UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TÍTULO:

SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DEL SERVICIO TRIPLE PLAY MEDIANTE TECNOLOGÍA WiMAX

AUTOR:
JEAN HENRY DELGADO RODRÍGUEZ

Previa la obtención del Título
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:
M. Sc. Néstor Zamora Cedeño

Guayaquil, Ecuador
2015

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **Jean Henry Delgado Rodríguez** como requerimiento parcial para la obtención del título de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES.

TUTOR

_____

M. Sc. Néstor Zamora Cedeño

DIRECTOR DE CARRERA

_____

M. Sc. Miguel A. Heras Sánchez.

Guayaquil, a los 05 del mes de Septiembre del año 2015

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Jean Henry Delgado Rodríguez**

DECLARÓ QUE:

El trabajo de titulación "SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DEL SERVICIO TRIPLE PLAY MEDIANTE TECNOLOGÍA WiMAX" previa a la obtención del Título de Ingeniero en Telecomunicaciones, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 05 del mes de Septiembre del año 2015

EL AUTOR

_____

JEAN HENRY DELGADO RODRIGUEZ

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Jean Henry Delgado Rodríguez**

Autorizamos a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: "SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DEL SERVICIO TRIPLE PLAY MEDIANTE TECNOLOGÍA WiMAX", cuyo contenido, ideas y criterios es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Guayaquil, a los 05 del mes de Septiembre del año 2015

EL AUTOR

_____

JEAN HENRY DELGADO RODRIGUEZ

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico a mi familia, quienes han sido mi apoyo durante mis estudios, especialmente a mi madre Fátima Patricia Rodríguez Macías, quien me ha dirigido con paciencia, esfuerzo y dedicación, para así lograr culminar una meta más en mi vida.

EL AUTOR

JEAN HENRY DELGADO RODRIGUEZ

AGRADECIMIENTO

Le agradezco primeramente a Dios, por haberme permitido vivir en un ambiente en el cual nunca me falto el apoyo de mi familia, profesores y amigos.

A mi Padre Belvis Delgado y a mi Madre Fátima Rodríguez por darme la mejor educación y enseñarme que el esfuerzo, la constancia, y el trabajo dan sus frutos.

A mi novia Lilia León, porque siempre ha sido mi compañía y ha estado a mi lado apoyándome, y a pesar de las dificultades se ha mantenido a mi lado para cumplir juntos nuestras metas.

A mis profesores de la Facultad Técnica de la Universidad Católica De Santiago De Guayaquil por impartir sus conocimientos y brindarnos ayuda en nuestros estudios pata formarnos como buenos profesionales.

EL AUTOR

JEAN HENRY DELGADO RODRIGUEZ

Índice General

Índice de Figuras IX

Índice de Tablas..... XI

Resumen XII

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN 13

1.1. Antecedentes. 13

1.2. Justificación del Problema. 14

1.3. Definición del Problema.....15

1.4. Objetivos del Problema de Investigación.....15

1.4.1. Objetivo General. 15

1.4.2. Objetivos Específicos. 15

1.5. Hipótesis.....16

1.6. Metodología de Investigación. 16

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEORICA DE WiMAX 17

2.1. Introducción a la Banda Ancha Inalámbrica. 17

2.2. Evolución de la Banda Ancha Inalámbrica. 18

2.2.1. Sistemas de bucle local inalámbrico (WLL) de banda estrecha.19

2.2.2. Primera generación de línea de vista (Line-Of-Sight, LOS). 20

2.2.3. Segunda generación sin línea de vista (NLOS). 22

2.2.4. Tecnología basada en los estándares IEEE. 22

2.3. Banda Ancha Inalámbrica Fija. 23

2.4. Banda Ancha Inalámbrica Móvil. 26

2.5. Otras Tecnologías de Banda Ancha. 27

2.6. Estándares IEEE 802.16. 30

2.7. Arquitectura del Protocolo. 40

2.8. WiMAX Forum. 42

2.9. Opciones del Espectro de Frecuencias de WiMax. 44

CAPÍTULO 3: DESARROLLO DE SIMULACION Y RESULTADOS OBTENIDOS. 46
3.1. Simulación de Servicios Triple Play con Tecnología WiMax. 46
3.1.1. Topología de red para WiMax.....47
3.1.2. Gestión de QoS en los escenarios de simulación de la red WiMax.....49
3.1.3. Configuración de las capas MAC y PHY de WiMax.....51
3.1.4. Configuración de las estaciones base de WiMax. 55
3.1.5. Configuración de las estaciones de abonado de WiMax. 56
3.1.6. Escenarios de simulación para WiMax.....58
3.2. Resultados obtenidos de los escenarios de simulación para el servicio Triple Play sobre la red WiMax.....64
CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. 75
4.1. Conclusiones.....75
4.2. Recomendaciones.....75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....77

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2. 1: Sistema Wireless Local Loop, WLL. 20

Figura 2. 2: Sistema local de distribución multipunto (LMDS). 21

Figura 2. 3: Sistema de distribución multipunto multicanal (MMDS). 22

Figura 2. 4: Topología point-to-point en redes inalámbricas fijas. 23

Figura 2. 5: Topología point-to-multipoint en redes inalámbricas fijas. 24

Figura 2. 6: Infraestructura de una red WiMax. 27

Figura 2. 7: Infraestructura de HSDPA. 28

Figura 2. 8: Red de Telecomunicaciones basada en los estándares IEEE 802.16. 31

Figura 2. 9: Protocolo Pila 41

Capítulo 3

Figura 3. 1: Topología de la Red Triple Play sobre WiMax. 47

Figura 3. 2: Subred Backbone dentro de la topología de red WiMax. 48

Figura 3. 3: Subred “Aggregation_Network” dentro de la topología de red WiMax. 49

Figura 3. 4: Configuración de clase de servicio MAC. 54

Figura 3. 5: Configuraciones de la capa PHY de OFDMA. 54

Figura 3. 6: Mapeo de clase de servicio DL 55

Figura 3. 7: Mapeo de la clase de servicio UL. 56

Figura 3. 8: Configuración DL y UL para todo el flujo de servicio en 2 kilómetros 57

Figura 3. 9: Configuración DL y UL para todo el flujo de servicio en 4 kilómetros..... 57
Figura 3. 10: Configurado DL y UL para todo el flujo de servicio en 6 kilómetros..... 57
Figura 3. 11: La disposición de los objetos en el escenario # 1, 2, 3. 60
Figura 3. 12: La disposición de los objetos en el escenario # 4, 5, 6. 60
Figura 3. 13: La disposición de los objetos en el escenario # 7, 8, 9. 62
Figura 3. 14: Arquitectura de red de los escenarios considerados para Triple-Play sobre WiMax. 63
Figura 3. 15: SS – retardo de paquetes de vídeo para BW=20 MHz. 64
Figura 3. 16: SS – variación de retardo de vídeo para BW= 20 MHz. 65
Figura 3. 17: Pérdida de propagación para frecuencia de 3.5 GHz y 2 km de distancia..... 68
Figura 3. 18: Pérdida de propagación para frecuencia de 3.5 GHz y 4 km de distancia..... 69
Figura 3. 19: Pérdida de propagación para frecuencia de 3.5 GHz y 6 km de distancia..... 69
Figura 3. 20: Vídeo retardo de paquetes y variación de retardo tanto efecto multipath pérdida del recorrido..... 71
Figura 3. 21: Retardo de paquetes de voz y la variación del retardo en tanto efecto multipath pérdida del recorrido..... 71
Figura 3. 21 FTP y HTTP descarga tiempo de respuesta, tanto a efectos de trayectos múltiples pérdida del recorrido. 72

Índice de Tablas

Capítulo 2

Tabla 2. 1: Bandas de frecuencias de redes WiMAX fijas. 43

Tabla 2. 2: Bandas de frecuencias de redes WiMAX móviles. 44

Tabla 2. 3: Bandas de frecuencias típicas de WiMAX por regiones. 45

Capítulo 3

Tabla 3. 1: Asignación del tráfico en la red WiMax. 50

Tabla 3. 2: Escenarios de simulación para la topología de red WiMax. 59

Tabla 3. 3: Parámetros de la SS. 61

Tabla 3. 4: Las relaciones entre los diferentes canales y las distancias de 3,5 GHz de frecuencia 66

Tabla 3. 5: Resultados de simulación para frecuencia de 3.5GHz a diferentes distancias. 70

Resumen

El presente trabajo de titulación denominado “SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DEL SERVICIO TRIPLE PLAY MEDIANTE TECNOLOGÍA WiMAX” consiste en el desarrollo de modelos de simulación del servicio Triple Play sobre la tecnología WiMax.

Estos modelos de simulación van a ser evaluados a través de la plataforma OPNET modeler, relacionando las simulaciones específicamente con las pérdidas de propagación y el ancho de banda en diferentes escenarios del servicio Triple Play a través del medio de transmisión inalámbrica WiMAX, demostrando que independientemente del tipo de terreno del modelo de propagación propuesto, los parámetros de transmisión son los apropiados para mantener calidad de servicio.

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

1.1. Antecedentes.

Las redes de plataformas cableadas (alámbricas) utilizan la alta capacidad de las redes físicas ricas en fibra óptica y la capacidad de uso general de protocolos basados en IP para soportar el servicio Triple Play ya sea voz, video y datos. Para hacer las cosas aún más complicadas, no siempre es posible proporcionar a los clientes una red de acceso a internet por cable como DSL o Televisión por cable (CATV). Esto ocurre a menudo en zonas poco pobladas, en las que sería demasiado caro implementar redes alámbricas.

Para los servicios Triple Play, la tecnología de red de acceso inalámbrico debe ser utilizada en el futuro. En el dominio inalámbrico, aunque con un desfase, hay una tendencia similar hacia una mayor capacidad y hacia la prestación de una gama de servicios en una infraestructura común de red céntrica IP.

Recientes redes inalámbricas de banda ancha tales como la 3G LTE y WiMax proporcionan una plataforma IP de propósito general con más de los mejores servicios sobre la capa de aplicación, que es similar al diseño de las redes cableadas IP. Por tal motivo, se utilizará la tecnología WiMax, que se ha convertido en la forma más fácil para la comunicación inalámbrica y una

solución rápida para requerimiento de conexión a Internet para datos, voz y servicio de video.

La introducción de servicios Triple Play ha hecho posible que las operadoras tradicionales se aferren a los clientes existentes. En la investigación de Morris, A. (2009) estima que el porcentaje de pérdida de línea se reducirá a la mitad, alrededor del 2.5% entre el año 2008 y 2015. De acuerdo con un nuevo informe de Digital TV Research (2012), se espera que las suscripciones globales de servicio Triple Play lleguen a 400 millones en el año 2017.

1.2. Justificación del Problema.

Triple Play es un servicio que se ofrece a los suscriptores (abonados) para acceder a la transmisión digital de TV, telefonía fija, y acceso al Internet con determinados planes de ancho de banda. En el trabajo de titulación de Pincay, A. (2015) se afirma que el término Triple Play es muy conocido en el ámbito de las redes de nueva generación (NGN) en telecomunicaciones.

Así, en este trabajo de titulación, se utilizará la tecnología WiMax, que se ha convertido en la forma más fácil para la comunicación inalámbrica y una solución rápida para requerimiento de conexión a Internet para datos, voz y video. Para el 2007, se realizaron más de 100 ensayos de portadoras WiMax en todo el mundo. Además, en WiMax Forum emitió un comunicado de prensa en el 2008 de la proyección de 133 millones de suscriptores en

2012. En febrero de 2009, el WiMax Forum ha reportado poco menos de 460 WiMax fijos y despliegues de redes móviles en todo el mundo, juntos con más de 800 millones de suscriptores proyectado para el 2017.

1.3. Definición del Problema.

Como se hizo mención del trabajo de titulación desarrollado por Pincay, A. (2016) en la que modelaba el servicio triple play sobre una red ADSL. Por esto, surge la necesidad de realizar modelos de simulación del servicio Triple Play a través de una red WiMax como una expansión o despliegue de la red alámbrica existente con tecnología ADSL.

1.4. Objetivos del Problema de Investigación.

1.4.1. Objetivo General.

Desarrollar modelos de simulación del servicio Triple Play sobre la tecnología WiMax a través de diferentes escenarios relacionados con las pérdidas de propagación y el ancho de banda.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Describir la fundamentación teórica del estándar inalámbrico metropolitano WiMax.
- Diseñar los modelos de simulación a través de diferentes escenarios para los servicios Triple Play en una red WiMax.
- Evaluar los modelos de simulación a través de la plataforma OPNET Modeler.

1.5. Hipótesis.

Mediante el modelamiento de escenarios del servicio Triple Play a través del medio de transmisión inalámbrica WiMAX permitirá demostrar que independientemente del tipo de terreno del modelo de propagación propuesto los parámetros de transmisión son los apropiados para mantener calidad de servicio.

1.6. Metodología de Investigación.

La metodología empleada en el trabajo de titulación es del paradigma empírico-analítico, con enfoque cuantitativo. También se emplea el proceso descriptivo, que permite conocer la tecnología inalámbrica WiMAX como medio de transmisión de Telecomunicaciones, y aunque no exista alguna red WiMAX para servicios triple play, la simulación permite ver el comportamiento real de la red WiMAX.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEORICA DE WiMAX

2.1. Introducción a la Banda Ancha Inalámbrica.

La demanda de servicios de banda ancha está creciendo de manera exponencial en los últimos años. Hay varias tecnologías alámbricas que nos proporcionan un acceso de banda ancha de alta velocidad, tales como la línea de abonado digital (DSL) más de par trenzado de teléfono o cable sobre fibra óptica. El principal problema de estas tecnologías de acceso por cable es la dificultad y el alto costo de instalación y mantenimiento, especialmente en las zonas remotas y rurales.

En los últimos años, Internet se ha desarrollado de ser sólo una herramienta académica para tener cientos de millones de usuarios en todo el mundo. Además, la demanda de una conexión de alta velocidad ha causado un enorme desarrollo de las tecnologías de banda ancha.

Como acceso de banda ancha, los servicios móviles inalámbricos han crecido considerablemente en los últimos años, de 11 millones de suscriptores en todo el mundo en 1990 a más de 4 mil millones en 2012. Este aumento se debe al uso de ordenadores portátiles, teléfonos smartphone y tablets. No hay duda de que al final de la primera década del siglo 21, el acceso de datos inalámbricos de alta velocidad se desplegaría en gran medida en todo el mundo.

La razón principal para el desarrollo de WiMAX ("Interoperabilidad Mundial Microondas Acceso") es la demanda de mayores velocidades de datos, no sólo para una descarga más rápida, sino también para el uso de nuevas aplicaciones como voz sobre protocolo de Internet (VoIP), video streaming, conferencia multimedia y juegos interactivos. WiMAX revolucionará las comunicaciones de banda ancha en los países desarrollados y permitirá a los países en desarrollo para ser comunicados.

Con esta tecnología los usuarios podrán tener acceso a las redes de banda ancha en cualquier lugar y en cualquier momento. Hay algunas tecnologías competitivas como tercera generación de comunicaciones móviles (3G) o HSPA y 4g LTE pero hoy en día sólo pueden ofrecer altas tasas de datos en pequeñas áreas de cobertura y bajo ciertas condiciones específicas.

Existen dos familias muy diferentes de sistemas WiMAX y deben ser tratados por separado: WiMax fijo y móvil.

2.2. Evolución de la Banda Ancha Inalámbrica.

Debido al desarrollo de la industria de las telecomunicaciones y el enorme crecimiento de Internet, las compañías estaban investigando para encontrar una nueva tecnología inalámbrica para llegar a los nuevos requisitos. La evolución de la tecnología WiMAX se puede estructurar en cuatro etapas:

1) Sistemas de bucle local inalámbrico (WLL) de banda estrecha.
2) Primera generación de línea de vista (LOS)
3) Segunda generación sin línea de vista (NLOS)
4) Estándares basados en sistemas inalámbricos de banda ancha.

2.2.1. Sistemas de bucle local inalámbrico (WLL) de banda estrecha.

El primer uso fue, obviamente, la telefonía de voz; que fue un éxito en los países en desarrollo, así como en las regiones rurales de los países desarrollados, donde la tecnología por cable no es ampliamente desplegada y su despliegue puede ser bastante caro.

El Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (*European Telecommunications Standards Institute, ETSI)* publicó un sistema inalámbrico WLL en 1992 conocido también como Telecomunicaciones Inalámbricas Mejoradas Digitalmente *(Digital Enhanced Cordless Telecommunications, DECT)*. La gama de equipos DECT fue empleado para distancias pequeñas. El DECT funciona en la banda de 1.9 GHz. Este sistema digital utiliza el acceso múltiple por división de tiempo *(Time Division Multiple Access, TDMA)* y actualmente sigue siendo utilizado.

En los mercados con una infraestructura de bucle local robusta instalada, WLL tenía que ofrecer más servicios que la telefonía de voz, por lo que los operadores encontraron una oportunidad con la comercialización de los servicios de acceso a Internet que ofrecen acceso a ella a altas

velocidades. En 1997, AT&T desarrolló un sistema de acceso inalámbrico para servicios de comunicaciones personales *(Personal Communications Services, PCS)* en 1.9 GHz que ofrecía dos líneas de voz y una conexión de datos a 128 kbps.

Al mismo tiempo, otras compañías comenzaron a ofrecer acceso inalámbrico a Internet con frecuencia de 900MHz exento de licencia y las bandas de 2.4Ghz alcanzando velocidades de hasta unos pocos cientos de kilobits. En la figura 2.1se muestra un típico sistema WLL.

