, lo que permite que el sistema pueda transmitir datos a una mayor velocidad de bajo ancho de banda limitado. La figura 2.4 muestra el diagrama de bloques de sistema MIMO con antenas de transmisión N y antenas de recepción M .

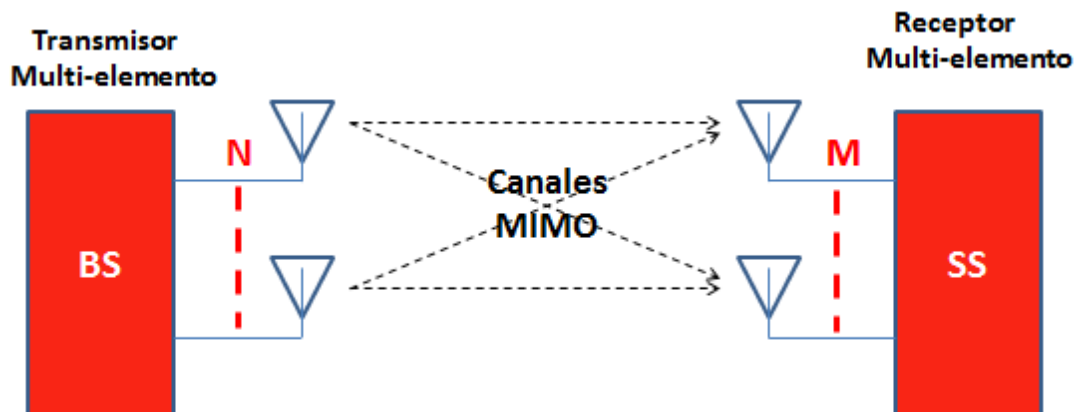


Figura 2. 4: Diagrama de bloque del sistema MIMO.

Fuente: Kumar, A. (2014)

Larsson, E., et al (2014) WiMAX802.16e define tres opciones de MIMO. Diversidad de transmisión espacio-tiempo (STTD), Multiplexado Espacial (SM) y la conmutación adaptativa. También se definen tres matrices de codificación: Matriz A, B y C.

En el sistema WiMAX802.16e, MIMO y OFDMA se combinan para mejorar la cobertura de la red y redoblar la capacidad del sistema WiMAX. En consecuencia, los costos de construcción y mantenimiento de la red se reducen en gran medida, lo que promovió el desarrollo de WiMAX móvil.

2.6.2. OFDM

La multiplexación por división de frecuencias ortogonales (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM) es una tecnología de modulación digital multi-portadora. La investigación en la tecnología es trazable a la mitad de los años 1960. El concepto de OFDM se ha mantenido durante años. Sin embargo, se reconoció como un buen enfoque para la comunicación de alta velocidad inalámbrica de datos bidireccionales, hasta el desarrollo de la industria de los medios recientemente.

Cvijetic, N. (2012) manifiesta que la tecnología OFDM es adoptada por la norma europea de televisión digital (DVB-T) y el estándar de transmisión

digital de audio (DAB), y es la principal tecnología de WLAN (ETSI HiperLAN/2 e IEEE802.11a) y acceso de banda ancha inalámbrica (IEEE 802.16). OFDM es una tecnología de transmisión de alta velocidad en el entorno inalámbrico.

La mayoría de las curvas de respuesta de frecuencia del canal inalámbrico no son planas. La idea principal de OFDM es dividir el canal unido en muchos sub-canales ortogonales en el rango de frecuencia, y el uso de una subportadora en cada sub-canal para la modulación, en el que las subportadoras se transmiten en paralelo.

A pesar de que el canal no es plano con diferentes opciones de frecuencia, cada sub-canal es relativamente plana, y la transmisión de banda estrecha se completa en este sub-canal, con el ancho de banda de la señal menor que la anchura de banda correspondiente del canal. Por consiguiente, la interferencia entre las ondas de señal será eliminada.

Debido a que los portadores de estos sub-canales en OFDM son ortogonales entre sí, se han superpuesto espectros de frecuencia, lo que reduce la interferencia entre sub-portadoras y mejora la tasa de utilización del espectro de frecuencias.

FDM/FDMA (Multiplexación por División de Frecuencia/Acceso Múltiple por División de Frecuencia) es en realidad una técnica tradicional. Es el enfoque más llano para realizar la transmisión de banda ancha para dividir una banda de frecuencias más amplia en varias sub-bandas más estrechas (subportadoras) y transmitir las en paralelo. Sin embargo, un gran espacio tiene que ser reservado entre subportadoras vecinas para evitar la interferencia, lo que permite reducir la eficiencia del espectro de frecuencias.

Por lo tanto, TDM/TDMA (Multiplexación por División de Tiempo/Acceso Múltiple por División de Tiempo) y CDM/CDMA de una mayor eficiencia del espectro de frecuencias que es el núcleo de la tecnología de transmisión para la comunicación inalámbrica. En los últimos años, FDM ha revolucionado cambiando el desarrollo de la técnica de modulación digital FFT (Transformada Rápida de Fourier).

FFT permite la disposición de sub-portadoras solapadas en FDM, y mantiene la ortogonalidad de las sub-portadoras al mismo tiempo para evitar la interferencia entre sub-portadoras. En la figura 2.5 se muestra la disposición de parte de sub-portadoras solapadas, mejorando en gran medida la eficiencia del espectro de frecuencia debido a que existen más subportadoras contenidas en el mismo ancho de banda.

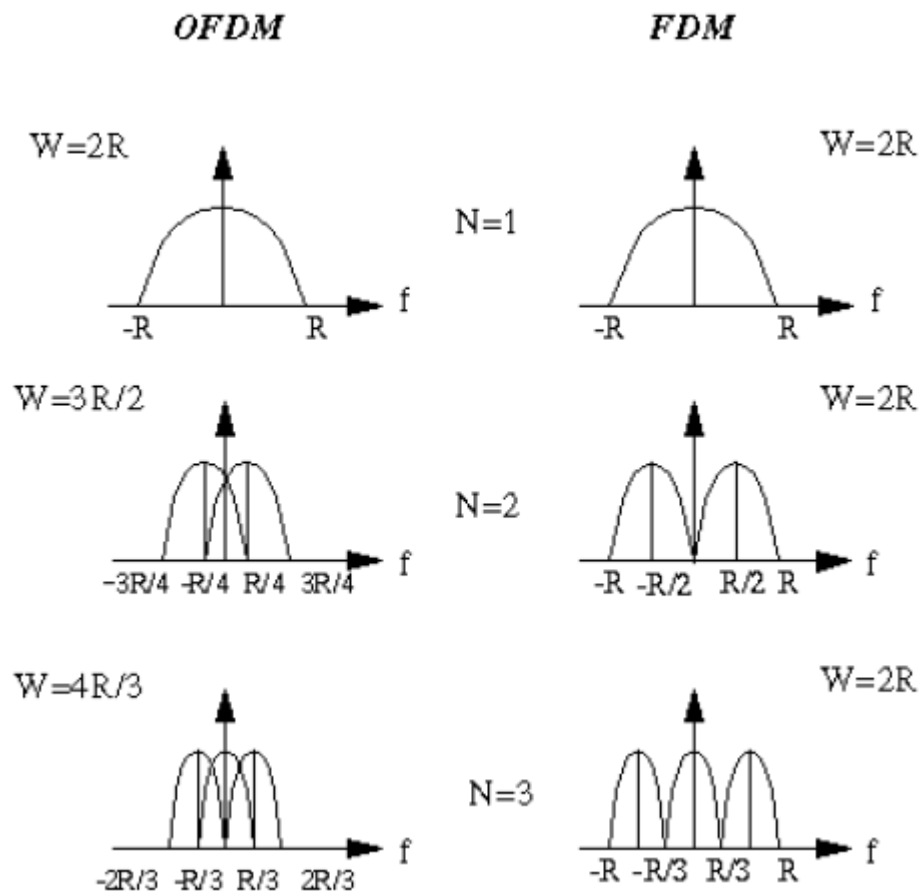


Figura 2. 5: Espectro de frecuencias entre OFDM y FDM.

