

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Programa Profesional de Ingeniería de Sistemas



Modelo para extender redes inalámbricas de banda ancha con tecnología WIMAX en entornos rurales

Tesis presentado por el Bachiller:

**Riquelme Castro Cuba, Henry
Desiderio**

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Sistemas

Arequipa - Perú

2015

PRESENTACIÓN

Señora Directora del Programa Profesional de Ingeniería de Sistemas.

Señores miembros del Jurado Dictaminador de la Tesis.

De conformidad con las disposiciones del reglamento de Grados y Títulos del Programa Profesional de Ingeniería de Sistemas, pongo a vuestra consideración el presente proyecto informático titulado “Modelo para extender redes inalámbricas de banda ancha con tecnología WIMAX en entornos rurales”, el mismo que de ser aprobado me permitirá optar el título profesional de Ingeniero de Sistemas.

Arequipa 29 de Diciembre del 2014

Henry Desiderio Riquelme Castro Cuba

Bachiller en Ingeniería de Sistemas

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme ser parte siempre de este mundo maravilloso, lleno de experiencias, aprendizajes y sobre todo felicidad, por ser mi fortaleza en todo momento.

A mis queridos padres Roger y Emperatriz, por su constante e invaluable apoyo, por estar siempre ahí tendiéndome su mano, por los buenos ejemplos y tanto amor, por ser los mejores.

A mi segunda mamá Mercedes por tanta ternura y cariño, por todas sus enseñanzas.

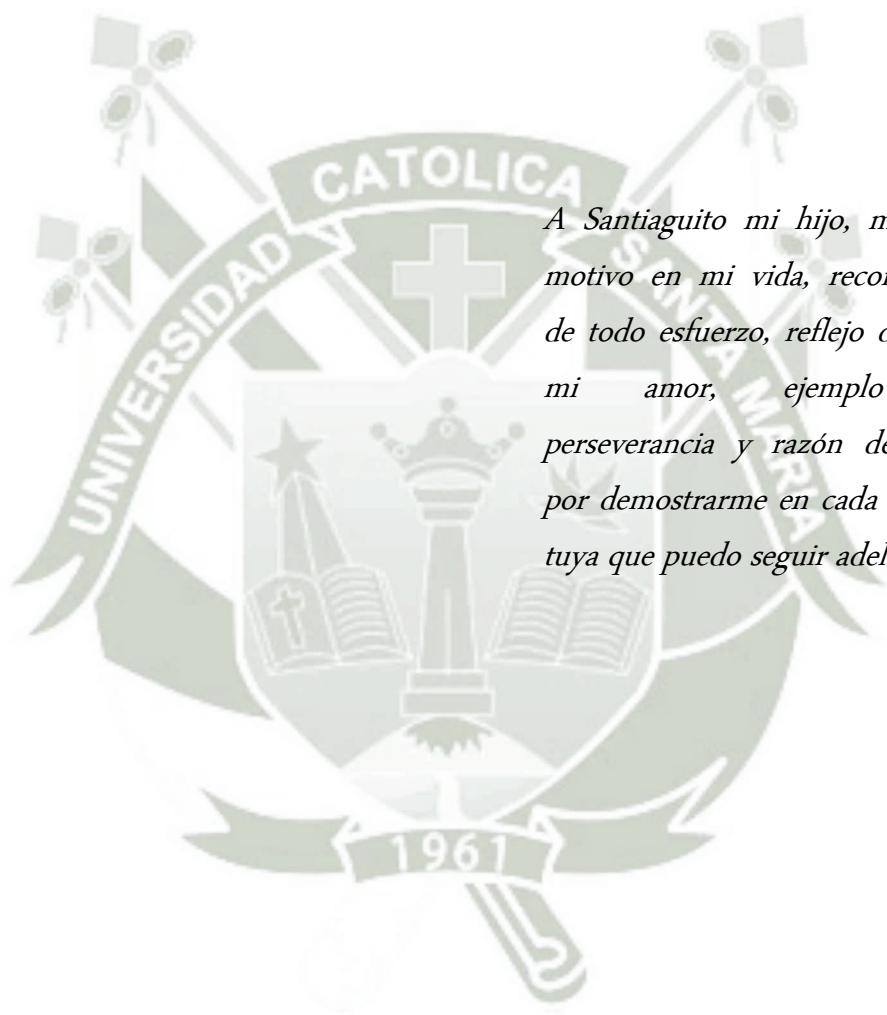
A mi abuelo Miguel QPD. Por guiar mis pasos desde el cielo.

A Evelyn mi esposa y compañera de vida, por estar a mi lado, por su paciencia y todo su amor, por ser mi complemento y cómplice en mi andar.

A mis hermanos Miguel, Disney y Roger por ser mis mejores amigos.

Henry R.

DEDICATORIA



*A Santiaguito mi hijo, motor y
motivo en mi vida, recompensa
de todo esfuerzo, reflejo de todo
mi amor, ejemplo de
perseverancia y razón de vivir,
por demostrarme en cada sonrisa
tuya que puedo seguir adelante.*

RESUMEN

El presente proyecto contempla el análisis general del desempeño de la primera Enmienda al Estándar IEEE 802.16j, Interface aire para Sistemas de Acceso Inalámbrico de Conmutación por Multisalto perteneciente a los estándares IEEE para redes de área local y metropolitana.

Esta enmienda especifica las mejoras y actualizaciones tanto de la capa de Control de Acceso al Medio (MAC) como de la Capa Física (PHY) del estándar IEEE 802.16 para bandas licenciadas, las cuales habilitan la operación de estaciones de conmutación, conocidas también como estaciones repetidoras, cuyo propósito es el de proporcionar un incremento en la cobertura con lo cual se puede también aumentar el número de usuarios a quienes se les provee nuevos servicios gracias al gran ancho de banda que se obtiene con la tecnología WiMAX.

Finalmente se plantea los escenarios de simulación que corresponden a una zona rural, utilizando el modo de conmutación no transparente, el cual permite un aumento en la cobertura.

El análisis se apoya en la utilización de una herramienta de simulación, donde los resultados ayudaran a demostrar que el rendimiento de la red refleja un buen desempeño y se comprueba la teoría de conmutación por multisaltos.

ABSTRACT

This project includes the general analysis of the performance of the first Amendment to IEEE Standard 802.16j, Air Interface for Wireless Access Systems Multihop Switching belonging to the IEEE standards for wireless local and metropolitan area.

This amendment specifies enhancements and updates both Layer Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) of the IEEE 802.16 for licensed bands, which enable operation switching stations, also known as stations repeaters, whose purpose is to provide an increase in coverage which can also increase the number of users who are new services provided by the large bandwidth you get with WiMAX.

Finally simulation scenarios corresponding to a rural area, using non-transparent mode switching , which allows an increase in coverage arises .

The analysis is based on the use of a simulation tool, where the results help demonstrate that the network performance reflects a good performance and switching theory is tested by multi-hop.

INTRODUCCION

"Crear mayor conciencia acerca de las ventajas que las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) pueden aportar a la humanidad y de la manera en que pueden transformar las actividades y la vida de las personas, así como su interacción, despertando así una mayor confianza en el futuro", por lo que distintos proyectos e investigaciones han corroborado la visión de que las TIC son una herramienta para ampliar las oportunidades para el desarrollo social y económico de un país

Comenzar a considerar las TIC como el motor del desarrollo local ha favorecido que distintos gobiernos basen sus estrategias y organizaciones para fomentar su desarrollo en las Tecnologías de información. Este hecho, unido a la búsqueda de nuevos mercados de las grandes operadoras multinacionales de telecomunicaciones, ha propiciado que en los últimos años se produzca un incremento significativo de las posibilidades de acceso a los medios de comunicación y tecnologías de información.

Sin embargo, en la actualidad, aun podemos apreciar distintas poblaciones aisladas de los medios de comunicación por tanto más aun sin acceso a la red; creando este hecho una desigualdad tecnológica y de oportunidades para los diferentes medios principalmente rurales. Pero estas diferencias no están únicamente referidas al acceso, sino también a la calidad del servicio, esta diferencia es la llamada “brecha digital”

Para tratar de disminuir esta brecha hay que tener en cuenta las características específicas de poblaciones rurales y aisladas de países en desarrollo, las vías de acceso

a estos lugares son deficientes, y en muchos casos inexistentes, al igual que la infraestructura eléctrica. Esto dificulta y encarece el despliegue y el mantenimiento de las tecnologías de comunicaciones que se quieran utilizar.

La población se localiza en comunidades dispersas a lo largo y ancho de grandes superficies de terreno, alcanzando niveles de densidad de habitantes por kilómetro cuadrado cercanos a cero.

Este proyecto busca aportar el despliegue de las redes de banda ancha en entornos rurales a través del uso e implementación como alternativa tecnológica del estándar 802.16j -2009 conocido mundialmente como WIMAX (Interoperabilidad Mundial para el Acceso por Microondas).



ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
INTRODUCCIÓN	III

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO TEORICO	1
1.1. Título descriptivo del proyecto	1
1.2. Identificación del problema	1
1.3. Definición del problema	3
1.3.1. Área y línea a la que corresponde el problema	5
1.3.2. Tipo y nivel de investigación	5
1.4. Objetivos	6
1.4.1. General	6
1.4.2. Específicos	6
1.5. Definición de Variables e indicadores	6
1.5.1.1. Variable independiente	6
1.5.1.2. Variable dependiente	6
1.5.1.3. Indicadores	7
1.6. Antecedente	7
1.6.1. Bases teóricas	10
1.7. Descripción de la solución propuesta	12

1.7.1. Justificación	12
1.7.2. Alcances y limitaciones	12
1.7.2.1. Alcances	13
1.7.2.2. Limitaciones	13

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	14
2.1. Redes inalámbricas	15
2.2. Estándar IEEE 802.16	16
2.3. IEEE 802.16 – 2009	17
2.3.1. Modelo de referencia	18
2.3.2. Bandas de frecuencia	20
2.3.2.1. Bandas de frecuencia licenciadas de 10 a 66 GHz	20
2.3.2.2. Frecuencias inferiores a las 11 GHz	21
2.3.2.3. Bandas no licenciadas 5 – 6 GHz	21
2.3.3. Capa PHY	22
2.3.3.1. Especificación de WirelessMAN – SC	22
2.3.3.2. Especificación de WirelessMAN – OFDM	32
2.3.4. SubCapa MAC	37
2.3.4.1. Programación de Servicios	41
2.3.4.2. Planificación de transmisión de salida	42
2.3.4.3. Planificador de solicitud / garantía de UL	43
2.3.4.4. UGS – Unsolicited Grand Service	44

2.3.4.5.	Real Time Polling Service (rtPS)	45
2.3.4.6.	Non-Real Time Polling Service (nrtPS)	46
2.3.4.7.	Best Effort (BE) service	47
2.4.	IEEE 802.16j	47
2.4.1.	Modos de planificación en IEEE 802.16j	48
2.4.2.	Modos de RSs en IEEE 802.16j	49
2.4.3.	Modos de seguridad IEEE 802.16j	50
2.4.4.	Enmienda en la capa física (WirelessMAN – OFDMA – PHY)	50
2.4.4.1.	Estructura de la trama TDD para el modo transparente	51
2.4.4.2.	Estructura de la trama TDD para el modo no transparente	53
2.4.4.3.	Estructura de la trama TDD para el modo STR	56
2.4.4.4.	Estructura de la trama FDD para MR-BS y RS	56
2.4.4.5.	Estructura de la trama FDD para el modo transparente TTR	57
2.4.4.6.	Estructura de la trama FDD para el modo no transparente TTR	58
2.4.4.7.	Estructura de la trama FDD para STR	58
2.4.5.	Enmienda en la capa MAC	59
2.4.5.1.	Esquema de transmisión	59
2.4.6.	Administración de enrutamiento y trayecto	61

2.4.6.1.	Selección de enrutamiento / trayecto	61
2.4.6.2.	Aproximación integrada de administración de trayecto	62
2.4.6.3.	Aproximación explícita de administración de trayecto	62
2.4.7.	Alcance (Ranging) y en entrada de Red	63
CAPÍTULO III		
3.	PROPUESTA DEL MODELO	66
3.1.	Caso de estudio	66
3.1.1.	Zona de cobertura	68
3.1.2.	Ubicación	69
3.1.3.	Posibles clientes del servicio	69
3.1.3.1.	Entidades en el distrito	70
3.1.4.	Problemática tecnológica en la zona de estudio	81
3.2.	Propuesta del modelo	82
3.2.1.	Descripción de la propuesta	82
3.2.2.	Arquitectura de la Red	83
3.2.2.1.	Topología	83
3.2.2.2.	Modelo Jerárquico de la red WIMAX	85
3.2.2.2.1.	Red de núcleo	85
3.2.2.2.2.	Red de distribución	86
3.2.2.2.3.	Red de acceso	86
3.3.	Diseño de la red	86

3.3.1. Ubicación de la Estación Base (BS)	86
3.3.2. Ubicación de las estaciones suscriptoras	89
3.3.3. Nodos Remotos	91
3.3.4. Usuarios de la red	93
3.3.5. Antenas sectoriales	94
3.3.6. Trafico de red	95
3.3.7. Banda de frecuencia	95
3.3.8. Selección de equipos	96
CAPÍTULO IV	
4. SIMULACIÓN DE LA RED	98
4.1. Definición de la herramienta de simulación	98
4.2. Parámetros de simulación	99
4.2.1. Topología de la Red	99
4.2.2. Parámetros de transmisión	101
4.2.3. Parámetros de canalización	102
4.2.4. Parámetros QoS	103
4.3. Modelo del sistema a simular	103
4.3.1. Modo no transparente	103
4.3.2. Nodo IEEE 802.16j NTMR-BS	104
4.3.3. Nodo IEEE 802.16j NT-RS	106
4.3.4. Nodo IEEE 802.16j NT-MS	107
4.4. Escenario de simulación	108

4.5. Obtención de resultados	112
CAPÍTULO V	
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	113
5.1. Determinación de las prestaciones del sistema de acuerdo a escenarios simulados	113
5.1.1. Primer escenario	113
5.1.2. Segundo Escenario	116
5.1.3. Tercer Escenario	118
CONCLUSIONES	120
RECOMENDACIONES	122
BIBLIOGRAFÍA	123
ANEXOS	
❖ Glosario de Términos	125

ÍNDICE DE CUADROS

1.1 Conexiones de BA por tecnología y modo de acceso	12
2.1 Interfaz aire, nomenclatura y variantes	22
2.2 Canalización	38
2.3 Planificación de servicios	43
3.1 Estadística de matrículas, grado y sexo – IE 40127 – nivel primario	70
3.2 Estadística de matrículas por periodo - IE 40127 – nivel primario	71
3.3 Estadística docente IE 40127 – nivel primario	71
3.4 Estadística de matrículas, grado y sexo – IE 40127 – nivel secundario	72
3.5 Estadística de matrículas por periodo - IE 40127 – nivel secundario	73
3.6 Estadística docente - IE 40127 – nivel secundario	73
3.7 Estadística de matrículas, grado y sexo – IE 40637 – nivel inicial	74
3.8 Estadística de matrículas por periodo - IE 40637 – nivel inicial	75
3.9 Estadística docente - IE 40637 – nivel inicial	75
3.10 Estadística de matrículas, grado y sexo - IE 40637 – nivel primario	76
3.11 Estadística de matrículas por periodo - IE 40637 – nivel primario	77
3.12 Estadística docente - IE 40637 – nivel primario	77
3.13 Estadística de matrículas, grado y sexo - IE 40637 – nivel secundario	78
3.14 Estadística de matrículas por periodo - IE 40637 – nivel secundario	79
3.15 Estadística docente - IE 40637 – nivel secundario	79
3.16 Coordenadas geográficas – estación base	89
3.17 Coordenadas geográficas – estaciones suscriptoras	91

3.18 Coordenadas geográficas – nodos remotos	92
3.19 Usuarios de las red	94
3.20 Especificaciones técnicas – estación base	97
3.21 Especificaciones técnicas – estaciones cliente	97



ÍNDICE DE GRÁFICOS

1.1 Cobertura de una estación base	4
2.1 Clasificación de estándares de comunicación inalámbrica	16
2.2 Modelo de referencia del estándar 802.16-2009	18
2.3 Operación FDD	24
2.4 Operación TDD	25
2.5 Estructura de la subtrama DL en modo TDD	29
2.6 estructura de la subtrama DL en modo FDD	31
2.7 Estructura de la subtrama de UL	31
2.8 Estructura de la trama OFDMA genérica	35
2.9 Ejemplo de estructura para el modo transparente	52
2.10 Ejemplo de estructura para el modo no transparente	54
3.1 Mapa del departamento de Arequipa	67
3.2 Mapa de la provincia de Arequipa	67
3.3 Imagen geográfica – zona de estudio	69
3.4 Ficha Institucional – IE 40127 – nivel primario	70
3.5 Ficha Institucional – IE 40127 – nivel secundario	72
3.6 Ficha institucional – IE 40637 – nivel inicial	74
3.7 Ficha institucional – IE 40637 – nivel primario	76
3.8 Ficha institucional – IE 40637 – nivel secundario	78
3.9 Arquitectura de la red	85
3.10 Rayo de cobertura urbana	88

3.11 Rayo de cobertura rural	88
3.12 Rayo de cobertura – estaciones suscriptoras	90
3.13 Distribución geográfica – nodos remotos	92
4.1 GUI – simulados	99
4.2 Creación de nodos – modo no transparente	100
4.3 Diseño de topología de red	101
4.4 Cuadro de dialogo – parámetros de transmisión	102
4.5 Pila de protocolos NTMR-BS	105
4.6 Pila de protocolos NT-RS	107
4.7 Pila de protocolos NT-RS	108
4.8 Primer escenario de simulación	109
4.9 Segundo escenario de simulación	110
4.10 Tercer escenario de simulación	112
5.1 Capacidad del sistema - escenario 1	113
5.2 Capacidad del sistema por bloque – escenario 1	114
5.3 Throughput en función de nodos NT-MS – escenario 1	115
5.4 Throughput dentro de cobertura de la NT-MRBS	116
5.5 Capacidad de sistema – escenario 2	117
5.6 Capacidad del sistema en bloque – escenario 2	117
5.7 Throughput en función de nodos NT-MS – escenario 2	118
5.8 Throughput en función de nodos NT-RS	119
5.9 Throughput en función del sistema NT-RS	119



CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.1. Título descriptivo del proyecto

“MODELO PARA EXTENDER REDES INALAMBRICAS DE BANDA
ANCHA CON TECNOLOGIA WIMAX EN ENTORNOS RURALES”

1.2. Identificación del problema

Actualmente nos es de mucha necesidad poder estar conectados a la red sea celular, internet, televisión, etc. Ya que estas nos brindan diversas opciones de solución y mejora en nuestra vida cotidiana ya sea en el hogar, las escuelas, colegios, universidades, el trabajo, negocios, empresas o cualquier otro aspecto de nuestro quehacer diario.

Lamentablemente los clientes y/o consumidores de estos productos que ofertan los diferentes proveedores de servicios de telecomunicación se están viendo afectados por la gran demanda actual y como consecuencia a este gran número de usuarios la congestión generada en diversas zonas de la ciudad así como otros aspectos de interferencia, la falta de cobertura, además de no llegar a cubrir las zonas rurales y/o alejadas de la población urbana debido al costo que ello representa, poniendo de este modo a las personas que allí residen en una desventaja y exclusión digital propia a la desigualdad en el desarrollo de la población. Estas zonas por falta de acceso a las

tecnologías de información están expuestas a no mejorar su educación, conocimientos, tener menor posibilidades de negocio y de cierto modo estar aislados del mundo moderno que hoy nos rodea el cual cada vez más se encuentra enfrascado en las posibilidades a través de la internet o el acceso a las redes.

Hoy por el avance de la tecnología se tiene la posibilidad de transmitir diversos servicios a través de un mismo medio logrando de este modo hacer menos inversión y ofertar más, esto es posible gracias a las diferentes tecnologías que se tiene como el soporte para la llamada banda ancha.

Nos centramos en la tecnología inalámbrica que en nuestros días se ha convertido en una muy buena opción para la conectividad ya que posee soporte de transmisión con velocidades que antes solo eran propias de los cables de cobre o la fibra óptica, sin embargo también trae consigo una gran inversión física respecto a sus antenas y/o medios de transmisión para poder alcanzar la cobertura de un área determinado.

La creciente demanda por la utilización de las redes inalámbricas tiene un gran incremento en los últimos años, los cuales entran a tallar con el estándar 802.11x. Sin embargo uno de los principales problemas respecto a estas redes es las limitaciones del

área de cobertura para poder brindar servicios, así como la capacidad que poseen estos medios para su transmisión.

La búsqueda de nuevas tecnologías que hagan posible lograr mayor cobertura y velocidades de transmisión con soporte de banda ancha nos lleva a la solución propuesta por el estándar 802.16x o WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access, Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas), permitiendo a través de la implementación de estaciones base (antenas) mayor cobertura y capacidad de transmisión, además de características de implementación que están más acorde a la demanda actual, sin embargo la implementación de estas estaciones base tiene también un costo elevado.

1.3. Definición del problema

La tecnología WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access, Interoperabilidad Mundial para el Acceso por Microondas) se ha convertido en una gran alternativa para la transmisión de redes de banda ancha y por su característica inalámbrica está considerada dentro de las redes de área metropolitana [2], haciendo posible llegar a mayores distancias o cubrir infraestructura troncal; sin embargo al ser alta la inversión para su implementación, disminuye posibilidades de la misma.

Entonces comprendemos lo siguiente: Todas las estaciones base (BS - antenas) implementadas en la arquitectura de una tecnología WIMAX contemplan un área de cobertura determinado, lo cual representa conectividad solo a clientes dentro de la misma, quedando aislados aquellos cercanos al área de cobertura; siendo necesaria la implementación de otra estación base para cubrir estas áreas; así podemos apreciar esta descripción en el gráfico 1.1

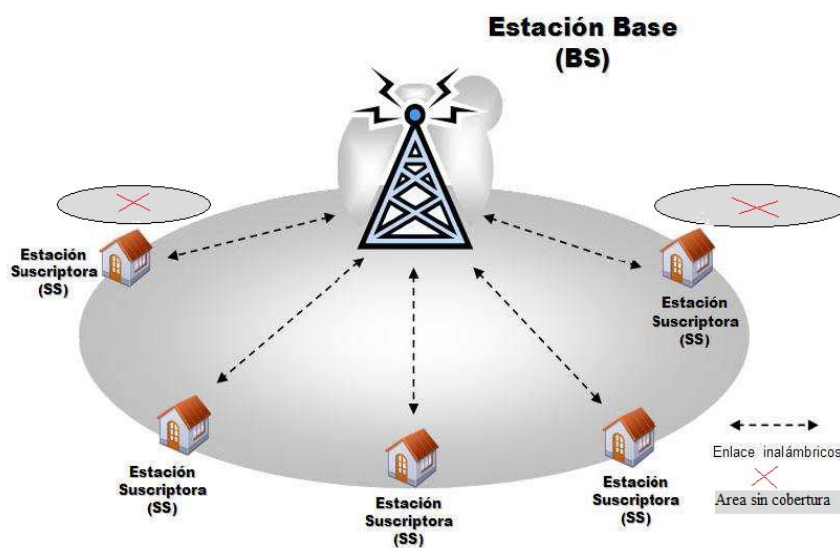


Gráfico 1.1: Cobertura de una estación base

Fuente: Elaboración propia

Por tanto de acuerdo a lo descrito en el gráfico 1.1 podemos definir nuestro problema en la necesidad de alcanzar mayor cobertura (llegar al área fuera del radio) sin la implementación de otra estación base, lo cual demandaría mayor inversión.