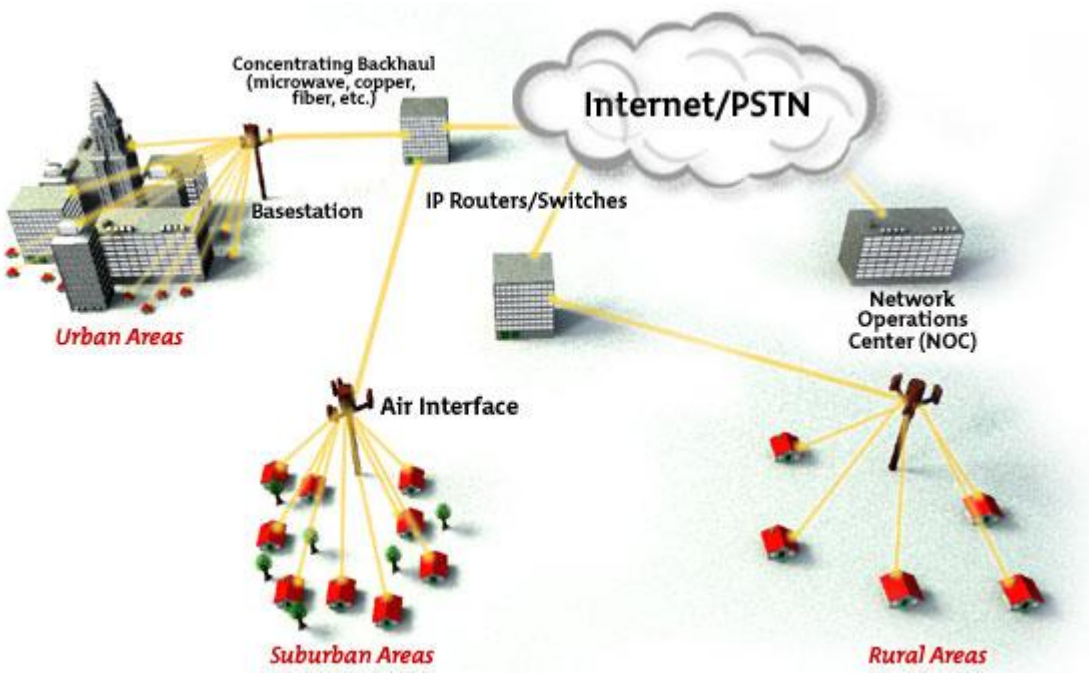

Figura 2. 1: Sistema Wireless Local Loop, WLL.
Fuente: Williams, K. (2015).

2.2.2. Primera generación de línea de vista (Line-Of-Sight, LOS).

El desarrollo de la tecnología DSL y de los cables módems causó la evolución de los sistemas inalámbricos para soportar velocidades más altas para ser competitivos en ámbito de las comunicaciones digitales a nivel

mundial. El sistema local de distribución multipunto *(Local Multipoint Distribution Service, LMDS)* comenzó a desplegarse usando bandas de alta frecuencia (entre 24 GHz y 39 GHz) que soportan varios cientos de megabits por segundo. En la figura 2.2 se muestra un típico sistema LMDS.

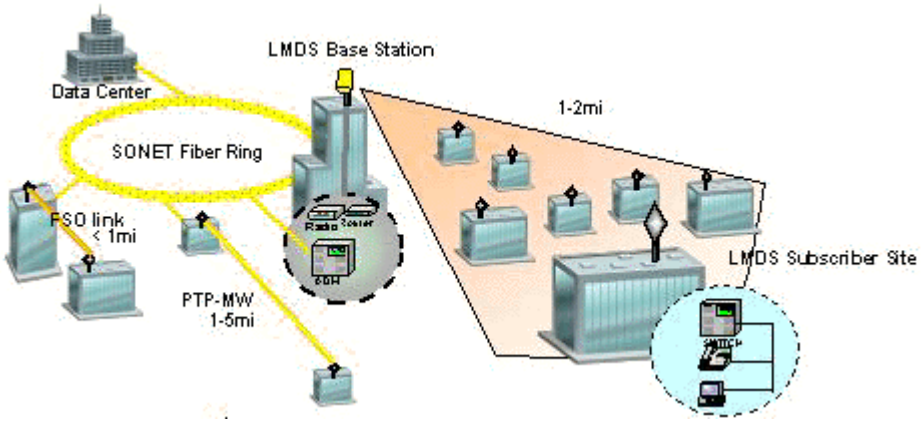

Figura 2. 2: Sistema local de distribución multipunto (LMDS).
Fuente: Williams, K. (2015).

Al final de la década de 1990, los servicios de distribución multipunto multicanal *(Multichannel Multipoint Distribution System, MMDS)* comenzaron a desplegarse en la banda de 2.5 GHz y fue utilizado para la transmisión de televisión por cable en las zonas rurales en las que no se disponía de televisión por cable. En la figura 2.3 se muestra una configuración típica del sistema MMDS.

Algunos operadores comenzaron a ofrecer acceso a Internet en un solo sentido mediante el uso de línea telefónica como el camino de regreso. En 1998, la Comisión Federal de Comunicaciones *(Federal Communications Commission, FCC)* reguló esta banda para permitir la comunicación de dos vías. La primera generación de LOS con cobertura fue desplegada usando

las torres instaladas para servicios de cable inalámbricas. Fue necesaria la instalación de antenas que eran lo suficientemente altas y con línea de vista hacia la torre (véase la figura 2.3).

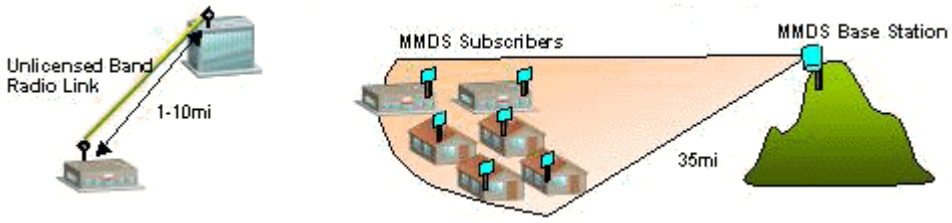

Figura 2. 3: Sistema de distribución multipunto multicanal (MMDS).
Fuente: Williams, K. (2015).

2.2.3. Segunda generación sin línea de vista (NLOS).

Esta segunda generación resolvió el problema de LOS y proporcionaba mayor capacidad a través del uso de una arquitectura celular, de las técnicas: Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales *(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM)* y Acceso Múltiple por División de Código *(Code Division Multiple Access, CDMA)* y el procesamiento multiantena. Fue posible alcanzar velocidades de hasta unos pocos megabits por segundo.

2.2.4. Tecnología basada en los estándares IEEE.

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) formó un grupo en 1998 que se denominó 802.16. El objetivo de este grupo era desarrollar un estándar para la Red de Área Metropolitana Inalámbrica para la regulación de las bandas de frecuencias comprendidas entre 10 GHz y 66 GHz.

Desde el primer estándar o norma aprobada en diciembre del 2001 hasta la actualidad, se han desarrollado varios estándares y modificaciones para las comunicaciones inalámbricas. Todas las normas y sus características correspondientes no son analizadas en este trabajo de titulación.

Es importante saber que 802.16 es sólo una colección de estándares que incluye una amplia gama de variaciones. La IEEE sólo desarrolló las especificaciones, pero es la industria y, especialmente, el grupo industrial "WiMAX Forum" se encarga de que sea convertirlo en un estándar de interoperabilidad.

2.3. Banda Ancha Inalámbrica Fija.

Hay dos diferentes topologías de red inalámbrica en banda ancha fija:

- Aplicaciones punto a punto incluyen en la construcción de las comunicaciones dentro de un campus y microondas backhaul.

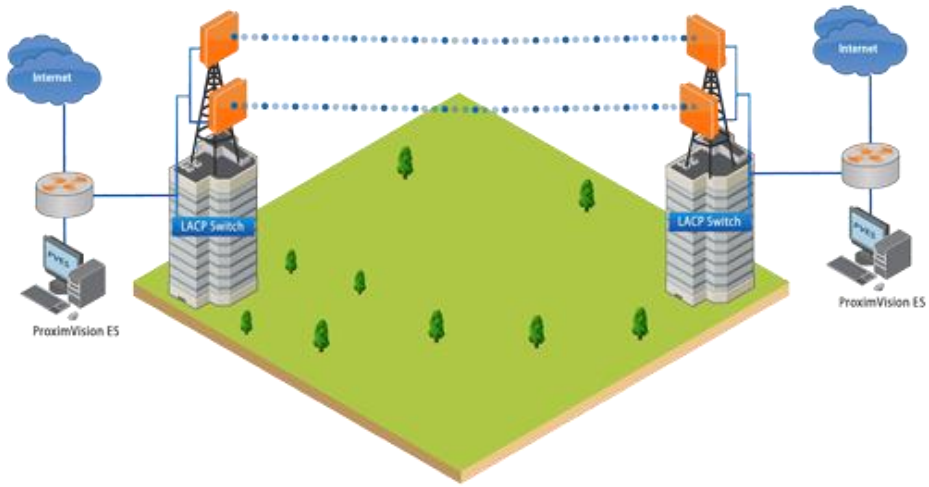

Figura 2. 4: Topología point-to-point en redes inalámbricas fijas.
Fuente: Proxim Wireless (2015).

- Punto a multipunto se basa por lo general en una estación de base montada en una torre o en un edificio que se comunica con el abonado, tal como se muestra en la figura 2.5; los usos más comunes son:

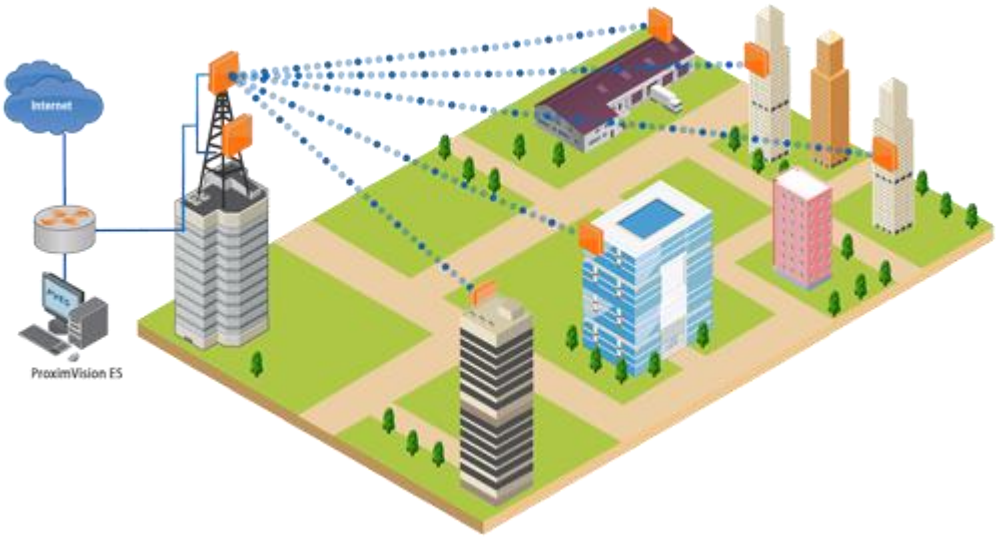

Figura 2. 5: Topología point-to-multipoint en redes inalámbricas fijas.
Fuente: Proxim Wireless (2015).

A. Banda Ancha para usuarios residenciales y pequeña empresa:

El principal uso de WiMAX, es el servicio de banda ancha, como acceso a Internet de altas velocidades, telefonía sobre IP (VoIP) y una serie de otras aplicaciones de Internet. WiMAX presenta algunas ventajas sobre las tecnologías cableadas como menores costos de implementación, bajos costos de operación para el mantenimiento, la realización más rápida y la independencia de los portadores del operador tradicional.

Hay dos tipos de modelos de despliegue, uno de ellos requiere la instalación de una antena exterior en el edificio del cliente y el otro requiere

un módem (todo-en-uno) de radio instalada en el interior. El uso de antena exterior mejora la cobertura y el rendimiento del sistema; sin embargo, requiere del conocimiento de profesionales capacitados por lo que implica un mayor costo en los países desarrollados, pero en los países en desarrollo resulta ser más barato.

B. Servicios T1 para los negocios:

El otro uso de WiMAX fijo es una solución para T1 competitivo, T1 fraccional y los servicios de mayor velocidad para el mercado empresarial. Este tipo de servicio, es un éxito debido al hecho de que no todos los edificios tienen acceso a la fibra y en los negocios existe una demanda de los servicios simétricos T1 que no pueden llegar el cable y DSL.

C. Backhaul para puntos de acceso Wi-Fi:

Los puntos de acceso Wi-Fi están ampliamente desplegados en las zonas comunes en los países desarrollados. La solución tradicional está usando conexiones de banda ancha por cable para conectar los puntos de acceso de nuevo a un punto de la red. En este caso, WiMAX puede ser una alternativa más barata y más rápida para backhaul WiFi y también puede ser utilizado para backhaul 3G y 4G LTE.

WiMAX es considerado como un éxito en los países en desarrollo en los que no se ha instalado una red cableada. WiMAX será una alternativa más barata a extender el acceso de banda ancha sobre cualquier país.

2.4. Banda Ancha Inalámbrica Móvil.

En un contexto donde los usuarios se familiarizaban con el uso de servicios de banda ancha de alta velocidad, ellos exigirán las mismas prestaciones en situaciones nómadas o móviles. El primer paso es añadir capacidades de nómadas a la conexión de banda ancha fija, por lo que los usuarios pueden obtener conexiones en movimiento dentro del área de servicio.

En el mercado, las licencias de explotación de espectro celular son limitadas y muy caras, así que WiMAX podría ser una buena oportunidad de ofrecer servicios de movilidad para algunos operadores de líneas fijas que no ofrecen servicios móviles. Sin embargo, los operadores móviles existentes son más interesados en el desarrollo de 4G que en la adopción de WiMAX.

WiMAX presenta algunas ventajas importantes que pueden ser útiles para su desarrollo, tales como la baja latencia que es fundamental para los servicios de voz sobre IP (VoIP). Otras ventajas son el ancho de banda flexible y múltiples niveles de calidad de los servicios (QoS) que pueden permitir el uso de WiMAX para aplicaciones de entretenimiento. Algunos ejemplos de estas aplicaciones podrían ser juegos interactivos, IP-TV y servicios de streaming de audio para reproductores de MP3. En la figura 2.6 se muestra la infraestructura de una red WiMax.

El principal inconveniente es que el estándar IEEE 802.16 sólo especifica una interfaz de aire de modo que el núcleo de red tiene que ser desplegado.

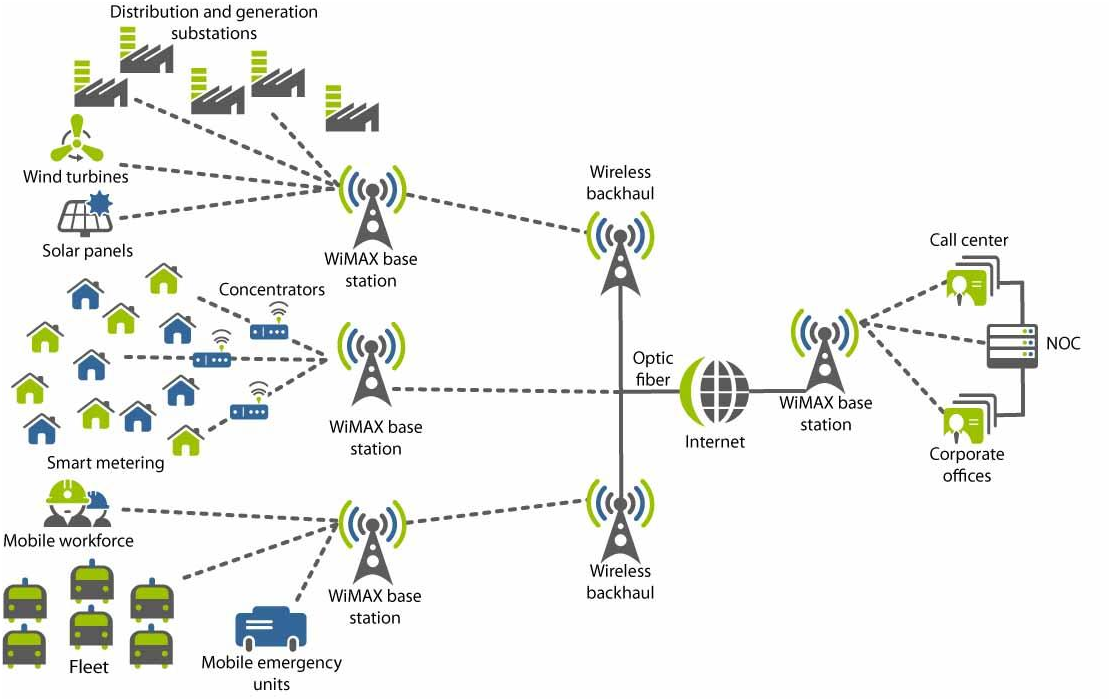

Figura 2. 6: Infraestructura de una red WiMax.
Fuente: Paolini, M. (2010).

2.5. Otras Tecnologías de Banda Ancha.

Hay varias tecnologías inalámbricas de banda ancha que proporcionan servicios inalámbricos de banda ancha, algunos de ellos ya están en uso y otra se están desarrollando. En esta sección podemos ver una breve descripción de algunos de las tecnologías de banda ancha.

