



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
*FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS*



## TITULO DE LA TESIS

DISEÑO DE RED INALAMBRICA PARA BRINDAR ACCESO  
A LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES A LOS  
CENTROS POBLADOS DEL DISTRITO DE LAMBAYEQUE

PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
ELECTRÓNICO.

**PRESENTADO POR**

Martínez Calderón Felipe

Sevilla Reyes Luis Angel

LAMABYEQUE, PERU

2015

*FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS*  
*ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA*



DISEÑO DE RED INALÁMBRICA PARA BRINDAR ACCESO  
A LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES A LOS  
CENTROS POBLADOS DEL DISTRITO DE LAMBAYEQUE

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
ELECTRÓNICO.

Martínez Calderón Felipe

Sevilla Reyes Luis Angel

Asesor

Ing Segundo Francisco Segura Altamirano

2015

**Tesis Presentada por:**

Bach: Martínez Calderón Felipe

Bach: Sevilla Reyes Luis Angel

Como requisito para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico.

**Aceptada por la Escuela Profesional de Ingeniería  
Electrónica**

---

ING MANUEL RAMÍREZ CASTRO  
PRESIDENTE

---

ING HUGO CHICLAYO PADILLA  
SECRETARIO

---

ING OSCAR UCHELLY ROMERO CORTÉZ  
VOCAL

---

ING SEGUNDO FRANCISCO SEGURA ALTAMIRANO  
ASESOR

---

Bach. Martínez Calderón Felipe  
AUTOR

---

Bach. Sevilla Reyes Luis Angel  
AUTOR

LAMABYEQUE, PERU

2015

# Agradecimientos

Para lograr objetivos como el presente es imprescindible contar con personas que te brinden su apoyo en todo momento de los cuales estaré eternamente agradecido. A mis padres, Felipe Martínez y Alejandrina Calderón, mis abuelos Luisa de la Cruz y Porfirio Martínez quien en todo momento estuvieron a mi cuidado en mi niñez y me educaron para ser una persona de bien.

A mi tía Juana Martínez por su apoyo incondicional y a pesar de las circunstancias siempre estuvo presente para aconsejarme y guiarme.

A Santos Calderón, Susana Calderón mi abuelita Micaela Purihuaman que se encuentra en su santo descanso, personas, de las cuales me encuentro eternamente agradecido por su apoyo y que fueron primordiales en mi formación.

A los docentes de mi universidad: Ing Francisco Segura Altamirano, Ing Hugo Chichayo Padilla, Ing Manuel Ramírez Castro, Ing Carlos Oblitas Vera, Ing Luis Mostacero Arragui. gracias por su dedicación para formar profesionales para un Perú mejor.

Bach. Martínez Calderón Felipe

## II

A mis padres, gracias por sacrificar tanto de su vida por una educación de alto nivel para sus hijos, Luis Sevilla y Melva Reyes, son los pilares en los que me apoyé para poder cumplir las metas propuestas. Su perseverancia y honestidad me enseñaron a afrontar el desarrollo y vida profesional. Su amor incondicional me enseñó a luchar por los que se quiere. Su devoción hacia Dios, me enseñó a agradecer todas las cosas que tengo.

A mis tías. Gracias por su soporte y motivación constante. Elsa Reyes, Rossmerry Reyes y Luisa Sevilla, son los grandes ejemplos que cualquier novato desearía tener. Tan solo hay que observar lo que lograron, para sentir la necesidad de esforzarte y lograr algo similar. Estaré infinitamente agradecido el resto de mi vida.

A mi hermano. Por supuesto. Luis Alonso, es el hermano bondadoso y caritativo que una persona como yo debería tener para llenar su vida de virtudes. Es el hermano inteligente y sobresaliente que una persona como yo admira. Es el hermano creyente en Dios que hace que una persona como yo mantenga su fe. Gracias por todo y mucho más.

A mi querida Universidad. Gracias por una vida profesional. Catedráticos y compañeros que ahora seremos colegas, gracias por formar a tantos profesionales con un alto nivel académico.

Bach. Sevilla Reyes Luis Angel

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción del Problema . . . . .	2
1.2. Formulación del Problema . . . . .	3
1.3. Justificación . . . . .	3
1.4. Objetivos de la Investigación . . . . .	3
1.4.1. Objetivo General . . . . .	3
1.4.2. Objetivo Específico . . . . .	3
1.5. Hipotesis . . . . .	4
<b>2. Análisis Actual de Lambayeque y sus Centros Poblados</b>	<b>5</b>
2.1. Espacio Geográfico . . . . .	6
2.1.1. Ubicación Geográfica . . . . .	6
2.1.2. Límites . . . . .	6
2.1.3. Clima . . . . .	6
2.1.4. Extensión Territorial . . . . .	7
2.2. Actividades Económicas . . . . .	7
2.3. Desarrollo Social . . . . .	8
2.3.1. Índice de Desarrollo Humano . . . . .	9
2.3.2. Población . . . . .	9
2.4. Los Centros Poblados . . . . .	9
2.5. Cálculo de la Demanda de Centros Poblados . . . . .	10
<b>3. Marco Teórico</b>	<b>13</b>
3.1. Redes de Banda Ancha . . . . .	14
3.1.1. Espectros de Radio frecuencia . . . . .	14
3.1.2. Plan Nacional de Atribución de Frecuencias del Perú . . . . .	15
3.1.3. Evolución de las Redes Inalámbricas de Banda Ancha . . . . .	16
3.1.4. Redes de Banda Ancha Inalámbricas Fijas . . . . .	16
3.1.5. Redes de Banda Ancha Inalámbricas Móviles . . . . .	16
3.1.6. Comparación de WiMax con otras tecnologías Inalámbricas de Banda Ancha . . . . .	17

3.2.	Wimax . . . . .	18
3.2.1.	Estándar 802.16 . . . . .	18
3.2.2.	Ventajas de WiMAX . . . . .	18
3.2.3.	Evolución de Estándares . . . . .	19
3.2.4.	Arquitectura de Red . . . . .	19
3.2.4.1.	ASN – Red Acceso a Servicios . . . . .	21
3.2.4.2.	ASN–GW (Gateway de Red de Acceso a Servicios) . . . . .	22
3.2.4.3.	Punto de Decisión . . . . .	24
3.2.4.4.	Router/FA (Agente Extranjero) o Punto de Reforzamiento . . . . .	24
3.2.4.5.	Switch o Punto de Agregación . . . . .	24
3.2.4.6.	CSN (Red de Servicio de conectividad) . . . . .	24
3.2.4.7.	Home Agente (HA)/Foreign Agent (FA) . . . . .	25
3.2.4.8.	AAA (Autenticación, Autorización y Contabilización) . . . . .	25
3.2.4.9.	DNS/DHCP/NTP . . . . .	25
3.2.4.10.	OSS/BSS . . . . .	26
3.2.4.11.	NMS Sistema de Gestión de Red . . . . .	26
3.2.4.12.	Elementos del Sistema de Gestión (CEMS) . . . . .	26
3.2.4.13.	Elementos de Servicio de Sistema de Gestión (SEMS) . . . . .	26
3.2.4.14.	Elementos del Sistema de Gestión de Tráfico (TEMS) . . . . .	27
3.2.4.15.	Proveedor de Servicio a Aplicaciones ASP . . . . .	27
3.2.4.16.	Aplicación VoIP y gateway a PSTN (Red de Telefonía Pública) . . . . .	27
3.2.4.17.	Aplicación de Mensajería . . . . .	27
3.2.4.18.	Cortafuegos y Acceso a Internet . . . . .	27
3.2.4.19.	Aplicación de Localización . . . . .	28
3.2.4.20.	Aplicación de Streaming . . . . .	28
3.2.5.	Capa Física (PHY) . . . . .	28
3.2.6.	Portadoras OFDM en el Dominio de la frecuencia . . . . .	30
3.2.6.1.	Sub Portadoras . . . . .	31
3.2.6.2.	Sub Canales . . . . .	31
3.2.7.	Portadoras OFDM en el Dominio del Tiempo . . . . .	32
3.2.7.1.	Símbolos y Prefijo Cíclico . . . . .	32
3.2.7.2.	Duplex . . . . .	33
3.2.7.3.	Zonas . . . . .	34
3.3.	Planeamiento de RF . . . . .	34
3.3.1.	Planeamiento de Frecuencias en WiMAX . . . . .	34
3.3.1.1.	Re uso de Frecuencias y Esquema de Segmentación . . . . .	35
3.3.1.2.	Escenario A: Una portadora disponible . . . . .	35
3.3.1.3.	Escenario B: Tres Portadoras disponibles . . . . .	38
3.4.	QoS y Desempeño de Wimax . . . . .	38

3.4.1.	Soporte de Calidad de Servicio . . . . .	38
3.4.2.	Desempeño de WiMax . . . . .	39
3.4.2.1.	Capa Física de WiMax . . . . .	40
3.4.2.2.	Capa MAC de WiMax . . . . .	42
3.4.2.3.	MTU- Máxima Unidad de Transmisión . . . . .	42
3.4.2.4.	Capa IP . . . . .	43
3.4.2.5.	Capa Transporte . . . . .	43
3.4.3.	Modulación Adaptativa y Codificación . . . . .	44
3.5.	Modelos de Propagación . . . . .	44
3.5.1.	Perdidas en Espacio Libre . . . . .	45
3.5.2.	Longley-Rice . . . . .	46
3.5.3.	Modelo de Okumura . . . . .	46
3.5.4.	COST231 . . . . .	47
3.5.5.	WiMAX Presupuesto del Enlace . . . . .	47
<b>4.</b>	<b>Diseño de Red de Banda Ancha</b>	<b>51</b>
4.1.	Metodología . . . . .	52
4.2.	Replanteo . . . . .	52
4.3.	Diseño de la Red . . . . .	54
4.4.	Proyecto Técnico . . . . .	58
4.4.1.	Memoria Descriptiva . . . . .	58
4.4.1.1.	Introducción . . . . .	58
4.4.1.2.	Red de Transporte . . . . .	58
4.4.1.3.	Red de Acceso . . . . .	61
4.4.1.4.	Motivación y Limitación del Proyecto . . . . .	76
4.4.1.5.	Conexión a la Red Publica . . . . .	77
4.4.1.6.	Canalización de las Celdas . . . . .	77
<b>5.</b>	<b>Resultados y Conclusiones</b>	<b>79</b>
5.1.	Red Física Diseñada . . . . .	80
5.2.	Dimensionamiento de la Red . . . . .	80
5.3.	Conclusiones . . . . .	83
<b>Bibliografía</b>		<b>85</b>
Referencias . . . . .		85



# Índice de figuras

2.1. Ditrío de Lambayeque . . . . .	6
2.2. Ditrío de Lambayeque usando Google Earth . . . . .	7
2.3. Capacitación y Asistencia Técnica y Área de Terreno . . . . .	8
3.1. Aplicaciones de WiMAX . . . . .	17
3.2. Arquitectura de Red WiMAX . . . . .	20
3.3. Interfaces WiMAX . . . . .	20
3.4. Espectro de FM de una señal digital . . . . .	28
3.5. Espectro de 05 sub portadoras OFDM . . . . .	30
3.6. Cinco señales OFDM en el tiempo . . . . .	30
3.7. Asignación de Tiempo en H-FDD de una frecuencia del canal . . . . .	33
3.8. Plan de Frecuencias con Segmentación y Zonificación . . . . .	35
3.9. Re uso (1, 3, 1, 1) . . . . .	36
3.10. Re uso (1, 3, 1, 3) . . . . .	37
3.11. Re uso fraccional de Frecuencias. . . . .	37
3.12. Re uso (1, 3, 3, 1). . . . .	38
3.13. Re uso (3, 3, 3, 3). . . . .	39
3.14. Modelo de Capas de ISO/OSI . . . . .	41
3.15. Format de MAC PDU de WiMax . . . . .	42
3.16. Procesamiento de Segmento TCP en WiMax . . . . .	43
3.17. Radio de la Celda y AMC . . . . .	45
3.18. Propagación en Espacio Libre . . . . .	46
3.19. Presupuesto de Enlace de RF . . . . .	48
4.1. Yencala Boggiano . . . . .	53
4.2. Sialupe Huamantanga Los Mestas . . . . .	54
4.3. Sialupe Baca Punto Cuatro . . . . .	55
4.4. Centros Poblados de Lambayeque en Google Earth . . . . .	55
4.5. Patrón de Radiación de antena de 65 grados y 18 dBi y 2 deg de Tilt . . . . .	56
4.6. Diagram de Red a Desarrollar propuesta . . . . .	57

4.7. Cobertura de Centros Poblados beneficiados con 04 Celdas y 3 sectores cada una . . . . .	57
4.8. Cobertura de Centros Poblados beneficiados con 04 Celdas Google Earth	58
4.9. Red de Transporte en Radio Mobile . . . . .	59
4.10. Enlace entre Centro de Distribución Lambayeque - Site 0 . . . . .	61
4.11. Enlace entre Centro de Distribución Lambayeque - Site 1 . . . . .	62
4.12. Enlace entre Centro de Distribución Lambayeque - Site 2 . . . . .	63
4.13. Enlace entre Centro de Distribución Lambayeque - Site 3 . . . . .	63
4.14. Micro WiMAX Estacion Base PacketMAX 3000 . . . . .	64
4.15. Patrón de Radiación de Antena airMAX . . . . .	66
4.16. Calculo de Patrón de Radiación en Excel . . . . .	67
4.17. Patrón de Radiación exportado a Radio Mobile . . . . .	67
4.18. Equipo de Usuario PacketMAX 100 . . . . .	68
4.19. Cobertura Usando 04 Sites y 8 sectores . . . . .	69
4.20. Enlace entre Site 0 - Carrizo . . . . .	70
4.21. Enlace entre Site 0 - Yencala Boggiano . . . . .	71
4.22. Enlace entre Site 1 - Mariategui . . . . .	71
4.23. Enlace entre Site 1 - Sialupe Huamantanga Sector 1 . . . . .	73
4.24. Enlace entre Site 2 -Sialupe Baca La Capilla Santa Rosa . . . . .	74
4.25. Enlace entre Site 2 - Sialupe Huamantanga Los Mestas . . . . .	75
4.26. Enlace entre Site 2 - Virgen Purísima Concepción . . . . .	76
4.27. Canalización de frecuencias - Usando reuso (1,3,1,1) . . . . .	78
5.1. Diseño de Red Propuesto . . . . .	80
5.2. Distribucion de Equipos . . . . .	82

# Índice de Tablas

2.1. Centros Poblados Beneficiados . . . . .	10
2.2. Calculo de Potenciales Usuarios por Servicio . . . . .	11
2.3. Trafico en Erlangs y Usuarios simultáneos de canal de Internet . . . . .	11
2.4. Canales de Telefonía y Ancho de Banda por Centro Poblado . . . . .	12
2.5. Ancho de Banda de Centros Poblados Beneficiados . . . . .	12
3.1. Espectro Radioeléctrico . . . . .	14
3.2. Rango de Frecuencias ICM . . . . .	15
3.3. Comparacion de WiMax con Wi-Fi y 3G . . . . .	17
3.4. Estándares WiMAX . . . . .	21
3.5. Calculo de Número de Sub portadoras . . . . .	31
3.6. Resumen de Categorías de QoS, aplicaciones y parámetros QoS . . . . .	40
3.7. Máximas velocidades de Datos, PUSC, G=1/8 . . . . .	41
3.8. Carga útil Máxima, PUSC, G=1/8 . . . . .	41
3.9. Carga Neta, BW 10 MHz PUSC, G=1/8 . . . . .	42
3.10. Maximas Velocidades de diferentes Capas en WiMax . . . . .	44
3.11. Esquemas de Modulación y Codificación 3.5 GHz y 3.5 MHz . . . . .	45
3.12. Parámetros de Presupuesto de Enlace . . . . .	48
3.13. Ejemplo de Presupuesto de Enlace . . . . .	50
4.1. Localización Geográfica de Centros Poblados . . . . .	53
4.2. Distribución de Centros Poblados en las Celdas y Sectores . . . . .	56
4.3. Localización Geográfica de Antenas de Sites . . . . .	59
4.4. Opciones de Configuración y Equipos de Alvarion . . . . .	60
4.5. Características Técnicas de Equipos Alvarion BreezeNET . . . . .	60
4.6. Detalle de Enlace entre Centro de Distribución Lambayeque - Site 0 . . . . .	61
4.7. Detalle de Enlace entre Centro de Distribución Lambayeque - Site 1 . . . . .	62
4.8. Detalle de Enlace entre Centro de Distribución Lambayeque - Site 2 . . . . .	62
4.9. Detalle de Enlace entre Centro de Distribución Lambayeque - Site 3 . . . . .	63
4.10. Características Técnicas de PacketMAX 3000 . . . . .	65
4.11. Ganancia y Ancho de Banda de airMAX TITANIUM . . . . .	66

---

4.12. Características Técnicas de PacketMAX 100 . . . . .	69
4.13. Detalle de Enlace entre Site 0 - Carrizo . . . . .	70
4.14. Detalle de Enlace entre Site 0 - Yencala Boggiano . . . . .	72
4.15. Detalle de Enlace entre Site 1 -Mariategui . . . . .	72
4.16. Detalle de Enlace entre Site 1 - Sialupe Huamantanga Sector 1 . . . . .	73
4.17. Detalle de Enlace entre Site 2 -Sialupe Baca La Capilla Santa Rosa . . . . .	74
4.18. Detalle de Enlace entre Site 2 -Sialupe Huamantanga Los Mestas . . . . .	75
4.19. Detalle de Enlace entre Site 2 - Virgen Purísima Concepción . . . . .	76
5.1. Demanda de Ancho de Banda de Centros Poblados Beneficiados . . . . .	81
5.2. Distribución de Centros Poblados en las Celdas y Sectores . . . . .	81
5.3. Sensibilidad a 5.4GHz . . . . .	82
5.4. Velocidad Máxima, Ancho de Banda y Sensibilidad . . . . .	83

# Resumen

En este proyecto de Tesis, se diseñó una red de Banda Ancha para brindar acceso a los servicios de Telecomunicaciones a los centros poblados rurales del distrito de Lambayeque, habida cuenta de la importancia que actualmente tiene el acceso a estos servicios por parte de estas poblaciones, usualmente no consideradas en los planes de los operadores dominantes, pero gracias a una iniciativa global y asumida por el gobierno central es posible ahora brindar estos servicios con la calidad y velocidad igual que si se tratara de las zonas urbanas.

Para conseguirlo se realizó un estudio de los centros poblados seleccionados, su ubicación, población, sus actividades económicas principales para determinar la demanda necesaria con los parámetros de calidad establecidos en el estudio. Una vez conocida la demanda se estudió las tecnologías de acceso de banda ancha Inalámbrica, seleccionando WiMAX debido a su gran capacidad, su granularidad que le permite adaptarse a las diferentes necesidades de velocidades de transmisión y frecuencias de operación; pues es una tecnología probada ya globalmente.

Se consiguió el diseño de una red compuesta de 04 celdas y 08 sectores que aseguran una adecuada atención al área de cobertura, para lo cual se debió seleccionar primero una frecuencia de operación en bandas no licenciadas y por esto se tomaron las precauciones para no exceder los límites de potencia permisibles, además del ancho de banda junto con la potencia de transmisión apropiado para obtener las velocidades de transmisión demandas.

Concluimos, este proyecto de tesis pues asegurando una velocidad de transmisión de 512Kbps por usuario asegurando calidad de servicio en el acceso a las redes de telecomunicaciones por parte de los pobladores de estas localidades.

**Palabras Claves:** Banda Ancha, WiMAX, Servicios de Telecomunicaciones, Redes Inalambricas, Modulacion Adaptativa, QoS



# Abstract

In this thesis project, a network of broadband is designed to provide access to telecommunications services to rural population centers in the district of Lambayeque, given the current importance of access to these services by these populations, usually not considered in the plans of the dominant operators, but thanks to a comprehensive and assumed by the central government initiative is now possible to provide these services with the same quality and speed as if it were in urban areas.

To get a survey of selected population centers, its location, population, their main economic activities necessary to determine demand with the quality parameters established in the study. Once known demand access technologies Broadband Wireless selecting WiMAX due to its large capacity, the granularity that lets you adapt to the different needs of baud rates and operating frequencies were studied; because it is a proven technology and globally.

Designing a composed 04 cells and 08 sectors to ensure adequate care coverage area network which was due to first select an operating frequency in unlicensed bands and therefore precautions were taken was achieved not to exceed the permissible limits power while bandwidth with the appropriate transmit power for the transmission rates demands.

We conclude this thesis project for ensuring a transmission speed of 512Kbps per user to ensure quality of service in access to telecommunications networks by the inhabitants of these localities.

**Keywords:** Broadband, WiMAX, Telecommunication Services, Wireless Networks, Adaptive Modulation, QoS

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Descripción del Problema

Lambayeque es un distrito que tiene una población estimada de 75000 habitantes (INEI, 2014), cuenta con mas de 20 centros poblados con poblaciones tan diversas como de solo un centenar hasta cerca del millar, distribuidas en su agreste geografía.

A pesar de que la capital distrital cuenta con los servicios de Telecomunicaciones básicos, como es telefonía fija y móvil, Servicios de Internet e inclusive algunas de las centros poblados cuenta con cobertura de telefonía móvil, pero no con la calidad apropiada, las demás localidades no cuentan con el servicio de Internet, lo que dificulta el desarrollo económico, educativo y social, pues estudios recientes sugieren que el incremento del servicio global de cobertura y promoción del acceso a los servicios de telecomunicaciones tiene un alto beneficio económico (Arturo Munte Kunigami, 2010). Se ha estimado que un 10% de incremento de penetración de telefonía móvil podría incrementar el crecimiento económico por 0.81% en países en desarrollo, mientras que un 10% de incremento en la penetración de la banda ancha, incrementa el crecimiento económico en 1.4%.

Según (James Alleman, 2006) las telecomunicaciones pueden también incrementar la eficiencia de las actividades económica, comercial y administrativa, mejorando la efectividad de servicios sociales y de emergencia y distribuyendo los beneficios sociales, culturas y económicos de un proceso de desarrollo mas equitativo.

Ademas en (Lars Hendrik Roller, 1996) se afirma que la habilidad de comunicarse incrementa la habilidad de las empresas y las personas de participar en nuevas actividades productivas, aun mas el efecto se incrementa cuando la intensidad de la información entre los procesos productivos se incrementa.

En estos centros poblados su principales actividades económicas son la agricultura y la ganadería y debido a que no existe despliegue evidente de redes de telecomunicaciones, los servicios de telecomunicaciones son rudimentarios, las comunicaciones son limitadas a conversaciones telefónicas y los costos de transacción de pedidos, búsqueda y descarga de información si es que existe, son altos. Mientras que en la capital de distrito el costo es mas bajo y las utilidades de los agricultores y ganaderos se incrementa, mejorando la competitividad de las mismas lo que deja en desigualdad de condiciones a todas esta localidades rurales de este gran distrito.

El Perú liberalizo su sector de telecomunicaciones a mediados de la década de 1990, con la intención de introducir una ambiente competitivo en este sector y a pesar de los grandes avances que se han conseguido, principalmente con los operadores móviles, esto no ha sido suficiente, pues actualmente en una economía basada en la información no es suficiente solamente el acceso a las comunicaciones de voz sino también el acceso a la diversidad de servicios que brindan las redes de telecomunicaciones.

## 1.2. Formulación del Problema

¿En que medida la Red de Banda Ancha Inalámbrica permitirá el acceso a los servicios de las redes de Telecomunicaciones a los centros poblados del Distrito de Lambayeque ?

## 1.3. Justificación

Para un país en desarrollo como en nuestro, una moderna infraestructura en Telecomunicaciones no solo es esencial para un crecimiento económico domestico, si no prerequisite indispensable para poder participar en los mercados mundiales de competitividad progresiva y poder atraer nuevas inversiones a los centros poblados considerados, con un beneficio directo que sera la mejora de las actividades agrícolas y ganaderas de los mismos.

A nosotros, que nos desempeñamos en el sector de las Telecomunicaciones, es una oportunidad de poder primero aplicar los conocimientos impartidos en nuestra universidad y la experiencia adquirida ya en estos 02 años de trabajo y segundo de poder contribuir con nuestros conocimientos a brindar una solución tecnológica para la interconexión de estos centros poblados con redes inalámbricas de banda ancha que mejorara la eficiencia de sus actividades económicas, la efectividad de los servicios sociales

## 1.4. Objetivos de la Investigación

### 1.4.1. Objetivo General

Diseñar una red de Banda Ancha Inalámbrica con una velocidad de transmisión de 512Kbps a cada usuario, sustentado en la teoría de las redes de comunicación, transmisión de señales inalámbricas y Calidad de Servicio que permita el acceso a los servicios de Telecomunicaciones a los centros poblados aislados del Distrito de Lambayeque.

### 1.4.2. Objetivo Específico

1. Estudiar las principales arquitecturas de redes de banda ancha inalámbricas para localidades rurales.
2. Establecer los parámetros de calidad de las redes de banda ancha inalámbricas que garantice una velocidad de 512Kbps a todo los usuarios de los centros poblados favorecidos.
3. Determinar la arquitectura de red ha utilizarse y los equipos en las diferentes partes de la arquitectura de red.

4. Realizar pruebas a nivel de Simulación del desempeño de la red y verificar parámetros de calidad.

### 1.5. Hipotesis

Si diseñamos de red de Banda Ancha Inalambrica que garantice una velocidad de transmisión de 512Kbps a cada usuario, sustentado en la teoría de las redes de comunicación, transmisión de señales inalámbricas y Calidad de Servicio, se permitirá el Acceso a los servicios de Telecomunicaciones a los centros poblados aisladas del Distrito de Lambayeque.

## Capítulo 2

# Análisis Actual de Lambayeque y sus Centros Poblados

## 2.1. Espacio Geográfico

### 2.1.1. Ubicación Geográfica

La provincia de Lambayeque se encuentra ubicada en el norte de la costa peruana, aproximadamente entre las coordenadas geográficas  $5^{\circ}28'36''$  y  $7^{\circ}14'37''$  de latitud Sur y  $79^{\circ}41'30''$  y  $80^{\circ}37'23''$  de longitud oeste del Meridiano de Greenwich, específicamente, en el noroeste y este de la región Lambayeque; al lado izquierdo del río Lambayeque a una altura de 18 m.s.n. y a 11,4 Km. de la ciudad de Chiclayo. Ver Figura 2.1

En esta provincia, se ubica el distrito de Lambayeque creado por Simón Bolívar.