De este modo y todo lo descrito anteriormente, este trabajo de investigación se centra en la idea de poder alcanzar mayor cobertura mediante la implementación de una arquitectura de red con tecnología WIMAX a través del estándar IEEE 802.16j y el despliegue de la misma con la intención de lograr expandir la cobertura de una estación base y así poder disminuir costos de implementación.

1.3.1. Área y línea a la que corresponde el problema

- **Área del conocimiento**

Teleinformática.

- **Línea**

Comunicaciones y Radio – enlace.

1.3.2. Tipo y nivel de investigación

- **Tipo**

El presente trabajo reúne condiciones de una investigación tecnológica y aplicada.

- **Nivel**

De acuerdo a la naturaleza de la investigación, reúne características de un estudio descriptivo, exploratorio y experimental.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Desarrollar y simular un modelo de infraestructura de red inalámbrica de banda ancha con tecnología WIMAX a través del estándar IEEE 802.16j para el despliegue de red y acceso a la misma en entornos rurales.

1.4.2. Específicos

- Analizar el estado del arte del estándar IEEE 802.16-2009 y su enmienda IEEE 802.16j.
- Evaluar el desempeño de la red bajo el estándar IEEE 802.16j mediante una herramienta de simulación.
- Descripción del escenario de simulación mediante un caso ejemplo.
- Análisis del manejo básico de la herramienta de simulación NCTUns y la aplicación a una red WIMAX.

1.5. Definición de Variables e indicadores

1.5.1.1. Variable Independiente

- Enlaces WIMAX

1.5.1.2. Variable Dependiente

- Ampliación de la cobertura de red

1.5.1.3. Indicadores

- Cobertura
- Calidad de servicio
- Adaptabilidad
- Escalabilidad

1.6. Antecedentes

Los sistemas inalámbricos de banda ancha basados en el protocolo IEEE 802.16x conocida mundialmente como la tecnología WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Es considerado como una de las mejores alternativas para la distribución de los servicios digitales de cuarta generación (4G), y que pretende satisfacer necesidades de comunicación que hoy en día se requieren [2].

No solo en los comercios o las empresas, también en el hogar, las escuelas, los hospitales, aeropuertos, gobierno, centros de investigación, negocios etc. Sin olvidarnos de la necesidad de las personas de trasladarse de una lugar a otro y poder disponer de una gran cobertura y alta capacidad de transmisión, sin importar la hora, la movilidad, y el tipo de conexión.

Se han realizado diversos estudios que muestran muchos aspectos de gran utilidad para las redes y telecomunicaciones, así como

soluciones y diferentes propuestas respecto a la tecnología WIMAX o el estándar IEEE 802.16. Mencionamos algunos.

- La tesis “Propuesta de un modelo de distribución del servicio de internet usando WIMAX en la provincia de Arequipa”- Deza paredes Pamela Ángela, Guerra Arana Christian Walter.

Nos muestra un posible escenario para la distribución del servicio de internet en la ciudad de Arequipa mediante la tecnología WIMAX, implementando una red troncal y acceso punto – multipunto, enfocándose solo al servicio de internet y no asume el costo de inversión de implementación por equipos y/o antenas; nos muestra también un estudio de la orografía de la ciudad de Arequipa para la implementación de sus antenas.

- Tesis “Modelo de simulación para redes de interfaz aire para sistemas fijos de acceso inalámbrico de banda ancha que provee acceso a internet en zonas rurales” – Cárdenas Medina Claudia.

Nos muestra que podemos llegar a las zonas rurales implementando una red basada en tecnología WIMAX, mediante un modelo de simulación plantea algunas alternativas que ayudarían a mejorar las opciones de acceso a internet en zonas rurales, el cual tiene como

fundamento la implementación de estaciones base para lograr la cobertura y el acceso total respecto a su área de estudio.

- Tesis “Simulación de la red inalámbrica de banda ancha para el estado de colima – México” – Ing. Estalin Xavier Caraguay Ramírez.

Se apoya en el proyecto que tiene el País de México para la implementación de la red de banda ancha y eliminar la brecha digital de dicho país, proponiendo en su trabajo que mediante la implementación de simulación se podrían tener ideas más claras que ayuden con un pre proyecto a la implementación física final, haciendo diversas pruebas y estudios respecto a la propagación de la señal

- “Proveedores internacionales WIMAX”
(<http://www.intel.la/content/www/xl/es/wireless-network/wimax-providers.html>).

Plantea una descripción breve pero precisa que hace referencia al mercado de proveedores a nivel mundial de la tecnología WIMAX, los cuales cuentan con diferentes proyectos de inversión en diferentes países respecto a esta tecnología que además se muestran como socios de Intel. Lo cual nos describe que la tecnología en estudio

podría ser una respuesta a las diferentes carencias en el mundo de las telecomunicaciones en nuestro medio.

Todos estos trabajos y publicaciones que podemos hallar, nos muestran que la tecnología WIMAX podría solucionar muchos aspectos de las telecomunicaciones en nuestro medio, apoyados además en diversas herramientas de simulación podemos evaluar diferentes escenarios ya que nos sirve para preparar un proyecto de implementación física real permitiéndonos analizar muchos aspectos muy cercanos a la realidad. Algunos programas de simulación de redes que podemos hallar en el mercado: NCTUns, N2S, OPnetModeler, Cisco Packet Tracer, etc.

1.6.1. Bases teóricas

El mercado de las telecomunicaciones juega un papel muy importante en el desarrollo de nuestro país y a ello obedece que hoy podemos hallar a través del MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) metas a cumplir que nos lleva a mediano y largo plazo mediante el Plan Nacional Para el Desarrollo de la Banda Ancha en el Perú [3], del mismo modo citamos las cifras correspondientes a marzo del 2011 en la que indica que la densidad en el caso de la telefonía fija es de 10 líneas por cada 100 habitantes, los servicios móviles a 97.96 líneas por cada 100 habitantes, así mismo a 587 el número de concesiones de servicios públicos de telecomunicaciones y el nivel de

digitalización de la red a 100% desde diciembre del 2009 [3]. Todo ello nos ayuda a comprender la importancia y la necesidad de acceso a las redes, sin embargo juega un papel muy importante la idea de costos e inversión, de modo tal que los proveedores puedan lograr mayor cobertura, capacidad y puedan además ser accesibles a las economías más bajas de nuestro entorno; más aún si hablamos de zonas rurales a las cuales podríamos llegar haciendo uso de la tecnología WIMAX.

A través de proyecto de desarrollo de banda ancha en Perú, podemos hallar el estudio realizado por el MTC (Ministerio de transportes y comunicaciones) en que hace referencia al uso de diversas tecnologías en nuestro medio para cubrir la demanda respecto a la llamada banda ancha de internet en el Perú.

El cuadro 1.1 nos muestra el número de conexiones de banda ancha en nuestro país por tecnología y medio de acceso a marzo del 2011, en el cual podemos encontrar que la tecnología WIMAX representa una cantidad importante, lo cual nos refiere a que el uso de la misma contribuirá en gran medida al desarrollo tecnológico para la conexión de banda ancha en el Perú.

Tecnología/Medio de Acceso	Conexiones de Banda Ancha	Porcentaje (%)
Banda Ancha fija	990,950	75.99%
ADSL	891,644	68.37%
Cable-módem	67,866	5.20%
WiMAX	16,853	1.29%
Línea dedicada (alámbrica + inalámbrica)	10,565	0.89%
VSAT	3,507	0.27%
Otros (Inalámbrico fijo)	515	0.04%
Banda Ancha Móvil	313,115	24.01%
Total	1'304,065	100.00%

Cuadro 1.1: Conexiones de Banda Ancha por Tecnología y Medio de Acceso

Fuente: MTC – Empresas Operadoras

1.7. Descripción de la solución propuesta

1.7.1. Justificación

Hoy podemos lograr capacidad de banda ancha a través de comunicación inalámbrica como es el caso de la tecnología WIMAX, que además está considerada dentro de las redes de área metropolitana [18], pudiendo de este modo minimizar costos al no ser necesario el tendido de cables, y mucho más aun explotando una de las características de esta tecnología que es la capacidad de ser implementada en un topología en malla y/o multisalto, logrando con ello mayor cobertura a un menor costo.

En nuestro país se han asignado bandas de espectro (2.5 GHz y 3.5 GHz) en las que se puede desarrollar WIMAX, de momento se está

empleando esta tecnología con característica no móvil como complemento a la infraestructura fija de los proveedores [3].

La simulación es una técnica muy poderosa que podemos utilizar para realizar un análisis, medir el desempeño y estudiar sistemas muy complejos. Para nuestro caso el uso de la herramienta de simulación NCTUns, permite el estudio, las pruebas y validación de resultados respecto a nuestra propuesta basada en tecnología WIMAX de alcanzar mayor cobertura a menor inversión mediante la implementación de una topología multisalto.

1.7.2. Alcances y limitaciones

1.7.2.1. Alcances

La implementación de una topología multisalto como característica propia de la tecnología WIMAX y complemento a una estación base con la intención de expandir su cobertura.

Este proyecto está dirigido a empresas, profesionales de sistemas, redes, telecomunicaciones y consultores de la rama que deseen implementar y expandir las capacidades de una infraestructura WIMAX.

1.7.2.2. Limitaciones

La implementación a través de una herramienta de simulación y los módulos existentes en la misma para la recreación del estándar IEEE 802.16j.



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

6. MARCO TEÓRICO

La aceptación de las tecnologías inalámbricas es de mayor incremento en nuestra sociedad en general debido diferentes aspectos, entre los que principalmente podemos mencionar la capacidad de movilidad de los usuarios, así como el abaratamiento de los diferentes equipos portátiles que hoy los hallamos con diversas opciones de conexión de datos; permitiendo que cada vez más personas tengan y/o necesiten estos dispositivos. Por tanto los requerimientos de servicio se hacen más necesarios en los diferentes escenarios de nuestra vida diaria. TEÓRICO

La cobertura de estas redes es uno de los factores a considerar cuando se analizan las arquitecturas inalámbricas, desde las que alcanzan unos pocos metros de distancia, conocidas como redes inalámbricas de área personal (Wireless Personal Area Network, WPAN), hasta aquellas que se consideran como grandes redes inalámbricas por su extensa zona de cobertura, conocidas comúnmente como redes inalámbricas de área amplia (Wireless Wide Area Network, WWAN).

Sin embargo la cobertura se considera de mayor prioridad en las redes que pueden alcanzar unos cuantos cientos de metros, es decir las redes inalámbricas de tipo local (Wireless Local Area Network, WLAN), en las redes dedicadas a ofrecer sus servicios dentro de las ciudades o áreas metropolitanas (Wireless Metropolitan Area Network, WMAN). En estos dos últimos tipos de redes inalámbricas (locales y metropolitanas), es donde se presenta la mayor dificultad para expandir su área de cobertura. [8]

6.1. Redes inalámbricas

Podemos hallar a través de la internet algunos datos que nos llevan a una idea del nacimiento de las redes inalámbricas *“las primeras experiencias con redes inalámbricas datan de 1979 cuando científicos de IBM en Suiza despliegan la primera red de importancia con tecnología infrarroja, sin embargo es hasta 1985 cuando se comienzan los desarrollos comerciales de redes con esta filosofía y momento en el cual el órgano regulador del espectro radioeléctrico americano, asigna diferentes bandas de frecuencia y del mismo modo la asociación de ingenieros eléctricos y electrónicos – IEEE, designa comisiones de trabajo para el desarrollo de diferentes estándares”* [1].

Estas redes inalámbricas a través de los años hasta la actualidad han tomado diferentes aspectos gracias a la creación de diversos grupos de trabajo por la IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers- Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) los cuales han hecho posible la estandarización, que hacen hoy por hoy la posibilidad de fabricación y elección de equipos de acuerdo a sus capacidades y usos que le podamos dar.

Hacemos mención a estándares creados por la IEEE (IEEE 802. 11x, IEEE 802.15x, IEEE 802.16x), que nos llevan a la determinación de las redes inalámbricas de acuerdo a una clasificación zonal; siendo para nosotros el más importante el estándar IEEE 802.16x.

La figura 2.1 nos muestra un esquema como aporte a la idea de clasificación de los estándares antes mencionados por el área de cobertura.



Gráfico 2.1: Clasificación de estándares de comunicación inalámbrica

Fuente: Internet

6.2. Estándar IEEE 802.16

El proyecto del estándar IEEE 802.16 se inició en 1998, pero el trabajo principal se desarrolló entre los años 2000 a 2003, dentro de un proceso de consenso abierto. El objetivo fue crear y desarrollar un estándar para conseguir el acceso de Banda Ancha inalámbrico, masivo y a los menores costos posibles, en el ámbito metropolitano. [3]

6.3. IEEE 802.16 – 2009

El 13 de mayo del 2009, el IEEE aprobó el estándar 802.16-2009, este estándar especifica la interfaz aire, en la que se incluye la subcapa MAC y la capa PHY, en la cual se proveen múltiples servicios sobre enlaces combinados de acceso inalámbrico punto a multipunto, fijos y móviles. Esta subcapa MAC está estructurada de tal forma que soporta múltiples especiaciones de la capa PHY, cada una de ellas encargada de satisfacer un ambiente particular. [4]

Este estándar determina las frecuencias de operación en las bandas licenciadas de 10 a 66 GHz con canales de ancho de banda de 25 a 28 MHz en los cuales se obtienen teóricamente tasas por encima de los 120 Mbps. El estándar también determina su operación en frecuencias inferiores a los 10 GHz tanto en bandas licenciadas como no licenciadas, dentro de ellas especialmente las bandas no licenciadas de 5 a 6 GHz, en el que el requerimiento de línea de vista puede ser soportado con técnicas de control avanzado de potencia, mitigación de interferencia y uso de múltiples antenas. [4]

El estándar IEEE 802.16-2009 hace una revisión al estándar IEEE 802.16-2004, y consolida material de los estándares IEEE 802.16e-2005, IEEE 802.16-2004, IEEE 802.16f-2005, e IEEE 802.16g-2007, a más de agregar ítems adicionales así como mejoras en lo referente a las especificaciones de la Base de Información Gestionada (MIB). Esta revisión reemplaza y deja obsoleto el estándar IEEE 802.16-2004 y a todas sus subsecuentes enmiendas y correcciones.

6.3.1. Modelo de referencia

El estándar define la capa MAC y la capa PHY, la MAC abarca tres subcapas: la subcapa de Servicio Específico de Convergencia (CS-Convergence Sublayer), subcapa de Parte Común (CPS-Common Part Sublayer), Servicio de Punto de Acceso (SAP-Service Access Point). Además, la MAC contiene de forma separada una subcapa de seguridad que provee autenticación, intercambio seguro de llaves y encriptación. La capa PHY incluye múltiples definiciones cada una aplicada a un rango de frecuencias en particular.

De este modo a través de grafico 2.2 podemos apreciar el modelo de protocolos definidos para el estándar.

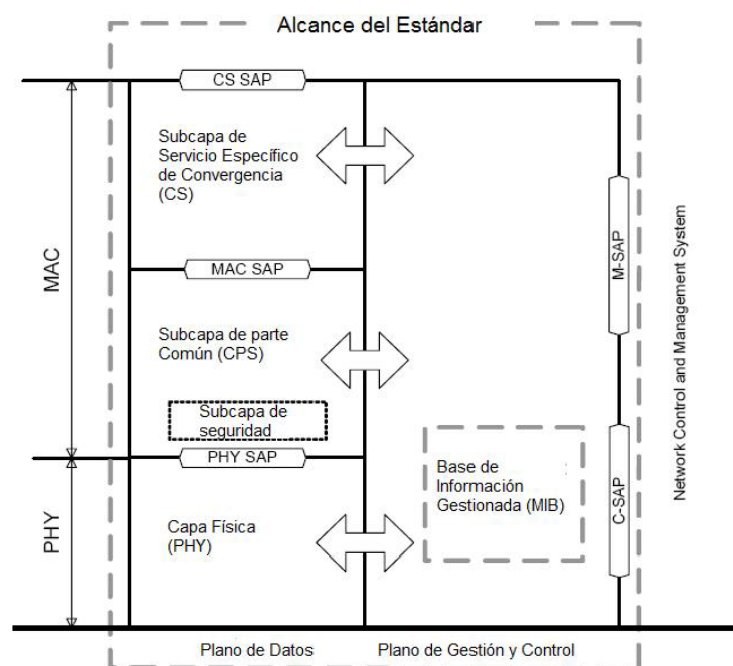


Grafico 2.2: Modelo de referencia del estándar 802.16 – 2009

Fuente: Wimax Fórum

Los dispositivos IEEE 802.16 incluyen tanto estaciones suscriptoras (SS – Subscriber Station), estaciones móviles (MS – Mobile Station) o estaciones base (BS – Base Station), estos dispositivos pueden ser parte de una larga y extensa red y por ende requieren de interfaces con entidades para propósitos de gestión y control, se introduce en este estándar lo denominado “Black Box” que es un sistema de control y gestión de red (NCMS – Network Control and Management System).

Se define un modelo de referencia de Gestión, el mismo que consiste de; un sistema de gestión de red (NMS-Network Management System), nodos gestionables y un sistema de control de red. Los nodos gestionables pueden ser las BSs, MSs y SSs los cuales deben almacenar los objetos de gestión en el formato establecido y con ayuda de dispositivos MIB ser capaces de gestionar mediante el NMS a través de protocolos de gestión como SNMP-Simple Network Management Protocol. El NMS contiene los flujos de servicios y la información de QoS asociada, mediante la cual permite establecerse los parámetros necesarios para garantizar a una SS o MS cuando estos entran a formar parte de una red servida por una determinada BS.

La información de gestión que debe ser trasladada entre SS/MS y la BS por una conexión secundaria dedicada a la gestión, si la conexión secundaria no existe, los mensajes SNMP u otros mensajes de cualquier protocolo de gestión pueden ser empelados a través de otra

interfaz para establecer la gestión sobre la interfaz aire. Una entidad IEEE 802.16 se define como una entidad lógica en una SS/MS o BS que comprende las capas PHY y MAC de los Planos de Datos y Gestión/Control.

6.3.2. Bandas de frecuencia

El estándar define diferentes bandas de frecuencia que pueden ser licenciadas y no licenciadas.

6.3.2.1. Bandas de frecuencia licenciadas de 10 a 66 GHz

En este rango de frecuencias proveen un ambiente donde las longitudes de onda son muy pequeñas además que la propagación de las ondas debido a múltiples trayectos son insignificantes, unido a las características propias de propagación, determinan que para su transmisión sea necesario los requerimientos de LOS. Se definen anchos de banda del canal típicamente de 25 o 28 MHz en los cuales debido a las técnicas de modulación empleadas se alcanzan tasas de transmisión de datos de hasta 120 Mbps, bajo este ambiente es ideal para transmisiones PtMP empleadas para aplicaciones small office/home office (SOHO).

6.3.2.2. Frecuencias inferiores a los 11 GHz

En este rango de frecuencias proveen un ambiente donde las longitudes de onda son largas y la propagación de las ondas debido a múltiples trayectos puede ser significativa, determinan que para su transmisión no sean necesarios los requerimientos de LOS. Esta habilidad de soportar ambientes near-LOS y non-LOS (NLOS) requiere de funcionalidades adicionales en la capa PHY, como por ejemplo soportar técnicas avanzadas de control de potencia, coexistencia y mitigación de la interferencia y empleo de múltiples antenas.

6.3.2.3. Bandas no licenciadas 5 – 6 GHz

El ambiente que se provee en este rango de frecuencias es igual al definido anteriormente, la principal diferencia es que al ser bandas de frecuencias exentas de licencia permite emplearlas de manera libre por parte de los usuarios dependiendo de las regulaciones propias de cada país, introducen interferencias adicionales y problemas de coexistencia, para ello se definen restricciones en base a la limitación de la potencia radiada. Adicionalmente se describen ciertas características en las capas PHY y MAC en la que se introducen mecanismos que facilitaran la detección y prevención de interferencias dañinas hacia y desde otros usuarios, esto incluye un mecanismo regulatorio denominado

selección dinámica de frecuencia (Dynamic Frequency Selection-DFS).

6.3.3. Capa PHY

Como se puede apreciar en el cuadro 2.1 se describen una serie de capas, las cuales se explica con mayor detalle a continuación.

6.3.3.1. Especificación de WirelessMAN – SC

WirelessMAN-SC es la especificación de la capa PHY que establece la operación en la banda de frecuencias de 10 a 66 GHz, esta banda se encuentra diseñada para permitir a los proveedores de servicios optimizar su planificación o programación, costo, servicios y capacidad de sus sistemas desarrollados [2].

Designación	Aplicabilidad	Especificación	Duplexación
WirelessMAN-SC Release 1.0	10-66 GHz	8.1	TDD FDD
Fixed WirelessMAN-OFDM	Bandas licenciadas inferiores a 11 GHz	8.3	TDD FDD
Fixed WirelessMAN-OFDMA	Bandas licenciadas inferiores a 11 GHz	8.4	TDD FDD
WirelessMAN-OFDMA TDD Release 1.0	Bandas licenciadas inferiores a 11 GHz	8.4	TDD
WirelessMAN-OFDMA TDD Release 1.5	Bandas licenciadas inferiores a 11 GHz	8.4	TDD
WirelessMAN-OFDMA FDD Release 1.5	Bandas licenciadas inferiores a 11 GHz	8.4	FDD
WirelessHUMAN	Bandas no licenciadas	8.4 y 8.5	TDD

Cuadro 2.1: Interfaz aire, nomenclatura y variantes

Fuente: Estándar IEEE 802.16

Con la finalidad de permitir un uso flexible del espectro, se permite el soporte de dos tipos de configuraciones de duplexación; la duplexación en tiempo (TDD) y la duplexación en frecuencia (FDD), en ambos casos se usa un formato de transmisión a ráfagas, cuyo mecanismo de entramado soporta un perfil adaptativo a ráfagas, en el cual los parámetros de transmisión incluyen esquemas de modulación y codificación, que pueden ser ajustados individualmente en cada SS basados sobre una transmisión de trama por trama.

En el caso de la operación FDD, se permiten modos de transmisión, tanto, full dúplex como half duplex con sus SS, donde los canales del enlace de bajada (DL – Down Link) y el enlace de subida (UL - Up Link) se encuentran en frecuencias separadas, la capacidad del DL a ser transmitido en ráfagas permite el uso de diferentes técnicas de modulación y facilita al sistema soportar simultáneamente transmisiones full duplex y half duplex.

En el gráfico 2.3 se presenta un ejemplo de asignación del ancho de banda para una operación FDD, donde se pueden observar lo que pueden contener las denominadas subtramas DL y UL, en dicho gráfico se puede apreciar unos intervalos de tiempo determinados que permiten diferenciar a las ráfagas, los mismos que pueden ser TTG (base station (BS) transmit/receive

transition gap) o RTG (base station (BS) receive/transmit transition gap) y que serán empleados en el modo halfduplex SS.

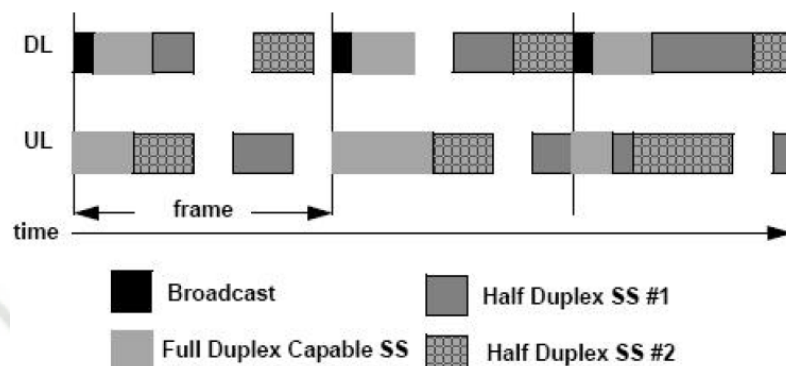


Grafico 2.3: Operación FDD

Fuente: Estándar IEEE-802.16

En el caso de una operación TDD, las transmisiones UL y DL comparten la misma frecuencia pero son separadas en tiempo, una trama FDD posee una duración fija y contiene las subtramas del DL y UL, el entramado TDD es adaptativo, en donde la asignación de los recursos de la capacidad del canal en el DL y UL puede variar. En el gráfico 2.4 podemos apreciar la estructura de la trama TDD.