Los operadores móviles están cambiando sus redes a las tecnologías 4G para entregar aplicaciones de banda ancha a sus abonados. Los operadores móviles que utilizan el Sistema Universal de Telecomunicaciones

Móviles *(Universal Mobile Telecommunications System, UMTS)* y Acceso a Paquetes por Enlace Descendente de Alta Velocidad *(High Speed Download Packet Access, HSDPA).*

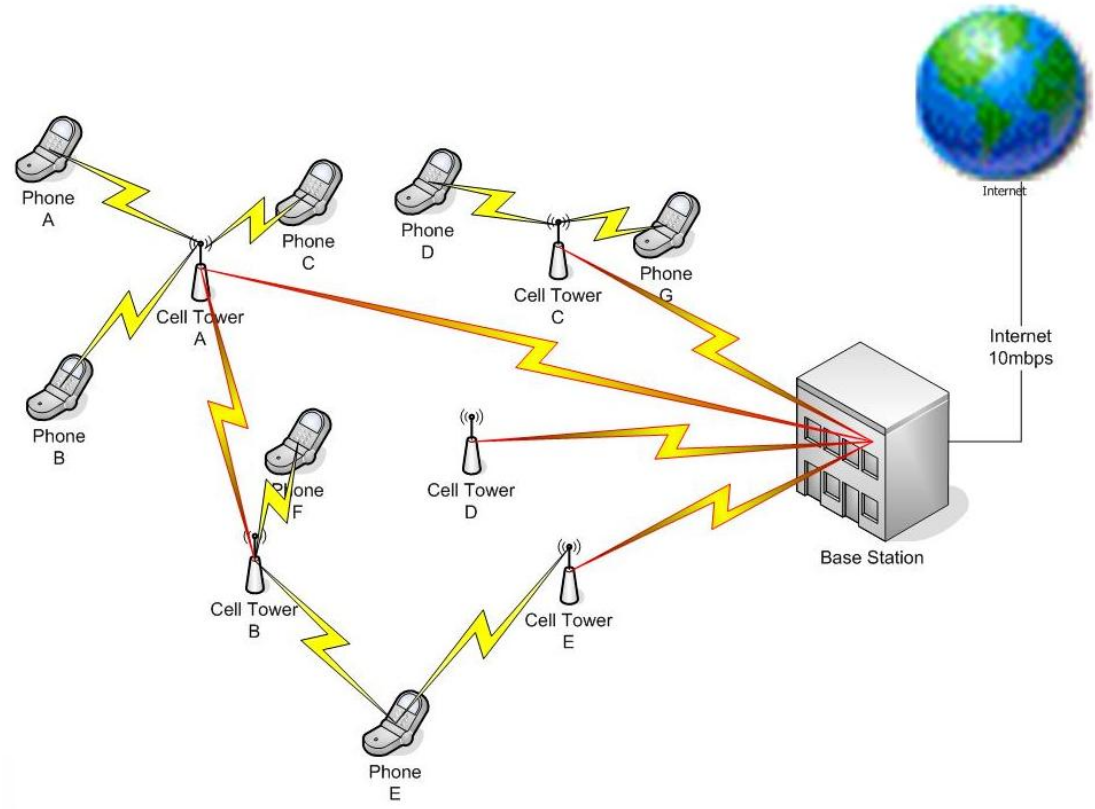

Figura 2. 7: Infraestructura de HSDPA.
Fuente: Paolini, M. (2010).

HSDPA es la interfaz de enlace descendente definido en el proyecto de asociación de la tercera generación (3GPP) de telefonía celular y es capaz de proporcionar una velocidad de datos de usuario de 14,4 Mbps en un canal de 5 MHz. La interfaz de enlace ascendente definido por 3GPP es en acceso ascendente de paquetes a alta velocidad *(High Speed Uplink Packet Access, HSUPA)* que soporta velocidades de datos hasta 5.8 Mbps.

HSDPA y HSUPA son también definidas en forma conjunta como HSPA. 3GPP también se encargó de la evolución a largo plazo *(Long Term Evolution, LTE)* que va a ser capaz de soportar una velocidad de datos máxima de 100 Mbps en el enlace descendente y 50 Mbps en el enlace ascendente.

Además de 3G y 4G, Wi-Fi es otro importante sistema que proporciona la tecnología inalámbrica de banda ancha y se ha convertido últimamente en la conectividad de banda ancha en el hogar, oficinas y zonas rurales. Los sistemas actuales de Wi-Fi se basan en los estándares 802.11a/g que soportan un rendimiento típico de 23/19 Mbps con una cobertura en interiores de unos 35 metros. Sin embargo, se realizó una nueva revisión del estándar 802.11n, compatible con una velocidad de datos de rendimiento de 54 Mbps con una cobertura de unos 70 metros utilizando antenas múltiples de multiplexación espacial.

WiMAX es un estándar muy flexible y escalable que puede adaptarse a diferentes bandas de frecuencia. La norma se rasgó en dos objetivos diferentes. Por un lado, si la frecuencia y el ancho de banda están limitados, la compatibilidad y desarrollo será más fácil. Por otro lado, la frecuencia y el ancho de banda están estandarizados en diferentes perfiles y esta flexibilidad permite el uso de esta tecnología en los países con diferente disponibilidad y reglamentos espectro.

2.6. Estándares IEEE 802.16.

Como se mencionó anteriormente WiMAX no es un estándar, es sólo una tendencia de marketing de marca registrada por WiMAX Forum para describir la tecnología basada en los estándares IEEE 802.16. El estándar WiMAX se refiere a un conjunto de capacidades que son propensos a experimentar la aplicación generalizada. En la figura 2.8 se muestra una aplicación de una red mediante los estándares IEEE 802.16.

En su corta vida, WiMAX ha evolucionado desde el mercado y la perspectiva tecnológica. La especificación original IEEE 802.16 fue proporcionar una tasa alta de datos, comunicación punto a punto y con condiciones de LOS (Línea de Vista) entre ubicaciones fijas. Esta aplicación fue creada para proporcionar un puente inalámbrico entre ubicaciones fijas dentro de la infraestructura de red. El ejemplo típico de este uso es una torre que se forma en un Backhaul Inalámbrico a una ubicación fija que se une a una red por cable más grande.

Después de su primer uso, el alcance se amplió para ofrecer apoyo directo de las redes de usuarios finales que interconectan a los usuarios finales con la infraestructura de red. WiMAX ofrece altas velocidades de datos a través de largas distancias, siendo la tecnología adecuada para resolver el problema de espacio del proveedor de servicios de Internet (ISP) en el bucle local inalámbrico donde la infraestructura cableada a menudo limita la capacidad de la conexión para los clientes.

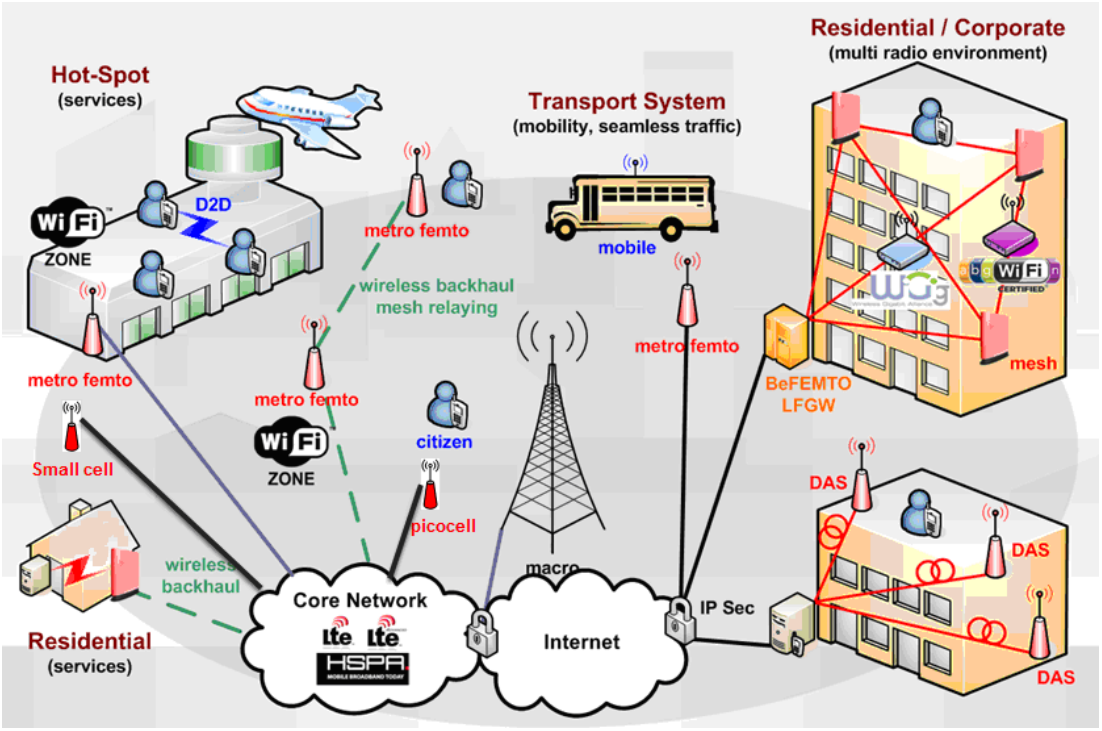

Figura 2. 8: Red de Telecomunicaciones basada en los estándares IEEE 802.16. Fuente: TTI (2012).

Esta tecnología se explica en el estándar IEEE 802.16a y en el IEEE 802.16d (o también 802.16-2004), que unificó el original 802.16a 802.16 y. Aunque ya existen otras tecnologías en el mercado para la solución de este problema de espacio, WiMAX puede ser muy exitosa en regiones sin una buena infraestructura cableada como en las regiones en vías de desarrollo o en regiones rurales de los países desarrollados.

La gran evolución del uso de WiMAX era proporcionar apoyo a la movilidad. WiMAX es la interfaz de aire para la red de interfaz de radio real, donde ambos usuarios fijos y móviles pueden tener acceso a la red. La base

de WiMAX móvil se explica en el estándar IEEE 802.16e (o 802,16 a 2.005) estándar.

En este contexto, los proveedores inalámbricos titulares existentes de Servicio (WSP) en el mercado han invertido grandes cantidades de dinero para alcanzar el nivel actual de las capacidades por lo que ahora no van a adoptar fácilmente una nueva tecnología de la entrada, pero puede ser una buena solución para un recién entrada de los PSA para ofrecer servicios inalámbricos. Sin embargo, para un nuevo WSP no sería fácil debido al alto costo del espectro (para operar en bandas con licencia), de la infraestructura y la dificultad para llegar a la economía de escala necesaria para conducir por los equipos y servicios costes al nivel competitivo.

Una de las ventajas de esta norma es la posibilidad de ofrecer servicios en las bandas de frecuencias sin licencia pero el problema es que WiMAX Forum no tiene perfiles de certificación para los sin licencia (5,8 GHz) WiMAX Mobile. Otros problemas para la expansión son la falta de una aplicación robusta para el uso del móvil y la evolución de otras tecnologías como HSDP (High Speed Download Packet Access).

La falta de una "aplicación robusta" que da la creación de redes de datos completamente móvil supone un inconveniente para el desarrollo. En el mercado, hay una demanda importante de servicios de movilidad nómadas que permite pasar de un lugar a otro sin perder la conexión a la

velocidad de los peatones. Sin embargo, no está seguro de que la conexión en movimiento a una velocidad vehicular sería un éxito para los clientes. Sería capaz de ser útil en redes militares y en algunos escenarios de transporte público como los trenes a fin de proporcionar acceso de red a los viajeros.

Las normas sólo especifican la capa física (PHY) y el control de acceso al medio (MAC) de la interfaz de aire, mientras que las capas superiores no se especifican y el núcleo de la red *(Core Network, CN)* no está especificada y tiene que ser implementado y mantenido. A continuación, se puede explicar algunas características de los diferentes estándares:

A continuación se muestran las normas más importantes:

a. IEEE 802.16 (Fijo SSS)
   - Publicado en abril de 2002
   - Topología de red: punto a punto (Point-To-Point, PTP) fijo backhaul (enlace dedicado con sólo dos nodos: BS y SS)
   - Bandas de frecuencia: 10 a 66 GHz (banda de licencia, pero es de alta frecuencia por lo que hay menos interferencias y más ancho de banda disponible)
   - Modulación: única portadora
   - Esquemas de modulación: utiliza modulación adaptativa de modo que la capa física (PHY) pueden emplear los siguientes esquemas de modulación: QPSK, 16 QAM o 64 QAM.

- Condiciones de propagación: LOS (línea de vista) es necesario en cada comunicación (ondas de radio son demasiados cortas para penetrar en los edificios).
- Canal Ancho de Banda: 25 MHz en EE.UU. y 28 MHz en Europa.
- Antenas: antenas direccionales en ambos lados.
- Duplexación: puede emplear la duplexación por división de tiempo *(Time Division Duplexing, TDD)* o duplexación por división de frecuencia *(Frequency Division Duplexing, FDD)*. TDD requiere sólo un canal que es compartida por el enlace ascendente y el enlace descendente, pero separado por diferentes ranuras de tiempo por lo que sólo es posible transmitir o recibir al mismo tiempo, es perfecto para la transmisión de datos. Sin embargo, FDD utiliza dos canales diferentes para el enlace ascendente y enlace descendente con mínimo retardo, lo que es adecuado para la comunicación de voz.
- Multiplexación: la multiplexación por división de tiempo *(Time Division Multiplexing, TDM)* para el canal de enlace descendente y el acceso múltiple por división de tiempo *(Time Division Multiple Access, TDMA)* para el canal de enlace ascendente. En TDM, los suscriptores comparten la misma banda de frecuencia, pero se asignan en diferentes intervalos de tiempo. En TDMA las ranuras se asignan sobre la base de los modos fijos o de contención.

- Velocidad de datos: alta velocidad de datos (32 a 134 Mbps con un canal de 28 MHz) utilizando antenas altamente direccionales y los altos niveles de potencia.
- Radio de la célula: entre 2 y 5 km.
- Seguridad: rudimentaria, la dependencia de la directividad de la antena para mitigar intrusiones
- Corrección de errores: Bloque Red-Solomon con código convolucional interno

b. IEEE 802.16a (SS's fijas)
   - Publicado en abril de 2003
   - Bandas de frecuencia: 2.11 GHz (sin licencia y las bandas con licencia)
   - Topología de red: punto a punto *(Point-To-Point, PTP)* fijo backhaul y dos nuevos modos: Punto a Multipunto *(Point-to-Multipoint, PMP)* y topología tipo malla. En PMP, un grupo de abonados se conectan a BS separado. Sin embargo, la topología en malla de la SS son más inteligentes y puede actuar como transmisor o receptor. Así, uno SS no tiene que conectarse sólo con los BS como en PMP, por lo que puede transmitir al próximo y, por tanto, se extiende la cobertura de la red y reduce los fallos del sistema
   - Condiciones de propagación: NLOS (sin línea de vista) porque las ondas de radio con estas frecuencias pueden penetrar en

todos los edificios. NLOS tiene peor rendimiento que LOS debido a la atenuación al pasar a través de obstáculos y más injerencia.

- Antena: antenas omnidireccionales (interior)
- Ancho de banda de canal flexible: 1.25 a 28 MHz (para algunos dispositivos es difícil de transmitir en un canal ancho de banda ancha)
- Modulación: se utiliza OFDM.
- Esquema de modulación: se utiliza la modulación adaptativa.
- Velocidad de datos: velocidad media de datos hasta 75 Mbps.
- Radio de la célula: 5 a 10 km (distancia máxima de 50 km)

c. IEEE 802.16-2004 (Fijo SSS)

- Publicado en octubre de 2004.
- Bandas de frecuencia: dos, la primera de 2 a 11 GHz y la segunda de 10 a 66 GHz.
- Unifica IEEE 802.16, 802.16a, 802.16b, y 802.16c
- Topología de red: punto fijo Point-to-(PTP) backhaul y punto a multipunto (PMP) y la topología de malla
- Modulación: proporciona tres diferentes interfaces aéreas:
  1) Wireless MAN-SC2: modulación de portadora única.
  2) Wireless MAN-OFDM: modulación OFDM con la transformada rápida de Fourier *(Fast Fourier Transform, FFT)* con acceso al canal TDMA.

3) Wireless MAN-OFDMA: OFDM se emplea con una FFT de 2048 puntos. La capa física puede emplear modulaciones ya sea: QPSK, 16 QAM o 64 QAM adaptativamente para modificas las bases de condiciones de canal.

- Condiciones de propagación: propagación LOS y NLOS.
- Ancho de banda de canal: 1.25 a 28 MHz.
- Velocidad de datos: velocidad de datos media < a 75 Mbps con canales de 20 MHz.
- Radio de la célula: 5 a 10 km (cobertura máxima de 50 km).
- Seguridad: incluye la autenticación de dos vías.
- Mejoras de MAC: soportes "multisalto" en redes de malla para permitir a retransmitir un paquete de un nodo a otro y se expanda el área de cobertura.
- Corrección de errores: FEC y solicitud de retransmisión automática (ARQ).
- Técnicas de antenas: utiliza la antena omnidireccional sectorizada en lugar de la direccional. Por lo tanto disminuir la dependencia de un señalador de antena y permite la ampliación de la zona de cobertura.

d. IEEE 802,16 a 2005 o 802.16e (SS’s fija o móvil)

En este caso, 802,16-2.005 no es un documento independiente. A veces se le llama "WiMAX móvil". Está fuertemente influenciado por el coreano estándar "Wibro" que se unifica con WiMAX en esta norma. Se basa

en 802.16-2004 e incluye mejoras muy importantes. Los más importantes son:

- Publicado en febrero de 2006.
- Banda de frecuencia: 2- 6 GHz para la movilidad.
- No es compatible con 802.16-2004 por lo que el software y hardware tienen que ser actualizados.
- Modulación: emplea OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) de acceso escalable que es muy resistente a la congestión de la red e interferencia. Con OFDM sólo un usuario puede utilizar el canal durante un intervalo de tiempo, mientras que en OFDMA múltiples usuarios pueden transmitir al mismo tiempo.
- OFDMA soporta un mayor tamaño de FFT de 1024 por lo que permite una asignación más flexible de subcanales.
- Adaptativa: señal de codificación, modulación y amplitud se asignan por separado para cada subcanal en función de las condiciones de canal.
- Estaciones Móviles aparecen y con ellos el apoyo de traspaso
- Seguridad: asegurar el intercambio de claves durante la autenticación y cifrado usando un algoritmo AES (Advanced Encryption Standard) y DES (Data Encryption Standard) durante la transferencia de datos
- Técnicas de antenas: incluye MIMO (Multiple In Multiple Out) y las mejoras y nuevas implementaciones del Sistema Adaptativo de Antenas (AAS).

