



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS



TITULO DE LA TESIS

Diseño de red de Banda Ancha para brindar Acceso a los servicios de Telecomunicaciones a las localidades del Distrito de Pimentel, de la Provincia de Chiclayo, Región Lambayeque para estimular su desarrollo económico, educativo y social disminuyendo la brecha digital.

PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO.

PRESENTADO POR

AGAPITO SAMILLÁN, Sussan Patty
PERALTA ROJAS, José

LAMBAYEQUE, PERU

2016

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



Diseño de red de Banda Ancha para brindar Acceso a los servicios de Telecomunicaciones a las localidades del Distrito de Pimentel, de la Provincia de Chiclayo, Región Lambayeque para estimular su desarrollo económico, educativo y social disminuyendo la brecha digital.

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO.

AGAPITO SAMILLÁN, Sussan Patty

PERALTA ROJAS, José

Asesor
ING. CARLOS LEONARDO OBLITAS VERA

Tesis Presentada por:

Bach: AGAPITO SAMILLÁN, Sussan Patty

Bach: PERALTA ROJAS, José

Como requisito para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico.

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

ING HUGO JAVIER CHILAYO PADILLA
PRESIDENTE

ING SEGUNDO FRANCISCO SEGURA ALTAMIRANO
SECRETARIO

ING OSCAR UCHELLY ROMERO CORTEZ
VOCAL

ING CARLOS LEONARDO OBLITAS VERA
ASESOR

AGAPITO SAMILLÁN, Sussan Patty
AUTOR

PERALTA ROJAS, José
AUTOR

LAMBAYEQUE, PERU

2016

Agradecimientos

A Dios por la vida y la oportunidad de haber conocido a muchas personas durante todos estos años, a mis maestros, compañeros.
A mis Padres por el apoyo incondicional y consejos que me brindaron durante toda la carrera y por ser el motivo para culminar esta etapa de mi vida.

Bach. AGAPITO SAMILLÁN, Sussan Patty

A mis seres queridos por el esfuerzo y apoyo que me brindaron en el desarrollo de mi etapa profesional.

A mi madre, por su empuje, lucha y ese amor incomparable que me ayudó a tener fuerzas en mis días de debilidad. A mi padre, por su ejemplo en la toma de mis decisiones, para que éstas siempre sean justas. A mis hermanos que han sido y serán mi soporte para seguir luchando por mi familia.
Infinitamente a Dios, por brindarme la familia que tengo.

Bach. PERALTA ROJAS, José

Índice general

| | |
|--|----------|
| 1. Introducción | 1 |
| 1.1. Descripción del Problema | 2 |
| 1.2. Formulación del Problema | 6 |
| 1.3. Justificación | 6 |
| 1.4. Objetivos de la Investigación | 7 |
| 1.4.1. Objetivo General | 7 |
| 1.4.2. Objetivo Específico | 7 |
| 1.5. Hipotesis | 7 |
| 2. Análisis Actual de Pimentel y sus Centros Poblados | 9 |
| 2.1. Espacio Geográfico | 10 |
| 2.1.1. Ubicación Geográfica | 10 |
| 2.1.2. Límites | 11 |
| 2.1.3. Clima | 11 |
| 2.1.4. Extensión Territorial | 11 |
| 2.2. Actividades Económicas | 11 |
| 2.2.1. Agricultura y Ganadería | 12 |
| 2.2.2. Turismo | 12 |
| 2.3. Los Centros Poblados | 13 |
| 2.4. Cálculo de la Demanda de Centros Poblados | 13 |

| | |
|--|-----------|
| 2.5. Localidades Beneficiadas | 14 |
| 3. Sistemas de Comunicación Inalámbrica MIMO - OFDM | 19 |
| 3.1. Introducción | 20 |
| 3.1.1. Espectros de Radio frecuencia | 20 |
| 3.1.2. Plan Nacional de Atribución de Frecuencias del Perú | 21 |
| 3.1.3. Evolución de las Redes Inalambricas de Banda Ancha | 22 |
| 3.1.4. Redes de Banda Ancha Inalambricas Fijas | 23 |
| 3.1.5. Redes de Banda Ancha Inalambricas Móviles | 23 |
| 3.1.6. Comparación de WiMax con otras tecnologías Inalámbricas de Banda Ancha | 24 |
| 3.2. Wimax | 24 |
| 3.2.1. Estándar 802.16 | 25 |
| 3.2.2. Ventajas de WiMAX | 26 |
| 3.2.3. Evolución de Estándares | 26 |
| 3.3. Planeamiento de RF | 26 |
| 3.3.1. Planeamiento de Frecuencias en WiMAX | 26 |
| 3.4. Modelos de Propagación | 28 |
| 3.4.1. Perdidas en Espacio Libre | 29 |
| 3.4.2. Longley-Rice | 29 |
| 3.4.3. Modelo de Okumura | 30 |
| 3.4.4. COST231 | 31 |
| 3.4.5. WiMAX Presupuesto del Enlace | 31 |
| 4. Diseño de Red de Banda Ancha | 35 |
| 4.1. Metodología | 36 |
| 4.2. Replanteo | 36 |
| 4.3. Diseño de la Red | 38 |

| | |
|---|-----------|
| <i>Índice general</i> | V |
| 4.3.1. Red de Transporte | 38 |
| 4.3.1.1. Selección de Equipos - Red de Transporte | 41 |
| 4.3.2. Red de Acceso | 46 |
| 5. Resultados y Conclusiones | 57 |
| 5.1. Red Física Diseñada | 58 |
| 5.1.1. Estudio de Ruta - Test Drive | 58 |
| 5.1.2. Interferencia | 59 |
| 5.2. Conclusiones | 63 |
| I. Datasheet de Equipos | 65 |
| Bibliografía | 85 |
| Referencias | 85 |
| Glosario | 87 |
| Glossary | 87 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| 1.1. Indicadores TIC - America Latina 2012 | 3 |
| 1.2. Penetración de Banda Ancha en Latinoamerica | 4 |
| 1.3. Crecimiento del PBI por acceso a Servicios de Telecomunicaciones | 5 |
| 1.4. Situación de acceso a Servicios de Telecomunicaciones - Zonas Rurales | 6 |
| 2.1. Ditrito de Lambayeque | 10 |
| 2.2. Cobertura de Banda Ancha Movil de Localidades Rurales de Pimentel | 13 |
| 2.3. Localidades rurales beneficiadas de Pimentel | 14 |
| 3.1. Aplicaciones de WiMAX | 23 |
| 3.2. Plan de Frecuencias con Segmentación y Zonificación | 28 |
| 3.3. Propagación en Espacio Libre | 29 |
| 3.4. Presupuesto de Enlace de RF | 32 |
| 4.1. La Garita | 37 |
| 4.2. La Joyita | 37 |
| 4.3. La Pampas de Pimentel | 38 |
| 4.4. La Pampas del Sur | 38 |
| 4.5. El Higo | 39 |
| 4.6. Localidades de Pimentel en Google Earth | 39 |
| 4.7. Localidades de Pimentel en Radio Mobile | 40 |

| | |
|--|----|
| 4.8. Línea de Vista a Localidades rurales beneficiadas de Pimentel en Radio Mobile | 41 |
| 4.9. Línea de Vista a Localidades rurales beneficiadas de Pimentel en Google Earth Pro | 41 |
| 4.10. PTP 650 | 42 |
| 4.11. Tabla de Capacidad de PTP650 vs Ancho de Banda - Lite | 44 |
| 4.12. Tabla de Sensibilidad y Potencia Tx de PTP650 vs Ancho de Banda - Lite | 44 |
| 4.13. Tabla de Sensibilidad y Potencia Tx de PTP650 vs Ancho de Banda - Lite | 45 |
| 4.14. Resumen de Enlace entre Estación Base Pimentel y Localidad El Higo . | 46 |
| 4.15. Tabla de Capacidad de PTP650 vs Ancho de Banda - Medium | 47 |
| 4.16. Tabla de Sensibilidad y Potencia Tx de PTP650 vs Ancho de Banda - Medium | 48 |
| 4.17. Tabla de Sensibilidad y Potencia Tx de PTP650 vs Ancho de Banda - Medium | 48 |
| 4.18. Resumen de Enlace entre Estación Base Pimentel y Localidad La Garita | 49 |
| 4.19. Punto de Acceso PMP450i | 51 |
| 4.20. Presupuesto de Enlace para de PMP450i | 52 |
| 4.21. Cobertura de La Garita usando modulación 16-QAM - Radio Mobile . | 53 |
| 4.22. Cobertura de La Garita usando modulación 16-QAM - Google Earth . | 54 |
| 4.23. Cobertura de La Joyita usando modulación 64-QAM - Radio Mobile . . | 55 |
| 4.24. Cobertura de Las Pampas de Pimentel usando dos sectores Radio Mobile | 56 |
| 4.25. Cobertura Localidades Beneficiadas de Pimentel | 56 |
| 5.1. Diseño de Red Propuesto | 58 |
| 5.2. Red de Acceso para Localidades con un sector | 59 |
| 5.3. Red de Acceso para Localidades con dos sectores | 59 |

| | |
|--|----|
| 5.4. Test Drive para la Localidad el Higo | 60 |
| 5.5. Interferencia en la Localidad La Joyita | 61 |
| 5.6. Interferencia en la Localidad La Garita | 61 |
| 5.7. Interferencia en la Localidad El Higo | 62 |

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| 2.1. Población y Ubicación de Localidades Beneficiadas | 15 |
| 2.2. Población Vivienda Proyectada al 2016 y 2026 | 15 |
| 2.3. Usuarios Potenciales de los Servicios Considerados | 16 |
| 2.4. Usuarios Fijos, Móviles e Internet | 16 |
| 2.5. Velocidades de Download y Upload Finales para cada Localidad | 17 |
| 3.1. Espectro Radioeléctrico | 20 |
| 3.2. Rango de Frecuencias ICM | 21 |
| 3.3. Comparación de WiMax con Wi-Fi y 3G | 24 |
| 3.4. Estándares WiMAX | 27 |
| 3.5. Parámetros de Presupuesto de Enlace | 32 |
| 3.6. Ejemplo de Presupuesto de Enlace | 34 |
| 4.1. Replanteo de Ubicación de Antenas en Localidades Beneficiadas | 37 |
| 4.2. Velocidades de Download y Upload Finales para cada Localidad | 40 |
| 4.3. Capacidad de los Enlaces y Perdidas de LOS | 43 |
| 4.4. Ancho de Banda, Modulación, Nivel de Rx, Potencia de Tx, Pérdidas de Red Inalambrica | 47 |
| 4.5. Usuarios Potenciales de los Servicios Considerados | 49 |
| 4.6. Especificaciones del Punto de Acceso PMP 450i | 50 |

Resumen

Esta tesis, se desarrolló debido a que en las localidades rurales del distrito Pimentel no tienen acceso a las redes ni servicios de telecomunicaciones, constituyéndose una barrera para el desarrollo tecnológico. Nos planteamos entonces el diseño de una red banda ancha, utilizando tecnología WiMAX, de alta velocidad y gran capacidad. Finalmente se presenta un diseño de red de banda ancha que cubrirá la demanda de los potenciales usuarios.

Realizamos un análisis de la penetración de los servicios de telecomunicaciones en las localidades de Pimentel, usando información de Osiptel y también un estudio la población actual, y la proyectada en 10 años con datos del INEI, así se elaboró un estimado de capacidad, tomando en cuenta los servicios básicos de Internet, con una velocidad de al menos 2Mbps , y telefonía fija y móvil, por cada usuario conectado en la hora pico.

Se diseño de una red inalámbrica que consistió de una red de transporte, que interconecta el centro de distribución de Pimentel y los puntos de acceso en las localidades; la capacidad estimada nos permitió establecer la potencia necesaria de los transmisores, el tipo de modulación que asegure la velocidad de transmisión requerida, el ancho de banda y el nivel de potencia recibida, y en la red de acceso se ha determinado patrones de cobertura que aseguran satisfacer la demanda proyectada.

Palabras Claves: Banda Ancha, WiMAX, Servicios de Telecomunicaciones, Redes Inalámbricas, Modulación Adaptativa, QoS

Abstract

This thesis was developed because in rural localities Pimentel district have no access to networks or telecommunications services, constituting a barrier to technological development. We then propose the design of a broadband network using WiMAX technology, high speed and high capacity. Finally presents a design of broadband network to meet the demand of potential users.

We perform an analysis of the penetration of telecommunications services in the towns of Pimentel, using information Osiptel and study the current population, and the projected 10 years INEI data, and an estimated capacity was developed, taking into account the basic Internet services with speeds of at least 2Mbps, and fixed and mobile telephony, for each user connected at rush hour.

I will design a wireless network that consisted of a transport network that interconnects the distribution center Pimentel and access points in locations; the estimated capacity allowed us to establish the necessary transmitter power, modulation type that ensures the required transmission rate, bandwidth and received power level, and the access network is determined coverage patterns that ensure meet the projected demand.

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

Capítulo 1

Introducción

1.1. Descripción del Problema

En la actualidad, en el distrito de Pimentel, de la Provincia de Chiclayo, perteneciente a la Región Lambayeque, no existen tendencias institucionales que favorezcan el abatimiento de la brecha digital y aceleren el proceso de adopción tecnológica en los distintos ámbitos de la realidad nacional, este factor constituye el más importante impedimento para avanzar como región y en especial como país a la sociedad de la información, razón por la cual, reducir rápidamente la exclusión digital debe ser el punto central de cualquier estrategia que se proponga a nivel nacional (Talavera Hernández, 2010).

La exclusión digital desde el punto de vista social propicia la desigualdad en el desarrollo de la población. Las personas que no tienen acceso a tecnologías de información carecen del medio que les permite mejorar su educación, acceder a la salud y otros servicios sociales, y en general, el acceso a un medio importante para mejorar sus vidas y sus conocimientos (Ramírez, 2011).

Desde un enfoque económico, la exclusión digital significa menos usuarios para los operadores de redes públicas y para el desarrollo de Perú, de una economía digital robusta, afectando el desarrollo de los principales sectores económicos claves para la competitividad nacional y en especial en la competitividad regional (Juan Benavides, 2011).

En términos de política, el acceso a las redes sociales en línea significa crecientemente un medio para el empoderamiento de las personas, y para el ejercicio de los derechos, motivo por el cual, la exclusión digital genera dos grupos de ciudadanía: de primera y de segunda (Talavera Hernández, 2010).

Actualmente, según la última encuesta realizada por la ONU de e-Government para el 2012, Perú se encuentra en el puesto 7 en el ranking de Gobierno Electrónico por debajo de Chile, Colombia, Uruguay, Brasil, Argentina y Venezuela (puesto 82 a nivel mundial) habiendo descendido una posición desde el año 2010; estos indicadores

| Países | e-Government | Ranking | Servicio Online | Infraestructura de Telecomunicaciones | Capital Humano | e-Participation |
|-----------|--------------|---------|-----------------|---------------------------------------|----------------|-----------------|
| Chile | 0.67690 | 39 | 0.75 | 0.40 | 0.88 | 0.66 |
| Colombia | 0.65720 | 43 | 0.84 | 0.29 | 0.84 | 0.74 |
| Uruguay | 0.63150 | 50 | 0.55 | 0.44 | 0.90 | 0.18 |
| Argentina | 0.62280 | 56 | 0.53 | 0.44 | 0.90 | 0.29 |
| Brazil | 0.61670 | 59 | 0.67 | 0.36 | 0.82 | 0.50 |
| Venezuela | 0.55850 | 71 | 0.48 | 0.32 | 0.87 | 0.26 |
| Perú | 0.52300 | 82 | 0.52 | 0.26 | 0.79 | 0.39 |
| Ecuador | 0.48690 | 102 | 0.46 | 0.25 | 0.75 | 0.24 |
| Paraguay | 0.48020 | 104 | 0.46 | 0.20 | 0.79 | 0.16 |
| Bolivia | 0.46580 | 106 | 0.41 | 0.18 | 0.81 | 0.21 |
| Guyana | 0.45490 | 109 | 0.25 | 0.25 | 0.86 | 0.00 |
| Suriname | 0.43440 | 116 | 0.16 | 0.36 | 0.78 | 0.00 |

Fuente: Encuesta E-Government ONU - 2012.

Figura 1.1: Indicadores TIC - America Latina 2012

negativos no hacen más que reforzar la necesidad de mejorar y fortalecer las estrategias establecidas anteriormente con el objetivo de ascender en el ranking(Perú21, 2013).

La percepción de los ciudadanos, respecto a los servicios de información, es la de un gobierno poco eficiente para satisfacer sus necesidades y esta percepción se acentúa más en las regiones del país donde las poblaciones tienen necesidades por otros recursos como educación, salud, agua o electricidad.

El acceso y disponibilidad de la infraestructura de telecomunicaciones en el Perú es importante para la masificación y crecimiento de las TIC en los ciudadanos. Dentro de las comparaciones con otros países de la región, el Perú se encuentra en desventaja frente a países como Chile o Colombia. Sin embargo el crecimiento potencial que puede tener el Perú en cobertura telefónica, celular, conexiones a internet, servidores es interesante.

Un primer panorama de la situación del Perú en un contexto comparativo con la región puede apreciarse en la figura 1.1.

La Banda Ancha en el Perú es un factor clave para el desarrollo de Gobierno Electrónico en diversas zonas, asimismo es un indicador de la capacidad que tiene un país para integrarse a la Sociedad de la Información. Un desarrollo sostenido de Banda Ancha a nivel nacional favorece una mayor demanda por información y contenidos de otros países.

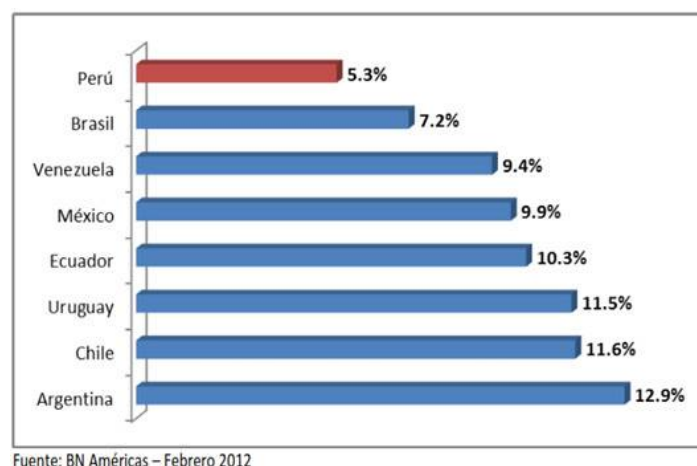


Figura 1.2: Penetración de Banda Ancha en Latinoamérica

Perú ocupa los últimos lugares en cuanto a penetración de ancho de banda en Latinoamérica. En comparación con los países vecinos de Venezuela, México, Argentina, Uruguay y Chile, Perú ocupa el último lugar (Ver figura 1.2). Perú tiene el 5.3% de penetración de ancho de banda a nivel latinoamericano, muy lejos de la media regional que es 9.8%. Es decir que de cada 100 habitantes sólo 5 tienen acceso al ancho de banda. Respecto a Chile la penetración del Perú es la mitad, esto debido a que gran parte de la geografía de Chile es básicamente costera.

Las localidades del distrito de Pimentel, tienen un fácil acceso a la provincia de Chiclayo, pero por lo general cuentan con un ineficiente sistema de acceso a la comunicación, salud y educación. Esta situación es una barrera para el desarrollo tecnológico ya que impide a ciertos beneficios como el acceso a internet y a la comunicación.

El distrito en estudio a pesar de las facilidades geográficas donde se ubican no cuenta con los medios necesarios para poder desarrollarse, lamentablemente eso no ocurre con los medios de acceso a la información, los cuales son necesarios para tal fin. Si bien, existen medios de comunicación, por así decirlo, estos no son suficientes para lograr el objetivo, el cual es realzar la actividad turística, elevar los niveles de educación, mejorar el sector salud de la zona e incrementar la actividad productiva.

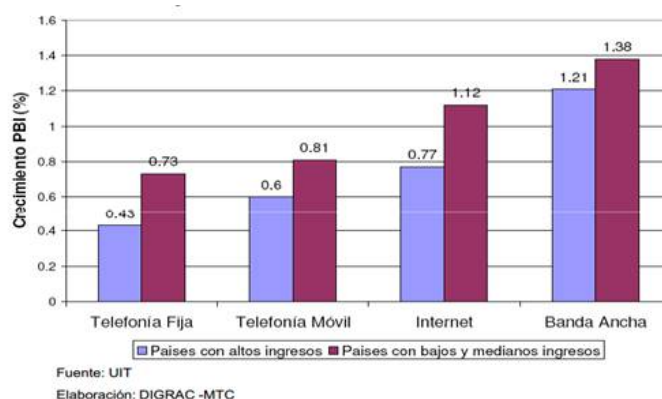


Figura 1.3: Crecimiento del PBI por acceso a Servicios de Telecomunicaciones

En conclusión, el nivel socio-cultural en dicha comunidad es bajo, ya que el poblado carece de los medios de comunicación adecuados para educación y desarrollo cultural. Una banda ancha se califica a un servicio o sistema que requiere canales de transmisión capaces de soportar velocidades superiores a la velocidad primaria. Capaz de contener al menos un canal que puede soportar una velocidad superior a la velocidad primaria o de soportar una velocidad de transferencia de información equivalente.

La Banda Ancha es reconocida como infraestructura esencial para el desarrollo socio-económico de los países y su enorme potencial para la reducción de las desigualdades económicas, regionales, sociales y la democratización de las oportunidades de acceso a la información y al conocimiento. Así, según el Banco Mundial, la Banda Ancha incrementa la productividad y contribuye al crecimiento económico, siendo que con un 10 % de aumento de las conexiones de Banda Ancha se incrementa el crecimiento económico de un país, en un 1,3 % (Dr. Hamadoun I. Touré, 2014). (ver figura 1.3)

El problema más esencial es la conectividad de Internet e intranet de todas las instituciones del estado. Como son las comisarías 86 % sin conectividad, centro de salud 70 % sin conectividad, municipios 33 % sin conectividad, colegios estatales 96 % sin conectividad.

Esto es lo que genera la situación problemática en el distrito de Pimentel, y la

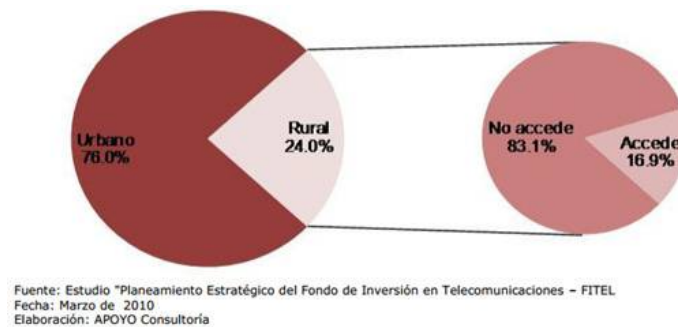


Figura 1.4: Situación de acceso a Servicios de Telecomunicaciones - Zonas Rurales

mayoría no tienen esa facilidad de conectarse con seguridad. El 83.1 % de la población aun no accede a servicios de datos.