Fuente: Cvijetic, N. (2012)

Capítulo 3: Desarrollo y Evaluación.

3.1. Introducción.

Los sistemas de comunicaciones, tales como la banda ancha inalámbrica y banda ancha móvil proporcionan un mejor servicio al cliente, mediante la mejoría de la movilidad, la accesibilidad y la sencillez de la comunicación entre los seres humanos. Por lo tanto, ha crecido el interés en la interoperabilidad mundial para el sistema de acceso por microondas (WiMAX), WiMAX IEEE 802.16 y móvil 802.16e-2005.

En comparación con Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) y el Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM), WiMAX ofrece un ancho de banda significativo ampliada mediante el uso del ancho de banda del canal de 20 MHz y una técnica de modulación mejorada denominada 64-QAM.

Cuando el equipo está funcionando con amplificadores de modulación de bajo nivel y de alta potencia, los sistemas WiMAX son capaces de servir a las áreas de cobertura geográficamente más grandes, y que apoyan las diferentes técnicas de modulación de constelaciones, tales como BPSK, QPSK, 16-QAM y 64-QAM.

La capa PHY de WiMAX se compone básicamente de OFDM que ofrece resistencia a los trayectos múltiples. Permitiendo a WiMAX funcionar en entornos sin línea de visión (NLOS), y en particular se entiende que sirve para aliviar el multitrayecto para la banda ancha inalámbrica. WiMAX ofrece la modulación y la corrección de errores en recepción (FEC) de esquemas de adaptación a las condiciones del canal de codificación; que se puede cambiar por usuario y por trama.

Teóricamente, el tamaño de celda promedio de WiMAX oscila hasta 50 km y tasa de bits hasta a 75 Mbps para una banda de canal de 20 MHz, pero en realidad, la tasa de bits se extiende hasta 7 Mbps y el área de cobertura de hasta sólo 8 km. Para lograr óptimas condiciones, los siguientes problemas definidos en la transmisión de la señal tiene que ser resuelto: pérdida de propagación, interferencia de canal, el desvanecimiento, la dispersión Doppler y la dispersión del retardo multitrayecto.

La distribución eléctrica de señales de microondas de alta frecuencia, ya sea a través de líneas de espacio o de transmisión gratuita causa dificultades y altos costos de mantenimiento. Las pérdidas aumentan con la frecuencia en el espacio libre, debido a la absorción y la reflexión, y en líneas de transmisión, la impedancia plantea con frecuencia, lo que conduce a pérdidas extremadamente altas.

Mientras, que el operador requiere un equipo de regeneración caro para entregar señales de radio de alta frecuencia de la electricidad a través de largas distancias. La alternativa sería para distribuir señales de banda base y de radiofrecuencia (RF) a través de fibra. Las señales de RF o de banda base son modulados por una portadora óptica, que se produce en el diodo láser. En cada estación base, la portadora óptica se ha reducido – convertido en la frecuencia apropiada de microondas u ondas milimétricas y se transmite a través de SMF o MMF.

3.2. Configuraciones y Simulaciones para el despliegue de WiMAX.

En esta sección se realizan las configuraciones y simulaciones basadas en Green Radio. En general, la comunicación de Green Radio significa un consumo reducido de energía de los sistemas de comunicación mediante la eliminación de algunos de los componentes activos y equipos eléctricos, en sustitución de los dispositivos fotónicos pasivos, y centralizar el procesamiento de señales.

Este proyecto propone y muestra configuraciones completas para mejorar la eficiencia de energía en comunicaciones WiMAX por Green Radio mediante la utilización de una radio a través del sistema de fibra. A la vez utilizamos un compensador de módulos de SMF, DCF, FBG, y CFBG, en el diseño de diferentes configuraciones de simulación que permita la extensión del rango de transmisión de 180 km a 792 km y mejora el consumo de energía de los sistemas RoF propuestos.

La simulación es realizada en Matlab-Simulink para la red WiMAX IEEE 802.16 64QAM; la señal de WiMAX se transmite a través del aire con el objetivo de medir y calcular el consumo de energía por kilómetro entre la estación base WiMAX y la antena del cliente. El resultado de la simulación para el consumo de energía se compara con los resultados de la transmisión de la señal a través de RoF.

3.2.1. Simulación 1: Transmisor WiMAX.

En esta sección se describe la simulación de la capa PHY de WiMAX utilizando la modulación 64 QAM modelado en Matlab-Simulink (véase figura 3.1) para indicar el alto consumo de energía y alcance de transmisión muy limitada de un sistema inalámbrico, donde se envía la señal a través del aire. Esta configuración también permite examinar y medir el consumo de energía, y la SNR para distancias de 1 a 5 Km para una transmisión vía aérea de 31 dBm y 3.5 GHz de la señal WiMAX.

En la figura 3.2 se muestra el transmisor WiMAX colocado en la parte superior de una antena, por lo general de 30m de altura y desde allí el Tx envía la señal con radio de cobertura de 1 hasta 5 km. En el área del cliente, el receptor WiMAX se coloca, recibiendo la señal radiada para diferentes servicios, como la telefonía móvil, el acceso empresarial y backhaul, móvil y acceso a banda ancha fija.