- Control de errores: incluye esquemas de codificación FEC avanzados como los códigos turbo y los códigos de comprobación de paridad de baja densidad. También incluye solicitud de retransmisión híbrido automática (HARQ).
- Ancho de banda de canal: 1.25 a 20 MHz.
- Velocidades de datos: velocidad de datos media baja <15 Mbps con canales de 5 MHz.
- Número de usuarios: soporta más cantidad de usuarios que 802.16-2004.
- Radio de la célula: 2 - 5 km.
- QoS: Mejor soporte para la calidad de servicio (QoS), aparece una nueva clase de QoS.

Otras normas:

e. IEEE 802.16b (SS Fija).

- Publicado en octubre de 2002.
- Bandas de frecuencia: 6.5 GHz (aplicaciones exentas de licencia) que proporcionan QoS.
- Sustituido por 802.16-2004.

f. IEEE 802.16c (SS Fija)

- Publicado en enero de 2003.
- El objetivo era permitir mayores niveles de interoperabilidad.
- Bandas de frecuencia: 10 a 66 GHz.

- Sustituido por 802.16-2004.

g. IEEE 802.16.2-2001.

- Publicado en septiembre de 2001.
- Bandas de frecuencia: 10 a 66 GHz.
- Sustituido por 802.16-2004.

h. IEEE 802.16.2-2004.

- Publicado en marzo de 2004.
- Bandas de frecuencia: 10 a 66 GHz y 2 a 11 GHz.
- Modificación del 802.16-2004, que incluye mejoras para evitar interferencias.

i. IEEE 802.16f-2005

- Publicado en septiembre de 2005.
- Versión mejorada de 802.16-2004 que incluye Base Administrador de Información (MIB) para las capas MAC y PHY y los procedimientos de gestión.

2.7. Arquitectura del Protocolo.

De acuerdo con el modelo OSI, 802.16 cubre los dos niveles más bajos: la capa física (PHY) y una subcapa de nivel de enlace de datos que es Media-capa de control de acceso (MAC). Capa PHY proporciona una interfaz eléctrica, mecánica y de procedimiento para el medio de transmisión.

Subcapa MAC es el responsable de determinar que las estaciones de abonado (SS's) se pueden acceder a la red y se divide en tres subcapas diferentes: (a) Subcapa de convergencia (CS), (b) Subcapa de parte común (CPS), y (c) Subcapa Privacidad (PS).

La capa PHY es responsable de la transmisión y recepción de datos. Se especifica dependiendo de la banda de frecuencia, las condiciones de propagación (LOS y NLOS) y también depende del ancho de banda de canal. Es compatible con la modulación adaptativa (BPSK, QPSK, 16 QAM y 64 QAM). LLC es la subcapa superior del nivel 2 de OSI (enlace de datos) responsable de los protocolos de multiplexación transmitidos a través de MAC (durante la transmisión) y demultiplexación (cuando está recibiendo). En la figura 2.9, podemos ver las capas PHY, MAC y sus respectivas subcapas.

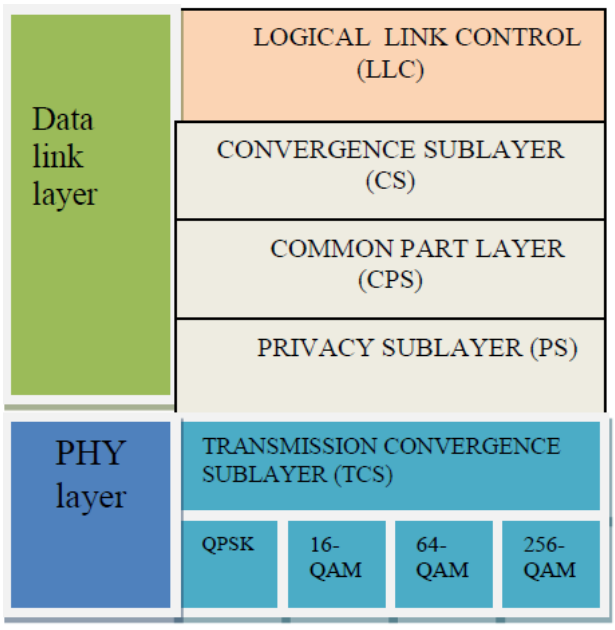

Figura 2. 9: Protocolo Pila
Fuente:

2.8. WiMAX Forum.

WiMAX Forum se formó en abril de 2001 y es una organización dedicada a certificar la interoperabilidad de los productos WiMAX. Está compuesta por más de 522 (Intel, AT & T, Samsung, Nokia, Motorola, etc.) los miembros que componen la mayoría de las empresas operadoras, componentes y equipos en el ecosistema de las telecomunicaciones.

WiMAX no es una norma, es un término registrado por WiMAX Forum para describir la tecnología basada en 802.16 y ETSI HiperMAN (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones de Alto Rendimiento de Radio MAN). El IEEE elabora las especificaciones y deja a la industria de la tarea de convertirlos en un estándar interoperable que puede ser certificada.

WiMAX Forum cuenta con ocho grupos de trabajo diferentes: aplicación, certificación, itinerancia global, de redes, de marketing, proveedores de servicios de regulación y técnicos. Por ejemplo, el Grupo de Trabajo de Certificación (GTC), es el responsable de certificar el producto en un laboratorio, el cual incluye dos pruebas diferentes:

- Las pruebas de conformidad para garantizar que los productos que implementan correctamente los 802,16 y especificaciones de HiperMAN.
- Prueba de interoperabilidad para comprobar si los productos de los vendedores trabajan correctamente dentro de la misma red

WiMAX Forum define dos tipos de perfiles para hacer frente a las diferentes clases de productos que utilizan la misma tecnología: perfiles de sistema y perfiles de certificación. Un perfil de sistema se basa en 802.16-2004 y está optimizado para el acceso fijo y nómada. Por otro lado, el segundo sistema se basa en 802.16-2005 y que está optimizado para el acceso móvil.

Los perfiles de certificación se definen por tres características: la banda del espectro, ancho de canal y el tipo de impresión a doble cara. El WiMAX Forum ha definido cinco perfiles fijos y catorce perfiles móviles. Si el producto pasa la prueba de interoperabilidad y conformidad, se va a lograr la designación "WiMAX Forum Certified".

En las tablas 2.1 y 2.2 podemos ver los diferentes perfiles de certificación WiMAX para WiMAX fijo y móvil

Tabla 2. 1: Bandas de frecuencias de redes WiMAX fijas.

Bandas de frecuencias	Ancho de banda del canal (MHz)	Duplexación
3.5 GHz	3.5	TDD
	3.5	FDD
	7	TDD
	7	FDM
5.8GHz	10	TDD

Tabla 2. 2: Bandas de frecuencias de redes WiMAX móviles.

Bandas de frecuencias	Ancho de banda del canal (MHz)	Duplexación
2.3-2.4 GHz	5	TDD
	8.75	TDD
2.305-2.320 GHz, 2.345-2.360 GHz	10	TDD
	3.5	TDD
2.496-2.69 GHz	5	TDD
3.3-3.4 GHz	10	TDD
	5	TDD
	10	TDD
	5	TDD
3.4-3.8 GHz 3.4-3.6 GHz 3.6-3.8 GHz	7	TDD
	10	TDD
	5	TDD
	7	TDD
	10	TDD

2.9. Opciones del Espectro de Frecuencias de WiMax.

El rango de frecuencias en las que WiMAX puede trabajar es bastante amplio. Sin embargo no se utilizan todas las frecuencias, los operadores suelen utilizar la licencia 2.3 GHz y 3.5 GHz y la banda de 5.725 a 5.825 GHz sin licencia, otras frecuencias dentro de la gama de frecuencias de la norma se pueden utilizar en el futuro.

Por ejemplo, debido a la actualización de la televisión analógica a la televisión digital, una gran cantidad de espectro podría estar disponible en la banda UHF por debajo de 800 MHz y que podría ser utilizado por WiMAX.

En la tabla 2.3 se pueden ver las distintas bandas de frecuencia utilizadas dependiendo de la región.

Tabla 2. 3: Bandas de frecuencias típicas de WiMAX por regiones.

Región	Bandas de Frecuencias típicas de WiMax
EUROPA	2.5, 3.5 y 5.8 GHz
EE.UU.	2.3, 2.5 y 5.8 GHz
CENTRO Y SUR AMERICA	2.3, 2.5 y 5.8 GHz
SUDESTE DE ASIA	2.3, 2.5, 3.3, 3.5 y 5.8 GHz
ORIENTE MEDIO Y ÁFRICA	3.5 y 5.8 GHz

CAPÍTULO 3: DESARROLLO DE SIMULACION Y RESULTADOS OBTENIDOS.

3.1. Simulación de Servicios Triple Play con Tecnología WiMax.

En base al trabajo de titulación realizado el semestre B del 2014 por Alexy Pincay Después de la simulación de los servicios 3Play mediante la tecnología ADSL, que ha sido considerada como la red principal de banda ancha residencial utilizado para apoyar los servicios de Triple Play en el mundo. Pero el presente trabajo de titulación, consiste en realizar la evaluación de esta red utilizando como medio de transmisión las comunicaciones inalámbricas. Este tipo de comunicación ha pasado de ser un servicio desconocido oscuro, a una tecnología ubicua que sirve casi a la mitad de las personas en la tierra.

Esta red de simulación utiliza varias características para estudiar las actuaciones de WiMax en los servicios Triple Play, se eligió la banda de 3,5 GHz en este estudio, ya que es una banda ampliamente utilizada en todo el mundo. Por otra parte, esta banda tiene licencia, de manera que interfiera está bajo control, y que permita el uso de la potencia de transmisión más alta. Además, es compatible con la condición NLOS, dando como resultado un mejor rango de cobertura que las bandas de 2.5 GHz y 5.8 GHz. WiMax no ofrece una razón de peso para cambiar de otras formas de banda ancha residencial. Cuando agrupados con un acceso a Internet de banda ancha y

VoD, WiMax Triple Play se convierte en un servicio muy atractivo para los suscriptores residenciales.

En las siguientes secciones se realizan las simulaciones de escenarios: QoS, mecanismos de seguridad y fiabilidad que se combinan en WiMax, para ofrecer un buen servicio a los abonados. Y finalmente se muestran los resultados obtenidos.

3.1.1. Topología de red para WiMax.

La topología de red tiene la misma arquitectura como la red ADSL tratada por Pincay, A. (2015). En la figura 3.1 se muestra la arquitectura de WiMax para el servicio triple play

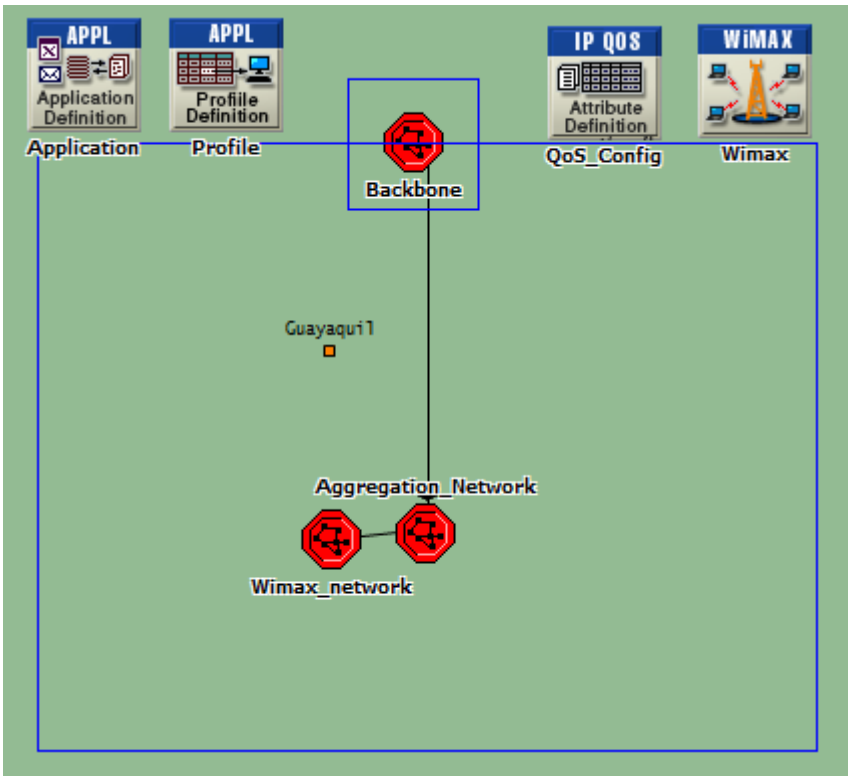

Figura 3. 1: Topología de la Red Triple Play sobre WiMax.
Elaborado por: Autor.

En primer lugar la subred "Backbone" (véase la figura 3.2) se definen de fuentes de VoD, servidores de datos (PC_server) y de voz (VoIP). El router DSR se utiliza en el modo unicast (unidifusión) para el tráfico de unicast (VoIP, Internet & VoD) que entrega a la BRAS en la subred de agregación. También, en esta subred el switch PPP se utiliza para el modelo de red VLAN.

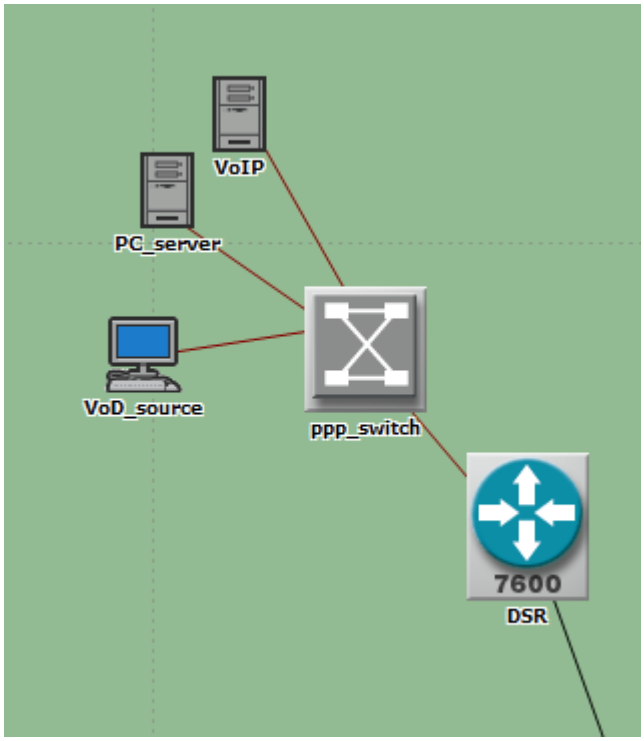

Figura 3. 2: Subred Backbone dentro de la topología de red WiMax.
Elaborado por: Autor.

En segundo lugar la subred "Aggregation_Network" recibe todo el tráfico de la subred Backbone utilizando el receptor PPP_SONET_OC24 con una velocidad de datos de 1.244,16 Mbps. Entonces, el tráfico se enviará al router CO (Central_Office) usando el mismo enlace. Finalmente, se entrega a la red de acceso a través de un enlace de 45 Mbps en un lado de cliente (véase la figura 3.3).

Finalmente la subred “WiMax_Network”, en esta subred la BS y SS son cambiadas de escenario a otro, dependiendo de lo que se necesita para ser examinado, y que se discutirá más adelante.

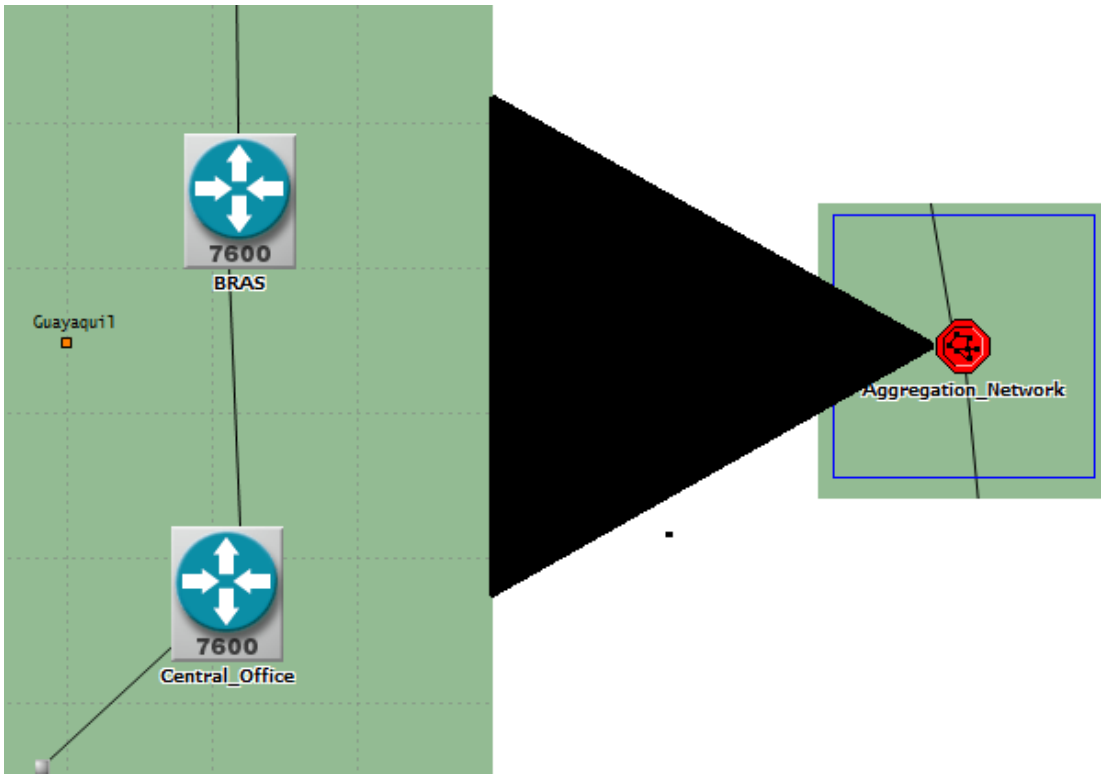

Figura 3. 3: Subred “Aggregation_Network” dentro de la topología de red WiMax.
Elaborado por: Autor.