1.2. Formulación del Problema

¿De qué manera se puede diseñar la red de banda ancha, de alta velocidad y gran capacidad, en el distrito de Pimentel, de la Provincia de Chiclayo, Región Lambayeque que estimulará su desarrollo económico, educativo y social disminuyendo la brecha digital?

1.3. Justificación

- **Economía:** El presente tema propuesto de tesis es importante porque permitirá el crecimiento no menor del 6 % por año condición indispensable. Al 2016 se espera una meta de incremento de 3.4 % del PBI. De acuerdo 10 % de incremento de internet.
- **Social:** El presente tema propuesto de tesis es importante porque beneficiara a la población en la conexión de internet, por medio celular y tener acceso a lo que desea la población del distrito de Pimentel, Provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque.

- **Científico:** El presente tema de tesis es importante porque permite a mejorar los procesos, así ayudando a la población y cada actualización que se le ofrecerá la población Lambayecana.

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo General

Diseñar una red de banda ancha, de alta velocidad y gran capacidad, en el distrito de Pimentel, de la Provincia de Chiclayo, Región Lambayeque, adecuada que estimulará su desarrollo económico, educativo y social disminuyendo la brecha digital.

1.4.2. Objetivo Específico

1. Plantear las principales arquitecturas de redes de banda ancha para localidades rurales.
2. Determinar la arquitectura de red a utilizarse y los equipos en las diferentes partes de la arquitectura de red.
3. Realizar pruebas a nivel de Simulación del desempeño de la red y verificar parámetros de calidad.

1.5. Hipotesis

Si se utiliza la tecnología WiMAX, se podrá diseñar una red de banda ancha, de alta velocidad y gran capacidad en el distrito de Pimentel, de la Provincia de Chiclayo, Region Lambayeque que estimulará su desarrollo económico, educativo y social disminuyendo la brecha digital.

Capítulo 2

Análisis Actual de Pimentel y sus Centros Poblados

2.1. Espacio Geográfico

2.1.1. Ubicación Geográfica

El Distrito de Pimentel, pertenece a la provincia de Chiclayo que cuenta con un total de 20, esta ubicado en el Departamento de Lambayeque, ubicado en el norte del Perú.

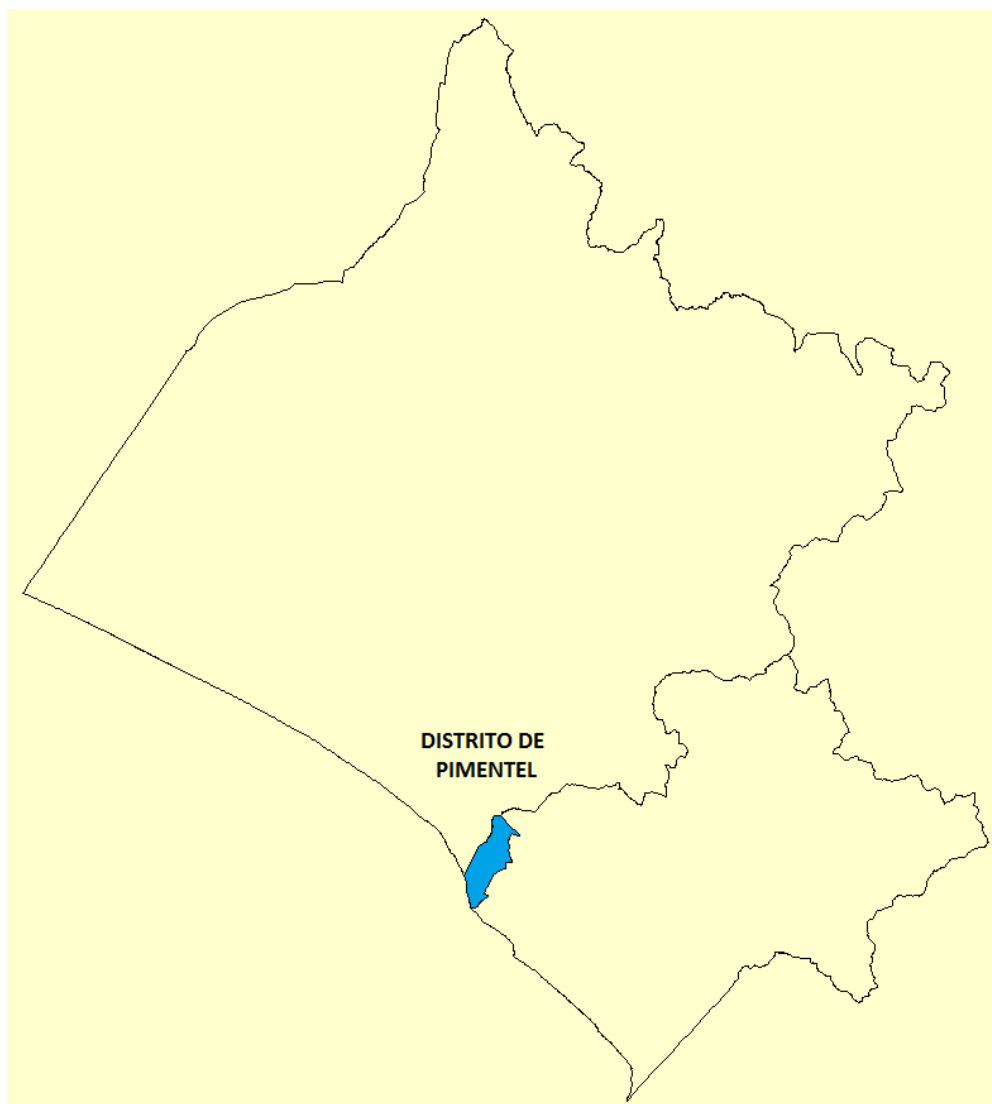


Figura 2.1: Distrito de Lambayeque

2.1.2. Limites

Pimentel se encuentra en la franja litoral costera del valle Chancay - Lambayeque, y a 13 Kms de la ciudad de Chiclayo. Desde tiempos remotos en que recibía la denominación de Caleta de la Concepción de Chiclayo; y en función a la construcción del antiguo muelle de Pimentel, se encuentra vinculada al desarrollo de actividades comerciales y de servicios.

Los limites del distrito de Pimentel son:

Por el Norte : Distritos de San José y Chiclayo. Por el Sur : Distrito de Santa Rosa
Por el Este : Distrito de la Victoria y Monsefú. Por el Oeste : Oceano Pacifico.

2.1.3. Clima

El clima en Pimentel es un clima desértico. A lo largo del año, cayendo casi sin lluvia en Pimentel. De acuerdo con Köppen y Geiger clima se clasifica como BWh. La temperatura media anual en Pimentel se encuentra a 21.9 °C. Hay alrededor de precipitaciones de 18 mm.

El mes más seco es junio, con 0.8mm, mientras que marzo es el mes en el que tiene las mayores precipitaciones del año

La diferencia en la precipitación entre el mes más seco y el mes más lluvioso es de 8 mm. Las temperaturas medias varían durante el año en un 6.7 °C. (DATA.ORG, 2016)

2.1.4. Extensión Territorial

Su extensión territorial es de $66.53 Km^2$. Su terreno es llano, con suaves ondulaciones, encontrándose pequeños cerros como Pimentel y El Molino. Sus playas son bajas y arenosas.

2.2. Actividades Económicas

Las principales actividades económicas del distrito son la pesca, la agricultura y ganadería, la industria, el comercio y los servicios principalmente en el sector turístico.

2.2.1. Agricultura y Ganadería

El principal cultivo del distrito es el arroz, seguido de los pastos y hortalizas. Se cuenta con al alrededor de 690 hectáreas de área cultivable(INEI, 2012).

Estas tierras están principalmente distribuidas en la zona rurales ubicadas entre Chiclayo y Pimentel, predominando propietarios con áreas de cultivo de al menos 0.5 Hectáreas, con cultivos de Alfalfa, Maíz Amarillo duro, Maíz amiláceo, Culantro, Alverja, Zarandaja, Camote y Maíz Chala, todo para el mercado local.

En ganadería, la predominante es la pequeña, contabilizandose un total de mas de 1000 cabezas de ganado vacuno, alrededor de 630 cabezas de ganado ovino, 213 cabezas de ganado porcino, 4468 aves de corral de crianza familiar y mas de 11500 aves de corral en granjas para producción masiva.

2.2.2. Turismo

Las playas del Distrito de Pimentel, son hermosas y es muy visitada, principalmente en los meses de verano, aunque a lo largo del año tiene buena afluencia. Es una playa muy reconocida en el Norte del Perú.

Entre sus principales atractivos podemos considerar:

1. **El Muelle:** Con mas de 100 años de antigüedad, aunque actualmente a no esta en uso, pero en su mejor época facilito el comercio de diversos productos para el interior del pais y el extranjero. Hoy es visitado por muchas persona a lo largo del año.
2. **Caballitos de Totorá:** Estos caballitos de totora asombran y entretienen a los turistas, los mismos que son utilizados desde tiempos muy antiguos por los



Figura 2.3: Localidades rurales beneficiadas de Pimentel

Para el calculo de demanda se ha considerado la población de los centros poblados beneficiados, su ubicación geográfica, además de la penetración de los servicios de telecomunicaciones tales como el de telefonía fija, telefonía móvil e internet de banda ancha, obtenidos de los estudios de factibilidad del proyecto de banda ancha regional de Lambayeque.

En la figura 2.3 podemos observar las ubicación de las localidades beneficiadas, que de acuerdo a la figura 2.2, están justamente en las zonas no atendidas por el operador.

2.5. Localidades Beneficiadas

En la tabla 2.1, se listan las localidades beneficiadas, su población de acuerdo al XI censo de Población y VI de Vivienda del 2007(INEI, 2007) y su ubicación referencial, que está en concordancia con la figura 2.3.

Para realizar el dimensionamiento se ha tenido que proyectar la población primero al 2016 y luego al 2026, pues el horizonte del proyecto es de 10 años, es decir garantizar una calidad de servicio y su posible crecimiento por 10 años.

Con los datos de la población y Vivienda, considerando una penetración de los

| Localidades Beneficiadas de Pimentel | Población 2007 | Latitud | Longitud | m.s.n.m |
|--------------------------------------|----------------|------------|-------------|---------|
| La Garita | 468 | -6.809480° | -79.880493° | 19 m |
| La Joyita | 752 | -6.823370° | -79.898468° | 14 m |
| Las Pampas de Pimentel | 1587 | -6.806371° | -79.854480° | 21 m |
| Pampas del Sur | 642 | -6.806695° | -79.914718° | 14 m |
| El Higo | 438 | -6.790051° | -79.918343° | 14 m |

Tabla 2.1: Población y Ubicación de Localidades Beneficiadas

| Localidad | 2016 | | 2026 | |
|------------------------|-----------|----------|-----------|----------|
| | Población | Vivienda | Población | Vivienda |
| La Garita | 512 | 109 | 566 | 132 |
| La Joyita | 822 | 175 | 909 | 211 |
| Las Pampas de Pimentel | 1736 | 370 | 1918 | 448 |
| Pampas del Sur | 703 | 150 | 776 | 182 |
| El Higo | 479 | 102 | 529 | 123 |

Tabla 2.2: Población Vivienda Proyectada al 2016 y 2026

servicios de telefonía fija de 4 % en los hogares, La telefonía Móvil de 56 % de la población y los usuarios potenciales de Internet con una penetración de 60 % de las viviendas y 17 % de los usuarios móviles con teléfonos inteligentes, adicionalmente se considera un servicio de Intranet a las instituciones como son colegios, comisarias, centros de salud y locales comunales con una velocidad de 2Mbps.

A los usuarios de Internet se ha considerado una velocidad de 2Mbps. Para el caso de usuarios de Telefonía fija y/o Móvil se considera el codec G729, sobre Ethernet.

En la tabla 2.3 se puede observar la cantidad de usuarios proyectados en los servicios de Telefonía Fija, Telefonía Móvil e Internet de las Localidades Beneficiadas.

Ahora con estas cantidades y asumiendo que un usuario de Telefonía Móvil realiza

| Localidad | 2026 | | Usuarios | | |
|------------------------|-----------|----------|----------|------|----------|
| | Población | Vivienda | Móvil | fijo | Internet |
| La Garita | 566 | 132 | 317 | 6 | 128 |
| La Joyita | 909 | 211 | 509 | 9 | 204 |
| Las Pampas de Pimentel | 1918 | 448 | 1074 | 18 | 431 |
| Pampas del Sur | 776 | 182 | 435 | 8 | 176 |
| El Higo | 529 | 123 | 297 | 5 | 119 |

Tabla 2.3: Usuarios Potenciales de los Servicios Considerados

una llamada cada cinco minutos, con una duración promedio de 120 segundos para una probabilidad de bloqueo de 1 % se obtiene la cantidad de troncales o canales necesarios para este servicio. De la misma forma para los usuarios de Telefonía Fija se supone que se realiza una llamada cada 4 minutos con una duración promedio de 150 segundos con una probabilidad de bloqueo de 1%. Finalmente para los usuarios de Internet asumimos una simultaneidad de 1 a 7 para obtener el numero de usuarios conectados al mismo tiempo. Con estos supuestos se obtiene la tabla 2.4

| Localidad | Canales | | Usuarios |
|------------------------|---------|------|----------|
| | Movil | Fijo | Internet |
| La Garita | 6 | 2 | 19 |
| La Joyita | 8 | 2 | 30 |
| Las Pampas de Pimentel | 14 | 2 | 62 |
| Pampas del Sur | 8 | 2 | 26 |
| El Higo | 6 | 1 | 17 |

Tabla 2.4: Usuarios Fijos, Móviles e Internet

Ahora, suponemos que cada usuario de Internet requiere de 2Mbps, y los canales de Telefonía Fija y Móvil una velocidad de 32Khz y la subida es el 40 % de la velocidad de bajada con la que a final, estamos en condiciones de calcular las velocidades de Subida

y Bajada para cada Localidad. Hay que considerar también el caso de las Instituciones, a las cuales se les brindara un servicio de Intranet, que significa la misma velocidad de subida y de bajada, que en este proyecto se considera igual a 2Mbps. En la tabla

| Localidad | Ancho de Banda | |
|------------------------|----------------|--------------|
| | Download(Mbps) | Upload(Mbps) |
| La Garita | 40,32 | 9,58 |
| La Joyita | 62,4 | 15,1 |
| Las Pampas de Pimentel | 124,64 | 31,16 |
| Pampas del Sur | 54,4 | 13,1 |
| El Higo | 36,28 | 8,57 |

Tabla 2.5: Velocidades de Download y Upload Finales para cada Localidad

Capítulo 3

Sistemas de Comunicación

Inalámbrica MIMO - OFDM

3.1. Introducción

Actualmente tenemos muchas tecnologías de redes inalámbricas de banda ancha, que han sido introducidas rápidamente al mercado y con gran éxito debido a la competencia originada por la existencia de muchos operadores, lo que ha ocasionado un ecosistema de múltiples aplicaciones que cubre la demanda de los usuarios mas exigentes.

Esto ha permitido la rápida incorporación de nuevos usuarios, además de facilitar el despliegue de estas redes en las localidades rurales, haciendo posible el acceso a la información y recursos en tiempo real en cualquier ubicación a un menor costo que las redes cableadas.

3.1.1. Espectros de Radio frecuencia

El espectro electromagnético se ha organizado en 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 la ser un recurso no renovable y escaso es 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 (de Transportes y 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 (de Transportes y Comunicaciones, 2014).

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 (ISM) 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 hallar 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 inalámbricas 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 inalámbricas 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 inalámbricas de banda ancha a evolucionado a través de cuatro etapas, aunque no necesariamente de manera secuencial: (1) Sistemas inalámbricos de bucle local de banda angosta, (2) Primera Generación de sistemas LOS, (3) Segunda Generación de sistemas NLOS, (4) Sistemas inalámbricos de banda ancha basados en estándares(Andrews y cols., 2007).

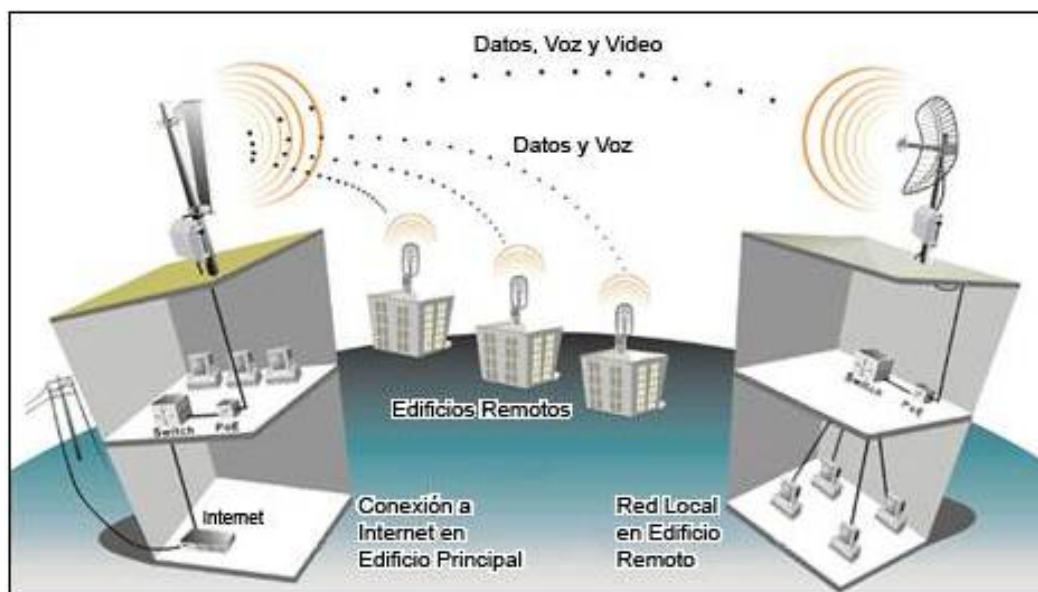


Figura 3.1: Aplicaciones de WiMAX

3.1.4. Redes de Banda Ancha Inalambricas Fijas

Las aplicaciones usando soluciones inalámbricas 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,

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

Tabla 3.3: Comparación 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 Inalámbricas 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 de red de acceso de WiFi, 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”¹

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).

¹IEEE, 802.16

3.2.2. Ventajas de WiMAX

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

1. Red conmutada de paquetes (Basada en IP).
2. Multiplexación por división de Frecuencia Ortogonal (OFDM).
3. Acceso Múltiple 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.

3.3. 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.

| 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

- 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 3.2. En este ejemplo se usan tres portadoras. La portadora numero tres no se muestra en la figura 3.2, 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 emplea en

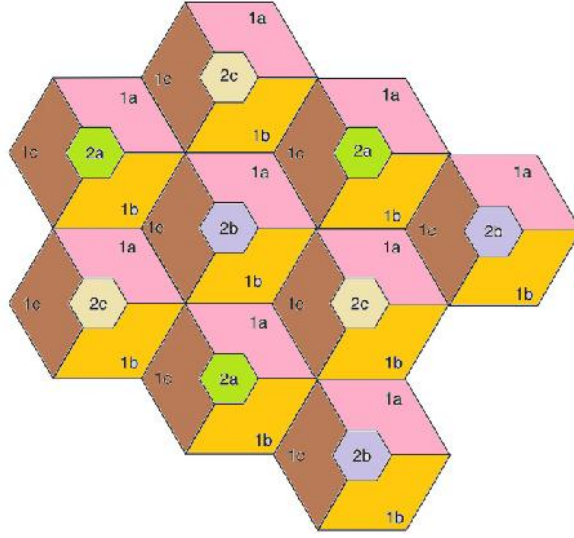


Figura 3.2: Plan de Frecuencias con Segmentación y Zonificación

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

3.4. 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, 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 mas 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

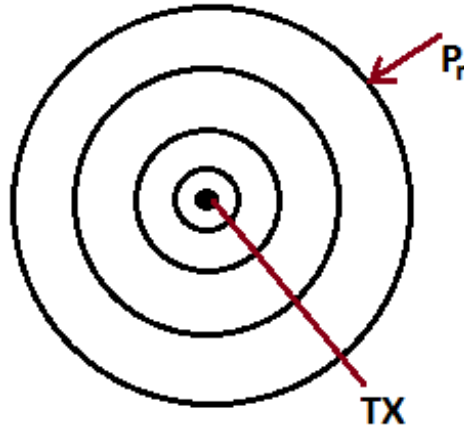


Figura 3.3: Propagación en Espacio Libre

una predicción mas aproximada del área de cobertura.

3.4.1. Perdidas en Espacio Libre

Las perdidas en el espacio libre (FSPL) es la forma mas simple de calcular la propagación de ondas de radio. El modelo FSPL describe una antena isotropica ideal en un ambiente ideal sin ningún objeto reflectante, absorbente o algún tipo de obstrucción a la propagación. La figura 3.3 se muestra como la señal se radia uniformemente en un frente de ondas esférico alrededor del punto de transmisión (Tx). La ecuación 3.1 indica que la potencia de la señal en el punto de recepción es inversamente proporcional a la distancia desde el punto de transmisión.

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (3.1)$$

3.4.2. 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.

3.4.3. 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.

$$PL_{L_{urban}}(d) = 69,55 + 26,26\log_{10}(f_c) - 13,82\log_{10}(h_t) - a(h_r) \\ + (44,9 - 6,55\log_{10}(h_t))\log_{10}(d) \quad (3.2)$$

$$PL_{L_{suburban}}(d) = PL_{L_{urban}}(d) - 2 \left[\log_{10}\left(\frac{f_c}{28}\right) \right]^2 - 5,4 \quad (3.3)$$

$$PL_{L_{rural}}(d) = PL_{L_{urban}}(d) - 4,78(\log_{10}(f_c)^2) + 18,33\log_{10}(f_c) - K \quad (3.4)$$

$$a(h_r) = (1,1\log_{10}(f_c) - 0,7)h_r - (1,56\log_{10}(f_c) - 0,8) \quad (3.5)$$

Las ecuaciones 3.2, 3.3, 3.4, y 3.5 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 3.5 es un factor de corrección para pequeñas ciudades y ciudades medianas. La variable K , en la ecuación 3.4 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.