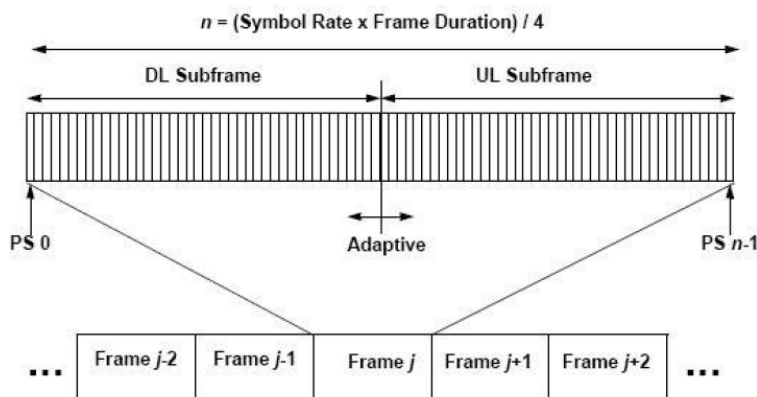


Grafico 2.4: Operación TDD

Fuente: Estándar IEEE-802.16

Los intervalos de transición TTG y RTG son usados fundamentalmente en el caso de una operación TDD, y en FDD solamente cuando se utiliza halfduplex como modo de transmisión.

Un TTG es un intervalo de tiempo de transición entre la última ráfaga del DL y la primera ráfaga del UL, este intervalo de tiempo es el necesario para que la BS pueda cambiar del modo de transmisión al modo de recepción, durante este intervalo, la BS no transmite información modulada, simplemente permite realizar un decaimiento de la portadora y cambiar el modo de la antena de transmisión a recepción y activar la sección correspondiente a la recepción de la BS, el valor de este intervalo es un número entero de duración del tamaño de una ranura (PS - Physical Slot), correspondiente a un valor límite de PS.

El RTG es un intervalo de tiempo de transición entre la última ráfaga del UL y la subsecuente ráfaga DL, este intervalo de tiempo es el necesario para que la BS cambie del modo de recepción al modo de transmisión, durante este intervalo la BS no transmite información modulada simplemente permite realizar un incremento de la portadora y cambiar el modo de antena de recepción a transmisión y activar la sección correspondiente a la transmisión de la BS, el valor de este intervalo es un número entero de duración del tamaño de un PS, correspondiente a un valor límite de PS.

La duración de las tramas soportadas pueden corresponder a valores en tiempo como 0.5 ms, 1 ms y 2 ms, dentro de una trama se definen dos tipos de subtramas, una para el UL y otra para el DL, la subtrama del DL inicia con información útil y necesaria para el control y sincronización de la trama.

En el caso de TDD, la subtrama del DL se posiciona primera seguida de la subtrama de UL, mientras que en el caso de FDD, las transmisiones de UL ocurren simultáneamente con la subtrama DL.

El UL se basa en una combinación de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) y Acceso Múltiple por Asignación Bajo Demanda (DAMA), donde el canal está dividido

en una serie de ranuras de tiempo, el número de ranuras de tiempo asignadas para un determinado uso es controlado por la MAC en la BS y puede variar en el tiempo para obtener un óptimo desempeño. El canal del enlace de DL es multiplexado en tiempo TDM, en donde la información para cada SS es multiplexada sobre un flujo de datos y es recibido por todas las SS dentro del mismo sector, para soportar FDD halfduplex en la SS, se debe proveer una porción del DL para TDMA.

El DL está basado sobre una transmisión a ráfagas TDMA, donde cada ráfaga esta diseñada para transportar unidades de datos del protocolo MAC (MPDUs – MAC Protocol Data Unit) de longitud variable, el transmisor envía la información entrante de forma randómica, lo codifica con FEC y lo mapea con una modulación QPSK, 16 QAM o 64 QAM, siendo estas dos últimas constelaciones opcionales.

El ancho de banda disponible en la dirección del enlace DL se define con una granularidad del PS, efectivamente de un minislots, donde la longitud de un minislots es de 2^m .PSs (donde el rango de m es de 0 a 7). El número de PSs asociados depende de la tasa de símbolos, la misma que es seleccionada para obtener un número entero de PSs dentro de cada trama, por ejemplo con una tasa de símbolos de 20 Mbaudios, existen 5000 PSs dentro de una trama de 1 ms.

La estructura de la subtrama del DL empleando TDD se ilustra en la figura. 2.4, donde la subtrama inicia con un preámbulo empleado para la sincronización y ecualización, seguido por una sección de control que contiene el DL-MAP y el UL-MAP, para lo cual es necesario declarar las ranuras en los cuales las ráfagas deben iniciar, la siguiente es una porción TDM que porta consigo los datos de información organizada en diferentes perfiles de ráfagas gracias a lo cual se obtienen diferentes niveles de robustez, estas ráfagas son transmitidas de acuerdo al decrecimiento de la robustez del sistema, por ejemplo con el uso de un tipo simple de FEC y parámetros fijados, los datos pueden iniciar con una modulación QPSK, seguido por 16-QAM, y luego por 64-QAM, en el caso de TDD, una TTG separa la subtrama DL de la UL.

Cada SS recibe y decodifica la información de control del DL y observa en las cabeceras de la MAC si se indica la existencia de subtramas DL restantes.

En el caso de la estructura de la subtrama DL en FDD, lo cual se aprecia en la figura. 2.5, al igual que en el caso TDD, la subtrama DL inicia con un preámbulo seguido de la sección de control de trama y una porción TDM organizada dentro de ráfagas transmitidas en orden decreciente de acuerdo a los perfiles de robustez del sistema, en esta porción TDD se puede

enviar diferentes tipos de transmisiones entre fullduplex y halfduplex, a continuación se encuentra la porción TDMA que es usada para transmitir información halfduplex a cualquier SS, con esto se permite que una SS pueda decodificar una porción específica sin necesidad de decodificar la subtrama entera. En la porción TDMA cada ráfaga inicia con su respectivo preámbulo, el mismo que sirve para una nueva sincronización, además de no necesitar ser ordenados en base a los perfiles de robustez del sistema [2].

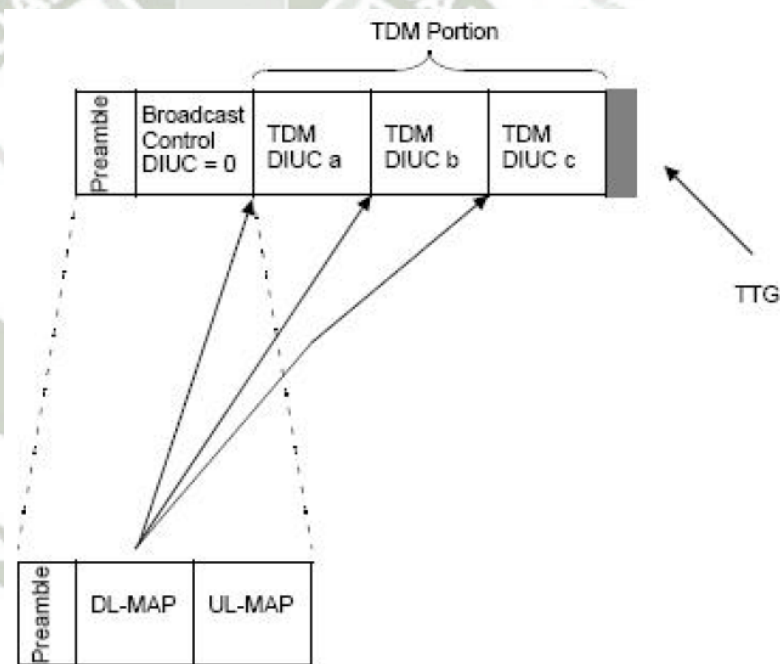


Gráfico 2.5: Estructura de la Subtrama DL en modo TDD

Fuente: Estándar IEEE-802.16

El DL incluye un *transmission convergence sublayer* (TCS) el cual inserta un byte puntero al inicio de la carga útil para ayudar al receptor a identificar el inicio de la MPDU, los bits que conforman el TCS son randómicos, codificados con FEC y mapeados a una modulación 16 QPSK, 16 QAM o 64 QAM, siendo esta última constelación opcional.

La estructura de la subtrama UL usada para la transmisión de la SS a la BS se muestra en la _g. 2.6, en esta se pueden especificar tres diferentes clases de ráfagas que pueden ser transmitidas mediante la subtrama UL, cualquiera de estas clases pueden estar presentes en una trama dada, pueden ocurrir en orden y la trama puede contener cualquier cantidad de clases limitadas al criterio del planificador de la BS, que deberá ser indicado en la sección de la trama de control, y por el número de PSs disponibles.

Para separar las transmisiones de varias SS durante la subtrama UL se emplea el intervalo de tiempo denominado SSTG (subscriber station transition gap), este permite el decaimiento de ráfagas previas, seguidas de un preámbulo que permite a la BS sincronizarse con la nueva SS, ambos preámbulo e intervalo SSTG son enviados periódicamente en el mensaje UCD (uplink channel descriptor) de forma broadcast.

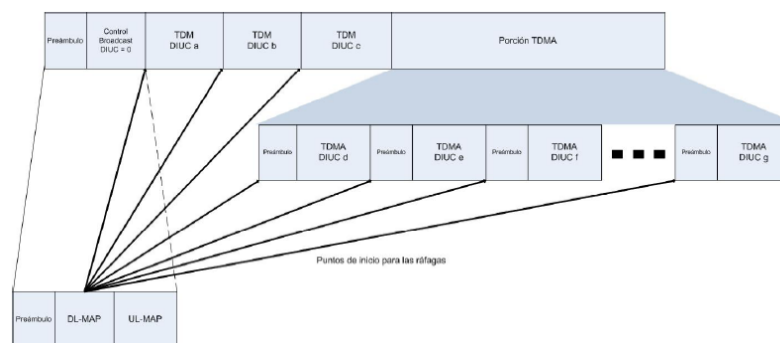


Gráfico 2.6: Estructura de la Subtrama DL en modo FDD

Fuente:

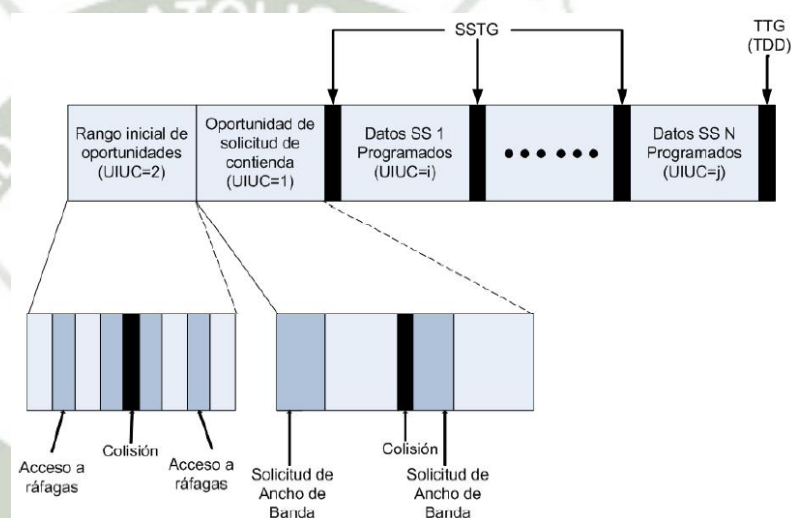


Gráfico 2.7: Estructura de la Subtrama de UL

Fuente: Estándar IEEE-802.16

el intervalo de tiempo denominado SSTG (subscriber station transition gap), este permite el decaimiento de ráfagas previas, seguidas de un preámbulo que permite a la BS sincronizarse con la nueva SS, ambos preámbulo e intervalo SSTG son enviados periódicamente en el mensaje UCD (uplink channel descriptor) de forma broadcast.

6.3.3.2. Especificación de WirelessMAN – OFDM

Esta especificación está basada sobre la modulación OFDM y diseñada para la operación NLOS en las bandas de frecuencia inferiores a 11 GHz.

En bandas licenciadas ambos métodos de duplexación pueden ser soportados FDD o TDD. En FDD las SSs emplean el modo halfduplex que es denominado H-FDD. En bandas no licenciadas, se define un solo método que es TDD.

En este tipo de capa PHY, una trama contiene transmisiones de la BS y SSs, intervalos de transición e intervalos de guarda. En esta especificación se determina que una trama consiste de una subtrama de DL y una subtrama UL, en la que una subtrama DL consiste solamente de una DL PHY PDU, mientras que una subtrama UL consiste de un intervalo de contención programado para una alineación inicial y propósitos BR (bandwidth request) y una o múltiples UL PDUs, cada una transmitida por diferentes SS.

Una PDU DL inicia con un preámbulo largo, el cual es usado para sincronización, el preámbulo es seguido de una ráfaga FCH (frame control header) de longitud igual a un símbolo OFDM que es transmitido usando modulación BPSK 1/2 con un esquema obligatorio de codificación. El FCH contiene un prefijo de trama para especificar el tipo de perfil de la ráfaga y

la longitud de una o varias ráfagas DL a ser transmitida inmediatamente después del FCH.

El FCH es seguido por uno o múltiples ráfagas DL, cada ráfaga DL consiste de un número entero de símbolos OFDM, la ubicación y el perfil de la primera ráfaga DL es especificada en el prefijo de trama (DLFP), la ubicación y perfil máximos posibles de subsecuentes ráfagas podrían también ser especificadas en el DLFP [2].

La subtrama DL podría contener de manera opcional una zona STC (space time coding) en la misma que todas las ráfagas DL son STC codificadas. Esta zona STC inicia con un preámbulo, la BS puede elegir entre varios de los siguientes modos de operación:

- No FCH – STC
- FCH – STC

La subtrama DL puede contener una zona de su canalización, la cual se define como opcional, esta zona es marcada por un DL SUBCH IE en el DL-MAP, e inicia con un preámbulo, seguido de una ráfaga FCH que es transmitida usando modulación QPSK 1/2. EL FCH es transmitido sobre 1/4 del ancho de banda y la correspondiente asignación de la portadora es definida de acuerdo a parámetros de un símbolo

OFDM. El FCH es seguido por un tráfico que se encuentra asignado sobre subcanales, esta asignación de las subportadoras de cada subcanal se definen convenientemente.

En bandas licenciadas, los métodos de duplexación pueden ser FDD o TDD, en las SSs empleando FDD pueden ser full duplex o half duplex, la BS empleando FDD puede soportar ambos tipos a la vez, mientras que en bandas no licenciadas el método de duplexación es exclusivamente TDD.

La estructura de la trama TDD está constituida convenientemente para las transmisiones entre BS y SS, en la que cada trama en el DL inicia con un preámbulo seguido de un periodo de transmisión del DL y luego un periodo de transmisión del UL, en cada trama los TTG y RTG son insertados entre el DL y UL y al final de cada trama, respectivamente, para permitir la recuperación de la BS [5].

Las estaciones base con sistemas OFDMA FDD operan en modo full duplex, mientras que las SSs pueden emplear ambos modos de transmisión tanto full duplex como half duplex en FDD y por ende la estructura de la trama debe soportar ambos modos de transmisión de manera concurrente. La estructura de la trama soporta una transmisión coordinada de las SSs en modo half duplex que comparten la trama en diferentes particiones, la

trama DL contiene dos subtramas, la primera subtrama contiene un preámbulo, una región MAP y símbolos de información, la segunda subtrama se comprende de una región MAP y una consiguiente de símbolos de información.

El espacio entre dos subtramas DL es ocupado por un intervalo DL_{GAP} como se muestra en el gráfico 2.8, su tamaño debe ser un entero (0,1,2,3), opcionalmente este intervalo de guarda puede incluir un tiempo de trama residual, ($DL_{residue} = \text{duración de la trama} - \text{tiempo total de ocupación}$), el número de símbolos en el DL_{GAP} y la asignación de DL_{residue} debe ser señalado en el DCD (downlink channel descriptor) en ambas subtramas usando "FDD DL gap", la BS no cambia la asignación ni el valor del DL_{residue} durante la operación.

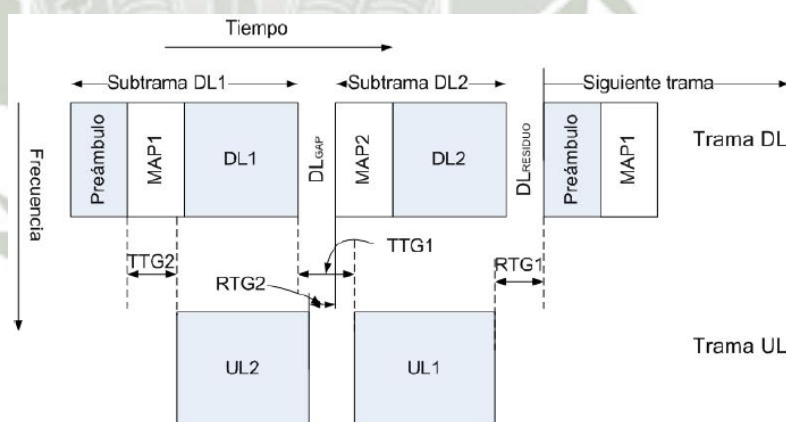


Grafico 2.8: Estructura de Trama OFDMA Genérica

Fuente: Estándar IEEE-802.16

La trama UL contiene dos subtramas UL2 y UL1, en este orden, existen 4 parámetros; TTG1, TTG2, RTG1 y RTG2 los cuales son anunciados en mensajes DCD y deben ser suficientemente largos para acomodar la transmisión y recepción H-FDD de las SSs, el tiempo de conmutación más el retardo de propagación de ida y vuelta.

La transmisión recepción se la realiza por grupos y en sus subtramas de cada SS, tanto en el enlace de subida como en el de bajada, ninguna transmisión en el enlace de subida para cualquier SS en modo H-FDD es permitida durante la transmisión del preámbulo, mientras que todas las SSs FDD en modo fullduplex pueden transmitir durante la transmisión del preámbulo.

La asignación para un usuario de transmisión en el enlace de subida es un número de subcanal de un número de subcanales de símbolos OFDMA, la estructura del entramado para el UL contiene una asignación para poner orden, la MAC fija la longitud de las tramas UL y DL.

Para el modo TDD la BS no debe asignar más de 3 rangos de elementos de información por trama:

- Uno para rango inicial del Hand Over (HO).
- Uno para un BR periódico.

- Uno para una búsqueda inicial de la MS.

La duración de las tramas varia y pueden tomar los siguientes valores en milisegundos: 2, 2.5, 4.5, 8, 10, 12.5 o 20, cada uno de ellos asociados a un código, dando lugar a un total de 256 códigos asociados a cada una de las duraciones de las tramas, donde solamente son empleados 8 códigos, el resto son reservados para determinaciones futuras. Estos valores de la duración de una trama no son un múltiplo entero de un símbolo OFDMA es por ello necesario implementar un tiempo de relleno entre el inicio y fin de alguna trama, para el caso TDD se emplean los intervalos de guarda RTG y TTG, donde cada uno de ellos posee una duración no menor a 5 μ s.

6.3.4. Subcapa MAC

Los enlaces inalámbricos IEEE 802.16 operan con la idea de trabajar con una estación base y una antena sectorizada que permite simultáneamente el manejo de múltiples sectores independientes, donde el enlace de bajada desde la BS al usuario, trabaja según la operación PtMP. Dentro de un canal de frecuencia y sector de antena, todas las estaciones reciben la misma transmisión o partes de la misma, la BS es la única que transmite en esta dirección, esta transmite sin tener que coordinar con otras estaciones a excepción del conjunto TDD que debe ser dividido en UL y DL, en el DL generalmente se lo emplea

para enviar mensajes broadcast, si en el DL-MAP no se indica explícitamente que porción del DL es para cada SS, todas las SSs son capaces de escuchar toda la subtrama, cada SS revisa el campo CID en la PDU recibida y retiene únicamente la PDU direccionada a ella.

Dominio de Regulación	Banda (GHz)	Canalización	
		20 (MHz)	10 (MHz)
USA	U-NII media 5.25-5.35	56, 60, 64	55, 57, 59, 61, 63, 65, 67
	U-NII superior 5.47-5.725	149, 153, 157, 161 165	148, 150, 152, 154 156, 158, 160, 162, 164, 166
Europa	CEPT banda B 5.47-5.725	100, 104, 108, 112, 116, 120, 124, 128, 132, 136	99, 101, 103, 105, 107, 109, 111, 113, 115, 117, 119, 121, 123, 125, 127, 129 131, 133, 135, 137
	CEPT banda C 5.725-5.875	148, 152, 156, 160 164, 168	147, 149, 151, 153, 155, 157, 159, 161 161, 163, 165, 167, 169

Cuadro 2.2: Canalización

Fuente: WIMAX Fórum

Las SSs pueden compartir el UL con las MSs bajo demanda, dependiendo de las clases de servicio empleadas las SSs podrían enviar permisos continuos para transmitir los derechos que son garantizados por las BS después de recibir una solicitud de un usuario, los mensajes pueden ser enviados en conexiones multicast o broadcast a todas las SSs.

En cada sector los usuarios adhieren un protocolo de transmisión que controla la conexión entre usuarios y servicios permitidos a ser encolados con un retardo y requerimientos de ancho de banda de cada aplicación de cada usuario. Esto es completado a través de diferentes tipos de mecanismos programados en el UL, lo cual es implementado mediante procedimientos como la garantía del ancho de banda no solicitado, poleo (encuesta), y contención, mecanismos que son definidos en el protocolo para permitir a los fabricantes optimizar el desempeño del sistema mediante el uso de diferentes combinaciones de técnicas de asignación de anchos de banda manteniendo las definiciones de interoperabilidad.

El uso de encuesta simplifica el acceso de operación y garantiza que las aplicaciones sean recibidas con una base determinística, sobre todo para las aplicaciones de datos que son tolerantes al retardo, pero aplicaciones en tiempo real como la transmisión de voz y video que requieren un servicio sobre más de una base uniforme y algunas veces una muy ajustada programación de control, este procedimiento no es el más adecuado.

La MAC es orientada a conexión, todas las comunicaciones de datos son en el contexto de una conexión de transporte, gracias a los cuales se define un mecanismo de gestión para el UL y DL de QoS para las PDUs que son intercambiados, en particular una solicitud de conexión sobre el ancho de banda del UL es garantizado por la BS a una

SS como una garantía agregada en respuesta a la solicitud de conexión desde la SS.

Una vez establecidas las conexiones, se procura mantener las mismas, este mantenimiento varía dependiendo del tipo de servicio conectado, finalmente las conexiones de transporte deben ser finalizadas, esto generalmente ocurre cuando un servicio del cliente requiere cambios, la terminación de una conexión de transporte es estimulada por la BS o la SS [6].