3.1.2. Gestión de QoS en los escenarios de simulación de la red WiMax.

En concreto, en todos los escenarios de simulación considerados a lo largo de este capítulo, un segmento WiMax se incluye dentro de una red IP utilizando el protocolo DiffServ para la gestión de QoS. Para una transferencia de QoS adecuada entre el DiffServ y el dominio WiMax, es necesario mapear las clases de tráfico definidas por DiffServ sobre el apropiado servicio de programación MAC IEEE 802.16. Hay cuatro tipos de planificador: UGS, RTP, nrtPS y BE.

Los recursos de ancho de banda disponibles se asignan primero a la UGS, entonces rtPS, seguido del flujo nrtPS. Por último, los recursos restantes se asignan a los flujos de la BE. Sobre la base de las diferentes características de las clases de tráfico, se propone la asignación de tráfico que se muestra en la tabla 3.1. Sin embargo, es necesario mencionar que esta clasificación podría ser adaptada a las necesidades de otros escenarios, así como perfiles de tráfico y otras aplicaciones en la red WiMax.

Tabla 3. 1: Asignación del tráfico en la red WiMax.

Tráfico	DiffServ PHB	Servicio WiMax	Ejemplo de Aplicación
En tiempo real, altamente intolerantes al retardo y fluctuación (jitter). Tamaño de paquete y velocidad fijo.	EF	UGS, ertPS	VoIP
En tiempo real, altamente intolerantes al retardo y fluctuación (jitter). Tamaño del paquete y velocidad variable.	EF	UGS	Video Conferencia
Sin restricciones en tiempo real, alto ancho de banda, medianamente tolerante a retardo, altamente tolerante a la fluctuación (jitter).	AF43	rtPS	Video-on-Demand (HD, SD)
Sin restricciones de tiempo real, ancho de banda medio, medianamente tolerante a retardo, altamente tolerante a la fluctuación (jitter).	AF33	rtPS	Vídeo Transmitido En Vivo
No hay restricciones de tiempo real, alta tolerancia tanto para pérdidas y retrasos.	AF31	nrtPS	FTP
No hay restricciones en tiempo real, pequeño ancho de banda, medianamente tolerante a retardo, altamente tolerante a la fluctuación (jitter), y medianamente tolerante a pérdidas.	SER	SER	Correo electrónico, navegación web HTTP

Elaborado por: Autor.

3.1.3. Configuración de las capas MAC y PHY de WiMax.

En esta sección, las capas MAC y PHY son parámetros del sistema y están diseñados para reflejar un despliegue práctico de WiMax, que maximice el tráfico de video, voz y contenido de los datos. A diferencia de otros estándares inalámbricos, incluyendo Wi-Fi (IEEE 802.11) que utilizan una capa MAC sin conexión, WiMax ha adoptado la capa MAC orientado a la conexión que proporciona la asignación de recursos centralizados similares a DOCSIS v1.1 en muchos aspectos.

Las clases de servicio de WiMax capturan los requerimientos de QoS de los flujos de servicios, donde los flujos de servicios representan flujos de tráfico entre la estación base (BS) y estaciones de abonado (SS). El flujo de servicio de la BS a la SS se denomina flujos de enlace descendentes, mientras que el flujo de servicio de la SS a la BS se denomina flujos de enlace ascendentes.

Para una clase de servicio dado, los principales parámetros son la tasa mínima de datos sostenible (mínimo garantizado sobre el aire (Over The Air, OTA)) y del tipo de programación de control de acceso al medio (Media Access Control, MAC), que permite a WiMax proporcionar capacidades de calidad de servicio, soportando así las retenciones de tráfico sensible tal como los servicios de voz y video. Como ya se mencionó, hay cinco programadores disponibles.

En este estudio, cuatro clases de servicio se crean para el enlace descendente, que se consigue utilizando en primer lugar “Gold-DL”, que se configura con la programación UGS, a una mínima velocidad de datos sostenible de 96kbps y una máxima velocidad de datos sostenible de 96Kbps para los servicios de voz.

A continuación, se utiliza Silver_DL que se configura con la programación rtPS, para una mínima velocidad de datos sostenible de 1 Mbps y una máxima velocidad de datos sostenible de 5 Mbps para servicios de VoD.

A continuación, Bronce-DL se configura con la programación nrtPS, por una tasa de datos mínima sostenible de 96 Kbps y una tasa de datos máxima de 384 Kbps para servicios FTP. Finalmente, Platinum-DL, se configura con programación BE, para una tasa de datos mínima sostenible de 96 kbps y una tasa de datos máxima sostenible de 384 Kbps para los servicios HTTP.

Otras, cuatro clases de servicio se crearon para enlaces ascendentes, se consiguen utilizando primero Gold-UP, que se configura con la programación UGS, 96 Kbps para una velocidad de datos mínima sostenible y 96 Kbps para una velocidad de datos máxima sostenible para los servicios de voz.

A continuación, se utiliza Silver-UP, que se configura con la programación rtPS, 1 Mbps para una mínima velocidad de datos sostenible y 0.5 Mbps para una máxima velocidad de datos sostenible para los servicios de VoD. A continuación, Bronce-UP, que se configura con programación nrtPS, 96 Kbps para una mínima velocidad de datos sostenible y 200 Kbps para una máxima velocidad de datos sostenible para servicios FTP. Por último, Platino-DL, se configura con la programación BE, 96 Kbps para una mínima velocidad de datos sostenible y 200 Kbps para una velocidad máxima de datos sostenible para los servicios HTTP.

En la figura 3.4 se muestra la configuración de clase de servicio de la capa MAC de WiMax, utilizado para este modelo de simulación. La derivación AMC también se configura en los nodos de configuración WiMax, que se explica en la siguiente sección. La figura 3.5 presenta la configuración del perfil PHY OFDM para un ancho de banda de canal diferente.

Cabe señalar que la estructura de trama para un ancho de banda de canal dado se varía de acuerdo con el diseño. Además, duración de la trama de 5 ms se utiliza con una frecuencia base de 3,5 GHz para todo el ancho de banda de canal 20, 10 y 5 MHz.

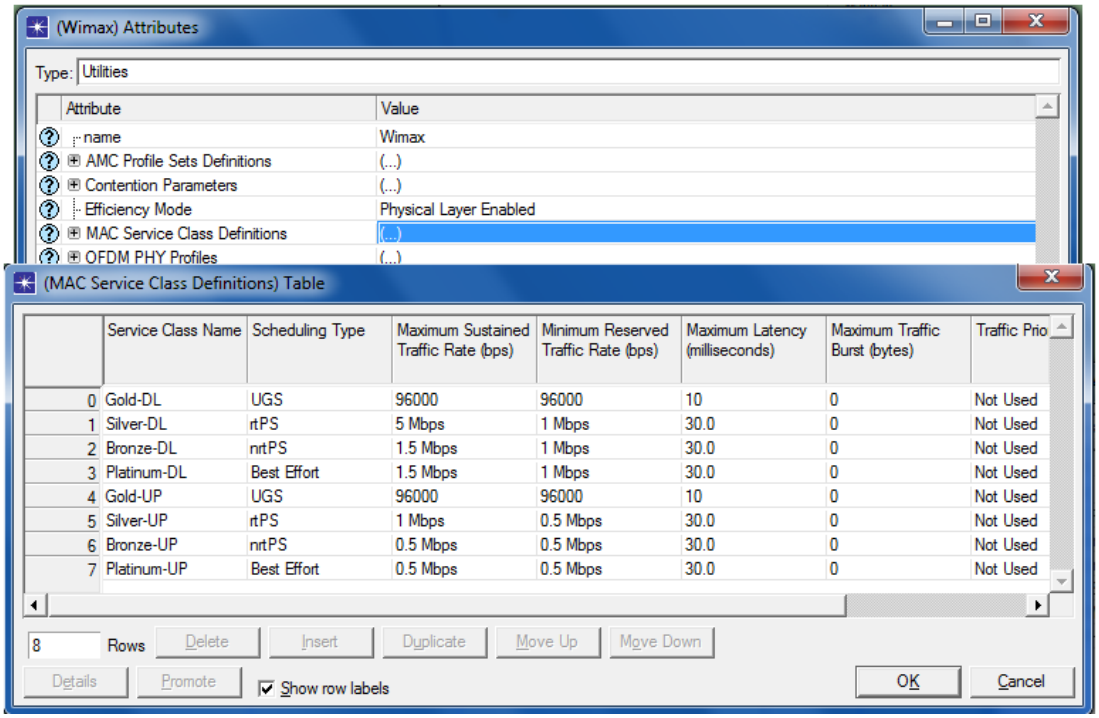

Figura 3. 4: Configuración de clase de servicio MAC.
Elaborado por: Autor.

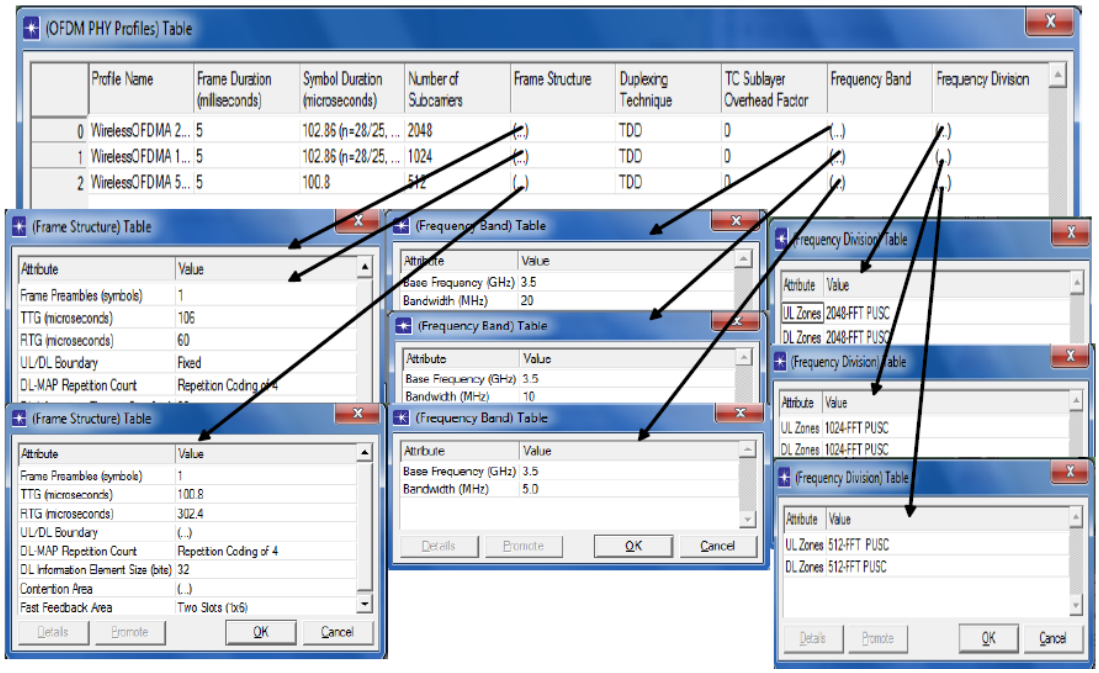

Figura 3. 5: Configuraciones de la capa PHY de OFDMA.
Elaborado por: Autor.

3.1.4. Configuración de las estaciones base de WiMax.

En esta sección se describe la configuración utilizada en la BS de WiMax para todos los escenarios. Un solo sector del nodo BS modelo, se utiliza para modelar toda las BS con una ganancia en la antena de 15dBi, y una potencia máxima de transmisión de 20W. La BS, entonces es configurada para mapear el mayor nivel de tráfico de la aplicación Triple Play para una clase de servicio (configurado en el apartado anterior) mediante el establecimiento de clase de servicio para "Gold-DL", si el tipo de servicio (DCSP) del parámetro coincide con el "EF", "Silver-DL" si el tipo de servicio (DCSP) del parámetro coincide con el “AF43”, “Bronce-DL" si el tipo de servicio (DSCP) del parámetro coincide con el "AF13”, y “Platino-DL" si (DSCP) coincide con el "SER.

La figura 3.6 muestra la configuración de mapeo de clase de servicio en la estación base. Una operación similar también se realiza en la SS en la siguiente sección.

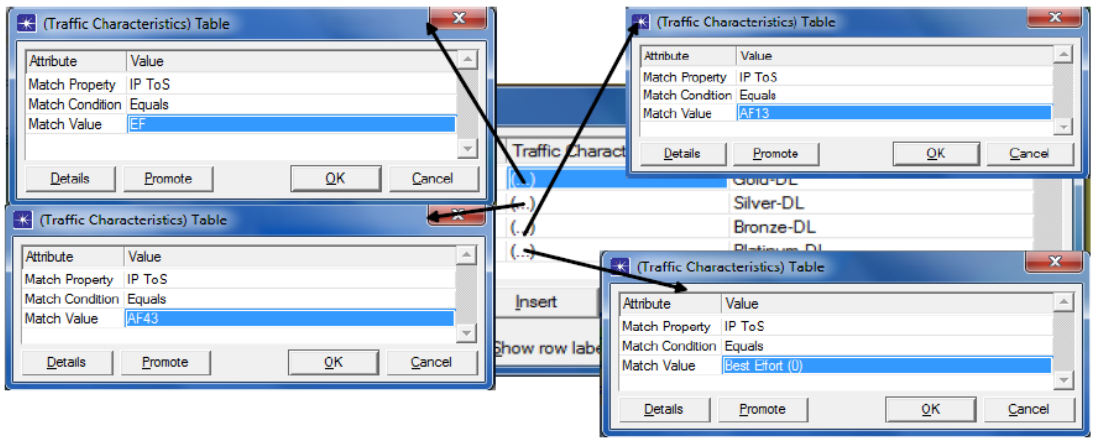

Figura 3. 6: Mapeo de clase de servicio DL
Elaborado por: Autor.

3.1.5. Configuración de las estaciones de abonado de WiMax.

En esta sección se describe la configuración de las estaciones de abonado (SS). En primer lugar, cada SS se configura la antena con una ganancia de 14 dBi y potencia máxima de transmisión de 0,5 W. Entonces la SS está configurada para asignar el nivel más alto de aplicación de Triple Play para las clases de servicio "Gold-UL", "Silver-UL", "Bronze-UL" y "Platinum-UL" en una forma similar a la BS que se realizó en la sección anterior. En la figura 3.7 se muestra la configuración de la SS.

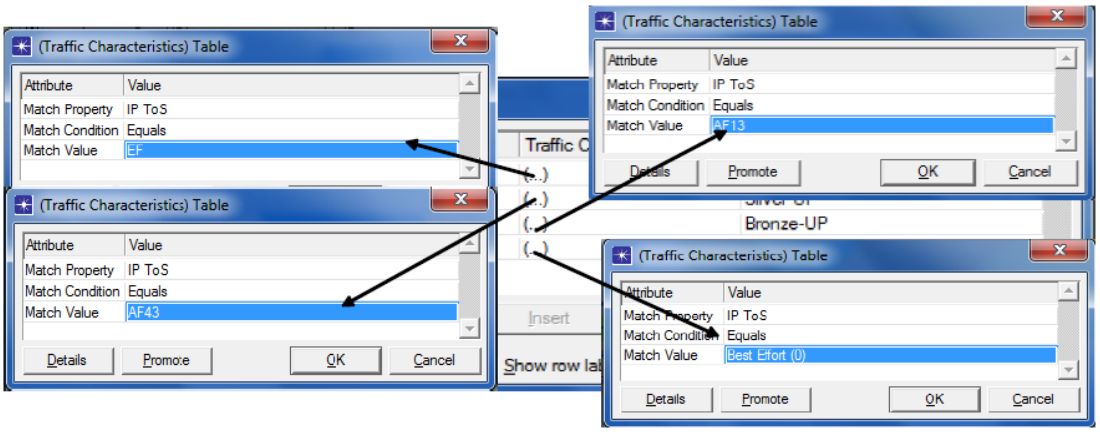

Figura 3. 7: Mapeo de la clase de servicio UL.
Elaborado por: Autor.

En este modelo, se asume que el canal UL tiene propiedades similares a las del canal DL, por lo que el mismo esquema de modulación y codificación están configurados en la UL y los flujos de servicio DL. Las SS de WiMax se configuran de forma manual con esquemas de modulación/codificación más robustos y una mayor distancia de la estación base. El DL y UL para todo flujo de servicio se configura para 2 km, 4 km y 6 km tal como se muestran en las figuras 3.8, 3.9 y 3.10, respectivamente.