3.4.4. 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 3.6 es valida para, $1,5GHz < f_c < 2GHz$, $30m < h_t < 200m$, $1m < h_r < 10m$ y $1Km < d < 20Km$.

$$P_{L_{urban}}(d) = 46,3 + 33,9\log_{10}(f_c) - 13,82\log_{10}(h_t) - a(h_r) \\ + (44,9 - 6,55\log_{10}(h_t))\log_{10}(d) + C_M \quad (3.6)$$

3.4.5. WiMAX Presupuesto del Enlace

Nos referiremos a la figura 3.4 y los parámetros definidos en la tabla 3.5 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

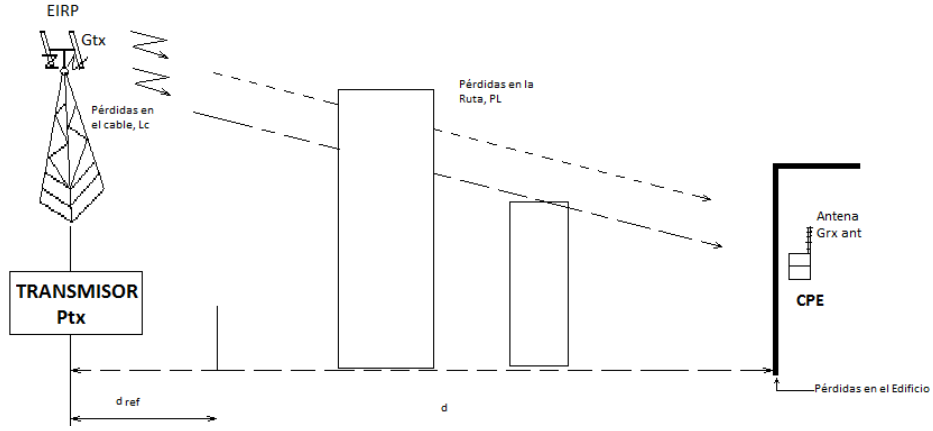


Figura 3.4: Presupuesto de Enlace de RF

| | | | |
|--------------------------------------|---|-----------------------------------|---------------|
| 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_{bldg} | 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 | $M_{TOT} = L_{bldg} + M_f + M_{Logn} + M_{Int}$ | 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 3.5: Parámetros de Presupuesto de Enlace

$$EIRP = P_{TX} - L_C + G_{TX} \quad (3.7)$$

Sensibilidad del Receptor

$$S_{RX} = N + 10 \log_{10} BW_{HZ} + NF + \frac{S}{N} - G_{SC} \quad (3.8)$$

Nivel de Recepción Isotrópico

$$IRL = S_{RX} - G_{RX} \quad (3.9)$$

Ganancia del Sistema

$$G_{Sys} = EIRP - IRL_{Req} \quad (3.10)$$

Máxima pérdida permitida del enlace (Margen del Enlace)

$$MAPL = G_{Sys} - MTot \quad (3.11)$$

El presupuesto de enlace de la tabla 3.5 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 media que conecta los dos (en este caso, el espacio libre). Para todos los intentos y propósitos, esta repleto con perdidas relacionadas a las obstrucciones, reflexiones y difracciones, etc.

Tenemos la tabla 3.6 donde se muestran valores y forma de determinar todos los parámetros de un presupuesto de enlace externo e interno.

| | | Outdoor | | Indoor | |
|--------------------|---|---------|------|---------|------|
| | | Móvil | | Desktop | |
| Transmisor | | ↓ | ↑ | ↓ | ↑ |
| 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 |
| Receptor | | | | | |
| 6 | Ganancia de Antena, G_{RX} (dB) | -1 | 18 | 6 | 18 |
| 7 | Número de Canales, Ch_{no} | 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 isotrópica, 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 |
| Margenes de Enlace | | | | | |
| 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 3.6: Ejemplo de Presupuesto de Enlace

Capítulo 4

Diseño de Red de Banda Ancha

4.1. Metodología

Se desarrollara el proyecto de diseño de red de banda ancha inalámbrica a partir del nodo de distribución que esta ubicado en la carretera a la Caleta San José, para las localidades beneficiadas del Distrito de Pimentel con el objetivo de garantizar una velocidad de 2Mbps a los potenciales usuarios dentro del Horizonte del proyecto que son 10 años, para conseguirlo desarrollaremos el siguiente trabajo:

- **Replanteo:** Se ha visitado las localidades beneficiadas, a pesar que las viviendas están separadas; se buscado el núcleo de estos centros poblados donde se ha considerado la instalación de la antena transmisora en lugares que cuenten con fluido eléctrico.
- **Diseño de la Red:** Se esta usando herramientas de uso libre como el Google Earth Pro (Disponible en su versión libre desde Febrero del 2015), el software Radio Mobile que nos permite el calculo de enlaces con Linea de Vista, cálculos de cobertura usando información de mapas satelitales de acceso libre lo que permite en alguna medida asegurar la calidad de servicio estimada. Ademas se esta usando los datasheet de los equipos considerados para el proyecto.
- **Proyecto Técnico:** En esta parte se resume el proyecto realizado en los pasos anteriores haciendo énfasis en las descripciones y especificaciones de los equipos terminales a usarse.

4.2. Replanteo

Se ha realizado una visita a los centros poblados, buscando los núcleos o mayores agrupamientos de viviendas y donde se proyecta se instalara la antena transmisora, estos lugares ha sido seleccionados por la condición adicional de disponibilidad de energía eléctrica. Los resultados se muestran en la tabla 4.1

| Localidades Beneficiadas de Pimentel | Latitud | Longitud | m.s.n.m |
|--------------------------------------|------------|-------------|---------|
| La Garita | -6.809480° | -79.880493° | 19 m |
| La Joyita | -6.823370° | -79.898468° | 14 m |
| Las Pampas de Pimentel | -6.806371° | -79.854480° | 21 m |
| Pampas del Sur | -6.806695° | -79.914718° | 14 m |
| El Higo | -6.790051° | -79.918343° | 14 m |

Tabla 4.1: Replanteo de Ubicación de Antenas en Localidades Beneficiadas

Colocamos las fotos de las localidades beneficiadas con los posibles lugares para las antenas o puntos de acceso, en estas fotos se puede verificar la disponibilidad de energía eléctrica. Se puede ver las figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5.

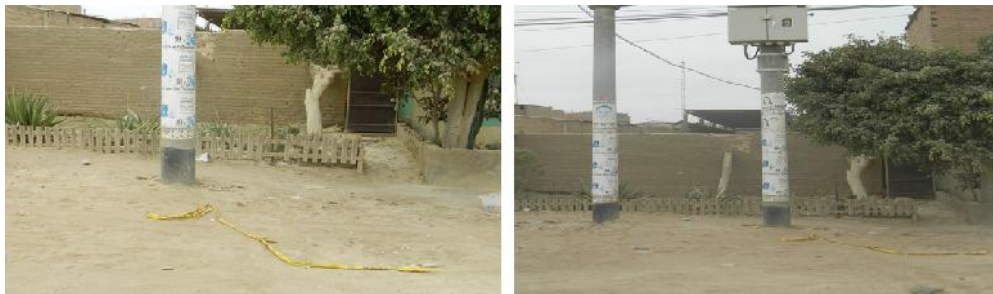


Figura 4.1: La Garita



Figura 4.2: La Joyita



Figura 4.3: La Pampas de Pimentel



Figura 4.4: La Pampas del Sur

4.3. Diseño de la Red

Ahora se colocara las coordenadas de la tabla 4.1 en el Google Earth para obtener un visión panorámica de la ubicación de las localidades a cubrir(Ver Figura 4.6), esta misma información se trasladara a Radio Mobile(Ver figura 4.7) con lo cual podremos desarrollar los cálculos de Linea de Vista y los cálculos de cobertura.

4.3.1. Red de Transporte

La red de transporte interconectara el centro de Distribución con cada uno de los localidades beneficiadas de Pimentel. Para esto es necesario tener en cuenta la capacidad de los enlaces, por esta razón reproducimos la tabla 2.5.

Se considera ahora enlace punto a punto, es decir se interconectara la Estación Base de Pimentel, con cada una de las localidades, para lo cual se ha establecido las linea



Figura 4.5: El Higo



Figura 4.6: Localidades de Pimentel en Google Earth

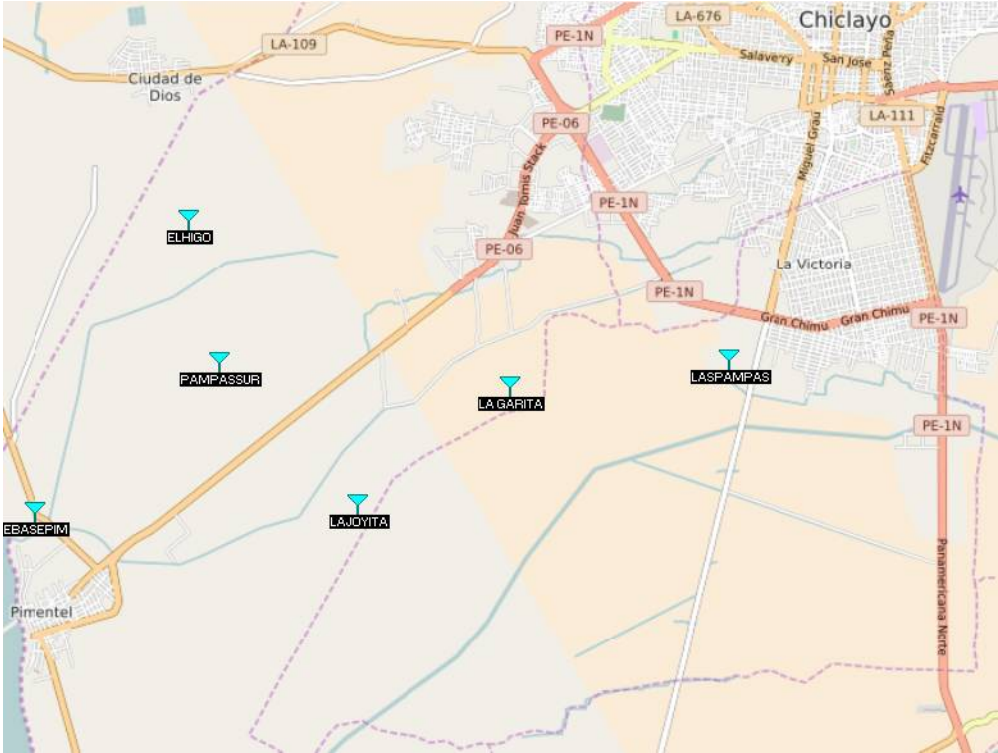


Figura 4.7: Localidades de Pimentel en Radio Mobile

| Localidad | Ancho de Banda | |
|------------------------|----------------|--------------|
| | Download(Mbps) | Upload(Mbps) |
| La Garita | 40,32 | 9,58 |
| La Joyita | 62,4 | 15,1 |
| Las Pampas de Pimentel | 124,64 | 31,16 |
| Pampas del Sur | 54,4 | 13,1 |
| El Higo | 36,28 | 8,57 |

Tabla 4.2: Velocidades de Download y Upload Finales para cada Localidad

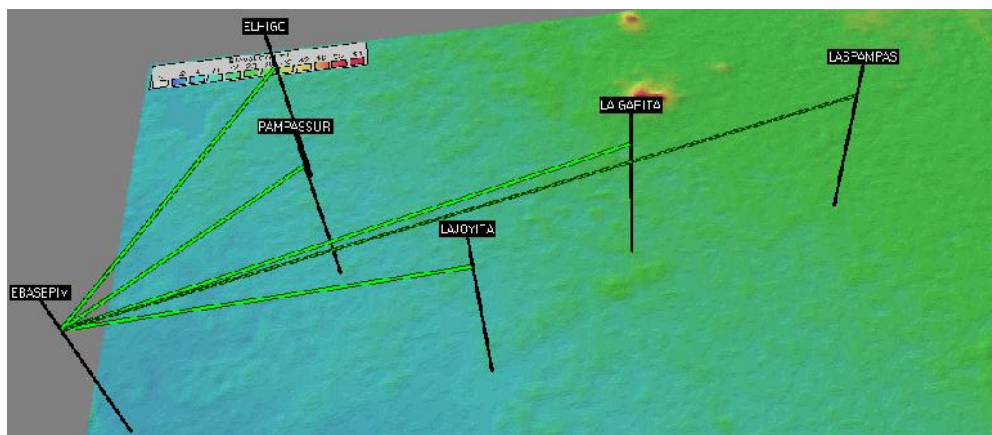


Figura 4.8: Línea de Vista a Localidades rurales beneficiadas de Pimentel en Radio Mobile

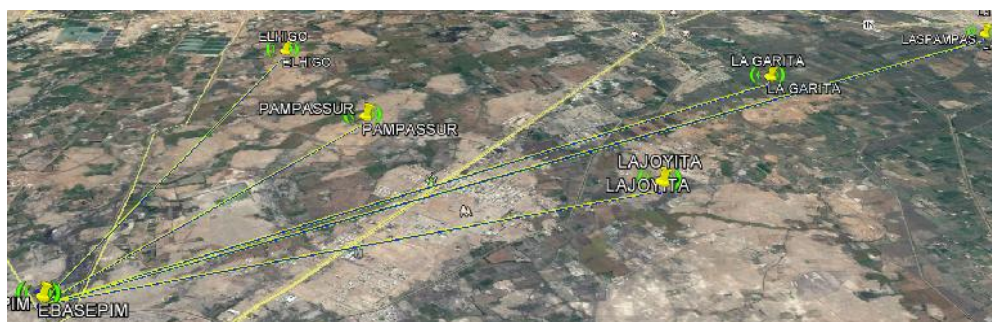


Figura 4.9: Línea de Vista a Localidades rurales beneficiadas de Pimentel en Google Earth Pro

de vista, tal como se muestra en las figuras 4.8 y 4.9, además que la ubicación de las antenas en las localidades es la que se detalla en la tabla 4.1

4.3.1.1. Selección de Equipos - Red de Transporte

Para la selección de equipos de la red de transporte, se ha considerado el uso del portafolio PTP de Cambium Networks, en particular el PTP 650, que puede brindar un throughput de 450Mbps para soluciones de backhaul punto a punto de alta capacidad que permite comunicaciones con más velocidad, confiabilidad, versatilidad y seguridad. Se puede obtener una latencia de una vía de 1 a 3 milisegundos, con funcionalidad multibanda en el rango de 4.9GHz a 6.05GHz en un solo radio, logra una eficiencia

espectral de 10bps/Hz, se puede tener enlaces de hasta 200 Km, funcionamiento TDD simétrico, asimétrico y adaptativo. Uso de ancho de banda flexible - 5 10 15 20 30 40 y 45 MHz, Optimización dinámica del espectro para evitar interferencias. En la tabla 4.3 se resumen sus principales características y en el apéndice I se incluyen las partes del datasheet mas relevantes al proyecto. En la figura 4.10 se muestra el montaje de este equipo en la torre.



Figura 4.10: PTP 650

Enlace Estación Base Pimentel y el Higo Para este enlace se necesita, de acuerdo a la tabla 4.2; una velocidad de 36.28 Mbps de Descarga (Download) y 8.57Mbps de Subida (Upload). Este enlace no es simétrico por tanto se debe usar un enlace con relación 3:1.

En la figura 4.11 se puede observar la capacidad del PTP650 para los anchos de banda de 45MHz y 40Mhz en el modo Lite, para cumplir con los requerimientos de

| | |
|-----------------------------|--|
| Banda de Rf | 5.1 GHz: 5150 a 5250 MHz, 5.4 GHz: 5470 a 5725 MHz |
| Tamaño de Canal | 5,10,15,20,30, 40 y 45 MHz |
| Eficiencia Espectral | 10 bps/Hz Maximum |
| Selección de Canal | Optimización espectral dinámica, o asignación de frecuencia fija, selección automática en el inicio y continua auto optimización para evitar interferencia |
| Máxima Potencia Transmisora | Hasta 27 dBm a BPSK, hasta 23 dBm a 256 QAM |
| Ganancia del Sistema | Integrada: Hasta 160dB con canales de 20MHz de ancho de banda y con antenas integradas de 19dBi; varia con el modo modulación, tamaño del canal y el espectro. |
| Sensibilidad del Receptor | -98 dBm con un canal de 5MHz |
| Esquema Duplex | TDD, HD-FDD |
| Antena | Panel Plano Integrado: -23dBi |
| Rango | Hasta 200Km |
| Puente Ethernet | |
| Protocolo | IEEE 802.3 |
| Throughput de usuario | Dinamicamente variable hasta 450MBps |
| Latencia | 1ms-3ms en una dirección |
| QoS | 8 colas |
| Clasificación de Paquetes | Capa 2 y Capa 3 IEEE802.1p, MPLS. |
| Desempeño de Paquetes | Velocidad de Linea (¿850 paquetes por segundo) |
| Soporte de Tramas | Tramas Jumbo de 9600 bytes. |

Tabla 4.3: Capacidad de los Enlaces y Perdidas de LOS

nuestro enlace seleccionamos la modulación **64QAM 0.92 Single** con un ancho de banda de 40MHz lo que nos da una velocidad de Descarga de 36Mbps y una subida de 12Mbps.

De la misma manera, con esta información y haciendo uso de la figura 4.12, determinamos que la potencia del transmisor deberá ser 24dBm, y la sensibilidad del receptor -65.7 dBm y de la figura 4.13 se puede establecer que para estas condiciones de modulación las perdidas máximas del enlace es de 137.7dB. Ahora con esta información y Radio Mobile verificaremos su el enlace Estación Base Pimentel y el Higo es factible.

Finalmente se puede comprobar en la figura 4.14 que el enlace es factible, es decir se cumple con las velocidades de descarga y subida, pues se esta usando un transmisor con una potencia de 18dBm (el máximo es de 24 dBm), un nivel de señal recibida de -62.1dBm (El nivel recomendado es -65.7dBm) y las pérdidas totales del enlace es de

Table 105 Throughput at zero link range (Mbit/s), Lite, symmetry 3:1, optimization IP

| Modulation mode | 45 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | | 40 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | |
|--------------------|--------------------------|-------|--------|--------------------------|-------|--------|
| 256QAM 0.81 dual | 94.00 | 31.00 | 125.00 | 86.00 | 29.00 | 115.00 |
| 64QAM 0.92 dual | 80.00 | 27.00 | 107.00 | 73.00 | 24.00 | 97.00 |
| 64QAM 0.75 dual | 65.00 | 22.00 | 87.00 | 59.00 | 20.00 | 79.00 |
| 16QAM 0.87 dual | 51.00 | 17.00 | 68.00 | 46.00 | 15.00 | 61.00 |
| 16QAM 0.63 dual | 36.00 | 12.00 | 48.00 | 33.00 | 11.00 | 44.00 |
| 256QAM 0.81 single | 47.00 | 16.00 | 63.00 | 43.00 | 14.00 | 57.00 |
| 64QAM 0.92 single | 40.00 | 13.00 | 53.00 | 36.00 | 12.00 | 48.00 |
| 64QAM 0.75 single | 33.00 | 11.00 | 44.00 | 30.00 | 10.00 | 40.00 |
| 16QAM 0.87 single | 25.00 | 8.00 | 33.00 | 23.00 | 8.00 | 31.00 |
| 16QAM 0.63 single | 18.00 | 6.00 | 24.00 | 17.00 | 6.00 | 23.00 |
| QPSK 0.87 single | 13.00 | 5.00 | 18.00 | 12.00 | 5.00 | 17.00 |
| QPSK 0.63 single | 9.00 | 5.00 | 14.00 | 8.00 | 5.00 | 13.00 |
| BPSK 0.63 single | 5.00 | 5.00 | 10.00 | 5.00 | 4.94 | 9.94 |

Figura 4.11: Tabla de Capacidad de PTP650 vs Ancho de Banda - Lite

Table 74 5.1/5.2 GHz TDM mode: system threshold per channel bandwidth and o/p pwr (P) (dBm)

| Modulation mode | 5 MHz | 10 MHz | 15 MHz | 20 MHz | 30 MHz | 40 MHz | 45 MHz | P (all bands) |
|--------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| BPSK 0.63 single | -95.8 | -94.3 | -92.5 | -91.3 | -89.5 | -88.3 | -87.8 | 27 |
| QPSK 0.63 single | -89.7 | -88.2 | -86.4 | -85.2 | -83.4 | -82.2 | -81.7 | 26 |
| QPSK 0.87 single | -85.7 | -84.2 | -82.4 | -81.1 | -79.4 | -78.1 | -77.6 | 26 |
| 16QAM 0.63 single | -83.3 | -81.8 | -80.1 | -78.8 | -77.0 | -75.8 | -75.3 | 25 |
| 16QAM 0.63 dual | -79.4 | -77.8 | -76.1 | -74.8 | -73.1 | -71.8 | -71.3 | 25 |
| 16QAM 0.87 single | -78.8 | -77.2 | -75.5 | -74.2 | -72.5 | -71.2 | -70.7 | 25 |
| 16QAM 0.87 dual | -75.7 | -74.1 | -72.4 | -71.1 | -69.4 | -68.1 | -67.6 | 25 |
| 64QAM 0.75 single | -75.6 | -74.1 | -72.3 | -71.1 | -69.3 | -68.1 | -67.5 | 24 |
| 64QAM 0.75 dual | -72.4 | -70.9 | -69.1 | -67.9 | -66.1 | -64.9 | -64.3 | 24 |
| 64QAM 0.92 single | -73.2 | -71.7 | -70.0 | -68.7 | -66.9 | -65.7 | -65.2 | 24 |
| 64 QAM 0.92 dual | -69.9 | -68.4 | -66.6 | -65.4 | -63.6 | -62.4 | -61.8 | 24 |
| 256QAM 0.81 single | -71.8 | -70.3 | -68.6 | -67.3 | -65.6 | -64.3 | -63.8 | 23 |
| 256QAM 0.81 dual | -68.4 | -66.9 | -65.1 | -63.8 | -62.1 | -60.8 | -60.3 | 23 |

Figura 4.12: Tabla de Sensibilidad y Potencia Tx de PTP650 vs Ancho de Banda - Lite

Table 75 5.1 GHz and 5.2 GHz TDM mode: maximum link loss per channel bandwidth (dB)

| Modulation mode | 5 MHz | 10 MHz | 15 MHz | 20 MHz | 30 MHz | 40 MHz | 45 MHz |
|--------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| BPSK 0.63 single | 168.8 | 167.3 | 165.5 | 164.3 | 162.5 | 161.3 | 160.8 |
| QPSK 0.63 single | 161.7 | 160.2 | 158.4 | 157.2 | 155.4 | 154.2 | 153.7 |
| QPSK 0.87 single | 157.7 | 156.2 | 154.4 | 153.1 | 151.4 | 150.1 | 149.6 |
| 16QAM 0.63 single | 154.3 | 152.8 | 151.1 | 149.8 | 148.0 | 146.8 | 146.3 |
| 16QAM 0.63 dual | 150.4 | 148.8 | 147.1 | 145.8 | 144.1 | 142.8 | 142.3 |
| 16QAM 0.87 single | 149.8 | 148.2 | 146.5 | 145.2 | 143.5 | 142.2 | 141.7 |
| 16QAM 0.87 dual | 146.7 | 145.1 | 143.4 | 142.1 | 140.4 | 139.1 | 138.6 |
| 64QAM 0.75 single | 145.6 | 144.1 | 142.3 | 141.1 | 139.3 | 138.1 | 137.5 |
| 64QAM 0.75 dual | 142.4 | 140.9 | 139.1 | 137.9 | 136.1 | 134.9 | 134.3 |
| 64QAM 0.92 single | 143.2 | 141.7 | 140.0 | 138.7 | 136.9 | 135.7 | 135.2 |
| 64 QAM 0.92 dual | 139.9 | 138.4 | 136.6 | 135.4 | 133.6 | 132.4 | 131.8 |
| 256QAM 0.81 single | 140.8 | 139.3 | 137.6 | 136.3 | 134.6 | 133.3 | 132.8 |
| 256QAM 0.81 dual | 137.4 | 135.9 | 134.1 | 132.8 | 131.1 | 129.8 | 129.3 |

Figura 4.13: Tabla de Sensibilidad y Potencia Tx de PTP650 vs Ancho de Banda - Lite

124.1 dB (lo máximo es de 135.2dB)

Enlace Estación Base Pimentel y La Garita Para este enlace se necesita, de acuerdo a la tabla 4.2; una velocidad de 40.32 Mbps de Descarga y 9.58Mbps de Subida . Este enlace no es simétrico por tanto de se debe usar un enlace con relación 5:1.