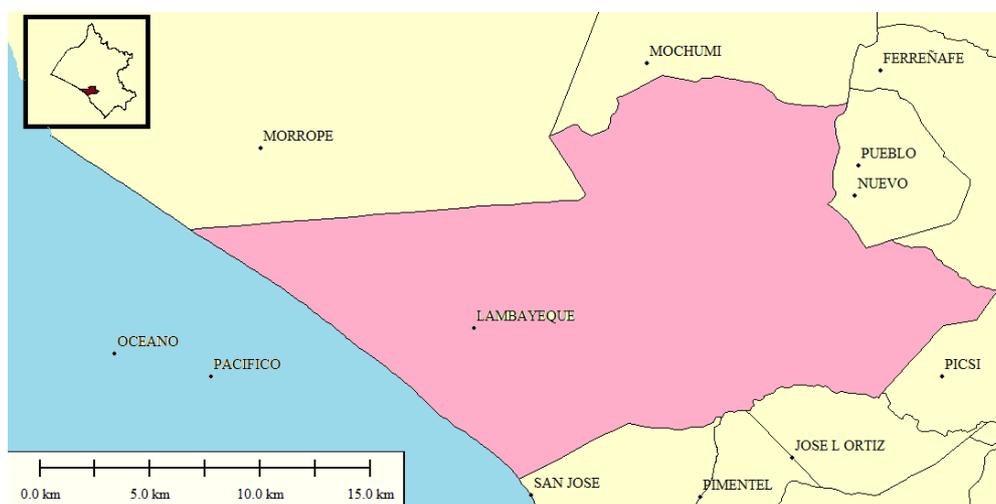


Figura 2.1: Distrito de Lambayeque

### 2.1.2. Límites

Por el norte limita con Mórrope y Mochumí, por el Sur con José Leonardo Ortiz, Chiclayo y San José; por el Este con Picci y Pueblo Nuevo, por el Oeste con el Océano Pacífico.

### 2.1.3. Clima

Estación muy marcada, el verano con poca presencia de lluvias, donde la temperatura se eleva hasta alcanzar los 34 C. el resto el año presenta un clima otoñal, con permanente viento y temperaturas que oscilan entre los 17 y 25 C. En general el Departamento presenta un clima benigno, con bajo porcentaje de humedad y con una media anual de 23 C.

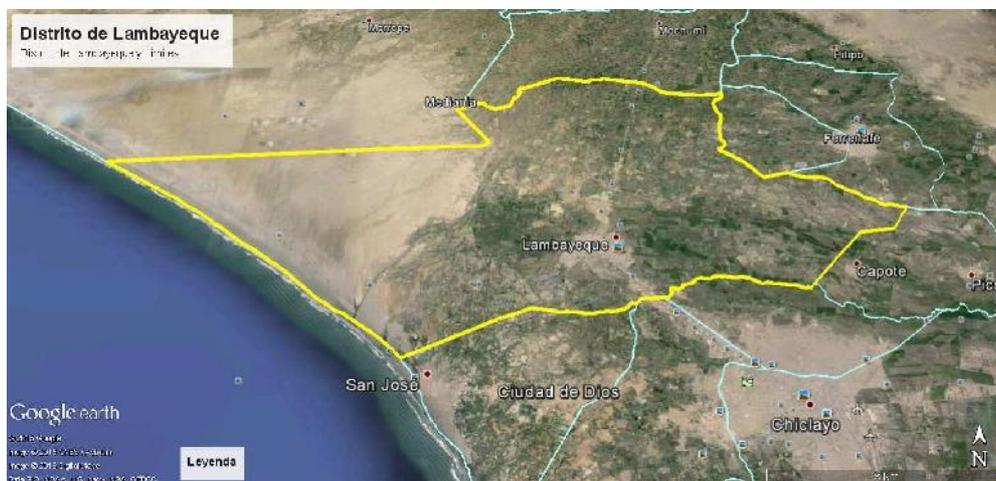


Figura 2.2: Distrito de Lambayeque usando Google Earth

#### 2.1.4. Extensión Territorial

Su extensión territorial es de  $336,52 \text{Km}^2$  y representa el 3% de la extensión de la provincia del mismo nombre y solo el 2% de la extensión departamental, como se puede observar en la figura 2.2

De las más de 16000 hectáreas de terreno agrícola, el 33% está en manos de pequeños agricultores con menos de 5 hectáreas cada uno (INEI, 2012), son en su mayoría estos pequeños agricultores que están distribuidos en más de 30 centros poblados con número de pobladores desde dos decenas hasta un poco más de seis centenares. (INEI, 1993)

## 2.2. Actividades Económicas

Las principales actividades económicas son la agricultura, la ganadería, la agroindustria, la artesanía, y los servicios turísticos. Sus cultivos principales son el arroz, algodón, maíz, sorgo, chileno, lenteja de palo.

En la agroindustria, existen numerosos molinos de pilar arroz. Además se fabrican ladrillos de construcción, elaboran los exquisitos kingkones y dulces diversos.

El gran problema es que en el caso de los pequeños agricultores (con menos de 0.5 Ha) (INEI, 2012) solo el 11.11% afirma haber recibido capacitación y asistencia técnica y en el caso de los propietarios o usuarios con menos de 5 Ha solo el 12.6% ha recibido Capacitación y Asistencia Técnica, esto mejora con los propietarios de áreas de terrenos grandes (más de 10 Ha) donde el porcentaje sube hasta 50% y esto es posiblemente porque estos propietarios residen en las zonas urbanas y tienen mejor acceso a los medios de comunicación.

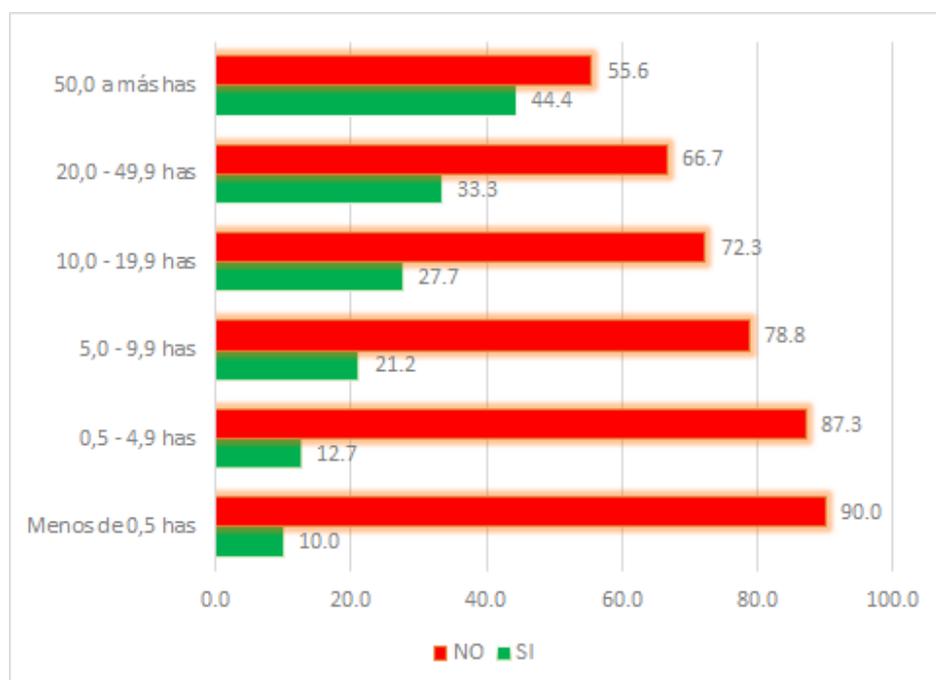


Figura 2.3: Capacitación y Asistencia Técnica y Área de Terreno

En la figura 2.3(INEI, 2012), se observa cierta relación entre el área del terreno y la Capacitación o Asistencia Técnica recibida, mientras el área de terreno aumenta, de la misma forma el haber recibido una capacitación aumenta, lo contrario también es cierto.

Esto contrasta con el hecho de que más del 94 % de los agricultores pertenece a la comisión de regantes y aún así; al parecer no reciben una atención adecuada en cuanto a capacitación y Asistencia Técnica.

Posiblemente la causa de esta situación sea el hecho de que más del 55% de los productores agrícolas no hayan logrado terminar sus estudios(INEI, 2012), creando las condiciones adversas que hace más difícil hacer llegar una capacitación y Asistencia Técnica a los mismos.

### 2.3. Desarrollo Social

Se presentan resultados de estudios relacionados con el desarrollo social de la Región Lambayeque, pero haciendo énfasis en la provincia de Lambayeque, a fin de establecer un escenario donde las redes de acceso de Banda Ancha, pueden ser el motor para contribuir estos indicadores sociales.

Se observará que Lambayeque en general presenta indicadores sociales encima del promedio, existe todavía un largo camino por recorrer. Las diferencias mostradas en

estos indicadores entre provincias y entre áreas urbanas y rurales son notorias, de tal manera que la mejora de la calidad de los servicios públicos; entre los que esta el acceso de banda ancha, es un reto nacional y regional a fin de elevar el capital humano para lograr una región igualitaria y mas competitiva.(Reserva, 2008).

### 2.3.1. Índice de Desarrollo Humano

Un índice que permite tener una una idea global al desarrollo humano de un país o una región es el Índice de Desarrollo Humano (IDH), elaborado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Este se mide usando tres indicadores, que son esperanza de vida, logro educativo (que considera a su vez la alfabetización de las personas mayores de 15 años y la escolaridad entre 5 y 18 años de edad) y el ingreso per capita. La región Lambayeque ocupa el puesto 7 a nivel nacional y la provincia de Lambayeque el puesto 48 de un total de 198.

En cuanto a la pobreza total y pobreza extrema Lambayeque es la novena región de menor tasa de pobreza total y octava en pobreza extrema en el 2007.

### 2.3.2. Población

La población de la región Lambayeque ha crecido mas de 04 veces entre 1940 y 2005(Informática, 2007), en el Censo del 2007 se estimo una población de 1.1 Millones de habitantes, estando el 79.5 % en la zona urbana y el área rural el 20.5 %. A nivel de provincia de Lambayeque la población total es de 259274 habitantes con una población urbana de 125294 (48.3 %) rural de 133980 (51.7 %), con una densidad de 27.7 hab por  $Km^2$ . En el distrito de Lambayeque de una población total de 65386 habitantes, existe un estimado de población urbana de 48273 (76.16 %) y 15113 pobladores en zonas rurales (23.84 %). Esta población rural del distrito de Lambayeque se distribuye en mas de 54 caseríos, centros poblados y comunidades campesinas.

La población económicamente activa de mas de 14 años en el distrito se Lambayeque, según el censo de población del 2007, se encuentro 22652 pobladores, estando en las zonas urbanas 17559 y 4893 en la zona rural. En el caso de población rural 895 pertenecen al rubro de Agricultores y trabajadores calificados y 2966 de trabajadores no calificados.

## 2.4. Los Centros Poblados

Nuestro estudio se concentra en las localidades y centros poblados rurales del distrito de Lambayeque, para lo cual se ha considerado las localidades y centros poblados con una población mayor a 100 habitantes los cuales detallamos a continuación:(INEI, 1993). Se proyecto la población actual, usando la tasa de crecimiento establecida por los diferentes censos posteriores.

### 2.5. Cálculo de la Demanda de Centros Poblados

Con el conocimiento de la cantidad de habitantes de los centros poblados, se ha realizado un estudio de planificación de recursos, traducido en ancho de banda necesario por centro poblado, para cubrir las necesidades de comunicación en los servicios considerados de Telefonía móvil, Telefonía Fija e Internet de Banda Ancha, para poder realizar estas proyecciones se ha usado la información de penetración de los servicios de telefonía en el Perú en (Gallardo, López, y Gonzales, 2007), además se ha realizado un cálculo de estas necesidades en 10 años es decir en 2025. Los resultados obtenidos se pueden revisar en la tabla 2.5

Nro	Centro Poblado	2015
1	Virgen Purísima Concepción	183
2	Sialupe Baca La Capilla Santa Rosa	1124
3	Sialupe Baca Rio Hondo	558
4	Muy Finca Punto Nueve Rama (El Adobe)	1551
5	Punto Nueve	962
6	Sialupe Huamantanga Los Mestas	593
7	San Miguel	164
8	Sialupe Huamantanga Sector 1	446
9	Eureka	595
10	Mocce Antiguo	223
11	Yencala Boggiano	698
12	Bodegones Ranchera	301
13	Carrizo	306
14	Rastrojo de Las Vacas	172
15	Mariategui	81
16	Muy Finca Punto Nueve Rama Cabrera	1613
17	Sialupe Baca Punto Cuatro	1074
Poblacion Beneficiada		10805

Tabla 2.1: Centros Poblados Beneficiados

La metodología seguida para el cálculo de las necesidades de la población en los centros poblados considerados es la siguiente:

Por ejemplo para un centro poblado con una población de 183 habitantes, se ha usado el promedio de habitantes por vivienda para calcular el número de viviendas por centro poblado, este promedio es obtenido de los datos del INEI, para el caso particular de Lambayeque es de 4.3, lo que nos lleva a una cantidad de 42 viviendas.

Para la penetración de telefonía móvil se ha usado la información proporcionada por (Bossio, 2010), donde nos muestra que el 40.1% de hogares rurales del Perú al menos un miembro de la familia utilizaría teléfono celular, esto es en el 2009 y representaba

el triple de los hogares rurales con acceso móvil registrados por el INEI en el 2007.

También en (Bazalar, 2013), indica que el 5% de los hogares rurales tienen una computadora, acá consideramos a estos como los potenciales usuarios del acceso de banda ancha, además de los usuarios móviles con teléfonos inteligentes representan el 15% de los usuarios móviles, sumándose a los usuarios con una capacidad de consumo de banda ancha mayor.

Finalmente respecto a la telefonía fija básica, actualmente se ha quedado en una penetración de solo el 0.4% de los hogares y que se mantiene a lo largo de los años como se muestra en (Gallardo y cols., 2007, pag. 7).

Respecto al crecimiento de los servicios, en el caso de telefonía móvil, tiene una tasa de crecimiento agresiva de 8% anual en promedio en el Perú (Gallardo y cols., 2007, pag. 7) y en caso de Internet la tasa de crecimiento es de 10% entre los años 2009 y 2012. (Intelis, 2014, pag 10).

Usando un porcentaje de penetración de 40% para telefonía móvil, 4% para telefonía fija y 5% para Internet (Hogares con PC) se ha determinado el número de usuarios potenciales de cada servicio, se muestra en la tabla 2.2 con estos resultados.

Nro	Centro Poblado	2015	Viviendas 4.3 Hab/Viv	Movil 40%	fijo 4%	Internet 5%
1	Virgen Purísima Concepción	183	42	17	2	6
2	Sialupe Baca La Capilla Santa Rosa	1124	261	105	11	30
3	Sialupe Baca Rio Hondo	558	129	52	6	15

Tabla 2.2: Calculo de Potenciales Usuarios por Servicio

Conociendo los potenciales usuarios de cada servicio, ahora se debe determinar la capacidad de los canales de comunicación para el caso de los usuarios de telefonía fija y móvil, que usaran VoIP es necesario determinar el tráfico en Erlangs, para esto se conoce que en promedio 0.2 usuarios ocupan un canal con una llamada de 120 segundos en el caso de telefonía móvil y en el caso de telefonía fija un promedio de 0.3 usuarios ocupan un canal con una llamada de 180 segundos, además que para los usuarios de Internet se usa que de cada 15 usuarios uno desea conectarse y como se menciono anteriormente en estos usuarios ya se considera lo usuarios de teléfonos inteligentes, de nuevo los resultados se muestran en la la tabla 2.3, usando los mismos centros poblados de la tabla 2.2.

Nro	Centro Poblado	2015	Telefonía Móvil	Telefonía fija	Usuarios de Internet
1	Virgen Purísima Concepción	183	1.08	0.045	3
2	Sialupe Baca La Capilla Santa Rosa	1124	6.62	0.23	15
3	Sialupe Baca Rio Hondo	558	3.28	0.12	8

Tabla 2.3: Tráfico en Erlangs y Usuarios simultáneos de canal de Internet

Se usara las tablas de Erlang, con una probabilidad de bloqueo de 1% para determinar el numero de circuitos necesarios tanto para los usuarios de telefonía fija como móvil y luego se considera un ancho de banda conservador de 32Kbps para cada canal (basado en el Codificador G. 729 con un periodo de paquetizacion de 25ms). Con esto habremos obtenido el ancho de banda necesario para los servicios de telefonía fija y móvil, para el caso de acceso a Internet una de nuestras premisas principales es una velocidad de 512Kbps, todos los usuarios de Internet ( o al menos los que se conectan simultáneamente) dispondrán de esta velocidad por tal motivo ahora ya se puede calcular la demanda de ancho de banda por centro poblado. Ver Tabla 2.4

Nro	Centro Poblado	2015	Telefonía Móvil Canales	Telefonía fija Canales	Usuarios de Internet	Ancho de Banda (Mbps)
1	Virgen Purísima Concepción	183	2	1	1	0.581
2	Sialupe Baca La Capilla Santa Rosa	1124	4	2	2	1.162
3	Sialupe Baca Rio Hondo	558	3	2	1	0.627

Tabla 2.4: Canales de Telefonía y Ancho de Banda por Centro Poblado

Se ha realizado el calculo para los demás centros poblados, obteniéndose como resultado la tabla 2.5, donde también se incluye la demanda proyectada para el 2025. Es importante indicar que esta proyección no solo incluye el crecimiento de la población si no también el crecimiento de la penetración de los diferentes servicios y fundamentalmente los servicios de Telefonía Móvil e Internet.

Nro	Centro Poblado	2015	BW (Mbps)	2025	BW (Mbps)
1	Virgen Purísima Concepción	183	0.581	200	1.651
2	Sialupe Baca La Capilla Santa Rosa	1124	1.162	1229	8.025
3	Sialupe Baca Rio Hondo	558	0.627	610	4.326
4	Muy Finca Punto Nueve Rama (El Adobe)	1551	1.674	1696	11.189
5	Punto Nueve	962	1.139	1052	6.978
6	Sialupe Huamantanga Los Mestas	593	1.139	648	4.349
7	San Miguel	164	0.581	180	1.651
8	Sialupe Huamantanga Sector 1	446	0.604	487	3.279
9	Eureka	595	1.139	651	4.349
10	Mocce Antiguo	223	0.581	244	1.674
11	Yencala Boggiano	698	1.139	764	5.396
12	Bodegones Ranchera	301	0.581	335	2.744
13	Carrizo	306	0.581	335	2.744
14	Rastrojo de Las Vacas	172	0.581	176	1.651
15	Mariategui	81	0.558	88	1.116
16	Muy Finca Punto Nueve Rama Cabrera	1613	1.674	1764	11.724
17	Sialupe Baca Punto Cuatro	1074	1.162	1175	8.025
Poblacion Beneficiada		10805	16.084	11817	82.552

Tabla 2.5: Ancho de Banda de Centros Poblados Beneficiados

# Capítulo 3

## Marco Teórico

### 3.1. Redes de Banda Ancha

Las redes de banda ancha y en particular las redes inalámbricas en general se han introducido al mercado de manera exitosa, tal es el caso de las diferentes generaciones de redes móviles, que han tenido que evolucionar debido a las múltiples aplicaciones que los usuarios exigen.

Actualmente los usuarios de estas redes actuales, demandan transmitir voz, datos, video y otras formas de información en distancias que cubren decenas de metros a decenas de kilómetros, con altas velocidades de transmisión, y con una alta calidad, lo que ha originado el desarrollo de redes inalámbricas de banda ancha que cubren las expectativas de los usuarios más exigentes.

Las ofertas de las redes inalámbricas actuales, permiten una rápida incorporación de nuevos usuarios a la red, permitiendo el acceso a información y recursos en tiempo real en cualquier ubicación a un menor costo que las redes cableadas, además que son una buena alternativa por su rápido despliegue en zonas rurales donde la concentración de población no es muy densa.

#### 3.1.1. Espectros de Radio frecuencia

Parte del espectro electromagnético se ha dividido en lo que se conoce como el Espectro de Radiofrecuencias, tal como se muestra en la tabla 3.1.

Rango de Frecuencias	Designación	Abreviación
3 - 30 KHz	Muy Baja Frecuencia	VLF
30 - 300 KHz	Baja Frecuencia	LF
300 - 3000 KHz	Frecuencias Medias	MF
3 - 30 MHz	Alta Frecuencia	HF
30 - 300 MHz	Muy Alta Frecuencia	VHF
300 - 3000 MHz	Ultra Alta Frecuencia	UHF
3 - 30 GHz	Super Alta Frecuencia	SLF
3 - 30 GHz	Extremadamente Alta Frecuencia	ELF

Tabla 3.1: Espectro Radioeléctrico

El espectro Radioeléctrico es un recurso no renovable por tal motivo debe ser gestionado de manera responsable, para permitir la introducción de nuevos servicios o mejorar los ya existentes a medida que la tecnología logra ampliar los rangos de frecuencia de operación de los diferentes sistemas de telecomunicaciones.

A nivel internacional la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) (Telecom, 2003) se encarga de las asignaciones de frecuencias, a modo de recomendaciones y en el Perú el encargado de esta gestión es el Ministerio de Transportes y Comunicaciones,

que mediante el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias - PNAF (Comunicaciones, 2014), regula el uso del espacio radioeléctrico en nuestro país.

### 3.1.2. Plan Nacional de Atribución de Frecuencias del Perú

Documento Técnico normativo que contiene los cuadros de atribución de frecuencias y la clasificación de usos del espacio radioeléctrico, así como las normas técnicas generales para la utilización del espectro radioeléctrico (Comunicaciones, 2014).

Este PNAF es actualizado periódicamente como resultado de acuerdos tomados en las conferencias mundiales de Radiocomunicaciones de la UIT, acuerdos bilaterales y multilaterales, celebrados con otras administraciones, recomendaciones formuladas por organismos internacionales de los que el Perú es miembro como la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL) y de aquellas modificaciones, adiciones o expedición de normas nacionales, aplicadas a los planes de distribución de radio canales de los servicios de radiocomunicación que actualmente están en operación, o bien de los nuevos servicios de radiocomunicación.

Mostramos a continuación las notas de la sección V que son de interés para este proyecto:

- **P23:** del PNAF, menciona a las bandas de frecuencias para aplicaciones industriales, científicas y medicas (ICM) que a la letra son:

13 553	-	13 567	KHz	Frecuencia central	13 560	KHz
26 957	-	27 283	KHz	Frecuencia central	27 120	KHz
40,66	-	40,70	MHz	Frecuencia central	40,68	MHz
902	-	928	KHz	Frecuencia central	915	MHz
2 400	-	2 500	MHz	Frecuencia central	2 450	MHz
5 725	-	5 875	KHz	Frecuencia central	5 800	MHz
24	-	24,25	GHz	Frecuencia central	24,125	GHz

Tabla 3.2: Rango de Frecuencias ICM

- **P73:** La banda comprendida entre 3 400 - 3 600 MHz está atribuida a título primario para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones utilizando sistemas de acceso fijo inalámbrico. El otorgamiento de concesión y la asignación de espectro para la explotación de dichos servicios será mediante concurso público de ofertas para la provincia de Lima y la Provincia Constitucional del Callao.
- **P82:** encontramos La banda 5 150 - 5 250 MHz está atribuida a título secundario para servicios fijo y/o móvil públicos y/o privados de telecomunicaciones para su uso en interiores. Aquellos que hagan uso de las frecuencias antes indicadas deberán sujetarse a la normativa establecida o que establezca el Ministerio.

- **P83:** indica que la banda 5 250 - 5 350 MHz está atribuida a título secundario para los sistemas de acceso inalámbrico para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones fijos y/o móviles. Aquellos que hagan uso de las frecuencias antes indicadas deberán sujetarse a la normativa establecida o que establezca el Ministerio.

### 3.1.3. Evolución de las Redes Inalambricas de Banda Ancha

Las redes inalambricas de banda ancha, se desarrollaron por el deseo de hallara una alternativa competitiva a las tecnologías de acceso cableadas tradicionales. Estimulados por la falta de regulación en la industria de las telecomunicaciones y el rápido crecimiento de Internet (Andrews, Ghosh, y Muhamed, 2007) muchos portadores competitivos fueron motivados para hallar soluciones inalambricas para eludir a proveedores de servicios establecidos. En la década pasada se desarrollaron muchos sistemas, con amplias variaciones en su desempeño, protocolos, frecuencias de operación, y aplicaciones soportadas. Hasta, las redes inalambricas de banda ancha tiene una historia llena de altibajos, debido a la fragmentación de la industria y a la debilidad de un estándar común. WiMax emergió como un estándar de la industria a cambiar esta situación.

Desde la perspectiva de WiMax, las redes inalambricas de banda ancha a evolucionado a través de cuatro etapas, aunque no necesariamente de manera secuencial: (1) Sistemas inalambricos de bucle local de banda angosta, (2) Primera Generación de sistemas LOS, (3) Segunda Generación de sistemas NLOS, (4) Sistemas inalambricos de banda ancha basados en estándares (Andrews y cols., 2007).

### 3.1.4. Redes de Banda Ancha Inalambricas Fijas

Las aplicaciones usando soluciones inalambricas fijas pueden ser clasificadas como: Punto a Punto (*Point-to-Point PTP*) y Punto a Multipunto (*Point-to-Multipoint PTM*). Las aplicaciones PTP incluyen conectividad entre edificios, conectividad dentro de un campus, y backhaul de Microondas. Aplicaciones PTM incluyen: (1) Banda Residencial, oficinas pequeñas/ oficinas en casa (SOHO), Empresas de pequeñas a medias (SME) y Banda Ancha rural. (2) T1 o T1-fraccional para brindar servicios a negocios, y (3) Backhaul de Puntos de Acceso Wi-Fi. La figura 3.1 muestra algunas de las aplicaciones típicas de WiMax.