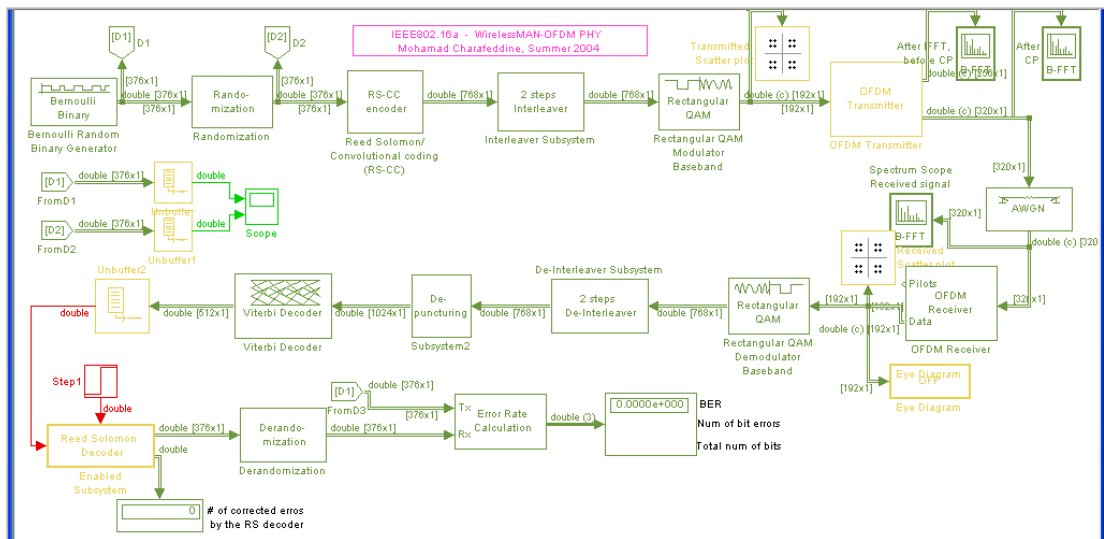


Figura 3. 1: Modelo de simulación 1.
Elaborado por: El Autor

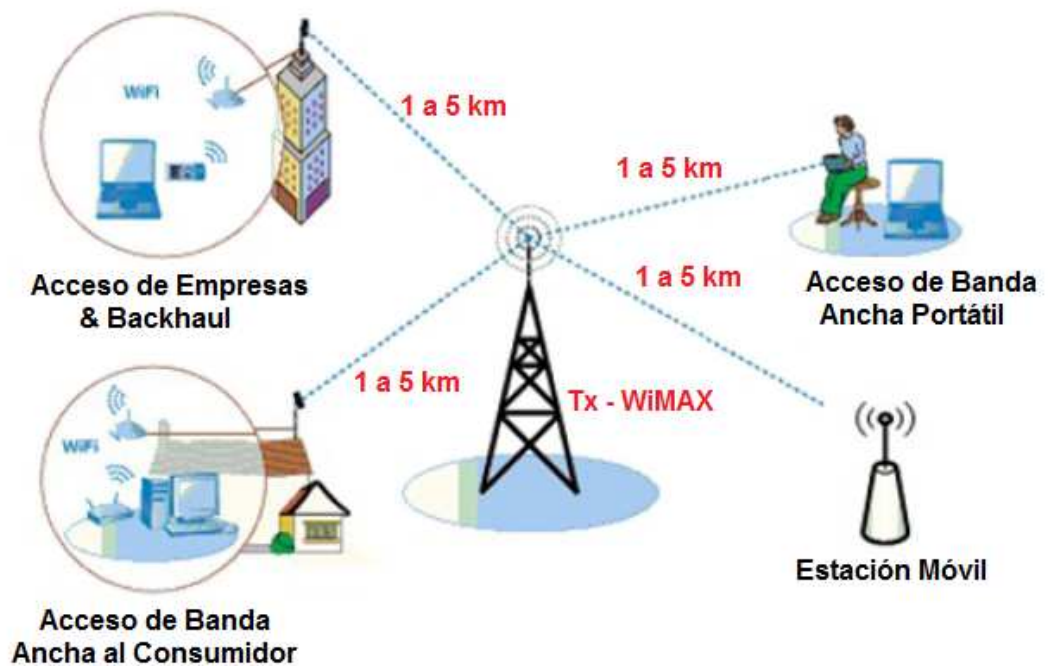


Figura 3. 2: Radiación de la Antena de Tx - WiMAX.
Elaborado por: El Autor

A través de un canal de desvanecimiento, el sistema WiMAX será capaz de cambiar a un esquema de modulación más baja para mantener la calidad de la conexión y la estabilidad del enlace. Esta capacidad permite

que el sistema pueda superar el desvanecimiento selectivo en tiempo. La modulación adaptativa ensanchada está aplicada a la gama de esquemas de modulación más altas. El sistema puede ser flexible frente a las condiciones reales de desvanecimiento en lugar de una configuración fija que se proyecta para las condiciones del peor caso.

Después de la modulación de la señal, la señal de datos se distribuye por la tecnología ortogonal OFDM WiMAX, que proporciona al operador un mecanismo eficiente para superar los desafíos de la propagación NLOS. La señal OFDM WiMAX tiene como ventaja que es capaz de operar con la mayor dispersión del retardo en el canal NLOS.

La señal OFDM elimina los problemas de interferencia entre símbolos (ISI) y la complejidad de la ecualización adaptativa, debido al largo período del símbolo OFDM y gracias al uso de un prefijo cíclico

3.2.1.1. Resultados obtenidos de la simulación 1.

En la figura 3.3 se muestra la potencia del receptor WiMAX versus la distancia del enlace. La medida de potencia de 14.67dB para la longitud de 100 m por vía aérea. Para una distancia de transmisión de 900 m, la potencia es -28dB; en una distancia de 2000m es -50dB y para 5 km alrededor de -175dB.

En general, la atenuación de potencia se encuentra en -189,67 dB para transmisiones WiMAX-RF a través del aire a WiMAX-Rx de 5 km de longitud. Este resultado demuestra que el consumo de energía es demasiado grande, y no sería posible transmitir una señal por aire para largas distancias.

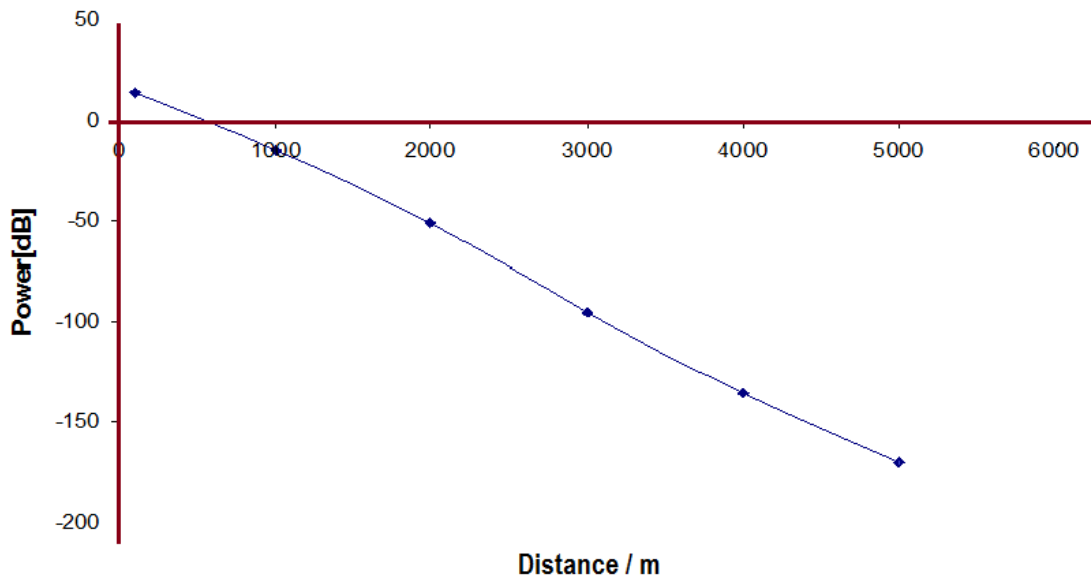


Figura 3. 3: Gráfica de atenuación de la potencia para la simulación 1.
Elaborado por: El Autor

3.2.2. Simulación 2: WiMAX a través RoF-SMF

En esta configuración la señal de WiMAX se convierte en una señal óptica y se transmite a través de un cable de fibra óptica, llamado Fibra Óptica Monomodo (Single-Mode Fiber, SMF) para extender la transmisión de la señal WiMAX para más de 100 km y así demostrar que el medio de fibra óptica es ideal para distancia de transmisión larga.