En la figura 4.15 se puede observar la capacidad del PTP650 para el ancho de banda de 30MHz en el modo Medium, para cumplir con los requerimientos de nuestro enlace seleccionamos la modulación **16QAM 0.63 Single** con un ancho de banda de 30MHz lo que nos da una velocidad de Descarga de 47.79Mbps y una subida de 9.56Mbps.

De la misma manera, con esta información y haciendo uso de la figura 4.16, determinamos que la potencia del transmisor deberá ser 25dBm, y la sensibilidad del receptor -80.1 dBm y de la figura 4.17 se puede establecer que para estas condiciones de modulación las pérdidas máximas del enlace es de 151.1dB. Ahora con esta información y Radio Mobile verificaremos su el enlace Estación Base Pimentel y La Garita

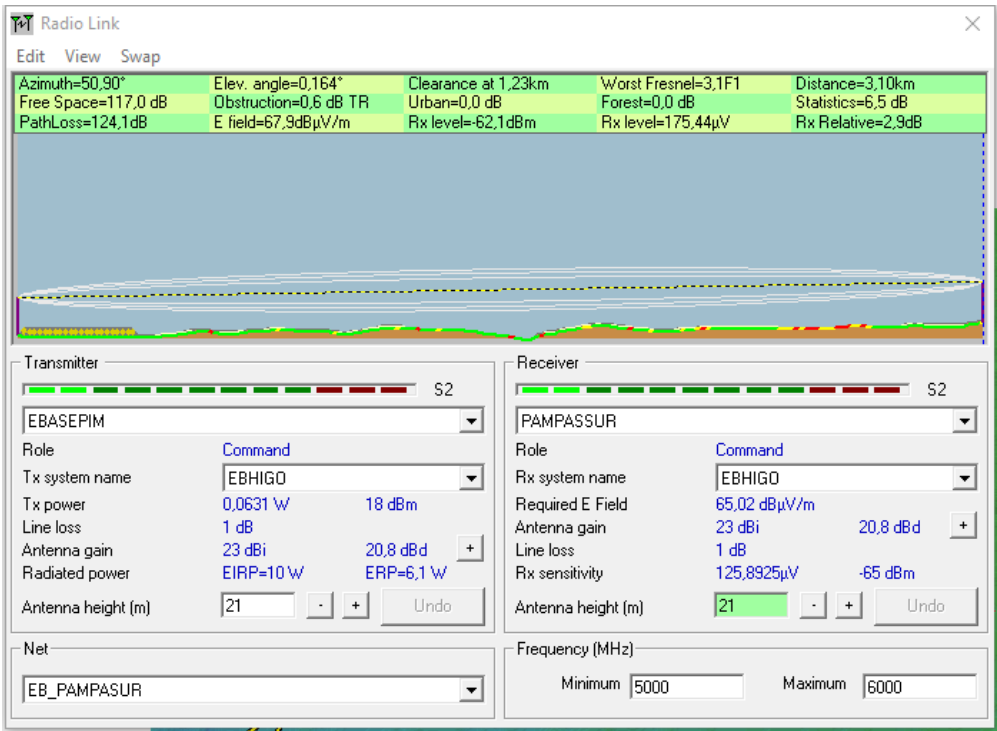


Figura 4.14: Resumen de Enlace entre Estación Base Pimentel y Localidad El Higo

es factible.

Finalmente se puede comprobar en la figura 4.18 que el enlace es factible, es decir se cumple con las velocidades de descarga y subida, pues se esta usando un transmisor con una potencia de 25dBm (el máximo es de 25 dBm), un nivel de señal recibida de -77.2dBm (El nivel recomendado es -80.1dBm) y las pérdidas totales del enlace es de 146.2dB (lo máximo es de 151.1dB).

Selección de Equipos de Red de Transporte Siguiendo el mismo procedimiento se ha establecido los requerimientos para las demás localidades, los resultados se resumen en la tabla 4.4.

4.3.2. Red de Acceso

| Modulation mode | 30 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | |
|--------------------|--------------------------|-------|--------|
| 256QAM 0.81 dual | 248.23 | 49.64 | 297.87 |
| 64QAM 0.92 dual | 209.14 | 41.83 | 250.96 |
| 64QAM 0.75 dual | 170.90 | 34.18 | 205.08 |
| 16QAM 0.87 dual | 132.96 | 26.59 | 159.55 |
| 16QAM 0.63 dual | 95.58 | 19.11 | 114.69 |
| 256QAM 0.81 single | 124.11 | 24.82 | 148.93 |
| 64QAM 0.92 single | 104.57 | 20.91 | 125.48 |
| 64QAM 0.75 single | 85.45 | 17.09 | 102.54 |
| 16QAM 0.87 single | 66.48 | 13.29 | 79.77 |
| 16QAM 0.63 single | 47.79 | 9.56 | 57.34 |
| QPSK 0.87 single | 33.24 | 6.65 | 39.88 |
| QPSK 0.63 single | 23.89 | 4.78 | 28.67 |
| BPSK 0.63 single | 11.94 | 2.39 | 14.33 |

Figura 4.15: Tabla de Capacidad de PTP650 vs Ancho de Banda - Medium

| Nro | Localidad | Ancho de Banda | Modulación | Nivel Rx | Potencia Tx | Pérdidas Totales |
|-----|--------------------|----------------|--------------------|-----------|-------------|------------------|
| 1 | El Higo | 40 MHz | 64 QAM 0.92 single | -65.7 dBm | 24 dBm | 135.2 dB |
| 2 | La Garita | 30 MHz | 16 QAM 0.63 single | -80.1 dBm | 25 dBm | 151.1 dB |
| 3 | La Joyita | 30 MHz | 16 QAM 0.63 single | -75.6 dBm | 25 dBm | 146.6 dB |
| 4 | Pampas de Pimentel | 45 MHz | 64 QAM 0.75 single | -70.8 dBm | 24 dBm | 140.8 dB |
| 5 | Pampas del Sur | 30 MHz | 16 QAM 0.63 single | -80.1 dBm | 25 dBm | 151.1 dB |

Tabla 4.4: Ancho de Banda, Modulación, Nivel de Rx, Potencia de Tx, Pérdidas de Red Inalambrica

Table 72 5.1/5.2 GHz IP mode: system threshold per channel bandwidth and o/p power (P) (dBm)

| Modulation mode | 5 MHz | 10 MHz | 15 MHz | 20 MHz | 30 MHz | 40 MHz | 45 MHz | P (all bands) |
|--------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| BPSK 0.63 single | -95.8 | -94.3 | -92.5 | -91.3 | -89.5 | -88.3 | -87.8 | 27 |
| QPSK 0.63 single | -92.7 | -91.2 | -89.4 | -88.2 | -86.4 | -85.2 | -84.7 | 26 |
| QPSK 0.87 single | -88.7 | -87.2 | -85.4 | -84.2 | -82.4 | -81.2 | -80.7 | 26 |
| 16QAM 0.63 single | -86.4 | -84.9 | -83.1 | -81.9 | -80.1 | -78.8 | -78.3 | 25 |
| 16QAM 0.63 dual | -82.4 | -80.9 | -79.2 | -77.9 | -76.2 | -74.9 | -74.4 | 25 |
| 16QAM 0.87 single | -81.9 | -80.4 | -78.6 | -77.4 | -75.6 | -74.4 | -73.8 | 25 |
| 16QAM 0.87 dual | -78.8 | -77.3 | -75.6 | -74.3 | -72.6 | -71.3 | -70.8 | 25 |
| 64QAM 0.75 single | -78.9 | -77.4 | -75.6 | -74.3 | -72.6 | -71.3 | -70.8 | 24 |
| 64QAM 0.75 dual | -75.8 | -74.3 | -72.5 | -71.2 | -69.5 | -68.2 | -67.7 | 24 |
| 64QAM 0.92 single | -75.0 | -73.5 | -71.7 | -70.5 | -68.7 | -67.5 | -67.0 | 24 |
| 64 QAM 0.92 dual | -71.8 | -70.3 | -68.5 | -67.3 | -65.5 | -64.3 | -63.7 | 24 |
| 256QAM 0.81 single | -71.8 | -70.3 | -68.6 | -67.3 | -65.6 | -64.3 | -63.8 | 23 |
| 256QAM 0.81 dual | -68.4 | -66.9 | -65.1 | -63.8 | -62.1 | -60.8 | -60.3 | 23 |

Figura 4.16: Tabla de Sensibilidad y Potencia Tx de PTP650 vs Ancho de Banda - Medium

Table 73 5.1 GHz and 5.2 GHz IP mode: maximum link loss per channel bandwidth (dB)

| Modulation mode | 5 MHz | 10 MHz | 15 MHz | 20 MHz | 30 MHz | 40 MHz | 45 MHz |
|--------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| BPSK 0.63 single | 168.8 | 167.3 | 165.5 | 164.3 | 162.5 | 161.3 | 160.8 |
| QPSK 0.63 single | 164.7 | 163.2 | 161.4 | 160.2 | 158.4 | 157.2 | 156.7 |
| QPSK 0.87 single | 160.7 | 159.2 | 157.4 | 156.2 | 154.4 | 153.2 | 152.7 |
| 16QAM 0.63 single | 157.4 | 155.9 | 154.1 | 152.9 | 151.1 | 149.8 | 149.3 |
| 16QAM 0.63 dual | 153.4 | 151.9 | 150.2 | 148.9 | 147.2 | 145.9 | 145.4 |
| 16QAM 0.87 single | 152.9 | 151.4 | 149.6 | 148.4 | 146.6 | 145.4 | 144.8 |
| 16QAM 0.87 dual | 149.8 | 148.3 | 146.6 | 145.3 | 143.6 | 142.3 | 141.8 |
| 64QAM 0.75 single | 148.9 | 147.4 | 145.6 | 144.3 | 142.6 | 141.3 | 140.8 |
| 64QAM 0.75 dual | 145.8 | 144.3 | 142.5 | 141.2 | 139.5 | 138.2 | 137.7 |
| 64QAM 0.92 single | 145.0 | 143.5 | 141.7 | 140.5 | 138.7 | 137.5 | 137.0 |
| 64 QAM 0.92 dual | 141.8 | 140.3 | 138.5 | 137.3 | 135.5 | 134.3 | 133.7 |
| 256QAM 0.81 single | 140.8 | 139.3 | 137.6 | 136.3 | 134.6 | 133.3 | 132.8 |
| 256QAM 0.81 dual | 137.4 | 135.9 | 134.1 | 132.8 | 131.1 | 129.8 | 129.3 |

Figura 4.17: Tabla de Sensibilidad y Potencia Tx de PTP650 vs Ancho de Banda - Medium

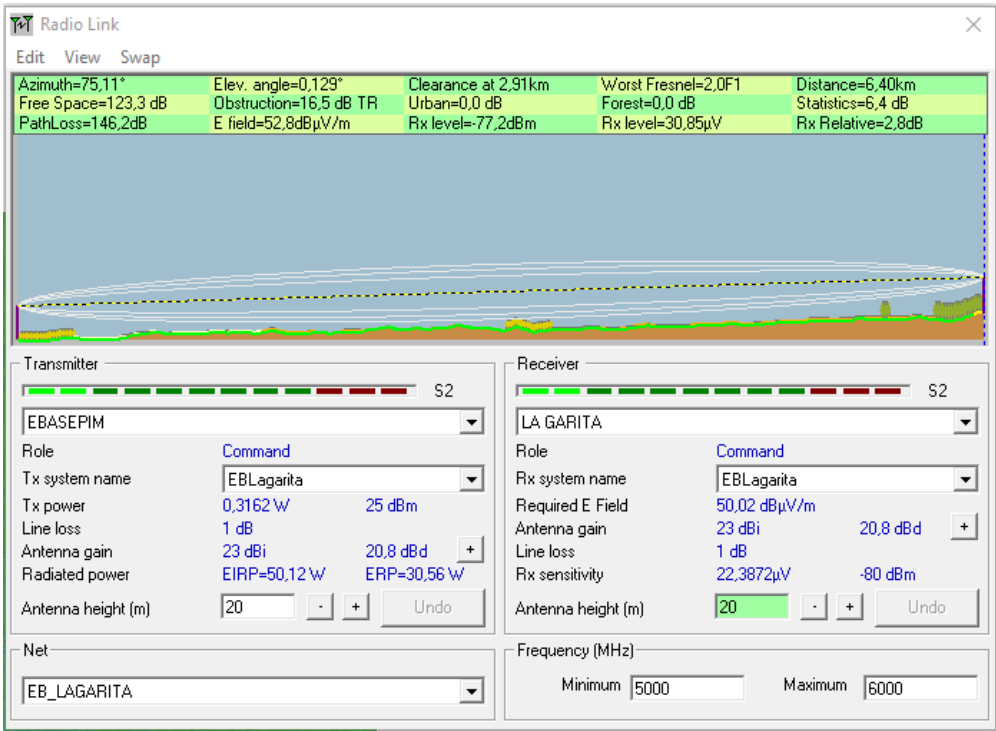


Figura 4.18: Resumen de Enlace entre Estación Base Pimentel y Localidad La Garita

La red de acceso deberá asegurar que los usuarios finales puedan acceder a la red a las velocidades establecidas para el caso de conexión de los usuarios proyectados en los diferentes servicios como fue calculado en la tabla 2.3, que de nuevo reproducimos.

| Localidad | 2026 | | Usuarios | | |
|------------------------|-----------|----------|----------|------|----------|
| | Población | Vivienda | Móvil | fijo | Internet |
| La Garita | 566 | 132 | 317 | 6 | 128 |
| La Joyita | 909 | 211 | 509 | 9 | 204 |
| Las Pampas de Pimentel | 1918 | 448 | 1074 | 18 | 431 |
| Pampas del Sur | 776 | 182 | 435 | 8 | 176 |
| El Higo | 529 | 123 | 297 | 5 | 119 |

Tabla 4.5: Usuarios Potenciales de los Servicios Considerados

Con esta cantidad de usuarios potenciales, hemos determinado que las velocidades

| | |
|-----------------------------|---|
| Banda de Rf | 4900 - 5925 MHz |
| Tamaño de Canal | 5,10,15,20,30MHz |
| Eficiencia Espectral | 10 bps/Hz Maximum |
| Interface Ethernet | 100/1000Base T, full duplex, cumple con 802.3. |
| Protocolos Usados | HTTP, HTTPS, Telnet, SNMP v3 |
| VLAN | 8021ad (DVLAN Q in Q), 802.1Q |
| Suscriptores por sector | Hasta 238 |
| Latencia | 3 - 5 ms |
| Calidad de Servicio (QoS) | Diffserve QoS |
| Ancho de Haz de Antena. | Sector de 90º con antena integrada (Polarización Dual H+V). |
| Ganancia Antena | Sector de 90º 17 dBi \pm 1dBi, externa o integrada. |
| Máxima Potencia Transmisora | Hasta 27 dBm |
| Esquema Duplex | TDD, HD-FDD |

Tabla 4.6: Especificaciones del Punto de Acceso PMP 450i

de carga y descarga en cada localidad es la indicada en la tabla 4.2, esta misma tabla fue usada en el diseño de la red de transporte.

Para la red de acceso se considera el uso de equipos Punto a multipunto, como los PMP450 de Cambium Networks que son equipos pensados para conectividad rural, conexión de instituciones públicas, conectividad de oficinas remotas, conectividad primaria o redundante, backhaul de video vigilancia, extensión de redes LAN, reemplazo de líneas alquiladas, conexión de datos y video para servicio público. Este es un equipo ideal para proveedores de servicios, diseñado para aplicaciones fijas exteriores y esta optimizada para velocidad, alcance, confiabilidad y throughput, siendo una de las tecnologías inalámbricas mas resistente y efectiva.

En la tabla 4.6 se detallan las características mas importantes del punto de acceso PMP450i y en la figura 4.19 se muestra el punto de acceso y sus elementos de montaje.

Red de Acceso para la Localidad de La Garita De la tabla 4.5, y de la tabla 4.6, podemos determinar que para esta localidad es necesario solo un sector pues la cantidad de usuarios potenciales para Internet es de 128 y este equipo puede tener hasta 238 suscriptores o usuarios por sector.

Ahora con las capacidades estimadas de descarga de 40.32Mbps y la de subida de



Figura 4.19: Punto de Acceso PMP450i

9.58Mbps, usando la especificaciones de la figura 4.20, tenemos dos elecciones:

- Ancho de Banda de Canal de 20MHz, usando modulación 16-QAM-MIMO-B, con antena integrada un alcance de 2.24Km, una capacidad de 60Mbps (Entre subida y bajada asignada bajo demanda), requiere una sensibilidad del receptor de -79dBm y unas pérdidas máximas de 114.9 dB.
- Ancho de Banda de Canal de 10MHz, usando modulación 256-QAM-MIMO-B,

Table 9 Link Budget Details – Dynamic Rate Adapt, 5.4 GHz

| Product | Parameter | | Performance Details | | | | |
|----------|---|--|---------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | | 1x | 2x | 4x | 6x | 8x |
| PMP 450† | Modulation | | QPSK-SISO | QPSK-MIMO-B | 16-QAM-MIMO-B | 56-QAM-MIMO-B | 256-QAM-MIMO-B |
| | 5.4GHz Max. LOS Link Budget (no fade margin) – 20 MHz channel bandwidth | with Integrated SM antenna | 4.8 mi / 7.68 km | 3.4 mi / 5.44 km | 1.5 mi / 2.4 km | 0.7 mi / 1.12 km | 0.2 mi / 0.32 km |
| | | with Reflector Dish that adds 14 dB to SM capability | 8.2 mi / 13.12 km | 5.8 mi / 9.28 km | 2.6 mi / 4.16 km | 1.2 mi / 1.92 km | 0.5 mi / 0.8 km |
| | 5.4GHz Max. LOS Link Budget (no fade margin) – 10 MHz channel bandwidth | with Integrated SM antenna | 4.3 mi / 6.88 km | 3.1 mi / 4.96 km | 1.6 mi / 2.56 km | 0.7 mi / 1.12 km | 0.2 mi / 0.32 km |
| | | with Reflector Dish that adds 14 dB to SM capability | 7.5 mi / 12 km | 5.3 mi / 8.48 km | 2.4 mi / 3.84 km | 1.1 mi / 1.76 km | 0.3 mi / 0.48 km |
| | 5.4GHz Max. LOS Link Budget (no fade margin) – 5 MHz channel bandwidth | with Integrated SM antenna | 4 mi / 6.4 km | 2.8 mi / 4.48 km | 1.4 mi / 2.24 km | 0.5 mi / 0.8 km | 0.1 mi / 0.16 km |
| | | with Reflector Dish that adds 14 dB to SM capability | 7.3 mi / 11.68 km | 5.2 mi / 8.32 km | 2.3 mi / 3.68 km | 1 mi / 1.6 km | 0.3 mi / 0.48 km |
| | 5.4GHz Max. Aggregate Throughput with 1/16 Cyclic Prefix to 1 SM (75%/25% DL/UL Ratio) – RF Link Test | 20 MHz Channel (up+down) | 13 Mbps | 30 Mbps | 60 Mbps | 98 Mbps | 128 Mbps |
| | | 10 MHz Channel (up+down) | 6 Mbps | 13 Mbps | 26 Mbps | 42 Mbps | 55 Mbps |
| | | 5 MHz Channel (up+down) | 2 Mbps | 4 Mbps | 8 Mbps | 14 Mbps | 13 Mbps |
| | 5.4GHz Nominal Per-Chain Receive SM RX Sensitivity (including FEC)‡ | 20 MHz Channel | -86 dBm | -86 dBm | -79 dBm | -72 dBm | -61 dBm |
| | | 10 MHz Channel | -88 dBm | -88 dBm | -82 dBm | -75 dBm | -62 dBm |
| | | 5 MHz Channel | -90 dBm | -90 dBm | -84 dBm | -80 dBm | -64 dBm |
| | Link Budget, Integrated (dB) | 20 MHz Channel | 124.9 | 121.9 | 114.9 | 107.9 | 95.9 |
| | | 10 MHz Channel | 124 | 121 | 115.1 | 108 | 94.8 |
| | | 5 MHz Channel | 123.3 | 120.3 | 114.4 | 110 | 94.3 |

Figura 4.20: Presupuesto de Enlace para de PMP450i

con antena integrada un alcance de 0.16Km, una capacidad de 55Mbps (Entre subida y bajada asignada bajo demanda), requiere una sensibilidad del receptor de -62dBm y unas pérdidas máximas de 94.8 dB.

En las figuras 4.21 y 4.22, se muestra el resultado del calculo de cobertura para La Garita usando la modulación 16-QAM-MIMO-B, donde el color azul indica un nivel de señal de -79dBm, tal como se exige en la tabla 4.20, para poder brindar la capacidad estimada.