Cada interfaz aire en una SS debe tener una dirección MAC universal de 48 bits, como se define en el estándar IEEE Std 802, la cual es usada como parte del proceso de autenticación entre la BS y la SS donde cada una verifica la identidad de la otra. Las conexiones son identificadas por un CID de 16 bits, en la inicialización de la SS, para ello se emplean dos pares de conexiones de gestión, una conexión básica y una conexión primaria de gestión tanto en el UL como en el DL, las cuales deben ser establecidas entre la SS y la BS, y un tercer par de conexiones de gestión secundaria del UL y DL pueden ser generadas de manera opcional, los tres pares de conexiones de gestión reflejan el hecho de que existen tres diferentes niveles de QoS inherentemente ligadas para una gestión del tráfico entre la SS y la BS. La conexión básica es usada por la MAC de la BS y de la SS para intercambios cortos, mejor conocida como mensajes urgentes de gestión de MAC, la conexión primaria es usada para intercambios largos, para tráfico con

tolerancia al retardo, adicionalmente se especifica cuáles de los mensajes de gestión de MAC son transportadas sobre conexiones broadcast, finalmente la conexión de gestión secundaria es usada por la BS y SS para transferir tráfico tolerante al retardo como mensajes DHCP, Trivial File Transfer Protocol (TFTP), SNMP, etc. Estos mensajes son transportados por las conexiones secundarias y pueden ser fragmentadas o enviadas en un solo paquete. Para OFDM y OFDMA estos mensajes tienen CRC, el uso de esta conexión es requerida solamente por la SS.

Una portadora o servicios de datos no deben ser transferidos sobre conexiones de gestión básica, primaria o secundaria.

6.3.4.1. Programación de servicios

La programación de servicios o scheduling representa el manejo de los mecanismos soportados por el planificador - programador MAC para el transporte de datos sobre una conexión, cada conexión es asociada con un único servicio planificado. Una planificación del servicio es determinado por un conjunto de parámetros de QoS que cuantifican el aspecto de su comportamiento. Estos parámetros son gestionados usando los mensajes DSA (Dynamic service addition) y DSC (Dynamic service change).

Los servicios programados que son bien conocidos pueden ser implementados por un conjunto de parámetros de QoS.

Los parámetros de QoS que pueden proveer o soportar streams de datos en tiempo real, consisten de un paquete de datos de tamaño fijo distribuido en intervalos de tiempo periódicos, como T1/E1 y VoIP sin supresión de silencios, o para soportar tráfico en tiempo real de paquetes de tamaño variable como video, o tolerantes al retardo de tamaño variable en la que una tasa mínima es requerida como FTP. Para soportar streams de datos cuando no es requerido un mínimo nivel de servicio y por tanto se puede manejar sobre el espacio disponible para best effort.

6.3.4.2. Planificación de transmisión de salida

En esta planificación se selecciona los datos para la transmisión en particular la asignación de trama por ancho de banda y es desempeñado por la BS a través del DL y la SS por intermedio del UL, el planificador debe estimar pertinentemente los siguientes ítems a ser tomados en cuenta para cada servicio de flujo activo:

- El servicio de planificación especificado por cada servicio de flujo.

- Los valores asignados para el servicio de flujo de acuerdo a los parámetros de QoS.
- La disponibilidad para la transmisión de la información.
- La capacidad de ancho de banda garantizado.

6.3.4.3. Planificador de solicitud / Garantía de UL

La BS desempeña el rol de planificador con la intención de proveer a cada SS subordinada el ancho de banda necesario para la transmisión en el UL o las oportunidades para solicitar el ancho de banda, especificando un tipo de planificador y su correspondiente parámetro de QoS asociado en la BS con lo cual se puede anticipar el throughput y la latencia necesaria del tráfico UL y proveer encuesta y/o garantizar los tiempos apropiados.

En el cuadro 2.3 se puede observar la tabulación de la planificación de servicios.

Tipo de Planificación	Solicitud a cuentas	Ancho de banda permitido a robo
UGS	No permitido	No permitido
rtPS	Permitido	Permitido
nrtPS	Permitido	Permitido
BE	Permitido	Permitido

Cuadro 2.3: Planificación de servicios

Fuente: WIMAX Fórum

6.3.4.4. UGS – Unsolicited Grant Service

El UGS es diseñado para soportar flujos de servicio en el UL en tiempo real, que transportan paquetes de datos de tamaño fijo sobre un periodo, como T1, E1 y VoIP sin supresión de silencios, este servicio ofrecido elimina la sobrecarga y la latencia de las solicitudes de las SS y se asegura de garantizar un periodo en el que es disponible conocer las necesidades del flujo en tiempo real [2].

La BS debe proveer garantía de transmisión de ráfagas de IEs a la SS en un intervalo de tiempo periódico n , basado sobre una tasa mínima de tráfico reservada para el flujo de servicio, el tamaño de esta garantía debe ser lo suficiente para mantener la longitud fija de datos asociada al servicio pero debe ser lo suficientemente larga bajo la discreción del platicador BS.

Las políticas de fijación de la solicitud/transmisión deben ser tales que la SS es prohibida de usar su oportunidad de solicitud bajo contención para esta conexión, los parámetros mandatorios de QoS son la tasa de tráfico mínima reservada, máximo latencia, tipo de planificación del UL garantizado, tamaño de la SDU para servicios de longitud fija, políticas de solicitud/transmisión e intervalos garantizados no solicitados.

El GMSH (grant management subheader) es usado para pasar la información del estado del flujo de servicios UGS de la SS a la BS.

La estación base no debe asignar más ancho de banda que el definido en el parámetro Minimum Reserved Traffic Rate activado. La MS puede usar ciertos campos para detectar si el retardo experimentado por un determinado flujo de servicio en la MS excede un límite establecido.

6.3.4.5. Real Time Polling Service (rtPS)

rTPS es diseñado para soportar flujos de servicio UL en tiempo real cuando se transportan paquetes de datos de un tamaño variable, como video MPEG sobre periodos fundamentales, el servicio ofrecido es periódico en tiempo real bajo solicitudes unicast que permiten a la SS especificar el tamaño de la concesión solicitada.

El servicio requiere más sobrecarga en la solicitud que UGS, pero soporta concesión de tamaños variables para un óptimo y eficiente transporte de información. La BS provee periódicamente de oportunidades para las solicitudes unicast, con el objetivo de que el servicio trabaje correctamente. Las fijaciones de las políticas de Solicitud/Transmisión serán tales que la SS está prohibida para el uso de cualquier solicitud para una conexión.

La BS puede publicar oportunidades de solicitudes unicast prescritos para que si una solicitud precedente está actualmente insatisfecha pueda ser servida, los parámetros de QoS son la tasa de tráfico mínima reservada, tasa de tráfico máxima sostenida, máxima latencia, tipo de planificación garantizado en UL, políticas de solicitud/transmisión e intervalos garantizados no solicitados.

6.3.4.6. Non-real- time polling Service (nrtPS)

nrtPS ofrece encuesta unicast, el cual asegura que el flujo de servicio recibe una solicitud hasta la congestión de la red. La BS típicamente encuesta conexiones nrtPS sobre un intervalo en el orden de un segundo o menos.

La BS debe proveer una oportunidad de solicitud unicast. Con el objetivo de que en este servicio funcione correctamente las políticas fijadas de solicitud/Transmisión que deben ser tales que la SS es permitida de usar una solicitud de oportunidad de contención. El resultado es que la SS es permitida de usar una solicitud de contención como una oportunidad de solicitud unicast y transmisión de datos. Los parámetros mandatorios de QoS son la tasa de tráfico mínima reservada, tasa de tráfico máxima sostenida, tráfico prioritario, tipo de planificación garantizado en UL y políticas de solicitud/transmisión.

6.3.4.7. Best Effort (BE) Service

Este tipo de planificación consiste en dotar de un servicio eficiente para el tráfico BE en el UL, cuyo objetivo refiere a que el servicio trabaje correctamente, las fijaciones de las políticas de Solicitud/Transmisión deben ser tales que la SS es permitida para usar una oportunidad de solicitud de contención como unicast y oportunidades de transmisión de datos.

Todos los demás bits de las políticas son irrelevantes para la operación fundamental de esta planificación de servicio de acuerdo con las políticas de la red.

6.4. IEEE 802.16j

Es la primera enmienda al Estándar definido en el 2009, dando las especificaciones para la Repetición (Conmutación) por multisalto (Multihop Relay - MR), del 12 de junio del 2009.

Esta enmienda actualiza y expande al estándar 802.16, insertando mejoras a las especificaciones OFDMA de la capa física y de la capa de control de acceso para permitir su operación y uso en bandas licenciadas.

La repetición multisalto es un desarrollo opcional que puede ser usado para proveer cobertura adicional o ventajas de desempeño en una red de acceso, en redes MR, la BS debe ser reemplazada por una BS multisalto (MR-BS) y una o más RS.

El tráfico y la señalización entre la SS y la MR-BS son retransmitidos por la RS y por esta razón se extiende el área de cobertura y el desempeño del sistema en áreas donde las RSs son desplegadas. Cada RS está bajo la supervisión de una MR-BS. Cuando existe un sistema de más de dos saltos, el tráfico y la señalización podrían ser también por intermedio de las RSs. Las RSs deben ser de locación fija o en el caso de un acceso a la RS puede ser móvil. La SS puede comunicarse directamente con la MR-BS.

Las características del MR definidas a través de este estándar permiten al sistema de repetición por multsalto ser configurado en varios modos [2].

6.4.1. Modos de planificación en IEEE 802.16j

Se especifican dos modos de planificación para el control y asignación de los anchos de banda para una SS o RS, modo centralizado y modo distribuido.

- En el modo de planificación centralizado, el ancho de banda que es asignado para una estación subordinada de la RS es determinado por la MR-BS
- En el modo de planificación distribuido el ancho de banda asignado a estaciones subordinadas de una RS es determinado por la misma RS en cooperación con la MR-BS.

6.4.2. Modos de RSs en IEEE 802.16j

El estándar define dos diferentes tipos de modos de operación de las RSs denominadas: transparente y no transparente, una de las diferencias principales, entre otras, trata de cómo la información de framing es transmitida.

- Una RS en modo transparente puede operar solamente en el modo de planificación centralizado y se comunica con una estación subordinada y superordinada usando la misma frecuencia portadora. En este modo la información de framing no es retransmitida y con ello lo que se pretende es incrementar la capacidad de la red dentro del área de cobertura de la MR-BS en lugar de incrementar el área de cobertura del sistema inalámbrico de acceso.
- Una RS en modo no transparente puede operar en ambos modos de planificación centralizado y distribuido y se comunica con estaciones subordinadas y superordinadas usando la misma o diferentes frecuencias portadoras. En este modo la RS genera su propia información de framing o reenvía aquella que fue provista por la MR-BS, lo cual puede provocar alta interferencia entre RSs, debido a ello el incremento de la capacidad del sistema en este modo es limitado y más

bien este modo está diseñado para incrementar el área de cobertura.

6.4.3. Modos de seguridad en IEEE 802.16j

Se definen dos diferentes modos de seguridad: el primero referido como modo de seguridad centralizado y el segundo referido como modo de seguridad distribuido.

- El modo de seguridad centralizado se basa sobre gestión de llaves entre una MRBS y una SS.
- El modo de seguridad distribuido incorpora autenticación y gestión de llaves entre MR-BS y RS, además de un acceso no transparente entre RS y una SS.

6.4.4. Enmienda en la capa física (Wireless MAN – OFDMA PHY)

En la capa física se incluye una extensión para la capa OFDMA-PHY para la transmisión de PDUs PHY a través del enlace de repetición entre la MR-BS y la RS. En esta enmienda se indica que se debe cambiar una cláusula, dejando claro que para el modo TDD la BS y RS no deben asignar más de tres rangos de IEs por trama en la zona de acceso.

En sistemas MR donde los enlaces de acceso son separados en tiempo, las garantías o permisos a ser otorgadas a las RSs deben ser realizadas por parámetros RSRTG (RS receive/transmit transition gap) y RSTTG (RS transmit/receive transition gap), quienes son capaces de proveer las RS a las MR-BSs durante una admisión de red de RS, así

como ciertos requisitos adicionales. Todas las transmisiones DL deben ser alineadas en símbolos con su correspondiente en la MR-BS. Todos los UL deben avanzar en el tiempo para que la alineación de símbolos se produzca en la estación receptora con su correspondiente símbolo en la MR-BS.

6.4.4.1. Estructura de la trama TDD para el modo transparente

- Estructura de la trama para MR-BS

Cada trama en la transmisión del UL inicia con un preámbulo seguido por un FCH, DL-MAP y posiblemente UL-MAP. El R-MAP es localizado a continuación de un MAP o definido como una extensión del MAP. La estructura de trama consiste de un periodo de subtrama DL y un periodo de subtrama opcional UL. En cada trama, el TTG debe ser insertado entre una subtrama DL y UL. El RTG es insertado al final de cada trama. Esto puede ser apreciado en el grafico 2.9.

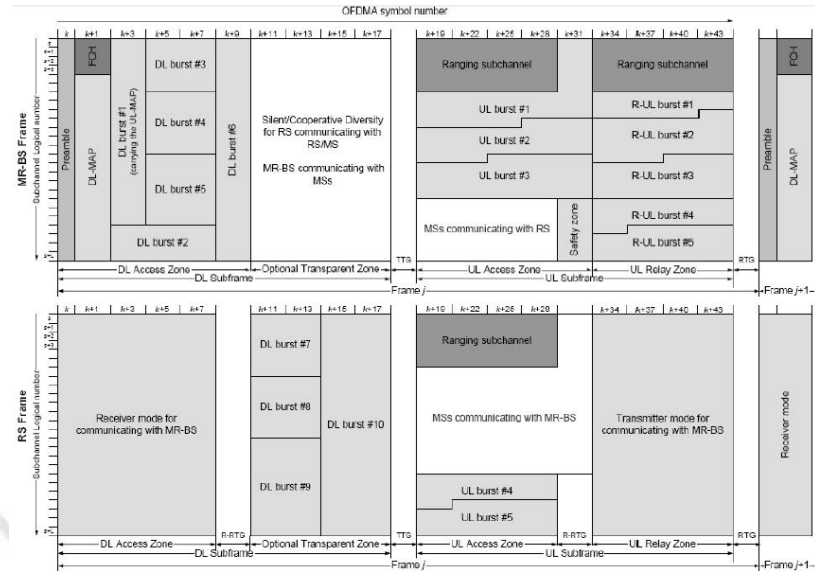


Grafico 2.9: Ejemplo de estructura para el modo transparente

Fuente: Enmienda IEEE-802.16j

- Estructura de la trama de repetición**

En una RS transparente no se transmite un preámbulo, FCH y MAP al inicio de cada trama, por lo contrario este recibe el preámbulo, FCH y MAP y una transmisión R-MAP opcional de la MR-BS. La asignación detallada para una RS en la zona de acceso se indica en el mensaje MAP y en la zona de repetición por un mensaje R-MAP. En cada trama, un TTG debe ser insertado entre la subtrama DL y UL, así como un RTG debe ser insertado al final de cada trama.

La subtrama DL debe incluir una zona de acceso para la MR-BS a la RS y transmisiones de las MSs, además deben incluir una zona transparente para transmisiones RS a MS. La subtrama UL puede

incluir una zona de acceso y puede incluir una zona de repetición para una transmisión de RS a estaciones superordinadas.

6.4.4.2. Estructura de la trama TDD para el modo no transparente TTR

La estructura de la trama para el modo no transparente TTR ((time-division transmit and receive relaying)) se puede apreciar en el gráfico 2.10, y que para soportar el modo de repetición se especifican 2 metodologías, la primera permite una o más tramas RS o MR-BS a ser agrupadas dentro de una multitrama con formato repetitivo de zonas asignadas a repetición. La MR-BS y las RSs son asignadas a transmitir, recibir o estar inactivas en cada zona de repetición dentro de una multitrama.

La segunda metodología permite a una trama simple una estructura compuesta de más de una zona de repetición, la MR-BS y RSs son asignadas a transmitir, recibir o estar inactivas en cada zona de repetición dentro de la trama.

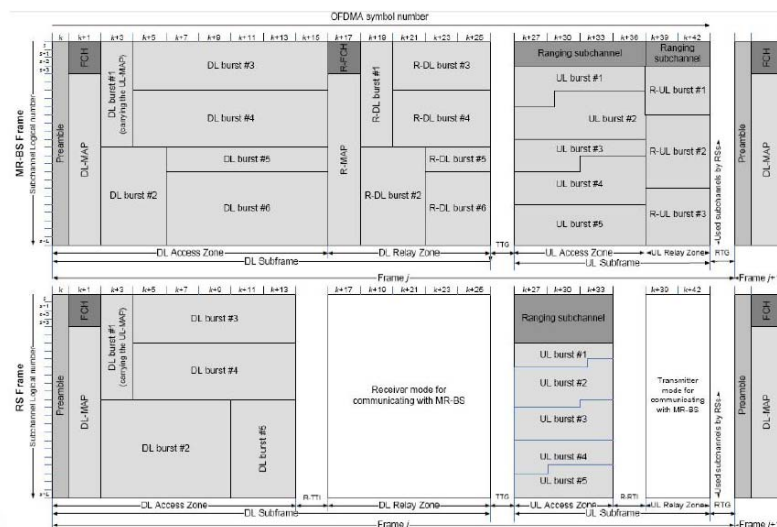


Gráfico 2.10: Ejemplo de estructura para el modo no transparente

Fuente: Enmienda IEEE-802.16j

- Estructura de trama para MR-BS para el modo TTR**

Cada trama MR-BS inicia con un preámbulo seguida por un FCH y el DL MAP, y posiblemente el UL MAP, la subtrama DL debe incluir al menos una zona de acceso DL y una o más zonas de repetición DL, mientras que la subtrama UL debe contener una o más zonas de acceso UL y una o más zonas de repetición UL. Una zona de repetición debe ser utilizada por una MR-BS para transmitir, recibir o estar inactivas, pero la MR-BS no debe ser requerida para soportar modos múltiples de operación dentro de una misma zona. En cada trama, el periodo de guarda TTG debe ser insertado entre las subtramas DL y UL. El periodo de guarda RTG debe ser insertado al final de cada trama. En la zona

de acceso DL debe contener un subcanal de asignación de recursos, la transmisión del FCH, y en la primera transmisión en una zona de repetición en DL debe incluir R-FCH y un R-MAP.

- **Estructura de trama de repetición para el modo TTR**

Una estación de repetición TTR puede desempeñar retransmisión en la misma portadora de frecuencia o sobre portadoras separadas, dependiendo de su negociación y capacidades que han sido congeladas por la comunicación con una estación superordinada y subordinadas. Cada trama RS inicia con un preámbulo y es seguido por un FCH y un DL MAP y posiblemente UL MAP. Las RS transmiten su trama iniciando con un preámbulo mediante el cual le permite sincronizarse con su estación superordinada, la subtrama UL de la RS es sincronizada con la subtrama UL de la MR-BS. La subtrama DL debe incluir al menos una zona de acceso DL y una o más zonas de repetición. La subtrama UL debe incluir una o más zonas de acceso UL o una o más zonas de repetición. Una zona de repetición debe ser utilizada para transmisión, recepción o estar inactiva, ya que la RS no está en posibilidad de soportar los modos transmisor-receptor a la vez en la misma zona. En cada trama, el TTG debe ser insertado entre la subtrama DL y la UL, el RTG debe ser insertado al final de cada trama.

6.4.4.3. Estructura de la trama TDD para el modo STR

Una estación de repetición STR (simultaneous transmit and receive relaying) soporta simultáneamente comunicación con su estación subordinada y superordinada, se especifican dos aproximaciones o metodologías para soportar STR RS. La primera usa la misma estructura definida en la estructura de una trama TDD para las tramas de MR-BS y RS. La RS recibe información en la subtrama DL y transmite información en la subtrama sobre la primer portadora con una SS.

La segunda usa una estructura definida por la estructura de la trama RS no transparente para la MR-BS y RS, permitiendo la coexistencia con TTR RS. Esta estructura de trama puede soportar más de 2 saltos de repetición incluyendo un DL para transmitir y UL para recibir sobre la segunda portadora. Si la RS no soporta RSs subordinadas en las zonas de repetición DL y UL, no deben estar presentes, finalmente la RS no debe transmitir y recibir sobre la misma portadora cuando la interferencia inducida por la operación del transmisor operando en un modo STR causa la degradación del desempeño del enlace relacionado al receptor STR.

6.4.4.4. Estructura de trama FDD para MR-BS y RS

Para una operación STR en el modo FDD, las portadoras DL/UL en el enlace entre la RS y su estación subordinada no

deben ser las mismas que aquellas que se empleen en el enlace de la RS y su estación superordinada, ya que la interferencia inducida por el transmisor operando en modo STR causa degradación del desempeño del enlace relacionado al receptor STR.

Para el TTR y RS transparente operando en modo FDD, las portadoras UL/DL y el ancho de banda del canal en el enlace entre RS y su subordinado debe ser la misma que aquel enlace entre RS y su estación superordinada. EL DL no debe ser asignado en el enlace de acceso cuando existe un enlace de repetición asignado.

6.4.4.5. Estructura de la trama FDD para el modo transparente TTR

Cuando la MR-BS y la RS transparente se comunican con ella en la subtrama 1 y 2 usando la estructura de trama definida, este puede operar en H-FDD o fullduplex FDD. Si opera en fullduplex FDD, las subtramas UL y DL del enlace de repetición puede ser solapado. El enlace de acceso de la RS y su subordinada SSs debe operar en modo H-FDD de acuerdo con la estructura de una trama FDD con excepción de que la subtrama DL en el enlace de acceso debe solo contener la zona transparente en DL o la zona de acceso UL.

6.4.4.6. Estructura de la trama FDD para el modo no transparente TTR

El TTR RS puede comunicarse con su estación superordinada en modos H-FDD o fullduplex FDD y comunicarse con sus SSs subordinadas operando en modo H-FDD solamente. Si la estructura de las tramas MR-BS y la RS TTR es la misma que la estructura de la trama FDD de la BS, el enlace de repetición entre los RS TTR y sus estaciones superordinadas deben operar en el grupo 2 H-FDD solamente, donde la TTR RS debe escuchar la subtrama 2 DL y transmitir en una subtrama de UL2. El enlace entre la RS y sus subordinadas SSs deben operar en el grupo 1 modo H-FDD solamente. Cuando la MR-BS y la TTR RS se comunican entre si empleando la subtrama 1 y 2 usando la estructura de una trama del modo no transparente TTR, debe operar en H-FDD o fullduplex FDD. Cuando opera en fullduplex FDD, la subtrama DL y UL del enlace de repetición puede ser solapada. El enlace entre RS y sus SS debe operar en H-FDD usando la estructura de trama FDD.

6.4.4.7. Estructura de la trama FDD para STR

La estructura de trama MR-BS y de la STR RS son las mismas que la estructura de la trama de la BS en modo FDD. El enlace de repetición entre la RS y la estación superordinada

debe operar en H-FDD o FDD sobre las primeras portadoras DL y UL de la RS. Cuando opera en modo H-FDD la RS debe conmutar entre grupos empleando el mismo proceso como la SS. El enlace de acceso entre la RS y sus SSs subordinadas debe operar en cualquiera de las dos H-FDD o FDD sobre las segundas portadoras de DL y UL de RS.

6.4.5. Enmienda en la capa MAC

La capa MAC incluye extensiones para la señalización y soportar funciones como red de acceso de una RS y de una SS a través de una RS, solicitud de ancho de banda, reenvío de PDUs, handover, y gestión de conexiones.

6.4.5.1. Esquema de transmisión

El estándar define dos esquemas de transmisión, ambos intentan maximizar la eficiencia del sistema agregando tráfico donde es posible. El esquema basado en TUNEL y el esquema basado en el CID. La agregación de tráfico posee dos beneficios principales: puede resultar en ganancias de eficiencia del sistema mientras menor información de señalización es enviada, y esto resulta en simplificar la administración como grupos de flujo puedan ser manejados conjuntamente.

El esquema basado en TUNEL provee soporte para túneles explícitos caracterizados por un único CID, dos puntos finales específicos (endpoints), y requerimientos de QoS.