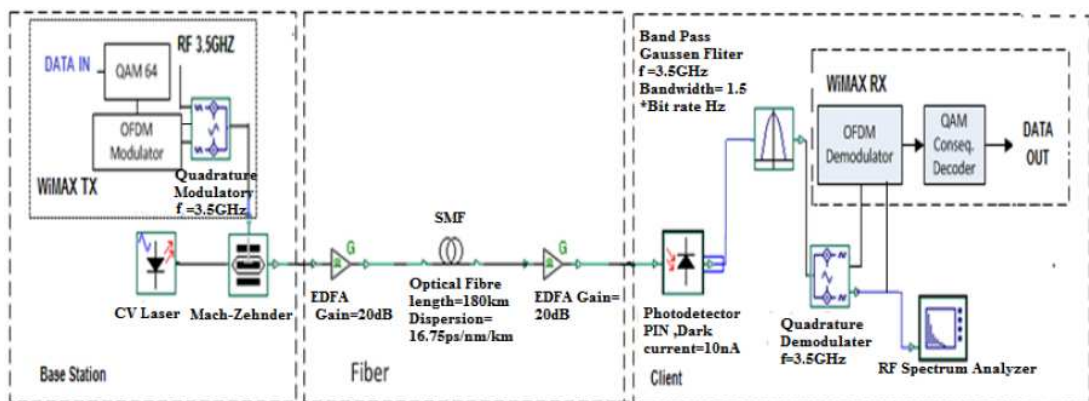


Figura 3. 4: Simulación del enlace descendente a través de WiMAX RoF-SMF.
Elaborado por: El Autor

La figura 3.4 muestra la configuración de instalación para el enlace descendente WiMAX a través del sistema RoF-SMF para una longitud 180

km de SMF; una dispersión de 16 ps/nm/km. El transmisor WiMAX está configurado para QAM 64 (6 bits por símbolo) para una velocidad de datos de 54Mbps y tasa de código $\frac{3}{4}$. La multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM) se utiliza en el estándar IEEE 802.16-2005 para redes de fibra.

El modulador Mach-Zehnder se utiliza para modular el Tx-WiMAX con frecuencia de portadora de RF de 3.5 GHz a la portadora óptica con señal del diodo CV Láser de 193.1 THz. La potencia del diodo CV láser se barre a 5dBm. La señal óptica se transmite a través de la SMF con una atenuación de señal igual a 0.2 dBm/km, con dispersión de 16 ps/nm/km, y la pendiente de dispersión es 0.075 ps/nm²/km. Para amplificar la señal de potencia óptica, se utiliza un amplificador EDFA en el extremo del enlace de SMF.

La señal óptica de entrada es detectada por un fotodiodo (Photodiode, PD) y se convierte en la señal de RF eléctrica, a continuación, es amplificada y transmitida a través de la ruta de acceso inalámbrico para 300m a la antena de estación base (BS) y al Rx-WiMAX. El PD tiene los siguientes parámetros: corriente oscura de 10 nA, capacidad de respuesta 1A/W, ruido térmico de $100e^{-24}$ W/Hz y la frecuencia central de 193.1 THz.

En el Rx-WiMAX, el filtro gaussiano de pasa banda eléctrica se utiliza para minimizar el ruido de la señal eléctrica y el retardo de grupo se vuelve constante para todas las frecuencias. En un receptor, un filtro gaussiano de pasa banda permite que las señales dentro de un rango seleccionado de frecuencias para ser escuchado o decodificado, evitando al mismo tiempo las señales en frecuencias no deseadas a través de la frecuencia central; donde f_0 está configurado para 3.5 GHz para un ancho de banda de 20 MHz.

La señal de RF es demodulada por el demodulador en cuadratura, que implementa un demodulador analógico, utilizando un generador de portadora

para Q y los componentes de cuadratura I; consta de dos filtros pasa bajos. La frecuencia de corte del filtro pasa bajos está configurado para 7 GHz; el demodulador OFDM es implementado por un punto complejo 1024 FFT; en OFDM, la FFT se utiliza para realizar la modulación de múltiples portadoras, que reduce la complejidad de los sistemas OFDM en gran medida.

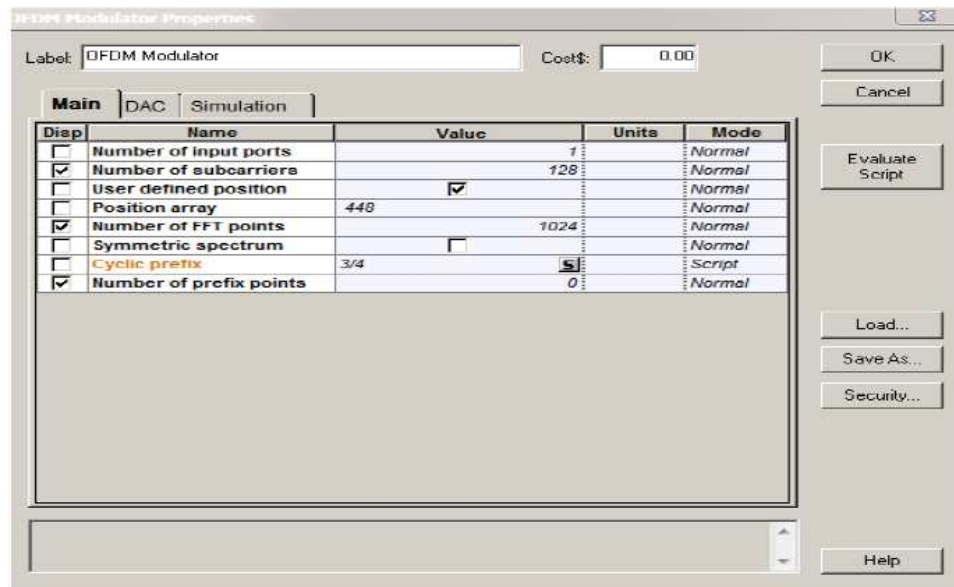


Figura 3. 5: Propiedades del modulador OFDM para Tx-WiMAX.
Elaborado por: El Autor

En la figura 3.5 se muestra el parámetro de transmisión de OFDM que comprende de 128 sub-portadoras con 1024 número de puntos FFT, dado un ancho de banda general de 20 MHz, y la salida OFDM es modulada con un modulador de cuadratura según la ecuación:

$$V_{out}(t) = G[I(t) \cos(2\pi f_c t + \varphi_c) - Q(t) \sin(2\pi f_c t + \varphi_c)] + b$$

Donde I y Q representan las señales eléctricas de entrada, G significa ganancia, b de sesgo, $f_c = 3.5 \text{ GHz}$ es la frecuencia de portadora y φ_c representa la fase de la portadora.

Un filtro gaussiano de pasa banda se usa para minimizar el ruido de la señal eléctrica y el retardo de grupo se vuelve constante para todas las frecuencias. La función de transferencia del filtro se describe como sigue:

$$H(f) = \alpha e^{-\ln \sqrt{2} \left\{ 2 \frac{(f-f_c)^{2N}}{B} \right\}}$$

Donde $H(f)$ representa la función de transferencia del filtro, α la pérdida de inserción, y f_c la frecuencia central del filtro, B representa el ancho de banda, N para el orden y f para la frecuencia.