Red de Acceso para la Localidad de La Joyita Con las mismas consideraciones que para la localidad anterior se procedió a la selección de equipos para esta localidad y

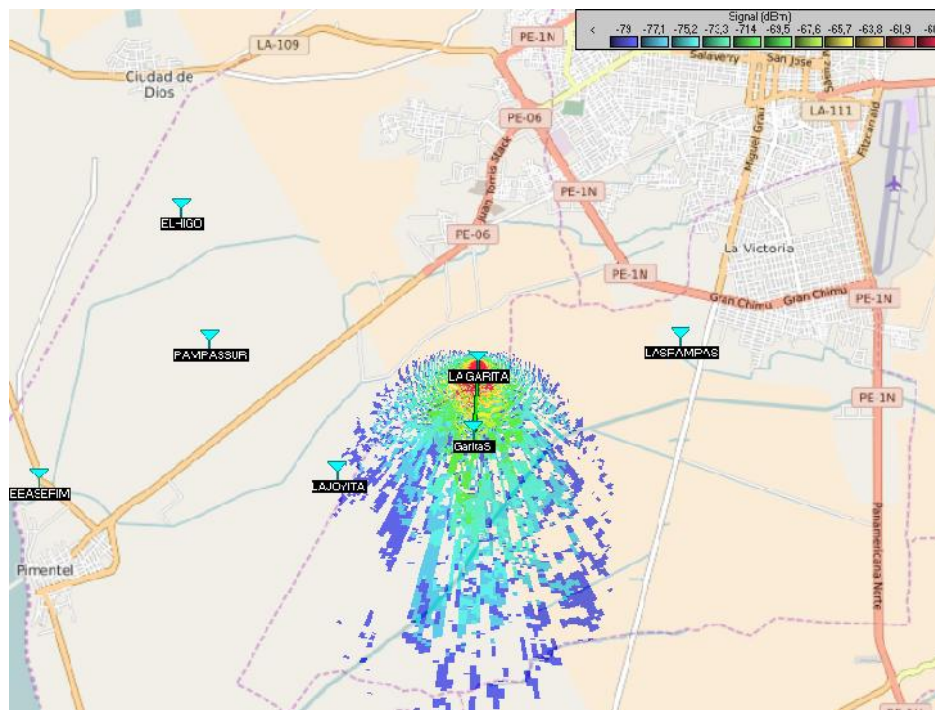


Figura 4.21: Cobertura de La Garita usando modulación 16-QAM - Radio Mobile

se obtiene que deberá usarse una modulación de 64-QAM-MINO-B y una sensibilidad de receptor de -72dBm.

En la figura 4.23, se observa el diagrama de cobertura para la localidad de la Joyita.

Red de Acceso para la Localidad de Las Pampas de Pimentel En este caso son necesarios dos sectores, tanto por la velocidad que es mas de 150Mbps entre subida y bajada y la cantidad de usuarios que son mas de 400.

Acá se usa una modulación de 64-QAM-MIMO-B, con una sensibilidad de -72dBm para un sector y una modulación de 16-QAM-MIMO-B, con una sensibilidad de -79dBm, los resultados se muestran en la figura 4.24

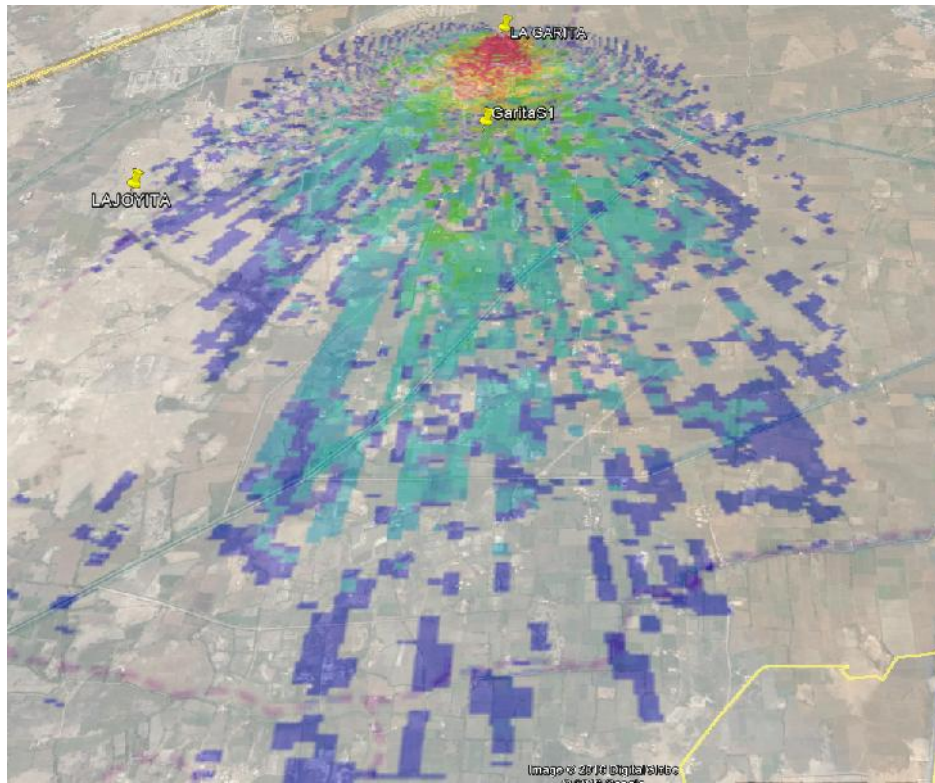


Figura 4.22: Cobertura de La Garita usando modulación 16-QAM - Google Earth

Red de Acceso para la Localidad de Las Pampas del Sur y EL Higo Para el caso de estas localidades obtuvimos el siguiente resultado:

- **Las Pampas del Sur** Ancho de Banda de Canal de 20MHz, usando modulación 64-QAM-MIMO-B, con antena integrada un alcance de 1.44Km, una capacidad de 98Mbps (Entre subida y bajada asignada bajo demanda), requiere una sensibilidad del receptor de -72dBm y unas pérdidas máximas de 107.9 dB.
- **El Higo** Ancho de Banda de Canal de 20MHz, usando modulación 16-QAM-MIMO-B, con antena integrada un alcance de 2.24Km, una capacidad de 60Mbps (Entre subida y bajada asignada bajo demanda), requiere una sensibilidad del receptor de -79dBm y unas pérdidas máximas de 114.9 dB.

La cobertura de las localidades queda como se muestra en la figura 4.25

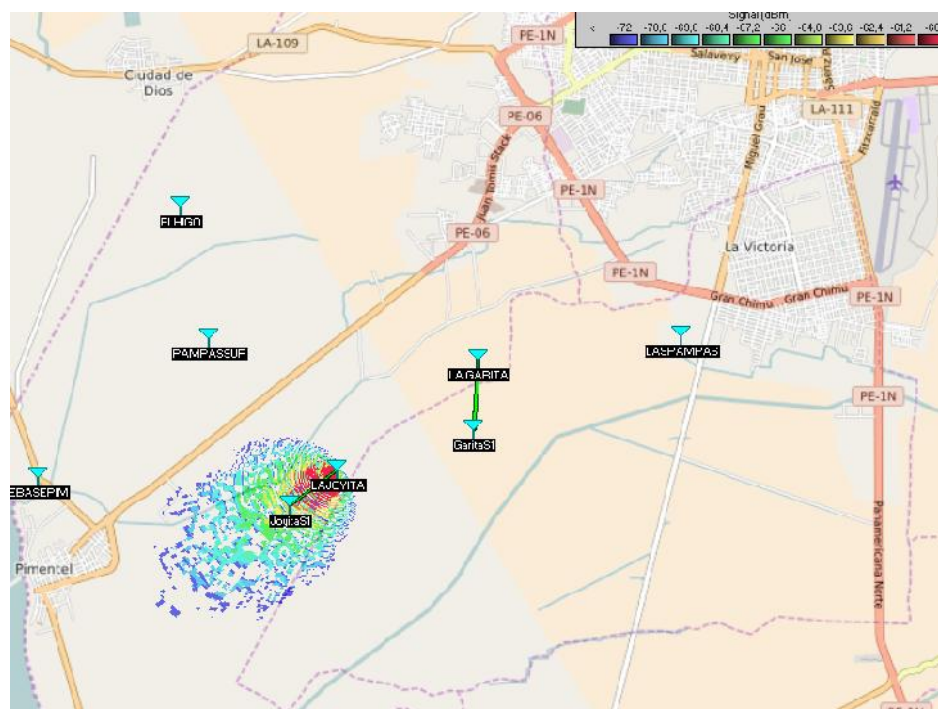


Figura 4.23: Cobertura de La Joyita usando modulación 64-QAM - Radio Mobile

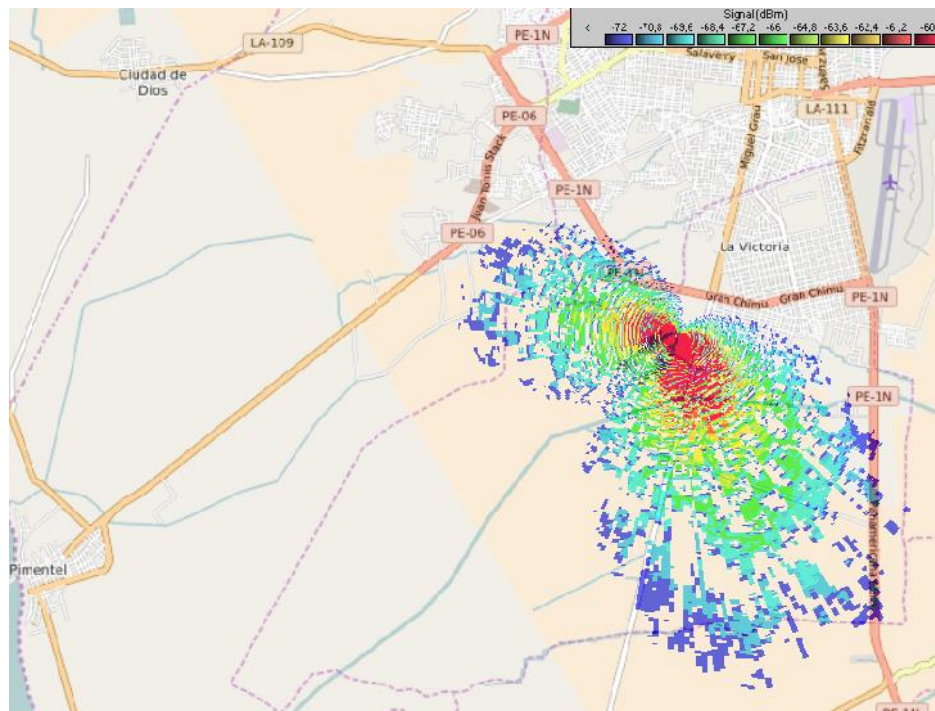


Figura 4.24: Cobertura de Las Pampas de Pimentel usando dos sectores Radio Mobile

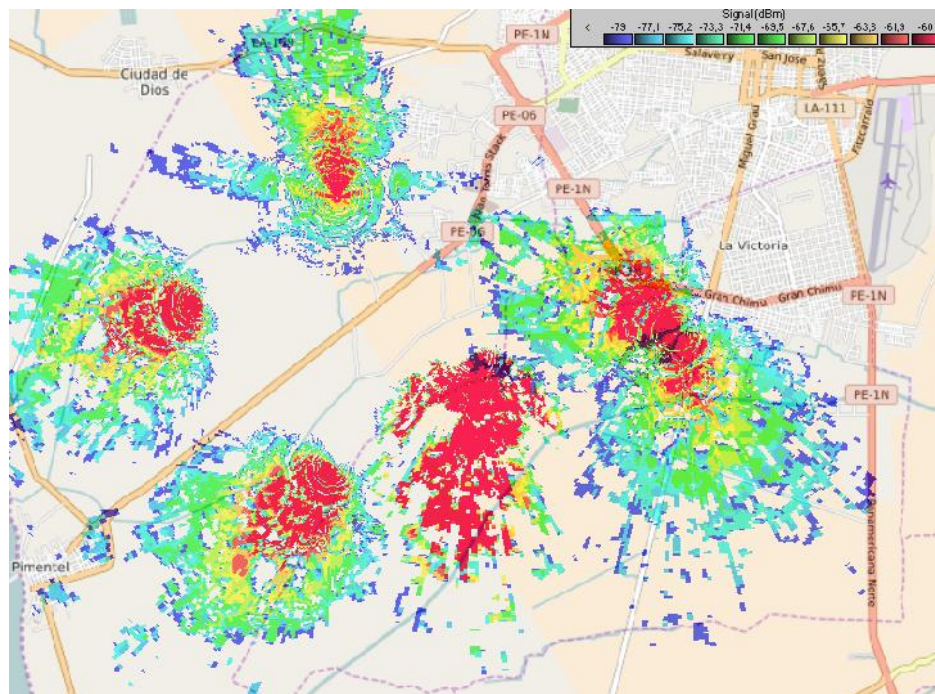


Figura 4.25: Cobertura Localidades Beneficiadas de Pimentel

Capítulo 5

Resultados y Conclusiones

Realizamos ahora un consolidado de los resultados obtenidos, con las especificaciones de los equipos y resultados de pruebas realizadas.

5.1. Red Física Diseñada

En figura 5.1, reproducimos la red, esto corresponde a la red de transporte diseñada, donde se utilizan equipos PTP650 de Cambium Networks.

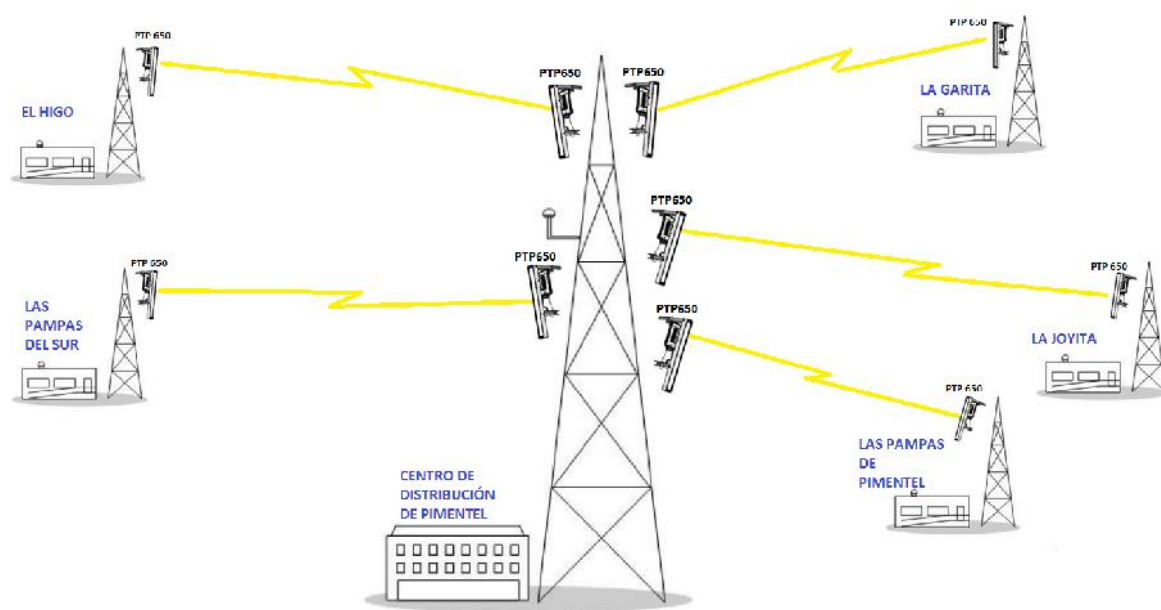


Figura 5.1: Diseño de Red Propuesto

En el caso de las redes de acceso, se resume el resultado como se muestra en la figura 4.11 donde se detalla las localidades con un sector, tales como La Garita, El Higo, La Joyita y las Pampas del Sur, en la figura 4.11 se detalla la Localidad con dos sectores, tal como Las Pampas de Pimentel.

5.1.1. Estudio de Ruta - Test Drive

El Radio Mobile permite realizar una prueba de señal para una determinada ruta establecida previamente. Esto se parece bastante a un test drive que usualmente se

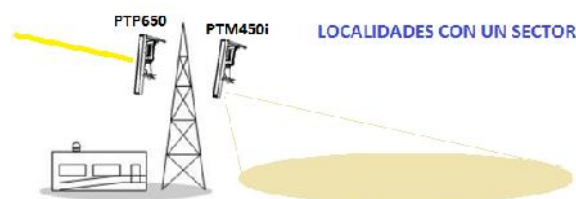


Figura 5.2: Red de Acceso para Localidades con un sector

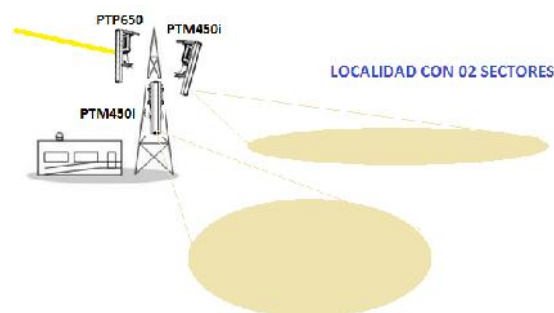
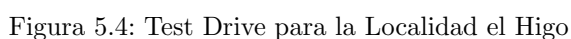


Figura 5.3: Red de Acceso para Localidades con dos sectores

realiza una vez que la red esta construida. En las figura 5.4, se puede observar a la izquierda la ruta seguida y en la derecha el nivel de señal relativo. Entonces en la parte superior se analiza la cobertura en la localidad de El Higo donde se observa que cuando se esta dentro de la localidad El Higo, la ruta, que es la figura de la izquierda parte superior, se colorea de color verde indicando un nivel de señal optimo y en la derecha se observa el nivel relativo también en un color verde y amarillo indicando que esta dentro del rango dado.

5.1.2. Interferencia

Ahora se realiza un estudio de Interferencia, así en la figura 5.5, se observa la interferencia en la localidad de La Joyita, debido a los puntos de acceso de las Localidades de La Garita y de las Pampas de Pimentel. El Color verde indica que dentro de la localidad de la Joyita la relación de potencia de portadora a potencia de señal de interferencia ($\frac{C}{I}$), es mayor a 10dB y los puntos rojos indicaría que no se esta cumpliendo



De la misma forma en la figura 5.6, se muestra que también en la localidad de La Garita no tenemos interferencia, pues dentro de la localidad la relación $\frac{C}{I}$ es mayor a 10dB.

Finalmente se realiza un estudio de interferencia en la localidad de El Higo, debido al punto de acceso ubicado en Las Pampas de Pimentel, la figura 5.7, se puede observar que tampoco existe interferencia apreciable, pues de nuevo la relación $\frac{C}{I}$ es mayor de 10dB, pero existen algunos puntos de color rojo indicando que la relación $\frac{C}{I}$ no se cumple.



Figura 5.5: Interferencia en la Localidad La Joyita

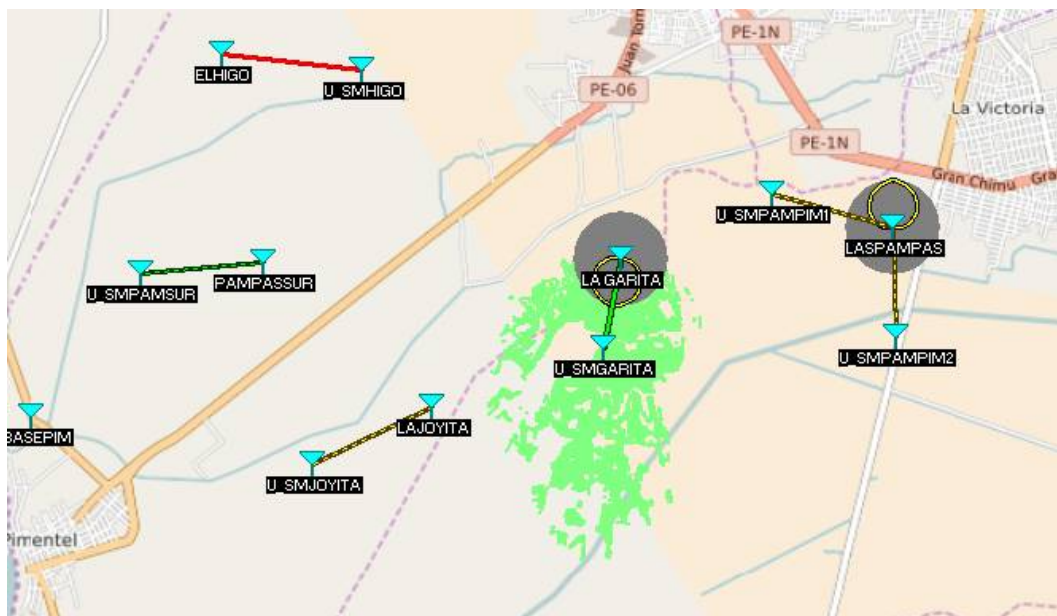


Figura 5.6: Interferencia en la Localidad La Garita



Figura 5.7: Interferencia en la Localidad El Higo

5.2. Conclusiones

Se ha utilizado la tecnología WiMAX y se ha diseñado una red de banda ancha, de alta velocidad y gran capacidad en el distrito de Pimentel. Los equipos utilizados aseguran un alta velocidad y gran capacidad demandada por los potenciales usuarios de las localidades beneficiadas, para lo cual se ha considerado la potencia necesaria de los transmisores, el tipo de modulación que asegure la velocidad de transmisión requerida, el ancho de banda y el nivel de potencia de la señal recibida, con lo cual se ha determinado patrones de cobertura que aseguran satisfacer la demanda proyectada a 10 años.

Adicionalmente se ha asegurado el cumplimiento de los valores establecidos con los estudios de test drive y los estudios de interferencia que aseguran que la configuración elegida es la mas adecuada.

Finalmente y no menos importante, tenemos que muchos trabajos de investigación estiman que una densidad de 10 conexiones a Internet mas per capita en 1996, se hubiera observado un incremento adicional del 0.59 % en la tasa de crecimiento del PBI per capita(Juan Benavides, 2011, pag 42), con lo cual queda demostrado que la disponibilidad de estas tecnologías estimulan el desarrollo económico, educativo y social.

Apéndice I

Datasheet de Equipos

PTP 650

Service providers, government public safety agencies, and critical infrastructure operators such as utilities and energy companies have experienced massive growth in data, voice, and video traffic over the past few years. This growth has imposed large bandwidth demands for reliable and secure broadband connectivity and backhaul worldwide.

Cambium Networks disrupts the performance-reliability continuum with the Cambium Point-to-Point (PTP) 650 Series solution. With up to 450 Mbps aggregate throughput, PTP 650 systems let you reliably and securely handle today's needs with scalability to meet future requirements.

