



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS



TITULO DE LA TESIS

Diseño de Red de Banda Ancha Inalámbrica para mostrar la mejora de la
cobertura con calidad de servicio al acceso de las redes y servicios de
telecomunicaciones en los centros poblados del Distrito de
Chota-Cajamarca

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO.**

PRESENTADO POR

Bach. Monteza Salazar Julio Cesar

Bach. Sandoval Ramírez José Baltazar

LAMBAYEQUE, PERÚ

2017

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



Diseño de Red de Banda Ancha Inalámbrica para mostrar la mejora de la
cobertura con calidad de servicio al acceso de las redes y servicios de
telecomunicaciones en los centros poblados del Distrito de
Chota-Cajamarca

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO.**

Bach. Monteza Salazar Julio Cesar

Bach. Sandoval Ramírez José Baltazar

Asesor

Ing Segundo Francisco Segura Altamirano

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

TITULO DE LA TESIS

Diseño de Red de Banda Ancha Inalámbrica para mostrar la mejora de la
cobertura con calidad de servicio al acceso de las redes y servicios de
telecomunicaciones en los centros poblados del Distrito de
Chota-Cajamarca

Como requisito para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico.

Aceptada por la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla
PRESIDENTE

Ing Carlos Leonardo Oblitas Vera
SECRETARIO

Mc.S. Martín Augusto Nombera Lossio
VOCAL

LAMBAYEQUE, PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

TITULO DE LA TESIS

Diseño de Red de Banda Ancha Inalámbrica para mostrar la mejora de la
cobertura con calidad de servicio al acceso de las redes y servicios de
telecomunicaciones en los centros poblados del Distrito de
Chota-Cajamarca

Como requisito para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico.

Sustentada por:

Bach. Monteza Salazar Julio Cesar
TESISTA

Bach. Sandoval Ramírez José Baltazar
TESISTA

Asesorado por:

Ing Segundo Francisco Segura Altamirano
ASESOR

LAMBAYEQUE, PERÚ

2017

Agradecimientos

Agradecer a Dios por que siempre ha derramado su Bendición en mi caminar, porque a pesar de mis desobediencias Él siempre se mantiene fiel a sus promesas.

Gracias a mis Padres por desarrollar su rol a cavallidad, por sembrar valores y principios morales que prevalecerán de por vida, por su confianza depositada y por dejarme una herencia que no puede ser hurtada menos comprada.

Gracias a mi Esposa e Hijos por su apoyo incondicional en cada decisión que he venido tomando cada día, siempre presentes en desenlaces buenos y malos; son ustedes testigos de mi vivir diario, de como con sacrificio y perseverancia hemos venido logrando objetivos.

De Corazón muchas gracias Amado Dios y Amados Familiares.

Muchas Gracias

Monteza Salazar Julio Cesar

Bachiller Ingeniería Electrónica

Lambayeque 2017

Agradecimientos

Le agradezco a DIOS por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, y gracias a mis padres por confiar siempre en mí, por haberme apoyado en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación.

A mi familia y amistades, de quienes he recibido siempre apoyo sincero. El recuerdo de mis abuelos BALTAZAR y FRANCISCA mis maestros eternos que marco mi vida con sus enseñanzas y a todos aquellos maravillosos seres que han compartido junto a mi sus enseñanzas y logros en estos años, así como quienes han estado para darme una voz de aliento en los momentos difíciles en especial JOSE, DELITA mis padres. Que no solo recorrieron junto a mí este camino si no que ayudaron a construir mi presente.

Y claro, a la vida por permitirme llegar a este punto, fin de una etapa más pero comienzo de otra nueva que viviré con mayor intensidad. Este logro ha sido posible gracias a la colaboración y el apoyo de muchas personas especiales, cuya buena disposición aportó un granito de arena en la realización y culminación de mi carrera académica, la cual no habría sido la misma sin ellos, no habría gozado de tantos triunfos, alegrías y satisfacciones. Su presencia ha constituido el mayor aporte en esta etapa de mi vida, cuyos recuerdos perdurarán en mí desde lo más profundo de mi corazón agradezco a mis padres DELITA y JOSE, a mi hermano JOEL, a mi amigo, confidente y compañero de tesis CESAR MONTEZA y a todos aquellos que me acompañaron durante este proceso. Espero que su sombra protectora jamás se aparte de los caminos de mi vida, que me acojan con su cariño

y me ofrezcan el privilegio de su compañía.

Sandoval Ramírez José Baltazar

Bachiller Ingeniería Electrónica

Lambayeque 2017

Resumen

En esta tesis se determinó la falta de cobertura con calidad de servicio al acceso de las redes y servicios de telecomunicaciones en los centros poblados del Distrito de Chota, para lo cual proponemos el diseño de una red de Banda ancha Inalámbrica que muestra que se puede mejorar la cobertura con calidad de servicio al acceso a las redes y servicios de telecomunicaciones en los centros poblados de Chota.

Para esto fue necesario estimar la demanda de estos centros poblados en función de la cantidad de habitantes y viviendas. Con esta información se determinó que la arquitectura adecuada es el despliegue de una red de transporte inalámbrico que interconecta la capital de distrito con los centros poblados. Esta red fue dimensionada para asegurar cubrir la capacidad estimada. En cada centro poblado se realizó el diseño de la red de acceso de alta velocidad, que asegura cubrir la demanda del mismo.

Entonces el diseño de una red de banda ancha demuestra; mediante diagramas de cobertura con los niveles de potencia recibida, ancho de banda, tipo de modulación y codificación; el acceso a una velocidad de 2Mbps por usuario en los centros poblados del distrito de Chota.

Abstract

In this thesis, we determined the lack of coverage and quality of access service of telecommunications networks and services in the populated centers of the District of Chota, for which we propose the design of a broadband network. The coverage with quality of service to the access to the networks and telecommunications services in the populated centers of Chota.

For this, it is necessary to estimate the demand of these populated centers based on the number of inhabitants and dwellings. With this information it was determined that the appropriate architecture is the deployment of a wireless transport network that interconnects the capital of the district with the populated centers. This network was dimensioned to ensure coverage of the estimated capacity. In each populated center the design of the red of high speed access was realized, that assures to cover the demand of the same one.

Then the design of a broadband network shows; By means of coverage diagrams with received power levels, bandwidth, modulation type and coding; Access at a speed of 2Mbps per user in the populated centers of Chota district.

-translation by google-

Índice

<i>Resumen</i>	V
<i>Abstract</i>	VII
1. Introducción	1
1.1. Descripción del Problema	1
1.2. Formulación del Problema	3
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos de la Investigación	4
1.4.1. Objetivo General	4
1.4.2. Objetivos Especificos	4
Objetivo Específico	4
1.5. Hipotesis	5
2. Análisis del Distrito Chota y sus centros poblados	7
2.1. La Región de Cajamarca	7
2.2. La Provincia de Chota	8
2.3. El Distrito de Chota	10
2.3.1. Ubicación Geográfica	10
2.3.2. Características Sociales	11
Educación	11
Salud	13

2.3.3. Centros Poblados beneficiados	13
2.3.4. Dimensionamiento	16
3. Redes de Banda Ancha	19
3.1. Introducción a las Redes de Banda Ancha	19
3.2. Redes de Acceso y Capacidades	20
3.2.1. Alámbrica	20
xDSL	20
Cable	21
FFTx	21
3.2.2. Inalámbrica	22
Comunicaciones Móviles	23
Tercera Generación (3G)	24
Cuarta Generación (4G)	24
IEEE 802.xx	24
WiMAX	24
Wi-Fi	25
3.3. Consideraciones de Diseño de Redes de Banda Ancha	26
3.3.1. Procedimientos de diseño de sistemas de RF	26
Flujo de Proceso de Planeamiento	27
Procedimiento para Nuevos Sistemas Inalámbricos	27
3.3.2. Modelos de Propagación	29
3.3.3. Perdidas en Espacio Libre	29
3.3.4. Longley-Rice	29
3.3.5. Modelo de Okumura	30
3.3.6. COST231	31
3.3.7. Presupuesto del Enlace de Redes de Banda Ancha	31
4. Diseño de Red de Banda Ancha	35
4.1. Ingeniería de Red de Banda Ancha	35

4.2.	Red Transporte	36
4.2.1.	Selección de Equipos	39
	Enlace entre Chota Capital y Colpa Matara	41
4.3.	Red de Acceso	42
4.3.1.	Alto Cañafisto	42
4.3.2.	Cabracancha	44
4.3.3.	Demas Localidades	46
5.	Conclusiones	49
	Apéndice A. Datasheet de Equipos	51
	<i>Índice de Figuras</i>	79
	<i>Índice de Tablas</i>	81
	<i>Bibliografía</i>	83
	<i>Glosario</i>	87
	Glossary	87

1 Introducción

Una tesis, es como una partida de ajedrez, tiene cierto número de movimientos, pero desde el principio hay que estar capacitado para predecir los movimientos a efectuar con vistas a dar jaque mate al adversario

UMBERTO ECO

1.1 Descripción del Problema

Los sistemas de telecomunicaciones nos permiten tener acceso a diferentes tipos de servicios de telecomunicaciones que van desde la simple comunicación mediante mensajes de texto, a sistemas de comunicación con videoconferencia, como también el envío de correos electrónicos, ahora más común con material multimedia, hasta desarrollos de cursos en línea (MOOC) gracias a coursera, edx y etc.

También nos permiten tener acceso a contenidos tan diversos que van desde el simple entretenimiento (YouTube) hasta el intercambio de material bibliográfico o de clases (OCW).

Estos servicios descritos son solo la punta del iceberg de las infinitas posibilidades que tenemos al tener a nuestra disposición redes de acceso de telecomunicaciones insistiendo en la importancia de estas redes de acceso de banda ancha en el desarrollo de las TIC porque se

está tomando conciencia de que la naturaleza y el alcance de las comunicaciones interactivas que se pueden lograr con medios de transmisión y procesamiento de datos de alta capacidad son fundamentalmente diferentes de lo que era posible con las conexiones de generaciones anteriores, en que la voz y los datos se transmitían a baja velocidad[Naciones Unidas, 2012].

Pero el gran problema es que esta posibilidad solamente la tienen los centros poblados mas grande y por mas grandes nos referimos a la ciudad capital de la Región Cajamarca , y las principales provincias. Los demás centros poblados, o localidades no gozan de estos beneficios debido a que los operadores de telecomunicaciones no lo consideran negocio realizar el despliegue de los sistemas de telecomunicaciones y redes de acceso de banda ancha y los que existen son bastante deficientes o solo cubren las necesidades de voz a un costo significativamente mayor que en la ciudades. El Gobierno Regional de Cajamarca en su Plan Estratégico de Gobierno Electrónico considera que la brecha digital , es amplia en la población de zona rural, y este plan busca desarrollar acciones orientadas a reducir a penetración y masificación del acceso a los servicios de las redes de telecomunicaciones, que están dirigidas a reducir la brecha digital en zonas poco atendidas[de Cajamarca, 2011].

Ya en el 2012 La ONU en [Naciones Unidas, 2012], se hacia mención de la brecha digital, y como la brecha de la banda ancha agrava el mismo, afirmando que; Los países y las personas excluidos de la banda ancha corren el riesgo de quedar al margen de toda una gama de aplicaciones y ventajas que proporciona Internet

Esto es generalizado en todo el país y aún es un problema que se presenta en la costa, donde se supone que tenemos mejores vías de comunicación y aun peor en la sierra y la selva donde los vías de comunicación no son las mejores y la geografía no favorece su despliegue al nivel de la costa.

Consciente de esto el gobierno nacional a tratado de resolver este problema brindando acceso de telecomunicaciones a estas localidades con proyectos financiados por FITEL(DEFINIR FITEL), y se han desarrollado proyectos de acceso a los servicios de telecomunicaciones por todo el país, pero el gran problemas con estas redes es su bajo ancho de banda y su alto costo de uso pues a tecnología elegida para la interconexión es la redes Satelitales ay aun mas para su interconexión dependen de los operadores dominantes (definir operadores dominantes).

Ante esta situación el 20 de Junio del 2012 se promulgo la Ley 29904, "LEY DE PROMOCION DE LA BANDA ANCHA Y CONSTRUCCIÓN DE LA RED DORSAL NACIONAL DE FIBRA OPTICA" que indica que el gobierno debe contar con una infraestructura de banda ancha y para esto se deben brindar las facilidades para su construcción(infraestructura) y también indica los requerimientos técnicos de gestión y administración de la red (SERVICIOS). Actualmente ya se tiene un postor ganador para su construcción de la red dorsal de banda ancha del Perú [Perú21, 2013].

Dentro este proyecto (gestionado por FITELE) se considera que todas las regiones deberán tener sus redes de banda ancha regional y estas redes deben cumplir principalmente con las especificaciones técnicas establecidas en el proyecto de ley de banda ancha.

Quiere decir que las redes planificadas para cada región deben asegurar una buena calidad de servicio para el acceso a las redes de telecomunicaciones de todas las localidades aisladas.

1.2 Formulación del Problema

¿Como mostrar la mejora de la cobertura con calidad de servicio al acceso de las redes y servicios de telecomunicaciones en los centros poblados del Distrito de Chota-Cajamarca?

1.3 Justificación

Ya en el 2009 el Banco Mundial indicaba que 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[Gobierno del Perú, 2012] de un país en un 1,3%, lo que convierte a este servicio como el de mayor incidencia en este crecimiento.

Desde del punto de vista de las aplicaciones el Secretario General de la ONU, declaro que las tecnologías de la información y la comunicación son el motor principal de la economía mundial, ya que ofrecen soluciones para un desarrollo económico sostenible y una prosperidad compartida, insistió en que las redes de banda ancha ofrecen posibilidades inteligentes

e inocuas para el medio ambiente de gestionar ciudades y sistemas de transporte, mejorar la eficacia de la industria manufacturera y facilitar el diagnóstico y el tratamiento a larga distancia de pacientes en lugares aislados. Reconoció que la banda ancha también permite aplicaciones educativas innovadoras en todo el mundo.[Dr. Hamadoun I. Touré, 2014].

Para nosotros, como profesionales de las Telecomunicaciones; el desarrollo de esta tesis nos permitirá conocer mas de cerca todas las técnicas y tecnologías involucradas en el despliegue de estas redes de banda ancha adaptadas a la difícil geografía de nuestro país y en particular a la accidentada sierra Cajamarquina y estaremos seguros de estar contribuyendo con una tecnología que permitirá reducir la brecha digital estimulando del desarrollo económico y social de los centros poblados aisladas del distrito de Chota.

1.4 Objetivos de la Investigación

1.4.1 Objetivo General

Diseñar una red de Banda Ancha Inalámbrica, sustentado en la teoría de las redes de comunicación, transmisión de señales, y Calidad de Servicio para mostrar la mejora de la cobertura con calidad de servicio al acceso de las redes y servicios de telecomunicaciones en los centros poblados del Distrito de Chota-Cajamarca.

1.4.2 Objetivos Especificos

Objetivo Específico

1. Estudiar las principales arquitecturas de redes de banda ancha inalámbrica para localidades rurales.
2. Establecer los parámetros de calidad de las redes de banda ancha que garantice una velocidad de 2048Kbps a todo los usuarios de los centros poblados favorecidos.
3. Determinar la arquitectura de red ha utilizarse y los equipos en las diferentes partes de la arquitectura de red.
4. Realizar pruebas a nivel de Simulación del desempeño de la red y verificar parámetros de calidad.

1.5 Hipotesis

Si se diseña una red de Banda Ancha Inalámbrica, compuesta de una red de transporte y una red de acceso de alta velocidad se mostrara la mejora de la cobertura con calidad de servicio al acceso a las redes y servicios de telecomunicaciones, usando diagramas de cobertura sobre mapas satelitales donde se asegurara un retardo menor a 80ms, una velocidad de acceso de al menos 2Mbps por usuario y niveles de señal adecuados en los centros poblados del Distrito de Chota-Cajamarca.

2 Análisis del Distrito Chota y sus centros poblados

2.1 La Región de Cajamarca

La ciudad de Cajamarca se origina aproximadamente hace 3 mil años atrás con los primeros grupos humanos Huacaloma, Layzon, Cumbe Mayo y Otuzco. Alcanzo su mayor desarrollo entre los años quinientos y mil de nuestra era como centro poblado de la cultura Casamarca. En el año 1450, durante el gobierno del Inca Pachacutec, su hermano Capac Yupanqui conquista la región anexandola al Tahuantinsuyo.

En 1532 la ciudad de Cajamarca fue escenario de uno de los acontecimientos mas trascendentes de la historia universal. La captura del Inca Atahualpa por un grupo de españoles al mando de Francisco Pizarro.

A partir de entonces los españoles se asentaron en la ciudad y adaptaron el trazado incaico al diseño en cuadrícula o damero. De la ciudad incaica de Cajamarca quedan pocos vestigios.

En el siglo XVII cuando la ciudad adquiere su mayor esplendor. En 1678 habia 362 familias de españoles, la mayoría de ellas de ilustre linaje.[Portocarrero, 2008] El 19 de diciembre de 1802, el rey de España dio titulo de ciudad capital de la provincia de Cajamarca, con prerrogativas de ayuntamiento. La ciudad de Cajamarca se constituye como capital

del departamento del mismo nombre por Decreto Supremo dado por el Mariscal Ramón Castilla el 11 de febrero de 1855. El 14 de setiembre de 1986, la Organización de Estados Americanos (OEA) la declara Patrimonio Histórico y Ciudad de las Americanas.

La región Cajamarca se encuentra ubicada en la zona norte del territorio peruano, en la Cadena Occidental de los Andes y abarca la zona de sierra y selva. Su capital es la ciudad de Cajamarca. Limita por el norte con Ecuador, por el Sur con la Libertad, por el este con Amazonas y por el oeste con Piura y Lambayeque.

Esta región tiene un superficie de 33 315.5 Km^2 . Políticamente se divide en 13 provincias (Una de las provincias es Chota con 19 distritos) y 127 distritos.(Ver figura 2.1)

La altura de la región Cajamarca oscila entre los 400 m.s.n.m. (distrito de Choros - provincia de Cutervo) y los 3550 m.s.n.m (distrito de Chavan - provincia de Chota).

Su relieve es muy accidentado debido al paso de sur a norte de la cordillera de los Andes.

Según el censo del 2005, la población para dicho ascendía a 1 497 046, cifra que representa el 5.4 % de la población total del país. Para el 2015 la población estimada es de 1 653 391 que representa el 5.2 % de la población nacional.