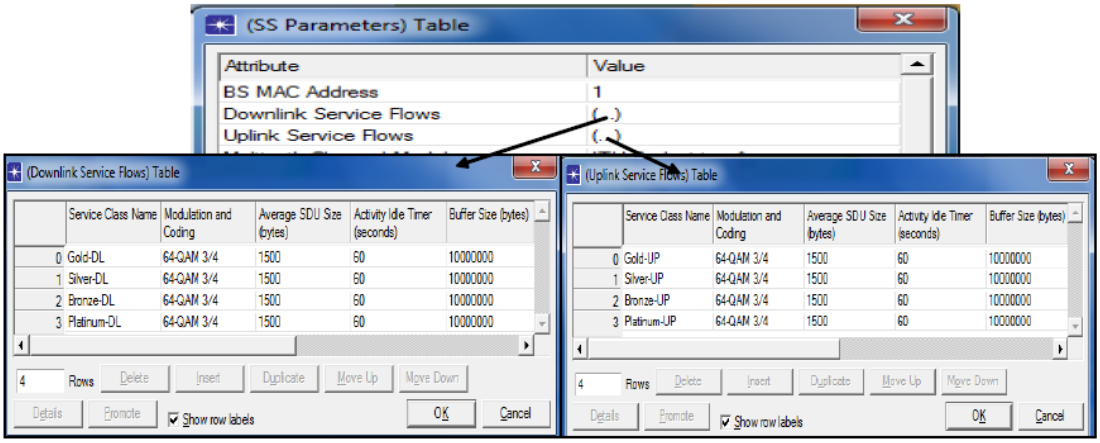

Figura 3. 8: Configuración DL y UL para todo el flujo de servicio en 2 kilómetros.
Elaborado por: Autor.

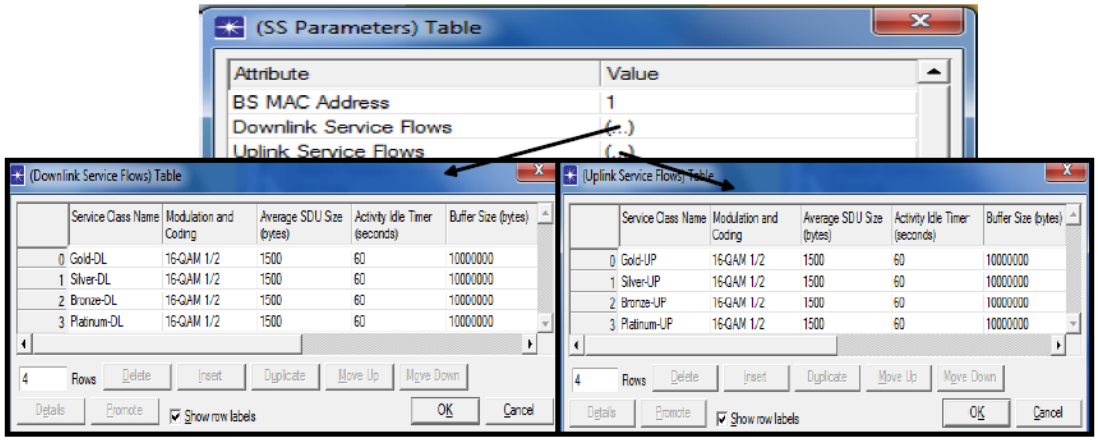

Figura 3. 9: Configuración DL y UL para todo el flujo de servicio en 4 kilómetros.
Elaborado por: Autor.

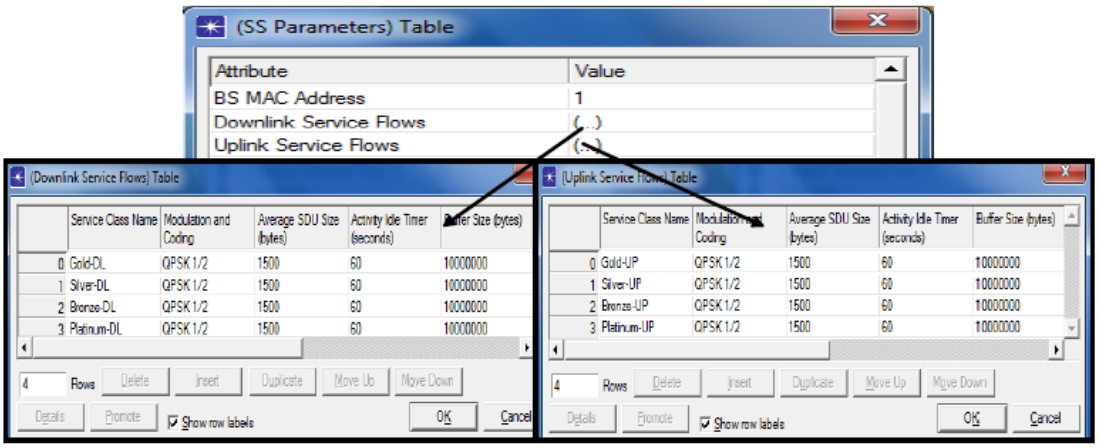

Figura 3. 10: Configurado DL y UL para todo el flujo de servicio en 6 kilómetros.
Elaborado por: Autor.

3.1.6. Escenarios de simulación para WiMax

La simulación de los escenarios son analizados individualmente. Los tipos de aplicación, la configuración del perfil y los diferentes parámetros se configuran en la topología de la red que ha sido, derivado y explicado en los incisos anteriores. En estos supuestos, el comportamiento de los diversos modelos de propagación en la red WiMax con frecuencia de 3,5GHz tiene una relación con la pérdida de propagación, retardo de paquetes extremo a extremo, variación del retardo (Jitter), tiempo de respuesta de descarga FTP y la respuesta de páginas HTTP es estudiada como diversas aplicaciones Triple Play.

Cabe señalar que el programa OPNET Modeler ofrece tres sistemas de coordenadas diferentes para modelar distancias de nodo y las longitudes correspondientes de cableado y trayectoria inalámbricas. En estos modelos de simulación, se adoptó el sistema geocéntrico de coordenadas mediante el uso de latitud y longitud. El uso de herramientas de acceso público como el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), la información de posición se deriva basado en las distancias de diseño seleccionados para las tres estaciones de abonado WiMax con respecto a la estación base. Las especificaciones de los componentes del modelo en cada escenario se muestran en la tabla 3.2. En general, cada escenario consta de N nodos SS y una BS para cubrir el área geográfica representada. El resultado y el análisis se expresan en la sección 3.2, los ajustes principales y los parámetros de estos escenarios se presentan a continuación:

1. Tiempo de simulación: el tiempo de simulación se establece en 1000 segundos.
2. Modo de Eficiencia: la capa física enable.
3. Ancho de banda: está comprendida entre 5 y 20 MHz (dependiendo del escenario).
4. Frecuencia base: 3.5 GHz.
5. Definición de clase de servicio MAC: véase la figura 3.4.
6. Perfiles de la capa PHY de OFDMA: véase la figura 3.5.
7. Configuración de BS: como se muestra en la sección 3.1.4.
8. Configuración de SS: como se muestra en la sección 3.1.5.

Tabla 3. 2: Escenarios de simulación para la topología de red WiMax.

#	Scenario Name	Saved	Results	Sim Duration	Time Units
1	2Km_4Km_6Km with _20MHz	saved	out of date	1,000	second(s)
2	2Km_4Km_6Km with _10MHz	saved	out of date	1,000	second(s)
3	2Km_4Km_6Km with _5MHz	saved	out of date	1,000	second(s)
4	Pathloss Wimax at 2Km	saved	out of date	1,000	second(s)
5	Pathloss Wimax at 4Km	saved	out of date	1,000	second(s)
6	Pathloss Wimax at 6Km	saved	out of date	1,000	second(s)
7	Pathloss and Multipath Wimax at 2Km	saved	out of date	1,000	second(s)
8	Pathloss and Multipath Wimax at 4Km	saved	out of date	1,000	second(s)
9	Pathloss and Multipath Wimax at 6Km	saved	up to date	1,000	second(s)

Elaborado por: Autor.

En los escenarios # 1, 2, 3: la figura 3.11 muestra la disposición de los objetos en estos escenarios. Estos escenarios contienen una BS sirviendo a tres SS ubicadas a 2, 4, y 6 km de la estación base de WiMax, ya que el objetivo de estos escenarios es examinar el efecto de un ancho de banda de canal diferente para una frecuencia base de 3.5 GHz con diferentes distancias que incorporan parámetros tanto de modulación y codificación.

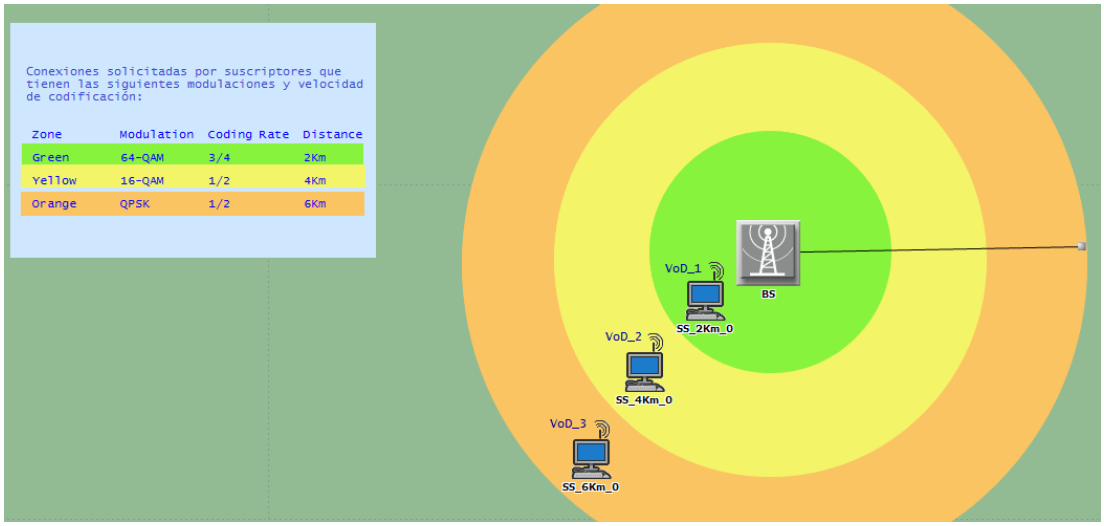

Figura 3. 11: La disposición de los objetos en el escenario # 1, 2, 3.
Elaborado por: Autor

En los escenarios # 4, 5, 6: El objetivo de estos escenarios es presentar los resultados experimentales de la pérdida de propagación de radio y la distancia para diferentes entornos. En la figura 3.12 se muestran estos escenarios, que contiene una BS y cinco abonados.

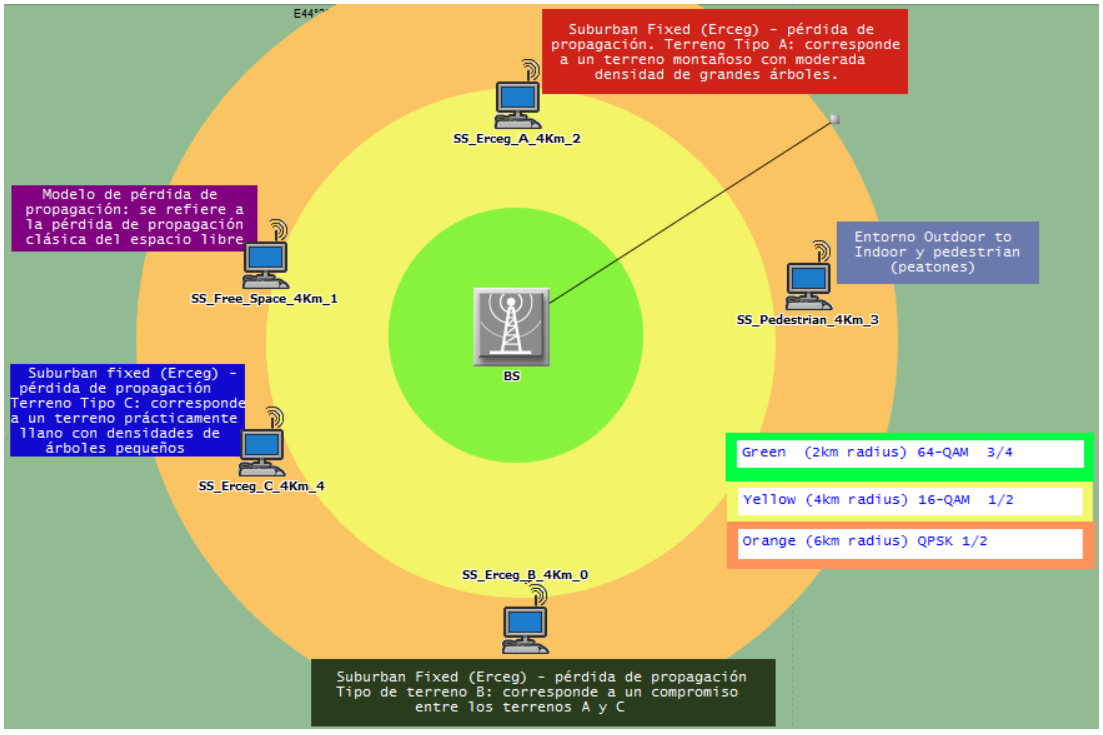

Figura 3. 12: La disposición de los objetos en el escenario # 4, 5, 6.
Elaborado por: Autor

La primer SS se puede colocar dentro de un edificio (Outdoor to Indoor y peatones), la segunda SS está permanentemente en el espacio libre, la tercera SS permanentemente en áreas suburbanas (Terreno Tipo A) correspondiente a un terreno montañoso con moderada densidad de árboles grandes, la cuarta SS permanentemente en áreas suburbanas (Terreno Tipo C) corresponde a un terreno predominantemente llano, con densidades de árboles pequeños y la quinta SS permanentemente en áreas suburbanas (Terreno Tipo B) corresponde a un acuerdo entre los terrenos A y C.

En la tabla 3.3 se muestran algunos parámetros que se pueden cambiar de un escenario a otro, como mostrar la posición de la SS, mostrar la pérdida de propagación que aumenta con la distancia de la BS. La sombra de desvanecimiento (por default es la desviación estándar) se utiliza y se representa el valor predeterminado de OPNET para cada entorno.

Tabla 3. 3: Parámetros de la SS.

Nombre de usuario	**Modelo de la pérdida de propagación**	**Tipo de Terreno**	**Sombra de desvanecimiento (dB)**	**Posición**
SS_Free_Space	Free space	**-**	inhabilitar	2 km, 4 km y 6 km
SS_Erceg_A	Suburban Fixed (Erceg)	A	10.6	2 km, 4 km y 6 km
SS_Erceg_B	Suburban Fixed (Erceg)	B	9.6	2 km, 4 km y 6 km
SS_Erceg_C	Suburban Fixed (Erceg**)**	C	8.2	2 km, 4 km y 6 km
SS_Pedstrain	Outdoor to Indoor	A	10	2 km, 4 km y 6 km

Elaborado por: Autor

Los escenarios # 7, 8, 9: El objetivo de estos escenarios es investigar el efecto combinado del terreno y el modelo de canal multitrayecto (ITU Pedestrian_A) en los servicios de Triple Play. En estos escenarios las 5 SS's se utilizan en el rango de la BS como se muestra en la figura 3.13. Los terrenos son simulados mediante la elección del tipo de terreno C que se selecciona en OPNET Modeler, basada en la posición o distancia de la BS (2 km, 4 km y 6 km) y el terreno circundante del emisor-receptor.

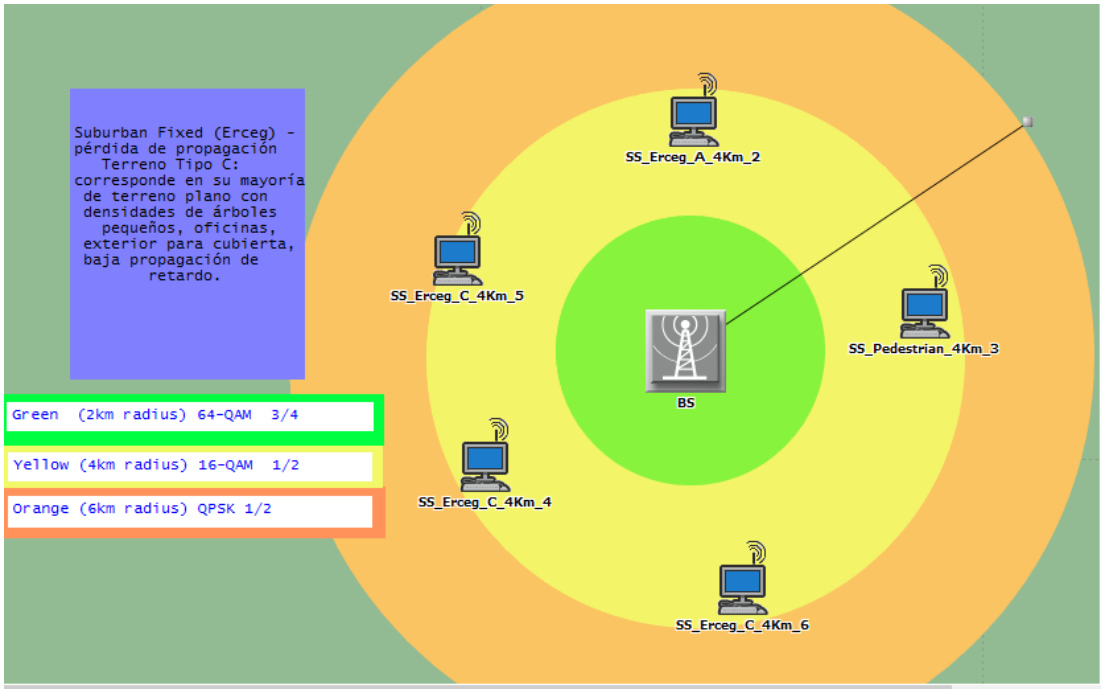

Figura 3. 13: La disposición de los objetos en el escenario # 7, 8, 9.
Elaborado por: Autor

En resumen, una visión general de la red de escenarios de simulación de configuración "red Triple Play sobre WiMax" se representa en la figura 3.14.