El esquema basado en CID no tiene túneles y no soporta explícitamente agregación de tráfico, pero requiere menos complejidad. En el esquema basado en TUNEL, aproximaciones de túneles son usados para agregar tráfico desde las MSs hacia las conexiones con la RS-BS ya sea por conexiones de administración o transporte con requerimientos similares de QoS. El esquema basado en CID, por otra parte soporta únicamente conexiones de administración y de transporte de legado como se define en el estándar 802.16e-2005. Estos esquemas pueden ser diferenciados en términos de administración de QoS, manejo de error y exceso de tiempo, memoria o ancho de banda (overhead).

- **El esquema baso en TÚNEL**

En este modo, la estación al ingreso del túnel agrega una cabecera MAC al paquete o grupo de paquetes, indicando el CID del túnel que los paquetes deben atravesar. Esta cabecera es removida cuando el paquete llega a su RS destino. El uso del túnel requiere cierta inteligencia en las RSs a lo largo de la distribución de flujo de parámetros para diferentes servicios hacia las RSs en las programaciones centralizada y distribuida.

- **El esquema basado en CID**

La transmisión de los paquetes se basa en el CID de la estación de destino, en la programación centralizada la BS envía un

mensaje a la RS, describiendo las características del canal de enlace de repetición, incluyendo un campo extra especificando el retraso asociado con cada paquete ya sea en DL como en UL, así las RSs conocen en que trama cada paquete deberá transmitirse, esto es necesario para conocer los requerimientos de QoS de cada conexión. En el caso distribuido la RS conoce los requerimientos de QoS de cada conexión y por lo tanto puede tomar sus propias decisiones de programación.

6.4.6. Administración de Enrutamiento y Trayecto

El enrutamiento en sistemas con 802.16j que soporta multisalto, se deben tomar decisiones entre la RS y una MS asociada en el que la administración de trayecto se refiere al establecimiento, mantenimiento y emisión del mismo, para las cuales se han propuesto diferentes técnicas.

6.4.6.1. Selección de enrutamiento / Trayecto

EL estándar proporciona decisiones de enrutamiento basadas en métricas como la disponibilidad del recurso de radio, calidad del enlace de radio y carga de tráfico en las RSs, pero no indica como la decisión debería ser tomada, la definición de decisión de la selección del trayecto se deja a criterio del fabricante. Las decisiones son tomadas en la MR-BS basada en la información provista por las RSs. Los mecanismos de administración de trayecto son usados para crear el trayecto de

una manera apropiada. El estándar define dos aproximaciones de administración de trayecto: integrado y explícito. La diferencia entre estas dos aproximaciones radica en como la información de señalización es distribuida para administrar el trayecto en el sistema.

6.4.6.2. Aproximación integrada de administración de Trayecto

En esta aproximación se usa un esquema hereditario de asignación de CID. La BS asigna CIDs hacia sus estaciones subordinadas así como los CIDs asignados a todas las RSs de cualquier estación son un subconjunto de CIDs asignados para esa estación. De esta forma no existe tabla de enrutamiento específico en cada RS y una reducida necesidad por señalar la actualización de la información de trayecto.

6.4.6.3. Aproximación explícita de administración de Trayecto

Esta aproximación usa una señalización con mecanismo end-to-end para distribuir la tabla de enrutamiento a lo largo del trayecto. La MR-BS envía necesariamente información a las RSs involucradas en el trayecto cuando este es creado, removido o actualizado. Cada trayecto es identificado por identificadores de trayecto al cual los CIDs están ligados, así existe una tabla de enrutamiento más pequeña en las RSs y una

reducción del overhead requerido para actualizar dichas tablas.

Opcionalmente la MR-BS puede incluir los requerimientos de QoS asociados a cada CID que permiten a las RSs realizar decisiones independientes respecto a la programación de distribución de paquetes.

6.4.7. Alcance (Ranging) y Entrada de Red

Existen dos diferentes aspectos para la entrada de red en 802.16j, diferencias relacionadas con la entrada a la red para la MS y procedimientos de entrada de red para las RSs. Como 802.16j debe mantener la compatibilidad con terminales anteriores, el procedimiento de entrada de red debe mantenerse sin cambios, aun así existen diferencias en cuanto cómo la BS y las RSs realizan dicho procedimiento partiendo del hecho que la red necesita determinar que nodo deberá ser el nodo de acceso para la MS.

- **Alcance inicial de MS en modo transparente de repetición**

Las RSs monitorizan el canal de alcance en la zona de acceso de UL y transmite los códigos de alcance que recibe hacia la BS. La BS espera un tiempo específico por otro mensaje con el mismo código de alcance desde otras RSs y determina el camino más apropiado para la estación, este puede ser directo o a través de una RS; si el camino directo es escogido, la BS

envía una respuesta directamente a la MS, si el camino es vía RS, la respuesta es enviada a la RS la cual retransmite la respuesta hacia la MS.

- **Alcance inicial de MS en modo no transparente de repetición**

Debido a limitaciones legadas, las MSs escogen la MR-BS o la RS en modo no transparente con el preámbulo más fuerte detectado, es decir que esencialmente no existe decisión del trayecto a tomar, ya que la MS se está comunicando con una sola RS. Como la BS toma la decisión de la entrada de red, la RS debe comunicarse con la BS para asegurar que se le permite la entrada de red a la MS. El caso centralizado involucra comunicar toda la información de alcance de regreso a la BS, pero en el caso distribuido la RS maneja las funciones de alcance y simplemente crea una entrada de red a la BS. El proceso de entrada de red para las RSs incorporan pasos adicionales y define un proceso de alcance específico, más específicamente, la entrada de red se sustenta en el descubrimiento del vecindario y el proceso de medida seguido por un algoritmo de selección del trayecto para determinar la estación de acceso más conveniente para la RS.

- **Alcance inicial de RS**

Durante el proceso la BS o la BS en modo no transparente puede determinar si un nodo de alcance es una RS basada en el código de alcance usado, un conjunto de códigos de alcance son reservados para las RSs. De esta manera las RSs en modo transparente puede fácilmente ignorar el alcance enviado por otras RSs, también esto habilita la prioridad para el alcance enviado por una cierta RS. El resto del alcance inicial para las RSs es similar al de las MSs en modo de repetición no-transparente.

- **Entrada de red de RS**

Luego del alcance inicial, la autenticación y el proceso de registro, la BS debe requerir que la RS determine la fuerza de la señal de cada RS vecina y retransmitirla a la BS. La BS puede entonces determinar la estación de acceso más conveniente a la cual asociar la RS basada en carga de tráfico, fuerza de la señal, etc. EL paso final para la entrada de red es la configuración de los parámetros de RS incluyendo su modo de operación y modo de programación.



CAPÍTULO III: PROPUESTA DE UN MODELO

2. PROPUESTA DEL MODELO

2.1. Caso de estudio

Comprende el área geográfica, en el que como ejemplo se pretende desarrollar el proyecto, la cual referimos a uno de los distritos rurales de la provincia de Arequipa que por división política forma parte de las 08 provincias que conforman el departamento.

Arequipa como provincia tiene una superficie de 10,430.12 Km² y está constituida por 29 distritos Municipales como son: Alto Selva Alegre, Arequipa, Cayma, Cerro Colorado, Characato, Chiguata, Jacobo Hunter, Jose Luis Bustamante y Rivero, La Joya, Mariano Melgar, Miraflores, Mollebaya Paucarpata, Pocsi Polobaya, Quequeña, Sabandia, Sachaca, San Juan de Sigüas, San Juan de Tarucani, Santa Isabel de Sigüas, Santa Rita de Sigüas, Socabaya, Tiabaya, Uchumayo, Vitor, Yanahuara, Yarabamba y Yura. [23].



Gráfico 3.1: Mapa del departamento de Arequipa

Fuente: INEI 2011

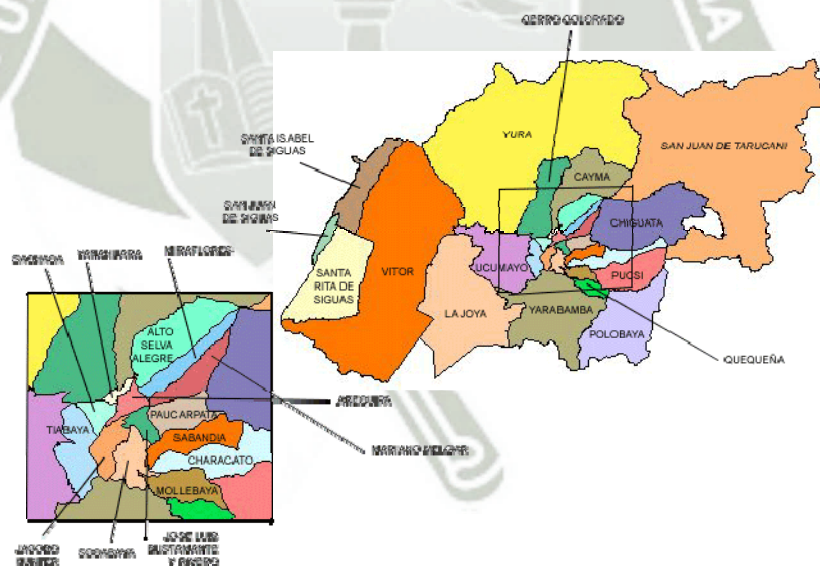


Gráfico 3.2: Mapa de la provincia de Arequipa

Fuente INEI 2013

2.1.1. Zona de cobertura

Este proyecto busca el despliegue de red de acceso de banda ancha en entornos rurales, zona en la cual se implementa una infraestructura como expansión al área de cobertura de una BS.

De acuerdo a nuestro caso de estudio como ejemplo para el desarrollo de la red de este trabajo consideramos como zona de cobertura al distrito de Chiguata, el cual por sus diferentes condiciones reúne características de zona rural.

- **Distrito de Chiguata**

Chiguata es uno de los 29 distritos que conforman la [provincia de Arequipa](#) en el [Departamento del mismo nombre](#), bajo la administración del [Gobierno regional](#) de Arequipa, en el sur del [Perú](#). Limita por el norte con el [Distrito de San Juan de Tarucani](#); por el sur con los distritos de [Characato](#) y [Sabandía](#); por el oeste, con los distritos de [Mariano Melgar](#), [Characato](#) y [Miraflores](#); y por el este, con los distritos de [San Juan de Tarucani](#) y [Puquina](#) (Moquegua).

- **Tipo de actividad económica**

La actividad económica del distrito se encuentra básicamente contemplada en 3 grupos como son: La agricultura, la ganadería y el turismo; constituyendo este último uno de los aspectos más importantes en el desarrollo del distrito.

2.1.2. Ubicación

Chiguata se encuentra ubicada a 30 km al nor-este de la ciudad de [Arequipa](#) (45 minutos en auto aproximadamente), Cerca del [volcán Pichu-Pichu](#). Sus coordenadas centrales se ubican a 71º 24' al Oeste y 16º 24' al Sur, tiene un área total de 36 200 ha y está emplazada entre los 2800 – 5100 msnm. El gráfico 3.3 nos da una idea de la ubicación y distancia de respecto a la ciudad de Arequipa, específicamente respecto al distrito de Paucarpata.



Gráfico 3.3: Imagen geográfica – zona en estudio

Fuente: Google Earth

2.1.3. Posibles Clientes del servicio

Este caso de estudio comprende una primera etapa en la que se pretende beneficiar a las instituciones del lugar, siendo ellas de momento las de mayor necesidad de acceso al medio en el distrito.

2.1.3.1. Entidades en el distrito

✓ Institución Educativa 40127 “Señor del Espíritu Santo”

Nivel Primario

40127 SEÑOR DEL ESPIRITU SANTO

Primaria
Pública - Sector Educación
Código modular: 0219345
Código de local: 060310
Estado: Activo

Calle 27 De Octubre S/N
Distrito: Chiguata
Provincia: Arequipa
Departamento: Arequipa
UGEL Arequipa Sur

Gráfico 3.4: Ficha Institucional – IE 40127- nivel Primario

Fuente: Ministerio de Educación

Matrícula por grado y sexo, 2012

Nivel	Total		1° Grado		2° Grado		3° Grado		4° Grado		5° Grado		6° Grado	
	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M
Primaria	29	27	4	3	1	3	6	2	4	4	4	5	10	10

Cuadro 3.1: Estadística de Matriculas Grado y Sexo - IE

40127 – Nivel Primario

Fuente: Ministerio de Educación

Matrícula por periodo según grado, 2004-2012

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Total	117	102	114	72	75	81	60	63	56
1° Grado	16	15	20	14	4	5	8	4	7
2° Grado	22	17	17	16	17	11	6	10	4
3° Grado	17	17	15	15	12	18	7	8	8
4° Grado	21	14	21	10	17	12	18	8	8
5° Grado	17	22	15	9	13	17	6	22	9
6° Grado	24	17	26	8	12	18	15	11	20

Cuadro 3.2: Estadística de Matriculas por Periodo - IE

40127 – Nivel Primario

Fuente: Ministerio de Educación

Docentes, 2004-2012

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Total	7	6	6	6	6	6	6	7	7

Cuadro 3.3: Estadística Docente - IE 40127 – Nivel

Primario

Fuente: Ministerio de Educación

✓ Institución Educativa 40127 “Señor del Espíritu Santo”

Nivel Secundario

40127 SEÑOR DEL ESPIRITU SANTO

Secundaria

Pública - Sector Educación

Código modular: 0501189

Código de local: 060310

Estado: Activo

Calle 27 De Octubre S/N

Distrito: Chiguata

Provincia: Arequipa

Departamento: Arequipa

UGEL Arequipa Sur

Gráfico 3.5: Ficha Institucional – IE 40127 – Nivel

Secundario

Fuente: Ministerio de Educación

Matrícula por grado y sexo, 2012

Nivel	Total		1° Grado		2° Grado		3° Grado		4° Grado		5° Grado	
	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M
Secundaria	26	31	9	5	7	6	4	7	4	7	2	6

Cuadro 3.4: Estadística de Matriculas Grado y Sexo – IE

40127 – Nivel Secundario

Fuente: Ministerio de Educación

Matrícula por periodo según grado, 2004-2012

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Total	140	115	107	75	78	65	57	56	57
1° Grado	16	16	23	13	10	10	16	14	14
2° Grado	24	15	19	18	18	11	7	12	13
3° Grado	24	23	15	16	18	14	9	10	11
4° Grado	40	23	28	12	18	15	11	8	11
5° Grado	36	38	22	16	14	15	14	12	8

Cuadro 3.5: Estadística de Matriculas por Periodo – IE

40127 – Nivel Secundario

Fuente: Ministerio de Educación

Docentes, 2004-2012

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Total	12	12	12	12	11	9	10	10	10

Cuadro 3.6: Estadística Docente – IE 40127 – Nivel

Secundario

Fuente: Ministerio de Educación

✓ Institución Educativa 40637 “Fernando Belaunde Terry”

Nivel Inicial

40637 FERNANDO BELAUNDE TERRY

Inicial - Jardín

Pública - Sector Educación

Código modular: 1337252

Código de local: 060367

Estado: Activo

Avenida Andres Avelino Caceres S/N

Distrito: Chiguata

Provincia: Arequipa

Departamento: Arequipa

UGEL Arequipa Sur

Gráfico 3.6: Ficha Institucional – IE 40637 – Nivel Inicial

Fuente: Ministerio de Educación

Matrícula por edad y sexo, 2012

Nivel	Total		0 Años		1 Año		2 Años		3 Años		4 Años		5 Años		6 Años		7 Años	
	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M
Inicial - Jardín	12	4	0	0	0	0	0	0	4	1	3	3	5	0	0	0	0	0

Cuadro 3.7: Estadística de Matriculas Grado y Sexo – IE

40637 – Nivel Inicial

Fuente: Ministerio de Educación

Matrícula por periodo según edad, 2004-2012

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Total	21	21	17	17	8	13	15	16	16
0 Años	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 Año	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 Años	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 Años	3	4	2	3	0	2	3	3	5
4 Años	10	8	7	3	4	4	7	6	6
5 Años	8	9	8	11	4	7	5	7	5
6 Años	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 Años	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Cuadro 3.8: Estadística de Matriculas por Periodo – IE

40637 – Nivel Inicial

Fuente: Ministerio de Educación

Docentes, 2004-2012

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Total	1	1	1	1	1	1	1	2	1

Cuadro 3.9: Estadística Docente – IE 40637 – Nivel Inicial

Fuente: Ministerio de Educación

✓ Institución Educativa 40637 “Fernando Belaunde Terry”

Nivel Primario

40637 FERNANDO BELAUNDE TERRY

Primaria

Pública - Sector Educación

Código modular: 0745919

Código de local: 060367

Estado: Activo

Avenida Andres Avelino Caceres S/N

Distrito: Chiguata

Provincia: Arequipa

Departamento: Arequipa

UGEL Arequipa Sur

Gráfico 3.7: Ficha Institucional – IE-40637 – nivel

Primario

Fuente: Ministerio de Educación

Matrícula por grado y sexo, 2012

Nivel	Total		1° Grado		2° Grado		3° Grado		4° Grado		5° Grado		6° Grado	
	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M
Primaria	27	23	4	5	2	5	6	1	6	1	6	5	3	6

Cuadro 3.10: Estadística de Matriculas Grado y Sexo – IE-

40637 – nivel Primario

Fuente: Ministerio de Educación

Matrícula por periodo según grado, 2004-2012

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Total	107	99	93	87	75	65	55	48	50
1° Grado	17	14	11	9	11	10	10	7	9
2° Grado	18	16	15	12	12	11	7	8	7
3° Grado	18	16	17	15	13	11	9	5	7
4° Grado	17	18	18	16	10	10	9	11	7
5° Grado	20	15	18	16	14	10	11	9	11
6° Grado	17	20	14	19	15	13	9	8	9

Cuadro 3.11: Estadística de Matriculas por Periodo – IE-40637 – nivel Primario

Fuente: Ministerio de Educación

Docentes, 2004-2012

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Total	5	6	6	6	6	6	6	8	7

Cuadro 3.12 Estadística Docente – IE-40637 – nivel Primario

Fuente: Ministerio de Educación

✓ Institución Educativa 40637 “Fernando Belaunde Terry”

Nivel Secundario

40637 FERNANDO BELAUNDE TERRY

Secundaria
Pública - Sector Educación
Código modular: 1337260
Código de local: 060367
Estado: Activo

Avenida Andres Avelino Caceres S/N
Distrito: Chiguata
Provincia: Arequipa
Departamento: Arequipa
UGEL Arequipa Sur

Gráfico 3.8: Ficha Institucional – IE 40637 – Nivel

Secundario

Fuente: Ministerio de Educación

Matrícula por grado y sexo, 2012

Nivel	Total		1° Grado		2° Grado		3° Grado		4° Grado		5° Grado	
	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M	H	M
Secundaria	34	22	8	4	5	5	12	3	4	8	5	2

Cuadro 3.13: Estadística de Matriculas Grado y Sexo – IE

40637 – Nivel Secundario

Fuente: Ministerio de Educación

Matrícula por periodo según grado, 2004-2012

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Total	63	70	87	79	76	71	69	48	56
1° Grado	21	18	25	17	20	16	18	13	12
2° Grado	20	20	16	21	15	16	11	11	10
3° Grado	22	18	16	15	18	13	13	12	15
4° Grado	0	14	16	11	11	16	14	7	12
5° Grado	0	0	14	15	12	10	13	5	7

Cuadro 3.14: Estadística de Matriculas por Periodo – IE

40637 – Nivel Secundario

Fuente: Ministerio de Educación

Docentes, 2004-2012

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Total	5	7	9	9	7	9	9	9	9

Cuadro 3.15: Estadística Docente – IE 40637 – Nivel

Secundario

Fuente: Ministerio de Educación

✓ **Municipalidad Distrital de Chiguata**

Institución gubernamental actualmente representada por un alcalde y 04 regidores de acuerdo a su concejo municipal para el periodo 2011 – 2014. Está organizada través de distintas áreas en la que participan diferentes profesionales así como su población en general.

✓ **Comisaría de Chiguata**

Organismo encargado de la seguridad y la representación de la Policía Nacional en el distrito, teniendo a su cargo el control de acceso y salida a la ciudad de Arequipa a través de la Carretera que une al departamento de Puno, Cusco y Moquegua (carretera antigua) a través de la reconocida reserva de Salinas.

Esta entidad constituye su ubicación en 02 puntos de la zona en estudio. El primero ubicado en la afueras del distrito con el objetivo principal del control de acceso y salida a la ciudad de Arequipa y el segundo ubicado en la plaza principal de Chiguata como resguardo y representación de la entidad policial en el Distrito.

✓ **Centro de Salud – Chiguata**

Centro medico representante del ministerio de salud en el distrito, que tiene a su cargo la asistencia médica al poblador así como la atención de primer nivel frente a cualquier emergencia sanitaria en la zona.

✓ **Parroquia de Chiguata**

De acuerdo a la representación de la iglesia católica en el Perú, la parroquia de chiguata constituye la institución representativa de la misma en el distrito, realizando diferentes acciones propias de la iglesia con los pobladores de la zona.

2.1.4. Problemática tecnológica en la zona de estudio

De acuerdo a la evaluación realizada al distrito, vinculando principalmente en esta primera etapa a las instituciones que constituyen los clientes del servicio en este trabajo, hallamos diferentes aspectos como problemática tecnológica propia de falta de acceso a la red de banda ancha en entornos rurales.

- Todas la instituciones en el distrito se encuentran en la necesidad de acceso a la red ya que ellas deben realizar diferentes acciones vía web como parte del flujo de trabajo diario.
- Existen algunos accesos a la red vía Wi-Fi, sin embargo este es vulnerable e inestable propia de la tecnología en el uso de largas distancias.
- Existe conexión satelital para el acceso a la red, sin embargo este es limitado, además de tener un costo alto, por lo que no todas las instituciones acceden a ella.
- El sector educación se ve totalmente aislado de la conexión ya que sus laboratorios de cómputo se encuentran sin acceso a la red de internet, perjudicando este tema en gran medida a los estudiantes y docentes, excluyéndolos de este modo en el desarrollo tecnológico.

- La gestión pública se ve aislada y en la necesidad de contratar servicios satelitales para el acceso a las redes,
- No existe ninguna compañía de telecomunicaciones en el lugar que brinde acceso a la red de banda ancha.

La gestión para el seguro de salud por parte de la población es más lenta ya que las fichas de los seguros deben ser ingresados vía web, por tanto el personal del centro de salud debe llegar a la ciudad de Arequipa para realizar en ingreso de los mismos.

2.2. Propuesta del modelo

2.2.1. Descripción de la propuesta

La propuesta del modelo de infraestructura de red presentada en este trabajo afronta la implementación de una topología multisalto basada en los estándares IEEE 802.16d y 802.16j enfocándose en el análisis de las redes en malla distribuidas, con lo cual se busca expandir la cobertura de una estación de base (BS) y superar problemas de acceso al medio (acceso a la red) en zonas rurales, que podemos generalizar en tres grandes aspectos:

- **Capacidad.** Situación en la que se busca tener mayor velocidad de transmisión posible al descargar o enviar información

- **Cobertura.** brindar la posibilidad de conectividad a la red en cualquier lugar sin importar el momento en el que es solicitado el servicio.
- **Movilidad.** podemos considerar factores concernientes a la velocidad de movimiento que lleva el receptor, así como los cambios de posición de mismo.

2.2.2. Arquitectura de la red

2.2.2.1. Topología

En la disminución de los costos la estandarización en la fabricación de equipos juega el papel más importante [10], sin embargo una arquitectura en malla permite ofrecer una solución económica que facilite extender la cobertura de una red inalámbrica de área metropolitana (WMAN) Nuestro modelo está conformado por la combinación de una arquitectura Punto Multipunto (Point to Multipoint, PMP) y una arquitectura multisalto de la red tipo Malla (MESH), siendo esta última la característica principal de este trabajo, así podemos apreciar en el gráfico 3.9.