La población de la provincia de Chota, en el 2005; era de 165 411 habitantes, con una superficie de 3795.1 Km^2 , lo que le da una densidad promedio de 43.6 Hab/Km^2

2.2 La Provincia de Chota

La Provincia de CHOTA Antiguamente fue ocupada por diversas Culturas que se remonta a la época Pre Incaica, e Incaica, recibiendo una fuerte influencia de las culturas Chavín y Wari y Mochica de las cuales quedan vestigios de mucha importancia como Pacopampa, Rejopampa y Negropampa entre otros.

El territorio de la actual provincia fue incorporado al Imperio Incaico por Túpac Yupanqui a mediados del siglo XV, y es así como lo encuentran los españoles. Existen dos fundaciones de la Ciudad de CHOTA, una Española de data de 1552 y la otra Colonial que fue fundado el 1 de Noviembre de 1559 y se reconocía con el nombre de 'TODOS LOS SANTOS'.

La proclamación de la independencia de Chota, fue el 12 de Enero de 1821, por el Alcalde Sr. INOCENCIO CONSANCHILLÓN , el 06 de febrero de 1821, recibe el nombre



Figura 2.1 Provincia de Chota y sus Distritos.

de Provincia según el Sr. HORACIO VILLANUEVA en el estatuto provisional dado por Don JOSÉ DE SAN MARTÍN durante el protectorado. Luego el 30 de Agosto de 1882 la Ciudad de Chota fue incendiada por los Chilenos al considerarla como cuartel general del Norte.

El comercio, el arrieraje entre otras actividades cobraron mayor importancia con la llegada de la carretera de Chiclayo en 1950 y su conexión posterior con Cajamarca.

Esta provincia cuenta con 19 distritos, siendo su capital la Ciudad de Chota, ubicado en el distrito del mismo nombre. (Ver figura 2.3 [Aljeando Inga,]

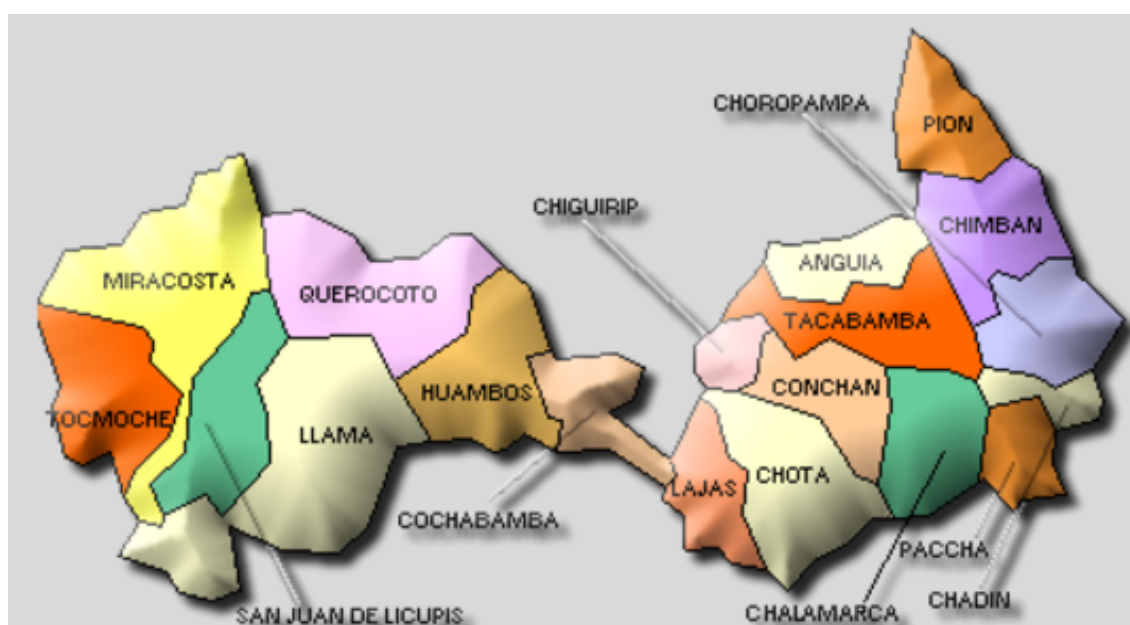


Figura 2.2 Provincia de Chota y sus Distritos.

2.3 El Distrito de Chota

2.3.1 Ubicación Geográfica

El distrito de Chota se encuentra ubicado en la parte central de la provincia, en la región andina norte del Perú. Su capital se encuentra en la meseta de Acunta a 2,388 msnm y a 150 Km al norte de Cajamarca y a 219 Km al este de Chiclayo, Lambayeque.

Se ubica entre las coordenadas determinadas el meridiano imaginario 78°39'29" de

longitud occidental que pasa por la plaza de la capital de la provincia de Chota y distrito de Chota y la latitud determinada por el paralelo 6°33'48".

El distrito de Chota, específicamente la ciudad capital, se encuentra a 2,388 metros sobre el nivel del mar

El territorio del distrito de Chota es de 261,75 km²; esto representa el 6,9 % del total provincial. (3,795.10 km²).

Este distrito limita por el Norte con los distritos de Chiguirip y Conchán. Por el Oeste con el distrito de Lajas. Por el sur con Bambamarca, distrito y capital de Hualgayoc y por el Este con el distrito de Chalamarca.

La Temperatura de la mayor parte del territorio, es de clima templado; sin embargo en las partes más bajas (Tuctuhuasi - Valle Doñana) el clima templado presenta una ligera variación al templado caluroso; mientras que en las partes más altas como: Sitacucho, Lingán, Silleropata, Negropamapa, Chaupelanche, Progreso Pampa, Condorpullana, Colpatuapampa, Huayrac, Shotorco, La Palma, es un clima templado frío.

Las épocas de lluvias son de noviembre a abril, y su épocas de sequía de mayo a octubre. La temperatura promedio es de 17.8°C. Las precipitaciones pluviales, pueden convertirse en un factores que ocasionen eventos adversos especialmente en viviendas ubicadas en las faldas de los cerros y en vías de comunicaciones terrestre(puentes, carreteras) o dañando terrenos de cultivo.

2.3.2 Características Sociales

Educación

Segun el censo del 2005 en la provincia de Chota, el 91 % de los varones sabe leer y escribir en la zona urbana y en mujeres es menor al 82 %, en la zona rural el 82 % de los varones sabe leer y escribir y en mujeres el 63 %. Se puede observar que hay una gran brecha entre los varones y las mujeres, siendo este el sexo al que menos oportunidad de acudir a un centro educativo.

La incidencia de analfabetismo, en la provincia de Chota guarda relación con la condición de pobreza en la que están sumidos, tal como se observa en la figura 2.4, que muestra el analfabetismo con relación a la condición de pobreza para tres provincias.

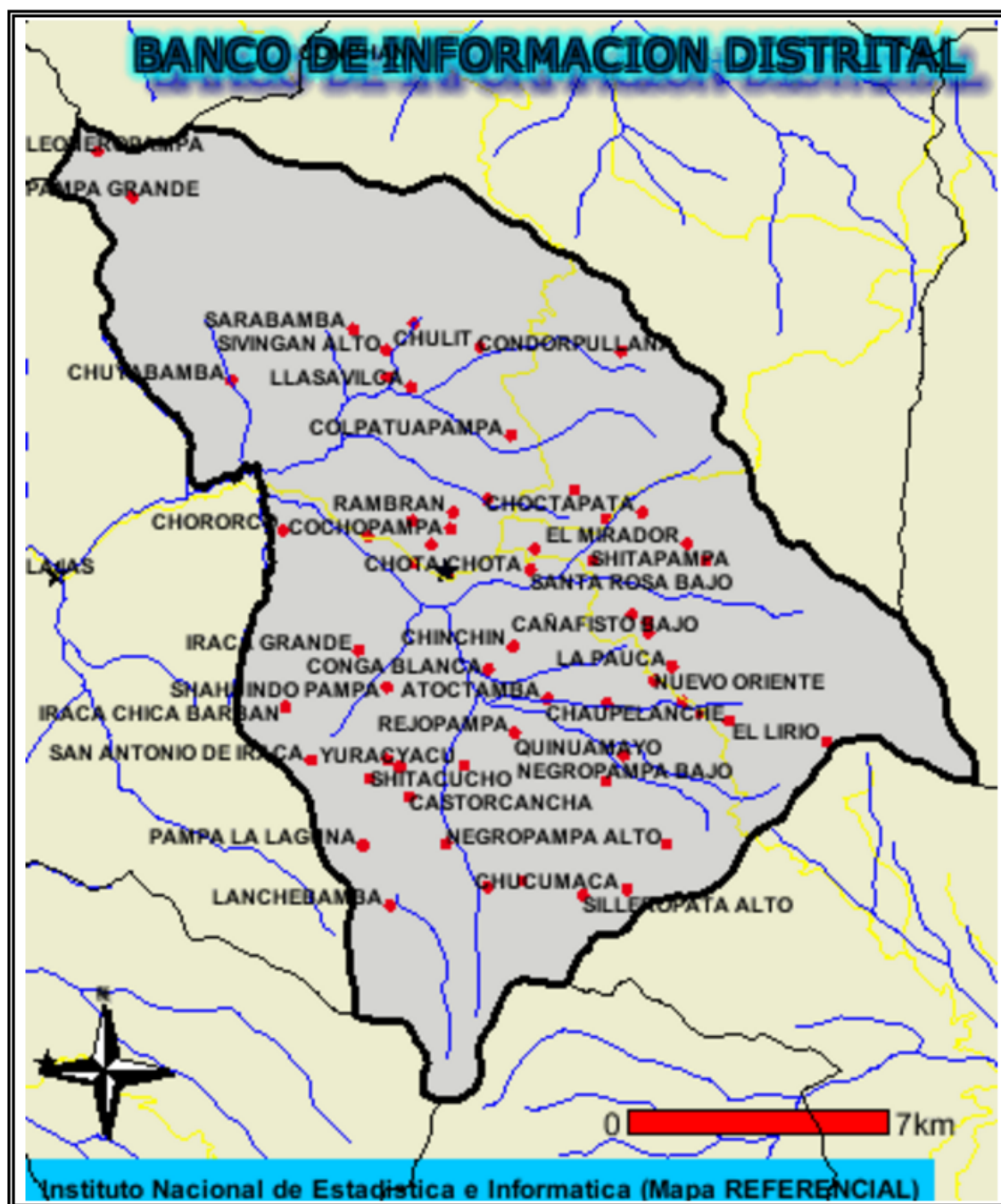


Figura 2.3 Provincia de Chota y sus Distritos.

Para este proyecto se ha considerado en total 39 instituciones educativas a las cuales se les brindará servicios de banda ancha, con una velocidad de 2Mbps con un 40% de velocidad garantizada.

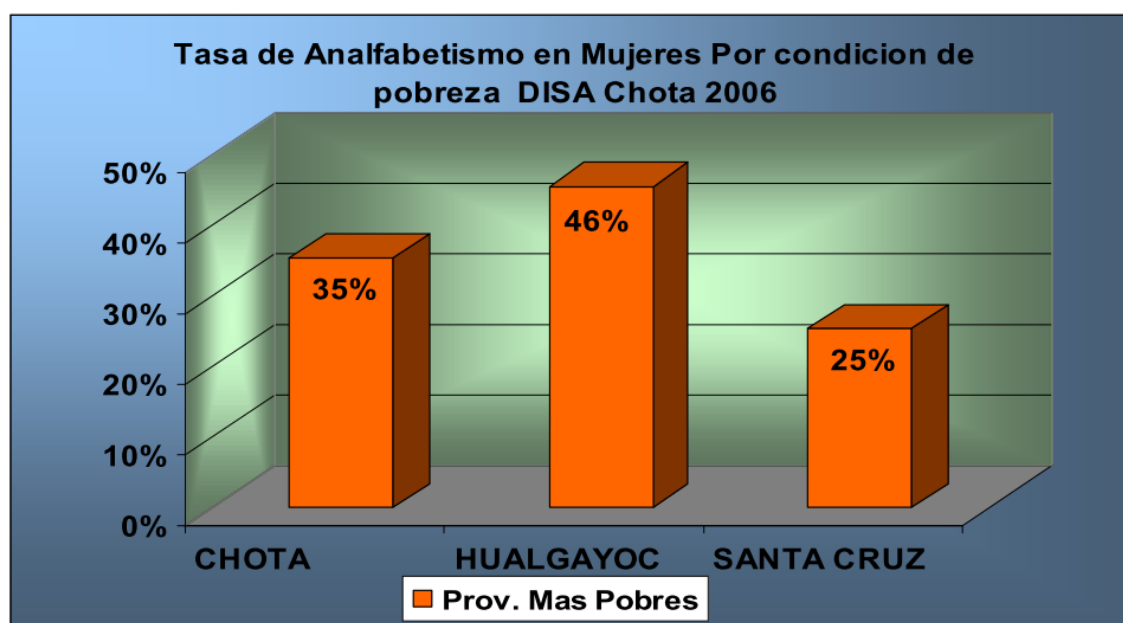


Figura 2.4 Tasa de Analfabetismo en Mujeres por Condición de Pobreza.

Salud

La dirección de Salud Chota esta conformada por tres provincias: Chota, Hualgayoc y Santa Cruz, comprendiendo 33 distritos, en los que esta incluido el distrito de Chota con 26 Establecimientos de salud que forman parte de esta gran red. Estos centros de salud serán atendidos con una velocidad de 4Mbps, con una velocidad garantizada de 40%, que equivale a 1.6Mbps.

Administrativamente la DISA Chota esta conformada por tres redes, La Red Chota, la Red Bambamarca y la Red Santa Cruz. A la red Chota lo conforman diez microrredes (22 centros de Salud y 119 puesto de Salud) tal como se puede apreciar en la figura 2.5[sal, 2006]

2.3.3 Centros Poblados beneficiados

En el distrito de Chota existen 31 centros poblados beneficiados. En dichos centros poblados existen aproximadamente 5933¹ que tendrán acceso al servicio de Internet con una velocidad de 2Mbps con una velocidad garantizada de 800Kbps.

La cantidad de instituciones beneficiadas en el área de influencia son un total de 65, considerando centros educativos y centros y puestos de salud. Con respecto a la capacidad

¹ De acuerdo a datos del censo Nacional del 2007: IX de Población y VI de vivienda

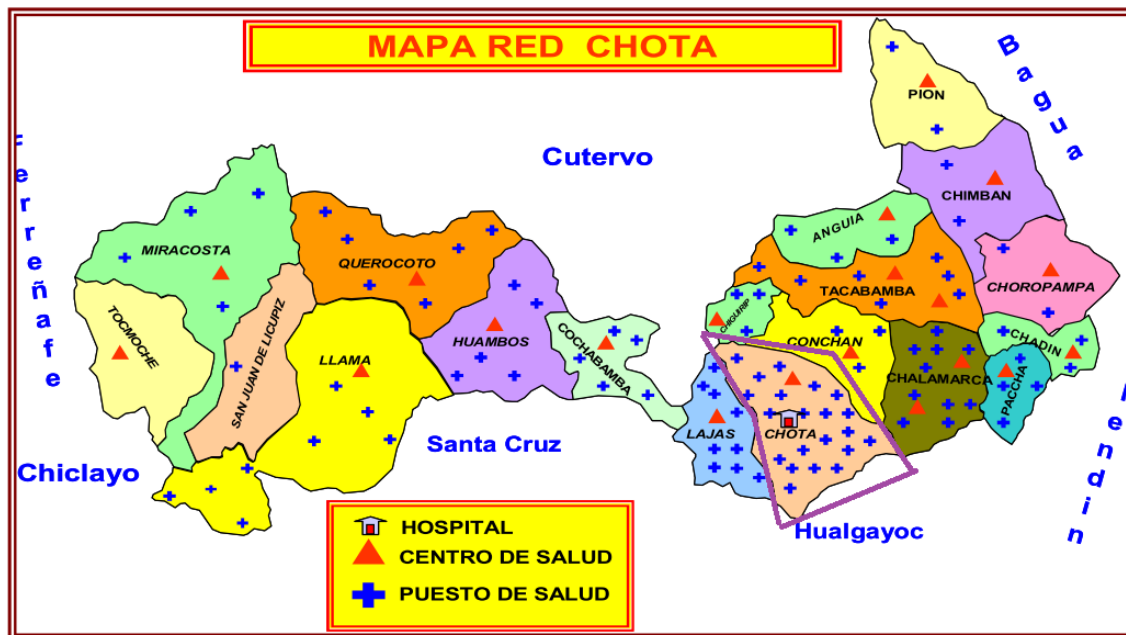


Figura 2.5 Establecimiento de Salud - Distrito de Chota.

mínima a instalar, para fines de dimensionamiento de la Red de Acceso se considera una tasa de transferencia mínima dependiendo del perfil de la institución.

Los centros poblados ha sido seleccionados, pues cumplían las siguientes condiciones mínimas:

- No tiene acceso a Internet ADSL, o el servicio es de muy baja calidad.
- No están incluidos en los proyectos de banda ancha financiados por FTEL, existentes o en formulación.
- No se encuentran incluidas en los compromisos asumidos por los Operadores de Telecomunicaciones con el Estado, en el marco de sus contratos de concesión para la prestación de servicios públicos de banda ancha.
- Cuentan con energía Eléctrica.

Ademas , satisfacen los siguientes criterios de selección:

- Es una capital de Distrito, o
- Es un centro poblado con mas de 300 habitantes y que cuenten con algún local escolar primario o secundario, o

Tabla 2.1 Centros Poblados beneficiados del Distrito de Chota.