FLEXIBLE, SPECTRALLY-EFFICIENT, SELF-OPTIMIZING SUB-6GHZ SOLUTION

Based on our widely-deployed, field-proven non-line-of-sight (NLOS) technology, PTP 650 wireless Ethernet bridges offer an ideal array of features that give you more capacity, greater operational flexibility, and the highest spectral efficiency in the industry. PTP 650 systems provide 4.9 to 6.05 GHz, multi-band flexibility in a single radio and operate in channel sizes from 5 to 45 MHz.

With Dynamic Spectrum Optimization (DSO), PTP 650 systems are constantly optimizing the channel of operation to maximize link reliability and performance. The systems can provide up to 99.999% availability in virtually any environment, including non-line-of-sight, long-distance line-of-sight, high interference, over water and desert, and through extreme weather conditions. As a result, you can deliver more throughput with less spectrum and less investment in even the most challenging environments

DESIGNED WITH YOU IN MIND

Whether your organization is an enterprise, government agency, or service provider, PTP 650 systems are ideal solutions for a wide array of applications such as T1/E1 and fiber replacements or extensions; video surveillance backhaul; LTE, macro-cell, and small-cell backhaul; lastmile access; disaster recovery; network redundancy; and building-to-building campus connectivity.

FIELD TESTED AND INDUSTRY CERTIFIED

PTP 650 radios meet industry standards with proven compliance to assure you of interoperability, security, and ruggedization.

- FIPS 197 128/256-bit AES encryption
- IEEE 1588v2 and Synchronous Ethernet (SyncE)
- IPv6/IPv4 dual-stack management support
- Ingress Protection rated (IP66/67) protective aluminum radio enclosures
- MEF9 certification



PTP 650 Integrated



PTP 650 Connectorized

Specifications

SPECIFICATION SHEET: PTP 650

| RADIO TECHNOLOGY | |
|-------------------------------------|---|
| MODEL | PTP 50650 |
| RF BANDS ¹ | Wide-band operation 4.9 to 6.05 GHz (Allowable frequencies and bands are dictated by individual country regulations. The most common bands are listed here.) 4.940 – 4.990 GHZ (Public Safety) 5.15 – 5.25 GHZ 5.25 – 5.35 GHZ 5.470 – 5.725 GHZ 5.725 – 5.850 GHZ 5.825 – 6.050 GHZ |
| CHANNEL SIZES | 5, 10, 15, 20, 30, 40, and 45 MHz channels Channel sizes depend on individual country regulations |
| SPECTRAL EFFICIENCY | 10 bps/Hz maximum |
| CHANNEL SELECTION | By Dynamic Spectrum Optimization or manual intervention; automatic selection on start-up and continual self-optimization to avoid interference |
| MAXIMUM TRANSMIT POWER ² | Up to 27 dBm at BPSK; up to 23 dBm at 256 QAM |
| SYSTEM GAIN ² | Integrated: Up to 164 dB with 20 MHz channel and integrated 23 dBi antenna; varies with modulation mode, channel size and spectrum Connectorized: Varies with modulation mode and antenna type |
| RECEIVER SENSITIVITY | -98 dBm with 5 MHz channel |
| MODULATION / ERROR CORRECTION | Fast Preemptive Adaptive Modulation featuring 13 modulation / FEC coding levels ranging from BPSK to 256 QAM dual payload MIMO |
| DUPLEX SCHEME | Time Division Duplex (TDD) Adaptive or fixed transmit/receive duty cycles. Split frequency operation allows separate transmit and receive frequencies where allowed by regulation. Optional TDD synchronization using PTP-SYNC Module |
| ANTENNA | Integrated: Flat panel – 23 dBi Connectorized: Can operate with a selection of separately-purchased single- and dual-polarity antennas through 2 x N-type female connectors (local regulations should be checked prior to purchase) |
| RANGE | Up to 124 miles (200 km) |
| SECURITY | FIPS-197 compliant 128/256-bit AES Encryption (optional) HTTPS and SNMPv3 ³ Identity-based user accounts Configurable password rules User authentication and RADIUS support Event logging and management; optional logging via syslog Disaster recovery and vulnerability management |
| ETHERNET BRIDGING | |
| PROTOCOL | IEEE 802.3 |
| USER DATA THROUGHPUT | Dynamically variable up to 450 Mbps Maximum conditions – 2x2, 45 MHz channel ¹ , 256 QAM Flexible spectral efficiency / capacity licensing model: Lite Capacity: Up to 125 Mbps Mid Capacity: Up to 250 Mbps Full Capacity: Up to 450 Mbps Also available with licenses limiting maximum channel bandwidth |
| LATENCY | 1 – 3 ms one-direction latency |
| QoS | 8 Queues |
| PACKET CLASSIFICATION | Layer 2 and Layer 3 IEEE 802.1p, MPLS, Ethernet priority |
| PACKET PERFORMANCE | Line rate (>850K packets per second) |
| TIMING TRANSPORT | Synchronous Ethernet; IEEE 1588v2 |
| FRAME SUPPORT | Jumbo frame up to 9600 bytes |
| FLEXIBLE I/O | 2 x Gigabit Ethernet copper ports: Gigabit Port 1: Data + PoE power input Gigabit Port 2: 802.3at PoE output port SFP port (single-mode fiber, multi-mode fiber, and copper Gigabit Ethernet options available) |
| T1/E1 TDM SUPPORT | 8 x T1/E1 TDM (Network Indoor Unit (NIDU)) G.823-compliant timing DC power input (compatible with AC+DC Power Injector output) |
| T1/E1 LATENCY (ONE WAY) | 1 to 3 ms typical depending on range, bandwidth, modulation mode and number of T1/E1 ports; accurate T1/E1 latency figures can be determined for any given configuration using the Cambium PTP LINKPlanner |

Specifications

SPECIFICATION SHEET: PTP 650

| MANAGEMENT & INSTALLATION | |
|---------------------------------|--|
| LED INDICATORS | Power status, Ethernet link status, and activity on Extended Range PoE supply |
| NETWORK MANAGEMENT | In-band and out-of-band management (OOBM) |
| SYSTEM MANAGEMENT | IPv6/IPv4 dual-stack management support Web access via browser using HTTP or HTTPS/TLS ³ SNMP v1, v2c and v3, MIB-II and proprietary PTP MIB Cambium Wireless Manager, WM 4.0/SP4 or higher Online spectrum analyzer (no impact on payload traffic or network operation) |
| INSTALLATION | Built-in audio and graphical assistance for link optimization |
| CONNECTION | Distance between outdoor unit and primary network connection: up to 330 feet (100 meters) using Power-over-Gigabit Ethernet; longer distances up to 984 feet (300 meters) can be achieved using fiber interface |
| PHYSICAL | |
| DIMENSIONS | Integrated Outdoor Unit (ODU): Width 371mm (14.6"), Height 371mm (14.6"), Depth 81mm (3.2") Connectorized ODU: Width 204mm (8.0"), Height 318mm (12.5"), Depth 90mm (3.5") |
| WEIGHT | Integrated ODU: 4.1 kg (8.95 lbs) including bracket Connectorized ODU: 3.1 kg (6.8 lbs) including bracket |
| OPERATING TEMPERATURE | -40° to +140° F (-40° to +60° C), including solar radiation |
| DUST-WATER INTRUSION PROTECTION | IP66 and IP67 |
| WIND SPEED SURVIVAL | 200 mph (322 kph) |
| POWER SUPPLY | Two options: AC power injector: 32° to 104° F (0° to +40° C); 35 W; 90-240 VAC, 50/60 Hz Dimensions: Width 5.2" (132mm), Height 1.4" (36mm), Depth 2" (51mm) AC + DC power injector: -40° to 140° F (-40° to +60° C); 70 W; 90-240 VAC, 50/60 Hz Dimensions: Width 9.75" (250 mm), Height 1.5" (40 mm), Depth 3" (80 mm) |
| POWER CONSUMPTION | 30 W maximum (up to 70 W with 802.3at device on auxiliary port) |
| ENVIRONMENTAL & REGULATORY | |
| PROTECTION AND SAFETY | UL60950-1; IEC60950-1; EN60950-1; CSA-C22.2 NO. 60950-1; CB approval for Global |
| RADIO | 4.9 GHz: FCC Part 90Y, RSS-111 5.x GHz: FCC Part 15, sub-parts 15C and 15E; RSS 210 Issue 8; EN 302 502; EN 301 893 Eire ComReg 02/71R1, UK Approval to IR2007 |
| EMC | Europe – EN 301 489-1 and -4 |

¹ Regulatory conditions for RF bands should be confirmed prior to system purchase. All bands use the same hardware.

Individual bands and channel widths are available pending local regulatory approvals and region code licenses.

² Gain, maximum transmit power and effective radiated power may vary based on regulatory domain and region code license.

³ Web access via HTTPS/TLS is available on AES-enabled radios.

Table 84 5.9 GHz IP mode: system threshold per channel bandwidth and output power (P) (dBm)

| Modulation mode | 5 MHz | 10 MHz | 15 MHz | 20 MHz | 30 MHz | 40 MHz | 45 MHz | P (all bands) |
|--------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------------|
| BPSK 0.63 single | -95.8 | -94.3 | -92.5 | -91.3 | -89.5 | -88.3 | -87.8 | 27 |
| QPSK 0.63 single | -92.7 | -91.2 | -89.4 | -88.2 | -86.4 | -85.2 | -84.7 | 26 |
| QPSK 0.87 single | -88.7 | -87.2 | -85.4 | -84.2 | -82.4 | -81.1 | -80.6 | 26 |
| 16QAM 0.63 single | -86.3 | -84.8 | -83.1 | -81.8 | -80.1 | -78.8 | -78.3 | 25 |
| 16QAM 0.63 dual | -82.4 | -80.9 | -79.1 | -77.9 | -76.1 | -74.9 | -74.3 | 25 |
| 16QAM 0.87 single | -81.8 | -80.3 | -78.5 | -77.3 | -75.5 | -74.3 | -73.8 | 25 |
| 16QAM 0.87 dual | -78.7 | -77.2 | -75.5 | -74.2 | -72.4 | -71.2 | -70.7 | 25 |
| 64QAM 0.75 single | -78.7 | -77.2 | -75.4 | -74.2 | -72.4 | -71.2 | -70.7 | 24 |
| 64QAM 0.75 dual | -75.5 | -74.0 | -72.3 | -71.0 | -69.3 | -68.0 | -67.5 | 24 |
| 64QAM 0.92 single | -74.6 | -73.1 | -71.3 | -70.1 | -68.3 | -67.1 | -66.6 | 24 |
| 64 QAM 0.92 dual | -71.2 | -69.7 | -67.9 | -66.7 | -64.9 | -63.7 | -63.2 | 24 |
| 256QAM 0.81 single | -70.9 | -69.4 | -67.7 | -66.4 | -64.7 | -63.4 | -62.9 | 23 |
| 256QAM 0.81 dual | -67.0 | -65.5 | -63.7 | -62.5 | -60.7 | -59.5 | -58.9 | 23 |

Table 85 5.9 GHz IP mode: maximum link loss per channel bandwidth (dB)

| Modulation mode | 5 MHz | 10 MHz | 15 MHz | 20 MHz | 30 MHz | 40 MHz | 45 MHz |
|--------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| BPSK 0.63 single | 168.8 | 167.3 | 165.5 | 164.3 | 162.5 | 161.3 | 160.8 |
| QPSK 0.63 single | 164.7 | 163.2 | 161.4 | 160.2 | 158.4 | 157.2 | 156.7 |
| QPSK 0.87 single | 160.7 | 159.2 | 157.4 | 156.2 | 154.4 | 153.1 | 152.6 |
| 16QAM 0.63 single | 157.3 | 155.8 | 154.1 | 152.8 | 151.1 | 149.8 | 149.3 |
| 16QAM 0.63 dual | 153.4 | 151.9 | 150.1 | 148.9 | 147.1 | 145.9 | 145.3 |
| 16QAM 0.87 single | 152.8 | 151.3 | 149.5 | 148.3 | 146.5 | 145.3 | 144.8 |
| 16QAM 0.87 dual | 149.7 | 148.2 | 146.5 | 145.2 | 143.4 | 142.2 | 141.7 |
| 64QAM 0.75 single | 148.7 | 147.2 | 145.4 | 144.2 | 142.4 | 141.2 | 140.7 |
| 64QAM 0.75 dual | 145.5 | 144.0 | 142.3 | 141.0 | 139.3 | 138.0 | 137.5 |
| 64QAM 0.92 single | 144.6 | 143.1 | 141.3 | 140.1 | 138.3 | 137.1 | 136.6 |
| 64 QAM 0.92 dual | 141.2 | 139.7 | 137.9 | 136.7 | 134.9 | 133.7 | 133.2 |
| 256QAM 0.81 single | 139.9 | 138.4 | 136.7 | 135.4 | 133.7 | 132.4 | 131.9 |
| 256QAM 0.81 dual | 136.0 | 134.5 | 132.7 | 131.5 | 129.7 | 128.5 | 127.9 |

Table 88 Throughput at zero link range (Mbit/s), Full, symmetry 1:1, optimization IP

| Modulation mode | 45 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | | 40 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | |
|--------------------|--------------------------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|
| 256QAM 0.81 dual | 226.1 | 226.1 | 452.2 | 206.3 | 206.3 | 412.6 |
| 64QAM 0.92 dual | 190.5 | 190.5 | 381.0 | 173.8 | 173.8 | 347.6 |
| 64QAM 0.75 dual | 155.7 | 155.7 | 311.3 | 142.0 | 142.0 | 284.1 |
| 16QAM 0.87 dual | 121.1 | 121.1 | 242.2 | 110.5 | 110.5 | 221.0 |
| 16QAM 0.63 dual | 87.1 | 87.1 | 174.1 | 79.4 | 79.4 | 158.9 |
| 256QAM 0.81 single | 113.0 | 113.0 | 226.1 | 103.1 | 103.1 | 206.3 |
| 64QAM 0.92 single | 95.2 | 95.2 | 190.5 | 86.9 | 86.9 | 173.8 |
| 64QAM 0.75 single | 77.8 | 77.8 | 155.7 | 71.0 | 71.0 | 142.0 |
| 16QAM 0.87 single | 60.5 | 60.5 | 121.1 | 55.2 | 55.2 | 110.5 |
| 16QAM 0.63 single | 43.5 | 43.5 | 87.0 | 39.7 | 39.7 | 79.4 |
| QPSK 0.87 single | 30.3 | 30.3 | 60.5 | 27.6 | 27.6 | 55.2 |
| QPSK 0.63 single | 21.8 | 21.8 | 43.5 | 19.9 | 19.9 | 39.7 |
| BPSK 0.63 single | 10.9 | 10.9 | 21.8 | 9.9 | 9.9 | 19.9 |

| Modulation mode | 30 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | | 20 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | |
|--------------------|--------------------------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|
| 256QAM 0.81 dual | 151.1 | 151.1 | 302.2 | 100.0 | 100.0 | 200.1 |
| 64QAM 0.92 dual | 127.3 | 127.3 | 254.6 | 84.3 | 84.3 | 168.6 |
| 64QAM 0.75 dual | 104.0 | 104.0 | 208.1 | 68.9 | 68.9 | 137.8 |
| 16QAM 0.87 dual | 80.9 | 80.9 | 161.9 | 53.6 | 53.6 | 107.2 |
| 16QAM 0.63 dual | 58.2 | 58.2 | 116.4 | 38.5 | 38.5 | 77.0 |
| 256QAM 0.81 single | 75.5 | 75.5 | 151.1 | 50.0 | 50.0 | 100.0 |
| 64QAM 0.92 single | 63.7 | 63.7 | 127.3 | 42.1 | 42.1 | 84.3 |
| 64QAM 0.75 single | 52.0 | 52.0 | 104.0 | 34.4 | 34.4 | 68.9 |
| 16QAM 0.87 single | 40.5 | 40.5 | 80.9 | 26.8 | 26.8 | 53.6 |
| 16QAM 0.63 single | 29.1 | 29.1 | 58.2 | 19.3 | 19.3 | 38.5 |
| QPSK 0.87 single | 20.2 | 20.2 | 40.5 | 13.4 | 13.4 | 26.8 |
| QPSK 0.63 single | 14.5 | 14.5 | 29.1 | 9.6 | 9.6 | 19.3 |
| BPSK 0.63 single | 7.3 | 7.3 | 14.5 | 4.8 | 4.8 | 9.6 |

| Modulation mode | 15 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | | 10 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | |
|--------------------|--------------------------|------|-------|--------------------------|------|-------|
| 256QAM 0.81 dual | 75.4 | 75.4 | 150.7 | 50.1 | 50.1 | 100.2 |
| 64QAM 0.92 dual | 63.5 | 63.5 | 127.0 | 42.2 | 42.2 | 84.4 |
| 64QAM 0.75 dual | 51.9 | 51.9 | 103.8 | 34.5 | 34.5 | 69.0 |
| 16QAM 0.87 dual | 40.4 | 40.4 | 80.7 | 26.8 | 26.8 | 53.7 |
| 16QAM 0.63 dual | 29.0 | 29.0 | 58.0 | 19.3 | 19.3 | 38.6 |
| 256QAM 0.81 single | 37.7 | 37.7 | 75.4 | 25.0 | 25.0 | 50.1 |
| 64QAM 0.92 single | 31.7 | 31.7 | 63.5 | 21.1 | 21.1 | 42.2 |
| 64QAM 0.75 single | 25.9 | 25.9 | 51.9 | 17.2 | 17.2 | 34.5 |
| 16QAM 0.87 single | 20.2 | 20.2 | 40.4 | 13.4 | 13.4 | 26.8 |
| 16QAM 0.63 single | 14.5 | 14.5 | 29.0 | 9.6 | 9.6 | 19.3 |
| QPSK 0.87 single | 10.1 | 10.1 | 20.2 | 6.7 | 6.7 | 13.4 |
| QPSK 0.63 single | 7.3 | 7.3 | 14.5 | 4.8 | 4.8 | 9.6 |
| BPSK 0.63 single | 3.6 | 3.6 | 7.2 | 2.4 | 2.4 | 4.8 |

| Modulation mode | 5 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | |
|--------------------|-------------------------|------|------|
| 256QAM 0.81 dual | 24.2 | 24.2 | 48.4 |
| 64QAM 0.92 dual | 20.4 | 20.4 | 40.8 |
| 64QAM 0.75 dual | 16.7 | 16.7 | 33.3 |
| 16QAM 0.87 dual | 13.0 | 13.0 | 25.9 |
| 16QAM 0.63 dual | 9.3 | 9.3 | 18.6 |
| 256QAM 0.81 single | 12.1 | 12.1 | 24.2 |
| 64QAM 0.92 single | 10.2 | 10.2 | 20.4 |
| 64QAM 0.75 single | 8.3 | 8.3 | 16.7 |
| 16QAM 0.87 single | 6.5 | 6.5 | 13.0 |
| 16QAM 0.63 single | 4.7 | 4.7 | 9.3 |
| QPSK 0.87 single | 3.2 | 3.2 | 6.5 |
| QPSK 0.63 single | 2.3 | 2.3 | 4.7 |
| BPSK 0.63 single | 1.2 | 1.2 | 2.3 |

Table 89 Throughput at zero link range (Mbit/s), Full, symmetry 1:1, optimization TDM

| Modulation mode | 45 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | | 40 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | |
|--------------------|--------------------------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|
| 256QAM 0.81 dual | 202.1 | 202.1 | 404.1 | 186.1 | 186.1 | 372.1 |
| 64QAM 0.92 dual | 170.2 | 170.2 | 340.5 | 156.8 | 156.8 | 313.5 |
| 64QAM 0.75 dual | 139.1 | 139.1 | 278.2 | 128.1 | 128.1 | 256.2 |
| 16QAM 0.87 dual | 108.2 | 108.2 | 216.5 | 99.7 | 99.7 | 199.3 |
| 16QAM 0.63 dual | 77.8 | 77.8 | 155.6 | 71.6 | 71.6 | 143.3 |
| 256QAM 0.81 single | 101.0 | 101.0 | 202.1 | 93.0 | 93.0 | 186.1 |
| 64QAM 0.92 single | 85.1 | 85.1 | 170.2 | 78.4 | 78.4 | 156.8 |
| 64QAM 0.75 single | 69.6 | 69.6 | 139.1 | 64.0 | 64.0 | 128.1 |
| 16QAM 0.87 single | 54.1 | 54.1 | 108.2 | 49.8 | 49.8 | 99.7 |
| 16QAM 0.63 single | 38.9 | 38.9 | 77.8 | 35.8 | 35.8 | 71.6 |
| QPSK 0.87 single | 27.1 | 27.1 | 54.1 | 24.9 | 24.9 | 49.8 |
| QPSK 0.63 single | 19.4 | 19.4 | 38.9 | 17.9 | 17.9 | 35.8 |
| BPSK 0.63 single | 9.7 | 9.7 | 19.4 | 9.0 | 9.0 | 17.9 |

| Modulation mode | 30 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | | 20 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | |
|--------------------|--------------------------|-------|-------|--------------------------|------|-------|
| 256QAM 0.81 dual | 140.9 | 140.9 | 281.7 | 96.0 | 96.0 | 192.0 |
| 64QAM 0.92 dual | 118.7 | 118.7 | 237.4 | 80.9 | 80.9 | 161.7 |
| 64QAM 0.75 dual | 97.0 | 97.0 | 194.0 | 66.1 | 66.1 | 132.2 |
| 16QAM 0.87 dual | 75.5 | 75.5 | 150.9 | 51.4 | 51.4 | 102.8 |
| 16QAM 0.63 dual | 54.2 | 54.2 | 108.5 | 37.0 | 37.0 | 73.9 |
| 256QAM 0.81 single | 70.4 | 70.4 | 140.9 | 48.0 | 48.0 | 96.0 |
| 64QAM 0.92 single | 59.3 | 59.3 | 118.7 | 40.4 | 40.4 | 80.9 |
| 64QAM 0.75 single | 48.5 | 48.5 | 97.0 | 33.0 | 33.0 | 66.1 |
| 16QAM 0.87 single | 37.7 | 37.7 | 75.4 | 25.7 | 25.7 | 51.4 |
| 16QAM 0.63 single | 27.1 | 27.1 | 54.2 | 18.5 | 18.5 | 37.0 |
| QPSK 0.87 single | 18.9 | 18.9 | 37.7 | 12.8 | 12.8 | 25.7 |
| QPSK 0.63 single | 13.6 | 13.6 | 27.1 | 9.2 | 9.2 | 18.5 |
| BPSK 0.63 single | 6.8 | 6.8 | 13.6 | 4.6 | 4.6 | 9.2 |

| Modulation mode | 15 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | | 10 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | |
|--------------------|--------------------------|------|-------|--------------------------|------|------|
| 256QAM 0.81 dual | 72.9 | 72.9 | 145.8 | 49.1 | 49.1 | 98.2 |
| 64QAM 0.92 dual | 61.4 | 61.4 | 122.8 | 41.4 | 41.4 | 82.8 |
| 64QAM 0.75 dual | 50.2 | 50.2 | 100.4 | 33.8 | 33.8 | 67.6 |
| 16QAM 0.87 dual | 39.0 | 39.0 | 78.1 | 26.3 | 26.3 | 52.6 |
| 16QAM 0.63 dual | 28.1 | 28.1 | 56.1 | 18.9 | 18.9 | 37.8 |
| 256QAM 0.81 single | 36.4 | 36.4 | 72.9 | 24.6 | 24.6 | 49.1 |
| 64QAM 0.92 single | 30.7 | 30.7 | 61.4 | 20.7 | 20.7 | 41.4 |
| 64QAM 0.75 single | 25.1 | 25.1 | 50.2 | 16.9 | 16.9 | 33.8 |
| 16QAM 0.87 single | 19.5 | 19.5 | 39.0 | 13.2 | 13.2 | 26.3 |
| 16QAM 0.63 single | 14.0 | 14.0 | 28.1 | 9.5 | 9.5 | 18.9 |
| QPSK 0.87 single | 9.8 | 9.8 | 19.5 | 6.6 | 6.6 | 13.1 |
| QPSK 0.63 single | 7.0 | 7.0 | 14.0 | 4.7 | 4.7 | 9.5 |
| BPSK 0.63 single | 3.5 | 3.5 | 7.0 | 2.4 | 2.4 | 4.7 |

| Modulation mode | 5 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | |
|--------------------|-------------------------|------|------|
| 256QAM 0.81 dual | 24.2 | 24.2 | 48.4 |
| 64QAM 0.92 dual | 20.4 | 20.4 | 40.8 |
| 64QAM 0.75 dual | 16.7 | 16.7 | 33.3 |
| 16QAM 0.87 dual | 13.0 | 13.0 | 25.9 |
| 16QAM 0.63 dual | 9.3 | 9.3 | 18.6 |
| 256QAM 0.81 single | 12.1 | 12.1 | 24.2 |
| 64QAM 0.92 single | 10.2 | 10.2 | 20.4 |
| 64QAM 0.75 single | 8.3 | 8.3 | 16.7 |
| 16QAM 0.87 single | 6.5 | 6.5 | 13.0 |
| 16QAM 0.63 single | 4.7 | 4.7 | 9.3 |
| QPSK 0.87 single | 3.2 | 3.2 | 6.5 |
| QPSK 0.63 single | 2.3 | 2.3 | 4.7 |
| BPSK 0.63 single | 1.2 | 1.2 | 2.3 |