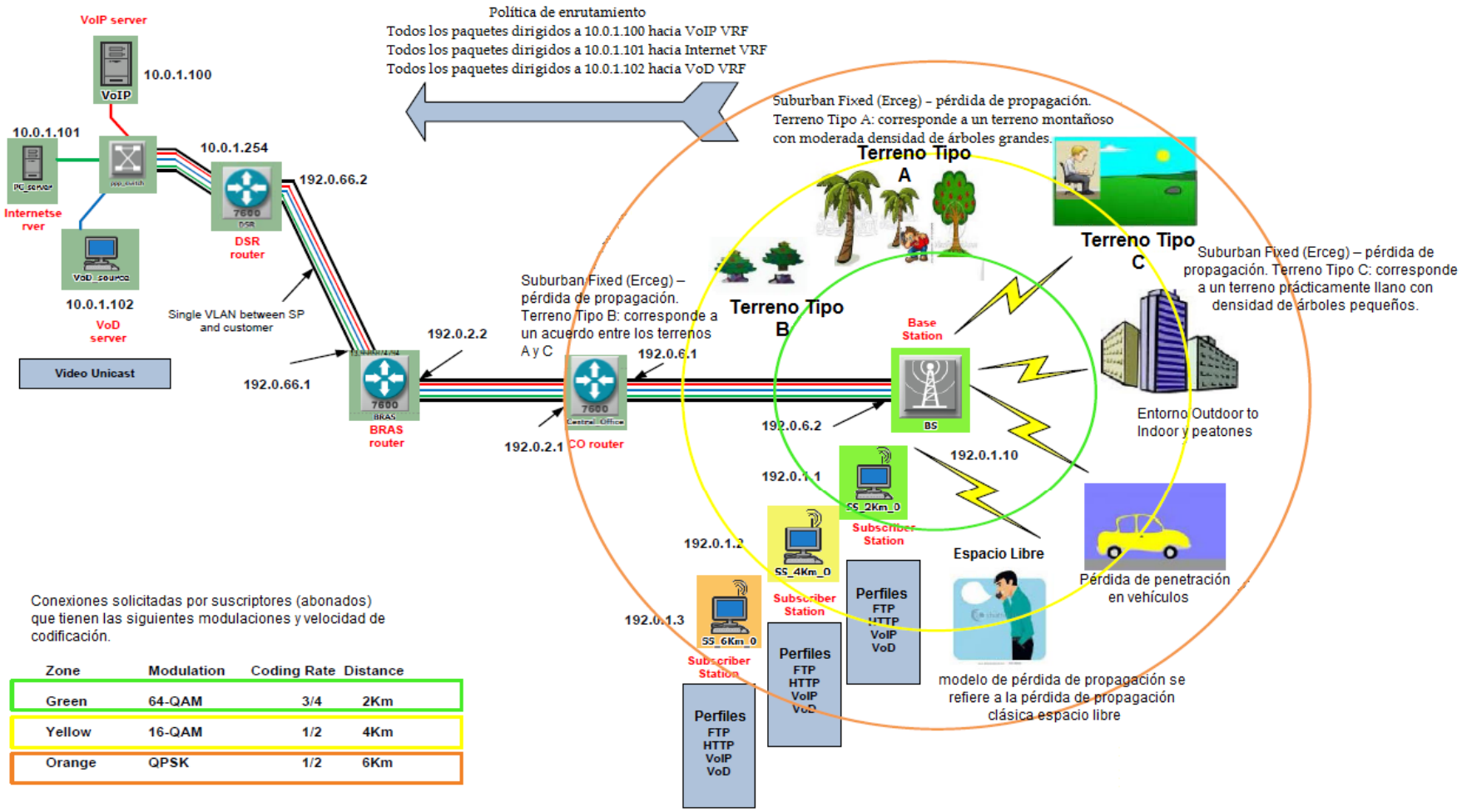

Figura 3. 14: Arquitectura de red de los escenarios considerados para Triple-Play sobre WiMax.
Elaborado por: Autor

3.2. Resultados obtenidos de los escenarios de simulación para el servicio Triple Play sobre la red WiMax.

El proceso de simulación se divide en 9 escenarios (véase la tabla 3.2). Los resultados de cada escenario se explican a continuación.

a. Escenarios # 1, 2, 3: En el escenario # 1, tenemos que el ancho de banda es 20 MHz y la frecuencia a 3.5 GHz, el sistema se prueba a 6 km, 4 km y 2 km. El paquete de retardo y variación de retardo (Jitter) son las primeras mediciones de rendimiento que se utiliza para cuantificar los servicios de vídeo para las tres estaciones de WiMax, tal como se muestra en las figuras 3.15 y 3.16.

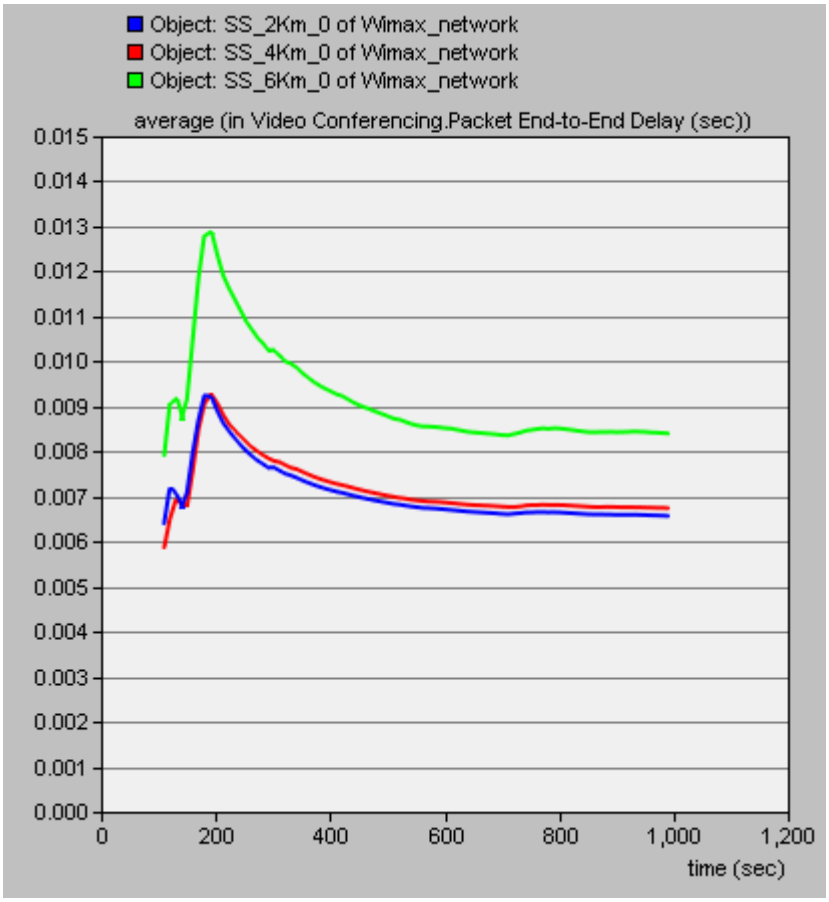

Figura 3. 15: SS – retardo de paquetes de vídeo para BW=20 MHz.
Elaborado por: Autor

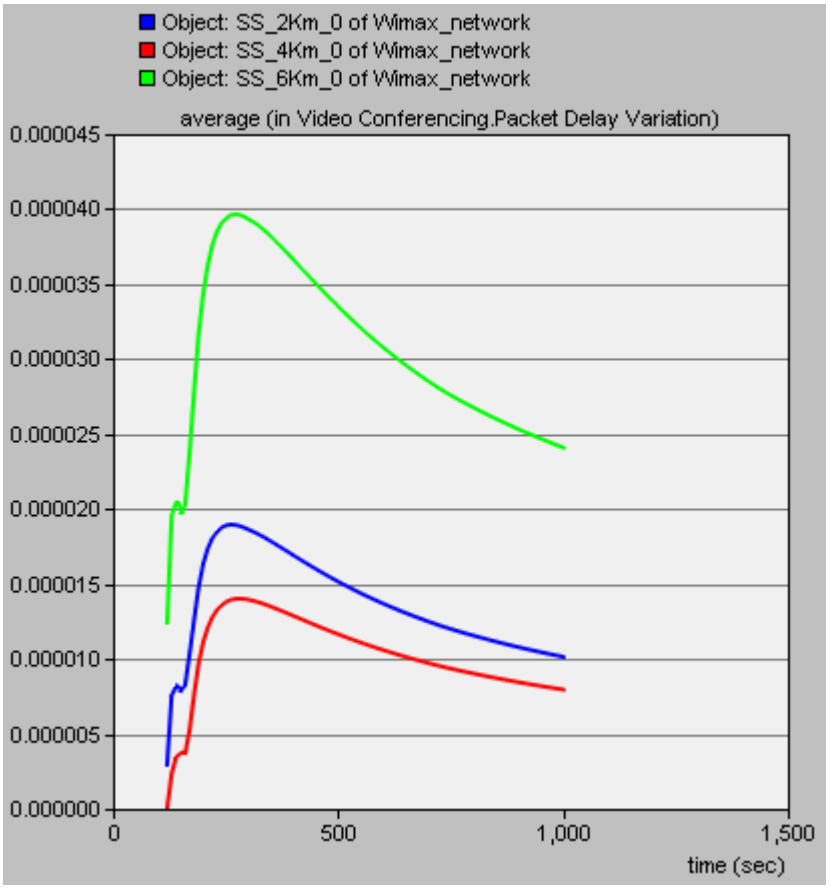

Figura 3. 16: SS – variación de retardo de vídeo para BW= 20 MHz.
Elaborado por: Autor

Las siguientes mediciones de rendimiento, retardo de paquetes de extremo a extremo, la variación de retardo (Jitter), tiempo de respuesta de descargas FTP (Protocolo de transferencia de archivo) y el tiempo de respuesta de páginas HTTP (Protocolo de transferencia de hipertexto) son utilizados para cuantificar los servicios de transmisión de contenido Triple Play a través de una red WiMax para los escenarios # 1, 2, 3. Se puede observar que estos 3 escenarios se han simulado con éxito, utilizando una configuración de 5 ms de duración de tramas y una frecuencia de 3.5 GHz sin considerar MIMO ni retransmisiones.

Se realiza una comparación entre canales de ancho de banda de 5 MHz y 10 MHz, para las distancias sugeridas. Los resultados han sido recogidos y resumidos en la tabla 3.4. La fila resaltada de color rojo indica el escenario de más bajo desempeño para un canal de ancho de banda dado, mientras que la fila de color naranja destaca la especificación requerida correspondiente al escenario estándar de desempeño requerido para un canal de ancho de banda dado. Las filas resaltadas de color amarillo y verde indican el próximo caso del sistema para el desempeño de escenarios para determinados anchos de banda.

Tabla 3. 4: Las relaciones entre los diferentes canales y las distancias de 3,5 GHz de frecuencia

frequency (MHz)	coding and modulation	distance (Km)	channel bandwidth (MHz)	Services					
				VIDEO (msec)		VOICE (msec)		FTP (sec)	HTTP (sec)
				packet delay	Jitter	packet delay	Jitter	downloads response time	page response time
3500	64-QAM 3/4	2	5	872.984	58.5343	62.8553	3.27E-02	81.8385	15.2234
			10	278.472	11.6143	46.6126	1.81E-04	82.7951	17.6493
			20	35.1503	3.51E-01	4.58E+01	8.51E-06	58.1143	12.25
	16-QAM 1/2	4	5	934.588	72.3575	64.2455	2.59E-02	N/A	15.5451
			10	239.749	8.72437	46.8753	5.66E-04	57.5225	4.50959
			20	46.248	1.12E+00	4.58E+01	1.68E-04	46.1125	3.40472
	QPSK 1/2	6	5	991.453	79.5061	N/A	N/A	N/A	11.0449
			10	246.856	8.15633	51.7974	1.66E-04	N/A	5.35388
			20	59.2916	1.14E+00	45.754	9.81E-06	50.0823	4.90405

Elaborado por: Autor

b. Escenarios # 4, 5, 6: estos escenarios, se analizan cinco modelos diferentes para la pérdida de propagación que ha sido propuesto con anterioridad a la frecuencia de funcionamiento de 3.5 GHz. El modelo de pérdida de propagación se mide a diferentes distancias de 2 km, 4 km y 6 km. Los diferentes modelos para la evaluación

de la pérdida de propagación, se calculan utilizando las siguientes ecuaciones:

- La ecuación de la pérdida de propagación en el espacio libre en decibelios es:

$$PL\ dB\ = 20\log\ R\ + 20\log f\ MHz\ + 32.44$$

Donde R (km), representa la distancia entre el transmisor y el receptor y *f* representa la frecuencia de portadora en MHz.

- El modelo de pérdida de propagación para entornos de pruebas en exteriores e interiores (Outdoor to Indoor) y peatonales se calcula de siguiente manera:

$$PL\ dB\ = 40\log\ R\ + 30\log\ f\ + X\acute{o} + 49$$

Donde R (km) representa la distancia entre el transmisor y el receptor, f representa la frecuencia de portadora en MHz y $X\acute{o}$ es una variable de distribución normal.

- Los modelos de pérdidas de propagación Erceg, se clasifican en tres categorías (categoría A, la categoría B y Categoría C) que se calculan mediante la siguiente ecuación [70]:

$$PL\,modificado\ =\ PL\ +\ \Delta PL_f\ +\ \Delta PL_h$$

Cuando, PL es la pérdida de propagación dado anteriormente, ΔPL_f es el término de frecuencia, y ΔPL_h es el término de corrección de la altura de la antena de recepción para antenas determinadas, tal como sigue:

$$\Delta PL_f = 6log10\,(f/2000)$$

$$\Delta PLh = \begin{cases} -10.8\log_{10}\dfrac{h}{2} & para\ las\ categorías\ A\ y\ B \\ -20\log_{10}\dfrac{h}{2} & para\ la\ categoría\ C \end{cases}$$

Los resultados medidos y calculados se muestran en las figuras 3.17, 3.18 y 3.19. Además, en la tabla 3.2 se representa la relación entre la pérdida de propagación a diferentes distancias.

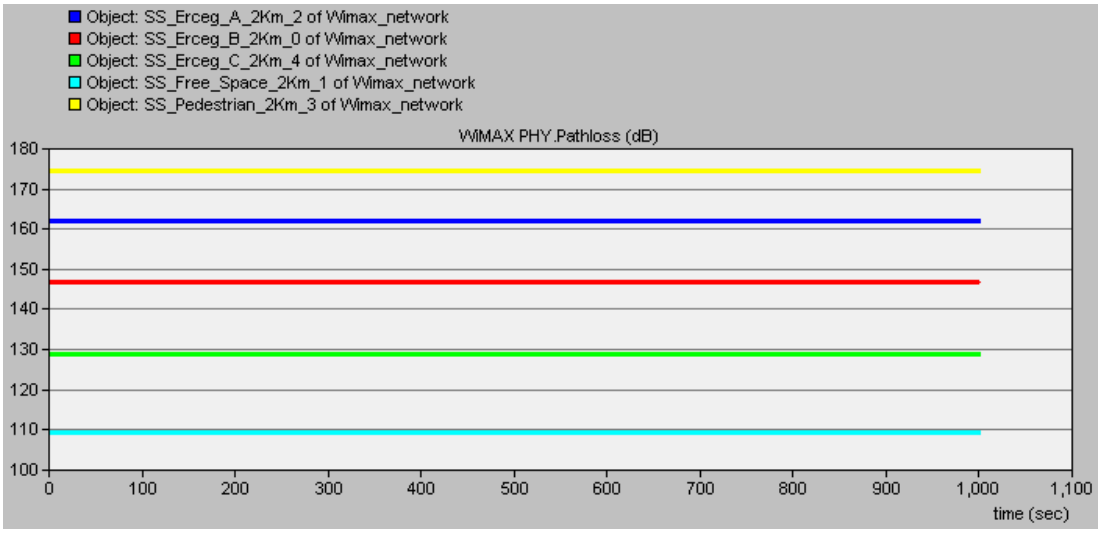

Figura 3. 17: Pérdida de propagación para frecuencia de 3.5 GHz y 2 km de distancia.
Elaborado por: Autor

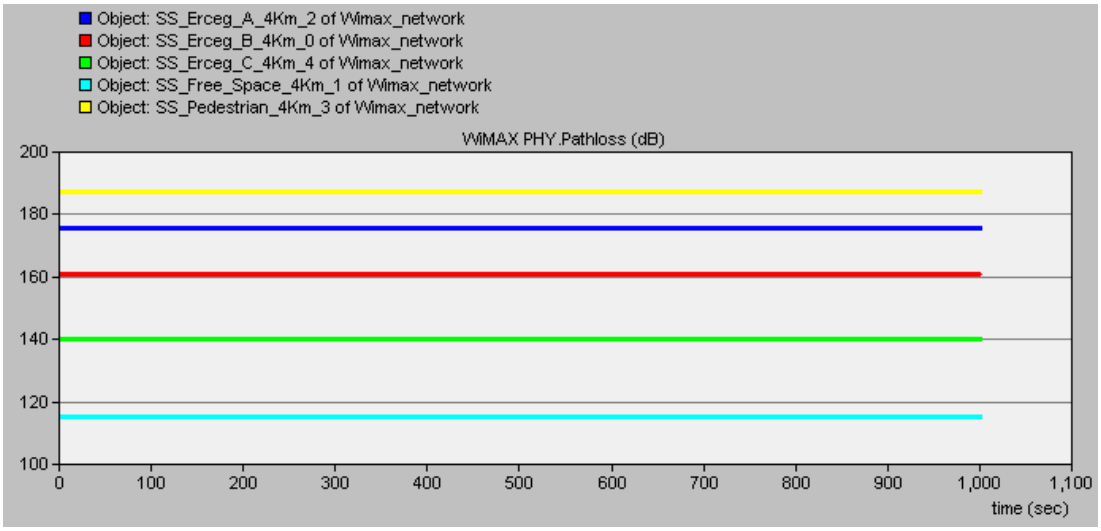

Figura 3. 18: Pérdida de propagación para frecuencia de 3.5 GHz y 4 km de distancia.
Elaborado por: Autor