Nro	LOCALIDAD	COLEGIOS	E SALUD	COMISARIAS	LONGITUD	LATITUD	CODIGO
1	ALTO CANAFISTO	2	0	0	-78.61079	-6.57193	CH1
2	CABRACANCHA	2	0	0	-78.66677	-6.59211	CH2
3	CABRACANCHA ALTO	0	1	0	-78.66742	-6.6053	CH3
4	CARHUAMAYO	2	1	0	-78.59587	-6.60641	CH4
5	CENTRO BASE CUYUMALCA	2	1	0	-78.61307	-6.58562	CH5
6	CENTRO C ANAFISTO	0	1	0	-78.61775	-6.56723	CH6
7	CENTRO CONDORPULLANA	1	1	0	-78.57103	-6.52677	CH7
8	CHIMCHIM	1	0	0	-78.6365	-6.57753	CH8
9	CHOROCO	1	0	0	-78.68386	-6.55632	CH9
10	CHULIT ALTO	1	1	0	-78.64454	-6.50722	CH10
11	CHUYABAMBA ALTO	2	1	0	-78.70985	-6.5188	CH11
12	COLPA HUACARIS	1	0	0	-78.64661	-6.53045	CH12
13	COLPA MATARA	1	0	0	-78.63183	-6.54091	CH13
14	COLPATUAPAMPA	2	1	0	-78.62917	-6.5204	CH14
15	EL MIRADOR	1	1	0	-78.59638	-6.55931	CH15
16	IRACA GRANDE	1	1	0	-78.677	-6.57775	CH16
17	LEONEROPAMPA	0	1	0	-78.72063	-6.47516	CH17
18	LINGAN GRANDE	2	1	0	-78.6468	-6.62557	CH18
19	LINGAN PATA	1	1	0	-78.66116	-6.60826	CH19
20	NEGROPAMPA BAJO	2	1	0	-78.61152	-6.61119	CH20
21	NUEVO ORIENTE	1	1	0	-78.59225	-6.58747	CH21
22	PAMPA LA LAGUNA	1	1	0	-78.65836	-6.65515	CH22
23	PROGRESO PAMPA	0	1	0	-78.58327	-6.57641	CH23
24	RAMBRAMPATA	0	1	0	-78.62145	-6.53713	CH24
25	REJOPAMPA	1	0	0	-78.622	-6.60138	CH25
26	ROJASPAMPA	1	1	0	-78.61608	-6.55007	CH26
27	SAN ANTONIO DE IRACA	1	1	0	-78.69622	-6.5687	CH27
28	SARABAMBA	2	1	0	-78.69689	-6.48965	CH28
29	SILLEROPATA ALTO	1	1	0	-78.61827	-6.63375	CH29
30	SILLEROPATA BAJO	1	1	0	-78.6329	-6.62133	CH30
31	SIVINGAN ALTO	1	1	0	-78.67964	-6.4911	CH31
32	SIVINGAN BAJO	1	0	0	-78.67146	-6.5052	CH32
33	UTCHUCLACHULIT	1	1	0	-78.66253	-6.4987	CH33
34	YURACYACU	2	1	0	-78.63534	-6.59502	CH34

- Tiene una población estudiantil preferentemente mayor o igual a 50 alumnos, o
- Tiene por lo menos un establecimiento de Salud, o
- Tiene por lo menos una dependencia policial.

Los centros poblados seleccionados de este distrito son los mostrados en la tabla 2.1, donde comprobamos primero que los centros poblados beneficiados o tiene centros educativos o centros de salud, además se incluyó las coordenadas de estos centros poblados que nos servirán para el diseño de la red de distribución inalámbrica.

Es importante ahora considerar los nuevos criterios de asignación de banda ancha (Ver tabla 2.2)².

Finalmente una información importante es los porcentajes de penetración de los diferentes servicios de acuerdo al informe de Osiptel³, y de la Encuesta Nacional de Hogares (Enaho) del trimestre Julio – Agosto – Setiembre del 2011 del INEI⁴.

² Fitel-Talleres Macroregionales FONIE Telecomunicaciones

³ Organismo Supervisor de las Telecomunicaciones

⁴ Instituto Nacional de Estadística e Informática

Tabla 2.2 Nuevos Criterios de Asignación de Banda Ancha.

	Servicio	Velocidad
	Colegio	2Mbps(30 % de aulas totales)
	Universidades	50Mbps
	Puestos de Salud	2Mbps
Salud	Centros de Salud	4Mbps
	Hospitales	8Mbps
	Institutos de Salud	4Mbps
	Comisarias	2Mbps
	Gobernaciones/Municipalidades	4Mbps
	Sedes de Banco de la Nacion	2Mbps
	Museos	2Mbps

Tabla 2.3 Penetración de Servicios de Telecomunicaciones.

Servicio	Urbano	Rural
Telefonía Fija	27.6 %	2.6 %
Telefonía Móvil	82.2 %	53.2 %
Televisión por Cable	30.3 %	6.5 %

2.3.4 Dimensionamiento

Para realizar el dimensionamiento de la red, se ha obtenido la población estimada de cada centro poblado, así como también la cantidad de alumnos en los diferentes centros educativos y también la existencia de los centros de salud o postas, los resultados son desplegados en la tabla 2.4

Con la información de los centros poblados y la penetración de los servicios considerados en la tabla 2.3, adicionalmente se usara el calculo de demanda esperada Proyectada al año 10⁵. Es decir en este calculo de demanda se esta considerando los servicios de telefonía fija con una penetración de 3 %, la telefonía móvil con 53 %, el Internet fijo con 38 % (Recuérdese que este valor es al año 10), adicionalmente se esta sumando los usuarios de telefonía móvil con teléfonos inteligentes (Smath Pone) que el promedio nacional es cercano al 17 % de los usuarios de telefonía móvil. Finalmente se esta agregando los centros educativos, centros de salud y postas medicas.

Como la velocidad garantizada es de 40 %, el valor total es multiplicado por este porcentaje, ademas los operadores siempre realizan sus diseños para cubrir el 70 % de la demanda estimada, pero en este proyecto nosotros consideraremos un 80 %.

⁵ 2014-Fitel Uso y Demanda de Banda Ancha en Hogares de la Región Cajamarca

Tabla 2.4 Pobladores, Viviendas, e Instituciones de Centros Poblados.

COD	Centro Poblado	Hab	Viv	COLEGIOS	E SALUD	COMISARIAS
CH1	ALTO CANAFISTO	211	64	2	0	0
CH2	CABRACANCHA	1320	400	2	0	0
CH3	CABRACANCHA ALTO	265	80	0	1	0
CH4	CARHUAMAYO	598	181	2	1	0
CH5	CENTRO BASE CUYUMALCA	214	65	2	1	0
CH6	CENTRO C AÑAFISTO	518	157	0	1	0
CH7	CENTRO CONDORPULLANA	135	41	1	1	0
CH8	CHIMCHIM	210	64	1	0	0
CH9	CHOROCO	233	71	1	0	0
CH10	CHULIT ALTO	704	213	1	1	0
CH11	CHUYABAMBA ALTO	2421	734	2	1	0
CH12	COLPA HUACARIS	305	92	1	0	0
CH13	COLPA MATARA	721	218	1	0	0
CH14	COLPATUAPAMPA	630	191	2	1	0
CH15	EL MIRADOR	143	43	1	1	0
CH16	IRACA GRANDE	355	108	1	1	0
CH17	LEONEROPAMPA	521	158	0	1	0
CH18	LINGAN GRANDE	521	158	2	1	0
CH19	LINGAN PATA	225	68	1	1	0
CH20	NEGROPAMPA BAJO	1513	458	2	1	0
CH21	NUEVO ORIENTE	375	114	1	1	0
CH22	PAMPA LA LAGUNA	433	131	1	1	0
CH23	PROGRESO PAMPA	215	65	0	1	0
CH24	RAMBRAMPATA	157	48	0	1	0
CH25	REJOPAMPA	211	64	1	0	0
CH26	ROJASPAMPA	285	86	1	1	0
CH27	SAN ANTONIO DE IRACA	140	42	1	1	0
CH28	SARABAMBA	645	195	2	1	0
CH29	SILLEROPATA ALTO	184	56	1	1	0
CH30	SILLEROPATA BAJO	1177	357	1	1	0
CH31	SIVINGAN ALTO	506	153	1	1	0
CH32	SIVINGAN BAJO	321	97	1	0	0
CH33	UTCHUCLACHULIT	203	62	1	1	0
CH34	YURACYACU	1111	337	2	1	0

Tabla 2.5 Demanda Estimada de Centros Poblados.

NRO	LOCALIDAD	Mbps			
		Download	Upload	Intranet	Total Upload
1	ALTO CANAFISTO	10,2	1,5	4,0	5,5
2	CABRACANCHA	38,4	8,6	4,0	12,6
3	CABRACANCHA ALTO	12,2	2,0	4,0	6,0
4	CARHUAMAYO	24,3	4,1	8,0	12,1
5	CENTRO BASE CUYUMALCA	14,2	1,5	8,0	9,5
6	CENTRO C AÑAFISTO	18,3	3,6	4,0	7,6
7	CENTRO CONDORPULLANA	10,1	1,0	6,0	7,0
8	CHIMCHIM	8,2	1,5	2,0	3,5
9	CHOROCO	8,2	1,5	2,0	3,5
10	CHULIT ALTO	24,3	4,6	6,0	10,6
11	CHUYABAMBA ALTO	70,5	15,6	8,0	23,6
12	COLPA HUACARIS	10,2	2,0	2,0	4,0
13	COLPA MATARA	22,3	5,1	2,0	7,1
14	COLPATUAPAMPA	26,3	4,6	8,0	12,6
15	EL MIRADOR	10,1	1,0	6,0	7,0
16	IRACA GRANDE	16,2	2,5	6,0	8,5
17	LEONEROPAMPA	18,3	3,6	4,0	7,6
18	LINGAN GRANDE	22,3	3,6	8,0	11,6
19	LINGAN PATA	12,2	1,5	6,0	7,5
20	NEGROPAMPA BAJO	48,4	10,1	8,0	18,1
21	NUEVO ORIENTE	16,2	2,5	6,0	8,5
22	PAMPA LA LAGUNA	18,2	3,1	6,0	9,1
23	PROGRESO PAMPA	10,2	1,5	4,0	5,5
24	RAMBRAMPATA	10,1	1,5	4,0	5,5
25	REJOPAMPA	8,2	1,5	2,0	3,5
26	ROJASPAMPA	14,2	2,0	6,0	8,0
27	SAN ANTONIO DE IRACA	10,1	1,0	6,0	7,0
28	SARABAMBA	26,3	4,6	8,0	12,6
29	SILLEROPATA ALTO	12,2	1,5	6,0	7,5
30	SILLEROPATA BAJO	36,4	7,6	6,0	13,6
31	SIVINGAN ALTO	20,3	3,6	6,0	9,6
32	SIVINGAN BAJO	12,2	2,5	2,0	4,5
33	UTCHUCLACHULIT	12,2	1,5	6,0	7,5
34	YURACYACU	38,4	7,6	8,0	15,6

En la tabla 2.5 se muestran los resultados, donde también se muestra el calculo de la demanda de descarga (Download) y subida (Upload), donde se ha tomado en cuenta el servicio de acceso a Internet y a Intranet.

3 Redes de Banda Ancha

Los servicios con mayor ancho de banda que el servicio telefónico común se denominan en ocasiones como de banda ancha, aunque en realidad el término es más un concepto de marketing que un concepto técnico específico

ANDREW S. TANENBAUM

3.1 Introducción a las Redes de Banda Ancha

Cuando hablamos de redes de banda ancha hablamos de un término que ha evolucionado durante las últimas décadas. Aquí nosotros entendemos redes de banda ancha, como su uso popular actual que denota el acceso a Internet a altas velocidades. [Fredrik Hammarström, 2013]

En telecomunicaciones [Weik, 1995] se define banda ancha como el rango de frecuencias que es ocupado por una señal, también se entiende como un término relativo a un sistema que porta un rango amplio de frecuencias.

En [Carty, 2002], se tiene un uso contemporáneo del término de Banda Ancha que significa un canal de transmisión cuyo ancho de banda es más amplio que el canal de voz. Por consiguiente banda ancha se refiere a características de ancho de banda amplio de un

medio de transmisión y su habilidad para transportar múltiples señales y tipos de tráfico simultáneamente[Carty, 2002]

3.2 Redes de Acceso y Capacidades

Acceder a Internet desde las instalaciones del hogar puede ser realizado por una variedad de tecnologías de redes de acceso, proporcionando las así llamada conectividad de red de flanco o de borde. El campo de las redes de acceso en la infraestructura de las telecomunicaciones es mostrada en la figura 3.1. Una oficina central (CO) que representa el edificio donde están los equipos de intercambio y conmutación.

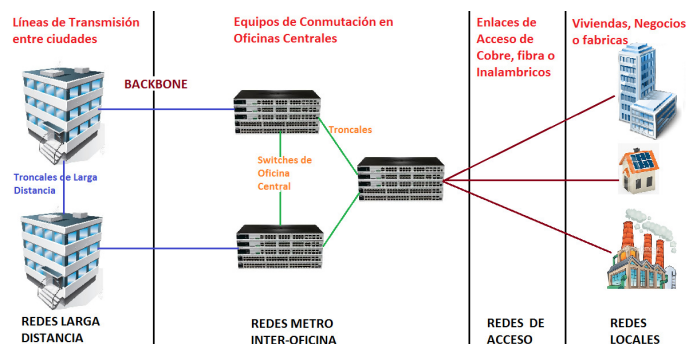


Figura 3.1 Capas de Redes de Telecomunicaciones. Adaptado de [Valdar et al., 2006].

Seis tecnologías han sido identificadas como factibles para llevar banda ancha a áreas rurales[Maral and Bousquet, 2011], ahora consideramos algunas de estas tecnologías que son usadas típicamente como proyectos de infraestructura de banda ancha.

3.2.1 Alámbrica

La principal forma de conexión alámbrica construida son los cables heredados en muchas viviendas. Varias tecnologías DSL utilizan el lazo local de cobre, principalmente destinado a telefonía. Líneas de Cable coaxial, destinados a servicios de televisión, que también pueden ser usados para acceso de banda ancha.

xDSL

xDSL pertenece a una familia de tecnologías de líneas digitales de suscriptor que permiten el acceso a Internet usando la red de cobre existente de la PSTN. La tecnología xDSL más

común es la ADSL que significa el uso de diferentes velocidades subida y bajada.

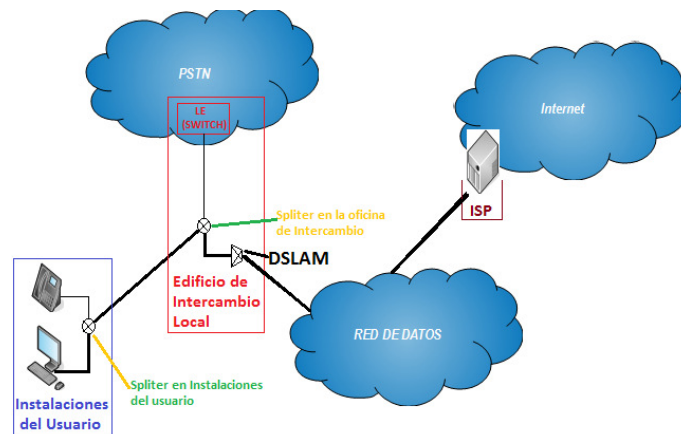


Figura 3.2 xDSL. Diagrama esquemático de acceso a Internet de Usuarios finales. Adaptado de [Valdar et al., 2006].

El uso de un splitter en las instalaciones del hogar (figura 3.2), divide las señales entrantes en el lazo de cobre en la línea de teléfono, para las frecuencias de voz, y en una línea de datos de alta frecuencia para acceso a Internet¹

Cable

La infraestructura de TV Cable, emplea cables coaxiales, que puede ser usado para entregar acceso de banda ancha. En este caso un amplificador colocado en la calle transporta señales multiplexadas a un vecindario con multiple set-top-boxes (STBs), conectados a cable modem como el CPE y transmitir la señal compuesta a través de fibra óptica hasta la cabecera. El uso de multiplexores se usa para integrar señales de telefonía y datos en la modernas redes HFC triple-play (figura 3.3)

FTTx

Fiber-to-the-x es una tecnología de fibra óptica que permite altas velocidades y mayor capacidad que las tecnologías xDSL y Cable. Actualmente es una tecnología de acceso que se despliega rápidamente, un número de hogares puede ser agregado y tener sus propios datos multiplexados en una señal óptica de manera similar a las redes HFC. La x en FTTx, significa cuan cerca a la instalación del hogar la fibra es desplegada, con el lazo

¹ No confundir con el filtro DSL (microfiltro) que no divide el tráfico si no mas bien en un filtro pasa bajo que son instalados en entre las líneas telefónicas y el teléfono que filtra los datos de alta frecuencia

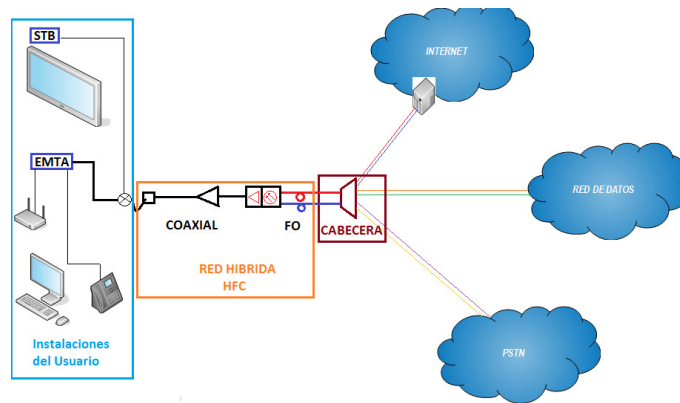


Figura 3.3 Diagrama esquemático de Redes HFC. Elaboración Propia.

de cobre existente usado para el resto del camino. Un esquema general de las diferentes configuraciones usadas se muestra en la figura 3.4

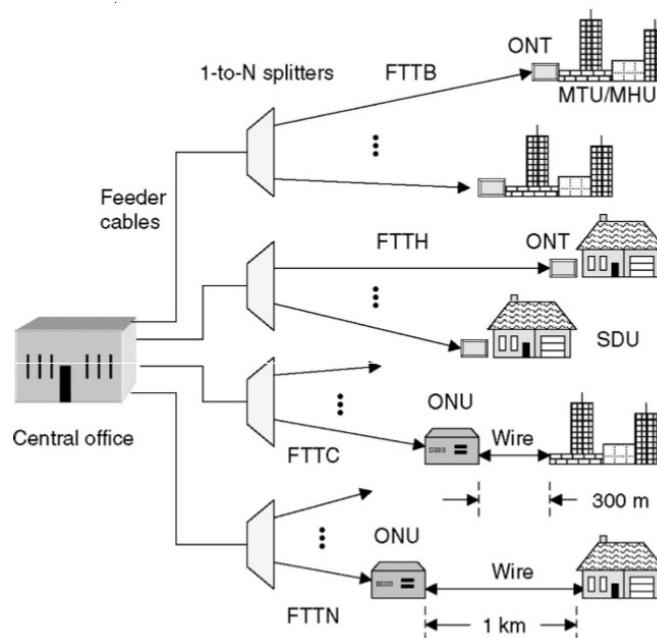


Figura 3.4 Diagrama esquemático de redes FTTx. [Keiser, 2006].

3.2.2 Inalámbrica

Con los enlaces de radio inalámbricos, también es posible conectar a usuarios con el Internet. Existe ahora redes móviles de banda ancha, una serie de estándares basados en la IEEE 802 para redes locales y regionales.