Un demodulador en cuadratura recupera la señal de RF a banda base y la envía al demodulador OFDM; el prefijo cíclico se elimina antes de que el paquete de datos sea enviado a una FFT para la demodulación. Finalmente, la señal es decodificada por un decodificador QAM para crear una señal binaria. La figura 3.5 muestra los parámetros para el demodulador OFDM que son: velocidad de bits dividido por 6, subportadora 128; y 1024 FFT.

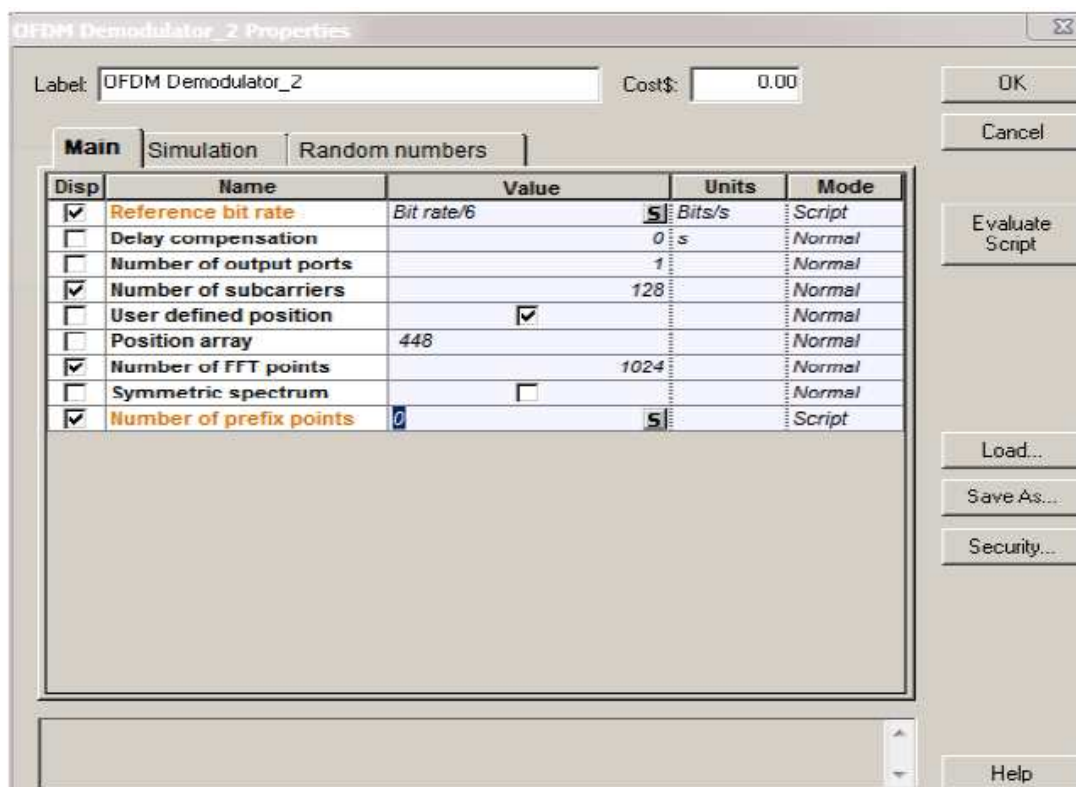


Figura 3. 6: Propiedades del demodulador OFDM para Rx-WiMAX.

Elaborado por: El Autor

3.2.2.1. Resultados obtenidos de la simulación 2.

Los resultados de la simulación de esta sección para el despliegue de señales 64-QAM WiMAX para RF de 3.5 GHz y 20 MHz a través RoF entre 20 km y 180 km de longitud de SMF se describen y discuten; la señal se transmite al Rx-WiMAX a través de diferentes longitudes de fibra.

La figura 3.7 muestra el diagrama de constelación eléctrica clara para la transmisión de señales del modulador digital 64-QAM de 6 bits (2^6) en el Tx-WiMAX. El diagrama de constelación representa una señal modulada digitalmente, se presentan como un diagrama de dispersión bidimensional. Las mediciones de los diagramas de constelaciones identifican la interferencia y la distorsión de una señal. La SNR de entrada se mide a 116.96 dB.

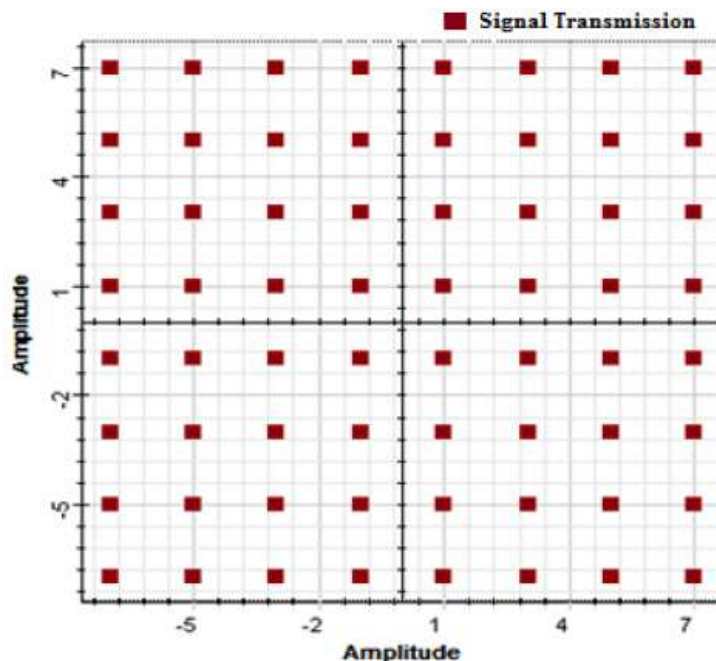


Figura 3. 7: Constelación de la transmisión de señales WiMAX en el Tx-WiMAX.
Elaborado por: El Autor

La figura 3.8 muestra la constelación de la señal 64-QAM de 6 bits (2^6) en el Rx-WiMAX después de 20 km de longitud de fibra. En comparación a la figura 3.7, la SNR se degrada a 70 dB y la señal comienza a ser clara, a causa del ruido, atenuaciones de potencia, la dispersión cromática y la

dispersión de Rayleigh. La atenuación de potencia significa la reducción de la potencia de la luz o intensidad de la señal sobre la longitud del cable de fibra y se mide en decibelios por kilómetro (dB/km). La atenuación de potencia de la SMF oscila en 0.2 dB/km. Los puntos azules representan el ruido del diodo láser (umbral y dinámica), que es independiente de la calidad del diodo láser, del ruido del PD (térmica, disparo), y de la dispersión óptica.