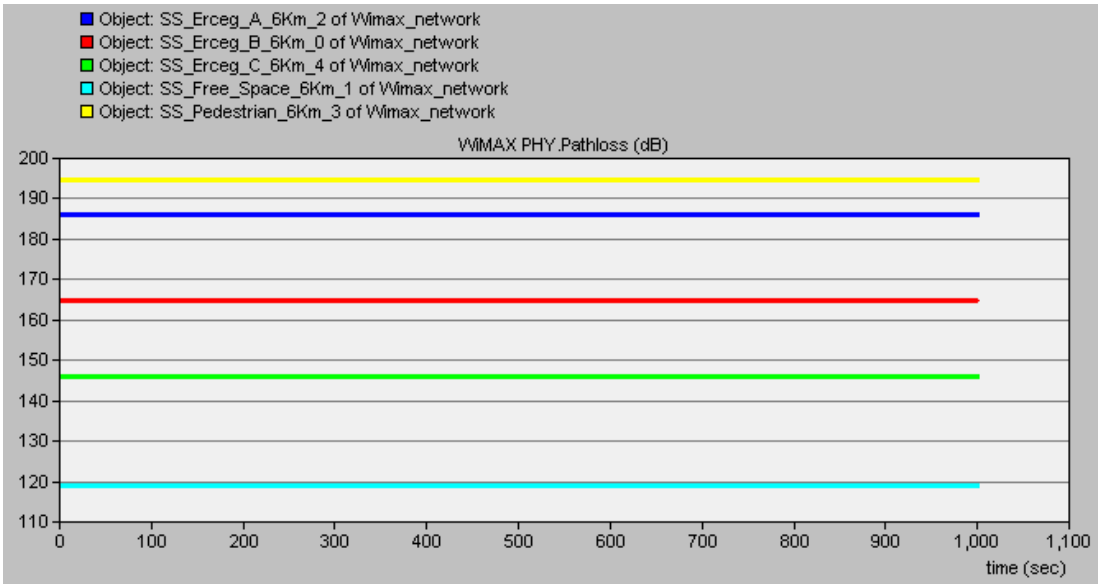

Figura 3. 19: Pérdida de propagación para frecuencia de 3.5 GHz y 6 km de distancia.
Elaborado por: Autor

Tabla 3. 5: Resultados de simulación para frecuencia de 3.5GHz a diferentes distancias.

frequency (MHz)	distance (Km)	free space		Outdoor to Indoor and Pedestrian Environment		Terrain Type A		Terrain Type B		Terrain TypeC	
		path loss (calculate)	path loss (simulation)	path loss (calculate)	path loss (simulation)	path loss (calculate)	path loss (simulation)	path loss (calculate)	path loss (simulation)	path loss (calculate)	path loss (simulation)
3500	2	109.342	109.313	177.3632	174.718	161.0772	162.003	155.8585	146.96	151.5312	128.986
	4	115.3626	115.009	189.4044	187.124	176.3695	175.843	170.0822	160.694	165.0776	140.174
	6	118.8844	118.798	196.4481	194.694	185.3149	185.987	178.4025	164.748	173.0017	146.057

Elaborado por: Autor

c. Escenarios # 7,8,9

Por último, para los fines de este estudio, fue importante el factor de pérdida de propagación y el modelo de canal multitrayecto (trayectos múltiples) en el desempeño de los servicios Triple Play de la red WiMax, por lo que en estos escenarios, así como también los modelos “Suburban Fixed” (Erceg) y el modelo de canal multitrayecto fijo (ITU Pedestrian_A), tales como interior de oficinas, peatones al aire libre e interior (Outdoor-to-Indoor), baja dispersión de retardo fue empleada con un tipo de modelo de terreno C, que está cerca de la realidad del terreno en Guayaquil y representa el terreno mayormente plano con densidades pequeñas de árboles.

Los resultados de las mediciones se muestran en las figuras 3.20, 3.21 y 3.22 para los retardos de paquetes extremo a extremo (end-to-end), variación de retardo (Jitter), y los tiempos de respuesta de descargas FTP y de páginas HTTP, que son las mediciones de rendimiento (estadísticas globales) utilizadas en la cuantificación de los servicios de voz, Internet y video.

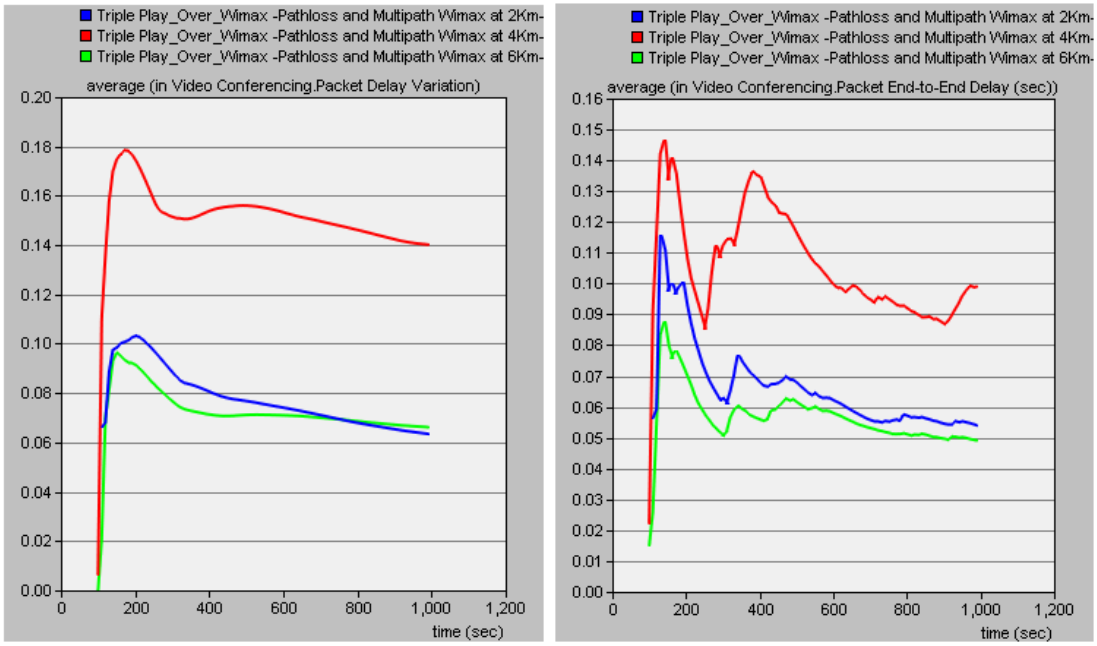

Figura 3. 20: Vídeo retardo de paquetes y variación de retardo tanto efecto multipath pérdida del recorrido.
Elaborado por: Autor

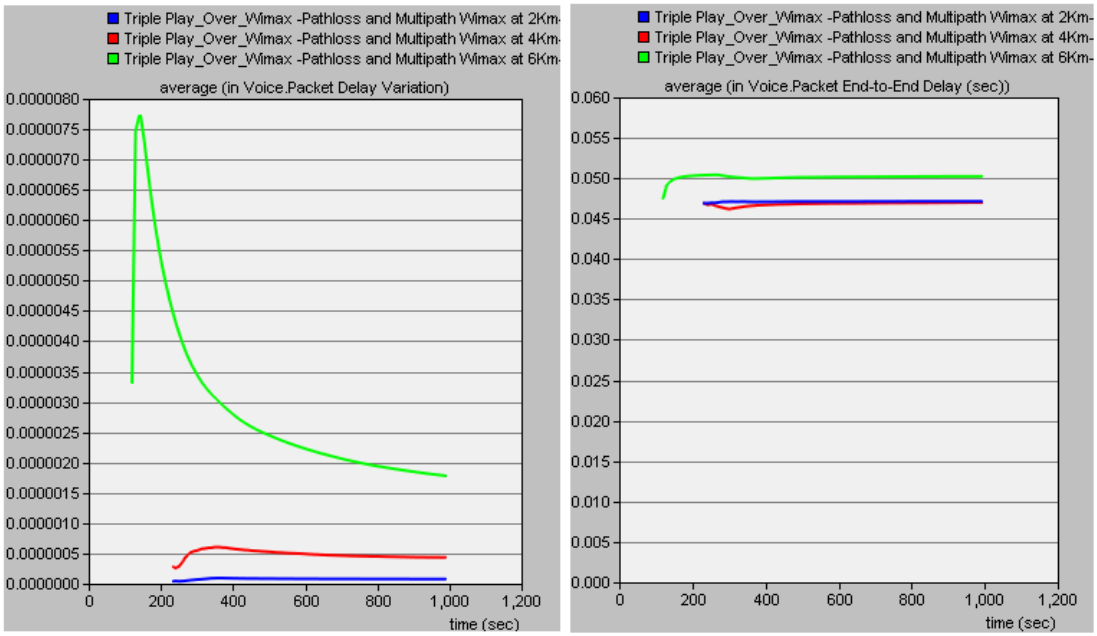

Figura 3. 21: Retardo de paquetes de voz y la variación del retardo en tanto efecto multipath pérdida del recorrido.
Elaborado por: Autor

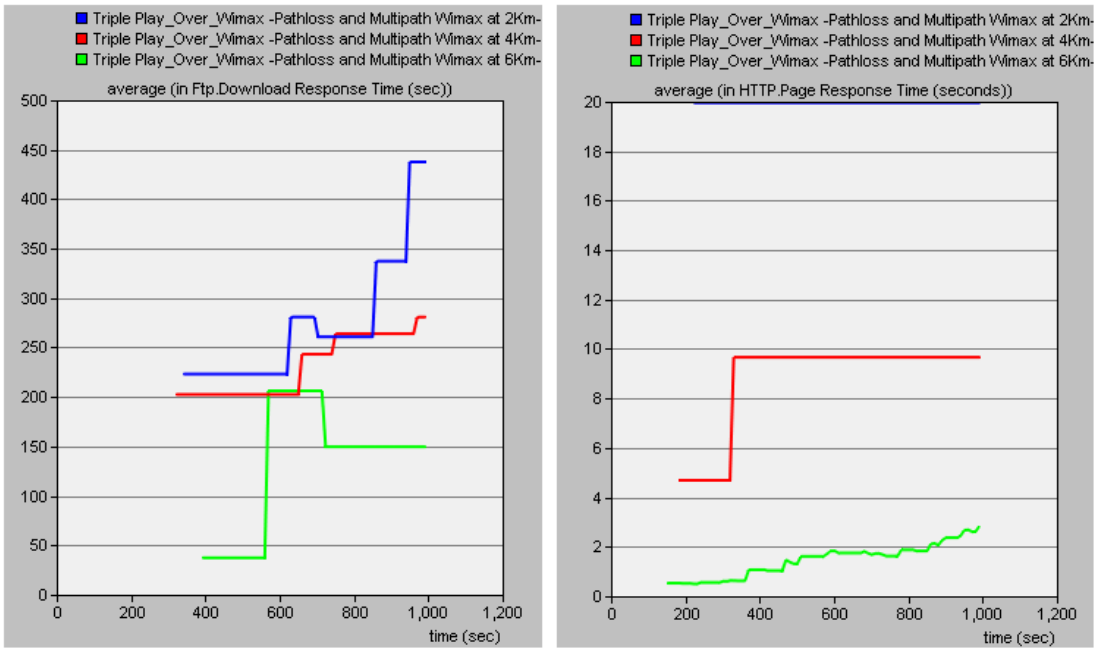

Figura 3. 22 FTP y HTTP descarga tiempo de respuesta, tanto a efectos de trayectos múltiples pérdida del recorrido.
Elaborado por: Autor

d. Discusión de los resultados obtenidos.

El presente estudio mediante simulación exploró los detalles técnicos y el rendimiento de la tecnología de acceso de banda ancha WiMax. Los resultados de la simulación indican que la pendiente de las pérdidas de propagación permanece constante debido a la SS fija y:

- El retardo de paquetes y la variación de retardo del servicio de vídeo para las tres estaciones de WiMax se muestran en las figuras 3.15 y 3.16, respectivamente. Se puede observar que a partir de estos resultados, a 6 km de la estación WiMax exhibe una tasa de pérdida muy superior al de las estaciones de 4 km y 2 km durante el intervalo de 1000 s. El retardo de paquetes de extremo a extremo (end-to-end), la variación de retraso, y los tiempos de

respuesta de descargas FTP y de páginas HTTP han sido estudiados con una frecuencia de 3.5 GHz con diferentes canales de ancho de banda y distancias entre la BS y la SS. En la tabla 3.5 se puede observar que los resultados son más grandes para canales de ancho de banda pequeños y también cuando se incrementa la distancia entre la BS y la SS.

- La pérdida de propagación es pequeña en el espacio libre y grande para las SS en entornos exterior-interior y peatones. Cuando, la SS en tipos de terreno C, la pérdida de propagación será mayor que en el espacio libre. La SS en el tipo de terreno A, la pérdida de propagación será menor que en el exterior-interior. La SS en el tipo de terreno B, la pérdida de propagación será casi la misma que entre los tipos de terreno A y C. Además, la pérdida de propagación es más grande cuando se aumenta la distancia entre la BS y la SS.

- Conviene señalar que si la modelización de canal multitrayecto está activado, la señal transmitida se ha distorsionado debido a los trayectos múltiples y efectos de la dispersión del canal. Se hace más difícil de comprender si los cambios (en el retardo, variación de retardo, tiempo de respuesta de descarga FTP y el tiempo de respuesta de páginas hipertexto HTTP) se atribuyen a la interferencia o la propagación directa entre el Tx (transmisor) y Rx

(receptor), que están en función de las distancias de 2 km, 4 km y 6 km). Dado que las reflexiones multitrayecto no se realizan fácilmente además son de naturaleza aleatoria.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. Conclusiones.

- Este estudio se exploraron los detalles técnicos y el rendimiento de la tecnología de acceso de banda ancha WiMax con servicios triple play. Los resultados de las simulaciones indican que la pendiente de las pérdidas de propagación es constante, con el fin de mantener una calidad estándar para los servicios de Triple Play entregados y así mantener al cliente satisfecho y a la vez cumpliendo con la recomendación ITU-T G.114
- La pérdida de propagación y los multitrayectos se simularon en diferentes ambientes donde el propósito principal del trabajo de titulación fue comprobar la variación del rendimiento de la red, debido a diferentes modelos de pérdida de propagación y del terreno.
- Este trabajo de titulación muestra la variación del rendimiento de la red WiMax con diferentes modelos de pérdida de propagación desplegados en áreas suburbanas con tipos de terreno que van desde el terreno montañoso con moderada densidad de árboles, terreno plano con baja densidad de árboles, para los servicios Triple Play.

4.2. Recomendaciones.

- Ventana de oportunidad para la telefonía celular para proporcionar la red de acceso inalámbrico para aplicaciones de capacidad

hambrientos. Protocolos inalámbricos cuarta generación, con el fin de realizar un análisis más completo de la implementación de la red de acceso de nueva generación. Se ha combinado todos esenciales funciones de red de acceso de banda ancha a Internet, programa de televisión y permanecer móvil.

- Implementación del escenario simulado práctica y comparar el resultado práctico con el resultado de la simulación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Digital TV Research (2012). *Triple-Play Forecasts.* Research and Markets, Ireland.

Frnda, J., Voznak, M., Rozhon, J., & Mehic, M. (2013). *Prediction model of QoS for Triple play services.* In Telecommunications Forum (TELFOR), 2013 21st (pp. 733-736). IEEE.

Korowajczuk, L. (2011). *LTE, WiMAX and WLAN network design, optimization and performance analysis.* John Wiley & Sons.

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

Llorente, R., Morant, M., Quinlan, T., Medina, N., & Walker, S. (2011). *Optical architectures evaluation for triple-play distribution in FIVER project.* In Future Network & Mobile Summit (FutureNetw), 2011 (pp. 1-8). IEEE.

Mehta, V., & Gupta, D. N. (2012). Performance analysis of QoS parameters for WiMAX networks. International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume, 1, 105-110.

Morris, A. (2009). *Telcos should take 'content-lite' approach to triple play – report.* Total Telecom.

Paolini, M. (2010). *Empowering the smart grid with WiMax.* Senzafili.

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.

Pincay, A. (2015). *Simulación y Evaluación de escenarios del Servicio 3Play mediante la Tecnología ADSL.* Trabajo de Titulación de Ingeniería en Telecomunicaciones de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

Proxim Wireless (2015). *Link Redundancy: Point-to-Point and Point-to-Multipoint.* Disponible online: http://www.proxim.com/products/tsunami-feature-extremely-reliable

Srikanth, S., Pandian, P., & Fernando, X. (2012). *Orthogonal frequency division multiple access in WiMAX and LTE: a comparison.* Communications Magazine, IEEE, 50(9), 153-161.

TTI (2012). *HEterogeneous and Local-Evolved Flexible SmAll Cell NeTworks, HELEFANT.*

Williams, K. (2015). *Wireless Local Loop.* Research Assignment, Communications Networks, University of Technology, Sydney.

XO (2012). *Fixed Broadband Wireless Access.* XO Comunications.