Comunicaciones Móviles

En comunicaciones móviles, enlaces de radio de dos vías son usados para conectar usuarios a las estaciones bases en lugar de usar alambres de cobre, dándole al usuario libertad de movimiento. Las redes de acceso consisten en un conjunto de celdas que son servidas por estaciones bases. El tamaño de la celda varia; donde algunas celdas en áreas de alta densidad urbana pueden tener un radio de solo algunos cientos de metros, una celda en un área rural puede tener un radio de varios kilometros[Fredrik Hammarström, 2013]

Los enlaces de radio son potencialmente disponibles a todos los usuarios localizados dentro de la misma celda, y la planificación de red por los operadores intenta configurar la red de tal manera que las celdas estén adyacentes para que los usuarios no experimenten ausencia de al red o caída de las llamadas cuando se mueven a través de las celdas[Ahlin, 2006]. Ver figura 3.5.

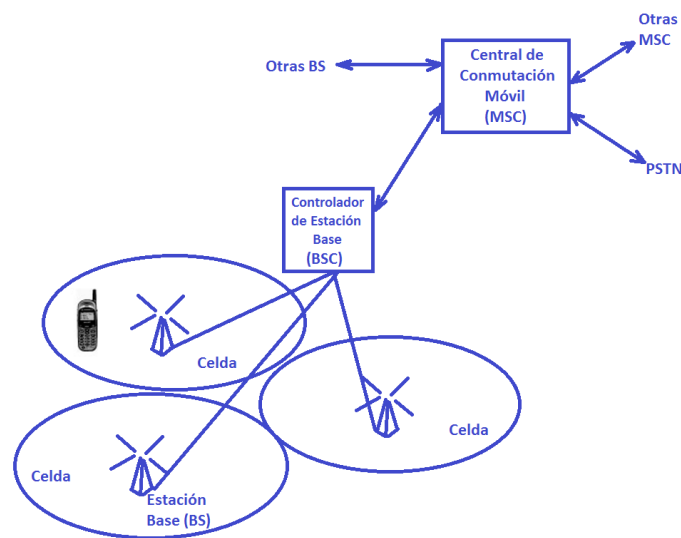


Figura 3.5 Diagrama esquemático de redes móviles. [Valdar et al., 2006].

Un controlador de estación base (BSC) agrega conexiones de sus estaciones base asociadas ya sea mediante cables de fibra óptica, o enlaces de microondas punto a punto. La BSC es entonces conectada al centro de conmutación móvil (MSC), que se encarga de conmutar las llamadas entre móviles dentro de su conjunto de BSC, o las enlaza a otro MSC o a la PSTN o inclusive a las redes de datos.[Valdar et al., 2006]

Tercera Generación (3G) Las tecnologías móviles de tercera generación² comúnmente englobado en la tecnología de Acceso de Banda Ancha Múltiple por División de Código (WCDMA) y en la de Acceso Múltiple por División de Código 2000 (cdma2000). WCDMA tiene la ventaja de ser compatible hacia atrás con los sistemas GSM de segunda generación y proporciona velocidades de datos de hasta 384Kbps en áreas amplias y hasta 2Mbps en áreas de puntos calientes³ (hot-spot areas).

Las mejoras de WCDMA para servicio de datos fueron introducidas con High Speed Packet Access (HSPA) que proporciona hasta 14.4Mbps de bajada (downstream) y 5.76Mbps de subida (upstream)[Shahid et al., 2008]

Cuarta Generación (4G) El estándar Long Term Evolution (LTE), es un estándar de cuarta generación, basado en Acceso Múltiple por división de Frecuencia Ortogonal (OFDMA), que fue introducido con la finalidad de cumplir con el incremento sustancial de contenido, impulsado por los datos en redes móviles, como opuesto a las redes 3G que fueron diseñadas para voz y datos. El objetivo de LTE es proporcionar velocidad de datos cada vez mas altas hasta o excediendo, los 100Mbps en bajada (downstream) y 50Mbps en subida (upstream)[Shahid et al., 2008].

IEEE 802.xx

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) también ha desarrollado un conjunto de estándares que tratan con las redes locales y Metropolitanas (LAN/MAN), llamada la familia de estándares 802.

Los dos estándares inalámbricos principales de la familia 802 son el estándar 802.16 (certificado como WiMAX) y el estándar de redes LAN inalámbricas 802.11 (certificadas como Wi-Fi). Aunque no aprobado por la IEEE, la tecnología White Spaces es la base en el estándar 802.22 de redes inalámbricas regionales[Sesia et al., 2011].

WiMAX Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas (WiMAX) es un estándar de la IEEE 802.16 que usa Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal

² También referido como IMT2000

³ Basado en Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3GPP) Release 99

(OFDM). OFDM y OFDMA son variantes de la misma tecnología, pues ambos distribuyen los datos sobre muchas diferentes portadoras, mientras que OFDM solo permite un usuario en un canal en un instante, OFDMA permite múltiples usuarios en el mismo canal[Shahid et al., 2008].

En el escenario de mejor caso, WiMAX puede alcanzar hasta 70Mbps, usando red de estaciones base fijas[Keiser, 2006]. Esta tecnología es primariamente ejemplificada en la literatura como una red de backbone y en menor medida como una red de acceso[Shahid et al., 2008, Keiser, 2006]. Sin embargo, también admite transmisiones inalámbricas a usuarios finales móviles directamente. Más comúnmente, las estaciones base WiMAX pueden servir a suscriptores en residencias, empresas ya través de puntos de acceso inalámbricos. (Ver figura 3.6)

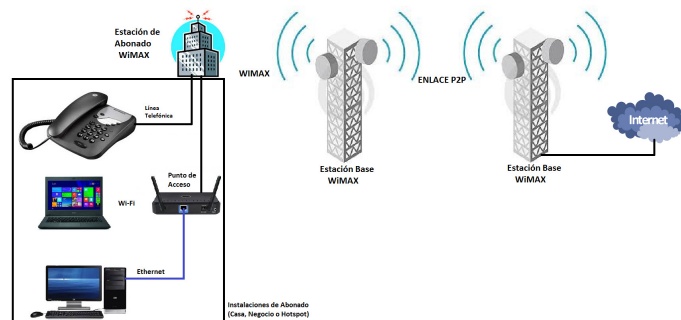


Figura 3.6 Diagrama esquemático de WiMAX. Adaptado de [Keiser, 2006].

WI-FI La certificación Wireless Fidelity, esta basada en el estándar 802.11, ganando; en parte a su uso sin licencia, mucha popularidad en proporcionar acceso de banda ancha a medida que los hábitos de uso de Internet de las personas cambian. WI-FI ha permitido el traslado de las infraestructuras de las oficinas a los hogares, en dormitorios, en la mesa de la cocina. Además, los espacios públicos como cibercafés, cafeterías se han beneficiado con la tecnología WI-FI. Las instituciones públicas, tales como universidades, bibliotecas y similares, también están captando la tendencia Wi-Fi. Estos últimos "mercado de acceso público", han ganado el nombre de hotspots, lo que significa que la tecnología de red de área local se basan en lo contrario de los sistemas móviles celulares.

Los puntos de acceso 802.11, conectados a nodos de fibra o con enlaces punto a punto o multipunto, pueden proporcionar inalámbricamente alta velocidad a múltiples usuarios.

Cobertura de bajada de hasta 11Mbps puede ser lograda para distancias de 30Km desde un nodo con una arquitectura punto a punto, pero con los avances que se ha hecho dentro del 802.11, con sus sufijos tales como 802.11a, 802.11g, 802.11n mayores velocidades pueden ser posibles[Reid and Seide, 2003].

3.3 Consideraciones de Diseño de Redes de Banda Ancha

El proceso de diseño de RF es muy importante con cualquier sistema de acceso de radio. Los criterios de diseño de RF; son un conjunto de reglas o parámetros usados por los departamentos de ingeniería no solo para el diseño de la red y los nuevos componentes que son agregados, tales como sitios de celdas, si no también para mejorar el desempeño de la red. Los valores indicados en cada uno de los criterios de diseño son manejados por mejor servicio deseado u ofrecido dentro de la disponibilidad monetaria y limitaciones tecnológicas[Smith and Collins, 2013]

Los criterios incluido son:

- Procedimiento de diseño de sistemas de RF.
- Metodología.
- Modelos de Propagación.
- Presupuesto de Enlace.
- Diseño de Sitios de celdas.
- Reporte de diseño de RF

En general, el diseño de RF de una red inalámbrica es un proceso en marcha de refinamiento y ajuste basado en una multitud de variables, muchas de las cuales no están bajo nuestro control.

3.3.1 Procedimientos de diseño de sistemas de RF

Usualmente, el diseño de un sistema de comunicaciones inalámbrica tiene tres posibilidades:

- Expansión de sistemas existentes (no nuevas plataformas de acceso).
- Diseño de nuevos sistemas (700MHz, Servicios Inalámbricos Avanzados (AWS), etc.).
- Introducción de nuevas plataformas tecnológicas a un sistema existente.

En el diseño del sistema se toma en cuenta todos los componentes que intervienen en la ruta de la señal de RF, así como también como las estaciones base individuales serán integradas a un sistema mayor. Es importante recalcar que es necesario conocer cual es el objetivo del diseño (en nuestro caso tenemos un dimensionamiento con determinados parámetros de calidad de servicio, establecidos fundamentalmente en la velocidad y grado de servicio) y estos deben vincularse con los planes y alcances sociales del proyecto.

Flujo de Proceso de Planeamiento

El flujo del proceso de Planeamiento recomendado se muestra en la figura 3.7. Es necesario decir que para que el diseño tenga relevancia, existen los requerimientos de cobertura y capacidad en las localidades seleccionadas que tienen su propia realidad geográfica. Es decir tenemos definido que servicios se ofrecerá y su capacidad y calidad.

Procedimiento para Nuevos Sistemas Inalámbricos

El proceso de diseño de nuevos sistemas, tienen los mismos procesos básicos de sistemas inalámbricos del pasado. Sin embargo, métodos de tratamiento del nivel de uso de los abonados para datos(QoS) necesitan ser tenidos en cuenta en el diseño, así como la inclusión de voz y si serán manejados por conmutación de circuitos (3G) o paquetes (4G). Los pasos a seguir son los siguientes:

- Obtener un plan de cobertura y objetivos(dimensionamiento).
- Establecer el área de cobertura del sistema (Localidades beneficiadas).
- Establecer decisiones de plataforma tecnológica(OFDM y/o OFDMA).
- Determinar el radio máximo de celda (presupuesto de enlace).
- Establecer correcciones ambientales.

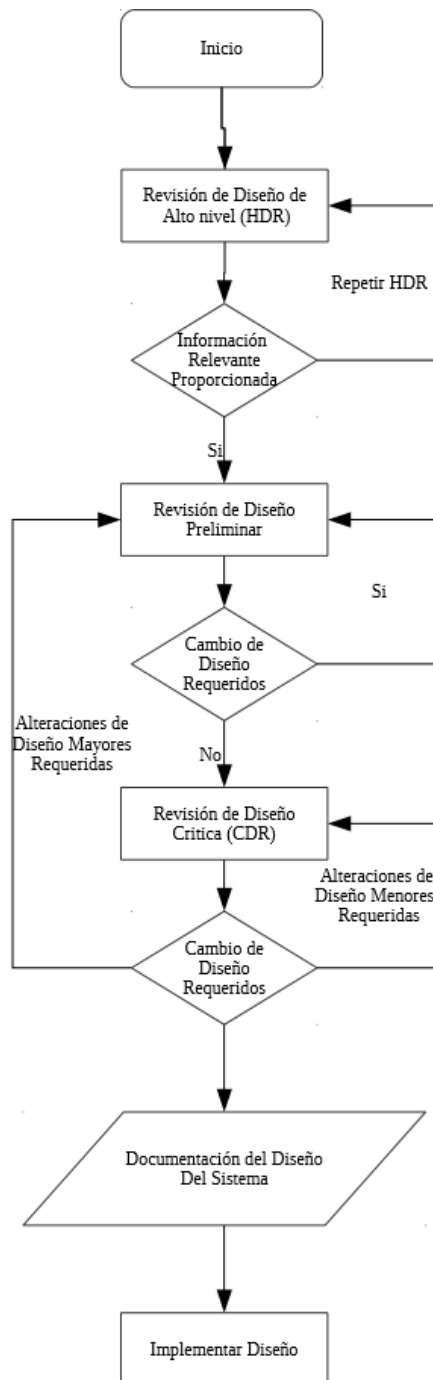


Figura 3.7 Proceso de diseño. Adaptado de [Smith and Collins, 2013].

- Determinar si el nivel de señal cumple con los criterios de diseño de QoS.
- Establecer el número máximo de celdas que cubren el área.
- Generar las gráficas de cobertura-propagación para el sistema.

- Reevaluar los resultados y realizar suposiciones y correcciones.

3.3.2 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[Rábanos et al., 2015].

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 una predicción mas aproximada del área de cobertura.

3.3.3 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 3.8 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.

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

3.3.4 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[Ghasemi et al., 2012]. El modelo

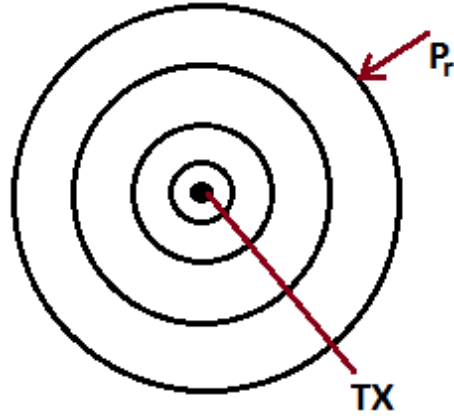


Figura 3.8 Propagación en Espacio Libre.

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.

3.3.5 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[Holma and Toskala, 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.

3.3.6 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 validad para, $1.5GHz < f_c < 2GHz$, $30m < h_t < 200m$, $1m < h_r < 10m$ y $1Km < d < 20Km$.

$$P_{L_{urban}}(d) = 46.3 + 33.9\log_{10}(f_c) - 13.82\log_{10}(h_t) - a(h_r) + (44.9 - 6.55\log_{10}(h_t))\log_{10}(d) + C_M \quad (3.6)$$

3.3.7 Presupuesto del Enlace de Redes de Banda Ancha

Nos referiremos a la figura 3.9 y los parámetros definidos en la tabla 3.1 para familiarizarnos con el cálculo del presupuesto de enlace.[?, 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,

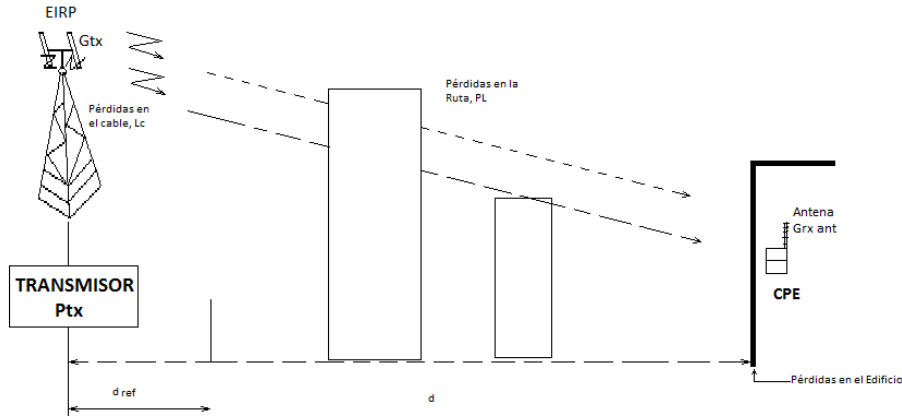


Figura 3.9 Presupuesto de Enlace de RF.

Tabla 3.1 Parámetros de Presupuesto de Enlace.

Potencia Efectiva Isotrópica Radiada	EIRP	Ganancia de Antena receptora	G_{RX}
Nivel Isotrópica 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_{fsp}	Transmisor	Tx
Ancho de Banda	BW	Receptor	Rx
Equipo de Usuario	CPE		

Potencia Efectiva Isotrópica Radiada, EIRP

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

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

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

Tenemos la tabla 3.2 donde se muestran valores y forma de determinar todos los parámetros de un presupuesto de enlace externo e interno.

Tabla 3.2 Ejemplo de Presupuesto de Enlace.

		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

4 Diseño de Red de Banda Ancha

El ingeniero, y, mas generalmente, el diseñador, tienen que ver con cómo debieran ser las cosas para alcanzar metas.

HERBERT SIMON

4.1 Ingeniería de Red de Banda Ancha

Se ha obtenido los requerimientos de cobertura, que se traduce en un conjunto de centros poblados beneficiadas, En la figura 4.1 se muestra su ubicación geográfica y también se obtenido los objetivos de los servicios a brindarse en la forma de una tabla que lista los centros poblados y su demanda estimada, determinada en el capítulo 2 y que se reproduce en la tabla 4.1

Ahora, tenemos un punto de acceso óptico en la capital de distrito Chota, desde ahí se desplegara una red inalámbrica con la intención de satisfacer la demanda estimada de cada una de los centros poblados beneficiadas.

Esta red inalámbrica estará compuesta de una red de transporte y una red de acceso, ambas inalámbricas, para esto es necesario entonces diseñar la red de transporte inalámbrica asegurándonos que desde Chota Capital se llegue a cada una de los centros poblados.

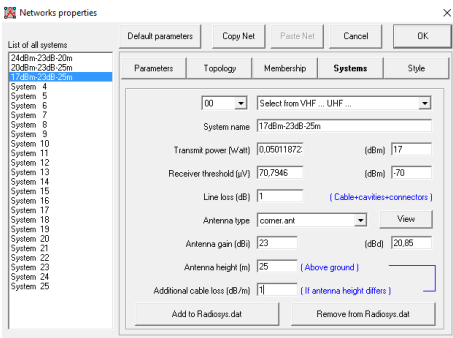


Figura 4.4 Configuración de Redes en Radio Mobile.

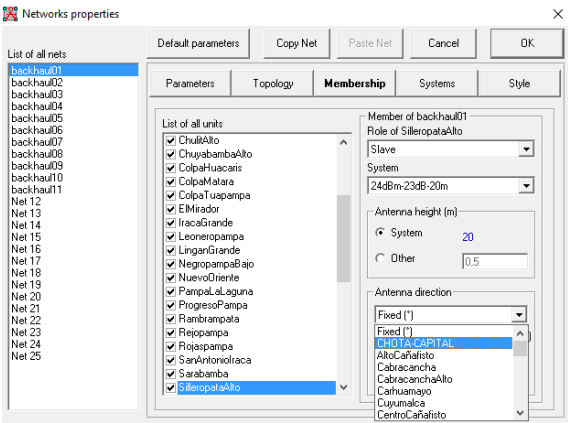


Figura 4.5 Configuración de Red Inicial.