El estándar IEEE 802.16j describe característica de la capa física y la capa MAC para una implementación de arquitectura multisalto haciendo la posibilidad de una implementación en malla. Las aplicaciones soportadas por una red WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) utilizan en la capa física,

además de multiplexación por división de frecuencia ortogonal (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM), acceso múltiple por división de frecuencias ortogonales (OFDMA) tecnología emergente que proporciona un alto desempeño para las redes móviles de tercera generación. Esto le permite a la tecnología como WIMAX ofrecer varios servicios con la misma infraestructura, operando en las banda licenciada de: 3.5 GHz. La cual ha sido elegida por su condición de operación bajo licenciamiento.

La utilización de una arquitectura multisalto enmallada permite ofrecer una solución económica que facilite extender la cobertura de una red inalámbrica de área metropolitana (Wireless Metropolitan Area Network, WMAN), podemos apreciar en el gráfico 3.9 la combinación de estas dos arquitecturas soportadas por esta tecnología: punto multipunto (Point to Multipoint, PMP) y Multisalto.

Se tiene además algunos usuarios a los que llamaremos “nodos remotos” los cuales pueden encontrarse a una distancia relativamente mayor de la estación base (Base Station, BS), la cual tiene la tarea de operar como Gateway de conexión hacia la nube u otros tipos de redes. Por consiguiente, a través de la implementación de la arquitectura tipo Multisalto, los “nodos remotos” alcanzan hacer uso de los servicios de la red mediante los suscriptores (nodos que se encuentran dentro del área de cobertura

y disponen de los servicios de red) que se localizan muy cerca de los nodos remotos.

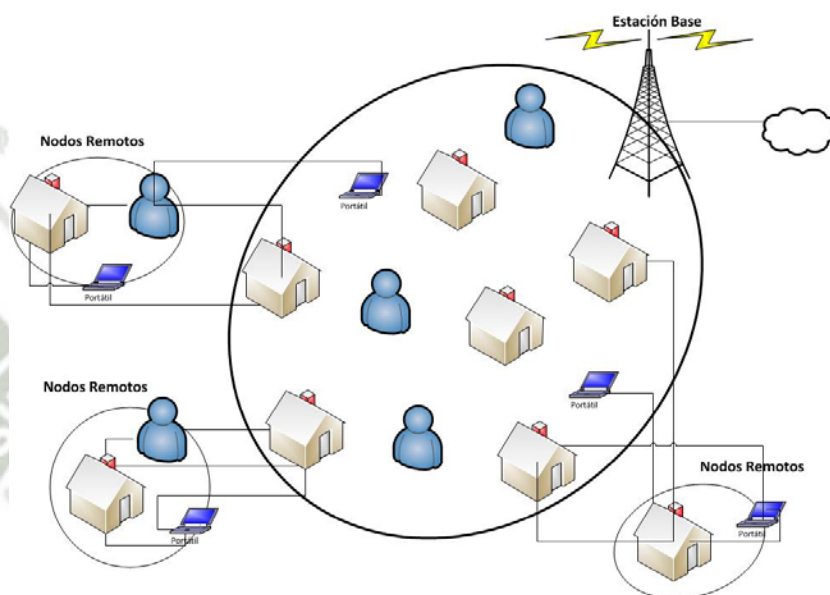


Gráfico 3.9: Arquitectura de red

Fuente: Elaboración propia

2.2.2.2. Modelo Jerárquico para la red WIMAX

2.2.2.2.1. Red de núcleo

Comprende la red de transporte de alta velocidad la cual además comunicara el sistema general de estaciones base hacia la nube mediante el ISP (Proveedor de servicios de internet).

2.2.2.2.2. Red de distribución

Está referida a las estaciones base (BS) necesarias para cubrir una determinada zona las cuales además estarán interconectadas formando una red de distribución y comunicación del sistema

2.2.2.2.3. Red de acceso

Está compuesta por los usuarios finales o estaciones suscriptoras (SS), además de los nodos remotos lo cuales podrán tener acceso al sistema mediante los SS cercanos a los mismos.

Este módulo jerárquico del diseño de nuestra red es en la que se despliega nuestra propuesta para la implementación de una topología en malla sin coordinador central, así lograr expandir el alcance de una estación base (BS).

2.3. Diseño de la red

2.3.1. Ubicación de las estaciones base

La estación base (BS) es la encargada de brindar la cobertura de red en un área o radio determinado y que podría ser parte de la red de distribución y/o red de núcleo de acuerdo al modelo de estudio de un determinado proyecto.

Para determinar su correcta ubicación deberá ser sometido a un estudio detallado el terreno y zona a la cual se pretende brindar el

servicio con este elemento, lo cual no es materia de investigación de este trabajo, ya que basamos nuestro proyecto en la posibilidad de extender la cobertura de una BS.

Para el caso de nuestro ejemplo contempla la ubicación de una estación base (BS) cercana a la zona que pretendemos alcanzar (el distrito de chiguata), cuya ubicación ha sido determinada en el estudio “Diseño de red para un servicio portador en la ciudad de Arequipa” [Tesis PreGrado Andrés Valdivieso y José Carlos Bustamante PUCP 2011] como parte de la cobertura de la ciudad de Arequipa al distrito de Mariano Melgar y Paucarpata.

Podemos apreciar en los gráficos 3.10 y 3.11 la ubicación geográfica propuesta de una estación base la cual se encuentra direccionada tanto a la zona urbana como rural; a través de la cual se realizara la representación de nuestro modelo. Para la cual se toma en consideración una distancia garantizada de cobertura de 5.5 Kilómetros dese la misma, la cual está representada a través de la línea de color rojo.



Grafico 3.10: Rayo de cobertura Urbana

Fuente: Elaboración Propia



Gráfico 3.11: Rayo de cobertura Rural

Fuente elaboración propia

El cuadro 3.16 nos muestra las coordenadas geográficas para la ubicación de la estación base.

Cerro	Altura msnm	Zona de Cobertura	Coordenadas Geográficas	
			Latitud	Longitud
Cumbre Mayor	2952.00	Rural Chiguata, no alcanzando al centro poblado.	16°24'2.66"S	71°26'48.05"W

Cuadro 3.16: Coordenadas Geográficas - Estación Base

Fuente: Elaboración propia

2.3.2. Ubicación de las estaciones suscriptoras

Las estaciones suscriptoras (SS) están ubicadas y compuestas por los equipos cliente que reciben el servicio que les proveerá la estación base (BS) a la cual están conectados, los cuales podrían ser fijos o con tecnología móvil, para esta investigación consideramos únicamente estaciones suscriptoras fijas, las mismas que están ubicadas dentro del área de cobertura que puede brindar una estación base.

Estas estaciones suscriptoras (SS) para este trabajo de investigación forman parte de la red de distribución ya que será mediante ellas que los nodos remotos puedan acceder a los servicios de la red banda ancha.

De acuerdo al escenario propuesto en nuestro caso de ejemplo podemos ubicar estaciones suscriptoras (SS) en las zonas cercanas al centro poblado de Chiguata, las mismas que cobran gran importancia por estar dentro del área de cobertura de la estación base y ser parte del distrito. El grafico 3.12 nos da una idea de la ubicación de las mismas.



Gráfico 3.12: Rayo de cobertura – Estaciones suscriptoras

Fuente: Elaboración propia

La Estación Suscriptora - Residencial es la SS que hará posible el acceso a la red de los nodos remotos por ser el más cercano a ellos, sin embargo consideramos dos estaciones más; La Estación Suscriptora – Residencial – Comercial y La Estación Suscriptora – Puesto Policial, como parte de la infraestructura y topología de nuestro modelo.

El cuadro 3.17 nos muestra las coordenadas geográficas para la ubicación de las estaciones suscriptoras (SS).

Descripción	Altura msnm	Coordenadas Geográficas	
		Latitud	Longitud
SS - Residencial – Comercial	2858.70	16°24'19.99"S	71°24'56.25"W
SS - Puesto Policial	2824.60	16°24'28.45"S	71°25'3.40"W
SS – Residencial	2918.50	16°24'22.54"S	71°23'53.23"W

Cuadro 3.17: Coordenadas Geográficas – Estaciones Suscriptoras

Fuente: Elaboración propia

2.3.3. Nodos remotos

Comprende todas aquellas estaciones que se encuentran fuera del rango de cobertura de una estación base, las mismas que harán posible su acceso a la red mediante las estaciones suscriptoras.

Estos nodos remotos forman parte de la red de acceso o usuarios finales, materia en la cual se centra el desarrollo de este trabajo.

Podemos apreciar en la gráfico 3.13 la distribución geográfica con la que se busca beneficiar a los usuarios finales para el caso de nuestro ejemplo.

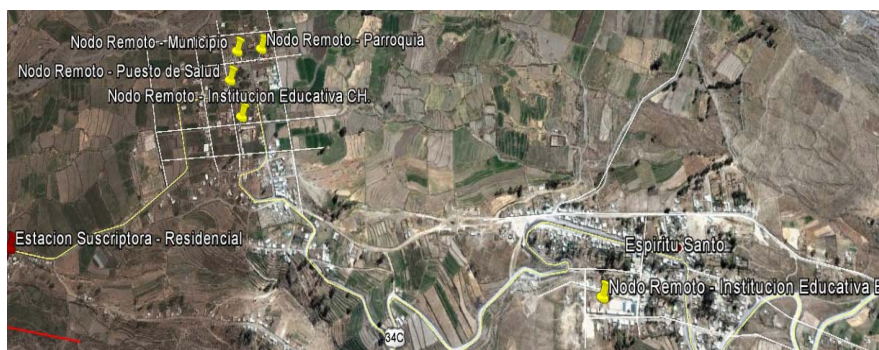


Gráfico 3.13: Distribución Geográfica – Nodos Remotos

Fuente: Elaboración propia

La tabla 3.18 nos muestra las coordenadas geográficas para la ubicación de los nodos remotos (NR).

Descripción	Altura msnm	Coordenadas Geográficas	
		Latitud	Longitud
NR - Institución Educativa CH.	2971.80	16°24'12.91"S	71°23'31.01"W
NR - Puesto de Salud	2966.90	16°24'9.88"S	71°23'32.52"W
NR - Municipio	2966.60	16°24'7.47"S	71°23'32.05"W
NR - Parroquia	2972.10	16°24'7.34"S	71°23'29.56"W
NR - Institución Educativa E.	3057.40	16°24'26.88"S	71°22'56.14"W

Cuadro 3.18: Coordenadas Geográficas – Nodos Remotos

Fuente: Elaboración propia

2.3.4. Usuario de la red

Determinar el número de usuarios que tiene una red inalámbrica juega un papel muy importante en el diseño de una arquitectura y topología de red, ya que esto permitirá una mejor distribución y administración de los recursos técnicos, económicos y humanos.

Este proyecto centra su atención en la idea de beneficiar zonas rurales, en la cuales no se busca la densidad poblacional de usuarios, sino más bien el aporte como derecho de acceso a una red de banda ancha como medio de apoyo educativo y laboral.

De acuerdo a nuestro ejemplo se plantea como usuarios finales al Centro de salud, Municipio, Parroquia, Comisaría, Instituciones educativas de nivel primario y secundario del distrito de Chiguata; así como la Institución educativa de nivel primario y secundario del anexo Espíritu Santo.

Podemos apreciar en el cuadro 3.19 la cantidad de equipos que estarán conectados a la red, a través de los cuales podrán acceder diferentes usuarios. Es importante mencionar que en el caso de las instituciones educativas la cantidad de usuarios se muestra mayor ya que están cuentan con laboratorios de informática a través de los cuales se ve el beneficio en el acceso a la red de toda la unidad educativa.

Usuarios de la Red			
Descripción	Cantidad		Observaciones
	Equipos	Usuarios	
Puesto de Salud Chiguata	3	6	Usuarios a todo personal que labora
Municipio de Chiguata	15	25	Usuarios a todo personal que labora
Parroquia de Chiguata	2	3	Usuarios a todo personal que labora
Institución educativa Señor del Espíritu Santo – Chiguata	60	250	Usuarios a toda la unidad escolar
Institución educativa Fernando Belaunde Terry - Espíritu Santo	60	270	Usuarios a toda la unidad escolar
TOTAL	140	554	

Cuadro 3.19 Usuarios de la red

Fuente: Elaboración propia

2.3.5. Antenas sectoriales

La instalación y puesta en marcha de las antenas sectoriales de transmisión, está directamente sujeta a la implementación de una estación base (BS), la cual dependerá del estudio y/o proyecto que contemple.

Se considera para el desarrollo de este modelo el uso de antenas sectoriales de 120⁰ grados de irradiación, ya que por beneficio como enlace de radio frecuencia de acuerdo a la zona de estudio podemos alcanzar el sector deseado de acuerdo a la adecuada

orientación o por el contrario lograr la cobertura del plano horizontal con la unión de tres antenas pudiendo así alcanzar los 360^0 grados de difusión equivalentes a una antena isotrópica.

2.3.6. Tráfico de red

Como en todo diseño de redes el tráfico al cual se verá enfrentada la red, juega una de los aspectos más importantes en el correcto desempeño y soporte de la misma, siendo así debe ser analizado y proyectado de acuerdo a requerimientos específicos.

Para el caso de nuestro ejemplo consideramos la red de banda ancha como una herramienta de apoyo educativo y laboral, en tal sentido se verá afectada por tráfico como:

- Correo electrónico (e-mail)
- Transferencia de archivos (ftp)
- Internet (http)
- Video conferencia
- Voz sobre IP (VoIP)

2.3.7. Bandas de frecuencia

La elección de la banda de frecuencia en la que se busca el desarrollo de la red inalámbrica, debe pasar por un análisis exhaustivo respecto la entidad reguladora de la misma ya que en la mayoría de países podemos diferenciar entre bandas licenciadas y no licenciadas,

las cuales presentan además diferentes aspectos positivos o negativos para la implementación y el despliegue de la red.

Para el caso en estudio proponemos el desarrollo de la red inalámbrica en la banda de frecuencia 3.5 GHz debido a que corresponde a un espacio destinado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) para el desarrollo licenciado de redes WiMAX. Por lo que garantiza menor contaminación radial.

2.3.8. Selección de equipos

El proceso que nos lleva a la selección de equipos busca la elección física de los mismos a través de soporte para los estándares WIMAX, cuyas marcas pueden ser halladas mediante el FORO WIMAX, el cual garantiza la operatividad y estandarización de estos equipos y sus facultades.

Podemos hallar en el cuadro 3.20 un resumen con características técnicas para una estación base.

	Vecima Networks	Aperto Networks	Tranzeo Wireless	Albentia Systems
Modelo	VistaMAX OBR5000	PacketMAX 3000	TR-WMX-58-pBS-PlusG	ARBA-550
Estándar	IEEE 802.16 TM - 2004	IEEE 802.16 TM - 2004	IEEE 802.16 TM - 2004 (802.16d TM)	IEEE 802.16 TM - 2009
Técnica de duplexación	TDD, OFDM	TDD, OFDM, 256 FFT	TDD, OFDM 256 FFT	TDD, OFDM
Frecuencia	5.8 GHz	5.8 GHz	5.8 GHz	5.8 GHz
Potencia de transmisión	+18 dBm	+20 dBm	+20 dBm	+24 dBm
Modulación	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM	64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
Sensibilidad de recepción	No especifica	-96 dBm	-92 dBm	-92 dBm

Cuadro 3.20 Especificaciones técnicas – Estación Base

Fuente: Wimax Fórum

Mediante el cuadro 3.21 podemos apreciar un resumen con características técnicas para estaciones suscriptoras.

	Vecima Networks	Aperto Networks	Tranzeo Wireless	Albentia Systems
Modelo	VistaMAX OSR5000	PacketMAX 100	TR-WMX-5.8-XX Series	ARBA-RPT-50
Estándar	IEEE 802.16 TM - 2004	IEEE 802.16 TM - 2004	IEEE 802.16 TM - 2004 (802.16d TM)	IEEE 802.16 TM - 2009
Frecuencia	5.8 GHz	5.8 GHz	5.8 GHz	5.8 GHz
Potencia de transmisión	+17 dBm	+20 dBm	+20 dBm	+24 dBm
Modulación	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM	BQPSK, 16QAM, 64QAM	64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
Ganancia de la antena	20 dBi	16 dBi	16 dBi	23 dBi

Cuadro 3.21 Especificaciones técnicas – Estaciones Cliente

Fuente: Wimax Fórum



[[GLOSARIO DE TÉRMINOS]]

3. SIMULACIÓN DE LA RED

Apoyados en una herramienta de simulación, la cual cuenta con un módulo para redes WIMAX y brinda la posibilidad de implementar el estándar IEEE-802.16j, se recrea un modelo de red, de este modo poder evaluar y conocer la evolución del sistema, sus propiedades, características y comportamiento en un entorno rural.

3.1. Definición de la herramienta de simulación

El simulador a ser empleado es NCTUns en su versión 6.0, debido fundamentalmente a que posee las características óptimas para la consecución de los resultados que se pretende evaluar en el presente proyecto. Trabaja bajo el soporte del sistema operativo Linux, es de distribución libre hasta la versión 6.0, y presenta funciones definidas y claras del estándar IEEE 802.16j en el modo no transparente además de una amigable interfaz gráfica de usuario (GUI).

Para obtener un desempeño óptimo en NCTUns es necesario definir algunos parámetros fundamentales.



Gráfico 4.1: GUI – Simulador

Fuente: NCTUns 6.0

3.2. Parámetros de simulación

3.2.1. Topología de la red

El diseño de la topología para realizar la simulación de una red WiMAX basada en el estándar IEEE 802.16j, se configura utilizando la estructura de trama en modo de conmutación no transparente ya que se pretende evaluar el desempeño de este como soporte a la posibilidad de extender la cobertura de una estación base (BS) en un entorno rural.

Se emplea la GUI en la que se deben especificar los diferentes tipos de nodos establecidos en el estándar, es decir la creación de hosts, estaciones base (NT-MR-BS), estaciones repetidoras (NT-RS), estaciones móviles (NT-MS).

Una vez establecidos los nodos a ser empleados se deben definir las conexiones que pueden ser alámbricas (backhaul) o inalámbricas, la GUI necesita generar las direcciones IP para cada nodo en la topología, se deben establecer las subredes y grupos que trabajarán para los efectos de simulación, añadir o quitar nodos de la misma. El gráfico 4.2 muestra el cuadro de diálogo a través del cual podemos crear los diferentes nodos para la implementación de la topología de Red.

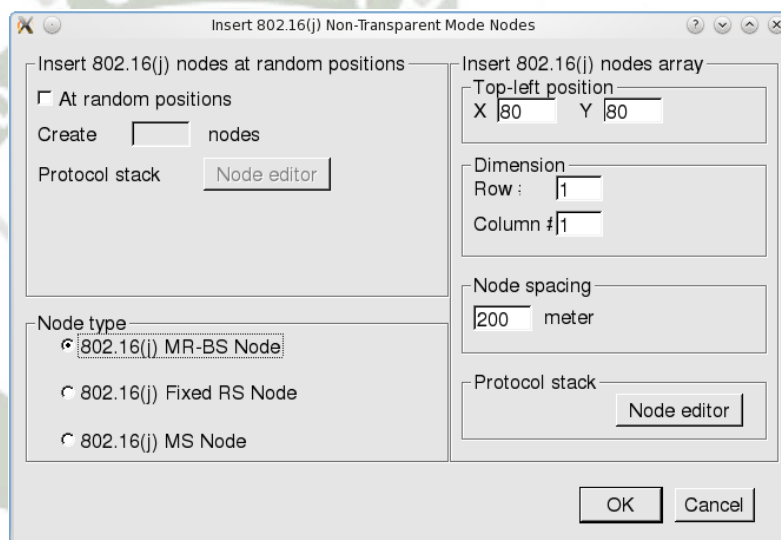


Gráfico 4.2: Creación de nodos – modo no transparente

Fuente: NCTUns 6.0

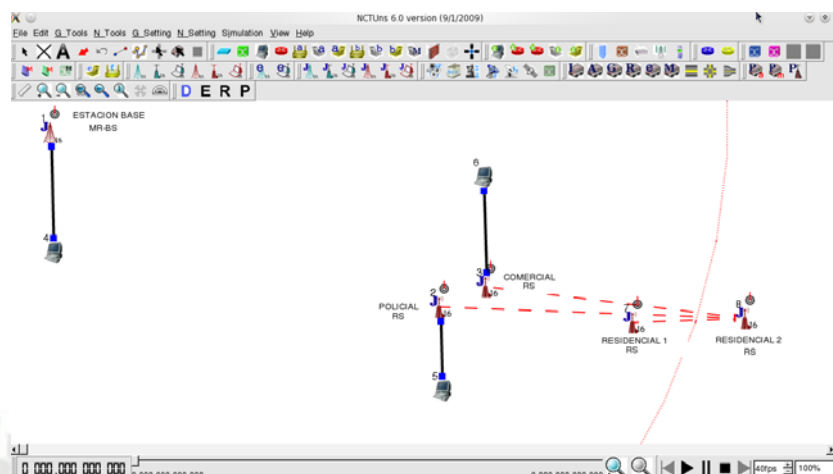


Gráfico 4.3: Diseño de topología de Red

Fuente: NCTUns 6.0

3.2.2. Parámetros de transmisión

El siguiente paso es la determinación de los parámetros de la capa física y del modelo del canal inalámbrico, en esta parte se especificarán los atributos para la capa física, atributos del modelo de canal, relaciones de conectividad, la ganancia de la antena y directividad.

Dentro de los atributos de la capa física los parámetros de transmisión que se permiten configurar entre otros son: la frecuencia de operación, la potencia de transmisión, desviación de la atenuación de la señal portadora.

Referente a los atributos del modelo de propagación del canal existen dos posibilidades de configuración, modelos de canal del tipo analítico y modelos de canal del tipo empírico. Una vez definidos los parámetros anteriores, se procede a la configuración de las relaciones

de conectividad, en el cual se puede hacer referencia a las perspectivas del nodo transmisor, del nodo receptor, determinado por la distancia o por el umbral de potencia.

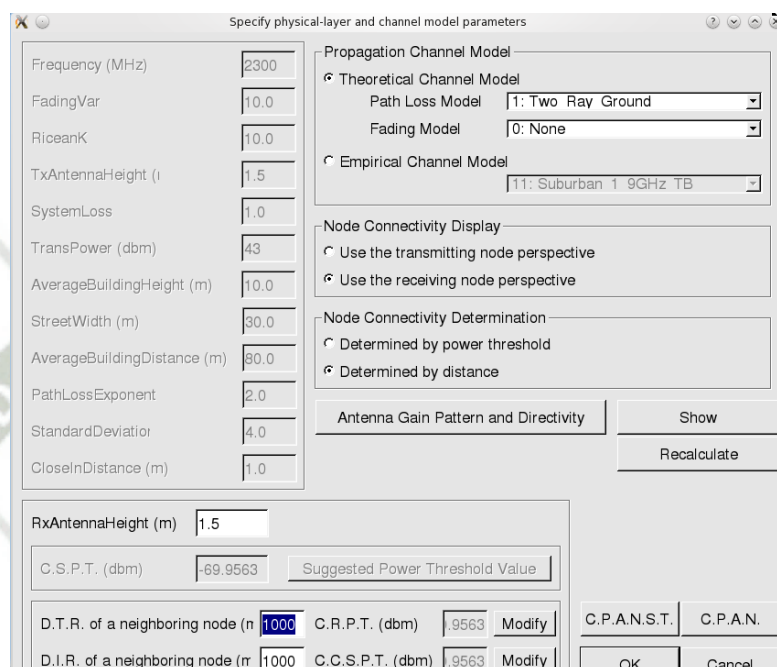


Grafico 4.4: Cuadro de dialogo – Parámetros de Transmisión

Fuente: NCTUns 6.0

3.2.3. Parámetros de canalización

En base a la configuración realizada para el software de simulación NCTUns 6.0, el identificador (ID) del canal elegido por defecto es el mismo que el identificador del Nodo, para asegurar la comunicación de las RSs y las MSs con las MR-BS empleando el mismo canal de comunicaciones, se debe configurar el ID del Canal de la RSs y MSs al ID del canal de su MR-BS.