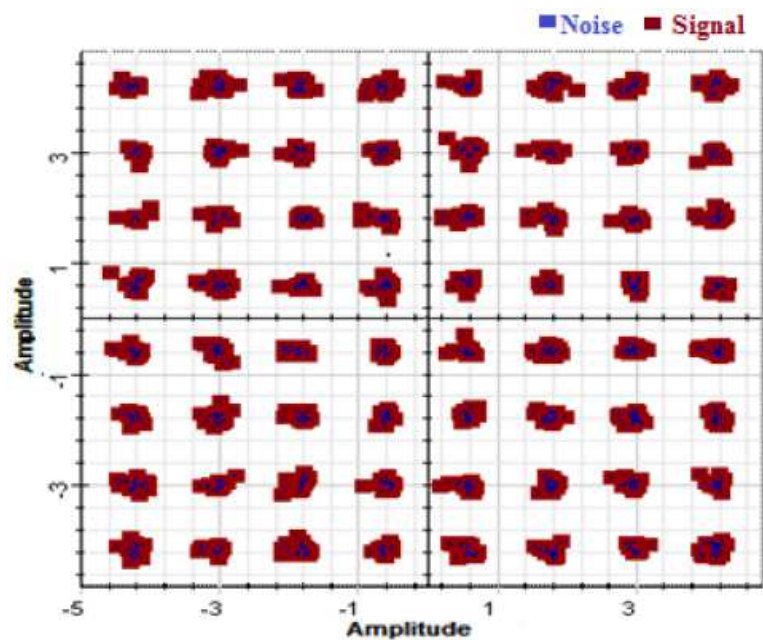


Figura 3. 8: Constelación de la transmisión de señales WiMAX en el Rx-WiMAX.
Elaborado por: El Autor

La dispersión de Rayleigh se produce debido a las colisiones entre la onda de luz y las moléculas de la fibra, lo que da lugar a la luz de escapar de la guía de ondas de fibra o que refleja de nuevo a la fuente. La longitud de onda de dispersión es sensible, por lo cual las longitudes de onda más cortas de la luz se dispersan se prolongan más tiempo, lo que significa, que la dispersión de Rayleigh es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda.

Por lo tanto, la pérdida de dispersión en una fibra se puede reducir mediante el aumento de la longitud de onda de transmisión; redes de transporte de larga distancia operan en 1550 nm en lugar de 1310 nm. La

dispersión cromática conduce a pulso ampliando con cada kilómetro los impulsos viajan a través de la fibra. Después de una cierta distancia, los pulsos se convierten amplios y se superponen con pulsos adyacentes, que aumentan el nivel cero en la corriente de bits transmitidos. Por lo tanto, los datos no pueden ser recuperados por el receptor y se necesita corrección apropiada.

La figura 3.9 muestra un claro espectro RF de 64-QAM en el Rx-WiMAX con frecuencia de portadora 3.5 GHz y un ancho de banda de 20 MHz (3.49 GHz - 3.51 GHz); la señal se despliega a través de la SMF para longitudes de fibra de 20 km; el PD convierte la óptica en una señal eléctrica, que posteriormente se transmite al receptor. La potencia de RF se mide a 99dBm. El ruido, que se representa en color verde, está en 30 dBm; el color azul representa la señal.

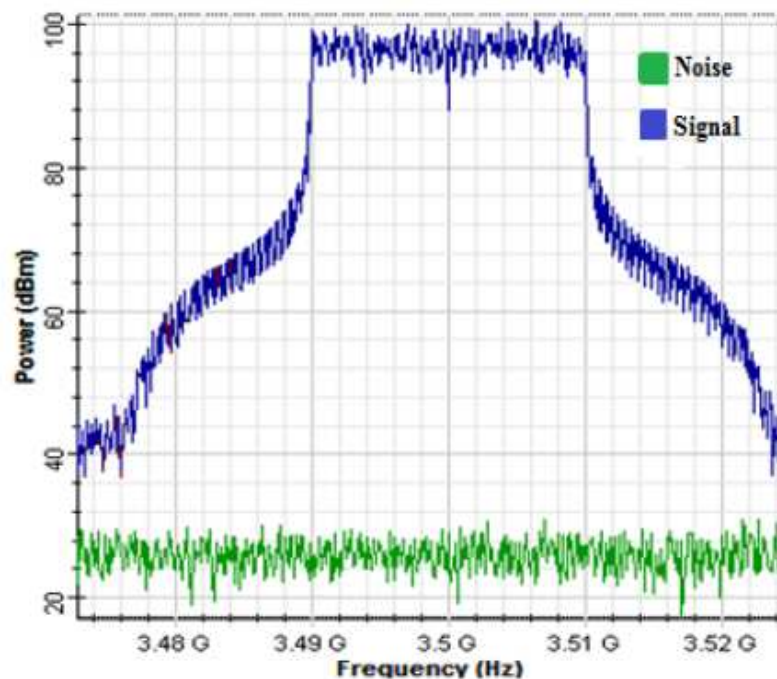


Figura 3. 9: Espectro de RF para WiMAX sobre RoF para SMF de longitud 20 km.
Elaborado por: El Autor

La figura 3.10 muestra la constelación de 64QAM en el Rx-WiMAX para la frecuencia de portadora 3.5 GHz y el ancho de banda de 20 MHz después

de 100 km de longitud de SMF. Se puede observar, que las distorsiones en la señal en el receptor han aumentado, debido a la atenuación de potencia de la señal, el ruido, retardo de la señal (desplazamiento de fase) y los efectos de dispersión cromática el ruido, que se representa en color azul y la señal se presenta en color rojo.

La dispersión positiva en la SMF provoca el ensanchamiento del pulso sobre la distancia de transmisión de 100 km. Los impulsos se superponen con pulsos adyacentes y los datos no pueden ser recuperados por el receptor WiMAX. Por lo tanto, es esencial para controlar la dispersión positiva en SMF mediante la aplicación de componentes de fibra de compensación.

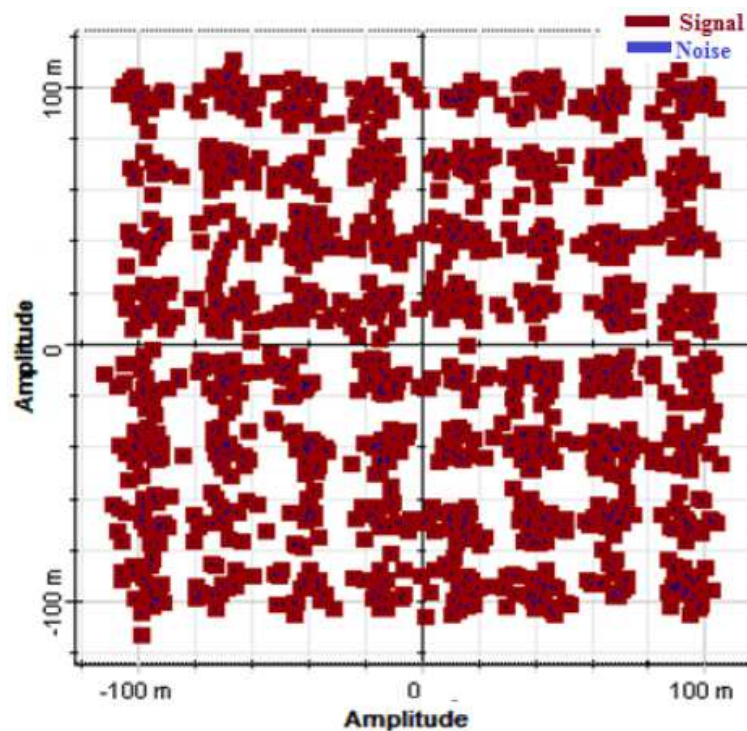


Figura 3. 10: Constelación de la transmisión de señales WiMAX en el Rx-WiMAX.
Elaborado por: El Autor

La figura 3.11 muestra el espectro de RF en el receptor 64QAM WiMAX; la señal se despliega sobre la SMF para una longitud de 100 km; la potencia se mide a 65 dBm. El resultado muestra que la energía eléctrica se

reduce de 99 dBm a 65 dBm cuando la distancia se incrementa a 180 km, debido a la atenuación en la fibra; la señal se representa en azul y el ruido en el color verde.