El resultado se muestra en la figura 4.6, donde se observa que 10 centros poblados no tienen una línea de vista despejada con *Chota Capital*

En la figura 4.7 se observa los resultados de analizar algunos centros poblados sin línea de vista. Por ejemplo en la figura 4.7a se observa que el centro poblado Colpa de Tuapampa no tiene línea de vista con *Chota Capital*, de la misma forma en las figuras 4.7b y 4.7c se puede verificar lo mismo para los centros poblados de Colpa Huacarís y Sivingan Bajo.

Al no existir línea de vista con los centros poblados mencionadas se ha optado por brindarles servicio usando repetidoras, las cuales serán ubicadas en otros centros poblados. Después de muchas pruebas y errores la red Backhaul queda como se muestra en la figura 4.8

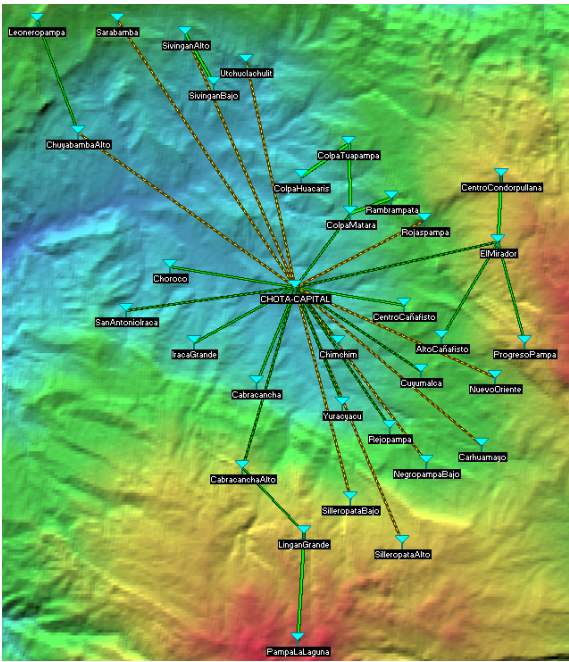


Figura 4.8 Red Backhaul que asegura la línea de vista con centros poblados del Distrito de Chota.

Tabla 4.2 Capacidad de los Enlaces y Perdidas de LOS.

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.

6.05GHz y operar en tamaños de canal de 5MHz a 45MHz, en la tabla 4.2 se detallan las características mas resaltantes.

Estos equipos tienen la posibilidad de establecer la potencia de transmisión dentro de un rango amplio que va desde 3dBm hasta 25dBm con incrementos de 1dB, lo que le da una gran flexibilidad a la hora de dimensionar los enlaces.

Para poder garantizar la capacidad estimada en cada enlace, se ha tenido que seleccionar cuidadosamente la potencia de transmisión, la ganancia de la antena, el ancho de banda a utilizarse y la sensibilidad del receptor de acuerdo a tablas obtenidas del manual de usuario del equipo PTP650, que se reproducen en el apéndice A.

En la tabla 4.3, se muestra las especificaciones inalámbricas por banda de frecuencia.

Tabla 4.3 Características Inalámbricas del PTP650.

	4.9GHz	5.1GHz	5.2GHz	5.8GHz
Banda de Rf	4900-4990	5150-5250	5250-5350	5725-5875
Ancho de Banda de Canal (MHz)	5, 40, 15, 20	5, 10, 15, 20, 20, 30, 40, 45	5, 10, 15, 20, 20, 30, 40, 45	5, 10, 15, 20, 20, 30, 40, 45
Ganancia de Antena (integrada)	23dBi	23dBi	23dBi	23dBi
Ancho de banda de Antena (integrada)	8°	8°	8°	8°

Enlace entre Chota Capital y Colpa Matara

Se dimensionara este enlace considerando que el centro poblado de Colpa Matara servirá de repetidora para los centros poblados de Rambrapata, Colpa Tuapampa y Colpa Huacaris y se usara la capacidad de agregación de tráfico del PTP650. En la figura 4.9 se muestra un esquema del enlace entre Chota Capital y Colpa Matara considerando el tráfico agregado

El tráfico agregado es de 98.1Mbps, con un Download agregado de 68.9Mbps y Upload agregado de 29.2Mbps, teniendo una relación entre Download y Upload de 2 a 1, por lo cual se usara la tabla 97, en configuración Mid y Optimización IP. En la figura 4.10 se observa la selección realizada que cubre el tráfico agregado calculado, teniendo como resultado un ancho de banda de *45MHz* y un tipo de modulación *64QAM 0.92 single*

Se usara ahora la tabla 80 y tabla 81 para determinar la potencia mínima del receptor, la potencia de transmisión y las pérdidas máximas del enlace, para el ancho de banda y modulación seleccionada.

En la figura 4.11 se observa que la potencia mínima del receptor es -67.3dBm, con una potencia máxima del transmisor de 24dBm y pérdidas máximas del enlace de 137.3dB.

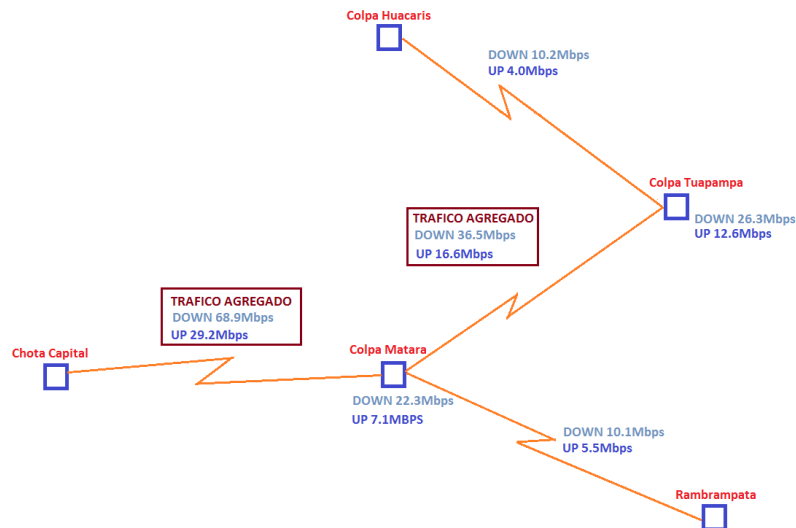


Figura 4.9 Esquema de enlace entre Chota Capital y Colpa Matara con trafico agregado.

Finalmente se verifica las condiciones de este enlace usando el Radio Mobile, donde se ha configurado los sistemas con la Potencia de Transmisión, potencia mínima del receptor y las pérdidas máximas del enlace. En la figura 4.12 se puede observar que la potencia de transmisión es de 24dBm, nivel de señal recibido es -63.1dBm, y las pérdidas máximas del enlace es 131.1dB, satisfaciendo lo establecido por las tablas de configuración con lo cual aseguramos cumplir con el trafico agregado para estos centros poblados.

4.3 Red de Acceso

Ahora desarrollaremos las redes de acceso en cada una de los centros poblados usando la información de la tabla 2.5, además de la información de los equipos PTM450, de Cambium Networks. Para esto usaremos la herramienta de planeamiento de Cambium Networks, el **PMP 450 Capacity Planner R14.1v2**

4.3.1 Alto Cañafisto

La capacidad estimada de Alto Cañafisto es de 10.2Mbps de Download y 5.5Mbps de Upload, usando **PMP 450 Capacity Planner R14.1v2**, determinaremos la combinación de potencia de transmisión, ancho de banda, Nivel de recepción, antenas de transmisión y recepción, tipo de modulación que satisface los requerimientos de esta localidad. En la

Table 97 Throughput at zero link range (Mbit/s), Mid, symmetry 2:1, optimization IP

Modulation mode	45 MHz (Tx/Rx/Aggregate)			40 MHz (Tx/Rx/Aggregate)		
256QAM 0.81 dual	168.0	84.0	252.0	153.0	77.0	230.0
64QAM 0.92 dual	141.0	71.0	212.0	129.0	65.0	194.0
64QAM 0.75 dual	116.0	58.0	174.0	106.0	53.0	159.0
16QAM 0.87 dual	90.0	45.0	135.0	82.0	41.0	123.0
16QAM 0.63 dual	65.0	32.0	97.0	59.0	30.0	89.0
256QAM 0.81 single	84.0	42.0	126.0	77.0	38.0	115.0
64QAM 0.92 single	71.0	35.0	106.0	65.0	32.0	97.0
64QAM 0.75 single	58.0	29.0	87.0	53.0	26.0	79.0
16QAM 0.87 single	45.0	22.0	67.0	41.0	21.0	62.0
16QAM 0.63 single	32.0	16.0	48.0	30.0	15.0	45.0
QPSK 0.87 single	22.0	11.0	33.0	21.0	10.0	31.0
QPSK 0.63 single	16.0	8.0	24.0	15.0	7.0	22.0
BPSK 0.63 single	8.0	5.0	13.0	7.0	5.0	12.0

Modulation mode	30 MHz (Tx/Rx/Aggregate)			20 MHz (Tx/Rx/Aggregate)		
256QAM 0.81 dual	112.0	56.0	168.0	75.0	37.0	112.0
64QAM 0.92 dual	95.0	47.0	142.0	63.0	31.0	94.0
64QAM 0.75 dual	77.0	39.0	116.0	51.0	26.0	77.0
16QAM 0.87 dual	60.0	30.0	90.0	40.0	20.0	60.0
16QAM 0.63 dual	43.0	22.0	65.0	29.0	14.0	43.0
256QAM 0.81 single	56.0	28.0	84.0	37.0	19.0	56.0
64QAM 0.92 single	47.0	24.0	71.0	31.0	16.0	47.0
64QAM 0.75 single	39.0	19.0	58.0	26.0	13.0	39.0
16QAM 0.87 single	30.0	15.0	45.0	20.0	10.0	30.0
16QAM 0.63 single	22.0	11.0	33.0	14.0	7.0	21.0
QPSK 0.87 single	15.0	8.0	23.0	10.0	5.0	15.0
QPSK 0.63 single	11.0	5.0	16.0	7.0	5.0	12.0
BPSK 0.63 single	5.0	4.8	9.8	5.0	3.2	8.2

Figura 4.10 Ancho de Banda y Modulación para el enlace de Chota Capital y Colpa Matara.

figura 4.13 se observa que para la combinación de Download y Upload para esta localidad, la modulación soportada es 2X-MIMO-B QPSK, con un ancho de banda de 10MHz y un nivel de señal en el receptor de -62dBm, llegando a un alcance de hasta 7Km en condiciones NLOS.

Con la información obtenida de **PMP 450 Capacity Planner R14.1v2**, ahora podemos usar el Radio Mobile para dibujar un diagrama de cobertura en la localidad de Alto Cañafisto y verificar si se cumplen las condiciones para la capacidad estimada. En la figura 4.14 se observa el resultado tanto en Radio Mobile como en Google Earth. Es importante indicar

Table 80 5.8 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	-96.8	-94.8	-93.0	-91.8	-90.0	-88.8	-88.3	27
QPSK 0.63 single	-93.7	-91.7	-89.9	-88.7	-86.9	-85.7	-85.2	26
QPSK 0.87 single	-89.7	-87.7	-85.9	-84.7	-82.9	-81.7	-81.1	26
16QAM 0.63 single	-87.4	-85.4	-83.6	-82.3	-80.6	-79.3	-78.8	25
16QAM 0.63 dual	-83.4	-81.4	-79.6	-78.4	-76.6	-75.4	-74.9	25
16QAM 0.87 single	-82.9	-80.8	-79.1	-77.8	-76.1	-74.8	-74.3	25
16QAM 0.87 dual	-79.8	-77.8	-76.0	-74.8	-73.0	-71.8	-71.2	25
64QAM 0.75 single	-79.8	-77.8	-76.0	-74.8	-73.0	-71.8	-71.2	24
64QAM 0.75 dual	-76.7	-74.7	-72.9	-71.6	-69.9	-68.6	-68.1	24
64QAM 0.92 single	-75.8	-73.8	-72.1	-70.8	-69.1	-67.8	-67.3	24
64 QAM 0.92 dual	-72.5	-70.5	-68.8	-67.5	-65.8	-64.5	-64.0	24
256QAM 0.81 single	-72.5	-70.5	-68.7	-67.4	-65.7	-64.4	-63.9	23
256QAM 0.81 dual	-68.8	-66.8	-65.0	-63.8	-62.0	-60.8	-60.3	23

Table 81 5.8 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	169.8	167.8	166.0	164.8	163.0	161.8	161.3
QPSK 0.63 single	165.7	163.7	161.9	160.7	158.9	157.7	157.2
QPSK 0.87 single	161.7	159.7	157.9	156.7	154.9	153.7	153.1
16QAM 0.63 single	158.4	156.4	154.6	153.3	151.6	150.3	149.8
16QAM 0.63 dual	154.4	152.4	150.6	149.4	147.6	146.4	145.9
16QAM 0.87 single	153.9	151.8	150.1	148.8	147.1	145.8	145.3
16QAM 0.87 dual	150.8	148.8	147.0	145.8	144.0	142.8	142.2
64QAM 0.75 single	149.8	147.8	146.0	144.8	143.0	141.8	141.2
64QAM 0.75 dual	146.7	144.7	142.9	141.6	139.9	138.6	138.1
64QAM 0.92 single	145.8	143.8	142.1	140.8	139.1	137.8	137.3
64 QAM 0.92 dual	142.5	140.5	138.8	137.5	135.8	134.5	134.0
256QAM 0.81 single	141.5	139.5	137.7	136.4	134.7	133.4	132.9
256QAM 0.81 dual	137.8	135.8	134.0	132.8	131.0	129.8	129.3

Figura 4.11 Potencia mínima del receptor, Potencia de Transmisión y Pérdidas máximas del enlace Chota Capital y Colpa Matara.

que se ha graficado solo hasta el nivel de potencia limite de -62dBm, pues de esta manera aseguramos el tipo de modulación para el ancho de banda establecido que cubre la demanda proyectada.

4.3.2 Cabracancha

La demanda estimada de Cabracancha es de 38.4Mbps en Download y 12.6Mbps en Upload, de nuevo usando **PMP 450 Capacity Planner R14.1v2** se observa que para la combinación de Download y Upload para este centro poblado, la modulación soportada es 3X-MIMO-A 64QAM, con un ancho de banda de 20MHz y un nivel de señal en el receptor de -50dBm,

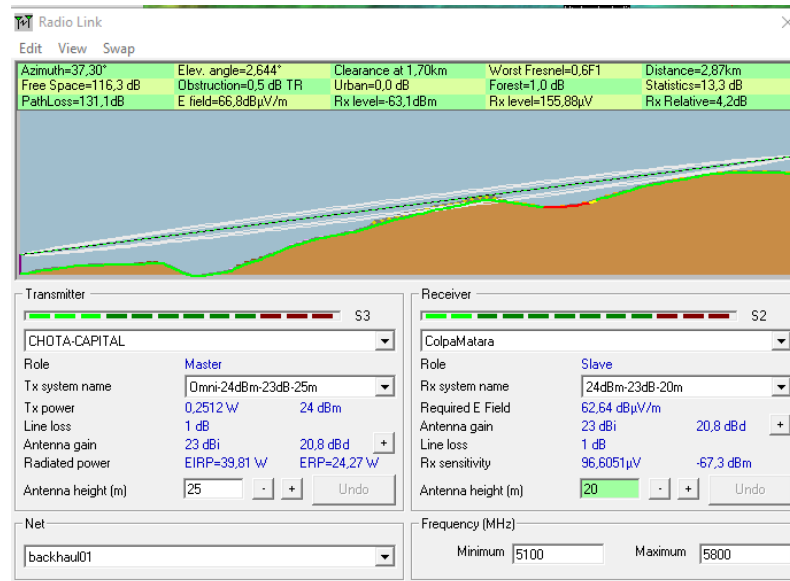


Figura 4.12 Enlace entre Chota Capital y Colpa Matara en Radio Mobile.

SM antenna option for displaying data		PMP 450 Integrated		LINK BUDGET FOR PMP 450 Integrated ANTENNA		UPLINK BUDGET (SM to AP)		
AP Tx Power per chain		19 (dBm)	0.079 (Watts)	SM Tx Power per chain		24 (dBm)	0.251 (Watts)	
AP Cable Loss		1 (dB)	0.001 (Watts)	SM Cable Loss (including cable loss for Connected)		23 (dBm)	Internal SM antenna	
AP Antenna Gain		3rd party antenna				0 (dBm)	PMP 450 Integrated	
Combined AP ERP		44 (dBm)	25.129 (Watts)	Combined SM ERP		50 (dBm)	100.0 (Watts)	
SM Rx Sensitivity (Conservative assumption for MIMO-A: large difference between RSSI of two branches)		43 (dBm)	6X MIMO-B = 256QAM	41 (dBm)	8X MIMO-A = 256QAM	49 (dBm)	8X MIMO-B = 16QAM	
		43 (dBm)	6X MIMO-A = 16QAM	41 (dBm)	2X MIMO-A = 256QAM	49 (dBm)	2X MIMO-B = 16QAM	
		43 (dBm)	3X MIMO-B = 16QAM	41 (dBm)	3X MIMO-A = 64QAM	49 (dBm)	3X MIMO-B = 16QAM	
		43 (dBm)	3X MIMO-A = 64QAM	41 (dBm)	4X MIMO-B = 16QAM	49 (dBm)	4X MIMO-B = 16QAM	
		43 (dBm)	2X MIMO-B = 64QAM	41 (dBm)	2X MIMO-A = 64QAM	49 (dBm)	2X MIMO-A = 64QAM	
SM Antenna Gain (including cable loss for Connected)		46 (dBm)	2X MIMO-B = QPSK	46 (dBm)	2X MIMO-B = QPSK	46 (dBm)	2X MIMO-B = QPSK	
		46 (dBm)	3X MIMO-A = QPSK	46 (dBm)	2X MIMO-A = QPSK	46 (dBm)	2X MIMO-A = QPSK	
		23 (dBm)	Internal SM antenna	AP Cable Loss	1 (dB)	0.001 (Watts)		
		0 (dBm)	PMP 450 Integrated	AP Antenna Gain	23.0 (dBm)	3rd party antenna		
Total DL Gain (8X MIMO-B)		109 (dB)		Total UL Gain (8X MIMO-B)		110 (dB)		
Total DL Gain (4X MIMO-A)		109 (dB)		Total UL Gain (4X MIMO-A)		110 (dB)		
Total DL Gain (4X MIMO-B)		117 (dB)		Total UL Gain (4X MIMO-B)		118 (dB)		
Total DL Gain (2X MIMO-A)		117 (dB)		Total UL Gain (2X MIMO-A)		118 (dB)		
Total DL Gain (4X MIMO-B)		123 (dB)		Total UL Gain (4X MIMO-B)		124 (dB)		
Total DL Gain (2X MIMO-A)		123 (dB)		Total UL Gain (2X MIMO-A)		124 (dB)		
Total DL Gain (2X MIMO-B)		130 (dB)		Total UL Gain (2X MIMO-B)		131 (dB)		
Total DL Gain (1X MIMO-A)		130 (dB)		Total UL Gain (1X MIMO-A)		131 (dB)		
The SS is downlink limited by		1 dB						
COVERAGE AND THROUGHPUT								
Modulation	DL Range	UL Range	Max DL/UL/Total Throughput	Capacity (Mbps)				
8X MIMO-B	0.6 km	0.2 km	42.6/28.7/71.3 Mbps	14.6				
4X MIMO-A	0.6 km	0.2 km	21.3/14.3/35.6 Mbps	UL	11.1			
4X MIMO-B	1.6 km	1.9 km	31.9/21.5/53.4 Mbps	Total	25.7			
4X MIMO-A	1.6 km	1.9 km	16.0/10.8/26.8 Mbps					
4X MIMO-B	3.1 km	3.8 km	21.3/14.3/35.6 Mbps					
4X MIMO-A	3.1 km	3.8 km	10.6/7.2/17.8 Mbps					
2X MIMO-B	7.3 km	8.5 km	10.6/7.2/17.8 Mbps					
2X MIMO-A	7.3 km	8.5 km	5.3/3.6/8.9 Mbps					
1X MIMO-B	10.3 km	12.0 km	5.3/3.6/8.9 Mbps					

Figura 4.13 Herramienta PMP 450 Capacity Planner R14.1v2 para alto Cañafisto.