Table 90 Throughput at zero link range (Mbit/s), Full, symmetry 2:1, optimization IP

| Modulation mode | 45 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | | 40 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | |
|--------------------|--------------------------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|
| 256QAM 0.81 dual | 299.7 | 149.9 | 449.6 | 273.6 | 136.8 | 410.5 |
| 64QAM 0.92 dual | 252.5 | 126.3 | 378.8 | 230.5 | 115.3 | 345.8 |
| 64QAM 0.75 dual | 206.4 | 103.2 | 309.6 | 188.4 | 94.2 | 282.6 |
| 16QAM 0.87 dual | 160.6 | 80.3 | 240.8 | 146.6 | 73.3 | 219.8 |
| 16QAM 0.63 dual | 115.4 | 57.7 | 173.1 | 105.4 | 52.7 | 158.0 |
| 256QAM 0.81 single | 149.9 | 74.9 | 224.8 | 136.8 | 68.4 | 205.2 |
| 64QAM 0.92 single | 126.3 | 63.1 | 189.4 | 115.3 | 57.6 | 172.9 |
| 64QAM 0.75 single | 103.2 | 51.6 | 154.8 | 94.2 | 47.1 | 141.3 |
| 16QAM 0.87 single | 80.3 | 40.1 | 120.4 | 73.3 | 36.6 | 109.9 |
| 16QAM 0.63 single | 57.7 | 28.9 | 86.6 | 52.7 | 26.3 | 79.0 |
| QPSK 0.87 single | 40.1 | 20.1 | 60.2 | 36.6 | 18.3 | 55.0 |
| QPSK 0.63 single | 28.9 | 14.4 | 43.3 | 26.3 | 13.2 | 39.5 |
| BPSK 0.63 single | 14.4 | 7.2 | 21.6 | 13.2 | 6.6 | 19.7 |

| Modulation mode | 30 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | | 20 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | |
|--------------------|--------------------------|-------|-------|--------------------------|------|-------|
| 256QAM 0.81 dual | 200.5 | 100.2 | 300.7 | 133.4 | 66.7 | 200.1 |
| 64QAM 0.92 dual | 168.9 | 84.5 | 253.4 | 112.4 | 56.2 | 168.6 |
| 64QAM 0.75 dual | 138.0 | 69.0 | 207.1 | 91.8 | 45.9 | 137.8 |
| 16QAM 0.87 dual | 107.4 | 53.7 | 161.1 | 71.5 | 35.7 | 107.2 |
| 16QAM 0.63 dual | 77.2 | 38.6 | 115.8 | 51.4 | 25.7 | 77.0 |
| 256QAM 0.81 single | 100.2 | 50.1 | 150.4 | 66.7 | 33.3 | 100.0 |
| 64QAM 0.92 single | 84.5 | 42.2 | 126.7 | 56.2 | 28.1 | 84.3 |
| 64QAM 0.75 single | 69.0 | 34.5 | 103.5 | 45.9 | 23.0 | 68.9 |
| 16QAM 0.87 single | 53.7 | 26.8 | 80.5 | 35.7 | 17.9 | 53.6 |
| 16QAM 0.63 single | 38.6 | 19.3 | 57.9 | 25.7 | 12.8 | 38.5 |
| QPSK 0.87 single | 26.8 | 13.4 | 40.3 | 17.9 | 8.9 | 26.8 |
| QPSK 0.63 single | 19.3 | 9.6 | 28.9 | 12.8 | 6.4 | 19.3 |
| BPSK 0.63 single | 9.6 | 4.8 | 14.5 | 6.4 | 3.2 | 9.6 |

| Modulation mode | 15 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | | 10 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | |
|--------------------|--------------------------|------|-------|--------------------------|------|------|
| 256QAM 0.81 dual | 100.5 | 50.2 | 150.7 | 66.3 | 33.2 | 99.5 |
| 64QAM 0.92 dual | 84.7 | 42.3 | 127.0 | 55.9 | 27.9 | 83.8 |
| 64QAM 0.75 dual | 69.2 | 34.6 | 103.8 | 45.7 | 22.8 | 68.5 |
| 16QAM 0.87 dual | 53.8 | 26.9 | 80.7 | 35.5 | 17.8 | 53.3 |
| 16QAM 0.63 dual | 38.7 | 19.3 | 58.0 | 25.5 | 12.8 | 38.3 |
| 256QAM 0.81 single | 50.2 | 25.1 | 75.4 | 33.2 | 16.6 | 49.8 |
| 64QAM 0.92 single | 42.3 | 21.2 | 63.5 | 27.9 | 14.0 | 41.9 |
| 64QAM 0.75 single | 34.6 | 17.3 | 51.9 | 22.8 | 11.4 | 34.3 |
| 16QAM 0.87 single | 26.9 | 13.5 | 40.4 | 17.8 | 8.9 | 26.6 |
| 16QAM 0.63 single | 19.3 | 9.7 | 29.0 | 12.8 | 6.4 | 19.2 |
| QPSK 0.87 single | 13.5 | 6.7 | 20.2 | 8.9 | 4.4 | 13.3 |
| QPSK 0.63 single | 9.7 | 4.8 | 14.5 | 6.4 | 3.2 | 9.6 |
| BPSK 0.63 single | 4.8 | 2.4 | 7.2 | 3.2 | 1.6 | 4.8 |

Table 91 Throughput at zero link range (Mbit/s), Full, symmetry 2:1, optimization TDM

| Modulation mode | 45 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | | 40 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | |
|--------------------|--------------------------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|
| 256QAM 0.81 dual | 280.8 | 140.4 | 421.2 | 257.7 | 128.9 | 386.6 |
| 64QAM 0.92 dual | 236.6 | 118.3 | 354.8 | 217.1 | 108.6 | 325.7 |
| 64QAM 0.75 dual | 193.3 | 96.7 | 290.0 | 177.4 | 88.7 | 266.1 |
| 16QAM 0.87 dual | 150.4 | 75.2 | 225.6 | 138.0 | 69.0 | 207.1 |
| 16QAM 0.63 dual | 108.1 | 54.1 | 162.2 | 99.2 | 49.6 | 148.8 |
| 256QAM 0.81 single | 140.4 | 70.2 | 210.6 | 128.9 | 64.4 | 193.3 |
| 64QAM 0.92 single | 118.3 | 59.1 | 177.4 | 108.6 | 54.3 | 162.8 |
| 64QAM 0.75 single | 96.7 | 48.3 | 145.0 | 88.7 | 44.4 | 133.1 |
| 16QAM 0.87 single | 75.2 | 37.6 | 112.8 | 69.0 | 34.5 | 103.5 |
| 16QAM 0.63 single | 54.1 | 27.0 | 81.1 | 49.6 | 24.8 | 74.4 |
| QPSK 0.87 single | 37.6 | 18.8 | 56.4 | 34.5 | 17.3 | 51.8 |
| QPSK 0.63 single | 27.0 | 13.5 | 40.5 | 24.8 | 12.4 | 37.2 |
| BPSK 0.63 single | 13.5 | 6.8 | 20.3 | 12.4 | 6.2 | 18.6 |

| Modulation mode | 30 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | | 20 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | |
|--------------------|--------------------------|------|-------|--------------------------|------|-------|
| 256QAM 0.81 dual | 193.1 | 96.5 | 289.6 | 130.6 | 65.3 | 195.9 |
| 64QAM 0.92 dual | 162.7 | 81.3 | 244.0 | 110.1 | 55.0 | 165.1 |
| 64QAM 0.75 dual | 132.9 | 66.5 | 199.4 | 89.9 | 45.0 | 134.9 |
| 16QAM 0.87 dual | 103.4 | 51.7 | 155.1 | 70.0 | 35.0 | 104.9 |
| 16QAM 0.63 dual | 74.3 | 37.2 | 111.5 | 50.3 | 25.1 | 75.4 |
| 256QAM 0.81 single | 96.5 | 48.3 | 144.8 | 65.3 | 32.7 | 98.0 |
| 64QAM 0.92 single | 81.3 | 40.7 | 122.0 | 55.0 | 27.5 | 82.5 |
| 64QAM 0.75 single | 66.5 | 33.2 | 99.7 | 45.0 | 22.5 | 67.4 |
| 16QAM 0.87 single | 51.7 | 25.8 | 77.5 | 35.0 | 17.5 | 52.5 |
| 16QAM 0.63 single | 37.2 | 18.6 | 55.7 | 25.1 | 12.6 | 37.7 |
| QPSK 0.87 single | 25.8 | 12.9 | 38.8 | 17.5 | 8.7 | 26.2 |
| QPSK 0.63 single | 18.6 | 9.3 | 27.9 | 12.6 | 6.3 | 18.9 |
| BPSK 0.63 single | 9.3 | 4.6 | 13.9 | 6.3 | 3.1 | 9.4 |

| Modulation mode | 15 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | | 10 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | |
|--------------------|--------------------------|------|-------|--------------------------|------|------|
| 256QAM 0.81 dual | 98.8 | 49.4 | 148.2 | 66.3 | 33.2 | 99.5 |
| 64QAM 0.92 dual | 83.2 | 41.6 | 124.9 | 55.9 | 27.9 | 83.8 |
| 64QAM 0.75 dual | 68.0 | 34.0 | 102.0 | 45.7 | 22.8 | 68.5 |
| 16QAM 0.87 dual | 52.9 | 26.5 | 79.4 | 35.5 | 17.8 | 53.3 |
| 16QAM 0.63 dual | 38.0 | 19.0 | 57.1 | 25.5 | 12.8 | 38.3 |
| 256QAM 0.81 single | 49.4 | 24.7 | 74.1 | 33.2 | 16.6 | 49.8 |
| 64QAM 0.92 single | 41.6 | 20.8 | 62.4 | 27.9 | 14.0 | 41.9 |
| 64QAM 0.75 single | 34.0 | 17.0 | 51.0 | 22.8 | 11.4 | 34.3 |
| 16QAM 0.87 single | 26.5 | 13.2 | 39.7 | 17.8 | 8.9 | 26.6 |
| 16QAM 0.63 single | 19.0 | 9.5 | 28.5 | 12.8 | 6.4 | 19.2 |
| QPSK 0.87 single | 13.2 | 6.6 | 19.8 | 8.9 | 4.4 | 13.3 |
| QPSK 0.63 single | 9.5 | 4.8 | 14.3 | 6.4 | 3.2 | 9.6 |
| BPSK 0.63 single | 4.8 | 2.4 | 7.1 | 3.2 | 1.6 | 4.8 |

Table 92 Throughput at zero link range (Mbit/s), Full, symmetry 3:1, optimization IP

| Modulation mode | 45 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | | 40 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | |
|--------------------|--------------------------|--------|--------|--------------------------|--------|--------|
| 256QAM 0.81 dual | 337.21 | 112.40 | 449.62 | 307.87 | 102.62 | 410.49 |
| 64QAM 0.92 dual | 284.11 | 94.70 | 378.81 | 259.39 | 86.46 | 345.85 |
| 64QAM 0.75 dual | 232.17 | 77.39 | 309.56 | 211.97 | 70.66 | 282.63 |
| 16QAM 0.87 dual | 180.62 | 60.21 | 240.83 | 164.90 | 54.97 | 219.87 |
| 16QAM 0.63 dual | 129.84 | 43.28 | 173.12 | 118.55 | 39.51 | 158.06 |
| 256QAM 0.81 single | 168.60 | 56.20 | 224.80 | 153.93 | 51.31 | 205.24 |
| 64QAM 0.92 single | 142.05 | 47.35 | 189.40 | 129.69 | 43.23 | 172.92 |
| 64QAM 0.75 single | 116.08 | 38.69 | 154.78 | 105.98 | 35.33 | 141.31 |
| 16QAM 0.87 single | 90.31 | 30.10 | 120.41 | 82.45 | 27.48 | 109.93 |
| 16QAM 0.63 single | 64.92 | 21.64 | 86.56 | 59.27 | 19.76 | 79.03 |
| QPSK 0.87 single | 45.15 | 15.05 | 60.20 | 41.22 | 13.74 | 54.96 |
| QPSK 0.63 single | 32.46 | 10.82 | 43.27 | 29.63 | 9.88 | 39.51 |
| BPSK 0.63 single | 16.23 | 5.41 | 21.63 | 14.81 | 4.94 | 19.75 |

| Modulation mode | 30 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | | 20 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | |
|--------------------|--------------------------|-------|--------|--------------------------|-------|--------|
| 256QAM 0.81 dual | 225.01 | 75.00 | 300.02 | 148.50 | 49.50 | 198.00 |
| 64QAM 0.92 dual | 189.58 | 63.19 | 252.77 | 125.11 | 41.70 | 166.82 |
| 64QAM 0.75 dual | 154.92 | 51.64 | 206.56 | 102.24 | 34.08 | 136.32 |
| 16QAM 0.87 dual | 120.52 | 40.17 | 160.70 | 79.54 | 26.51 | 106.05 |
| 16QAM 0.63 dual | 86.64 | 28.88 | 115.52 | 57.18 | 19.06 | 76.24 |
| 256QAM 0.81 single | 112.51 | 37.50 | 150.01 | 74.25 | 24.75 | 98.99 |
| 64QAM 0.92 single | 94.79 | 31.60 | 126.38 | 62.56 | 20.85 | 83.41 |
| 64QAM 0.75 single | 77.46 | 25.82 | 103.28 | 51.12 | 17.04 | 68.16 |
| 16QAM 0.87 single | 60.26 | 20.09 | 80.34 | 39.77 | 13.25 | 53.02 |
| 16QAM 0.63 single | 43.32 | 14.44 | 57.76 | 28.59 | 9.53 | 38.12 |
| QPSK 0.87 single | 30.13 | 10.04 | 40.17 | 19.88 | 6.63 | 26.51 |
| QPSK 0.63 single | 21.66 | 7.22 | 28.88 | 14.29 | 4.76 | 19.05 |
| BPSK 0.63 single | 10.83 | 3.61 | 14.43 | 7.14 | 2.38 | 9.52 |

| Modulation mode | 15 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | | 10 MHz (Tx/Rx/Aggregate) | | |
|--------------------|--------------------------|-------|--------|--------------------------|-------|--------|
| 256QAM 0.81 dual | 112.09 | 37.36 | 149.45 | 75.14 | 25.04 | 100.18 |
| 64QAM 0.92 dual | 94.44 | 31.48 | 125.91 | 63.30 | 21.10 | 84.40 |
| 64QAM 0.75 dual | 77.17 | 25.72 | 102.89 | 51.73 | 17.24 | 68.97 |
| 16QAM 0.87 dual | 60.04 | 20.01 | 80.05 | 40.24 | 13.41 | 53.66 |
| 16QAM 0.63 dual | 43.16 | 14.38 | 57.54 | 28.93 | 9.64 | 38.57 |
| 256QAM 0.81 single | 56.04 | 18.68 | 74.72 | 37.57 | 12.52 | 50.09 |
| 64QAM 0.92 single | 47.22 | 15.74 | 62.95 | 31.65 | 10.55 | 42.20 |
| 64QAM 0.75 single | 38.58 | 12.86 | 51.44 | 25.86 | 8.62 | 34.48 |
| 16QAM 0.87 single | 30.02 | 10.00 | 40.02 | 20.12 | 6.71 | 26.83 |
| 16QAM 0.63 single | 21.58 | 7.19 | 28.77 | 14.46 | 4.82 | 19.28 |
| QPSK 0.87 single | 15.01 | 5.00 | 20.01 | 10.06 | 3.35 | 13.41 |
| QPSK 0.63 single | 10.79 | 3.59 | 14.38 | 7.23 | 2.41 | 9.64 |
| BPSK 0.63 single | 5.39 | 1.80 | 7.19 | 3.61 | 1.20 | 4.82 |

Table 44 Link budget details – 5.8GHz PMP 450 AP and PMP 430 SM link, 10MHz Channel Bandwidth

| Product | Parameter | | Range Details | | |
|--------------------------|--|--|--------------------|--------------------|-------------------|
| | | | 1x | 2x | 3x |
| PMP 450 AP PMP 430 SM | Modulation | | QPSK-SISO | 16-QAM-SISO | 64-QAM-SISO |
| | 5.8GHz Max. LOS Link Budget (no fade margin) | with Integrated SM antenna | 12.4 mi / 19.84 km | 6.2 mi / 9.92 km | 2.4 mi / 3.84 km |
| | | with CLIP that adds 9 dB to SM capability | 31.2 mi / 49.92 km | 15.6 mi / 24.96 km | 6 mi / 9.6 km |
| | | with LENS that adds 5 dB to SM capability | 24.8 mi / 39.68 km | 12.4 mi / 19.84 km | 4.8 mi / 7.68 km |
| | | with Reflector Dish that adds 14 dB to SM capability | 40 mi / 64 km | 35 mi / 56 km | 13.5 mi / 21.6 km |
| | 5.8GHz Max. nLOS Link Budget (additional 5 dB link loss) | with Integrated SM antenna | 7 mi / 11.2 km | 3.5 mi / 5.6 km | 1.3 mi / 2.08 km |
| | | with CLIP that adds 9 dB to SM capability | 17.5 mi / 28 km | 8.8 mi / 14.08 km | 3.4 mi / 5.44 km |
| | | with LENS that adds 5 dB to SM capability | 13.9 mi / 22.24 km | 7 mi / 11.2 km | 2.7 mi / 4.32 km |
| | | with Reflector Dish that adds 14 dB to SM capability | 39.3 mi / 62.88 km | 19.7 mi / 31.52 km | 7.6 mi / 12.16 km |
| | 5.8GHz Max. NLOS1 Link Budget (additional 15 dB link loss) | with Integrated SM antenna | 2.2 mi / 3.52 km | 1.1 mi / 1.76 km | 0.4 mi / 0.64 km |
| | | with CLIP that adds 9 dB to SM capability | 5.5 mi / 8.8 km | 2.8 mi / 4.48 km | 1.1 mi / 1.76 km |
| | | with LENS that adds 5 dB to SM capability | 4.4 mi / 7.04 km | 2.2 mi / 3.52 km | 0.8 mi / 1.28 km |
| | | with Reflector Dish that adds 14 dB to SM capability | 12.4 mi / 19.84 km | 6.2 mi / 9.92 km | 2.4 mi / 3.84 km |
| | 5.8GHz Max. NLOS2 Link Budget (additional 25 dB link loss) | with Integrated SM antenna | 0.7 mi / 1.12 km | 0.4 mi / 0.64 km | 0.1 mi / 0.16 km |
| | | with CLIP that adds 9 dB to SM capability | 1.8 mi / 2.88 km | 0.9 mi / 1.44 km | 0.3 mi / 0.48 km |
| | | with LENS that adds 5 dB to SM capability | 1.4 mi / 2.24 km | 0.7 mi / 1.12 km | 0.3 mi / 0.48 km |
| | | with Reflector Dish that adds 14 dB to SM capability | 3.9 mi / 6.24 km | 2 mi / 3.2 km | 0.8 mi / 1.28 km |