### 3.1.5. Redes de Banda Ancha Inalambricas Móviles

WiMax fue desarrollado para aplicaciones fijas, hoy todo el potencial de WiMax se puede aprovechar usando las aplicaciones nómadas y móviles de banda ancha, de esta manera permite a los usuarios finales de banda ancha en el hogar y el trabajo,

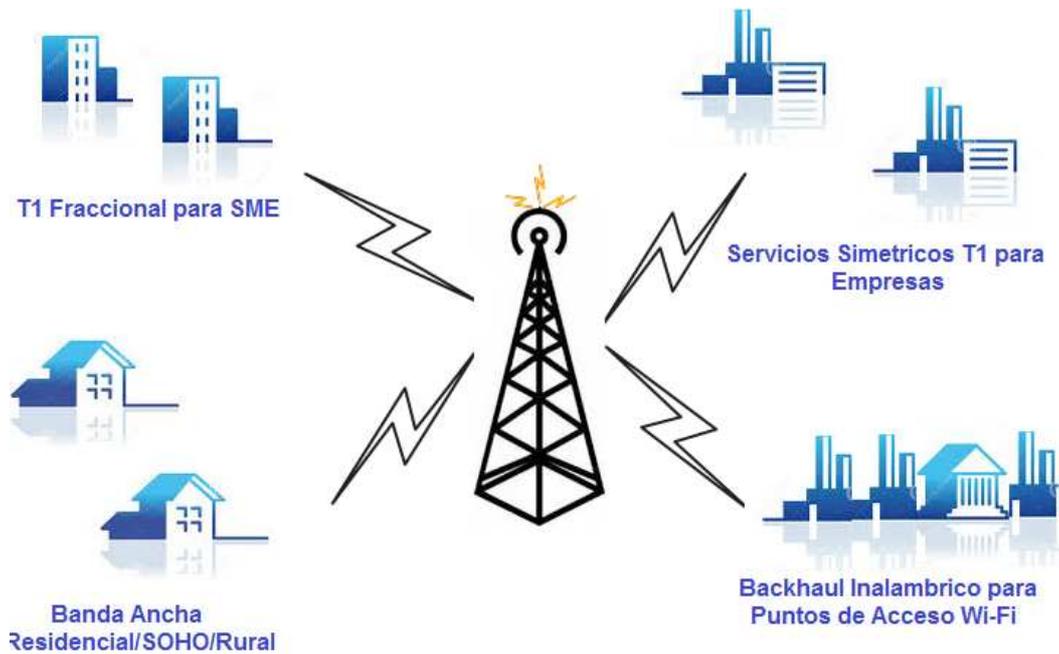


Figura 3.1: Aplicaciones de WiMAX

Parametro	WiMax fijo	WiMax Movil	HSPA	1xEV-DO Rev A	Wi-Fi
Estandar	IEEE 802.16 2004	IEEE 802.16e 2005	3GPP Release 6	3GPP2	IEEE 802.11 a/g/n

Tabla 3.3: Comparacion de WiMax con Wi-Fi y 3G

ha demandar servicios similares en el contexto de redes nómadas o móviles, y muchos operadores pueden usar WiMax para cumplir con esta demanda.

Adicional al acceso de alta velocidad, WiMax móvil puede ser usado para proporcionar servicios VoIP efectivamente, además los operadores pueden usarla para brindar servicios diferenciados personales de banda ancha, tales como entretenimiento móvil. El ancho de banda flexible y múltiples niveles de calidad de servicio (QoS) soportados por WiMax pueden ser usados para proporcionar aplicaciones de entretenimiento diferenciadas de banda ancha y baja latencia.

### 3.1.6. Comparación de WiMax con otras tecnologías Inalambricas de Banda Ancha

Al no ser WiMax la única tecnología en brindar servicios inalámbricos de banda ancha, en la tabla 3.3 se presenta un resumen de la comparación de WiMax con las tecnologías 3G y Wi-Fi.

### 3.2. Wimax

El estándar 802.16, es también conocido como Interoperatividad mundial para acceso por microondas (WiMAX), incluye especificaciones para redes de acceso de banda ancha fijas y móviles. WiMax es la primera solución concebida para soportar datos IP eficientemente, además de proporcionar altas velocidades inalámbricas a áreas amplias, mejorando la eficiencia espectral respecto a tecnologías previas. (Korowajczuk, 2011).

Esta tecnología permite el acceso a redes de banda ancha a localidades aisladas donde el despliegue de redes de fibra óptica es difícil debido a las características geográficas y también al costo que implica. Esta tecnología se combina ventajosamente con las tecnologías WI-FI, debido a las características de conexión WAN de WiMax y las características de red de acceso de Wi-Fi, permitiendo llevar la red de banda ancha (WiMax) hasta la localidad y permitiendo el acceso de los pobladores a la misma usando Wi-Fi. (Teribia y Escrivá, 2013, pág. 6)

#### 3.2.1. Estándar 802.16

El estándar WiMAX fue desarrollado por la IEEE en varias fases. Se basa en el trabajo hecho por el comité de estándares LAN/MAN IEEE-802, que fue creado en febrero de 1980 para definir estándares para redes de Área Local y Metropolitana (LAN y MANs).

El objetivo original del grupo de trabajo de redes de acceso de banda ancha, 802.16, fue especificar una tecnología de banda ancha punto a punto para ser usada encima de 11GHz. Hoy el IEEE afirma “Este estándar especifica las interfaces de aire, incluyendo la capa de acceso al control del medio (MAC) y la capa física (PHY), de redes de acceso inalámbricas de banda ancha, combinadas fijas, móviles punto a multipunto, sistemas proporcionando múltiples servicios”<sup>1</sup>

Debido a la posibilidad de la construcción de equipos no compatibles se ha creado el Forum WiMAX, una organización sin fines de lucro, creada para diseminar y después estandarizar la tecnología WiMAX. El estándar de la IEEE define solo la capa física (PHY) y la capa de acceso al medio (MAC), pero no es suficiente para asegurar la interoperatividad. El Forum WiMAX tiene la responsabilidad de crear las líneas de guía de una arquitectura de red WiMAX end-to-end, cubriendo roaming y integración con otras redes (WLAN, 3G, 4G).

#### 3.2.2. Ventajas de WiMAX

Las mejoras de WiMAX respecto a tecnologías 3G tradicionales son:

1. Red conmutada de paquetes (Basada en IP).

---

<sup>1</sup>IEEE, 802.16

2. Multiplexación por división de Frecuencia Ortogonal (OFDM).
3. Acceso Multiple por división de Frecuencia Ortogonal (OFDMA).
4. Duplex por división de Tiempo (TDD).
5. Modulación adaptativa multi nivel (hasta 64QAM).
6. Técnicas de corrección de errores robusta.
7. Diseñado para sistemas de antenas avanzadas.

WiMAX soporta velocidades de hasta 70Mbps, con rangos de alcance de 10Km y aprovecha el protocolo IP utilizado hoy en las redes cableadas, siendo así capaz de interconectarse directamente a las mismas. (Korowajczuk, 2011, pag, 343)

### 3.2.3. Evolución de Estándares

En la tabla 3.4 se muestra como ha evolucionado este estándar a través de los años, hasta llegar hasta su actual implementación.

### 3.2.4. Arquitectura de Red

La Arquitectura se divide en ASN (Access Service Network), CSN (Connection Service Network), ASP (Application Service Provider) y OSS (Operation Support System) como lo indica la figura 3.2. Las interfaces entre los bloques de la arquitectura son definidos en la figura 3.3:

- R1)** Es la interface de aire entre el SS y el BTS.
- R2)** Es una interface lógica entre el SS y el CSN (Una conexión física directa entre ambos no existe) Esto es asociado con servicio de Autenticación, Autorización, Administración de Configuración de host IP, y administración de movilidad.
- R3)** Es la interface entre ASN y CSN. Este soporta AAA, políticas de administración y administración de movilidad.
- R4)** Consiste de protocolos entre ASNs para coordinar administración de movilidad.
- R5)** Consiste de protocolos para comunicación entre CSNs.
- R6)** Consiste de protocolos de comunicación entre BTS y ASN.
- R7)** Consiste de protocolos de comunicación entre BTSs.

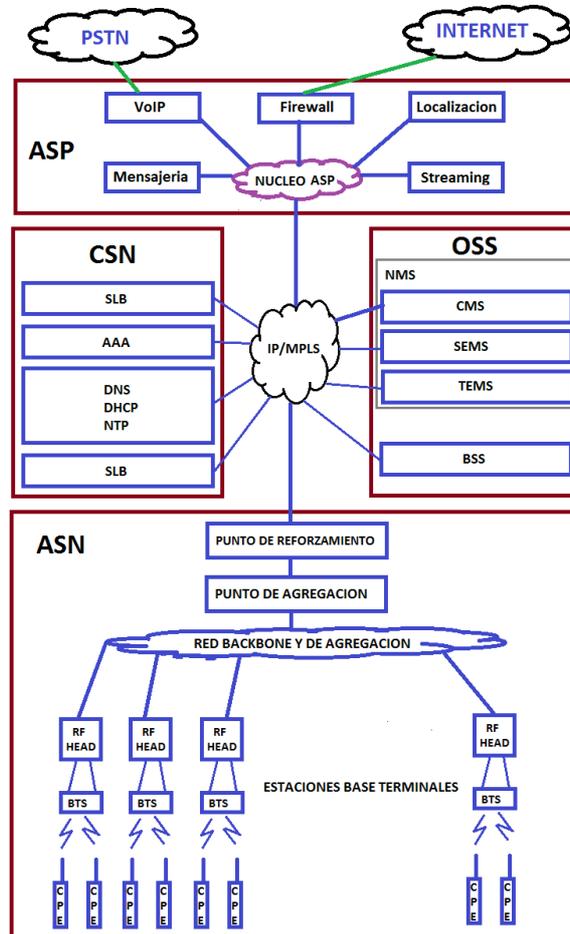


Figura 3.2: Arquitectura de Red WiMAX

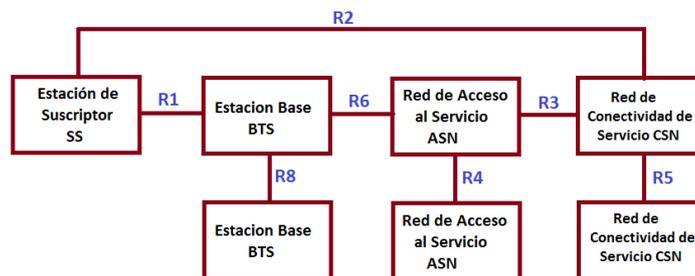


Figura 3.3: Interfaces WiMAX

Proyecto	Descripción
P802.16m	Interface Avanzada de Aire. Este proyecto deberá resultar en la creación de WiMAX Release 2.0 (WiMAX 2.0)
Borrador P802.16h	Mecanismos de Coexistencia Mejorados para operación sin Licencia.
Borrador P802.16j	Especificación de enlaces de multiples saltos.
Std 802.16 –2009	Esta revisión es conocido como Release 1.0/1.5 e incluye clarificación y mejoras en el modo de operación multiplexación por división de frecuencia (FDD)(Etemad y Lai, 2011, pag, 4).
Std 802.16 –2004	Estándar Activo. Revisión de IEEE Std 802.16. Fue desarrollado por el grupo de Trabajo bajo el nombre de P802.1 –REVD agregando el rango de frecuencias de operación de 2–11 GHz.
Std 802.16a –2003	Primera versión NLOS con rango de frecuencias de trabajo menos de 11 GHz para redes de acceso fijos.
Std 802.16 –2001	Primera versión de LOS con frecuencias de trabajo en el rango de 10–66 GHz para redes de acceso fijas.

Tabla 3.4: Estándares WiMAX

#### 3.2.4.1. ASN – Red Acceso a Servicios

El ASN proporciona el acceso del suscriptor o cliente a la red e incluye CPEs, Puntos de Acceso (AP) o Estaciones Base (BTS), y el gateway (GW) ASN. El ASN–GW agrega trafico BS e implementa funciones que son comunes a todas las estaciones bases. Sus funciones principales son:

- Acceso inalámbrico.
- Punto de Agregación.
- Punto de reforzamiento.
- Punto de decisión

Sus principales componentes son:

##### 1. Estación Base (BS)

Las principales características de las Estaciones Bases (BS) son:

- Internas (Indoor) o Externas (Outdoor).
- Número de sectores: simple o multiple.
- Uno o mas puertos Ethernet.
- Integrado o separado RF GPS.
- Instalación en torre.
- Integrado o separado cabezal de RF y Antena.
- Soporte MIMO.
- Soporte de formación de haz.

## 2. Cabezal de RF (RF – HEAD RFH)

El cabezal de RF puede ser separado de la estación base, y montada cerca de la antena para bajar las pérdidas. Sus características son:

- Es típicamente externo (outdoor)
- Puede soportar dos o mas antenas.
- La potencia de salida de cada antena es típicamente entre 2W a 5W.

## 3. CPE

Las principales características de CPE son:

- Fijo o portable.
- Independiente o integrado.
- Interno o externo.
- Solo datos, o soporte de datos y VoIP (1 o mas canales).

### 3.2.4.2. ASN–GW (Gateway de Red de Acceso a Servicios)

El ASN–GW se encarga de alineamiento y sincronización en el aire, Administración de suscriptores IP, políticas de reforzamiento de QoS y movilidad como una sola entidad centralizada. El hardware de ASN–GW esta compuesto de computadoras, routers y switches. Las principales funciones de ASN – GW son las siguientes:

- Enrutador IP de primer salto para el conjunto de suscriptores bajo su dominio.
- Actua como un agente externo para nodos móviles.
- Opera como router de flanco.
- Es el punto de conectividad a AAA para autentificar al suscriptor y recuperar los atributos que describen el conjunto de capacidades autorizadas al suscriptor.

- Soporta el modo de reposo.
- Soporta paginación.

Las siguientes capacidades son de particular importancia en el ASN–GW:

- MPLS (Multi Protocol Label Switching):
  - Es un mecanismo de transporte de datos, en la cual a los paquetes de datos se le asigna etiquetas, entonces las decisiones de envío de paquetes son hechas en base a los contenidos de las etiquetas, sin examinar los paquetes en si mismos. Esto crea circuitos de fin a fin (ent–to–end) a través de cualquier de tipo de medio de transporte, usando cualquier protocolo.
- Ingeniería de Trafico:
  - RSVP (Protocolo de Reservación de Recursos RFC 3209). LDP (Protocolo de Distribución de Etiquetas RFC 3036, 3478), VPN capa 2 (Redes privadas virtuales) Independientes del Transporte, multicast y otros.
- Calidad de Servicio:
  - Clasificación de Paquetes (RFC 2474, 2475, 2597, 2598).
  - Servicios Integrados(IntServ) o Servicios Diferenciados (DiffServ):
    - ACL (Lista de Control de Acceso) y TCL (Listas de Control de Tránsito), directivas de entrada.
    - BGP (Protoco de Borde), Atributos basados en QoS; conformación de directivas de entrada salida basada en clases.
    - Colas con prioridad y EDRR.
    - RED y WRED.
    - MPLS.
    - ATM.
  - Protocolo de Tunel de Capa 2:
    - LNS (Servidor Protocolo de Tunel de Capa 2).
    - LAC (Concentrador Protocolo de Tunel de Capa 2).
  - Protocolos de enrutamiento:
    - BGP-4.
    - IS–IS.
    - OSPF.
  - Protocolos Multicast:

#### 3.2.4.3. Punto de Decisión

El punto de decisión es responsable de las siguientes funciones:

- Función de Distribución de llaves locales.
- Controlador de Movilidad (paginación).
- Políticas de QoS de Punto de Decisión.
- Control de Acceso de suscriptores.

#### 3.2.4.4. Router/FA (Agente Extranjero) o Punto de Reforzamiento

Es responsable de las funciones de abajo:

- Enrutamiento de trafico IP.
- Autenticación de suscriptores.
- Políticas de Administración.
- Capacidades de QoS a nivel de suscriptor.
- Terminaciones de túneles capa 2.
- Soporte para multiples Agentes Extranjeros en la misma plataforma.
- Túneles IP en IP y GRE.
- Soporte de traslapamiento de direcciones IP.
- Protección de repetición basado en marcas de tiempo.
- Reenvió basado en MAC.

#### 3.2.4.5. Switch o Punto de Agregación

Es el responsable del Switch capa 2.

#### 3.2.4.6. CSN (Red de Servicio de conectividad)

El CSN ejecuta funciones centralizadas tales como traslación de direcciones, seguimiento de suscriptores locales y extranjeros, autenticación y grabación y almacenaje de llamadas. Estas funciones son controladas por software. Este sistema es responsable de la conectividad de los suscriptores y sus funciones se describen en seguida.

#### 3.2.4.7. Home Agente (HA)/Foreign Agent (FA)

HA y FA son requeridos para movilidad:

- Un HA almacena información acerca de los nodos móviles cuya dirección home es la del agente home de la red.
- Un FA almacena información acerca de los nodos móviles visitantes a su red. Los FA también anuncia direcciones de custodia, que son usados para IP Móvil.

#### 3.2.4.8. AAA (Autenticación, Autorización y Contabilización)

Las siguientes funciones son proporcionadas por AAA:

- Control de sesión por suscriptor.
- Auto servicio del cliente.
- Servicio de Administración.
- RADIUS – interfaz de contabilidad para la facturación unificada y contabilidad.
- Servicios de seguridad mejoradas, tales como el control de los padres, y filtrado de contenido por tiempo del día.
- Cortafuegos personal y servicios de detección de intrusión.
- Control de QoS mejorado basado en la dinámica del perfil del suscriptor y requerimientos de servicio para asistir con entrega óptima de servicios en demanda tales como video en demanda.

La EAP (Protocolo de Autenticación Extensible) usa un método de autenticación EAP–TTLS donde un certificado es almacenado en el Servidor y un password CHAP es usado. CHAP asegura que el password que no es enviado entre el ISP y el CPE sea borrado. Un cliente RADIUS deberá ser implementado para eventual acceso telefónico a los clientes. Una o más computadoras pueden ser usadas en este caso. El Servidor de Balanceo de Carga (SLB) deberá ser usado para dividir el tráfico entre las plataformas.

#### 3.2.4.9. DNS/DHCP/NTP

El DNS traslada nombres de dominio en identificadores numéricos a direcciones de equipos de red. El DHCP proporciona direcciones IP en la red y sus configuraciones. Ambas funciones pueden ser proporcionadas por uno o más servidores y en ese caso SLB deberá ser usado.

#### 3.2.4.10. OSS/BSS

##### **(Sistema de Soporte de Operación/ Sistema de Soporte de Negocios)**

El OSS/BSS ejecuta todas las actividades que se requieren para gestionar la red, desde el mantenimiento de los clientes a mantenimiento de la red/funcionamiento y facturación.

#### 3.2.4.11. NMS Sistema de Gestión de Red

- Configuraciones de Gestión.
- Gestión de suscriptores.
- Gestión del desempeño.
- Gestión de fallas.
- Gestión de seguridad.
- Políticas de Gestión.

#### 3.2.4.12. Elementos del Sistema de Gestión (CEMS)

- Configuración de la Gestión.
- Gestión de Fallas.
- Gestión del Desempeño.

#### 3.2.4.13. Elementos de Servicio de Sistema de Gestión (SEMS)

- Define Servicios.
- Define los ofrecimientos de acceso a servicios.
- Ofrece Servicios de Video.
- Accesos WiMAX y Wi-Fi.
- Selección Dinámica de Servicios.
- Ancho de Banda en demanda.

Algunos de estos servicios también crean nuevos modelos de cobranza, ayudando a diversificar la base de clientes e incrementando la penetración del servicio.

Las características y beneficios claves, incluyen:

- Servicios de valor agregado.
- Soporte Cooperativo de proxi.
- Protocolo de Autenticación extendida.
- Provisión de servicios flexible.
- Escalabilidad probada en el campo.

#### 3.2.4.14. Elementos del Sistema de Gestión de Tráfico (TEMS)

- Gerente de Administración.
- Administrador de Topología.
- Gestión de MPLS.
- Gestión de Configuración de dispositivos.
- Gestión de Listas de Control de Accesos.
- Gestión de eventos.
- Gestión de Monitoreo de RF.

#### 3.2.4.15. Proveedor de Servicio a Aplicaciones ASP

Proporciona soporte a aplicaciones tales como VoIP, mensajería, streaming, localización y cortafuegos. Estas características generalmente no son ofrecidas por los vendedores de equipos; estas en su lugar son implementadas por los proveedores de servicio.

#### 3.2.4.16. Aplicación VoIP y gateway a PSTN (Red de Telefonía Pública)

Proporciona conectividad con la red telefónica, incluyendo traslación VoIP.

#### 3.2.4.17. Aplicación de Mensajería

Proporciona almacenamiento y envío de mensajes.

#### 3.2.4.18. Cortafuegos y Acceso a Internet

Esto es proporcionado por routers(enrutadores) especializados.

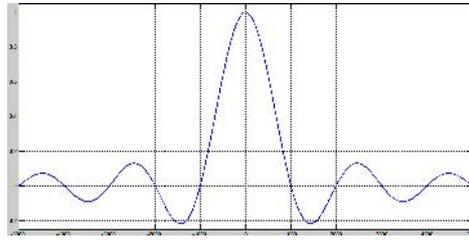


Figura 3.4: Espectro de FM de una señal digital

#### 3.2.4.19. Aplicación de Localización

Esto es requerido en algunos países, para llamadas de emergencia (ejemplo 911 en USA).

#### 3.2.4.20. Aplicación de Streaming

Este proporciona soporte para streaming para distribución y radiodifusión.

### 3.2.5. Capa Física (PHY)

Se puede entender fácilmente OFDM si primero consideramos la multiplexación por división de Frecuencia (FDM) como parte de esta. FDM es una técnica de transmisión en la cual numerosos canales son transmitidos simultáneamente en una sola línea de comunicación sobre múltiples frecuencias. Cada señal es asignada en diferente rango de frecuencia (sub portadora) dentro del canal principal; un espaciamento (banda de guarda) es colocado entre las sub portadoras para evitar el traslape. Esta banda de guarda es tan grande como el canal de información.

El espectro de una sola señal digital modulada en frecuencia se observa en la figura 3.4. Los nulos ocurren a frecuencias que están relacionadas proporcionalmente a la velocidad de símbolos de la señal digital. La señal total ocupa un gran ancho de banda debido a la existencia de picos y ceros, causando interferencias en canales adyacentes. Como solo el primer pico es suficiente para enviar información, en FDM se filtran las frecuencias arriba y abajo de este primer pico, en OFDM coloca los picos de los canales que coincida con los ceros de los otros canales, minimizando la interferencia.

Las ecuaciones 3.1 Y 3.2 define la separación de portadoras OFDM y la velocidad de transmisión como una función de la duración de los símbolos.

$$T_s = \frac{1}{\Delta f} \quad (3.1)$$

$$V_{tx} = \frac{1}{T_s} \quad (3.2)$$

Donde  $T_s$  es la duración de símbolo y  $\Delta f$  es el espaciamento en frecuencia entre las sub portadoras. La función *sinc* es definida por la ecuación 3.3.

$$\text{sinc} = \frac{\text{sen}(\pi f)}{\pi f} \quad (3.3)$$

La interferencia existe debido a que la frecuencia central de un canal es afectado por las bandas laterales de los canales adyacentes. Tecnologías no ortogonales prueba a mitigar este problema por incrementar la distancia entre canales adyacentes y usando filtros para aislar canales adyacentes.

Tecnologías ortogonales soluciona este problema de interferencia pro acercar las frecuencias de los canales . Esta aparente contradicción explota el hecho de que la modulación de una señal digital resulta en un rango de frecuencia especifica que tiene picos y ceros con espaciamentos de frecuencia definidos. Colocando los picos de los canales a los ceros de los canales adyacentes evitamos la interferencia entre frecuencias, esto permite incrementar la capacidad y la eficiencia espectral. Para que este concepto funcione, la distancia entre las frecuencias ortogonales deberá ser un múltiplo entero de la frecuencia base. Por ejemplo, para una frecuencia base de 10KHz, frecuencias ortogonales ocurren a 20KHz, 30KHz, 40KHz, etc.

OFDM es una FDM que aplica el concepto de ortogonalidad para definir la distancia entre portadoras adyacentes. Una portadora OFDM usa frecuencias de sub portadoras que son múltiplos enteros del espaciamento entre niveles de ocurrencia de ceros, las cuales son inversamente proporcionales a la duración de los símbolos transmitidos.

Una velocidad alta de datos requiere anchos de banda grande para transmisión, en consecuencia la duración de símbolos es muy corta. Esto lo hace susceptible a una severa interferencia entre simbolos (ISI) por multi rutas, en la cual cada simbolo interfiere con muchos simbolos subsiguientes.

El concepto de OFDM se puede ampliar aún mas por dividir la alta velocidad de datos en varias velocidades inferiores, cada una modulando un sub portadora OFDM. La figura 3.5 muestra una portadora con cinco frecuencias (sub portadoras) donde el nivel de interferencia en el pico de cada sub portadora (momento de muestreo) es cero. La línea solida representa el espectro compuesto.

También la figura 3.6 muestra las sub portadoras OFDM y la señal compuesta (línea solida) en el dominio del tiempo.

Las Tecnologías tradicionales como 2G o 3G, usan un solo canal con ancho de banda fijo mientras que WiMAX permite el uso de múltiples anchos de banda de canal, variando desde 1.25 MHz a 20 MHz, aquí se permite la configuración de la red sea ajustada de acuerdo a los servicios proporcionados y disponibilidad del espectro.