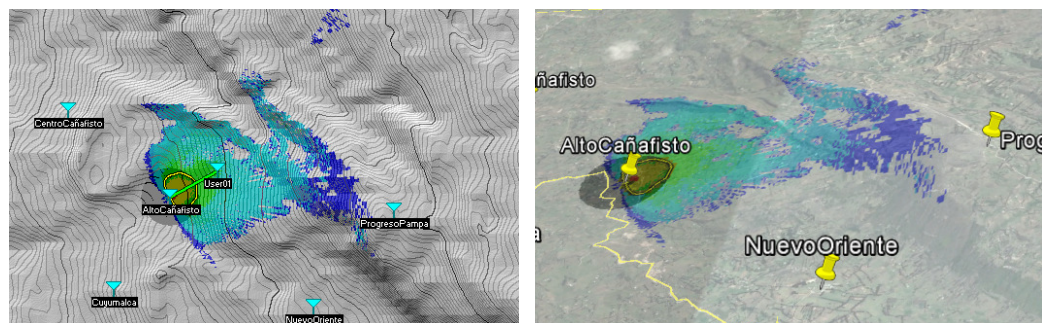


Figura 4.14 Cobertura de Alto Cañafisto.

llegando a un alcance de hasta 2Km en condiciones NLOS.

De la misma manera se procede en el Radio Mobile para dibujar un diagrama de cobertura del centro poblado de Cabracancha y verificar si se cumplen las condiciones para la capacidad estimada. En la figura 4.15 se observa el resultado tanto en Radio Mobile como en Google Earth. Es importante indicar que se ha graficado solo hasta el nivel de potencia limite de -50dBm, pues de esta manera aseguramos el tipo de modulación para el ancho de banda establecido que cubre la demanda proyectada.

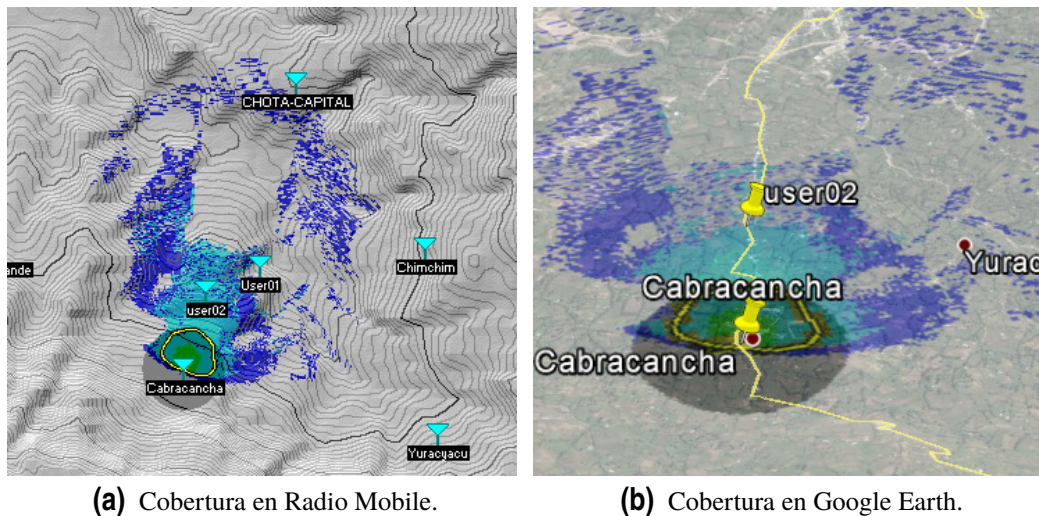


Figura 4.15 Cobertura de Cabracancha.

4.3.3 Demas Localidades

Se ha procedido de manera similar para las demás centros poblados, en la tabla 4.4 se resume los resultados obtenidos. Se ha considerado el Tipo de Modulación, El nivel de señal mínima recibida, El ancho de banda, la potencia de transmisión, la ganancia de la antena transmisora y el porcentaje de Downlink. En todos los casos en el receptor se ha considerado el equipo ePMPi 450.

En la figura 4.16 se muestra los diagramas de cobertura sobre los centros poblados del distrito de Chota, donde se ha usado la información de la tablas 4.4 para configurar las diferentes redes de acceso en Radio Mobile y obtener estos resultados.

Tabla 4.4 Consolidado de Planeación de Capacidad del resto de Centros Poblados.

Nro	Centro Poblado	Modulación	P_{Rx} (dBm)	BW (MHz)	P_{Tx} (dBm)	G_{Tx} (dBi)	Down link %
1	Alto Cañafisto	2X-MIMO-B QPSK	-62	10	24	23	65
2	Cabracancha	3X-MIMO-A 64QAM	-50	20	24	23	75
3	Cabracancha Alto	2X-MIMO-A 16QAM	-55	10	22	27	67
4	Carhuamayo	4X-MIMO-B 16QAM	-55	10	22	27	67
5	Centro Base Cuyumalca	3X-MIMO-A 64QAM	-49	10	22	27	60
6	Centro Cañafisto	3X-MIMO-A 64QAM	-49	10	22	27	71
7	Centro Condorpullana	2X-MIMO-A 16QAM	-55	10	22	27	59
8	Chimchim	3X-MIMO-A 64QAM	-50	5	22	27	70
9	Choroco	3X-MIMO-A 64QAM	-50	5	22	27	70
10	Chulit Alto	4X-MIMO-B 16QAM	-55	10	24	27	70
11	Chuyubamba Alto	6X-MIMO-B 64QAM	-50	20	24	27	75
12	Colpa Huacarís	4X-MIMO-B 16QAM	-56	5	24	27	72
13	Colpa Matara	2X-MIMO-A 16QAM	-56	20	24	27	76
14	Colpa Tuapampa	2X-MIMO-A 16QAM	-56	20	24	27	68
15	El Mirador	2X-MIMO-A 16QAM	-56	10	24	27	59
16	Iraca Grande	3X-MIMO-A 64QAM	-49	10	24	27	65
17	Leoneropampa	3X-MIMO-A 64QAM	-49	10	24	27	71
18	Lingn Grande	4X-MIMO-B 16QAM	-55	10	24	27	66
19	Lingn Pata	3X-MIMO-A 64QAM	-49	10	24	27	62
20	Negropampa BAJO	4X-MIMO-B 16QAM	-56	20	24	27	73
21	Nuevo Oriente	3X-MIMO-A 64QAM	-49	10	24	27	65
22	Pampa Laguna	2X-MIMO-A 16QAM	-56	20	24	27	67
23	Progreso Pampa	4X-MIMO-B 16QAM	-56	20	24	27	65
24	Rambrampate	4X-MIMO-B 16QAM	-56	20	24	27	65
25	Rejopampa	3X-MIMO-A 64QAM	-50	5	24	27	70
26	Rojaspampa	3X-MIMO-A 64QAM	-49	10	24	27	64
27	San Antonio de Iraca	2X-MIMO-A 16QAM	-55	10	24	27	59
28	Sarabamba	2X-MIMO-A 16QAM	-56	20	24	27	68
29	Silleropata Alto	3X-MIMO-A 64QAM	-49	10	24	27	62
30	Silleropata Bajo	3X-MIMO-A 64QAM	-50	20	24	27	73
31	Sivingan Alto	4X-MIMO-B 16QAM	-55	10	24	27	68
32	Sivinga Bajo	2X-MIMO-A 16QAM	-55	10	24	27	73
33	Utchuclachulit	3X-MIMO-A 64QAM	-49	10	24	27	62
34	Yuracyacu	3X-MIMO-A 64QAM	-50	20	24	27	71

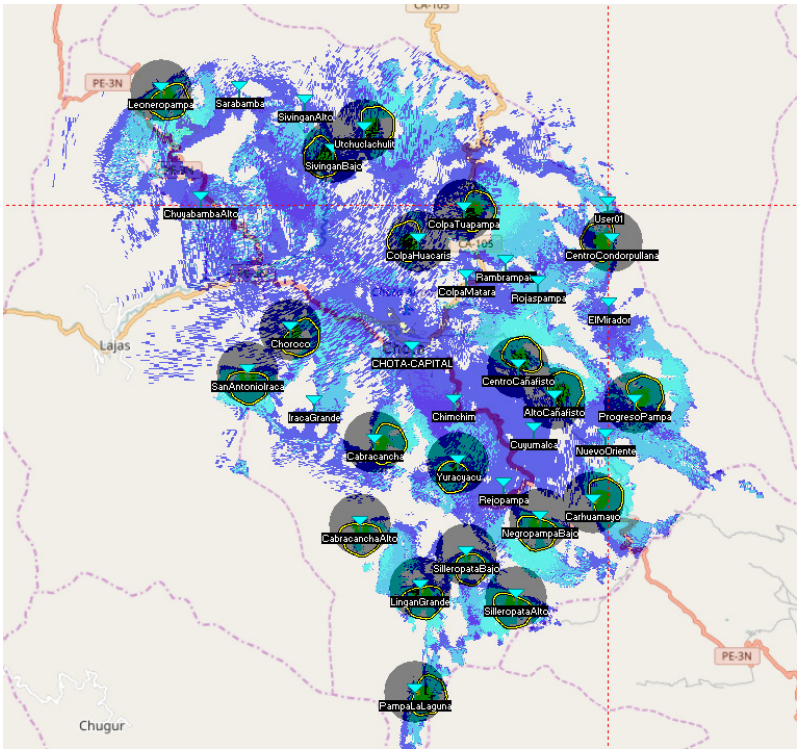


Figura 4.16 Diagrama de Cobertura de Centros Poblados del Distrito de Chota.

5 Conclusiones

Se ha diseñado una red de Banda Ancha Inalámbrica, que esta compuesta por una red de transporte inalámbrico que interconecta la Capital del Distrito de Chota con centros poblados beneficiados, ademas se ha diseñado y dimensionado con la capacidad estimada en cada centros poblado una red de acceso de alta velocidad que asegura satisfacer la demanda de los centros poblados lo que se demuestra mediante diagramas de cobertura, con los niveles de potencia recibida adecuados con el ancho de banda establecido y el tipo de modulación y codificación que garantiza una velocidad de acceso de al menos 2Mbps por usuario en los centros poblados del distrito de Chota-Cajamarca.

Con la información de población y vivienda de los centros poblados del distrito de Chota, obtenidos de los censos del 2007 y con los planes de servicios ofrecidos mediante la red de banda ancha proyectados a diez años, se ha podido estimar la capacidad demandada por los centros poblados, inclusive se ha considerado las instituciones tales como centros educativos, centros de salud, postas medicas y comisarias con un servicio de Intranet que significa igual velocidad de subida y bajada.

Se ha determinado que la arquitectura mas adecuada para este despliegue es una red de transporte inalámbrico, debido a las características de geográficas accidentadas de este distrito, finalmente se ha realizado, al menos a nivel de diseño una red de acceso alta velocidad que finalmente satisface la demanda estimada en cada centro poblado.

Apéndice A

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

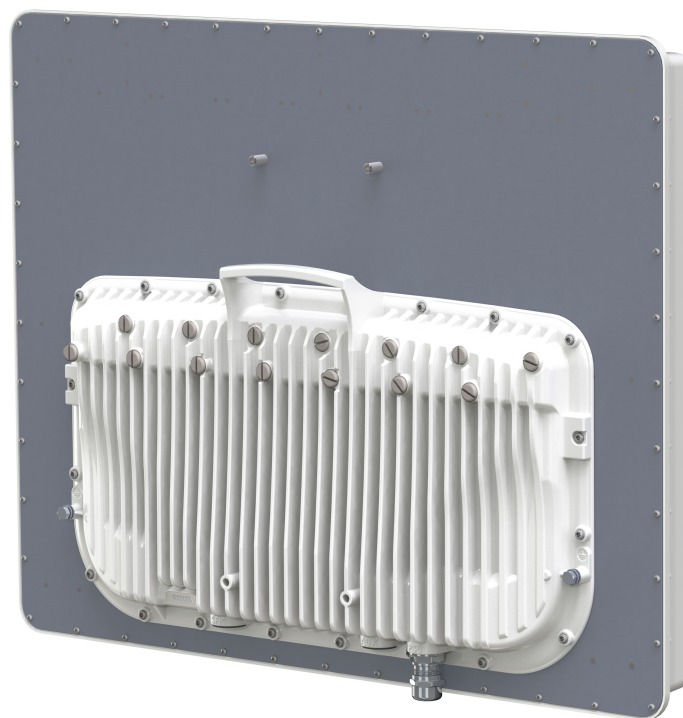
Modulation mode	15 MHz (Tx/Rx/Aggregate)			10 MHz (Tx/Rx/Aggregate)		
256QAM 0.81 dual	112.09	37.36	149.45	75.14	25.04	100.18
64QAM 0.92 dual	94.44	31.48	125.91	63.30	21.10	84.40
64QAM 0.75 dual	77.17	25.72	102.89	51.73	17.24	68.97
16QAM 0.87 dual	60.04	20.01	80.05	40.24	13.41	53.66
16QAM 0.63 dual	43.16	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

PMP 450m Access Point

Cambium Networks industry-leading 450 platform adds Multi-User MIMO capability with *cnMedusa™* technology.

Key Features:

- ***cnMedusa™* technology** enhances sector capacity by combining a smart beamforming antenna array with multiple RF transmit and receive chains, effectively multiplying available capacity by more than three times.
- Multi-User MIMO more effectively uses available spectrum by simultaneous transmissions to multiple subscribers, increasing **spectral efficiency** to more than 40 bps/Hz.
- **Protect your investment** in the 450 platform equipment by continuing to utilize existing Subscriber Modules (both 450 and 450i SMs work with the 450m and *cnMedusa* technology).
- Dramatically reduce the effect of interference with **smart beamforming**
- **SFP** port allows for greater deployment flexibility, and **AUX** port allows for connection of camera or other PoE directly.
- The **Limited Version** can reduce capital investment until additional capacity is actually required. A simple license key can enable MU-MIMO operation when needed.



PRODUCT

		RoW	US	EU	DES only	IC
Model Numbers	Integrated 90 degree sector	C050045A101A	C050045A102A	C050045A103A	C050045A104A	C050045A105A
	Limited Version	C050045A111A	C050045A112A	C050045A113A	C050045A114A	C050045A115A

SPECTRUM

Channel Spacing	Configurable to 2.5 MHz channel spacing
Frequency Range	5150-5925 MHz
Channel Width	5*, 10*, 15*, 20, 30* and 40 MHz*

INTERFACE

MAC (Media Access Control) Layer	Cambium Networks proprietary
Physical Layer	14x14 Multi-User MIMO OFDM
Ethernet Interface	100/1000BaseT, full duplex, rate auto negotiated (802.3 compliant)
Protocols Used	IPv4, UDP, TCP, IP, ICMP, Telnet, SNMP, HTTP, FTP
Network Management	HTTP, HTTPS, Telnet, FTP, SNMP v3
VLAN	802.1ad (DVLAN Q-inQ), 802.1Q with 802.1p priority, dynamic port VID

PERFORMANCE

Subscriber Per Sector	Up to 238	
ARQ	Yes	
Modulation Levels (Adaptive)	MCS	Signal to Noise Required (SNR, in dB)
2X	QPSK	10
4X	16QAM	17
6X	64QAM	24
8X	256QAM	32
Maximum Deployment Range	Up to 40 miles (64 km)	
Latency	10 ms, typical	
GPS Synchronization	Yes, via Autosync (CMM5 or UGPS)	
Quality of Service	Diffserv QoS	

LINK BUDGET

Antenna Beam Width (Azimuth)	90° integrated sector (dual polarity, H+V)
Antenna Beam Width (Elevation)	2° Electrical Downtilt , 8° Elevation (with Null Fill)
Maximum EIRP	+38 dBm (or up to maximum allowed by regulation)

PHYSICAL

Antenna Connection	Integrated Sector Array	
Surge Suppression (with LPU)	EN61000-4-5: 1.2us/50us, 500 V voltage waveform Recommended external surge suppressor: Cambium Networks Model # C000065L007A	
Mean Time Between Failure	> 40 Years	
Environmental	IP67, IP66	
Temperature / Humidity	-40°C to +60°C (-40°F to +140°F), 0-95% non-condensing	
Weight	Integrated	Approx. 14.2 kg (31 bs)
Wind Loading - Front Facing	@ 90 mph / 144 kph	460 N
	@ 110 mph / 177 kph	700 N
Dimensions (HxWxD)	Integrated	52 x 65 x 11 cm (20.3" x 25.7" x 4.4")
Power Consumption	70 W typical, 80 W peak (up to 110 W max with AUX port PoE enabled)	
Input Voltage	42.5-59 V DC	
Mounting	Pole mount with included brackets	

SECURITY

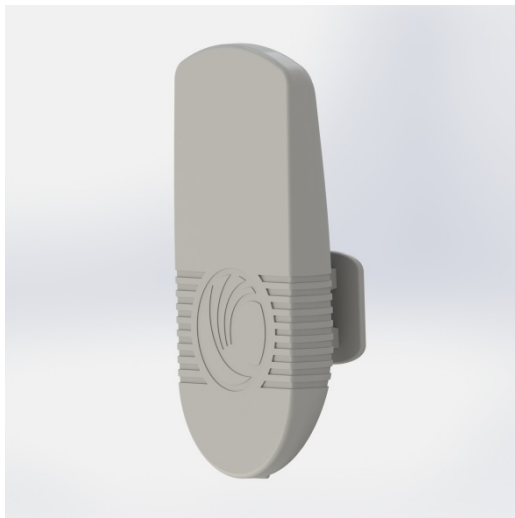
Encryption	56-bit DES, FIPS-197 128-bit AES
------------	----------------------------------

CERTIFICATIONS

Industry Canada (ISED)	109W-50450M (5.1*, 5.2*, 5.4, 5.8 GHz)
FCC ID	QWP-50450M (5.1*, 5.2*, 5.4, 5.8 GHz)
CE	EN 301 893 v1.8.1 (5.4GHz)
	EN 302 502 v1.2.1 (5.8 GHz)

* Indicates Future Software Release

ePMP Capacity Planner Guide



Release 2.4.3

ePMP Series introduction

The purpose of this document is to provide a quick description on how to use the ePMP Capacity Planner. The Cambium Networks ePMP Series is a wireless access system designed to create a radio local area network (RLAN) through microwave links in a point-to-multipoint (PMP) mode or a point-to-point (PTP) mode operating in the 2.4 and 5 GHz unlicensed bands. The ePMP Capacity Planner can offer a quick help to determine the expected performances in terms of distances of an ePMP Series system operating in line-of-sight (LOS), near line-of-sight (nLOS) or non line-of-sight (NLOS) propagation condition according to the configuration of several system parameters like channel bandwidth and antenna selection.