3.2.4. Parámetros de QoS

Basados en la definición del estándar IEEE 802.16j en donde se presentan 5 servicios de programación, en NCTUns solamente se soporta el servicio de programación UGS para las MSs, en la que se establece la tasa de transmisión a ser sustentada.

3.3. Modelo del sistema a simular

De acuerdo a los diferentes aspectos que se ha ido viendo hasta este punto, se pretende realizar una experimentación en base a la simulación del modo no transparente, así como la evaluación del mismo, de este modo poder determinar la capacidad del sistema desde el punto de vista del usuario y en base a ello los diferentes servicios y aplicaciones que se puedan otorgar.

3.3.1. Modo no Transparente

Para evaluar las prestaciones del modo no transparente se considerarán escenarios donde la estructura inicial estará conformada por un nodo MR-BS y cuatro nodos NT-RS con la intención de recrear la red de distribución referido al caso de estudio visto en capítulos anteriores, los parámetros de configuración serán tales que la MR-BS cubra una celda de 4 km de radio,

Como se pretende evaluar experimentalmente las prestaciones de la capacidad de la red para el UL, la inyección de tráfico es del tipo TCP, con una duración de simulación aproximada de 399 s, ya que se

pretende estimar las aplicaciones y servicios que se pueden ofrecer y garantizar desde el punto de vista de los usuarios.

3.3.2. Nodo IEEE-802.16j NTMR-BS

La NTMR-BS provee servicios a las NT-MSs y se conecta con una red de backbone, posee dos interfaces, una es la interface IEEE 802.3 Ethernet para conectarse con la red de backbone y la interface de radio IEEE 802.26j para comunicarse con la NT-RS y NT-MSs.

La interface IEEE 802.3 Ethernet debe tener el ancho de banda suficiente para soportar la red IEEE 802.16j en su totalidad. La interface IEEE 802.16j de NCTUns tiene los siguientes módulos:

- Módulo de Interface
- Módulo MAC802_16j_NT_PMPBS
- Módulo OFDMA_PMPBS_NT_WIMAX
- Módulo CM
- Módulo LINK

El gráfico 4.5 ilustra la pila de módulos para la estación base que implementa a través de NCTUns.



Gráfico 4.5: Pila de protocolos NTMR – BS

Fuente: NCTUns

El módulo de Interface conecta al nodo con el resto de módulos y protocolos, el módulo de enlace (LINK), es el encargado de enlazar al nodo con otros nodos. Cabe recalcar que los módulos principales en la pila de protocolos de la NTMR-BS son el módulo MAC802_16j_NT_PMPBS, el cual realiza las funciones de la capa MAC de una NTMR-BS y el módulo OFDMA_PMPBS_NT_WIMAX, la cual realiza funciones de la capa física con la tecnología OFDMA. El módulo de Modelo de Canal (CM) simula varias condiciones del canal como son atenuación de potencia, multirayecto y efectos de desvanecimiento.

3.3.3. Nodo IEEE-802.16j NT-RS

NT-RS para el modo no transparente representa el puente o intermediario mediante el cual se conectarán los nodos NT-MS a la NTMR-BS.

NT-RS transmite mensajes de trama como el preámbulo y el DL-MAP, la NT-MS obtiene información de la existencia de una NT-RS, esta es la razón porque la NT-RS es llamada una RS " No transparente" pudiendo cumplir de este modo el rol de una NTMR-BS. La NT-RS posee la capacidad de funcionamiento en modo centralizado y distribuido siendo el primero la gestión realizada desde la NTMR-BS y el segundo caso la autonomía de gestión y planificación debido a este diseño una red no transparente puede tener uno o más NT-RSs que participan en la transmisión de paquetes en el camino entre la NTMR-BS y las NT-MSs. Tanto el MR-BS y la NT-RS transmiten mensajes de control y mapa de información en el comienzo de una trama.

La pila de protocolos de una NT-RS está compuesta por un módulo de interface, un módulo MAC802_16j_NT_PMPRS, un módulo OFMA_PMPRS_NT WIMAX, un módulo CM y un módulo LINK. El módulo MAC802_16j_NT_PMPRS realiza funciones de la capa MAC de una NT-RS la cual incluye intercambio de mensajes y datos de conmutación entre una NTMR-BS y una NT-RS. El módulo de Modelo del Canal (CM) es agregado en la pila de protocolos de una NTMR-RS para simular varias condiciones de canal.

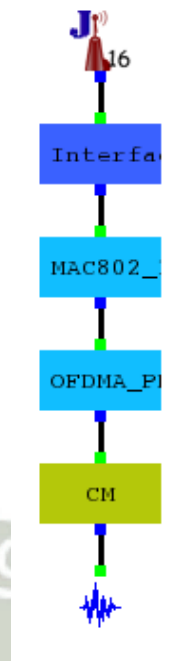


Gráfico 4.6: Pila de protocolos NT – RS

Fuente: NCTUns

3.3.4. Nodo IEEE-802.16j NT-MS

La T-MS posee únicamente la interface inalámbrica IEEE 802.16j para comunicarse con la NTMR-BS y NT-RS, la pila de protocolos está compuesta de un módulo de interface, un módulo MAC802_16j_MESH, un módulo OFMA-MESH, un módulo CM y un módulo LINK.

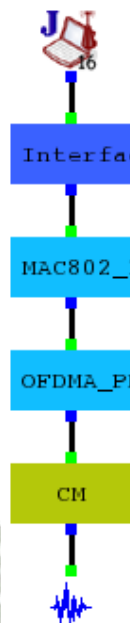


Gráfico 4.7: Pila de protocolos NT – MS

Fuente: NCTUns

3.4. Escenario de simulación

Se centrará en el estudio del desempeño en un ambiente rural, con la intención de recrear la topología de red visto en el caso de estudio en capítulos anteriores; para ello se emplea el modelo de propagación de Okumura Hata.

Definimos un primer escenario de simulación que estará compuesto por los siguientes nodos.

- Una estación base NTMR-BS, la cual cubrirá un radio de 4 Kilómetros.
- Dos nodos NT-MS dentro de la cobertura de radio de la estación base NTMR-BS.

- Un nodo NT-RS que se encuentran en el radio de cobertura de la estación base. Al mismo que se le asigna la tarea de expandir la cobertura a los nodos fuera del área.
- 07 nodos NT-MS distribuidos fuera del alcance de la cobertura de la estación base NTMR-BS.

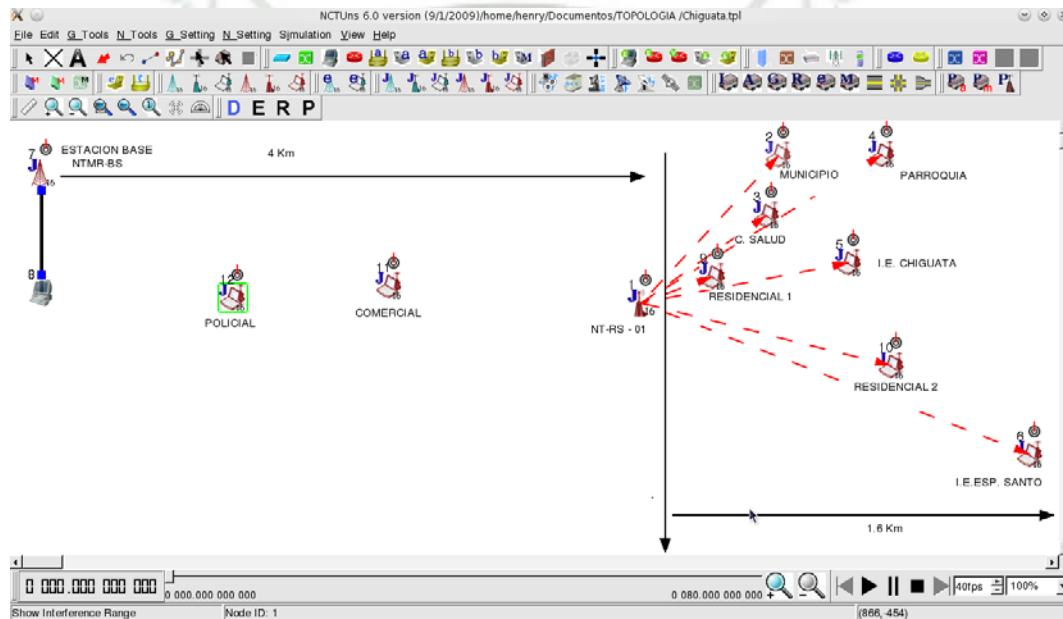


Gráfico 4.8: Primer Escenario de Simulación

Fuente: NCTUns

Definimos un segundo escenario de simulación que estará compuesto por los siguientes nodos.

- Una estación base NTMR-BS, la cual cubrirá un radio de 4 Kilómetros.

- Dos nodos NT-MS dentro de la cobertura de radio de la estación base NTMR-BS.
- Un nodo NT-RS - 01 que se encuentra en el radio de cobertura de la estación base NTMR-BS.
- Un nodo NT-RS - 02 que se encuentra fuera del radio de la estación base NTMR-BS, el mismo que brinda la cobertura para los 05 nodos distribuidos fuera del área del nodo NTMR-BS.
- El nodo NT-RS-02 comunica con el nodo NT-RS-01 y este último se encuentra dentro del radio de cobertura de la estación base NTMR-BS.
- 05 nodos NT-MS distribuidos fuera del alcance de la cobertura de la estación base NTMR-BS.

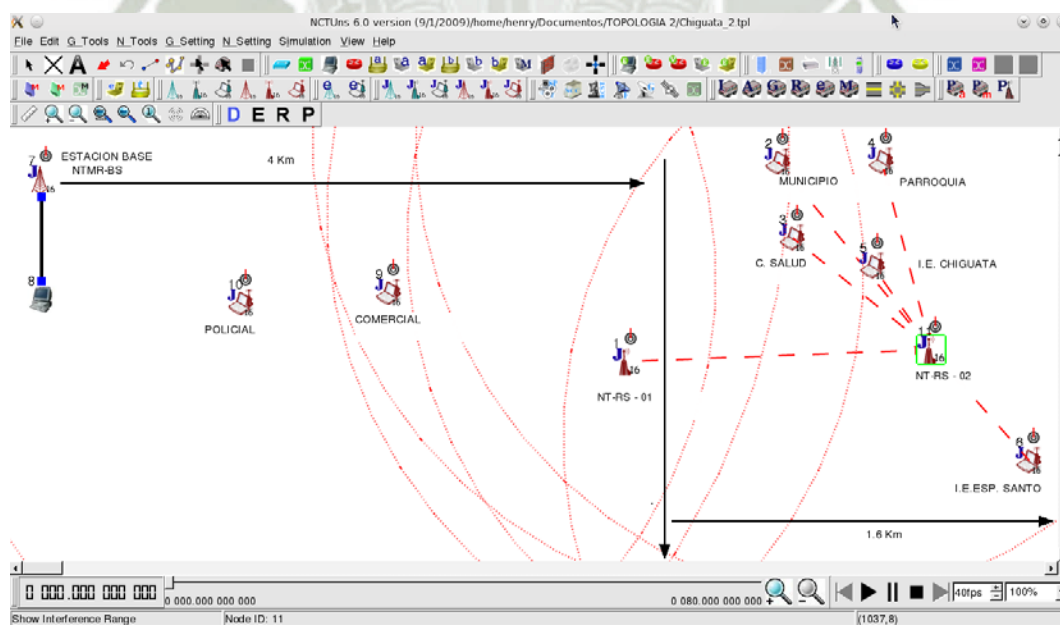


Gráfico 4.9: Segundo Escenario de Simulación

Fuente: NCTUns

Definimos un tercer escenario de simulación que estará compuesto por los siguientes nodos.

- Una estación base NTMR-BS, la cual cubrirá un radio de 4 Kilómetros.
- Tres nodos NT-RS dentro de la cobertura de radio de la estación base NTMR-BS.
- Un nodo NT-RS - 02 que se encuentra fuera del radio de la estación base NTMR-BS, el mismo que brinda la cobertura para los 05 nodos distribuidos fuera del área del nodo NTMR-BS.
- El nodo NT-RS-02 comunica con el nodo NT-RS-01 y este último se encuentra dentro del radio de cobertura de la estación base NTMR-BS, sin embargo como primera opción de comunicación contempla los nodos NT-RS-COMERCIAL y NT-RS-POLICIAL.
- 05 nodos NT-MS distribuidos fuera del alcance de la cobertura de la estación base NTMR-BS, los cuales representan la distribución del modelo propuesto.

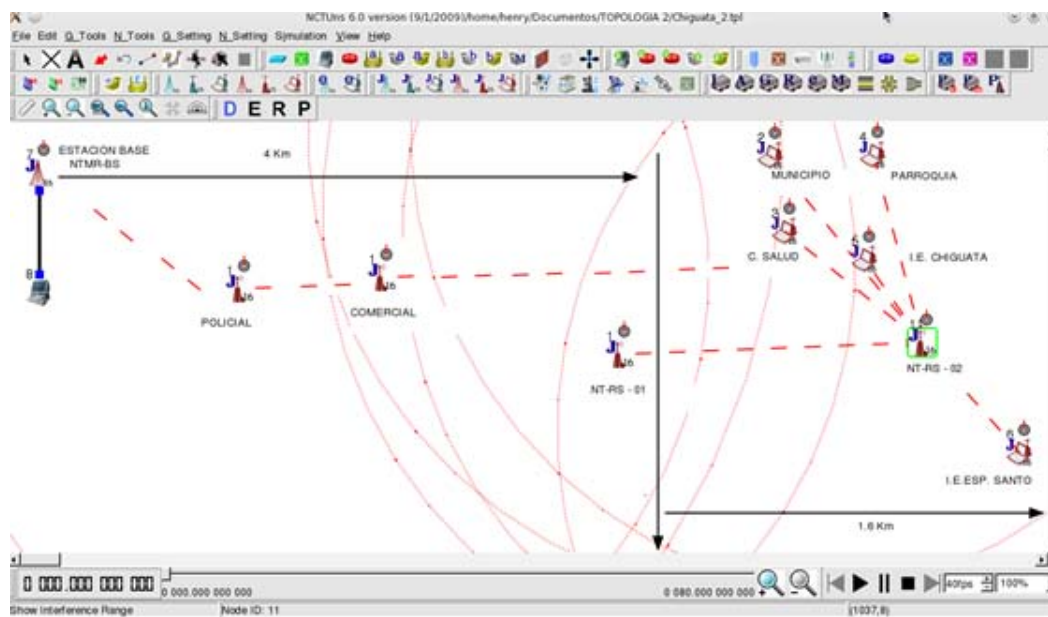


Gráfico 4.10: Tercer Escenario de Simulación

Fuente: NCTUns

3.5. Obtención de Resultados

De acuerdo a los escenarios de simulación establecidos en este trabajo se ejecuta la aplicación para poder obtener los resultados que se permite en cada simulación, de este modo conseguir archivos log y grabarlos para su posterior evaluación y análisis.

Los archivos logs que pueden ser habilitados para el análisis son: throughput, paquetes colisionados y paquetes caídos. NCTUns permite con esta opción analizar el comportamiento y evolución del sistema implementado.



CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Determinación de las prestaciones del sistema de acuerdo a escenarios simulados

Los resultados obtenidos de las simulaciones refieren la implementación del estándar IEEE 802.16j basada en el modo de conmutación no transparente, por lo cual estos se basan en el análisis de la tasa de transmisión y rendimiento óptimo de la red.

Los siguientes resultados presentan las comparaciones correspondientes a la variación del número de saltos en un modelo de red.

4.1.1. Primer escenario

En este escenario se evalúa el sistema de red a 02 saltos y un solo nodo repetidor (NT-RS), en la figura 5.1 y 5.2 podemos apreciar el comportamiento del Throughput del sistema el mismo que mantiene estable la comunicación garantizando la potencia de señal recibida.

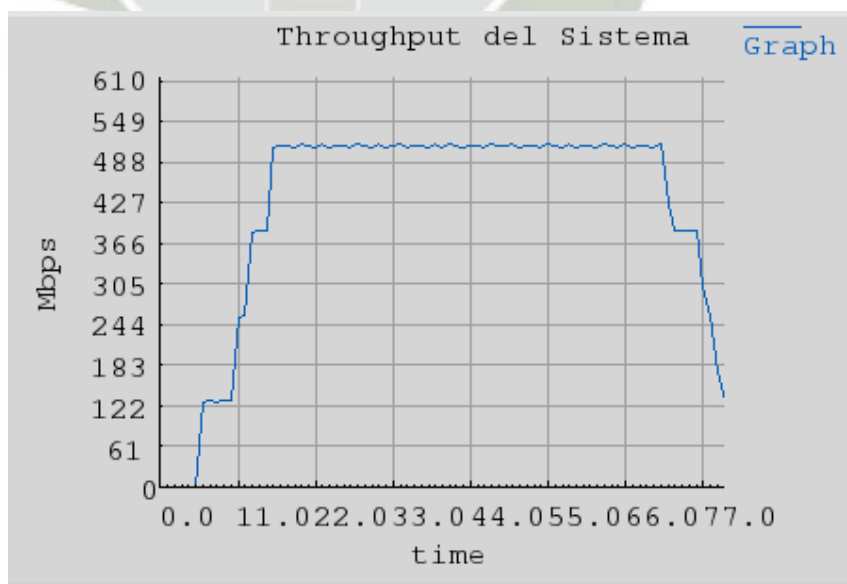


Gráfico 5.1: Capacidad del sistema – escenario 1

Fuente: NCTUns

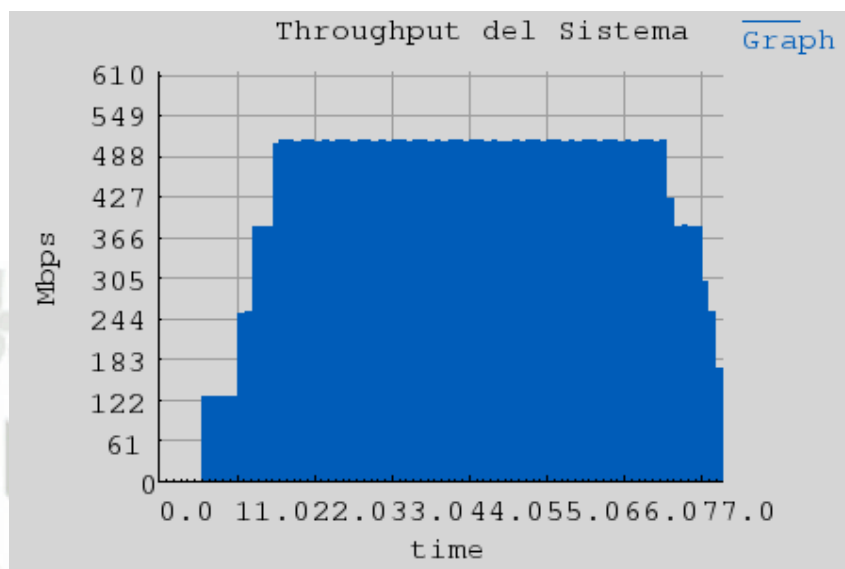


Gráfico 5.2: Capacidad del sistema por bloque – escenario 1

Fuente: NCTUns

Los nodos de transmisión remota (NT-MS) que se disponen distribuidos fuera de la cobertura de la estación base muestran estabilidad y capacidad optima en el despliegue del sistema. La figura 5.3 muestra el comportamiento de la transferencia de datos.

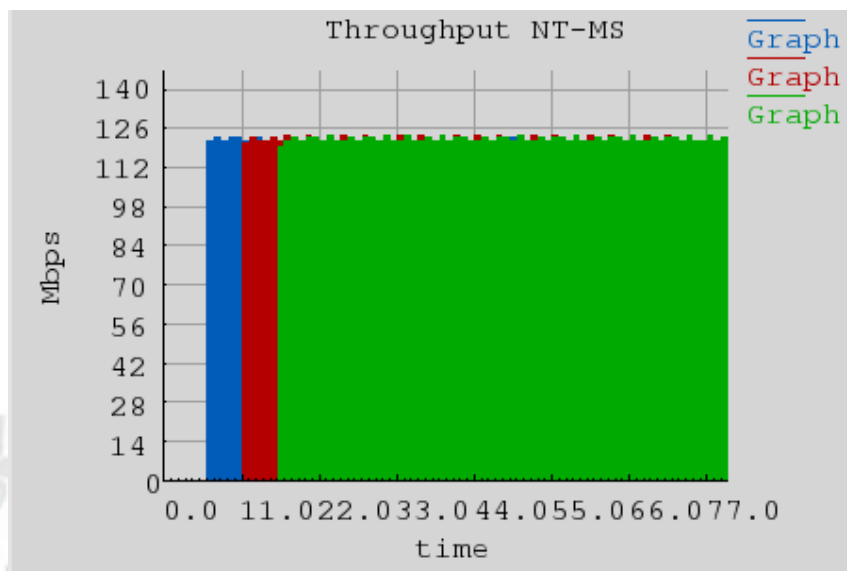


Gráfico 5.3: Throughput en función de nodos NT-MS – escenario 1

Fuente: NCTUns

La evaluación en base a nodos NT-MS que se encuentran dentro de la cobertura de señal de la estación base y los nodos que son conectados a través del nodo repetidor, muestran capacidades de transmisión muy similares lo cual sugiere un perdida de señal menor y optimo desempeño de la red. La figura 5.4 muestra el comportamiento.

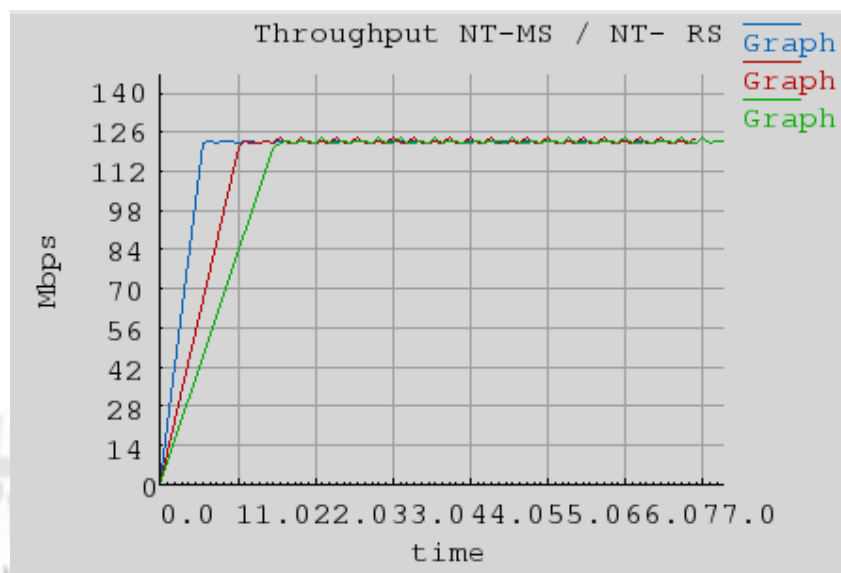


Gráfico 5.4: Throughput dentro de la cobertura de NT-MRBS

Fuente: NCTUns

4.1.2. Segundo escenario

En el segundo escenario se avalúa el modelo de red a 03 saltos con un sistema de conmutación de 02 nodos NT-RS, en la figura 5.5 y 5.6 podemos apreciar el comportamiento del Throughput del sistema el mismo que a diferencia del primer escenario se puede apreciar con un rendimiento menor, debido a la latencia.