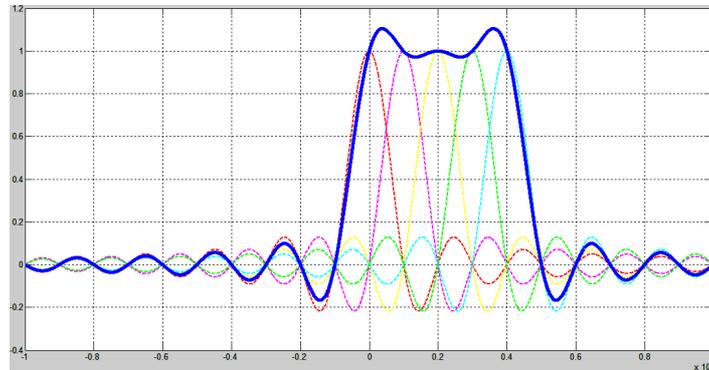


Figura 3.5: Espectro de 05 sub portadoras OFDM

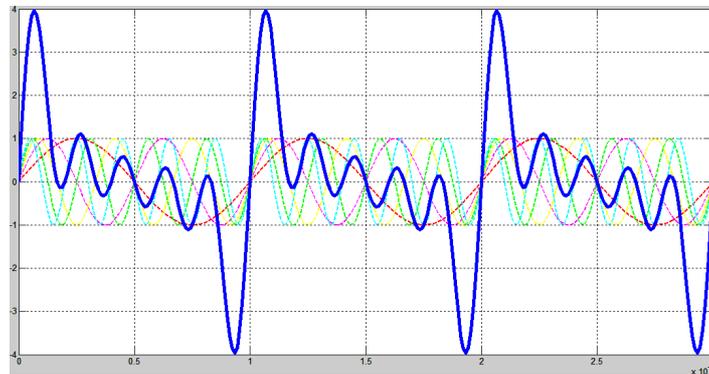


Figura 3.6: Cinco señales OFDM en el tiempo

### 3.2.6. Portadoras OFDM en el Dominio de la frecuencia

Una portadora OFDM esta compuesta de varias sub portadoras, espaciadas a intervalos regulares. Cada sub portadora porta una fracción de los datos, entonces su velocidad individual es baja pero el throughput total es alto. Una gran número de portadoras, es mejor la tolerancia a ensanchamiento por multitruta, pero requiere una gran capacidad de procesamiento.

Asi, si asumimos un ancho de banda de 10 MHz con un ensanchamiento de multitruta de  $10 \mu s$ , ¿Cual deberá ser la mejor elección entre ancho de banda y cantidad de sub portadoras?. En la table 3.5 se puede observar las diferentes opciones a considerar. Ahi observamos que la alternativa 04 puede solucionar de manera conservadora el problema de traslape. Entonces el estándar WiMAX selecciona la alternativa 4.

Alternativa	1	2	3	4	5
Ancho de Banda de Sub Portadora	10	1	0.1	0.01	0.001
Duración de Símbolos ( $\mu s$ )	0.1	1	10	100	1000
Ensanchamiento Multiruta ( $\mu s$ )	10	10	10	10	10
Símbolos afectados por Multiruta	100	10	1	0.1	0.01
Throughput por Sub Portadora (Msps)	10	1	0.1	0.01	0.001
Número de Sub Portadoras en 10 MHz	1	10	100	1000	10000
Throughput Total (Msps)	10	10	10	10	10

Tabla 3.5: Calculo de Número de Sub portadoras

### 3.2.6.1. Sub Portadoras

No todas las sub portadoras pueden ser usadas para transmisión de datos, pues aún en OFDM las portadora en si misma debe ser protegida. Alrededor del 18 % del total de sub portadoras son dejadas como bandas de guarda, aún así es todavía mejor que las tecnologías tradicionales que usan del 20 % al 66 % del espectro para este propósito.

La Sub Portadora central no es usada para transmisión de datos. Esta es llamada la sub portadora DC y no es modulada para evitar interferencia.

Las bandas de guarda y la sub portadora DC son consideradas portadoras nulas, esto es; no transmiten energía en ellos, esto evita interferencia en canales adyacentes.

Aunque cada sub portadora opera sobre un canal plano, lo mismo no se puede decir del espectro compuesto de todas las sub portadoras, debido a que un canal plano ancho no es posible, aquí las sub portadoras pilotos son usadas para ayudar ecualizar la ganancia a través de banda y en el tiempo.

Si descontamos las sub portadoras nulas, la sub portadora DC y sub portadora piloto son descontadas, solo un 60 % del número total de sub portadoras son usadas para la transmisión de datos.

### 3.2.6.2. Sub Canales

Las sub portadoras de Datos y Canales pueden ser agrupadas en sub canales, que representan la unidad mas pequeña para asignación de datos. Los sub canales esta dispersados sobre el el espectro completo y su uso es controlado por el indice de sub canal. En WiMAX, un sub canal tiene siempre 48 símbolos de datos mas pilotos.

El concepto de sub canales es usado en el uplink (subida) de 802.16–2004 y en el uplink (subida) y downlink (bajada) de 802.16e. En el downlink, las estaciones base asignan canales a los suscriptores basados en los requerimientos de datos y las condiciones de canal, esto también permite transmitir con esquemas de modulación bajos para suscriptores con mala calidad de canal y con esquemas de modulación altos a suscriptores con buenos SNR.

En el uplink, los suscriptores pueden solo usar sub canales si la estación base reconoce que es capaz de decodificar los sub canales.

### 3.2.7. Portadoras OFDM en el Dominio del Tiempo

#### 3.2.7.1. Símbolos y Prefijo Cíclico

La unidad de datos significativa mas pequeña en el dominio del tiempo es el símbolo; su duración es relacionada al espaciamiento de la sub portadoras y define la velocidad de transmisión.

El número de sub portadoras y su espaciamiento varia con el ancho de banda del canal; la definición de estos parámetros es un compromiso entre la protección de multiruta y la complejidad y el costo de diseño, esto es, un alto número de sub portadoras evita el ISI (Interferencia inter símbolos) causado por el ensanchamiento de retardo, pero incrementa el costo y complejidad del sistema debido a la necesidad de alta potencia de procesamiento.

Dos enfoques diferentes se usan para hacer frente al problema:(Korowajczuk, 2011, pag, 359)

- Como el ancho de banda varia, mantener constante el número total de sub portadoras pero variar la duración de los símbolos.
- Como el ancho de banda varia, mantener la duración de símbolo constante, pero variar el número total de sub portadoras.

En ambos casos, el ancho de banda corresponde al número total de sub portadoras multiplicada por la inversa de la duración de los símbolos.

WiMAX OFDM usa el primer enfoque, con una duración de símbolos que varia desde 8 a 128  $\mu$ s; WiMAX OFDMA, o escalable OFDM (SOFDMA), usa el segundo enfoque con una duración fija de símbolos de 102.86 $\mu$ s, que corresponde a un espaciamiento de sub portadora de 10.94 KHz.

Un problema significativo en sistemas digitales es la posibilidad de ISI, causada por ensanchamiento del tiempo de de retardo entre el arribo de la primera y última señal de multiruta (dispersión de retardo).

Parte de forma de onda de símbolos recibidos en el receptor es corrompida por ensanchamiento multiruta de los símbolos previos. Hay dos maneras de tratar con el ISI: incrementar el tiempo entre dos símbolos consecutivos o usar ecualización.

El ensanchamiento del retardo depende de la frecuencia que esta siendo usada, así como del terreno y la velocidad relativa del transmisor y receptor. Incrementar la duración del símbolo mejora la inmunidad al ensanchamiento por retardo con el uso de un Prefijo Cíclico (CP) para eliminar ISI. CP es la repetición de la última parte de la forma de onda recibida (datos), la que es agregada al inicio o final de la carga

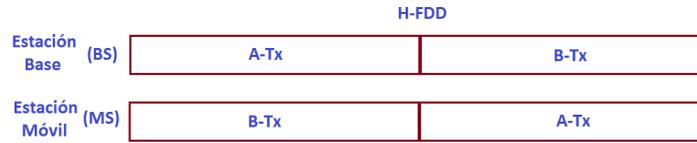


Figura 3.7: Asignación de Tiempo en H-FDD de una frecuencia del canal

útil. Esto causa que la duración de símbolo sea extendida. Mientras la duración del CP corresponda a la máxima dispersión de retardo esperada, el problema del ISI es eliminada.

### 3.2.7.2. Duplex

OFDM fue originalmente pensado como la transmisión de una sola señal, pero algún tipo de técnica de acceso múltiple tenía que se combinada con esta para permitir a múltiples usuarios. En cualquier red de comunicaciones dos direcciones de transmisión (duplexing) deben ser acomodados: desde la EB a las SSs o MSs definido como downlink, y desde SSs o MSs a la BS, definida como uplink. Para tratar esto, estándar 802.16 incluye dos técnicas de duplex: Duplex por división de Frecuencia (FDD) y Duplex por división de Tiempo (TDD).

En un sistema full duplex, ambas direcciones (transmisión y recepción), están disponibles para el usuario simultáneamente, lo que puede ser logrado por FDD o TDD. En un sistema half duplex, los usuarios pueden usar solo una dirección a la vez, esto es, reciben o transmiten información. Un ejemplo de tal sistema es H-FDD (Half Duplex FDD).

En el modo FDD, tanto la BS o SS transmiten al mismo tiempo en diferentes frecuencias, una para el downlink y otra para el uplink. Para permitir aislación entre estas frecuencias en el receptor, FDD requiere una significativa separación entre ambas frecuencias (45 MHz de separación mínima es típica).

En H-FDD, la BS y SS también usan diferentes frecuencias, pero no transmiten al mismo tiempo. Esto evita la separación de frecuencias pero usa frecuencias solo el 50 % del tiempo, asignando el 50 % restante a otra celda. Este tiempo de asignación es mostrada en la figura 3.7 para dos celdas A y B.

En TDD, tiempos de transmisión separados son asignados para downlink y uplink de los usuarios. El ciclo de asignación es definido por el periodo de la trama, el que es dividido en sub trama de downlik y en sub trama de uplink. La longitud de estas sub tramas, es un múltiplo de la duración de los símbolos. (Korowajczuk, 2011, pag, 362).

### 3.2.7.3. Zonas

Es necesario diferenciar entre diferentes SSs/MSs comunicándose con BS en términos de asignación de recursos y esto se consigue además por dividir las sub tramas en zonas.

Las zonas se configuran de acuerdo a la aplicación que esta siendo usada y al número de frecuencias disponibles en el sistema, el cual define el criterio de re utilización. Los procedimientos varían, permitiendo a SSs y BSs determinar a que distancia están y esto se puede utilizar con el concepto de zonas para limitar ciertas aplicaciones a áreas específicas de la celda.

WiMAX es la elección mas eficiente, y económica a la hora de implantar redes de acceso en el ámbito rural y así contribuir a la tan anhelada inclusión digital.

WiMAX es muy adecuado para unir zonas WI-FI a las redes de acceso cableadas de alta velocidad, como es el caso de este proyecto.

WiMAX posee un gran ancho de banda que lo hace una opción interesante para usarse como red de transporte (backhaul) de un conjunto de zonas WI-FI. Debido a que es necesario que todos los pobladores del centro poblado tengan acceso a los servicios de banda ancha , una buena alternativa es una zona de acceso WI-FI, a máxima velocidad y a la vez esta deberá estar interconectada a la red de fibra con un backhaul de alta velocidad, función que WiMAX cumple a la perfección.

## 3.3. Planeamiento de RF

### 3.3.1. Planeamiento de Frecuencias en WiMAX

Varias estrategias pueden ser usadas cuando se realiza el plan de frecuencias en WiMAX:

- Frecuencia de Canales pueden ser reservados para conexiones punto a punto.
- Canales de frecuencia se pueden reservar para la cobertura del núcleo de la celda.
- Canales de frecuencias pueden ser parcialmente usado (segmentación).
- Canales de frecuencias pueden ser asignados por zonas.
- Canales de frecuencias pueden ser parcialmente cargados cuando se utiliza promedio de interferencia.

Una combinación de estos conceptos pueden ser aplicados a un sistema, como se ilustra en la figura 3.8. En este ejemplo se usan tres portadoras. La portadora número tres no se muestra en la figura 3.8, debido a que se esta utilizando para las conexiones punto a punto. La portadora dos esta segmentado (a, b, c) y se utiliza para la cobertura cerca del centro de las celdas (zonificación), mientras la portadora uno se empela en

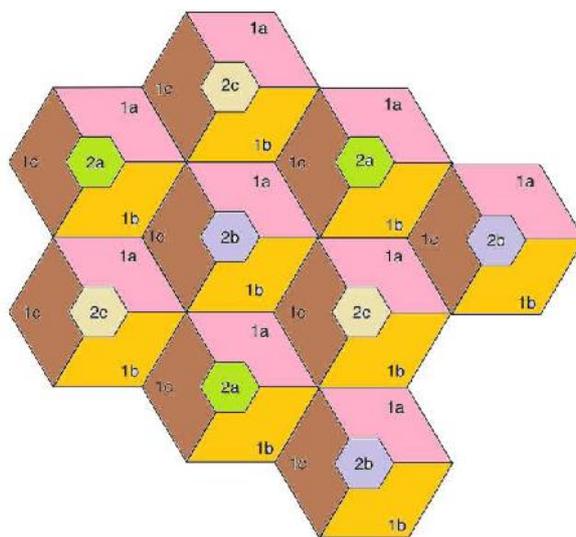


Figura 3.8: Plan de Frecuencias con Segmentación y Zonificación

la periferia de cada celda, utilizando también segmentación para evitar la interferencia entre celdas adyacentes.

#### 3.3.1.1. Re uso de Frecuencias y Esquema de Segmentación

Para los esquemas de re uso y segmentación (FRSS), se tomaran las siguientes convenciones:  $FRSS=(N_c, N_s, N_f, N_s)$ , donde:

- $N_c$  es el número de emplazamientos de celdas por cluster, esto es, el número de BTs necesarios para consumir todo el espectro disponible (canales de frecuencia).
- $N_s$  es el número de sectores por BTs.
- $N_f$  es el número de frecuencias disponibles.
- $N_s$  es el número de segmentos usados para cada frecuencia.

#### 3.3.1.2. Escenario A: Una portadora disponible

En este escenario, solo una frecuencia WiMAX es disponible para el diseño. Las siguientes consideraciones podrían ser consideradas en la implementación.

##### **A1.** Re uso (1,3,1,1) con Promedio de Interferencia.

Considerando el esquema de re uso y segmentación anterior (1,3,1,1) indica que cada cluster esta formado por solo una celda, con tres sectores. Solo un canal de frecuencia es disponible y segmentación no es usada (1 segmento). Esta configuración es ilustrada en la figura 3.9.

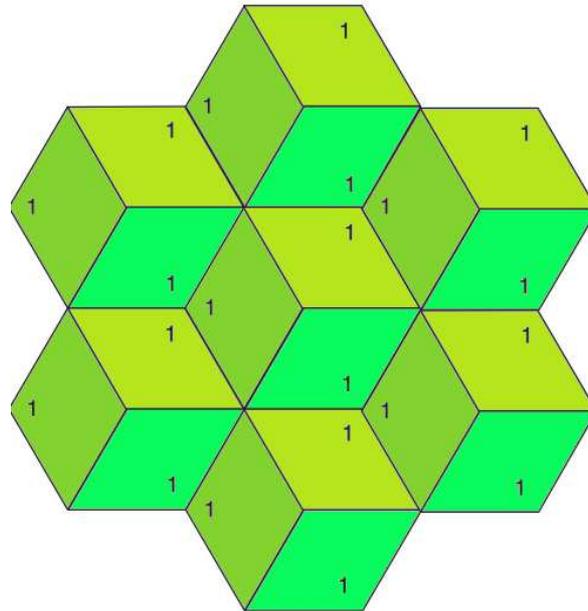


Figura 3.9: Re uso (1, 3, 1, 1)

**A2.** Re uso (1, 3, 1, 3) Con Segmentación Ortogonal (mismo PermBase).

Este escenario hace uso de la técnica de segmentación, donde un segmento con un tercio de los sub canales es asignado a cada sector. Esto puede ser implementado solo a través del uso de la permutación PUSC, usando los recursos de los grupos de sub canales para definir cada segmento. Esta alternativa se observa en la figura 3.10

**A3.** Re uso (1, 3, 1, 3) con Segmentación no Ortogonal (Diferente PermBase por sector).

Este escenario corresponde a la misma técnica de segmentación descrita en la opción 2 (y la misma ilustración, 3.10), donde un segmento con 1/3 de los sub canales es asignado a cada sector. Sin embargo, en este escenario diferentes valores de PermBase son asignados a cada sector.

**A4.** Re uso Fraccional de frecuencias.

Esta opción corresponde a una combinación de escenarios (1, 3, 1, 1) y (1, 3, 1, 3), descritas previamente; esto es, los suscriptores en la región cercana a el centro de la celda usa FRSS=(1,3,1,1), mientras que los que están cerca al flanco de la celda, siguen la segmentación FRSS=(1,3,1,3). Esta configuración es ilustrada en la figura 3.11.

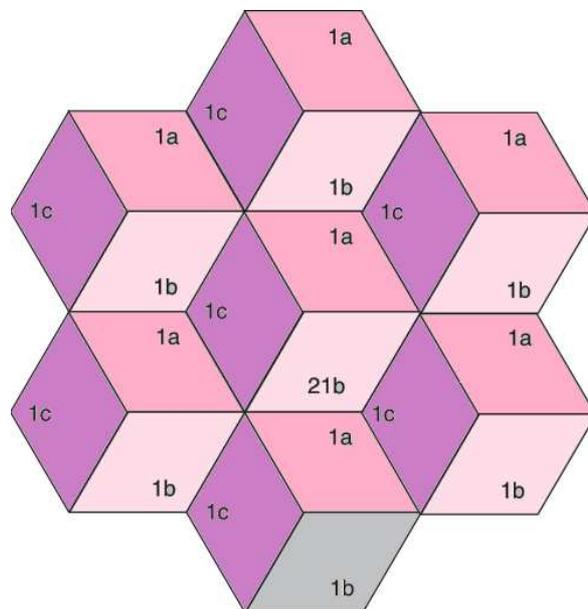


Figura 3.10: Re uso (1, 3, 1, 3)

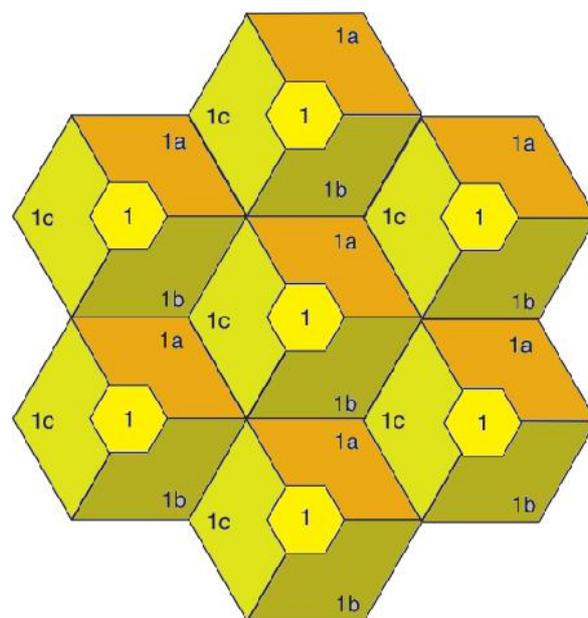


Figura 3.11: Re uso fraccional de Frecuencias.

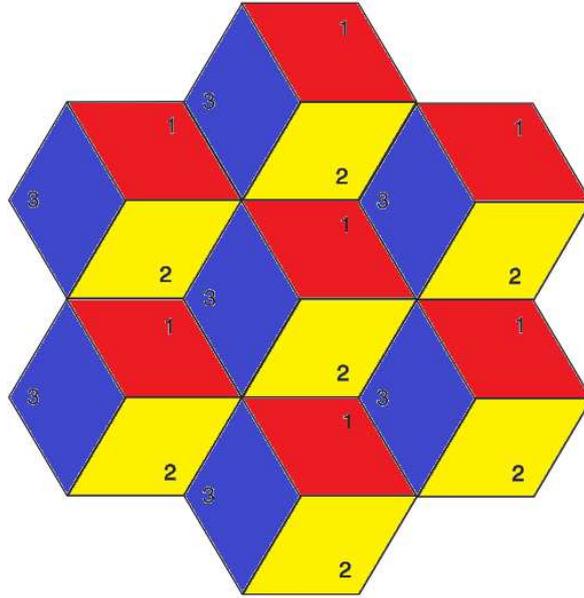


Figura 3.12: Re uso (1, 3, 3, 1).

### 3.3.1.3. Escenario B: Tres Portadoras disponibles

Las siguientes opciones pueden ser consideradas para esta implementación:

- B1.** Re uso (1, 3, 3, 1) con Promedio de Interferencia.  
Esta opción corresponde con la asignación de todos los canales para cada sector, por consiguiente se usa todo el espectro dentro de cada BTSs de tres sectores. Cada sector es configurado con un valor diferentes de PermBase. Ver figura 3.12.
- B2.** Re uso (3, 3, 3, 3) Con Segmentación Ortogonal (Misma PermBase).  
Esta opción corresponde a a signar 1/3 de toda la portadora (un segmento) a cada sector, por consiguiente se reutiliza todo el espectro en clusters BTs de tres sectores. Todos los sectores son configurados con el mismo valor de PermBase. Ver figura 3.13.

## 3.4. QoS y Desempeño de Wimax

### 3.4.1. Soporte de Calidad de Servicio

El soporte para calidad de servicio (QoS) es esencial para los sistemas inalámbricos de banda ancha con canales diseñados para simultáneamente transportar una combinación de voz, video y servicios de datos. Algoritmos de QoS son requeridos para asegurar que el uso compartido del canal no resulte en degradación o falla. Ejemplos incluyen

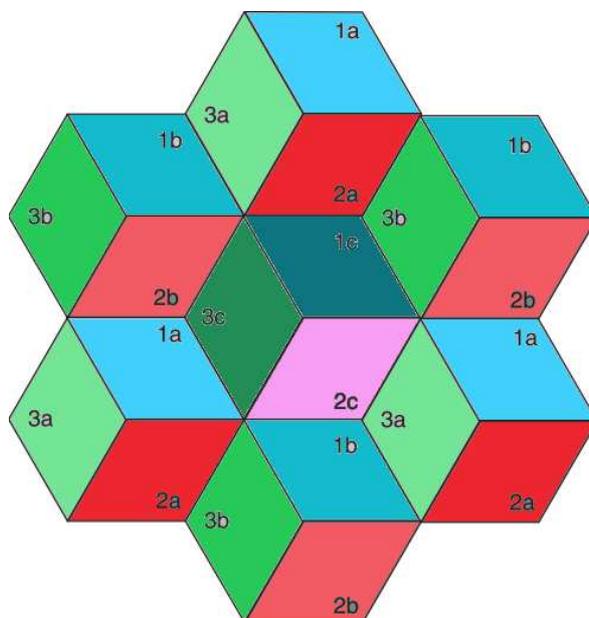


Figura 3.13: Re uso (3, 3, 3, 3).

flujos abruptos de video, niveles de latencia en una llamada de voz que interfieren con la conversación natural o la descarga de una pagina de internet que es una inaceptable mente retrasado o se congela. A pesar del hecho de que los suscriptores están compartiendo el enlace de banda ancha con otros, ellos esperan un aceptable nivel de desempeño desde el proveedor de servicio bajo todas las condiciones(Alvarion, 2012)

Los estándares móviles WiMax proporcionan un conjunto de herramientas para soportar QoS para múltiples aplicaciones. La estación base WiMax asigna todos los recursos de tiempo de aire ascendentes y descendentes utilizando un procedimiento de programación de trafico que la demanda del trafico y los parámetros de suscripción de suscriptores individuales. Se emplean entonces algoritmos globales para asegurar que se cumplen los parámetros de calidad de servicio específicos de la aplicación. En la tabla 3.6 se resume las categorías de QoS, parámetros QoS y aplicaciones a ser controladas en el estándar 802.16e-2005

### 3.4.2. Desempeño de WiMax

Para comprender el desempeño de las redes WiMax, tenemos que entender como es el procesamiento de los datos en este protocolo para lo cual ser revisara la arquitectura de protocolos y se estima las velocidades máximas para los diferentes servicios o capas superiores que soporta WiMax.

La Velocidad de datos en sistemas de comunicación son básicamente determinadas por la capacidad de las interfaces involucradas. Por consiguiente en sistemas de co-

Categoría QoS	Aplicaciones	Parámetros de QoS
UGS Unsolicited Grant Service	VoIP	Máxima Velocidad Sostenida. Máxima tolerancia de latencia. Tolerancia de Jitter.
rtPS Real-Time Polling Service	Streaming Audio o Video	Mínima Velocidad Reservada. Máxima Velocidad Sostenida. Máxima tolerancia de latencia. Prioridad de Trafico
ErtPS Extended Real-Time Polling Service	Voice with Activity Detec- tion(VoIP)	Mínima Velocidad Reservada.  Máxima Velocidad Sostenida.  Máxima tolerancia de latencia. Tolerancia de Jitter. Prioridad de Trafico
nrtPS	File Transfer Protocol (FTP)	Mínima Velocidad Reservada. Máxima Velocidad Sostenida. Prioridad de Trafico
BE	Data Transfer, Web Browsing, etc	Máxima Velocidad Sostenida.  Prioridad de Trafico

Tabla 3.6: Resumen de Categorías de QoS, aplicaciones y parámetros QoS

municación inalámbricos la interfaces de aire puede aparecer como el cuello de botella en todo el sistema y deberá ser analizado con cuidado. La capacidad de la interfaces de aire de un sistema móvil WiMax depende de la estructura de la señal OFDMA y el esquema de duplex en particular. Entonces, las posibles velocidades a través de la interfaces de aire es determinada por la implementación de la capa física(PHY). Sin embargo, en la cima de estas velocidades de datos físicas (PHY), el throughput de los datos e2e (end-to-end) desde el punto de vista de las aplicaciones es de gran interés y depende de las implementaciones de las capas superiores(Ver figura 3.14), es obvio que las mediciones de throughput en la capa física y en las capas superiores son importantes a la hora de determinar el desempeño real de un despliegue de red WiMax.

De alguna manera, los términos throughput y ancho de banda son a menudo usados como sinónimos para la cantidad de datos transferidos a través de una red de comunicación por unidad de tiempo.

#### 3.4.2.1. Capa Física de WiMax

La capa física del WiMax corresponde a la capa 1 del modelo ISO/OSI (3.14) y determina la máxima capacidad de la interface de aire. En la tabla 3.7 se resume la máxima velocidad de datos en bruto obtenida que depende del ancho de banda nominal y el esquema de modulación.