Table 45 Link budget details – 5.8GHz PMP 450 AP and PMP 430 SM link, 5MHz Channel Bandwidth

| Product | Parameter | | Range Details | | |
|--------------------------|--|--|--------------------|--------------------|-------------------|
| | | | 1x | 2x | 3x |
| PMP 450 AP PMP 430 SM | Modulation | | QPSK-SISO | 16-QAM-SISO | 64-QAM-SISO |
| | 5.8GHz Max. LOS Link Budget (no fade margin) | with Integrated SM antenna | 19.1 mi / 30.56 km | 7.6 mi / 12.16 km | 3 mi / 4.8 km |
| | | with CLIP that adds 9 dB to SM capability | 40 mi / 64 km | 19.1 mi / 30.56 km | 7.6 mi / 12.16 km |
| | | with LENS that adds 5 dB to SM capability | 38.2 mi / 61.12 km | 15.2 mi / 24.32 km | 6 mi / 9.6 km |
| | | with Reflector Dish that adds 14 dB to SM capability | 40 mi / 64 km | 40 mi / 64 km | 17 mi / 27.2 km |
| | 5.8GHz Max. nLOS Link Budget (additional 5 dB link loss) | with Integrated SM antenna | 10.8 mi / 17.28 km | 4.3 mi / 6.88 km | 1.7 mi / 2.72 km |
| | | with CLIP that adds 9 dB to SM capability | 27 mi / 43.2 km | 10.8 mi / 17.28 km | 4.3 mi / 6.88 km |
| | | with LENS that adds 5 dB to SM capability | 21.5 mi / 34.4 km | 8.5 mi / 13.6 km | 3.4 mi / 5.44 km |
| | | with Reflector Dish that adds 14 dB to SM capability | 40 mi / 64 km | 24.1 mi / 38.56 km | 9.6 mi / 15.36 km |
| | 5.8GHz Max. NLOS1 Link Budget (additional 15 dB link loss) | with Integrated SM antenna | 3.4 mi / 5.44 km | 1.4 mi / 2.24 km | 0.5 mi / 0.8 km |
| | | with CLIP that adds 9 dB to SM capability | 8.5 mi / 13.6 km | 3.4 mi / 5.44 km | 1.4 mi / 2.24 km |
| | | with LENS that adds 5 dB to SM capability | 6.8 mi / 10.88 km | 2.7 mi / 4.32 km | 1.1 mi / 1.76 km |
| | | with Reflector Dish that adds 14 dB to SM capability | 19.1 mi / 30.56 km | 7.6 mi / 12.16 km | 3 mi / 4.8 km |
| | 5.8GHz Max. NLOS2 Link Budget (additional 25 dB link loss) | with Integrated SM antenna | 1.1 mi / 1.76 km | 0.4 mi / 0.64 km | 0.2 mi / 0.32 km |
| | | with CLIP that adds 9 dB to SM capability | 2.7 mi / 4.32 km | 1.1 mi / 1.76 km | 0.4 mi / 0.64 km |
| | | with LENS that adds 5 dB to SM capability | 2.1 mi / 3.36 km | 0.9 mi / 1.44 km | 0.3 mi / 0.48 km |
| | | with Reflector Dish that adds 14 dB to SM capability | 6 mi / 9.6 km | 2.4 mi / 3.84 km | 1 mi / 1.6 km |

Table 46 Link budget details – 5.4GHz PMP 450 AP and PMP 430 SM link, 20MHz Channel Bandwidth

| Product | Parameter | | Range Details | | |
|---|--|--|-------------------|------------------|------------------|
| | | | 1x | 2x | 3x |
| PMP 450 AP ^{§§§§§} PMP 430 SM | Modulation | | QPSK-SISO | 16-QAM-SISO | 64-QAM-SISO |
| | 5.4GHz Max. LOS Link Budget (no fade margin) | with Integrated SM antenna | 6.3 mi / 10.08 km | 2.9 mi / 4.64 km | 1 mi / 1.6 km |
| | | with CLIP that adds 8 dB to SM capability | 7.5 mi / 12 km | 3.8 mi / 6.08 km | 1.7 mi / 2.72 km |
| | | with LENS that adds 5 dB to SM capability | 7.5 mi / 12 km | 3.8 mi / 6.08 km | 1.7 mi / 2.72 km |
| | | with Reflector Dish that adds 14 dB to SM capability | 7.5 mi / 12 km | 3.8 mi / 6.08 km | 1.7 mi / 2.72 km |
| | 5.4GHz Max. nLOS Link Budget (additional 5 dB link loss) | with Integrated SM antenna | 3.5 mi / 5.6 km | 1.6 mi / 2.56 km | 0.6 mi / 0.96 km |
| | | with CLIP that adds 8 dB to SM capability | 4.2 mi / 6.72 km | 2.1 mi / 3.36 km | 0.9 mi / 1.44 km |
| | | with LENS that adds 5 dB to SM capability | 4.2 mi / 6.72 km | 2.1 mi / 3.36 km | 0.9 mi / 1.44 km |
| | | with Reflector Dish that adds 14 dB to SM capability | 4.2 mi / 6.72 km | 2.1 mi / 3.36 km | 0.9 mi / 1.44 km |
| | 5.4GHz Max. NLOS1 Link Budget (additional 15 dB link loss) | with Integrated SM antenna | 1.1 mi / 1.76 km | 0.5 mi / 0.8 km | 0.2 mi / 0.32 km |
| | | with CLIP that adds 8 dB to SM capability | 1.3 mi / 2.08 km | 0.7 mi / 1.12 km | 0.3 mi / 0.48 km |
| | | with LENS that adds 5 dB to SM capability | 1.3 mi / 2.08 km | 0.7 mi / 1.12 km | 0.3 mi / 0.48 km |
| | | with Reflector Dish that adds 14 dB to SM capability | 1.3 mi / 2.08 km | 0.7 mi / 1.12 km | 0.3 mi / 0.48 km |
| | 5.4GHz Max. NLOS2 Link Budget (additional 25 dB link loss) | with Integrated SM antenna | 0.4 mi / 0.64 km | 0.2 mi / 0.32 km | 0.1 mi / 0.16 km |
| | | with CLIP that adds 8 dB to SM capability | 0.4 mi / 0.64 km | 0.2 mi / 0.32 km | 0.1 mi / 0.16 km |
| | | with LENS that adds 5 dB to SM capability | 0.4 mi / 0.64 km | 0.2 mi / 0.32 km | 0.1 mi / 0.16 km |
| | | with Reflector Dish that adds 14 dB to SM capability | 0.4 mi / 0.64 km | 0.2 mi / 0.32 km | 0.1 mi / 0.16 km |

§§§§§ Transmit power complies with FCC regulatory requirements.

Table 47 Link budget details – 5.4GHz PMP 450 AP and PMP 430 SM link, 10MHz Channel Bandwidth

| Product | Parameter | | Range Details | | |
|-------------------------------|--|--|------------------|------------------|------------------|
| | | | 1x | 2x | 3x |
| PMP 450 AP***** PMP 430 SM | Modulation | | QPSK-SISO | 16-QAM-SISO | 64-QAM-SISO |
| | 5.4GHz Max. LOS Link Budget (no fade margin) | with Integrated SM antenna | 5.3 mi / 8.48 km | 2.7 mi / 4.32 km | 1 mi / 1.6 km |
| | | with CLIP that adds 8 dB to SM capability | 7.5 mi / 12 km | 3.4 mi / 5.44 km | 1.5 mi / 2.4 km |
| | | with LENS that adds 5 dB to SM capability | 7.5 mi / 12 km | 3.4 mi / 5.44 km | 1.5 mi / 2.4 km |
| | | with Reflector Dish that adds 14 dB to SM capability | 7.5 mi / 12 km | 3.4 mi / 5.44 km | 1.5 mi / 2.4 km |
| | 5.4GHz Max. nLOS Link Budget (additional 5 dB link loss) | with Integrated SM antenna | 3 mi / 4.8 km | 1.5 mi / 2.4 km | 0.6 mi / 0.96 km |
| | | with CLIP that adds 8 dB to SM capability | 4.2 mi / 6.72 km | 1.9 mi / 3.04 km | 0.8 mi / 1.28 km |
| | | with LENS that adds 5 dB to SM capability | 4.2 mi / 6.72 km | 1.9 mi / 3.04 km | 0.8 mi / 1.28 km |
| | | with Reflector Dish that adds 14 dB to SM capability | 4.2 mi / 6.72 km | 1.9 mi / 3.04 km | 0.8 mi / 1.28 km |
| | 5.4GHz Max. NLOS1 Link Budget (additional 15 dB link loss) | with Integrated SM antenna | 0.9 mi / 1.44 km | 0.5 mi / 0.8 km | 0.2 mi / 0.32 km |
| | | with CLIP that adds 8 dB to SM capability | 1.3 mi / 2.08 km | 0.6 mi / 0.96 km | 0.3 mi / 0.48 km |
| | | with LENS that adds 5 dB to SM capability | 1.3 mi / 2.08 km | 0.6 mi / 0.96 km | 0.3 mi / 0.48 km |
| | | with Reflector Dish that adds 14 dB to SM capability | 1.3 mi / 2.08 km | 0.6 mi / 0.96 km | 0.3 mi / 0.48 km |
| | 5.4GHz Max. NLOS2 Link Budget (additional 25 dB link loss) | with Integrated SM antenna | 0.3 mi / 0.48 km | 0.1 mi / 0.16 km | 0.1 mi / 0.16 km |
| | | with CLIP that adds 8 dB to SM capability | 0.4 mi / 0.64 km | 0.2 mi / 0.32 km | 0.1 mi / 0.16 km |
| | | with LENS that adds 5 dB to SM capability | 0.4 mi / 0.64 km | 0.2 mi / 0.32 km | 0.1 mi / 0.16 km |
| | | with Reflector Dish that adds 14 dB to SM capability | 0.4 mi / 0.64 km | 0.2 mi / 0.32 km | 0.1 mi / 0.16 km |

***** Transmit power complies with FCC regulatory requirements.

Table 48 Link budget details – 5.4GHz PMP 450 AP and PMP 430 SM link, 5MHz Channel Bandwidth

| Product | Parameter | | Range Details | | |
|---|--|--|-------------------|------------------|------------------|
| | | | 1x | 2x | 3x |
| PMP 450 AP ^{†††††} PMP 430 SM | Modulation | | QPSK-SISO | 16-QAM-SISO | 64-QAM-SISO |
| | 5.4GHz Max. LOS Link Budget (no fade margin) | with Integrated SM antenna | 6.7 mi / 10.72 km | 2.9 mi / 4.64 km | 0.9 mi / 1.44 km |
| | | with CLIP that adds 8 dB to SM capability | 7.5 mi / 12 km | 3.4 mi / 5.44 km | 1.5 mi / 2.4 km |
| | | with LENS that adds 5.5 dB to SM capability | 7.5 mi / 12 km | 3.4 mi / 5.44 km | 1.5 mi / 2.4 km |
| | | with Reflector Dish that adds 14 dB to SM capability | 7.5 mi / 12 km | 3.4 mi / 5.44 km | 1.5 mi / 2.4 km |
| | 5.4GHz Max. nLOS Link Budget (additional 5 dB link loss) | with Integrated SM antenna | 3.8 mi / 6.08 km | 1.6 mi / 2.56 km | 0.5 mi / 0.8 km |
| | | with CLIP that adds 8 dB to SM capability | 4.2 mi / 6.72 km | 1.9 mi / 3.04 km | 0.8 mi / 1.28 km |
| | | with LENS that adds 5.5 dB to SM capability | 4.2 mi / 6.72 km | 1.9 mi / 3.04 km | 0.8 mi / 1.28 km |
| | | with Reflector Dish that adds 14 dB to SM capability | 4.2 mi / 6.72 km | 1.9 mi / 3.04 km | 0.8 mi / 1.28 km |
| | 5.4GHz Max. NLOS1 Link Budget (additional 15 dB link loss) | with Integrated SM antenna | 1.2 mi / 1.92 km | 0.5 mi / 0.8 km | 0.2 mi / 0.32 km |
| | | with CLIP that adds 8 dB to SM capability | 1.3 mi / 2.08 km | 0.6 mi / 0.96 km | 0.3 mi / 0.48 km |
| | | with LENS that adds 5.5 dB to SM capability | 1.3 mi / 2.08 km | 0.6 mi / 0.96 km | 0.3 mi / 0.48 km |
| | | with Reflector Dish that adds 14 dB to SM capability | 1.3 mi / 2.08 km | 0.6 mi / 0.96 km | 0.3 mi / 0.48 km |
| | 5.4GHz Max. NLOS2 Link Budget (additional 25 dB link loss) | with Integrated SM antenna | 0.4 mi / 0.64 km | 0.2 mi / 0.32 km | 0.1 mi / 0.16 km |
| | | with CLIP that adds 8 dB to SM capability | 0.4 mi / 0.64 km | 0.2 mi / 0.32 km | 0.1 mi / 0.16 km |
| | | with LENS that adds 5.5 dB to SM capability | 0.4 mi / 0.64 km | 0.2 mi / 0.32 km | 0.1 mi / 0.16 km |
| | | with Reflector Dish that adds 14 dB to SM capability | 0.4 mi / 0.64 km | 0.2 mi / 0.32 km | 0.1 mi / 0.16 km |

^{†††††} Transmit power complies with FCC regulatory requirements.

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*.
- Andrews, J. G., Ghosh, A., y Muhamed, R. (2007). *Fundamentals of wimax: understanding broadband wireless networking*. USA: Pearson Education.
- Coudé, R. (2010). *Radio mobile*. July.
- DATA.ORG, C. (2016). *Clima pimentel*. ([Internet, Descargado Mayo 2016])
- de Transportes y Comunicaciones, M. M. (2014). *Plan nacional de atribución de frecuencias modificado res 1062014*. Lima.
- Dr. Hamadoun I. Touré, S. G. d. l. U. (2014). Banda ancha para el desarrollo sostenible. *ITU news*, 3, 35.
- Etemad, K., y Lai, M. (2011). *Wimax technology and network evolution*. USA: John Wiley & Sons.
- INEI. (2007). *Censos nacionales 2007 xi de población y vi de vivienda*.
- INEI. (2012). Censo nacional agropecuario 2012. *Lima: Instituto Nacional de Estadística e Informática*.
- Juan Benavides, L. D., Felipe Castro. (2011). *Impacto de las tecnologías de la información y las comunicaciones (tic) en el desarrollo y la competitividad del país*.
- Korowajczuk, L. (2011). *Lte, wimax and wlan network design, optimization and performance analysis*. USA: John Wiley & Sons.
- Perú21. (2013). Perú en el puesto 132 de ranking mundial de velocidades de internet. *Peru 21*, 21, 02.

- Ramirez, S. X. C. (2011). *Simulación de red inalámbrica de banda ancha con tecnología wimax para el estado de colima.*
- Steffen Heuel, H. M. (2011). Mobila wimax throughput measurements. *Rohde.*
- Talavera Hernández, M. (2010). *Agenda digital mexico: Una año de trabajo hacia la movilizacion nacional: Secretaia de comunicaciones y transporte de mexico.*
- 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.*

Glossary

6

64QAM Técnica de modulación multinivel, que usa modulación de amplitud y fase, permitiendo la transmisión simultánea de hasta 06 bits, p. 26.

B

backhaul Es la porción de una red jerárquica, que comprende los enlaces intermedios entre el núcleo o backbone, y las subredes en sus bordes., p. 41.

D

Download Un download o descarga, en la informática se puede decir que se utiliza como sinónimo de “bajar”, y “download” es un término que proviene del inglés, compuesto por “down” que significa “abajo” y “load” indica que es “cargar”, esto alude a una copia de datos que es normalmente un archivo entero que pueden ser documentos, audios, vídeos, programas, etc. Estos archivos se transmiten desde un Internet o desde un ordenador remoto que son una variedad de métodos diversos para controlar los ordenadores remotos pero además dependerá de qué tipo de entrada al ordenador requiere y que tipo de actividades remotas tenga que llevar a cabo hacia el disco duro de un ordenador local., p. 42.

F

FSPL free-space path loss. La pérdida de trayectoria en espacio libre usualmente se define como la pérdida a la que es sometida una onda electromagnética cuando esta se irradia en línea recta por el espacio libre, esta no sufre de algún otro fenómeno como la reflexión o absorción., p. 29.

I

IEEE El Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica ?abreviado como IEEE, leído i-triple-e en Latinoamérica o i-e-cubo en España; en inglés Institute of Electrical and Electronics Engineers? es una asociación mundial de ingenieros dedicada a la estandarización y el desarrollo en áreas técnicas. Con cerca de 425 000 miembros y voluntarios en 160 países, es la mayor asociación internacional sin ánimo de lucro formada por profesionales de las nuevas tecnologías, como ingenieros eléctricos, ingenieros en electrónica, científicos de la computación, ingenieros en computación, matemáticos aplicados, ingenieros en biomedicina, ingenieros en telecomunicación, ingenieros en mecatrónica, etc., p. 25.

IP Internet Protocol (en español 'Protocolo de Internet') o IP es un protocolo de comunicación de datos digitales clasificado funcionalmente en la capa de red según el modelo internacional OSI. Su función principal es el uso bidireccional en origen o destino de comunicación para transmitir datos mediante un protocolo no orientado a conexión que transfiere paquetes conmutados a través de distintas redes físicas previamente enlazadas según la norma OSI de enlace de datos., p. 26.

ISM ISM (Industrial, Scientific and Medical) son bandas reservadas internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en

áreas industrial, científica y médica. En la actualidad estas bandas han sido popularizadas por su uso en comunicaciones WLAN (e.g. Wi-Fi) o WPAN (e.g. Bluetooth)., p. 21.

L

LAN Una red de área local o LAN (por las siglas en inglés de Local Area Network) es una red de computadoras que abarca un área reducida a una casa, un departamento o un edificio., p. 25.

LOS La propagación en la línea de visión (o propagación de alcance visual) se refiere a la radiación electromagnética o a la propagación de ondas acústicas. Dentro de este tipo de propagación de ondas electromagnéticas se incluyen las emisiones de luz que se propagan en línea recta. Los rayos u ondas pueden ser difractados, refractados, reflejados o absorbidos por la atmósfera y los obstáculos con el material y, en general no pueden viajar sobre el horizonte o detrás de obstáculos., p. 22.

M

MAC En informática y telecomunicaciones, el control de acceso al medio (conocido por las siglas MAC, del inglés: Media Access Control) es el conjunto de mecanismos y protocolos de comunicaciones a través de los cuales varios “interlocutores” (dispositivos en una red, como computadoras, teléfonos móviles, etcétera) se ponen de acuerdo para compartir un medio de transmisión común (por lo general, un cable eléctrico o fibra óptica, o en comunicaciones inalámbricas el rango de frecuencias asignado a su sistema)., p. 25.

MAPL Máxima pérdida disponible en la ruta., p. 33.

O

OFDM La Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales, en inglés Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM), o Discrete Multi-tone Modulation (DMT) es una técnica de transmisión que consiste en la multiplexación de un conjunto de ondas portadoras de diferentes frecuencias, donde cada una transporta información, la cual es modulada en QAM o en PSK. Estas ondas portadoras de distintas frecuencias son generadas por la división de una onda portadora central con ancho de banda B en pequeñas portadoras B1, B2, B3...Bn; es decir, si no utilizáramos la técnica de transmisión OFDM, se enviaría normalmente la información en una única onda portadora con ancho de banda B, pero al utilizar la técnica OFDM dividimos esa onda portadora en varias subportadoras con menor ancho de banda para que estas tengan una mejor respuesta en frecuencia (mayor ganancia y desvanecimiento plano). Haciendo analogía con la transmisión vía IP, sería como si en vez de enviar un paquete extenso, enviásemos varios paquetes pequeños pero con menor susceptibilidad de perderse. Cabe mencionar que, luego de la multiplexación de las subportadoras o cuando ya tenemos el flujo OFDM, es agregado al flujo un Prefijo Cíclico, o comúnmente llamado intervalo de guarda, esto para ayudar a enfrentar los efectos de los atrasos de llegada de las señales OFDM por culpa del ambiente multitrayecto., p. 26.

P

PNAF El Plan Nacional de Atribución de Frecuencias contiene los cuadros de atribución de frecuencias de los diferentes servicios de telecomunicaciones en la República del Perú, de tal forma que los diversos servicios operen en bandas de frecuencias definidas previamente para cada uno de ellos, a fin de

asegurar su operatividad, minimizar la probabilidad de interferencias perjudiciales y permitir la coexistencia de servicios dentro de una misma banda de frecuencias, cuando sea el caso., p. 21.

PTM Las redes multipunto son redes de computadoras en las cuales cada canal de datos se puede usar para comunicarse con diversos nodos., p. 23.

PTP Un punto-a-punto de enlace de datos tradicional es un medio de transmisión o comunicación con exactamente dos puntos finales,, p. 23.

Q

QoS QoS o Calidad de Servicio (Quality of Service, en inglés) es el rendimiento promedio de una red de telefonía o de computadoras, particularmente el rendimiento visto por los usuarios de la red. Cuantitativamente mide la calidad de los servicios que son considerados en varios aspectos del servicio de red, tales como tasas de errores, ancho de banda, rendimiento, retraso en la transmisión, disponibilidad, jitter, etc., p. 24.

S

SOHO Pequeña oficina / oficina en casa (o única oficina / oficina en casa; SOHO) se refiere a la categoría de industria de negocio o casa que consiste de 1 a 10 trabajadores., p. 23.

T

TDD Time-Division Duplexing - Duplexación por división de tiempo, p. 42.

U

UIT La UIT es el organismo especializado de las Naciones Unidas para las Tecnologías de la Información y la Comunicación ? TIC. La UIT se sitúa en el mismo centro del sector de las TIC, obteniendo acuerdos en lo que respecta a las tecnologías, los servicios y la atribución de recursos globales tales como el espectro de radiofrecuencias y las posiciones orbitales de los satélites, a fin de crear un sistema permanente de comunicación global que sea robusto, fiable y evolucione de manera continua., p. 21.

V

VoIP Voz sobre protocolo de internet o Voz por protocolo de internet, también llamado voz sobre IP, voz IP, vozIP o VoIP (siglas en inglés de voice over IP: ?voz por IP?), es un conjunto de recursos que hacen posible que la señal de voz viaje a través de Internet empleando el protocolo IP (Protocolo de Internet)., p. 24.

W

WAN Una red de área amplia, o WAN, (Wide Area Network en inglés), es una red de computadoras que une varias redes locales, aunque sus miembros no estén todos en una misma ubicación física. Muchas WAN son construidas por organizaciones o empresas para su uso privado, otras son instaladas por los proveedores de internet (ISP) para proveer conexión a sus clientes., p. 25.

Wi-Fi es un mecanismo de conexión de dispositivos electrónicos de forma inalámbrica. Los dispositivos habilitados con wifi (como una computadora personal, un televisor inteligente, una videoconsola, un teléfono inteligente o un re-

productor de música) pueden conectarse a internet a través de un punto de acceso de red inalámbrica. Dicho punto de acceso tiene un alcance de unos veinte metros en interiores, distancia que es mayor al aire libre., p. 23.

WiMax WiMAX, siglas de Worldwide Interoperability for Microwave Access (interoperabilidad mundial para acceso por microondas), es una norma de transmisión de datos que utiliza las ondas de radio en las frecuencias de 2,5 a 5,8 GHz y puede tener una cobertura de hasta 50 km., p. 22.

WLAN Una red de área local inalámbrica, también conocida como WLAN (del inglés wireless local area network), es un sistema de comunicación inalámbrico para minimizar las conexiones cableadas., p. 25.