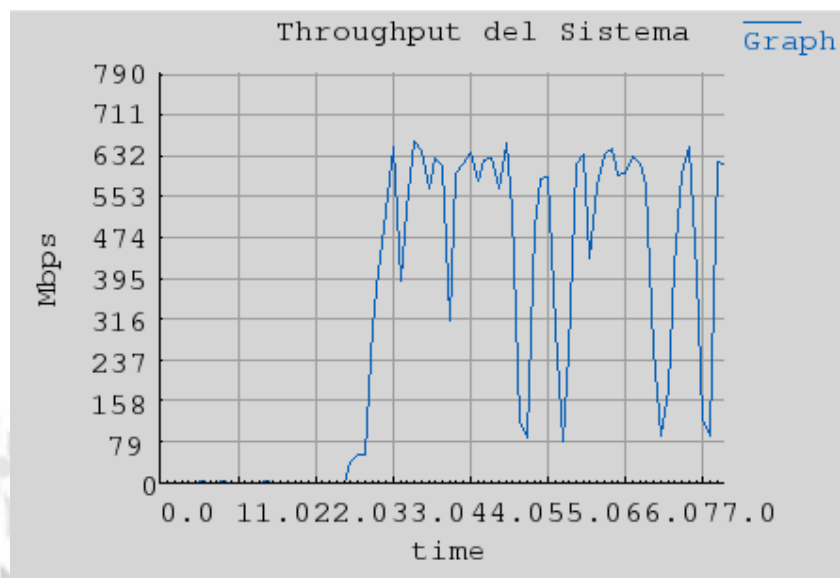


Gráfico 5.5: Capacidad del sistema – escenario 2

Fuente: NCTUns

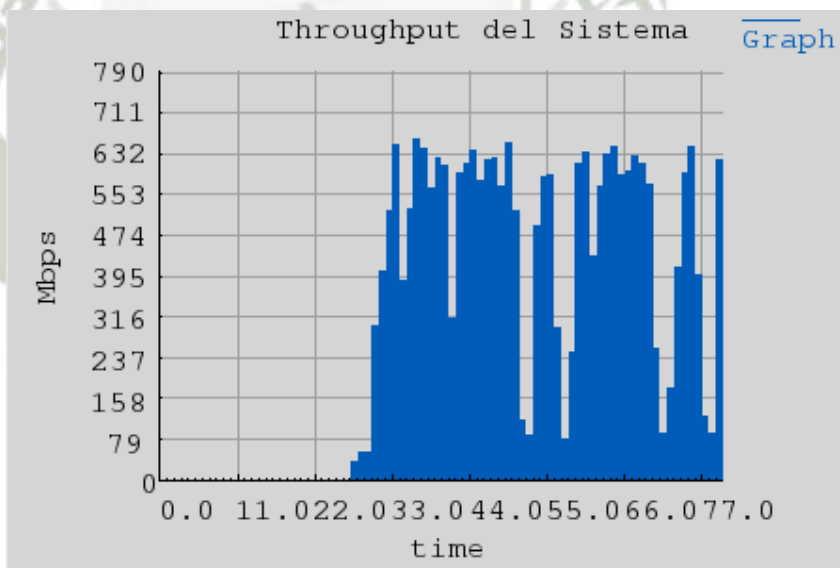


Gráfico 5.6: Capacidad del sistema en bloque – escenario 2

Fuente: NCTUns

A medida que el rendimiento del sistema se muestra menor al incrementar la cantidad de saltos, los nodos NT-MS que son parte de la expansión de cobertura también muestran un rendimiento menor, sin embargo aun así el sistema es funcional. La figura 5.7 nos muestra el comportamiento.

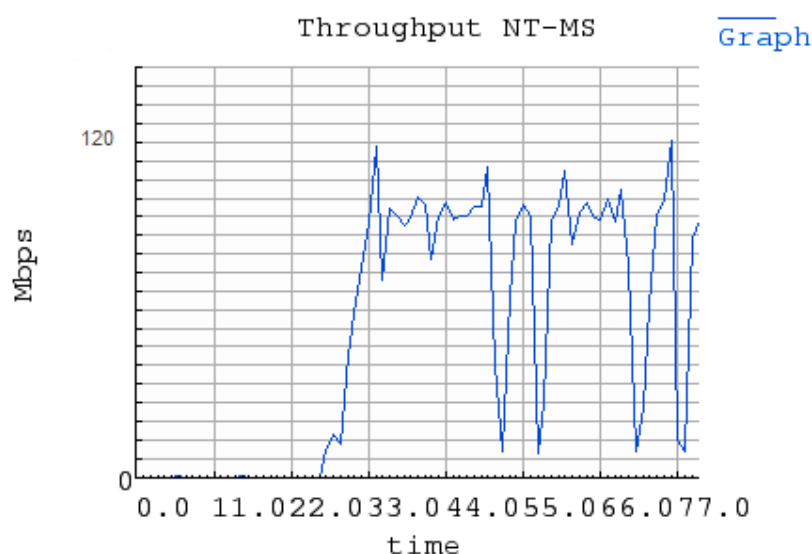


Gráfico 5.7: Throughput en función de los nodos NT-MS – escenario 2

Fuente: NCTUns

4.1.3. Tercer escenario

En el tercer escenario se evalúa el modelo de red en función a las estaciones suscriptoras con un sistema de conmutación de 03 nodos NT-RS, en la figura 5.8 y 5.9 podemos apreciar el comportamiento del Throughput del sistema el mismo que a diferencia de los anteriores escenarios se puede apreciar con un rendimiento menor al cubrir la distribución del modelo.

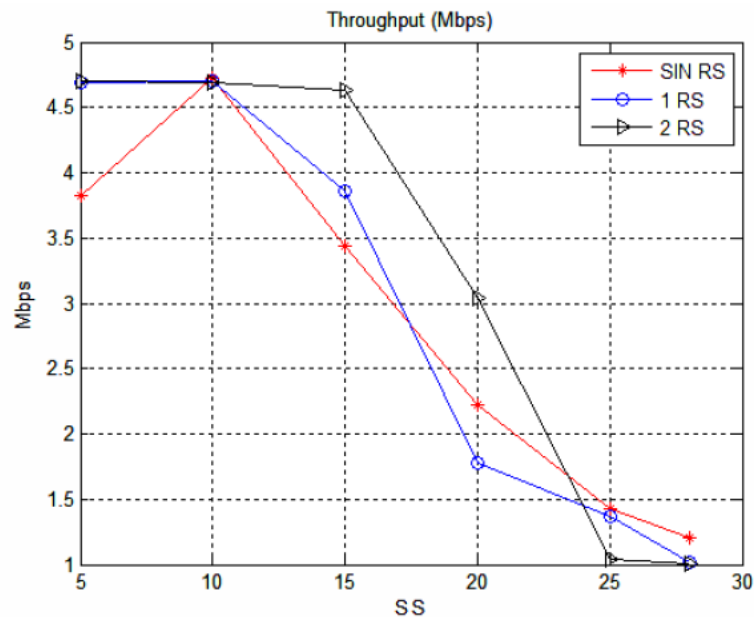


Gráfico 5.8: Throughput en función de nodos NT-RS

Fuente: NCTUns

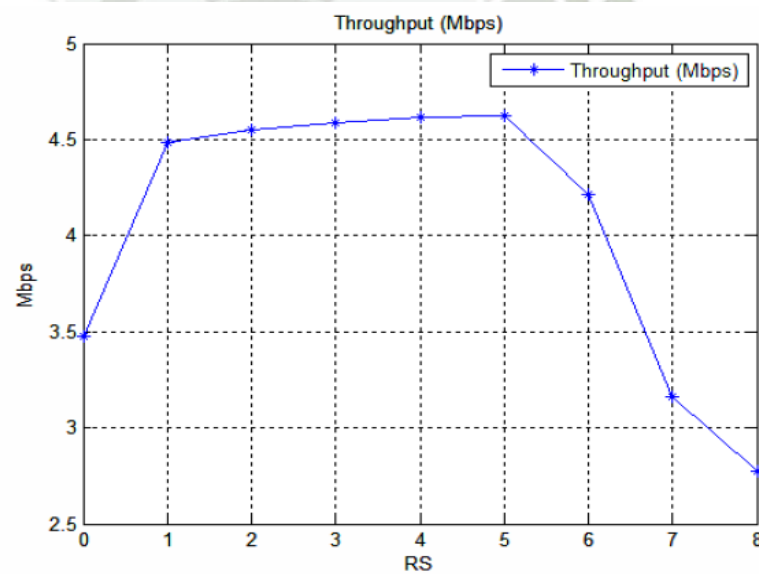


Gráfico 5.9: Throughput en función del sistema NT-RS

Fuente: NCTUns

CONCLUSIONES

1. Se ha verificado que mediante la implementación del estándar IEEE-802.16j-2009 en el modo de conmutación no transparente podemos expandir la señal de una estación base logrando con ello mayor cobertura de red en el modelo determinado.
2. La evaluación de la calidad de servicio respecto al modelo propuesto, denota claramente que a medida que se incrementa el número de estaciones repetidoras, podemos incrementar la capacidad de cobertura de la red en función a la distancia, sin embargo también trae consigo que a mayor número de saltos mayor latencia por tanto perdida de paquetes y señal de transmisión.
3. Pese al menor rendimiento del sistema para una estructura de 03 saltos, el modelo se mantiene estable pudiendo el mismo trabajar y brindar el acceso respectivo.
4. La naturaleza del estándar y la tecnología hace posible la adaptabilidad en los diferentes medios, rural y urbano; siendo propuesto este modelo en el entorno rural, lugar en el cual a través de la herramienta de simulación se ha podido determinar la adaptabilidad en el entorno y los medios utilizados en el modelo simulado.

5. Se considera una solución viable para el despliegue de redes de banda ancha en entornos rurales la tecnología WIMAX a través de su enmienda IEEE-802.16j – 2009, la misma que por su característica multisalto permite el despliegue a menor inversión.
6. A la fecha los entornos rurales se ven afectados por la falta de cobertura para el acceso a la red, creando consigo una desigualdad propia de las oportunidades de las tecnologías de información.
7. El estándar IEEE-802.16 – 2009 a través de sus diferentes variantes y proyectos en desarrollo brinda diferentes soluciones que aproximan aún más la brecha de acceso a la las redes.
8. Podemos verificar que el modelo propuesto es escalable debido justamente a que comprende la extensión de una Estación Base, la misma que desde la propuesta de modelo de red tradicional representa la red de Backbone de la cual podremos desplegar y proponer los modelos deseados.
9. La estructura de la trama que define el estándar IEEE 802.16j está dividida en una subtrama para UL y una subtrama para DL y a su vez las subtramas en zonas para acceso y transmisión, por lo tanto la estructura de múltiples tramas es una mejora del estándar que refleja un incremento en el throughput ya que la estación de conmutación (RS) será asignada para transmitir o recibir en diferentes tramas lo que significa menor procesamiento para la RS al interconectar segmentos de red.

RECOMENDACIONES

1. Se sugiere la implementación del estándar IEEE – 802.16j en el modo de conmutación no transparente bajo otra herramienta de simulación con la intención de validar y expandir aún más los escenarios ya que NCTUns 6.0 posee un módulo limitado para el mismo.
2. Considerar una evaluación basada en costos de implementación con equipos reales para determinar los beneficios del mismo.
3. Es recomendable realizar un estudio de propagación e interferencia para el estándar en entornos rurales.
4. Realizar un estudio dedicado al desarrollo, evolución y comportamiento del estándar IEEE-802.16j en el modo no transparente para bandas no licenciadas.
5. Se recomienda un estudio comparativo entre las diferentes tecnologías inalámbricas de última milla y/o Wireless MAN.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] José Helio Gonzales Pizeno, técnicas de resolución de colisiones en redes inalámbricas multisalto WIMAX para el estándar 802.16j, México junio 2013.
- [2] WIMAX FORUM, Requirements and Recomendations for Multi-hop Relay profile for Wimax networks, 2010.
- [3] Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, Plan nacional para el desarrollo de banda ancha en el Perú, Mayo 2011.
- [4] Andres Ramiro Moscoso Manjarrez, Evaluación del desempeño del estándar IEEE 802.16j mediante la utilización de herramientas software de simulación, Ecuador 2010.
- [5] Savo Glisic, Advanced Wireless Communications, John Wiley & Sosn, Ltd, 2005.
Gonzalez Garcia, Pablo, Diseño de una herramienta de planificación de sistemas WiMAX, Julio 2006.
- [6] Oviedo Salazar, Fausto David; Quishpe Jacome, Carlos Gustavo Marzo, Diseño de una red comunitaria, utilizando tecnología WiMAX entre el Colegio Universitario, Laboratorios y el Campus Central de la Universidad Técnica del Norte, 2007.
- [7] IEEE Std 802.16-2009, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, 29 May 2009.
- [8] Yang Yu, Sean Murphy, Liam Murphy, Planning Base Station and Relay Station Locations for IEEE 802.16j Network with Capacity Constrains, IEEE CCNC 2010.
- [9] Liu Y., Hoshyar R., Deployment Concepts for the IEEE 802.16j networks, 2008.
C. Hormann, M. Ditrich, adn S. G obbels. Dimensioning cellular WiMAX part II: Multihop networks. Proc. of Europa Wireless 2007.
- [10] E. Visotsky, Junjik Bae, R. Peterson. On the uplink capacity of an 802.16j system performance with varying numbers of relay and associated transmit power. IEEE WCNC, 2009.
- [11] Vasken Genc, Se_an Murphy, John Murphy. Analysis of Transparent Mode IEEE 802.16j system performance with varying numbers of relays and associated transmit power, 2009.
- [12] Junkai Zhang, Suili Feng, We Ye, Hongcheng Zhuang. MAC Performance

- Evaluation of IEEE 802.16j, International Symposium on Information Science and Engineering, 2008
- [13] Designing and Implementing an IEEE 802.16 Network Simulator for Performance Evaluation of Bandwidth Allocation Algorithms, Yuan-Cheng Lai and Yen-Hung
 - [14] Chen Department of Information Management National Taiwan University of Science and Technology, Taiwan.
 - [15] IEEE 802.16 Multi-hop Relay Working Group, Multi-hop Relay System Evaluation Methodology (Channel Model and Performance Metric), 19 Feb 2007.
 - [16] IEEE 802.16 Multi-hop Relay Working Group, Interim Channel Models for G2 MMDS Fixed Wireless Applications, 15 Nov 2007.
 - [17] IEEE Std 802.16-2001, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, 8 Apr 2002.
 - [18] WiMAX Forum, www.wimaxforum.org. 2009 -2010
 - [19] IEEE Std 802.16a-2003, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems - Amendment 2: Medium Access Control Modifications and Additional Physical Layer Specifications for 2-11 GHz, 1 Apr 2003.
 - [20] IEEE Std 802.16-2004/Cor1-2005, Corrigendum to IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, 28 Feb 2006.
 - [21] IEEE Std 802.16-2004/Cor1-2005, Amendment to IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems - Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands, 28 Feb 2006.
 - [22] IEEE Std 802.16j-2009, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems - Amendment 1: Multiple Relay Specification, 12 June 2009.
 - [23] INEI – Instituto Nacional de Estadística e Informática – Bases de datos –Población y Vivienda – Encuestas y registros.

[GLOSARIO DE TÉRMINOS]

SIGLA	ESPAÑOL	INGLES
ACK	Acuse de recibo	ACKNOWLEDGEMENT
AF	Envío asegurado	<i>Assured Frowarding</i>
API	Interfaz de Programación de Aplicaciones	Application Programming Interface
ARP	Protocolo de resolución de direcciones	Address Resolution Protocol
ATM	Modo de Transferencia Asíncrona	Asynchronous Transfer Mode
AVBDC	Volumen absoluto basado en capacidad dinámica	<i>Absolute Volume Based Dynamic Capacity</i>
BE	Mejor esfuerzo	<i>Best efford</i>
BER	Tasa de error de bit	Bit error ratio
BR	Requerimiento de banda	Bandwidth request
BS	Estación base	<i>Base station</i>
BSIC	Código de identidad de estación base	<i>Base Station Identity Code</i>
CD	Detección de Colisiones	Collision Detection
CID	Identificación de llamada	Collin identifier
CPU	Unidad central de procesamiento	Central Processing Unit
CPS	Subcapa de Parte Común	Common Part Sublayer
CRA	Asignación de tasa continua	<i>Continuous Rate Assignment</i>
CS	Subcapa de Servicio Específico de Convergencia	Convergence Sublayer
CSMA	Acceso Múltiple con Sensado de Portadora	Carrier Sense Multiple Access
DAMA	Asignación Bajo Demanda	Demand assignation
DCD	Descriptor del canal de bajada	Downlink channel descriptor
DS	Servicios diferenciados	<i>DiffServ</i>
DSA	Servicio dinamico de mensajes	Dynamic service addition
DSC	Servicio de cambio dinamico	Dynamic service change
DFS	Selección dinámica de frecuencia	Dynamic Frequency Selection
DL	Enlace de bajada	Down Link
DVB-RCS	Difusión de video digital - Canal de retorno via satélite	<i>Digital Video Broadcasting – Return Channel Via Satellite</i>
EF	Envío acelerado	<i>Expedited Forwarding</i>
ETX	Cuenta de transmisión esperada	<i>Expected Transmission count</i>
FBWA	Fixed broadband wireless access systems	Acceso inalámbrico de banda ancha fija
FCA	Asignación libre de capacidad	<i>Free Capacity Assignment</i>
FCS	Sistema de combate futuro	<i>Future Combat System</i>
FCH	Control de cabecera	Frame control header
FDD	Duplexación en frecuencia	<i>Frequency Duplex</i>
FIFO	Primero en entrar, primero en salir	First In, First Out
FTP	Protocolo de transferencia de archivos	File Transfer Protocol
GGSN	Puerta de salida de los nodos GPRS	<i>Gateway GPRS support nodes</i>

GHz	Medida en gigahercios	<i>Gigahertz</i>
GPRS	Servicio de radio de paquete general	<i>General packet radio service</i>
GSM	Sistema global para comunicaciones móviles	Global System for Mobile communications
GUI	Interfaz gráfico de usuario	Graphical user interface
HTTP	Protocolo de tranferencia de Hiper texto	HyperText Transfer Protocol
ID	Identificación	Identification
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	Protocolo de internet	Internet protocol
IPC	Comunicación inter proceso	Inter-Process Communication
ITS	Sistemas de transporte inteligente	Intelligent transportation systems
JT	Tolerante al <i>jitter</i>	<i>Jitter Tolerant</i>
KB/seg	Kilobytes por segundo	Kilobytes per second
Kbps	Kilobits por segundo	Kilobits per second
LDCP	Densidad baja Código de chequeo de paridad	<i>Low-Density Parity-Check code</i>
MAC	Control de acceso al medio	<i>Medium Access Control</i>
MANET	Redes móviles ad hoc	Mobile and Ad hoc NETWORKS
MBL	Máxima longitud de ráfaga	<i>Maximum Burst Lenght</i>
MDR	Máxima tasa de paquetes descartados	<i>Máximum packet drop rate</i>
MIB	Base de información gestionada	<i>Data Base Information</i>
MS	Estaciones móviles	Mobile Station
MR	Conmutación por multisalto	Multihop Relay
NAT	Traducción de Dirección de Red	Network Address Translation
NCC	Centro de control de red DVB-RCST	Terminal satelital de retorno de canal
NCC	Centro de control de red	<i>Network Control Center</i>
NCMS	Sistema de control y gestión de red	Network Control and Management System
NCTUns	Universidad Nacional Chiao Tung	National Chiao Tung University
NLOS	Sin linea de vista	Non-line-of-sight
NMS	Sistema de gestión de red	Network Management System
NSAPI	Servicio de red identificador de punto de acceso	<i>Network Service Access Point Identifier</i>
OBS	Optical Burst Switching	Conmutación óptica de ráfagas
OFDMA	Acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
OSPF	Primero la ruta más corta	Open Shortest Path First
PS	Ranura física	Physical Slot
P2P	Punto a punto	Peer to peer
PDP	Protocolo de datod de paquete	<i>Packet Data Protocol</i>
PHB	Comportamiento por salto	<i>Per-hop behavior</i>
PMP	Punto Multipunto	Point to multipoint

PHY	Capa física	Physical Layer
PtMP	Punto, multi punto	Point multi point
QoS	Calidad de servicio	Quality of Service
QPSK	Cambio de fase de cuadratura Keying	Quaternary Phase Shift Keying
RBDC	Tasa basada en capacidad dinámica	<i>Rate Based Dynamic Capacity</i>
RCST	Terminal satelital de canal de retorno	Return Channel Satellite Terminal
RIP	Protocolo de encaminamiento de información	Routing Information Protocol
RO	Optimización de ruta	<i>Route Optimization</i>
RT	Tiempo real	<i>Real Time</i>
RTCP	protocolo de control RTP	RTP control protocol
RTP	Protocolo de transporte en tiempo real	Time transport protocol
RTG	Intervalo de recepción de ráfagas	Receive transition Gap
SAP	Servicio de Punto de Acceso	Service Access Point
SDP	Protocolo de descripción de sesión	Session description protocol
SGSN	Servicio de los nodos GPRS	<i>Serving GPRS support nodes</i>
SNMP	Protocolos de gestión	Simple Network Management Protocol
SIP	protocolo de iniciación de sesión	Session initiation protocol
SOHO	Pequeña oficina	Small office/home office
SP	Proveedor de servicio	<i>Service Provider</i>
SS	Estación subscriptora	Subscriber station
SSTG	Transmision de rafagas previas	Subscriber station transition gap
STP	Protocolo Spanning Tree	<i>Spanning Tree Protocol</i>
STR	Comunicacion simultanea	Simultaneous transmit and receive relaying
TCP	Protocolo de control de transmisión	Transmission Control Protocol
TCS	Sub capa de transmisión	<i>Transmission convergence sublayer</i>
TDMA	Acceso múltiple por división de tiempo	<i>Time Division Multiple Access</i>
TDD	Duplexación en tiempo	<i>Time Duplex</i>
TFTP	Tráfico tolerante al retardo	Trivial File Transfer Protocol
TELNET	Telecomunicación de red	Telecommunication Network
TG	Puerta de salida de tráfico	<i>Traffic Gateway</i>
TTG	Tiempo de transmisión de ráfagas	<i>Time Transition Gap</i>
TOS	Tipo de servicio	Type of service
TSPEC	Especificación de tráfico	<i>Traffic Specification</i>
UCD	Descriptor del canal de subida	Uplink channel descriptor
UDP	Protocolo de Datagrama de Usuario	User Datagram Protocol
UGS	Servicio de concesión no solicitado	Unsolicited grant service
UL	Enlace de subida	Up Link
V2I	Vehículo a infraestructura	<i>Vehicle to infrastructure</i>
V2V	Vehículo a vehículo	Vehicle to vehicle
VBDC	Volumen basado en capacidad dinámica	<i>Volume Based Dynamic Capacity</i>
VR_JT	Tasa variable y tolerante al jitter	<i>Variable Rate y Jitter Tolerant</i>

VR_RT	Tasa variable y tiempo real	<i>Variable Rate y Real Time</i>
WAN	Red de área local amplia	Wide area network
WDM	Multiplexación por división de longitud de onda	Wavelength Division Multiplexing
WiMAX	Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WLAN	Red de área local inalámbrica	Wireless Local Area Network
WPAN	Red de área personal inalámbrica	Wireless Personal Area Network
WWAN	Red de área amplia inalámbrica	Wireless Wide Area Network
WMN	Red en malla inalámbrica	Wireless mesh network