Sin embargo, comunicación digital a través de una interface requiere una cierta procesamiento de datos (por ejemplo codificación de canal), señalización y cabeceras. Entonces la capacidad PHY no es enteramente disponible para las capas superiores. Además, el esquema dúplex tiene un impacto significativo sobre las posible tasas de

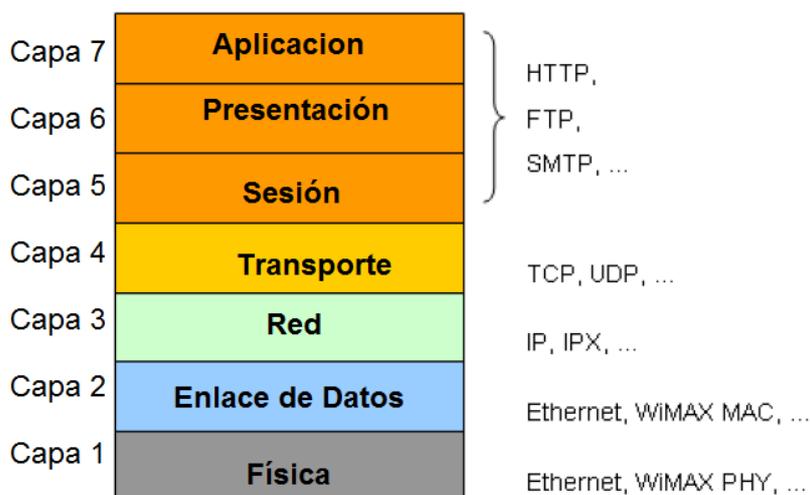


Figura 3.14: Modelo de Capas de ISO/OSI

BW MHz	n	$F_S$ MHz	$N_{FFT}$	$\Delta f$ KHz	$N_{data}$	$T_b$ $\mu s$	$T_s$ $\mu s$	$R_{QPSK}$ Mbps	$R_{16QAM}$ Mbps	$R_{64QAM}$ Mbps
10	28/25	11.2	1024	10.9	720	91.4	102.9	14	28	42
8.75	8/7	10	1024	9.8	720	102.4	115.2	12.5	25	37.5
7	8/7	8	1024	7.8	720	128	144	10	20	30
5	28/25	5.6	512	10.9	360	91.4	102.9	7	14	21
3.5	8/7	4	512	7.8	360	128	144	5	10	15

Tabla 3.7: Máximas velocidades de Datos, PUSC, G=1/8

datos hacia una dirección. En caso de dúplex por división de tiempo (TD), el esquema más común en WiMax, la bajada y la subida comparten los recursos disponibles sobre el tiempo, con estas consideraciones en la tabla 3.8 se muestra la carga útil máxima para la bajada y la subida para diferentes esquemas de modulación.

Además de la asignación de símbolos en OFDMA, el canal físico de WiMax, es responsable de la codificación de canal que consiste de dos pasos. Un primer paso es ejecutar la codificación de corrección de errores hacia adelante (FEC Forward Error Correction) y el segundo paso consiste de un codificador de canal de repetición, para

BW	Max DL slots	Máxima carga útil de Bajada(DL) Mbps			Max UL slots	Máxima carga útil de Subida(UL) Mbps		
		QPSK	16QAM	64QAM		QPSK	16QAM	64QAM
10	330	6.336	12.672	19.008	210	4.032	8.064	12.096
8.75	240	4.608	9.216	13.824	175	3.360	6.720	10.080
7	150	2.880	5.760	8.640	140	2.688	5.376	8.064
5	135	2.592	5.184	7.776	102	1.958	3.917	5.875
3.5	45	0.864	1.728	2.592	68	1.306	2.611	3.917

Tabla 3.8: Carga útil Máxima, PUSC, G=1/8

FEC	Máxima carga útil de Bajada(DL) Mbps			Máxima carga útil de Subida(UL) Mbps		
	QPSK	16QAM	64QAM	QPSK	16QAM	64QAM
1/2	3.168	6.336	9.504	2.016	4.032	6.048
2/3	n/a	n/a	12.672	n/a	n/a	8.064
3/4	4.752	9.504	14.256	3.024	6.048	9.072
5/6	n/a	n/a	15.840	n/a	n/a	10.080

Tabla 3.9: Carga Neta, BW 10 MHz PUSC,  $G=1/8$ 

<b>Cabecera 6 bytes</b>	<b>Carga Útil Máximo 2037 bytes</b>	<b>CRC 4 bytes</b>
-----------------------------	---	------------------------

Figura 3.15: Format de MAC PDU de WiMax

incrementar la protección de los datos. En la tabla 3.9 se muestra la carga útil para un ancho de Banda de 10 MHz, PUSC,  $G=1/8$ .

#### 3.4.2.2. Capa MAC de WiMax

La capa MAC de WiMax corresponde a la capa de enlace de datos (3.14) de la ISO/OSI y determina la máxima capacidad de la interface de aire relacionado. Esta capa entrega los datos a la capa física en forma de PDUs MAC (Unidad de Datos de Protocolo). El PDU de la MAC esta compuesta de acuerdo a la figura 3.15 de 6 bytes de cabecera, una carga útil variable y 4 bytes de CRC.

#### 3.4.2.3. MTU- Máxima Unidad de Transmisión

La máxima unidad de transmisión de WiMax es determinada por la máxima longitud del MAC PDU, el que es 2047 Bytes, que incluye los 10 Bytes de cabecera y CRC. La capa física de WiMax divide todos los MAC PDU en bloques FEC de entrada que se acoplan a su estructura de slots. Si la carga útil de las capas superiores excede el MTU máximo, este sera fragmentado por la MAC de WiMax en porciones de 2K.

Debido a la sobrecarga de señalizacion causada por los 6 bytes de cabecera de MAC y los 4 bytes de CRC, la velocidad de carga útil es ligeramente reducida con respecto a la velocidad de la carga útil de la capa física, de acuerdo a la tabla 3.9. Si asumimos una entrega de MTU completos, la velocidad es reducida por aproximadamente 0.5 %. A propósito, el tamaño de MTU por defecto para Ethernet de acuerdo a IEEE 802.3 es de 1500 bytes, y esto es como las redes IP estándares manejan los datos.

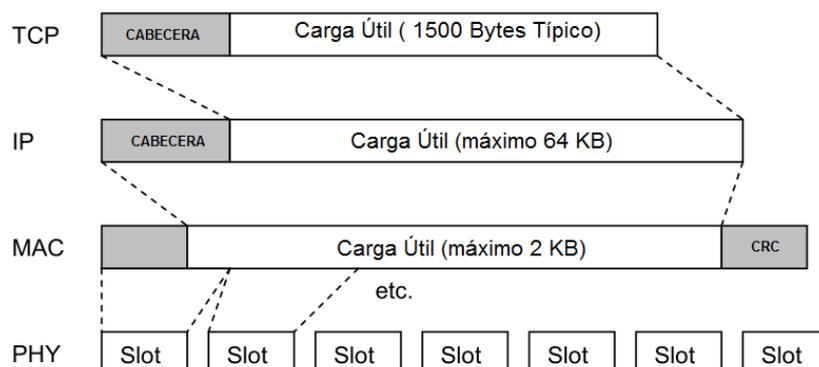


Figura 3.16: Procesamiento de Segmento TCP en WiMax

#### 3.4.2.4. Capa IP

El protocolo de Internet (IP) cubre básicamente la capa de red del modelo de la ISO/OSI (3.14). Este es un protocolo sin conexión diseñado para redes de conmutación de paquetes. Entonces, IP no se preocupa por la capa física - esta simplemente asume que hay una. En efecto, las capas MAC y PHY de WiMax establecen y mantienen en enlace de radio, con el fin de servir a la capa IP. IPv4 maneja datos por medio de data gramas, incluyendo 20 bytes de cabeceras, donde están incluidas 32 bits de dirección de destino y 32 bits de dirección de origen. La longitud máxima total de un data grama IP es de 64KB (65535 Bytes).

#### 3.4.2.5. Capa Transporte

Hay dos protocolos comunes de capa de transporte, la capa 04 del modelo ISO/OSI (3.14). Estos son el protocolo **sin conexión- UDP**, es decir si protección adicional para transmisión y el mas importante que es el protocolo **orientado a conexión - TCP**. El protocolo TCP maneja datos por medio de segmentos de cierta longitud incluyendo 20 bytes de cabecera que incluye 16 bits de direcciones de puerto de destino y origen. La longitud del segmento TCP se ajusta idealmente al tamaño del MTU de las capas inferiores, típicamente el tamaño del MTU Ethernet es de 1500 bytes. En la figura 3.16 se muestra el flujo de datos de un segmento TCP en las capas inferiores de WiMax.

En la tabla (Steffen Heuel, 2011) se muestra la carga útil máxima de subida (UL) y bajada (DL) para varias capas incluyendo TCP y UDP, reproducimos acá las de mas interés para nuestro proyecto

		Máxima carga útil de Bajada(DL)					Máxima carga útil de Subida (UL)				
		PHY	MAC	IPV4	UDP	TCP	PHY	MAC	IPV4	UDP	TCP
10 MHz		DL:UL = 35 : 12 Símbolos					DL:UL = 26:21 Símbolos				
QPSK	1/2	3.17	3.15	3.13	3.07	3.01	2.02	2.00	1.99	1.95	1.91
	3/4	4.75	4.72	4.69	4.60	4.51	3.02	3.00	2.98	2.93	2.87
16 QAM	1/2	6.34	6.30	6.26	6.14	6.01	4.03	4.01	3.98	3.90	3.82
	3/4	9.50	9.44	9.37	9.20	9.01	6.05	6.01	5.97	5.86	5.74
64 QAM	3/4	14.26	14.17	14.07	13.81	13.53	9.07	9.01	8.95	8.79	8.61
8.75 MHz		30:12					24:18				
QPSK	3/4	3.46	3.43	3.41	3.35	3.28	2.52	2.50	2.49	2.44	2.39
16 QAM	3/4	6.91	6.87	6.82	6.69	6.56	5.04	5.01	4.97	4.88	4.78
64 QAM	3/4	10.37	10.30	10.23	10.04	9.84	7.56	7.51	7.46	7.32	7.17
7 MHz		24:9					18:15				
QPSK	3/4	2.16	2.15	2.13	2.09	2.05	2.02	2.00	1.99	1.95	1.91
16 QAM	3/4	4.32	4.29	4.26	4.18	4.10	4.03	4.01	3.98	3.90	3.82
64 QAM	3/4	6.48	6.44	6.39	6.28	6.15	6.05	6.01	5.97	5.86	5.74
5 MHz		35:12					26:21				
QPSK	3/4	1.94	1.93	1.92	1.88	1.84	1.47	1.46	1.45	1.42	1.39
16 QAM	3/4	3.89	3.86	3.84	3.77	3.69	2.94	2.92	2.90	2.84	2.79
64 QAM	3/4	5.83	5.79	5.76	5.65	5.53	4.41	4.38	4.35	4.27	4.18
3.5 MHz		24:9					18:15				
QPSK	3/4	0.65	0.64	0.64	0.63	0.61	0.98	0.97	0.97	0.95	0.93
16 QAM	3/4	1.30	1.29	1.28	1.26	1.23	1.96	1.95	1.93	1.90	1.86
64 QAM	3/4	1.94	1.93	1.92	1.88	1.84	2.94	2.92	2.90	2.84	2.79

Tabla 3.10: Maximas Velocidades de diferentes Capas en WiMax

### 3.4.3. Modulación Adaptativa y Codificación

WiMax soporta modulación adaptativa, esto es, regula el esquema de modulación de la señal (SMC) dependiendo del estado de relación señal a ruido (SNR) del enlace de radio. (Abate, 2009).

Cuando el enlace de radio es de alta calidad, un esquema de modulación alto (64 QAM) es usada, mejorando la capacidad (Ver Tabla 3.10). Cuando el SNR disminuye o existen condiciones de desvanecimiento, el sistema conmuta a esquemas de modulación inferiores (QPSK), manteniendo la estabilidad del enlace y la calidad de la conexión.

En la figura 3.17 se observa como los esquemas de modulación se ajustan a la calidad del enlace (SNR) y esta a la distancia desde la estación base. Cuanto mas cerca de la estación base mejora la calidad de enlace y se puede usar esquemas de modulación mas altos, lo contrario también es cierto, cuanto mas lejos de la estación base se usan esquemas de modulación mas bajos.

Para mejor referencia se reproduce acá la tabla 3.11, donde se observa los esquemas de modulación y codificación para los equipos de Alvarion, que es un fabricante certificado para equipos WiMax.

### 3.5. Modelos de Propagación

Un modelo de propagación es una formula empírica derivada para un calculo y predicción eficiente de la propagación de las ondas de radio. Existen muchos modelos,

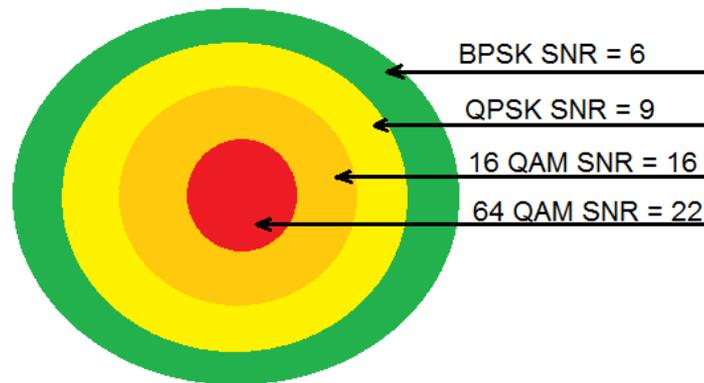


Figura 3.17: Radio de la Celda y AMC

Modulación y Codificación	Velocidad Neta PHY (Mbps)	Sensibilidad (dBm)
BPSK 1/2	1.41	-100
BPSK 3/4	2.12	-98
QPSK 1/2	2.82	-97
QPSK 3/4	4.23	-94
QAM 16 1/2	5.64	-91
QAM 16 3/4	8.47	-88
QAM 64 2/3	11.29	-83
QAM 64 3/4	12.71	-82

Tabla 3.11: Esquemas de Modulación y Codificación 3.5 GHz y 3.5 MHz

los cuales están basados en mediciones observadas. Los modelos toman en cuenta los efectos de atenuación, reflexión, difracción, y dispersión (Adrian W Graham y Paul, 2007).

Modelos de propagación son adaptados para escenarios específicos de propagación, haciendo el fenómeno de propagación lo más realista posible. Propagación en áreas abiertas son calculadas usando modelos de terreno, mientras que en áreas metropolitanas son calculadas por usar un modelo en que ha sido desarrollado en escenarios similares. Eventualmente una ciudad se compone de diferentes clasificaciones ambientales, entonces diferentes modelos de propagación y parámetros deben ser usados para una predicción más aproximada del área de cobertura.

### 3.5.1. Pérdidas en Espacio Libre

Las pérdidas en el espacio libre (FSPL) es la forma más simple de calcular la propagación de ondas de radio. El modelo FSPL describe una antena isotrópica ideal en un ambiente ideal sin ningún objeto reflectante, absorbente o algún tipo de obstrucción a la propagación. La figura 3.18 se muestra como la señal se radia uniformemente en un frente de ondas esférico alrededor del punto de transmisión (Tx). La ecuación 3.4

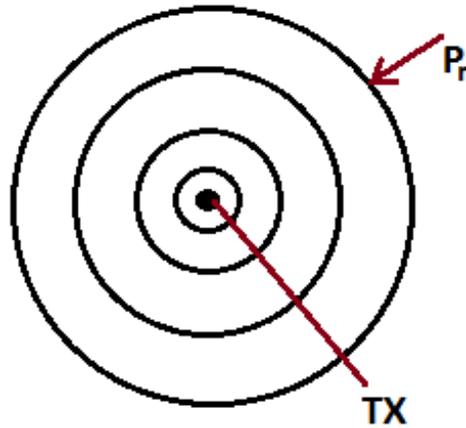


Figura 3.18: Propagación en Espacio Libre

indica que la potencia de la señal en el punto de recepción es inversamente proporcional a la distancia desde el punto de transmisión.

$$P_r = P_t G_t G_r \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (3.4)$$

### 3.5.2. Longley-Rice

El modelo Longley-Rice es un modelo de propagación que toma en cuenta el terreno, la curvatura y el clima para predecir la cobertura de radio (Abdollah Ghasemi, 2013). El modelo en si mismo es muy complejo, pero afortunadamente muchas herramientas de software que ejecutan estos calculos. Radio Mobile (Coudé, 2010) es uno de estos softwares. En este proyecto, Radio Mobile fue usado como herramienta de planeamiento de radio.

### 3.5.3. Modelo de Okumura

Es uno de los modelos mas usados. El modelo empírico fue basado en mediciones y observaciones en Tokio. Las pruebas fueron realizadas a distancias de 1Km a 100Km, en frecuencias de 150MHz a 1500MHz, y con alturas de antenas de 30m a 100m (Adrian W Graham y Paul, 2007). Okumura clasifico los ambientes de propagación en tres clases: Urbano, sub Urbano, y área rural. Todas las formulaciones tienen su base en la formulación urbana. Las siguientes ecuaciones nos detallan los cálculos en cada una de las zonas.

$$PL_{L_{urban}}(d) = 69,55 + 26,26 \log_{10}(f_c) - 13,82 \log_{10}(h_t) - a(h_r) \\ + (44,9 - 6,55 \log_{10}(h_t)) \log_{10}(d) \quad (3.5)$$

$$PL_{L_{suburban}}(d) = PL_{L_{urban}}(d) - 2 \left[ \log_{10}\left(\frac{f_c}{28}\right) \right]^2 - 5,4 \quad (3.6)$$

$$PL_{L_{rural}}(d) = PL_{L_{urban}}(d) - 4,78(\log_{10}(f_c)^2) + 18,33\log_{10}(f_c) - K \quad (3.7)$$

$$a(h_r) = (1,1\log_{10}(f_c) - 0,7)h_r - (1,56\log_{10}(f_c) - 0,8) \quad (3.8)$$

Las ecuaciones 3.5, 3.6, 3.7, y 3.8 esta todas en dB. Las variables son:

- $f_c$  Frecuencia de la portadora en GHz.
- $d$  Distancia en Km.
- $h_t$  Altura de la antena transmisora en m.
- $h_r$  Altura de la antena receptora en m.

La ecuación 3.8 es un factor de corrección para pequeñas ciudades y ciudades medianas. La variable K, en la ecuación 3.7 es un factor de adaptación dependiendo de las características de reflexión en terrenos rurales. El rango de valores del factor K están desde 35.94 a 40.97.

#### 3.5.4. COST231

El modelo COST231 es otra extensión del modelo de Okumura. La extensión es básicamente para incrementar el rango de frecuencias hasta 2GHz. La ecuación 3.9 es validad para,  $1,5GHz < f_c < 2GHz$ ,  $30m < h_t < 200m$ ,  $1m < h_r < 10m$  y  $1Km < d < 20Km$ .

$$P_{L_{urban}}(d) = 46,3 + 33,9\log_{10}(f_c) - 13,82\log_{10}(h_t) - a(h_r) + (44,9 - 6,55\log_{10}(h_t))\log_{10}(d) + C_M \quad (3.9)$$

#### 3.5.5. WiMAX Presupuesto del Enlace

Nos referiremos a la figura 3.19 y los parámetros definidos en la tabla 3.12 para familiarizarnos con el cálculo del presupuesto de enlace.(Abate, 2009, pag, 89).

Para entender como planificar un enlace simple, debemos definir las relaciones que caracterizan la potencia transmitida y la señal recibida, con sus respectivas antenas y el canal entre ellos,

#### Potencia Efectiva Isotropica Radiada, EIRP

$$EIRP = P_{TX} - L_C + G_{TX} \quad (3.10)$$

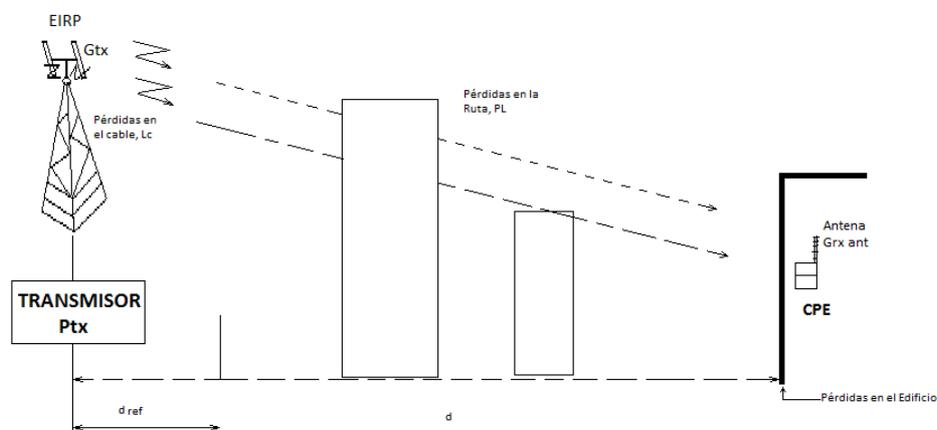


Figura 3.19: Presupuesto de Enlace de RF

Potencia Efectiva Isotrópica Radiada	EIRP	Ganancia de Antena receptora	$G_{RX}$
Nivel Isotrópico Recibido	IRL	Máxima Pérdidas de ruta permitida	MAPL
Pérdidas de Penetración en Edificios	$L_{bidg}$	Ganancia de Sub canalización	$G_{SC}$
Margen Desvanecimiento Rápido	$M_f$	Ruido Térmico	N
Margen Log-Normal	$M_{Logn}$	Relación Señal a Ruido	$\frac{S}{N}$
Margen de Interferencia	$M_{Int}$	Figura de Ruido	NF
Margen Total	$M_{TOT} = L_{bidg} + M_f + M_{Logn} + M_{Int}$	Ganancia de Sistema	$G_{Sys}$
Pérdidas en el Cable	$L_C$	Potencia Transmitida	$P_{TX}$
Ganancia de Antena Transmisora	$G_{TX}$	Sensibilidad del Receptor	$S_{RX}$
Pérdidas en el espacio Libre	$L_{fspl}$	Transmisor	Tx
Ancho de Banda	BW	Receptor	Rx
Equipo de Usuario	CPE		

Tabla 3.12: Parámetros de Presupuesto de Enlace

### Sensibilidad del Receptor

$$S_{RX} = N + 10 \log_{10} BW_{HZ} + NF + \frac{S}{N} - G_{SC} \quad (3.11)$$

### Nivel de Recepción Isotrópico

$$IRL = S_{RX} - G_{RX} \quad (3.12)$$

### Ganancia del Sistema

$$G_{Sys} = EIRP - IRL_{Req} \quad (3.13)$$

**Máxima pérdida permitida del enlace (Margen del Enlace)**

$$MAPL = G_{Sys} - MTot \quad (3.14)$$

El presupuesto de enlace de la tabla 3.12 es para ambientes móviles externos e internos. Para cada caso, se considera el downlink y el uplink. El objetivo principal del presupuesto de enlace es demostrar como se usa típicamente el transmisor y receptor y muchos de los márgenes del enlace y las pérdidas para deducir la máxima pérdida disponible en la ruta (MAPL). MAPL es una medida (y extensión) del alcance del enlace, y puede ser usado para calcular el radio de la celda.

Sabemos que el receptor tiene una especificación de sensibilidad debajo de la cual no puede recibir una señal inteligible. El transmisor tienen una potencia limitada, aún mas limitada en el caso de la estación del suscriptor (SS), debido principalmente al tamaño y al tiempo de vida de la batería. Se toma en cuenta las regulaciones del gobierno o control de interferencia intra sistemas, el medio que conecta los dos ( en este caso, el espacio libre). Para todos los intentos y propósitos, esta repleto con pérdidas relacionadas a las obstrucciones, reflexiones y difracciones, etc.

Tenemos la tabla 3.13 donde se muestran valores y forma de determinar todos los parámetros de un presupuesto de enlace externo e interno.

		Outdoor		Indoor	
		Móvil		Desktop	
<b>Transmisor</b>		↓	↑	↓	↑
1	Potencia de salida de Transmisor (dBm)	38	30	38	30
2	Pérdidas del cable, $L_C$ (dB)	3	0	3	0
3	Ganancia de Antena, $G_{TX}$ (dBi)	17	0	17	5
4	EIRP(dBm)	55	30	55	35
<b>Receptor</b>					
6	Ganancia de Antena, $G_{RX}$ (dB)	-1	18	6	18
7	Número de Canales, $Chno$	16	16	16	16
8	Ganancia de Sub Canales, $G_{SC}$ (dB)	12	12	12	12
9	Figura de Ruido, NF(dB)	8	5	8	5
10	Relación Señal a Ruido, SNR(dB)	1	2	1	2
11	Nivel de Ruido en el Receptor, $N$ (dBm/Hz)	-174	-174	-174	-174
12	Ancho de Banda del Canal, BW (dBHz)	10	10	10	10
13	Sensibilidad del Receptor, $S_{RX}$ (dBm)	-107	-109	-107	-109
14	Nivel de Recepción isotropica, $I_{RL}$ (dBm)(= $S_{RX} - G_{RX}$ )	-106	-127	-113	-127
15	Ganancia del Sistema, $G_{SYS}$ (dB)(= $EIRP - I_{RL}$ )	161	157	168	162
<b>Margenes de Enlace</b>					
16	Margen de desvanecimiento Log Normal, $M_{ln}$ (dB)	8	8	8	8
17	Margen de desvanecimiento Rapido, $M_{ff}$ (dB)	6	6	0	0
18	Margen de Interferencia, $m_{int}$ (dB)	3	3	3	3
19	Pérdidas de penetración en Edificios, $L_{bdlg}$ (dB)	0	0	13	13
20	Margen Total, $M_{tot}(dB) = M_{ln} + M_{ff} + M_{int} + L_{bdlg}$	17	17	24	24
21	Máxima pérdida disponible en el enlace, $M_{APL}(dB) = G_{SYS} - M_{tot}$	144	140	144	138

Tabla 3.13: Ejemplo de Presupuesto de Enlace

## Capítulo 4

# Diseño de Red de Banda Ancha

### 4.1. Metodología

Ahora desarrollaremos este proyecto de banda ancha para cumplir el objetivo planteado de garantizar una velocidad de 512 Kbps a cada uno de los usuarios conectados en hora punta, en cada uno de los centros poblados. Para esto se ha desarrollado el siguiente trabajo:

- **Replanteo:** Se ha georeferenciado las localidades beneficiadas, identificando los lugares mas adecuados para la ubicación de las antenas, así como también se ha verificado la disponibilidad de energía eléctrica.
- **Diseño de la Red:** Se ha usado herramientas libres como el Gogle Earth Pro (libre desde 02 de febrero del 2015) y Radio Mobile. Con las ubicaciones del primer paso se ha seleccionado las mas adecuadas para los radio enlaces con el centro de distribución inalambrica de Lambayeque y se ha agrupado centros poblados para que la cobertura sea uniforme y se pueda garantizar la calidad de servicio buscada. Con Google Earth se han obtenido orto fotos, que nos ha permitido visualizar de una manera adecuada la cobertura de las diferentes antenas consideras en el proyecto y también la factibilidad de los radio enlaces. Todos esto datos ha sido calculados usando el Software de Radio Mobile.
- **Proyecto Técnico:** Es propiamente el proyecto realizado, resultado de los pasos anteriores. El proyecto consta de todos las secciones y la estructura necesaria de un proyecto que puede ser aprobado y ejecutado. La estructura es la siguiente:
  - **Memoria Descriptiva:** Acá tenemos la introducción, el detalle de las características técnicas del proyecto, las especificaciones de los equipos, el dimensionamiento de la red, los cálculos necesarios de los radio enlaces y de los cálculos de cobertura y una matriz de cumplimiento de objetivos planteados.
  - **Planos y Esquemas:** Acá se detallan el diseño de la red mediante planos, esquemas de red, mapas de ubicación, mapas de cobertura, etc.