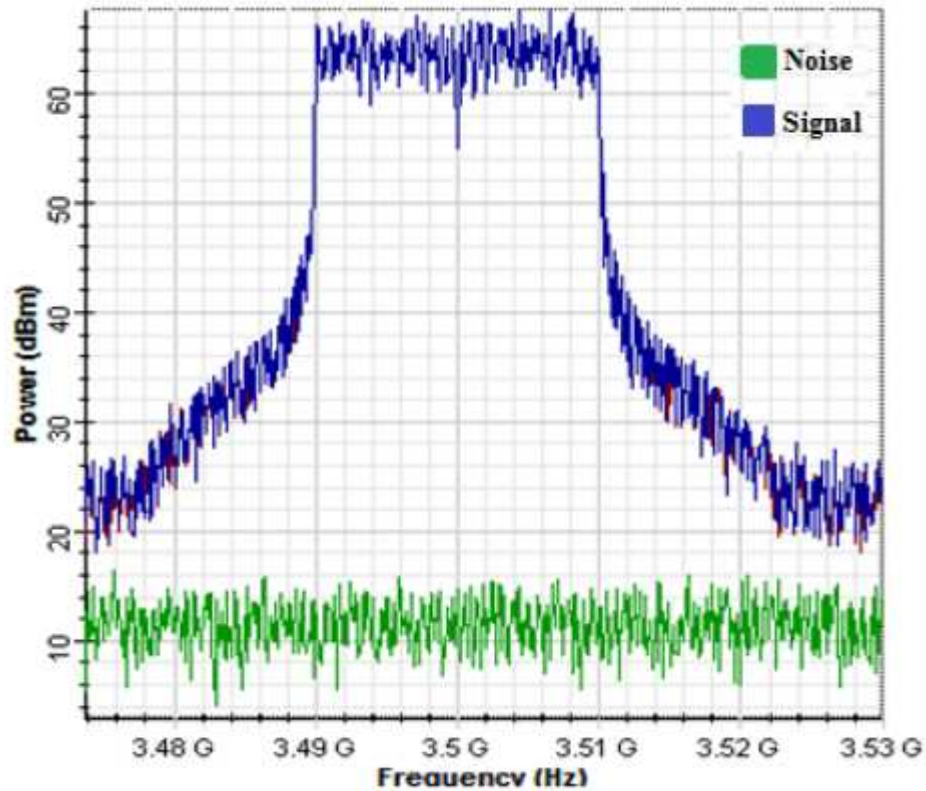


Figura 3. 11: Espectro de RF para WiMAX sobre RoF para SMF de longitud 100 km.
Elaborado por: El Autor

La figura 3.12 muestra la constelación eléctrica después de 140 km en la cual la señal se corrompe. Como se mencionó anteriormente, la señal comenzó la ampliación después de 100 km por dispersión positiva en la SMF. La dispersión cromática en la SMF después de una larga distancia puede afectar a la calidad de la señal, así como aumentar la atenuación de potencia, que es un resultado de la absorción y la dispersión. La absorción conduce a una pérdida de los fotones, y su energía se transforma en calor. La dispersión implica, defectos menores en la fibra redirigen o esparcen un poco de luz en rayos que ya no se llevan a cabo por la fibra.

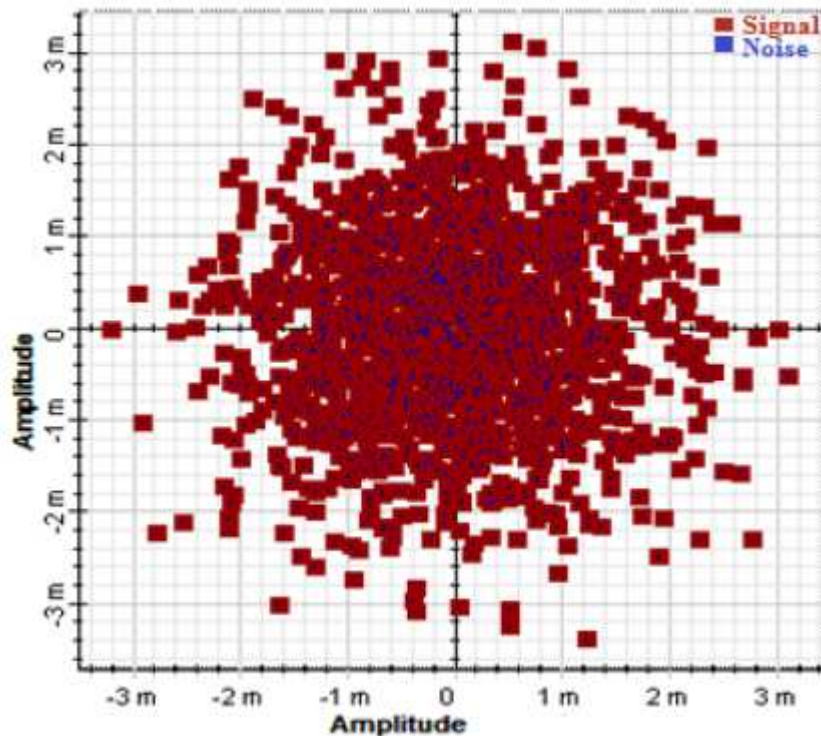


Figura 3. 12: Constelación de SMF de 140 km y la EDFA con atenuación de 35 dB.
Elaborado por: El Autor

El amplificador de potencia EDFA se aumenta a 65 dB al amplificador la señal de transmisión en la fibra, y amplifica de manera eficiente la luz en la región de longitud de onda de 1550 nm, donde la SMF tiene su mínima pérdida. Un EDFA funciona como una bomba con una longitud de onda alrededor de 980 nm y se combina con la longitud de onda de transmisión de fibra óptica igual a 1550 nm.

La figura 3.13 muestra la constelación eléctrica después de un aumento de la potencia EDFA a 65 dB. En comparación con la figura 3.12, donde el EDFA está en 35 dB; la señal en el Rx-WiMAX muestra una clara mejora con EDFA en 65 dB. La SNR se mide a 62 dB y en el OSNR a 99 dB; las señales se representan en color rojo y el ruido en azul.