The ePMP System creates a point-to-multipoint or a point-to-point wireless broadband connection transmitting a radio signal with OFDM modulation and MIMO transmission technique.

OFDM (Orthogonal Frequency Division multiplexing) is a multi-carrier radio signal modulation based on the subdivision of the broadband channel into orthogonally-positioned subcarriers, each of which is modulated based on a conventional modulation scheme. With the OFDM technique, a very high data rate can be obtained increasing the system's spectrum efficiency.

The following are the subcarriers modulation schemes which can be used by the ePMP System:

- QPSK
- 16-QAM
- 64-QAM

Each modulation supports multiple coding rates. For example 64-QAM supports coding rates $5/6$, $3/4$ and $2/3$.

The OFDM channel bandwidth can be configured with one of four possible values: 5 MHz, 10 MHz, 20 MHz and 40 MHz. Wider channel bandwidth configurations allow for greater connection capacity as the signal occupies a larger portion of the spectrum. Narrower channel bandwidth configurations increase reception sensitivity and allow for more opportunities to operate in spectrum-constrained RF environments.

The channel bandwidth must be configured with the same values in both the AP and SM modules of the ePMP System.

MIMO (Multiple Input Multiple Output) radio transmission offers the capability of increasing the capacity of a radio connection by transmitting and receiving parallel signals on separate Tx/Rx chains. When the benefits of the MIMO techniques are combined with OFDM signaling and high system gain, operators can achieve a highly robust radio connection in conditions of non-line-of-sight (NLOS) propagation. The ePMP System uses 2x2 MIMO with two radio receivers and two transmitters in both the AP module and the SM module, transmitting in both directions two radio signals in the same frequency. One signal is vertically polarized and the other signal is horizontally polarized, with dual stream mode: the system transmits two distinct parallel data flows – one by way of the vertically polarized radio signal and the other by way of the horizontally polarized radio signal. In this way, the ePMP System doubles its transmission capacity.

The ePMP system also offers a single stream mode, in which both transmit chains transmit the same data, which is then combined at the receiver. This mode improves the sensitivity of the system and increases the range.

Cambium Networks offers two sector antennas to be used with the AP module of the ePMP System to create the RF coverage of service areas in multisector sites. The antennas provided by Cambium

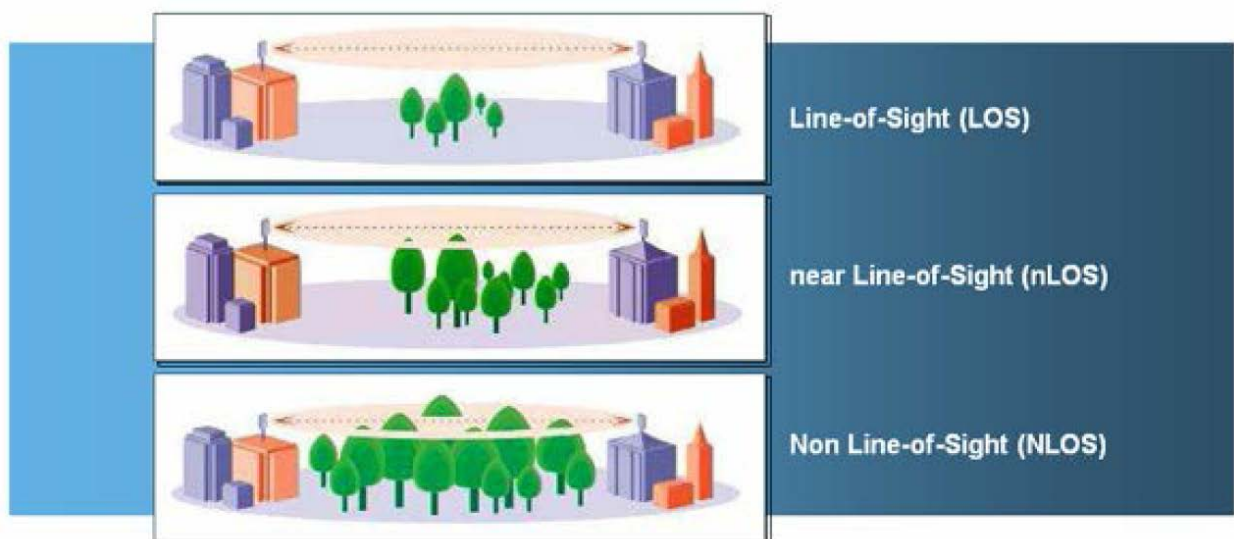
Networks are specifically designed to optimize the performance in terms of radio coverage of the ePMP System:

- 90° sector antenna for sites with up to 4 AP modules
- 120° sector antenna for sites with up to 3 AP modules

Types of connections

The ePMP Series can provide LOS (Line-Of-Sight) connectivity, nLOS (near Line-Of-Sight) connectivity and NLOS (Non-Line-Of-Sight) connectivity. A definition of these different propagation conditions are the following.

- **LOS:** the optical line between the AP and the SM and the first Fresnel zone are clear.
- **nLOS:** the optical line between the AP and the SM is clear, but a portion of the first Fresnel zone is blocked.
- **NLOS:** the optical line between the AP and the SM and a portion or even much of the first Fresnel zone are blocked, but subsequent Fresnel zones are open.



Link budget calculation

The link budget is the list of all the gains and losses that contribute to the propagation of the radio frequency signal that travels from the transmitter to the receiver.

The parameters that are taken into account for the calculation of the link budget are described below:

Transmitter output power: the median power level of the transmitter in the transmission channel expressed in dBm (relative to milliwatt). This level is configured for the AP transmitter by the regulatory limits and is automatically adjusted in the SM transmitter through ATPC (Automatic Transmit Power Control) functionality in order to get the maximum value.

Cable loss: the loss expressed in dB associated with the coaxial cable used to connect the transmitter with the antenna. The loss typically depends on the length of the cable and its quality.

Transmitter antenna gain: assuming that the transmitter antenna main axis is oriented in the direction of the receiver antenna, the maximum gain given in dB declared by the manufacturer is used.

EIRP (Effective Isotropic Radiated Power): is the sum of the transmitter output power and transmitter antenna gain minus the cable loss, expressed in dBm.

Receiver antenna gain: assuming that the receiver antenna main axis is oriented in the direction of the transmitter antenna, the maximum gain given in dB declared by the manufacturer is used.

Fade margin: the amount of power given in dB that represents the difference between the median signal level at the receiver input and the receiver sensitivity. When the link fades exceeding the fade margin an outage occurs. Fade margin must be selected by the user according to the link availability target that must be met.

Receiver sensitivity: the minimum median signal level needed at the input of the receiver to achieve a receiver output quality specific to a particular modulation scheme. Higher order modulation schemes require higher quality receiver output and higher received power signal levels.

System Gain: the difference, expressed in dB, between the EIRP and the lowest order modulation receiver sensitivity and cable loss. It conventionally refers to the minimum of the uplink and downlink system gains and represents the maximum FSPL achievable with a particular system configuration.

FSPL (Free Space Path Loss): it represents the radio frequency propagation calculation used in the tool and is the attenuation between the transmitter antenna and the receiver antenna in free-space given by the Friis formula:

- $FSPL [dB] = 32.44 + 20\log f + 20\log d$

Where f is expressed in MHz and d is expressed in kilometers

- $FSPL [dB] = 36.6 + 20\log f + 20\log d$

Where f is expressed in MHz and d is expressed in miles

This link budget calculation can be considered a valid approximation for LOS propagation in flat fading conditions where the operating bandwidth is less than the coherence bandwidth of the radio channel that is when the same degree of fading affects all frequencies of the signal bandwidth. In case the radio channel is experiencing frequency-selective fading effect the LOS range results may not be valid.

LINK BUDGET

The user interface of the LINK BUDGET tab is divided into three main parts: System Configuration, Link Budget and Coverage and Capacity.

ePMP CAPACITY PLANNER					
Cambium Networks confidential, not commercially binding					
SYSTEM CONFIGURATION					
Region	Others	Lower frequency	5725 [MHz]		
Frequency band	5.7/5.8 [GHz]	Upper frequency	5980 [MHz]		
Fade Margin	0 [dB]	AP EIRP limit	- [dBm]		
Channel Bandwidth	20 [MHz]	Max AP Tx Power (max MCS)	23 [dBm]		
AP type	Connectorized	SM EIRP limit	- [dBm]		
AP antenna system	Cambium 90° sector	Max SM Tx Power (max MCS)	23 [dBm]		
		Max range limit	40.0 [mi]		
3rd party connectorized SMs in sector?	Yes				
3rd party conn. SM antenna gain	23 [dBi]				
3rd party conn. SM antenna cable loss	1 [dB]				
Environment	LOS				
Range unit	miles				
Max range	5 [mi]				
Frame duration	5.0 [ms]				
Number of SMs/sector	30				
Duty cycle	75/25				
Max Combined AP Tx power (min MCS)	30 [dBm]				
Interference measured?	No				
SM antenna for measuring interference					
Downlink interference level					
Uplink interference level					
% of SMs with uneven paths (single stream MCS)	10%				

LINK BUDGET FOR INTEGRATED ANTENNA					
DOWNLINK BUDGET (AP to SM)			UPLINK BUDGET (SM to AP)		
AP Tx Power per chain (MCS15)	20 [dBm]	0.100 [Watts]	SM Tx Power per chain (MCS15)	20 [dBm]	0.100 [Watts]
AP Cable Loss	1 [dB]	0.001 [Watts]	SM Cable Loss	0 [dB]	0.001 [Watts]
AP Antenna Gain	15.0 [dBi]	Connectorized	SM Antenna Gain	13.0 [dBi]	Yes
Combined AP EIRP	37 [dBm]	5.012 [Watts]	Combined SM EIRP	36 [dBm]	4.0 [Watts]
SM Rx Sensitivity (Conservative assumption for single stream MCS: large difference between RSSI of two branches)	-69 [dBm]	64QAM 5/6 MCS15	AP Rx Sensitivity (Conservative assumption for single stream MCS: large difference between RSSI of two branches)	-69 [dBm]	64QAM 5/6 MCS15
	-70 [dBm]	64QAM 3/4 MCS14		-70 [dBm]	64QAM 3/4 MCS14
	-72 [dBm]	64QAM 2/3 MCS13		-72 [dBm]	64QAM 2/3 MCS13
	-77 [dBm]	16QAM 3/4 MCS12		-77 [dBm]	16QAM 3/4 MCS12
	-80 [dBm]	16QAM 1/2 MCS11		-80 [dBm]	16QAM 1/2 MCS11
	-84 [dBm]	QPSK 3/4 MCS10		-84 [dBm]	QPSK 3/4 MCS10
	-86 [dBm]	QPSK 1/2 MCS9		-86 [dBm]	QPSK 1/2 MCS9
	-69 [dBm]	64QAM 5/6 SS MCS7		-69 [dBm]	64QAM 5/6 SS MCS7
	-70 [dBm]	64QAM 3/4 SS MCS6		-70 [dBm]	64QAM 3/4 SS MCS6
	-72 [dBm]	64QAM 2/3 SS MCS5		-72 [dBm]	64QAM 2/3 SS MCS5
	-77 [dBm]	16QAM 3/4 SS MCS4		-77 [dBm]	16QAM 3/4 SS MCS4
	-80 [dBm]	16QAM 1/2 SS MCS3		-80 [dBm]	16QAM 1/2 SS MCS3
	-84 [dBm]	QPSK 3/4 SS MCS2		-84 [dBm]	QPSK 3/4 SS MCS2
	-86 [dBm]	QPSK 1/2 SS MCS1		-86 [dBm]	QPSK 1/2 SS MCS1
SM Cable Loss	0 [dB]	0.001 [Watts]	AP Cable Loss	1 [dB]	0.001 [Watts]
SM Antenna Gain	13.0 [dBi]	Yes	AP Antenna Gain	15.0 [dBi]	Connectorized

SYSTEM GAIN					
Total DL Gain (MCS15) =	116 [dB]	Total UL Gain (MCS15) =	116 [dB]		
Total DL Gain (MCS14) =	119 [dB]	Total UL Gain (MCS14) =	119 [dB]		
Total DL Gain (MCS13) =	123 [dB]	Total UL Gain (MCS13) =	123 [dB]		
Total DL Gain (MCS12) =	131 [dB]	Total UL Gain (MCS12) =	131 [dB]		
Total DL Gain (MCS11) =	134 [dB]	Total UL Gain (MCS11) =	134 [dB]		
Total DL Gain (MCS10) =	138 [dB]	Total UL Gain (MCS10) =	138 [dB]		
Total DL Gain (MCS9) =	140 [dB]	Total UL Gain (MCS9) =	140 [dB]		
Total DL Gain (MCS7) =	116 [dB]	Total UL Gain (MCS7) =	116 [dB]		
Total DL Gain (MCS6) =	119 [dB]	Total UL Gain (MCS6) =	119 [dB]		
Total DL Gain (MCS5) =	123 [dB]	Total UL Gain (MCS5) =	123 [dB]		
Total DL Gain (MCS4) =	131 [dB]	Total UL Gain (MCS4) =	131 [dB]		
Total DL Gain (MCS3) =	134 [dB]	Total UL Gain (MCS3) =	134 [dB]		
Total DL Gain (MCS2) =	138 [dB]	Total UL Gain (MCS2) =	138 [dB]		
Total DL Gain (MCS1) =	140 [dB]	Total UL Gain (MCS1) =	140 [dB]		

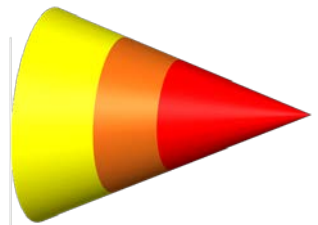
The link is **balanced**

COVERAGE AND CAPACITY					
Modulation	Potential DL Range	Potential UL range	Max DL Throughput	Max UL Throughput	Max Total Throughput
MCS15	2.57 [mi]	2.57 [mi]	70.1 Mbps	20.2 Mbps	90.3 Mbps
MCS14	3.64 [mi]	3.64 [mi]	62.0 Mbps	18.2 Mbps	80.2 Mbps
MCS13	5.76 [mi]	5.76 [mi]	56.6 Mbps	16.2 Mbps	72.8 Mbps
MCS12	14.47 [mi]	14.47 [mi]	40.4 Mbps	12.1 Mbps	52.6 Mbps
MCS11	20.44 [mi]	20.44 [mi]	27.0 Mbps	8.1 Mbps	35.0 Mbps
MCS10	32.40 [mi]	32.40 [mi]	21.6 Mbps	6.1 Mbps	27.6 Mbps
MCS9	40.00 [mi]	40.00 [mi]	13.5 Mbps	4.0 Mbps	17.5 Mbps
MCS7	2.57 [mi]	2.57 [mi]	35.0 Mbps	10.1 Mbps	45.2 Mbps
MCS6	3.64 [mi]	3.64 [mi]	32.3 Mbps	9.4 Mbps	41.8 Mbps
MCS5	5.76 [mi]	5.76 [mi]	27.0 Mbps	8.1 Mbps	35.0 Mbps
MCS4	14.47 [mi]	14.47 [mi]	21.6 Mbps	6.1 Mbps	27.6 Mbps
MCS3	20.44 [mi]	20.44 [mi]	13.5 Mbps	4.0 Mbps	17.5 Mbps
MCS2	32.40 [mi]	32.40 [mi]	10.8 Mbps	3.4 Mbps	14.2 Mbps
MCS1	40.00 [mi]	40.00 [mi]	8.1 Mbps	2.0 Mbps	10.1 Mbps
MCS1 with diversity	40.00 [mi]	40.00 [mi]	8.1 Mbps	2.0 Mbps	10.1 Mbps

Capacity (Mbps)	
DL	47.1
UL	13.6
Total	60.7

Scheduling latency (ms)	
DL	17.5
UL	55.0
Total	72.5

DL coverage and DL/UL/Total Throughput




- MCS1 not used
- MCS9 not used
- MCS10 not used
- MCS11 not used
- MCS12 not used
- MCS13 56.6/16.17/72.77 Mbps
- MCS14 61.99/18.19/80.18 Mbps
- MCS15 70.08/20.21/90.29 Mbps

SYSTEM CONFIGURATION

In the **SYSTEM CONFIGURATION** menu the fields in green represent the parameters that can be set by the user according to the system configuration that is applied to the ePMP system. The fields in white are output values to be used as references for the input parameters setting.