### 4.2. Replanteo

Se ha visitado los centros poblados, para determinar las coordenadas mas exactas usando un gps donde se ha seleccionado la ubicación del centro de Acceso del centro de poblado, ademas se ha verificado la disponibilidad de energía eléctrica. Los resultados son mostrados en la tabla 4.1

Se muestran algunas fotos de los centros poblados, donde se observa el domicilio seleccionado como posible punto de acceso, ademas de la disponibilidad de energía electrica. Ver la figura 4.1, figura 4.2 y en la figura 4.3.

Nro	Centro Poblado	Coordenadas Geográficas		
		X	Y	Altura
CP1	Virgen Purísima Concepción	-79.909399	-6.702552	19
CP2	Sialupe Baca La Capilla Santa Rosa	-79.937987	-6.627018	20
CP3	Sialupe Baca Rio Hondo	-79.907541	-6.616872	24
CP4	Muy Finca Punto Nueve Rama (El Adobe)	-79.913962	-6.631351	20
CP5	Punto Nueve	-79.915603	-6.637894	20
CP6	Sialupe Huamantanga Los Mestas	-79.8882350	-6.635050	22
CP7	San Miguel	-79.900778	-6.669222	19
CP8	Sialupe Huamantanga Sector 1	-79.880222	-6.650972	19
CP9	Eureka	-79.878778	-6.673395	21
CP10	Mocce Antiguo	-79.907101	-6.685855	17
CP11	Yencala Boggiano	-79.928440	-6.688280	16
CP12	Bodegones Ranchera	-79.946450	-6.713180	11
CP13	Carrizo	-79.975040	-6.741970	3
CP14	Rastrojo de Las Vacas	-79.951810	-6.729410	8
CP15	Mariategui	-79.856877	-6.717173	19
CP16	Muy Finca Punto Nueve Rama Cabrera	-79.917220	-6.48800	21
CP17	Sialupe Baca Punto Cuatro	-79.891172	-6.594722	26

Tabla 4.1: Localización Geográfica de Centros Poblados



Figura 4.1: Yencala Boggiano



Figura 4.2: Sialupe Huamantanga Los Mestas

### 4.3. Diseño de la Red

Se ha procedido con colocar las coordenadas de la tabla 4.1, primero en el Google Earth y después en el Radio Mobile para tener una perspectiva mejor del área a cubrir, el resultado se muestra en la figura 4.4

Con el apoyo de estas herramientas podemos realizar la simulación la cobertura en bandas no licenciadas de 5470 MHz a 5725 MHz, considerando las potencias máximas permitidas que están estipuladas en el artículo 28 del TUO del Reglamento General de Telecomunicaciones (Bossio, 2010).

Para poder garantizar un servicio de banda ancha a las localidades o centros poblados beneficiados, se ha optado por dividir el área de atención en 04 celdas, y cada una con un máximo de 3 sectores en las cuales se ha asegurado un nivel de señal superior a -83 dBm, para esto se ha considerado la utilización de una antena sectorial, de 65° para



Figura 4.3: Sialupe Baca Punto Cuatro

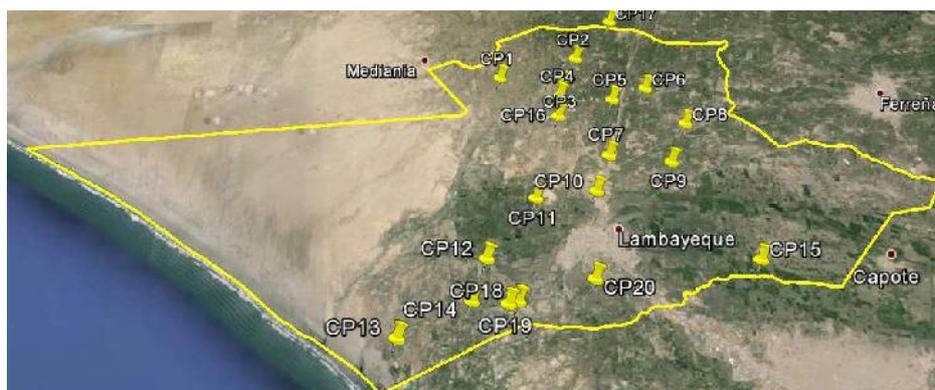


Figura 4.4: Centros Poblados de Lambayeque en Google Earth

una adecuada distribución de la señal, en los sectores de las diferentes celdas. Como esta antena no está proporcionada en el Radio Mobile se ha generado un archivo .ant con las especificaciones del patrón de radiación de los datasheet del fabricante para obtener el patrón de radiación mostrado en la figura 4.5.

La distribución de centros poblados por celda y sectores ha quedado como muestra la tabla 4.2. Se muestra un diagrama de red del diseño final en la figura 4.6.

Se muestra ahora el resultado final en la figura 4.7 del diagrama de cobertura con las celdas y sectores determinados para satisfacer la demanda de los centros poblados considerados, en el Proyecto Técnico se darán detalles del equipamiento, ubicación seleccionada para las estaciones bases, alturas de antenas, etc. También se muestra una orto foto en la figura 4.8 de la cobertura usando el Google Earth.

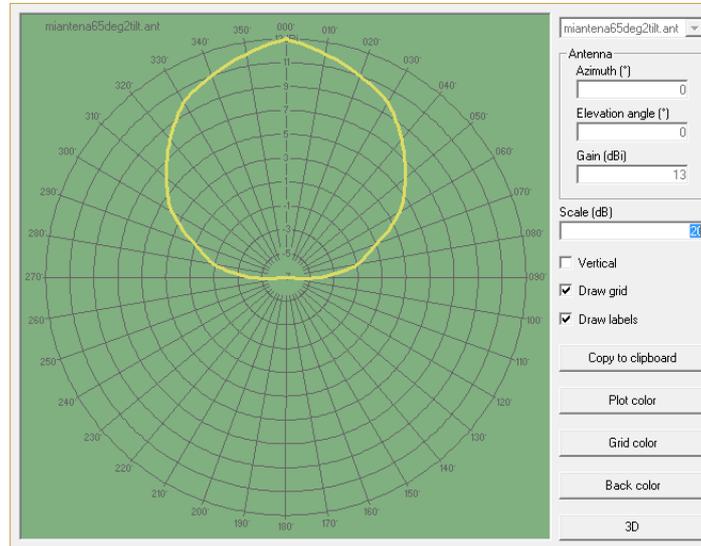


Figura 4.5: Patrón de Radiación de antena de 65 grados y 18 dBi y 2 deg de Tilt

Celda	Sec	Nro	Centro Poblado	Vtx(Mbps)	Total(Mbps)
Site 0	a	CP13	Carrizo	0.581	
Site 0	a	CP14	Rastrojo de Vacas	0.581	1.7430
Site 0	a	CP12	Bodegones-Ranchera	0.581	
Site 0	b	CP11	Yencala Boggiano	1.139	1.139
Site 1	a	CP15	Mariategui	0.558	0.558
Site 1	b	CP8	Sialupe Huamantanga Sector 1	0.604	
Site 2	a	CP7	San Miguel	0.581	
Site 2	a	CP9	Eureka	1.139	2.3010
Site 2	a	CP10	Mocce Antiguo	0.581	
Site 2	b	CP6	Sialupe Huamantanga Los Mestas	1.139	
Site 2	b	CP5	Punto Nueve	1.139	2.2780
Site 2	c	CP1	Virgen Purisima Concepción	0.581	
Site 2	c	CP3	Sialupe Baca Rio Hondo	0.627	4.5560
Site 2	c	CP4	Muy Finca Punto Nueve Rama (El Adobe)	1.674	
Site 2	c	CP16	Muy Finca Punto Nueve Rama Cabrera	1.674	
Site 3	a	CP17	Sialupe Baca Punto Cuatro	1.162	2.3240
Site 3	a	CP2	Sialupe Baca La Capilla Santa Rosa	1.162	

Tabla 4.2: Distribución de Centros Poblados en las Celdas y Sectores

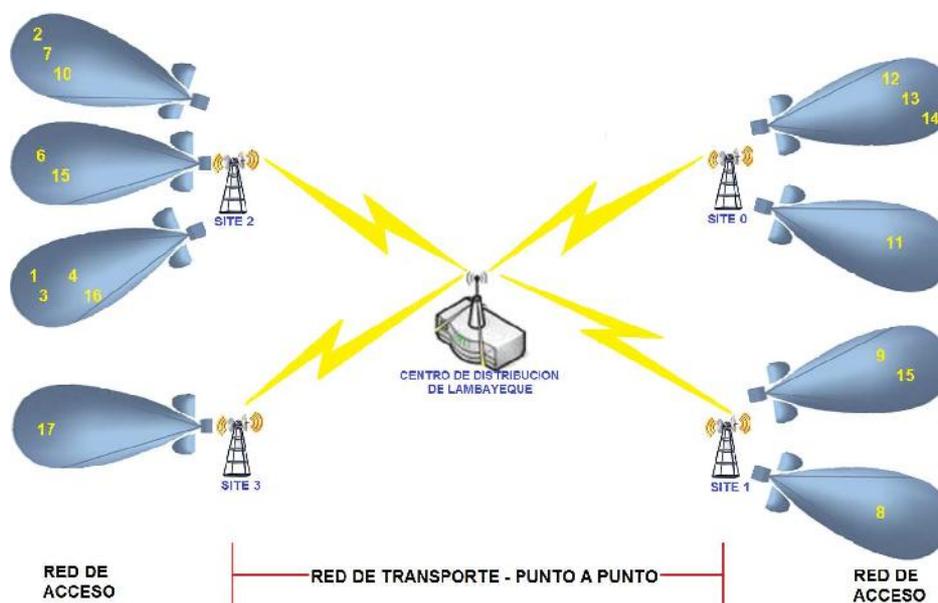


Figura 4.6: Diagram de Red a Desarrollar propuesta

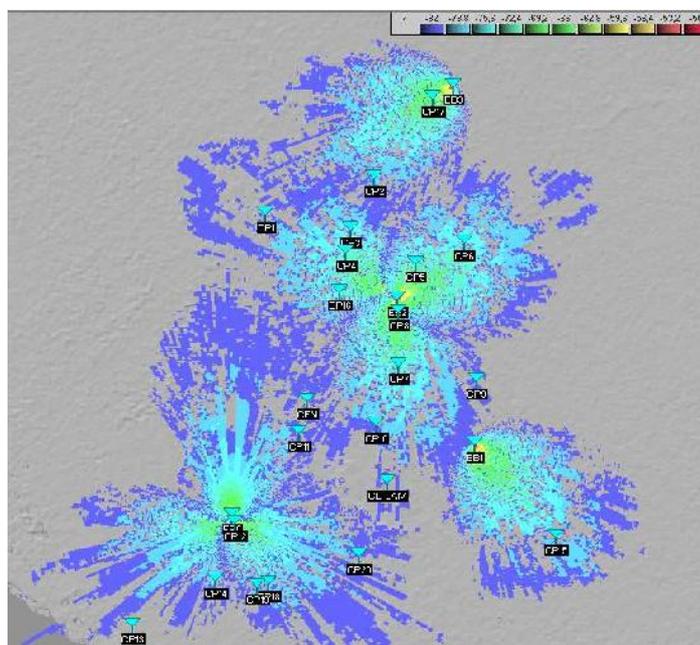


Figura 4.7: Cobertura de Centros Poblados beneficiados con 04 Celdas y 3 sectores cada una

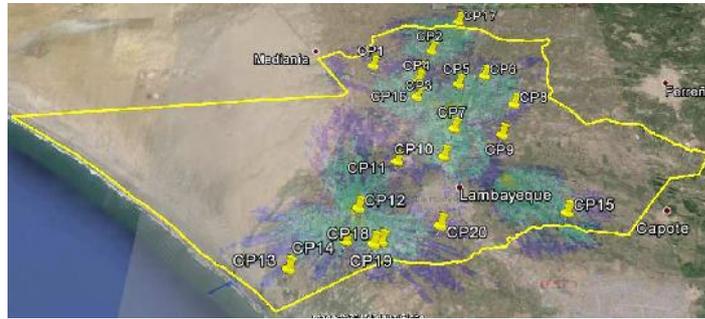


Figura 4.8: Cobertura de Centros Poblados beneficiados con 04 Celdas Google Earth

#### 4.4. Proyecto Técnico

##### 4.4.1. Memoria Descriptiva

###### 4.4.1.1. Introducción

En este proyecto de tesis se trata de hallar la configuración de red de Banda Ancha Inalambrica que permita brindar acceso a los servicios de Telecomunicaciones a los centros poblados rurales del distrito de Lambayeque desde un centro de Distribución en la Ciudad de Lambayeque, capital del distrito del mismo nombre. La velocidad de Acceso que se garantiza con este proyecto es de una velocidad mínima de 512 Kbps por usuario potencial de cada centro poblado en la zona de cobertura de la red

De esta manera el proyecto se divide en dos subproyectos:

- Red de Transporte: Interconexión con enlaces punto a punto con las distintas celdas que brindarían servicio a los centros poblados (Ver tabla 4.2). Se ha optado realizar esta interconexión con equipos punto a punto de gama alta que usan tecnología WiMax y operan en la banda libre de 5 GHz.
- Red de Acceso WiMax: Red de acceso mediante tecnología WiMax para los pobladores en cada una de las 04 celdas consideradas, que atenderán a los centros poblados de acuerdo a la tabla 4.2. En esta red de acceso se usará el estándar 802.16 2004 que se conectará a la red de Transporte.

###### 4.4.1.2. Red de Transporte

1. Las localizaciones seleccionadas para la ubicación de los sites o estaciones bases para las 04 celdas se detallan en la tabla 4.3. Se muestra en la figura 4.9 el plano de ubicación del centro de distribución de Lambayeque y los sites.
2. **Equipamiento** El equipamiento está compuesto por enlaces punto a punto de la marca Alvarion, modelo BreezeNET B, que es una familia de productos para

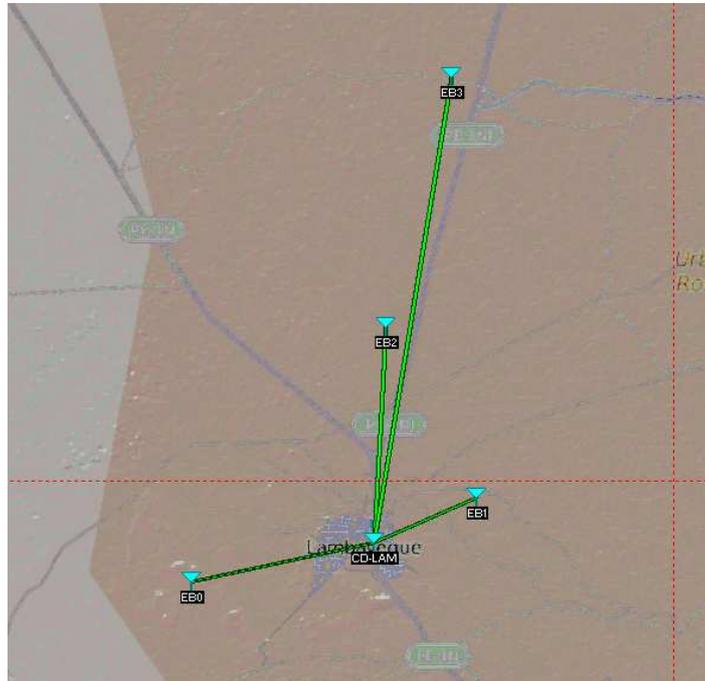


Figura 4.9: Red de Transporte en Radio Mobile

enlaces punto a punto para bandas no licenciadas. Proporcionando un solución eficiente y segura para varias aplicaciones, incluyendo acceso de banda ancha, conexión edificio-edificio y servicios de backhaul entre estaciones remotas, siendo también un potente enlace inalámbrico de costo efectivo para backhauling de redes punto-multipunto a sus POP, eliminando la necesidad del alquiler de las costosas líneas sobre infraestructura cableada.

CELDA	Coordenadas Geográficas		
	X	Y	Altura (m)
0	-79.940111	-6.715222	20.2
1	-79.879389	-6.691139	21
2	-79.905917	-6.691139	21
3	-79.885306	-6.591444	30

Tabla 4.3: Localización Geográfica de Antenas de Sites

En la tabla 4.4 se detallan las características mas importantes de estos equipos, en función de esto nosotros seleccionamos la configuración del BreezeNET B28, con canales de 10, 20 o 40MHz y con un throughput de hasta 20Mbps en bajada y 20Mbps en subida configurables.

Las especificaciones técnicas están dadas en la tabla 4.5, donde es importante considerar las opciones de configuración en cuanto a la potencias transmitida,

Configuración	Rango de Frecuencia	Ancho de Banda	Throughput (FTP)
BreezeNET B10	5.4 GHz y 5.8 GHz	10 MHz y 20 MHz	10 Mbps (5Mbps Up y 5Mbps Down)
BreezeNET B14	2.4 GHz y 5.x GHz	10 MHz y 20 MHz	14 Mbps (7Mbps Up y 7Mbps Down)
BreezeNET B28	5.x GHz	10 MHz, 20 MHz y 40MHz	35 Mbps (20Mbps Up y 20Mbps Down)
BreezeNET B100	5.x GHz	10 MHz y 20 MHz	73 Mbps (70Mbps Up y 70Mbps Down)

Tabla 4.4: Opciones de Configuración y Equipos de Alvarion

que puede ser como máximo de 21dBm, con incrementos de 1dB y las antenas integradas disponibles son de una ganancia de 21 dBi con un patrón de radiación con una apertura de 10,5° en el plano horizontal y una apertura de 10,5° en el plano vertical, contando también con un puerto de Antena con un conector tipo N y 50 Ohm.

Radio	
Frecuencia de Operación	2.400-2.4835 GHz, 5.15-5.35 GHz 5.47-5.725 GHz, 5.725-5.850 GHz
Tipo de Radio	OFDM TDD
Modulación	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
Ancho de Banda de Canal	10/20/40 MHz
Resolución de la Frecuencia Central	5 MHz
Potencia de Salida	hasta 21dBm con incrementos de 1 dB.
Antenas	
BU y RB Antena Integrada 2.4 GHz	16 dBi apertura de 20° en el plano horizontal y una apertura de 20° en el plano vertical
BU y RB Antena Integrada 5.8 GHz	21 dBi apertura de 10,5° en el plano horizontal y una apertura de 10,5° en el plano vertical
Antena Externa	Conector tipo N, 50 OHm.
Comunicaciones	
Cumplimiento de Estándares	IEEE 802.3 CSMA/CD
Soporte VLAN	Basados en 802.1q
Puertos de Comunicaciones	3 puertos 10/100base T. 4 puertos T1/E1 cumpliendo ANSI T1.403, ITU-T G.703, AT&T TR-62411.
Seguridad	Protocolo ESSID WEP 128, AES 128 Filtrado de IP para direcciones usuarios o protocolos Filtrado para Administración de direcciones IP y de direcciones de Acceso

Tabla 4.5: Características Técnicas de Equipos Alvarion BreezeNET

Cumple con los estándares de comunicación de datos IEEE 802.3 CSMA/CD, soporte de VLAN basado en el estándar 802.1q, 03 puertos 10/100 base T compatibles con el estándar LAN 802.3, 04 puertos T1/E1 conector RJ-45 de acuerdo a ANSI T1.403, ITU-T G.703, AT&T TR-62411. En seguridad se dispone del protocolo ESSID, WEP 128, AES 128, filtrado a nivel de IP para direcciones de usuarios o protocolos, Filtrado para gestión y administración de direcciones IP y direcciones de Acceso.

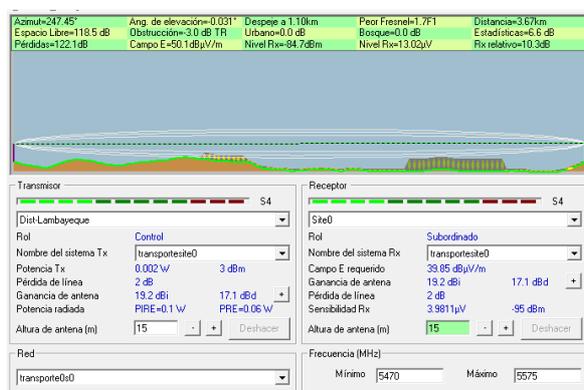


Figura 4.10: Enlace entre Centro de Distribución Lambayeque - Site 0

Con estos equipos se ha podido establecer los enlaces punto a punto entre el centro de distribución de Lambayeque y cada uno de los sites, así:

a) **Centro de Distribucion - Site 0** Ver Tabla 4.6 y la figura 4.10.

Centro de Distribución Lambayeque			Site 0		
Distancia			3.7 Km		
Orientación de Antena	Azimuth Norte Verdadero	247,45°	Orientación de Antena	Azimuth Norte Verdadero	67,45°
	Azimuth Norte Magnetico	247,83°		Azimuth Norte Magnetico	67,81°
	Elevación	-0,0306°		Elevación	-0,0025°
Coordenadas	Latitud	6°42'09,2"	Coordenadas	Latitud	6°42'54,8"
	Longitud	79°54'33,8"		Longitud	79°56'24,4"
	Altura	20m		Altura	20.2
Altura de Antena		15 m	Altura de Antena		15m
Potencia de Tx		3 dBm	Potencia de Tx		3 dBm
Ganancia de Antena		19.2 dBi	Ganancia de Antena		19.2 dBi
PIRE		0.1 W	PIRE		0.1W
Nivel de Rx		-84.7 dBm	Nivel de Rx		-84.7 dBm
Modo de Propagación			Linea de Vista, mínimo despeje 1.7F1 a 1.1Km		

Tabla 4.6: Detalle de Enlace entre Centro de Distribución Lambayeque - Site 0

b) **Centro de Distribucion - Site 1** Ver Tabla 4.7 y la figura 4.11.

c) **Centro de Distribucion - Site 2** Ver Tabla 4.8 y la figura 4.12.

d) **Centro de Distribucion - Site 3** Ver Tabla 4.9 y la figura 4.13.

#### 4.4.1.3. Red de Acceso

1. Con los sites ya ubicados se procedió a la determinación de los sectores para brindar una cobertura de señal apropiada a los centros poblados, para esto en

Centro de Distribución Lambayeque			Site 1		
Distancia			3.5 Km		
Orientación de Antena	Azimuth Norte Verdadero	69,06°	Orientación de Antena	Azimuth Norte Verdadero	249,06°
	Azimuth Norte Magnetico	69,44°		Azimuth Norte Magnetico	249,46°
	Elevación	-0,0161°		Elevación	-0,0481°
Coordenadas	Latitud	6°42'09,2"	Coordenadas	Latitud	6°41'28,1"
	Longitud	79°54'33,8"		Longitud	79°52'45,8"
	Altura	20m		Altura	21
Altura de Antena			Altura de Antena		
15 m			15m		
Potencia de Tx			Potencia de Tx		
2 dBm			2 dBm		
Ganancia de Antena			Ganancia de Antena		
19.2 dBi			19.2 dBi		
PIRE			PIRE		
0.08 W			0.08W		
Nivel de Rx			Nivel de Rx		
-82.9 dBm			-82.9 dBm		
Modo de Propagación			Linea de Vista, mínimo despeje 2.3F1 a 2.1Km		

Tabla 4.7: Detalle de Enlace entre Centro de Distribución Lambayeque - Site 1

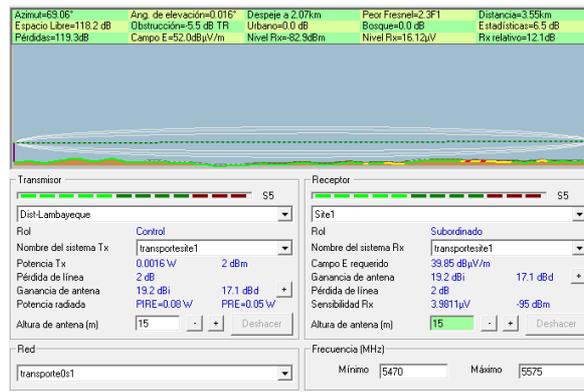


Figura 4.11: Enlace entre Centro de Distribución Lambayeque - Site 1

Centro de Distribución Lambayeque			Site 2		
Distancia			5.5 Km		
Orientación de Antena	Azimuth Norte Verdadero	4,04°	Orientación de Antena	Azimuth Norte Verdadero	184,04°
	Azimuth Norte Magnetico	4,42°		Azimuth Norte Magnetico	184,43°
	Elevación	-0,0095°		Elevación	-0,0585°
Coordenadas	Latitud	6°42'09,2"	Coordenadas	Latitud	6°39'13,0"
	Longitud	79°54'33,8"		Longitud	79°54'21,3"
	Altura	20m		Altura	19
Altura de Antena			Altura de Antena		
15 m			15m		
Potencia de Tx			Potencia de Tx		
8 dBm			8 dBm		
Ganancia de Antena			Ganancia de Antena		
19.2 dBi			19.2 dBi		
PIRE			PIRE		
0.26 W			0.26W		
Nivel de Rx			Nivel de Rx		
-86.0 dBm			-86.0 dBm		
Modo de Propagación			Linea de Vista, mínimo despeje 1.8F1 a 2.4Km		

Tabla 4.8: Detalle de Enlace entre Centro de Distribución Lambayeque - Site 2

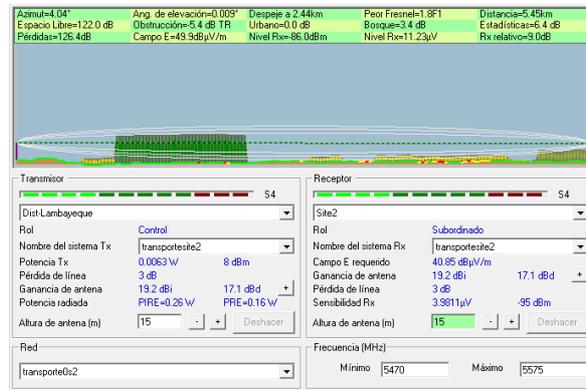


Figura 4.12: Enlace entre Centro de Distribución Lambayeque - Site 2

Centro de Distribución Lambayeque			Site 0		
Distancia			3.7 Km		
Orientación de Antena	Azimuth Norte Verdadero	353,48°	Orientación de Antena	Azimuth Norte Verdadero	173,48°
	Azimuth Norte Magnetico	353,85°		Azimuth Norte Magnetico	173,87°
	Elevación	-0,0300°		Elevación	-0,0630°
Coordenadas	Latitud	6°42'09,2"	Coordenadas	Latitud	6°36'36,4"
	Longitud	79°54'33,8"		Longitud	79°55'12,2"
	Altura	20m		Altura	24
Altura de Antena		24 m	Altura de Antena		18m
Potencia de Tx		18 dBm	Potencia de Tx		18 dBm
Ganancia de Antena		21 dBi	Ganancia de Antena		21 dBi
PIRE		3.98 W	PIRE		3.98W
Nivel de Rx		-80.2 dBm	Nivel de Rx		-80.2 dBm
Modo de Propagación			Linea de Vista, mínimo despeje 1.6F1 a 6.0Km		

Tabla 4.9: Detalle de Enlace entre Centro de Distribución Lambayeque - Site 3

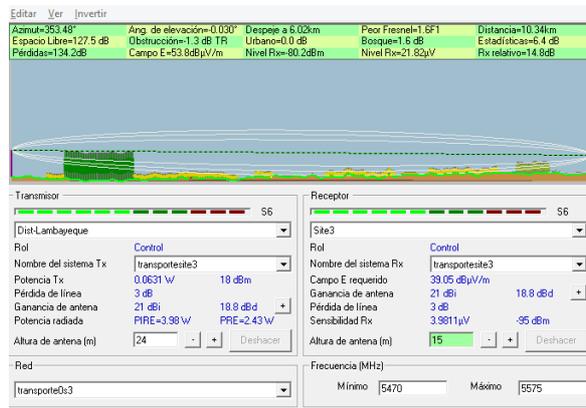


Figura 4.13: Enlace entre Centro de Distribución Lambayeque - Site 3



Figura 4.14: Micro WiMAX Estacion Base PacketMAX 3000

cada uno de los sites seleccionados se determino la utilización de hasta 03 sectores dependiendo del área a atender.