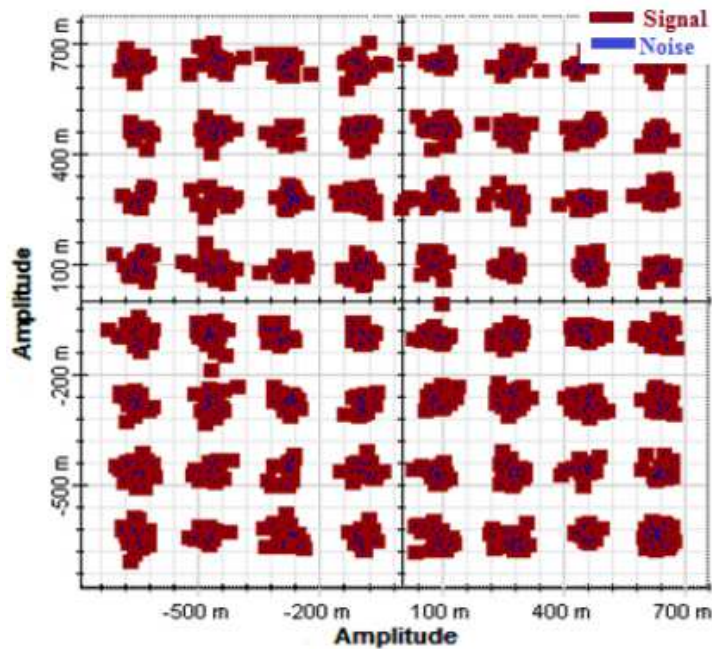


Figura 3. 13: Constelación de Rx-WiMAX para una EDFA con atenuación de 65 dB.
Elaborado por: El Autor

Posteriormente, la distancia de transmisión de la señal se incrementa a 180 km de longitud de la SMF, y la potencia EDFA aumenta a más de 65 dB pero aun así la corrupción de la señal no ha cambiado, tal como se muestra en la figura 3.14. Esto significa que el amplificador de potencia no afecta a la calidad de la señal para un segmento de fibra de 180 km, porque el EDFA sólo amplifica eficazmente, cuando la señal de transmisión obtiene una pérdida de baja potencia.

En una SMF de longitud 100 km, la amplificación de potencia óptica se incrementa desde 22 dB a 35 dB, y finalmente a 150 km, la potencia se escala hasta 65dB para hacer frente a la atenuación de la señal, así como para mejorar la señal óptica. Con una SMF de longitud 180 km, la señal óptica es bastante débil, y a pesar de que se incrementa la potencia EDFA, la señal no mejora. Para modificar la señal de transmisión WiMAX en la fibra para distancias de más de 180 km sin la necesidad de aumentar la potencia del amplificador, se debe realizar un nuevo sistema de compensación de la dispersión.

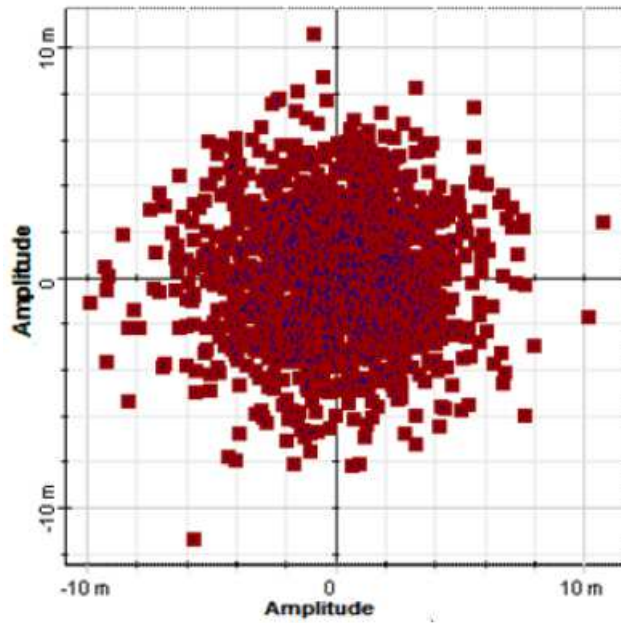


Figura 3. 14: Constelación de SMF de 180 km y la EDFA con atenuación de 65 dB.
Elaborado por: El Autor

Conclusiones

1. A través de la fundamentación teórica se sentaron las bases de redes WiMAX y a la vez utilizar la tecnología RoF para combinar este sistema de comunicación.
2. Se propusieron métodos para la transmisión de señales de RF sobre fibra mediante un enlace descendente del sistema WiMAX desplegado a través de fibras monomodo (SMF) sobre un sistema ROF.
3. El proyecto de investigación simula la transmisión WiMAX de una señal de 54 Mbps a través de RoF en SMF para una distancia de 180 km y se demostró el alto consumo de energía y longitud de transmisión limitada para WiMAX a través del aire.

Recomendaciones

1. El diseño de la simulación se enmienda para aumentar la distancia la transmisión de señales sin aumentar el amplificador de potencia mediante la adición de un componente óptico de la fibra SMF.
2. Proponer futuros trabajos para llevar una señal WiMAX mediante acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales escalables (S-OFDMA) con 128 subportadoras con una FFT de 1024 para una frecuencia portadora de 3.5 GHz y ancho de banda de 20 MHz.

Referencias Bibliográficas

Andrews, J., Ghosh, A., & Muhamed, R. (2007). *Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking*. Prentice Hall.

Cvijetic, N. (2012). *OFDM for next-generation optical access networks*. *Journal of Lightwave Technology*, 30(4), 384-398.

Di Renzo, M., Haas, H., Ghrayeb, A., Sugiura, S., & Hanzo, L. (2014). *Spatial modulation for generalized MIMO: Challenges, opportunities, and implementation*. *Proceedings of the IEEE*, 102(1), 56-103.

Enríquez, A., Hamilton, J., & Taha, B. (2014). *Banda Ancha Inalámbrica: WiMAX*. Editorial Omnia Science. DOI: <http://dx.doi.org/10.3926/oms.195>

España B., M. (2010). *Servicios Avanzados de Telecomunicación*. Ediciones Díaz de Santos.

Frigyes, I. (2005). *Radio over fiber: application, basic design and impact on resource management*. Budapest University of Technology and Economics.

Kumar, A. (2014). *Mobile broadcasting with WiMAX: principles, technology, and applications*. CRC Press.

Larsson, E., Edfors, O., Tufvesson, F., & Marzetta, T. (2014). *Massive MIMO for next generation wireless systems*. *Communications Magazine, IEEE*, 52(2), 186-195.

Maggi S., W. (2014). *Análisis de factibilidad técnica en la implementación de una red WRAN (IEEE 802.22) en escuelas y colegios fiscales de sectores rurales y urbanos marginales de la Provincia del Guayas*. Tesis de Maestría en el repositorio digital de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Medeiros, M., Avó, R., Laurencio, P., Correia, N., Barradas, A., Da Silva, H., Darwazeh, I., Mitchell, J., & Monteiro, P. (2009). *RoF net reconfigurable Radio over Fiber Network Architecture Overview*. Journal of Telecommunications and Information Technology.

Navarrete, C., Santiago, F., Martínez, J., Morales, L., & Hernández, N. (2014). *Planeación y Diseño de una Red de Acceso convergente y escalable de alta velocidad utilizando la infraestructura de cobre ya existente y Fibra hasta el usuario final en un área con uso de suelo mixto urbano en la Ciudad de México*. Tesis publicada en el repositorio digital de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Pareit, D., Lannoo, B., Moerman, I., & Demeester, P. (2012). *The history of WiMAX: A complete survey of the evolution in certification and standardization for IEEE 802.16 and WiMAX*. Communications Surveys & Tutorials, *IEEE*, 14(4), 1183-1211.

WiMAX (2014). *WiMAX Forum Member Companies*. Disponible en línea: <http://www.wimaxforum.org/about/members>