SYSTEM CONFIGURATION	
Region	Others
Frequency band	5.7/5.8 [GHz]
Fade Margin	0 [dB]
Channel Bandwidth	20 [MHz]
AP type	Connectorized
AP antenna system	Cambium 90° sector
3rd party connectorized SMs in sector?	Yes
3rd party conn. SM antenna gain	23 [dBi]
3rd party conn. SM antenna cable loss	1 [dB]
Environment	LOS
Range unit	miles
Max range	5 [mi]
Frame duration	5.0 [ms]
Number of SMs/sector	30
Duty cycle	75/25
Max Combined AP Tx power (min MCS)	30 [dBm]
Interference measured?	No
SM antenna for measuring interference	
Downlink interference level	
Uplink interference level	
% of SMs with uneven paths (single stream MCS)	10%

Lower frequency	5725 [MHz]
Upper frequency	5980 [MHz]
AP EIRP limit	- [dBm]
Max AP Tx Power (max MCS)	23 [dBm]
SM EIRP limit	- [dBm]
Max SM Tx Power (max MCS)	23 [dBm]
Max range limit	40.0 [mi]



Cambium Networks

CapacityPlanner@cambiumnetworks.com



The reference values are the following:

Lower frequency: lower edge of the selected frequency band

Upper frequency: upper edge of the selected frequency band

AP EIRP limit: limit of the combined power emitted by the AP antenna system, as defined by the regulatory selected. A value of "-" indicates that no limit is defined by the regulatory region selected.

Max AP Tx Power (max MCS): upper limit of the combined power that can be applied to the AP antenna system, in order to be compliant to the EIRP limit. If the selected regulatory does not restrict the EIRP, this is the upper limit of the combined power that can be applied to the AP antenna system at the highest MCS level.

SM EIRP limit: limit of the combined power emitted by the SM antenna system, as defined by the regulatory selected. A value of "-" indicates that no limit is defined by the regulatory region selected.

Max SM Tx Power (max MCS): upper limit of the combined power that can be applied to the SM antenna system, in order to be compliant to the EIRP limit. . If the selected regulatory does not restrict the EIRP, this is the upper limit of the combined power that can be applied to the AP antenna system at the highest MCS level.

Max range limit: minimum of maximum range calculated using the configuration parameters input in the tool and limit of the ePMP product. The unit of the range is miles or kilometers as explained below.

The values that can be configured are the following:

Region: selection of the regulatory set of rules to be applied according to the country of operation.

SYSTEM	
Region	Others
Frequency band	FCC ETSI Others
Fade Margin	
Channel Bandwidth	20 [MHz]
AP type	Connectorized
AP antenna system	Cambium 90° sector
AP 3rd party antenna gain	
AP 3rd party antenna cable loss	

Frequency band: selection of the 5GHz spectrum band (4.920-4.995 GHz, 5.000-5.080 GHz, 5.085-5.150 GHz, 5.1 GHz, 5.2 GHz, 5.4GHz or 5.7/5.8GHz) or 2.4 GHz spectrum band. Not all frequency bands are available in all regions.

Region	Others
Frequency band	5.7/5.8 [GHz]
Fade Margin	4.920-4.995 5.000-5.080 5.085-5.150 5.1 5.2 5.3 5.4 5.7/5.8
Channel Bandwidth	
AP type	
AP antenna system	
AP 3rd party antenna gain	
AP 3rd party antenna cable loss	

Fade Margin: setting of the margin on signal fading that the user wants to introduce in order to obtain the desired link availability.

The following table summarizes the estimated fade margin for a certain link availability.

Link availability	Fade margin in LOS	Fade Margin in nLOS	Fade Margin in NLOS (suburban)	Fade Margin in NLOS (urban)
90%	0 dB	2.5 dB	4 dB	7.5 dB
99%	2 dB	4.5 dB	9 dB	17 dB
99.9%	5 dB	6.5 dB	16 dB	27 dB
99.99%	8 dB	9 dB	24 dB	37 dB

Channel Bandwidth: selection of the width of the operating channel (5 MHz, 10 MHz, 20MHz or 40MHz).

Region	Others
Frequency band	5.7/5.8 [GHz]
Fade Margin	0 [dB]
Channel Bandwidth	20 [MHz]
AP type	5 10 20 40
AP antenna system	Connectorized sector
AP 3rd party antenna gain	
AP 3rd party antenna cable loss	

AP type: selection of the type of radio used at the AP site (connectorized or integrated). Typically the AP is a connectorized radio with a sector antenna, and the SM is an integrated radio. However, the Capacity Planner gives the option of selecting any type of radio on either side, in case a PTP link is established. For example, a PTP link can be configured with two integrated radios or with two connectorized radios with small beamwidth antennas.

SYSTEM	
Region	Others
Frequency band	5.7/5.8 [GHz]
Fade Margin	0 [dB]
Channel Bandwidth	20 [MHz]
AP type	Connectorized
AP antenna system	<div>Connectorized</div> <div>Integrated</div>
AP 3rd party antenna gain	
AP 3rd party antenna cable loss	

AP antenna system: selection of the antenna used for the AP module (90° sector antenna, 120° sector antenna or 3rd party). The 90° and the 120° sector antennae are provided by Cambium. Selecting “3rd party” in this field allows the user to input the parameters of any other antenna that is being used. This field is valid only if the **AP type** is selected as Connectorized.

Region	Others
Frequency band	5.7/5.8 [GHz]
Fade Margin	0 [dB]
Channel Bandwidth	20 [MHz]
AP type	Connectorized
AP antenna system	<div>Cambium 90° sector</div> <div>Cambium 90° sector</div> <div>Cambium 120° sector</div> <div>3rd party</div>
3rd party connectorized SMs in sector?	Yes

AP 3rd party antenna gain: input field of AP antenna gain if the AP antenna system is selected as “3rd party”

AP 3rd party antenna cable loss: input field of AP antenna cable loss if the AP antenna system is selected as “3rd party”

Region	Others
Frequency band	5.7/5.8 [GHz]
Fade Margin	0 [dB]
Channel Bandwidth	20 [MHz]
AP type	Connectorized
AP antenna system	3rd party
AP 3rd party antenna gain	25 [dBi]
AP 3rd party antenna cable loss	1 [dB]

3rd party connectorized SMs in sector?: Answer “Yes” if any of the SMs deployed in the sector that is being configured is connectorized.

Region	Others
Frequency band	5.7/5.8 [GHz]
Fade Margin	0 [dB]
Channel Bandwidth	20 [MHz]
AP type	Connectorized
AP antenna system	Cambium 90° sector
AP 3rd party antenna gain	
AP 3rd party antenna cable loss	
3rd party connectorized SMs in sector?	Yes
3rd party conn. SM antenna gain	Yes
3rd party conn. SM antenna cable loss	1 [dB]

3rd party conn. SM antenna gain: input field of SM antenna gain if any connectorized SMs are deployed in the sector. This field is valid only if the **3rd party connectorized SMs in sector?** is selected as “Yes”.

3rd party conn. SM antenna cable loss: input field of SM antenna cable loss if any connectorized SMs are deployed in the sector. This field is valid only if the **3rd party connectorized SMs in sector?** is selected as “Yes”.

Region	Others
Frequency band	5.7/5.8 [GHz]
Fade Margin	0 [dB]
Channel Bandwidth	20 [MHz]
AP type	Connectorized
AP antenna system	Cambium 90° sector
AP 3rd party antenna gain	
AP 3rd party antenna cable loss	
3rd party connectorized SMs in sector?	Yes
3rd party conn. SM antenna gain	23 [dBi]
3rd party conn. SM antenna cable loss	1 [dB]

Environment: type of propagation environment. The options for this field are: LOS, near LOS, NLOS (suburban) or NLOS (urban).

The following table summarizes the excess path loss used in the range calculation formula for each selection of the **Environment** parameter.

Environment	Excess Path Loss
LOS	0 dB
nLOS	5 dB
NLOS (suburban)	15 dB
NLOS (urban)	25 dB

Region	Others
Frequency band	5.7/5.8 [GHz]
Fade Margin	0 [dB]
Channel Bandwidth	20 [MHz]
AP type	Connectorized
AP antenna system	Cambium 90° sector
AP 3rd party antenna gain	
AP 3rd party antenna cable loss	
3rd party connectorized SMs in sector?	Yes
3rd party conn. SM antenna gain	23 [dBi]
3rd party conn. SM antenna cable loss	1 [dB]
Environment	LOS
Range unit	LOS
Max range	near LOS
Frame duration	NLOS (suburban)
Frame duration	NLOS (urban)
Number of SMs/sector	30

Range unit: unit for ranges used throughout the tool. Choices are miles or kilometers.

Region	Others
Frequency band	5.7/5.8 [GHz]
Fade Margin	0 [dB]
Channel Bandwidth	20 [MHz]
AP type	Connectorized
AP antenna system	Cambium 90° sector
AP 3rd party antenna gain	
AP 3rd party antenna cable loss	
3rd party connectorized SMs in sector?	Yes
3rd party conn. SM antenna gain	23 [dBi]
3rd party conn. SM antenna cable loss	1 [dB]
Environment	LOS
Range unit	miles
Max range	miles
Frame duration	kilometers
Frame duration	30 [ms]
Number of SMs/sector	30

Max range: distance between the AP and the location of the farther SM the user wants to serve with the AP. The potential maximum cell size is calculated using other link budget parameters selected in the green cells and is shown as the **Max range limit**. If the **Maximum range** input is larger than the **Max range limit** an error message appears. The **Max range limit** is a reference value and cannot be changed. The unit for the **Max range** and the **Max range limit** is either miles or kilometers, depending on the **Range unit** selection.

With a smaller cell size, a larger percentage of users can use higher order modulation, and the sector capacity is higher. On the other hand, with smaller cells network planning becomes very important, in order to limit interference between sectors using the same frequency.

Índice de Figuras

2.1.	Provincia de Chota y sus Distritos	9
2.2.	Provincia de Chota y sus Distritos	10
2.3.	Provincia de Chota y sus Distritos	12
2.4.	Tasa de Analfabetismo en Mujeres por Condición de Pobreza	13
2.5.	Establecimiento de Salud - Distrito de Chota	14
3.1.	Capas de Redes de Telecomunicaciones. Adaptado de [Valdar et al., 2006]	20
3.2.	xDSL. Diagrama esquemático de acceso a Internet de Usuarios finales. Adaptado de [Valdar et al., 2006]	21
3.3.	Diagrama esquemático de Redes HFC. Elaboración Propia	22
3.4.	Diagrama esquemático de redes FFTx. [Keiser, 2006]	22
3.5.	Diagrama esquemático de redes móviles. [Valdar et al., 2006]	23
3.6.	Diagrama esquemático de WiMAX. Adaptado de [Keiser, 2006]	25
3.7.	Proceso de diseño. Adaptado de [Smith and Collins, 2013]	28
3.8.	Propagación en Espacio Libre	30
3.9.	Presupuesto de Enlace de RF	32
4.1.	Ubicación Geográfica de Localidades del Distrito de Chota	36
4.2.	Ubicación Geográfica de centros poblados del Distrito de Chota en Radio Mobile	37
4.3.	Configuración de Redes en Radio Mobile	37
4.4.	Configuración de Redes en Radio Mobile	38

4.5.	Configuración de Red Inicial	38
4.6.	Línea de Vista de Localidades con Chota Capital	39
4.7.	Algunas Localidades sin Línea de Vista	39
4.8.	Red Backhaul que asegura la línea de vista con centros poblados del Distrito de Chota	40
4.9.	Esquema de enlace entre Chota Capital y Colpa Matara con trafico agregado	42
4.10.	Ancho de Banda y Modulación para el enlace de Chota Capital y Colpa Matara	43
4.11.	Potencia mínima del receptor, Potencia de Transmisión y Pérdidas máximas del enlace Chota Capital y Colpa Matara	44
4.12.	Enlace entre Chota Capital y Colpa Matara en Radio Mobile	45
4.13.	Herramienta PMP 450 Capacity Planner R14.1v2 para alto Cañafisto	45
4.14.	Cobertura de Alto Cañafisto	45
4.15.	Cobertura de Cabracancha	46
4.16.	Diagrama de Cobertura de Centros Poblados del Distrito de Chota	48

Índice de Tablas

2.1.	Centros Poblados beneficiados del Distrito de Chota	15
2.2.	Nuevos Criterios de Asignación de Banda Ancha	16
2.3.	Penetración de Servicios de Telecomunicaciones	16
2.4.	Pobladores, Viviendas, e Instituciones de Centros Poblados	17
2.5.	Demanda Estimada de Centros Poblados	17
3.1.	Parámetros de Presupuesto de Enlace	32
3.2.	Ejemplo de Presupuesto de Enlace	34
4.1.	Demanda Estimada de Centros Poblados	36
4.2.	Capacidad de los Enlaces y Perdidas de LOS	40
4.3.	Características Inalámbricas del PTP650	41
4.4.	Consolidado de Planeación de Capacidad del resto de Centros Poblados	47

Bibliografía

- [sal, 2006] (2006). Análisis de la situación de salud.
- [Ahlin, 2006] Ahlin, L. (2006). *Principles of Wireless Communications*. GAZELLE BOOK SERVICES.
- [Aljeando Inga,] Aljeando Inga, I. C. Caracterizacion del departamento de cajamarca. Banco Central de Reserva del Perú Sucursal de Trujillo.
- [Carty, 2002] Carty, G. (2002). *Broadband Networking*. Beginner's Guides. McGraw-Hill/Osborne.
- [Coudé, 2010] Coudé, R. (2010). Radio mobile. *Prediction Programm*,[online] <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>.
- [de Cajamarca, 2011] de Cajamarca, G. R. (2011). Plan estratégico de gobierno electrónico. *Centro de Información y Sistemas*, 1:1–46.
- [Dr. Hamadoun I. Touré, 2014] Dr. Hamadoun I. Touré, S. G. d. I. U. (2014). Banda ancha para el desarrollo sostenible. *ITU news*, 3:35.
- [Fredrik Hammarström, 2013] Fredrik Hammarström, R. J. (2013). *BRIDGING THE BROADBAND DIVIDE THROUGH UNIVERSAL SERVICE FUNDS. Key Principles for Broadband Connectivity Projects in Underserved Areas*. PhD thesis, Linköping University, Sweden.

- [Ghasemi et al., 2012] Ghasemi, A., Abedi, A., and Ghasemi, F. (2012). *Propagation engineering in wireless communications*. Springer.
- [Gobierno del Perú, 2012] Gobierno del Perú (2012). Plan nacional para el desarrollo de la banda ancha en el peru. *Informe de Comisión*, 1:1–241.
- [Holma and Toskala, 2007] Holma, H. and Toskala, A. (2007). *HSDPA/HSUPA for UMTS: high speed radio access for mobile communications*. John Wiley & Sons.
- [Keiser, 2006] Keiser, G. (2006). *FTTX Concepts and Applications*. Wiley Series in Telecommunications and Signal Processing. Wiley.
- [Maral and Bousquet, 2011] Maral, G. and Bousquet, M. (2011). *Satellite communications systems: systems, techniques and technology*. John Wiley & Sons.
- [Naciones Unidas, 2012] Naciones Unidas, C. E. y. S. (2012). El acceso de banda ancha a internet como medio de lograr una sociedad digital inclusiva. *Informe de Secretario General*, 1:1–22.
- [Perú21, 2013] Perú21 (2013). Tv azteca tendai logró la concesión de la red dorsal de fibra óptica. *Peru 21*, 23:12.
- [Portocarrero, 2008] Portocarrero, W. R. H. C. T. V. (2008). Diagnostico socio economico laboral de la region cajamarca. Technical report, Observatorio Socio Economico Laboral de la Region Cajamarca.
- [Rábanos et al., 2015] Rábanos, J. M. H., Tomás, L. M., and Salís, J. M. R. (2015). *Comunicaciones móviles*. Editorial Universitaria Ramón Areces.
- [Reid and Seide, 2003] Reid, N. and Seide, R. (2003). *802.11 (Wi-Fi): Networking Handbook*. Networking Series. McGraw-Hill/Osborne.
- [Sesia et al., 2011] Sesia, S., Toufik, I., and Baker, M. (2011). *LTE - The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice*. Wiley.

-
- [Shahid et al., 2008] Shahid, M. K., Shoulain, T., and Shan, A. (2008). Mobile broadband: Comparison of mobile wimax and cellular 3g/3g+ technologies. *Information Technology Journal*, 7(4):570–579.
- [Smith and Collins, 2013] Smith, C. and Collins, D. (2013). *Wireless networks*. McGraw Hill Professional.
- [Valdar et al., 2006] Valdar, A., of Engineering, I., and Technology (2006). *Understanding Telecommunications Networks*. IET telecommunications series. Institution of Engineering and Technology.
- [Weik, 1995] Weik, M. (1995). *Communications Standard Dictionary*. Springer US.

Glossary

A

ADSL Asymmetric Digital Subscriber Line, p. 14.

C

CO Central Office, p. 20.

CPE Customer-premises equipment or customer-provided equipment (CPE) is any terminal and associated equipment located at a subscriber's premises and connected with a carrier's telecommunication channel at the demarcation point. The demarc is a point established in a building or complex to separate customer equipment from the equipment located in either the distribution infrastructure or central office of the communications service provider., p. 21.

D

DISA Dirección de Salud, p. 13.

Download Means to receive data to a local system from a remote system, p. 17.

DSL Digital Subscriber Line, p. 20.

F

FFTx Is a generic term for any broadband network architecture using optical fiber to provide all or part of the local loop used for last mile telecommunications. As fiber optic cables are able to carry much more data than copper cables, especially over long distances, copper telephone networks built in the 20th century are being replaced by fiber, p. X.

H

HFC Hybrid Fiber Coaxial (HFC), Híbrido de Fibra-Coaxial, en telecomunicaciones, es un término que define una red de fibra óptica que incorpora tanto fibra óptica como cable coaxial para crear una red de banda ancha, p. 21.

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, ingenieros en telemática etc, p. 22.

M

MOOC Massive Open Online Course, p. 1.

O

OCW Open Course Ware, p. 1.

OEA Organización de Estados Americanos, p. 8.

P

PSTN Red de Telefonía Pública Conmutada, p. 20.

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. 28.

S

STBs Decodificador o receptor de televisión, en inglés: Set-Top Box (STB), es el dispositivo receptor o decodificador de las señales (analógicas o digitales) de televisión analógica o digital (DTV), para luego ser mostrada o visualizada en el televisor, p. 21.

T

triple-play En telecomunicaciones, el concepto triple play, se define como el empaquetamiento de servicios y contenidos audiovisuales (voz, banda ancha y televisión), p. 21.

U

Upload Refer to the sending of data from a local system to a remote system such as a server or another client, p. 17.