2. **Estación Base:** Para el equipamiento se ha considerado la estación Base PacketMax 3000, que es una tecnología de sector-único con un factor de forma apilable(Ver figura 4.14), ofreciendo una amplia gama de opciones de implementación, incluyendo operación como una sola estación base u operación sectorial dentro de una red multisectorial que puede ser configurado a través del sistema de gestión WaveCenter EMS PRO<sup>TM</sup> proporcionado.

PacketMax 3000 opera en bandas licenciadas y no licenciadas en prácticamente todas las condiciones inalámbricas incluyendo LOS, OLOS y NLOS. Es un punto de acceso inalámbrico eficaz que puede tener hasta 256 unidades de suscriptor conectadas activos y hasta 7168 flujos unidireccionales por sector, y que sirve tanto para aplicaciones interiores y exteriores.

Dentro de sus aplicaciones encontramos:

- Convergencia de servicios fijos-móviles incluyendo simultáneamente multi-usuarios, multi-aplicaciones y multi-servicios.
- Servicios de VoIP escalables con QoS por flujos y ajuste de enlace dinámico.
- Aplicaciones inalámbricas para consumidores interiores de WiMax incluyendo bypass DSL y extender la cobertura de WiFi.
- Servicio de WiMAX fijo evolucionando a soporte de suscriptores móviles.
- Desarrollos de portador de ultima milla con pequeños despliegues iniciales, creciendo hasta soportar miles de suscriptores.

En la tabla 4.10 se detallan las características técnicas de estos equipos. En las especificaciones de Radio cumple con el estándar WiMAX IEEE 802.16-2004, puede operar en un amplio rango de frecuencias que incluye 5.475 GHz, con una potencia de salida de 20 dBm, soportando los esquemas de modulación QPSK, 16QAM, 64QAM con anchos de banda de 3.5 MHz, 5.0 MHz hasta 7.0 MHz con una granularidad de frecuencias de 500KHz.

Radio y Especificacion del Sistema	
Conformidad	Certificado WiMAX Forum, IEEE 802.16-2004 (3.5T1, 3.5T2), ETSI HiperMANt
Frecuencia de Operación	3.300-3.400 GHz, 5.15-5.35 GHz 5.47-5.725 GHz, 5.725-5.850 GHz
Tipo de Radio	TDD, OFDM 256FFT
Modulación	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
Ancho de Banda de Canal	3.5 MHz/5.0 MHz/7.0 MHz
Granularidad de Frecuencia	500 KHz
Potencia de Salida	20dBm.
Características de Networking IP	
Version de IP	IPv4(RFC 791).
Modo de Puente	IEEE 802.1d
Soporte VLAN	Basados en 802.1q
Seguridad y Encriptacion	
Autenticacion	Basada en X-509.
Encriptacion	DES para encriptacion de datos; 3DES encriptacion de llaves.
Soporte de Multi-Servios y Multi-Usuarios	
Clasificación del trafico	parámetros L2, L3, L4.
Programación/ QoS	UGS, nrtPS, BE.
Máximo numero de sectores	Único (múltiples BS pueden ser sincronizados para cubrir múltiples sectores)
Suscriptores Conectados Activos	256 por sector.
Flujos de Servicio unidireccionales	Hasta 7,168 por sector.
Interfaces	
Backhaul	1x10/100 BT (RJ45)
Gestión	Audio RS-232.
Puerto de Antena	Tipo N.
Gestion	
Gestión remota , aprovisionamiento , y Monitoreo	Centralizado usando WaveCenter EMS Pro
Provisionamiento	MIB II (RFC 1213), MiMAX (IEEE 802.16f) MIB, Aperto Enterprise MIB, SNMP V2.
Características Mecánicas	
Dimensiones de Unidad Indoor (lar/alt/an)/Peso	27.0x4.2*42.0 (cm)/12.0 lbs (5.5Kg)
Unidad Outdoor (lar/alt/an)/Peso	29.8*7.0*29.8 (cm)/10 lbs (4.5 Kg)
Distancia entre IDU-ODU	hasta 250m.
Características Electricas	
Voltaje DC de entrada	40 -60 V
Voltaje AC de entrada	85VAC - 265 VAC
Máximo consumo de potencia	70W

Tabla 4.10: Características Técnicas de PacketMAX 3000

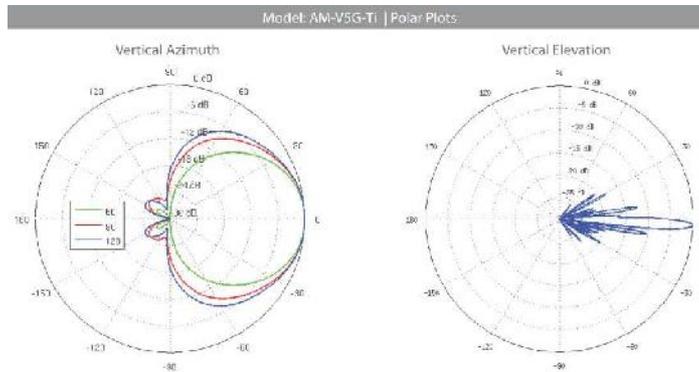


Figura 4.15: Patrón de Radiación de Antena airMAX

Cumple con los estándares de comunicación de datos IPv4, IEEE 802.1d, IEEE 802.1 P/Q, Autenticación basada en X-509, con DES para encriptación de datos y 3DES para encriptación de claves.

Tiene interfaces de Backhaul 1x10/100 BT (RJ45), puerto de antena tipo N.

3. **Antenas:** Se ha decidido usar antenas sectoriales, tales como las airMAX TITANIUM SECTOR, que son antenas avanzadas Carrier-class para estaciones base, con la más alta resistencia a la interferencia en despliegues con co-localización, además de contar con la característica de un ancho de banda ajustable a 60°, 90° y 120°. La ganancia cambia de acuerdo al ancho de banda configurado (Ver tabla 4.11)

Modelo	60°	90°	120°
AM-V5G-Ti	21 dBi	20 dBi	19 dBi
AM-M-V5G-Ti	17 dBi	16 dBi	15 dBi

Tabla 4.11: Ganancia y Ancho de Banda de airMAX TITANIUM

La frecuencia de operación es de 5.45 GHz - 5.85 GHz, con una inclinación eléctrica de 2°, puede soportar vientos de 200 Km/h, con una polarización lineal dual. En la figura 4.15, se muestra el patrón de radiación.

Esta antena no está dentro de las bases de datos de antenas de Radio Mobile, por lo cual habrá que desarrollar este patrón de radiación usando una hoja de cálculo en Excel y luego exportarlo a Radio Mobile. En la figura 4.16 se muestra el resultado del cálculo en Excel y en la figura 4.17 se muestra el resultado en Radio Mobile.

4. **Equipos de Suscriptor:** Se sugiere a PacketMAX 100 como equipo de suscriptor que proporciona una solución económica para pequeñas empresas, oficinas y mercados residenciales (Ver figura 4.18). Este equipo cumple con el estándar

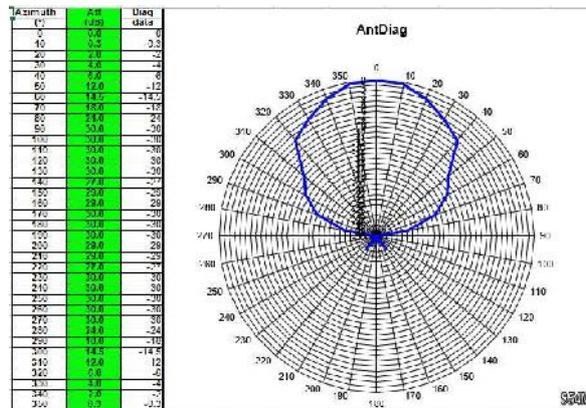


Figura 4.16: Calculo de Patrón de Radiación en Excel

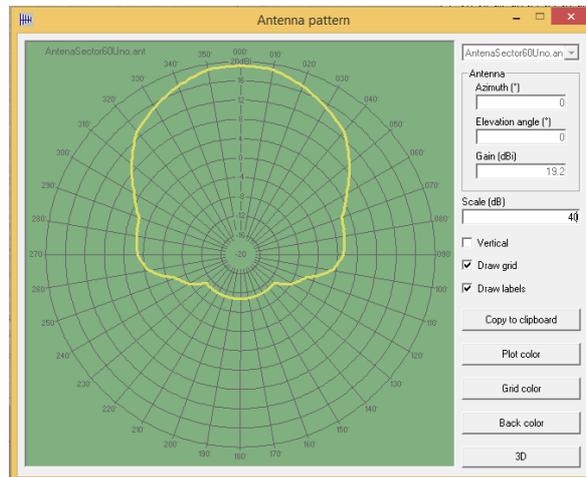


Figura 4.17: Patrón de Radiación exportado a Radio Mobile

IEEE 802.16-2004 y con este equipo los usuarios finales pueden realizar navegación WEB, hacer llamadas telefónicas, ver streaming de video y descargar archivos simultáneamente sobre enlaces inalámbricos a velocidades del orden de los Mbps.

Operan en bandas licenciadas y no licenciadas a las frecuencias de 3 GHz y 5GHz usando la programación eficiente de espectro TDD, ofreciendo un desempeño superior del enlace, insuperable calidad de servicio, y las amplia gama de funciones de red para un despliegue optimizado de WiMAX.

Esta unidad de suscriptor consiste de un radio outdoor con antena integrada y opcionalmente acepta antena externa de una ganancia mayor y una unidad indoor con interfaces a redes Ethernet y potencia AC. El cable de Ethernet



Figura 4.18: Equipo de Usuario PacketMAX 100

porta la señalización de red y la potencia del sistema entre las unidades indoor y outdoor.

Este equipo cumple con una variedad de requerimientos tanto de los usuarios finales como de la red. Las capacidades a elegir incluyen, modo de Puente, Redes IP, NAT, firewall, procesamiento VoIP integrado y una serie de características que permite servicios diferenciados simultáneos para la pequeña empresa y los usuarios finales.

En la tabla 4.12, se muestran las características mas importantes.

Con estos equipos de la red de Acceso es que se ha establecido la cobertura de los sites y sectores correspondientes de los mismos, como se muestra en la figura 4.19, y en lo que sigue se detalla las características eléctricas y mecánicas, tales como altura de las antenas, orientación de las antenas, potencia de los transmisores, potencia recibida, etc.

Para conseguir este objetivo se ha considerado puntos de prueba, ubicados dentro de los centros poblados atendidos, como referencia revisar la tabla 4.2.

a) Site 0:

- **Sector a:** Centros Poblados atendidos Carrizo, Rastrojo de Vacas, y Bodegones-Ranchera, con una demanda de capacidad en conjunto de 1.743 Mbps. En la figura 4.20 se observa la cobertura de este sector y en la tabla 4.13 se muestran los detalles de enlace entre El Site 0 y un punto dentro del área de cobertura.

Radio y Especificacion del Sistema	
Conformidad	Certificado WiMAX Forum, IEEE 802.16-2004, ETSI HiperMANt
Frecuencia de Operación	3.300-3.400 GHz, 5.725-5.850 GHz
Tipo de Radio	TDD, OFDM 256FFT
Modulación	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM
Potencia de Salida	17dBm.
Ganancia de Antena Integrada	16 dBi
Antena Externa Opcional	Si
Características de Networking IP	
Version de IP	IPv4(RFC 791), Cliente DHCP
Modo de Puente	IEEE 802.1d
Soporte VLAN	Basados en 802.1p/q
Maxima cantidad de Usuarios Simultaneos	5
Interfaces	
LAN	Puerto Ethernet 10/100 (UTP)
Puerto de Antena	Tipo N.
Gestión	
Gestión remota , aprovisionamiento , y Monitoreo	WaveCenter EMS Pro
Acceso Remoto para gestión	Telnet, SNMP, HTTP.
Aprovisionamiento	Centralizado usando WaveCenter EMS Pro.

Tabla 4.12: Características Técnicas de PacketMAX 100

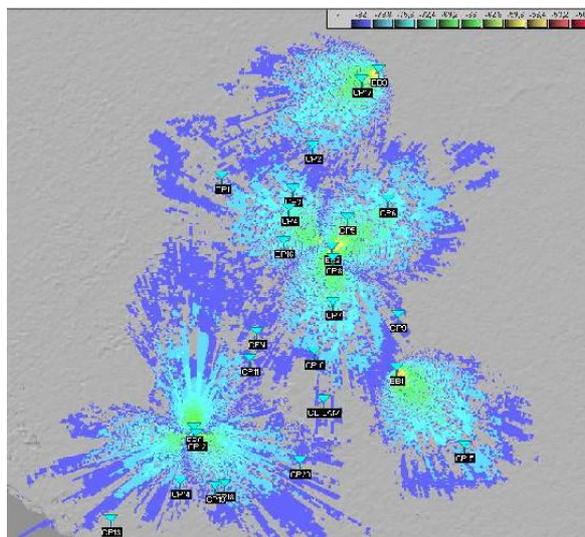


Figura 4.19: Cobertura Usando 04 Sites y 8 sectores

Site 0			Sector 1 - Carrizo		
Distancia			5.4 Km		
Orientación de Antena	Azimuth Norte Verdadero	245,22°	Orientación de Antena	Azimuth Norte Verdadero	65,23°
	Azimuth Norte Magnetico	245,59°		Azimuth Norte Magnetico	65,56°
	Elevación	-0,3708°		Elevación	0,3218°
Coordenadas	Latitud	6°42'54,8''	Coordenadas	Latitud	6°44'08,8''
	Longitud	79°56'24,4''		Longitud	79°59'5,8''
	Altura	20.2m		Altura	5
Altura de Antena		20 m	Altura de Antena		4m
Potencia de Tx		20 dBm	Potencia de Tx		17 dBm
Ganancia de Antena		17 dBi	Ganancia de Antena		17 dBi
PIRE		1.26 W	PIRE		0.77W
Nivel de Rx		-80.3 dBm	Nivel de Rx		-77.3 dBm
Modo de Propagación			Linea de Vista, mínimo despeje 1.2F1 a 5.1Km		

Tabla 4.13: Detalle de Enlace entre Site 0 - Carrizo

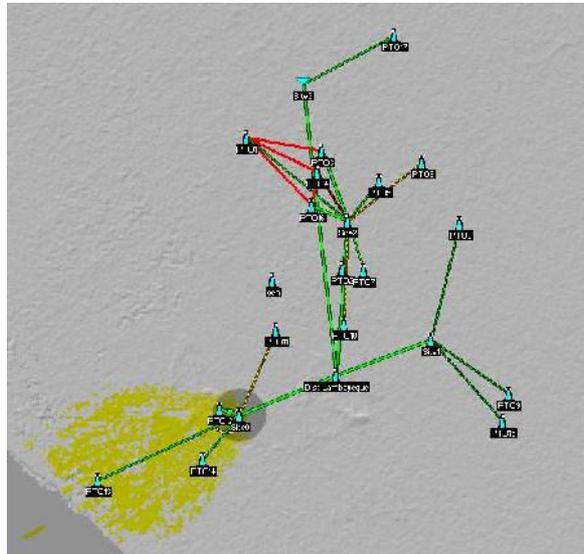


Figura 4.20: Enlace entre Site 0 - Carrizo

- **Sector b:** Centros Poblado atendido Yencala Boggiano, con una demanda de capacidad de 1.139 Mbps. En la figura 4.21 se observa la cobertura de este sector y en la tabla 4.14 se muestran los detalles de enlace entre El Site 0 y un punto dentro del área de cobertura.
- b) Site 1:
- **Sector a:** Centros Poblados atendidos Eureka y Mariategui, con una demanda de capacidad en conjunto de 1.697 Mbps. En la figura 4.22 se observa la cobertura de este sector y en la tabla 4.15 se muestran los detalles de enlace entre El Site 1 y un punto dentro del área de cobertura.

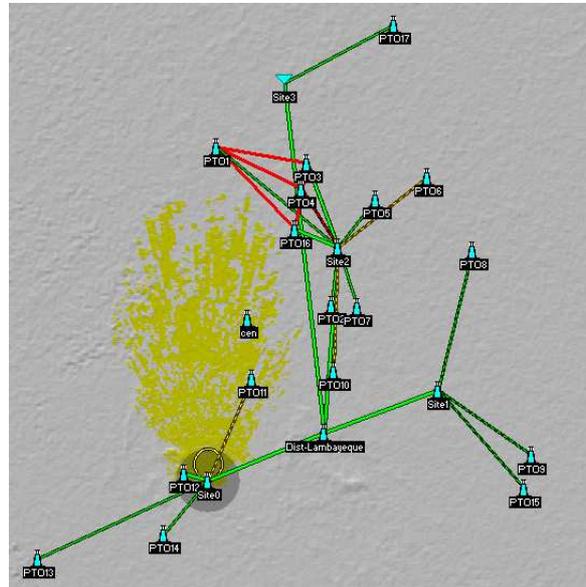


Figura 4.21: Enlace entre Site 0 - Yencala Boggiano

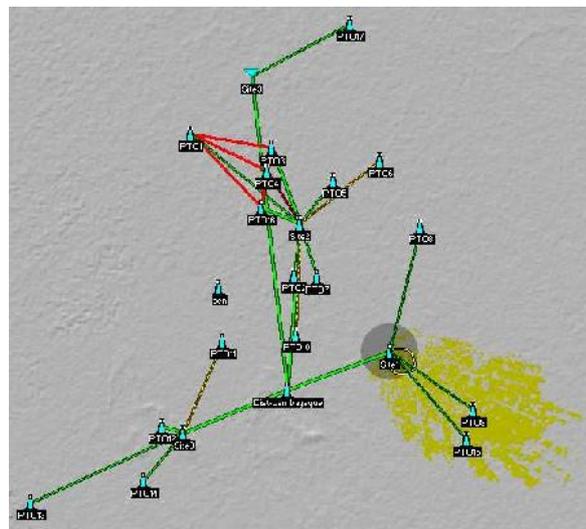


Figura 4.22: Enlace entre Site 1 - Mariategui

Site 0			Sector 1 - Yencala Boggiano		
Distancia			3.3 Km		
Orientación de Antena	Azimuth Norte Verdadero	23,31°	Orientación de Antena	Azimuth Norte Verdadero	203,31°
	Azimuth Norte Magnetico	23,67°		Azimuth Norte Magnetico	203,69°
	Elevación	-0,2911°		Elevación	0,2618°
Coordenadas	Latitud	6°42'54,8"	Coordenadas	Latitud	6°41'17,8"
	Longitud	79°56'24,4"		Longitud	79°55'42,4"
	Altura	20.2m		Altura	5
Altura de Antena		22 m	Altura de Antena		4m
Potencia de Tx		20 dBm	Potencia de Tx		17 dBm
Ganancia de Antena		14.3 dBi	Ganancia de Antena		16 dBi
PIRE		0.68 W	PIRE		1.26W
Nivel de Rx		-84.4 dBm	Nivel de Rx		-81.4 dBm
Modo de Propagación			Linea de Vista, mínimo despeje 1.5F1 a 3.2Km		

Tabla 4.14: Detalle de Enlace entre Site 0 - Yencala Boggiano

Site 1			Sector 1 - Mariategui		
Distancia			3.8 Km		
Orientación de Antena	Azimuth Norte Verdadero	139,36°	Orientación de Antena	Azimuth Norte Verdadero	319,36°
	Azimuth Norte Magnetico	139,77°		Azimuth Norte Magnetico	319,78°
	Elevación	-0,2312°		Elevación	0,1968°
Coordenadas	Latitud	6°41'28,1"	Coordenadas	Latitud	6°43'01,8"
	Longitud	79°52'45,8"		Longitud	79°51'24,8"
	Altura	21m		Altura	25
Altura de Antena		20 m	Altura de Antena		4m
Potencia de Tx		20 dBm	Potencia de Tx		17 dBm
Ganancia de Antena		16.7 dBi	Ganancia de Antena		16 dBi
PIRE		1.17 W	PIRE		1.26W
Nivel de Rx		-81.3 dBm	Nivel de Rx		-78.3 dBm
Modo de Propagación			Linea de Vista, mínimo despeje 1.2F1 a 3.4Km		

Tabla 4.15: Detalle de Enlace entre Site 1 -Mariategui

- **Sector b:** Centros Poblado atendido Sialupe Huamantanga Sector 1, con una demanda de capacidad de 0.604 Mbps. En la figura 4.23 se observa la cobertura de este sector y en la tabla 4.16 se muestran los detalles de enlace entre El Site 1 y un punto dentro del área de cobertura.

c) Site 2:

- **Sector a:** Centros Poblados atendidos Sialupe Baca La Capilla Santa Rosa, San Miguel y Mocce Antiguo con una demanda de capacidad en conjunto de 2.324 Mbps. En la figura 4.24 se observa la cobertura de este sector y en la tabla 4.17 se muestran los detalles de enlace entre El Site 2 y un punto dentro del área de cobertura.
- **Sector b:** Centros Poblado atendido Sialupe Huamantanga Los Mestas, Punto Nueve con una demanda de capacidad de 2.278 Mbps. En la

Site 1			Sector 2 - Sialupe Huamantanga Sector 1		
Distancia			4.2 Km		
Orientación de Antena	Azimuth Norte Verdadero	13,81°	Orientación de Antena	Azimuth Norte Verdadero	193,81°
	Azimuth Norte Magnetico	14,22°		Azimuth Norte Magnetico	194,23°
	Elevación	-0,1963°		Elevación	0,1585°
Coordenadas	Latitud	6°41'28,1"	Coordenadas	Latitud	6°39'16,0"
	Longitud	79°52'45,8"		Longitud	79°52'13,1"
	Altura	21m		Altura	20.8
Altura de Antena		20 m	Altura de Antena		4m
Potencia de Tx		20 dBm	Potencia de Tx		17 dBm
Ganancia de Antena		16.7 dBi	Ganancia de Antena		16 dBi
PIRE		1.26 W	PIRE		1.26W
Nivel de Rx		-81.3 dBm	Nivel de Rx		-78.3 dBm
Modo de Propagación			Linea de Vista, mínimo despeje 0.8F1 a 3.5Km		

Tabla 4.16: Detalle de Enlace entre Site 1 - Sialupe Huamantanga Sector 1

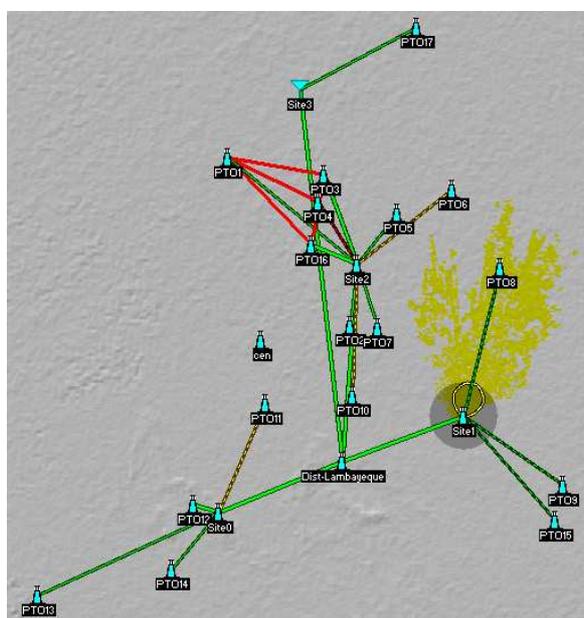


Figura 4.23: Enlace entre Site 1 - Sialupe Huamantanga Sector 1

Site 2			Sector 1 -Sialupe Baca La Capilla Santa Rosa		
Distancia			1.7 Km		
Orientación de Antena	Azimuth Norte Verdadero	186,06°	Orientación de Antena	Azimuth Norte Verdadero	6,06°
	Azimuth Norte Magnetico	186,46°		Azimuth Norte Magnetico	6,45°
	Elevación	-0,6267°		Elevación	0,6115°
Coordenadas	Latitud	6°40'07,5"	Coordenadas	Latitud	6°39'13,0"
	Longitud	79°54'27,1"		Longitud	79°54'21,3"
	Altura	19m		Altura	18
Altura de Antena		20 m	Altura de Antena		4m
Potencia de Tx		20 dBm	Potencia de Tx		17 dBm
Ganancia de Antena		16.9 dBi	Ganancia de Antena		16 dBi
PIRE		1.17 W	PIRE		1.26W
Nivel de Rx		-78.1 dBm	Nivel de Rx		-75.1 dBm
Modo de Propagación			Linea de Vista, mínimo despeje 1.9F1 a 1.5Km		

Tabla 4.17: Detalle de Enlace entre Site 2 -Sialupe Baca La Capilla Santa Rosa

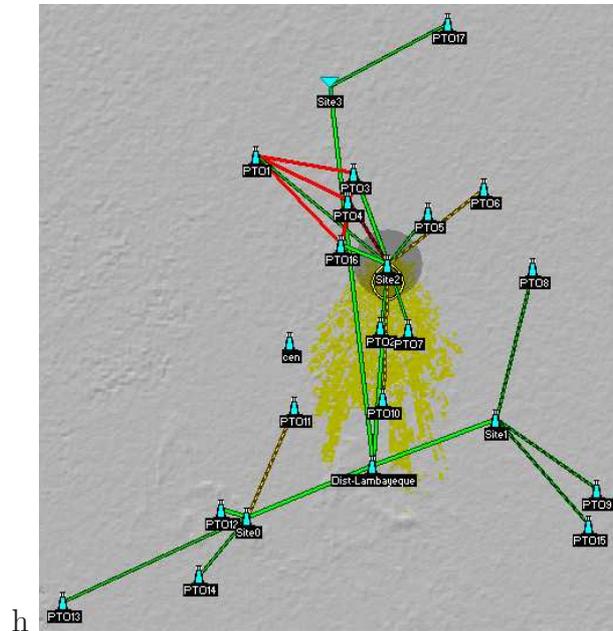


Figura 4.24: Enlace entre Site 2 -Sialupe Baca La Capilla Santa Rosa

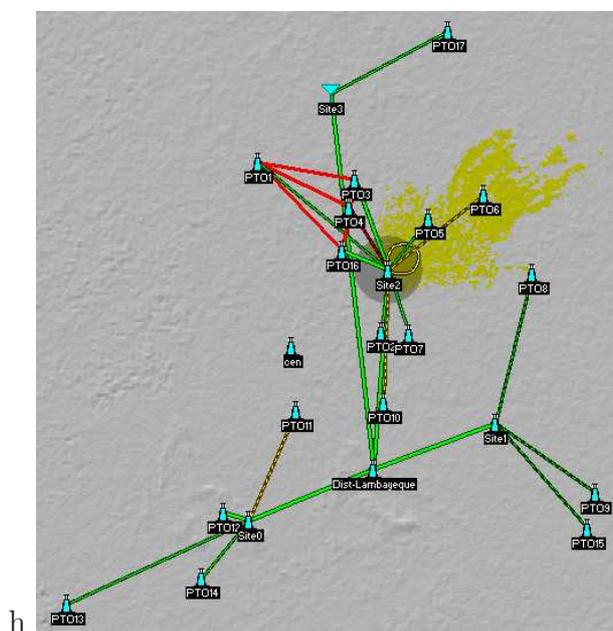


Figura 4.25: Enlace entre Site 2 - Sialupe Huamantanga Los Mestas

figura 4.25 se observa la cobertura de este sector y en la tabla 4.18 se muestran los detalles de enlace entre El Site 2 y un punto dentro del área de cobertura.

Site 2			Sector 2 -Sialupe Huamantanga Los Mestas		
Distancia			3.32 Km		
Orientación de Antena	Azimuth Norte Verdadero	51,58°	Orientación de Antena	Azimuth Norte Verdadero	231,58°
	Azimuth Norte Magnetico	51,98°		Azimuth Norte Magnetico	232,00°
	Elevación	-0,1355°		Elevación	0,1056°
Coordenadas	Latitud	6°39'13,0"	Coordenadas	Latitud	6°38'06,2"
	Longitud	79°54'21,3"		Longitud	79°52'56,4"
	Altura	19m		Altura	26.4m
Altura de Antena		20 m	Altura de Antena		4m
Potencia de Tx		20 dBm	Potencia de Tx		17 dBm
Ganancia de Antena		17 dBi	Ganancia de Antena		16 dBi
PIRE		1.26 W	PIRE		1.26W
Nivel de Rx		-87.2 dBm	Nivel de Rx		-84.2 dBm
Modo de Propagación			Linea de Vista, mínimo despeje 1.4F1 a 0.6Km		

Tabla 4.18: Detalle de Enlace entre Site 2 -Sialupe Huamantanga Los Mestas

- Sector c:** Centros Poblado atendido Virgen Purísima Concepción, Sialupe Baca Rio Hondo, Muy Finca Punto Nueve Rama (El Adobe) y Muy Finca Punto Nueve Rama Cabrera, con una demanda de capacidad de 4.556 Mbps. En la figura 4.26 se observa la cobertura de este

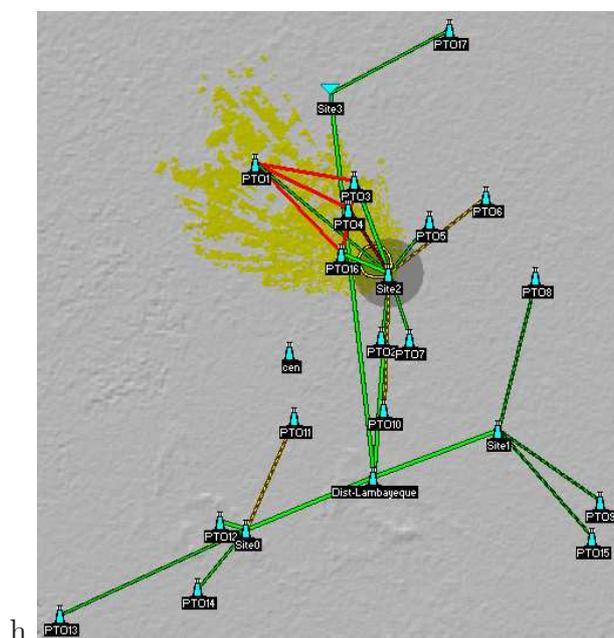


Figura 4.26: Enlace entre Site 2 - Virgen Purísima Concepción

sector y en la tabla 4.19 se muestran los detalles de enlace entre El Site 2 y un punto dentro del área de cobertura.

Site 2			Sector 3 - Virgen Purísima Concepción			
Distancia			4.6 Km			
Orientación de Antena	Azimuth Norte Verdadero	309,87°	Orientación de Antena	Azimuth Norte Verdadero	129,87°	
	Azimuth Norte Magnetico	310,27°		Elevación	Azimuth Norte Magnetico	130,26°
	Elevación	-0,1672°			0,1257°	
Coordenadas	Latitud	6°39'13,0"	Coordenadas	Latitud	6°37'37,3"	
	Longitud	79°54'21,3"		Altura	Longitud	79°56'16,8"
	Altura	19m			20.9m	
Altura de Antena		20 m	Altura de Antena		4m	
Potencia de Tx		20 dBm	Potencia de Tx		17 dBm	
Ganancia de Antena		17 dBi	Ganancia de Antena		16 dBi	
PIRE		1.26 W	PIRE		1.26W	
Nivel de Rx		-87.2 dBm	Nivel de Rx		-84.2 dBm	
Modo de Propagación			Linea de Vista, mínimo despeje 0.8F1 a 3.4Km			

Tabla 4.19: Detalle de Enlace entre Site 2 - Virgen Purísima Concepción

#### 4.4.1.4. Motivación y Limitación del Proyecto

Esta infraestructura de Banda Ancha se crea con la intención de permitir el acceso a los servicios de telecomunicaciones de los pobladores de la zonas rurales del Distrito

de Lambayeque, con la intención de contribuir con mejorar la calidad de vida de los habitantes de estas zonas y brindarles las oportunidades de acceder a información y capacitación on line actualizada y oportuna.

Para lograr la implementación integral del proyecto es necesario un proceso de sensibilización y capacitación a todos los pobladores de los centros poblados. Es necesario considerar un presupuesto para realizar estas tareas y así lograr una adaptación a estas nuevas tecnologías con lo que se obtendrá los beneficios en menor tiempo.

#### 4.4.1.5. Conexión a la Red Publica

Uno de los principales motivos de esta red de Banda Ancha es proporcionar el servicio de Internet, entonces es necesario tener una conexión a Internet la cual se ubicara en el centro de Distribución del Distrito de Lambayeque.

Recordemos que el objetivo es que esta red de distribución inalámbrica sea parte de la red Nacional de Banda Ancha, la contara con una red dorsal de Fibra Óptica, actualmente en construcción, la que tendrá un punto de distribución en la Ciudad de Lambayeque.

#### 4.4.1.6. Canalización de las Celdas

Se va a utilizar la técnica de duplex TDD, es decir usar el mismo canal para el tráfico de subida y el de bajada, intercalándose en el tiempo. Para poder satisfacer la demanda es necesario contar con canales de al menos 5MHz lo que garantizaría un throughput de al menos 1.94Mbps, usando una modulación QPSK 3/4, y si aseguramos una sensibilidad de -80dBm, se podría usar la modulación 16 QAM 3/4 con lo que se obtendría un throughput de hasta 3.69Mbps. Finalmente como contamos con equipos que puedan manejar hasta 512 usuarios activos por sector y manejar hasta 7000 flujos direccionales por sector, podremos garantizar la demanda proyectada.

La cobertura considerando las frecuencias ha utilizar queda como se muestra en la figura 4.27

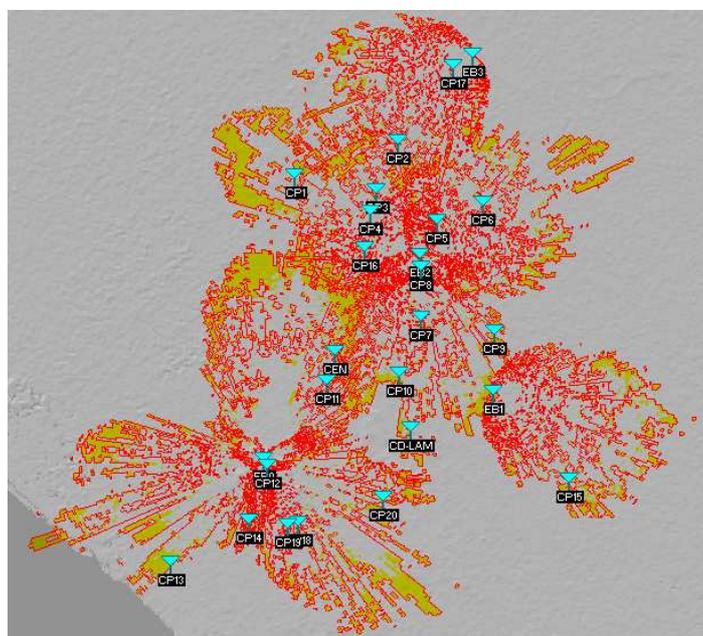


Figura 4.27: Canalización de frecuencias - Usando reuso (1,3,1,1)

## Capítulo 5

# Resultados y Conclusiones

En este capítulo mostramos un resumen de los diseños obtenidos y de los análisis de desempeño realizados.

### 5.1. Red Física Diseñada

En figura 5.1, reproducimos la red diseñada (Si desea revise la figura 4.9), claramente se observa la parte de red que corresponde al backhaul, que esta compuesta por equipos de interconexion punto a punto de gama alta usando tecnologia WiMax en la banda libre de 5GHz.

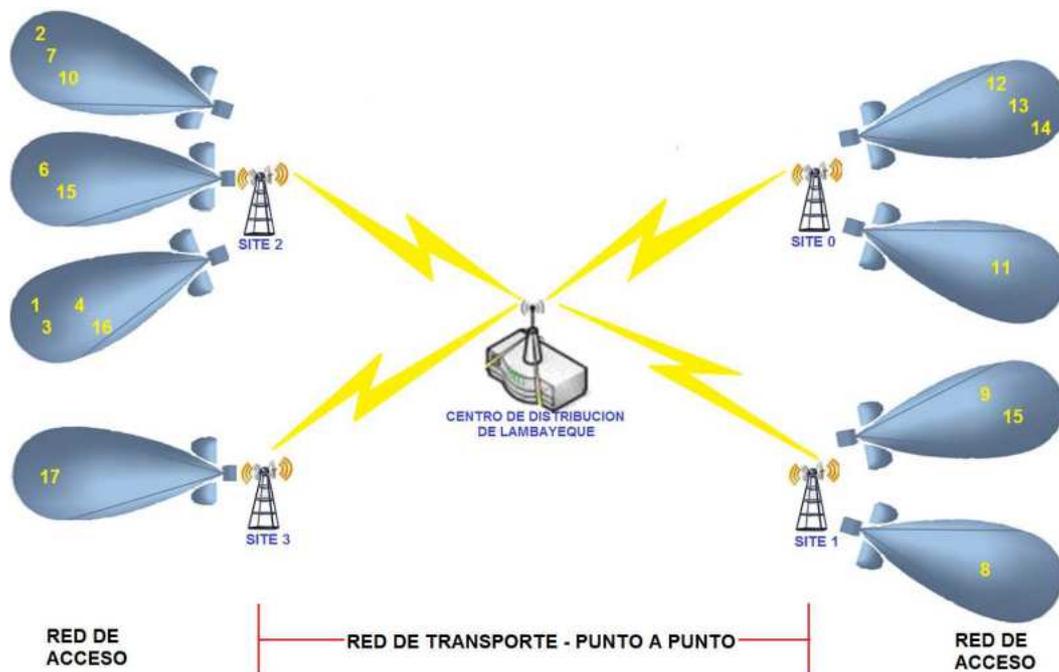


Figura 5.1: Diseño de Red Propuesto

Cada Estacion base cuenta con un enlace punto a punto de la red de transporte y tiene la configuracion mostrada en la figura 5.2

### 5.2. Dimensionamiento de la Red

Repetimos también los resultados obtenidos del análisis de demanda del capítulo 2. Acá obtuvimos la tabla 5.1 que resume la demanda de cada centro poblado, tanto en la actualidad como en una proyección al 2025.

Ademas consideramos importante repetir acá, también la tabla 5.2 de como han quedado asignado los centros poblados a las diferentes estaciones bases y sectores.

Nro	Centro Poblado	2015	BW (Mbps)	2025	BW (Mbps)
1	Virgen Purísima Concepción	183	0.581	200	1.651
2	Sialupe Baca La Capilla Santa Rosa	1124	1.162	1229	8.025
3	Sialupe Baca Rio Hondo	558	0.627	610	4.326
4	Muy Finca Punto Nueve Rama (El Adobe)	1551	1.674	1696	11.189
5	Punto Nueve	962	1.139	1052	6.978
6	Sialupe Huamantanga Los Mestas	593	1.139	648	4.349
7	San Miguel	164	0.581	180	1.651
8	Sialupe Huamantanga Sector 1	446	0.604	487	3.279
9	Eureka	595	1.139	651	4.349
10	Mocce Antiguo	223	0.581	244	1.674
11	Yencala Boggiano	698	1.139	764	5.396
12	Bodegones Ranchera	301	0.581	335	2.744
13	Carrizo	306	0.581	335	2.744
14	Rastrojo de Las Vacas	172	0.581	176	1.651
15	Mariategui	81	0.558	88	1.116
16	Muy Finca Punto Nueve Rama Cabrera	1613	1.674	1764	11.724
17	Sialupe Baca Punto Cuatro	1074	1.162	1175	8.025
Poblacion Beneficiada		10805	16.084	11817	82.552

Tabla 5.1: Demanda de Ancho de Banda de Centros Poblados Beneficiados

Celda	Sec	Nro	Centro Poblado	Vtx(Mbps)	Total(Mbps)
Site 0	a	CP13	Carrizo	0.581	
Site 0	a	CP14	Rastrojo de Vacas	0.581	1.7430
Site 0	a	CP12	Bodegones-Ranchera	0.581	
Site 0	b	CP11	Yencala Boggiano	1.139	1.139
Site 1	a	CP15	Mariategui	0.558	0.558
Site 1	b	CP8	Sialupe Huamantanga Sector 1	0.604	
Site 2	a	CP7	San Miguel	0.581	
Site 2	a	CP9	Eureka	1.139	2.3010
Site 2	a	CP10	Mocce Antiguo	0.581	
Site 2	b	CP6	Sialupe Huamantanga Los Mestas	1.139	
Site 2	b	CP5	Punto Nueve	1.139	2.2780
Site 2	c	CP1	Virgen Purisima Concepción	0.581	
Site 2	c	CP3	Sialupe Baca Rio Hondo	0.627	4.5560
Site 2	c	CP4	Muy Finca Punto Nueve Rama (El Adobe)	1.674	
Site 2	c	CP16	Muy Finca Punto Nueve Rama Cabrera	1.674	
Site 3	a	CP17	Sialupe Baca Punto Cuatro	1.162	2.3240
Site 3	a	CP2	Sialupe Baca La Capilla Santa Rosa	1.162	

Tabla 5.2: Distribución de Centros Poblados en las Celdas y Sectores

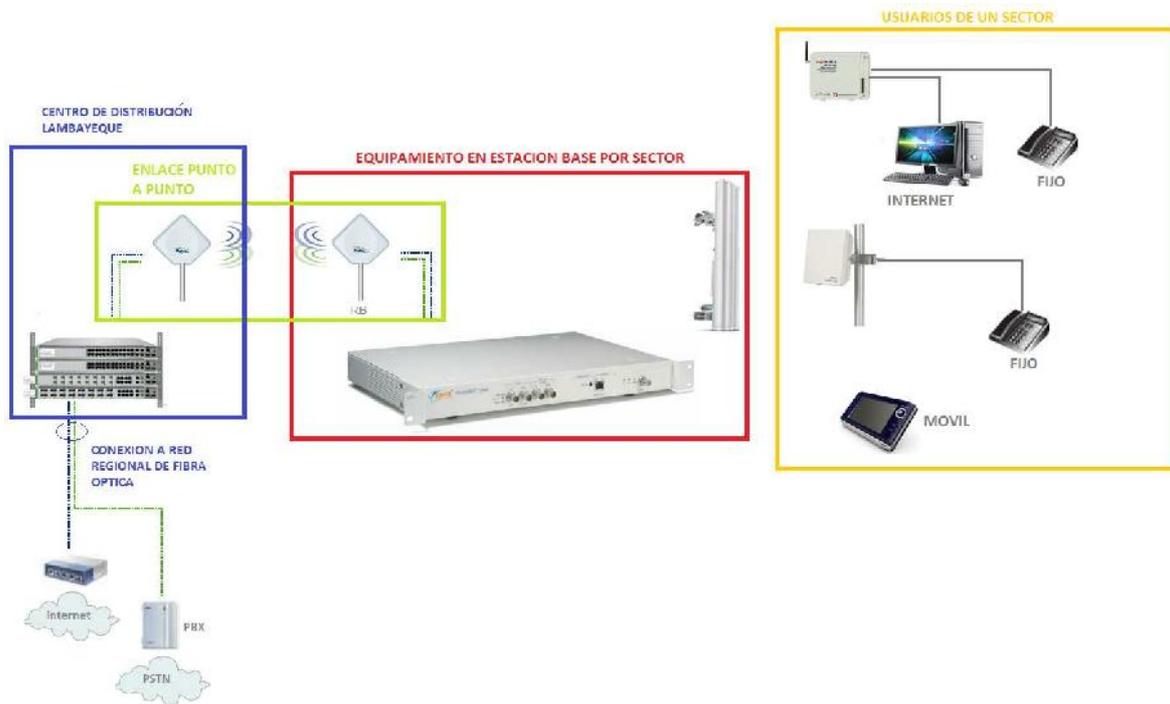


Figura 5.2: Distribucion de Equipos

Para el análisis que sigue, es necesario también mencionar la tabla de sensibilidad a 5.4GHz, con un margen de 2dB de (Alvarion Inc., 2011), que reproducimos en la tabla 5.3.

Modulación y Codificación	Sensibilidad (dBm), 5MHz BW	Sensibilidad (dBm), 10MHz BW
QPSK 1/2	-95	-92
QPSK 3/4	-92	-89
16QAM 1/2	-89	-86
16QAM 3/4	-85	-82

Tabla 5.3: Sensibilidad a 5.4GHz

Finalmente de la tabla 3.10, las máximas velocidades a conseguir, depende del ancho de banda del canal, de la modulación que se use que depende del nivel de señal recibido (Ver tabla 5.3). Podemos observar que si seleccionamos un ancho de banda de 5MHz, para una modulación QPSK 3/4 (sensibilidad de -92 dBm) tenemos una velocidad máxima de bajada de 1.94Mbps y una velocidad de subida de 1.47Mbps y de la tabla 5.2 observamos que se necesita como máximo 4.5560Mbps para el Site 2, sector c, podemos entonces deducir que esta canalización y sensibilidad no cumplen con las exigencias de la demanda del diseño propuesto. Podemos sugerir entonces trabajar con el

mismo ancho de banda de 5MHz, pero con la modulación 16QAM 3/4 (sensibilidad de -89 dBm), lo que nos daría una velocidad máxima de 3.89Mbps de bajada y 2.94MHz de subida, pero que tampoco cumple con la exigencia de la demanda planteada. La otra opción es elegir un ancho de banda de 10MHz con una modulación QPSK 3/4 (sensibilidad de -89dBm) con lo que se obtendría una velocidad de bajada de 4.75Mbps y una de subida de 3.02Mbps, con la cual si se cubre la demanda proyectada. Resumimos los resultados obtenidos en la tabla 5.4.

Modulación	Vmax (Mbps) en 5MHz BW		Vmax (Mbps) en 10MHz BW	
	DL	UL	DL	UL
QPSK 3/4	1.94	1.47	4.75	3.02
Sensibilidad	-92 dBm		-89 dBm	
16QAM 3/4	3.89	2.94	9.50	6.05
Sensibilidad	-89 dBm		-86 dBm	

Tabla 5.4: Velocidad Máxima, Ancho de Banda y Sensibilidad

### 5.3. Conclusiones

Se ha diseñado una red de Banda Ancha Inalámbrica que garantiza una velocidad de transmisión de 512Kbps a cada usuario, esta red se ha diseñado después de revisar las diferentes tecnologías de comunicación inalámbrica, eligiendo WiMax pues asegura calidad de servicio que permitirá el acceso a los servicios de telecomunicaciones a los centros poblados aislados del Distrito de Lambayeque.

Para conseguir nuestro objetivo se ha seleccionado un ancho de banda de canal de 10MHz y una sensibilidad de señal de -89dBm, dentro del área de cobertura, que para una adecuada atención se ha dividido en 04 celdas y en un total de 08 sectores con los que se garantiza la calidad de servicio, exigida por el calculo de la demanda presentado.



## Referencias

- Abate, Z. (2009). *Wimax rf systems engineering*. USA: Artech House.
- Abdollah Ghasemi, F. G., Ali Abedi. (2013). *Propagation engineering in radio links design*. Atlanta. USA: Springer.
- Adrian W Graham, N. C. K., y Paul, P. M. (2007). *Mobile radio networks design in the vhf and uhf bands. a practical approach*. Great Britain: John Wiley & Sons.
- Alvarion. (2012). Understanding the radio technologies of mobile wimax. *Alvarion*.
- Alvarion Inc. (2011). *Breezemax extreme. system manual*. USA: Alvarion.
- Andrews, J. G., Ghosh, A., y Muhamed, R. (2007). *Fundamentals of wimax: understanding broadband wireless networking*. USA: Pearson Education.
- Arturo Miente Kunigami, J. N. S. (2010). Options to increase access to telecommunications services in rural and low-income areas. *The World Bank, first printing*, 1–56.
- Bazalar, I. L. M. (2013). Experiencia de programas y proyectos de servicios de telecomunicaciones para el desarrollo rural en Perú. *Lima: FITEC*.
- Bossio, J. (2010). Entorno regulatorio de las telecomunicaciones. *Lima: DIRSI*.
- Comunicaciones, M. M. de Transportes y. (2014). *Plan nacional de atribución de frecuencias modificado res 1062014*. Lima.
- Coudé, R. (2010). *Radio mobile*. July.
- Etemad, K., y Lai, M. (2011). *Wimax technology and network evolution*. USA: John Wiley & Sons.
- Gallardo, J., López, K., y Gonzales, C. (2007). *Perú: Evolución del acceso, la cobertura y la penetración en los servicios de telefonía*. Peru: OSIPTEL.
- INEI. (1993). *Censos nacionales 1993 ix de población y iv de vivienda*.
- INEI. (2012, Julio). *Iv censo nacional agropecuario 2012*.
- INEI. (2014). <http://proyectos.inei.gob.pe/web/poblacion/>. *INEI*.
- Informática, I. I. N. de Estadística e. (2007). *Censos nacionales 2007 xi de población y vi de vivienda*.
- Intelis, C. d. A. (2014). Estudio sobre acceso, usos, usuarios y disposición de pago por internet en zonas rurales y urbanas de Chile. *Universidad de Chile: Economía y Negocios*.
- James Alleman, C. H. (2006). Telecommunications and economic development: Empirical evidence from southern africa. *International Telecommunications Society, first printing*, 1–37.
- Korowajczuk, L. (2011). *Lte, wimax and wlan network design, optimization and performance analysis*. USA: John Wiley & Sons.
- Lars Hendrik Roller, L. W. (1996). Telecommunications infrastructure and economic development: A simultaneous approach. *Discussion Paper FS IV 96 16, Wissenschaftszentrum*.
- Reserva, B. B. C. de. (2008). *Informe económico y social región lambayeque*.

Steffen Heuel, H. M. (2011). Mobila wimax throughput measurements. *Rohde*.

Telecom, I. (2003). Standardization sector of itu. *ITU*.

Teribia, A. C., y Escrivá, M. C. P. (2013). Estudio y diseño de una red wimax para dar cobertura de banda ancha en un entorno rural. *PUCP*.