



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

**ESTUDIO DEL DISEÑO DE UNA RED DE BANDA ANCHA USANDO UNA
RED DE TRANSPORTE DE FIBRA ÓPTICA Y TECNOLOGÍA WIMAX EN
LA RED DE ACCESO PARA DEMOSTRAR LA MEJORA DE LOS
SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES EN LA PROVINCIA DE SANTA
CRUZ**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

ELABORADO POR:

Bequer David Villalobos Guerrero

ASESOR:

Ing. Segundo Francisco Segura Altamirano

LAMBAYEQUE - PERÚ

2017

TESIS PRESENTADA POR:

Bequer David Villalobos Guerrero

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO

ACEPTADA POR LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Ing. Manuel Javier Ramírez Castro
PRESIDENTE

Ing. Carlos Leonardo Oblitas Vera
SECRETARIO

Ing. Lucía Isabel Chamán Cabrera
VOCAL

TESIS PRESENTADA POR:

Bequer David Villalobos Guerrero

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO

ACEPTADA POR LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Bequer David Villalobos Guerrero
TESISTA

Ing. Segundo Francisco Segura Altamirano
ASESOR

Agradecimiento

Quiero agradecer primeramente al que hace posible que esta tesis sea hecha, al que me ama incondicionalmente, el que estará conmigo en todos los pasos de mi vida, al creador de este universo, a Jehová.

Luego, agradecer a mis padres, Nemías Villalobos Meléndez y María Vianey Guerrero Milián, por brindarme su cariño, sus consejos, su confianza, su apoyo y su deseo por verme superar las dificultades y lograr mis metas.

A mis hermanos y su confianza en mi persona para continuar viviendo, ellos al igual que mis padres son mi motivación.

A mis familiares, que son muchos, los cuales me apoyaron aunque con el más mínimo incentivo, todo ha sido valioso para lograr esta meta.

A mis excompañeros de la Universidad y demás amigos, que al compartirme información hacen también posible este trabajo.

A mis profesores de la Universidad y sus enseñanzas que me han servido de base para culminar este ciclo.

A mi asesor y su apoyo en el desarrollo de este proyecto.

Índice General

Agradecimiento	I
Índice General	II
Índice de Figuras	V
Índice de Tablas	VII
Resumen	IX
1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del Problema.	2
1.2. Formulación del Problema Científico.	3
1.3. Justificación e Importancia.	3
1.4. Objetivos.	3
1.4.1. Objetivo General.	3
1.4.2. Objetivos Específicos.	4
1.5. Hipótesis.	4
2. Análisis actual de Santa Cruz y sus distritos	5
2.1. Espacio Geográfico.	6
2.1.1. Ubicación Geográfica.	6
2.1.2. Límites.	7
2.1.3. Clima.	7
2.1.4. Extensión Territorial.	8
2.2. Actividades Económicas.	8
2.3. Desarrollo Social.	9
2.3.1. Índice de Desarrollo Humano.	9
2.3.2. Población.	9
2.4. Los Centros Poblados.	10
2.5. Cálculo de la Demanda de Centros Poblados.	10

3. Marco Teórico.	20
3.1. Red de Transporte de Fibra Óptica	21
3.1.1. El Sistema de Comunicaciones Ópticas.	21
3.1.1.1. Elementos de un Enlace.	21
3.1.2. La Fibra Óptica.	23
3.1.2.1. Tipos de Fibras.	23
3.1.3. PDH.	24
3.1.3.1. Limitaciones de PDH.	25
3.1.4. SONET.	25
3.1.4.1. Señal Básica y elementos de la Red SONET.	26
3.1.4.2. Configuración de la Red SONET.	28
3.1.4.3. Beneficios de la Red SONET.	29
3.1.5. SDH.	30
3.1.5.1. Estructura de la trama STM-1.	30
3.1.5.2. Multiplexación SDH.	32
3.1.5.3. Interfaces Ópticas para Equipos y Sistemas relacionados con SDH.	33
3.1.5.4. Aspectos de Gestión de los Elementos de Red de Transporte en SDH.	34
3.1.5.5. Beneficios de SDH.	36
3.1.6. SONET/SDH.	36
3.1.6.1. Velocidades SONET/SDH.	37
3.2. Red de Acceso de Banda Ancha.	38
3.2.1. Redes de Banda Ancha.	38
3.2.1.1. Espectros de Radio frecuencia.	38
3.2.1.2. Evolución de las Redes Inalámbricas de Ban- da Ancha.	39
3.2.1.3. Redes de Banda Ancha Inalámbricas Fijas.	39
3.2.1.4. Redes de Banda Ancha Inalámbricas Móviles.	40
3.2.1.5. Comparación de WiMax con otras Tecnolo- gías Inalámbricas de Banda Ancha.	40
3.2.2. WiMax.	41
3.2.2.1. Estándar 802.16.	41
3.2.2.2. Ventajas de WiMax.	42
3.2.2.3. Evolución de estándares.	42
3.2.2.4. Arquitectura de Red.	43
3.2.3. QoS y Desempeño de WiMax.	44
3.2.3.1. Soporte de Calidad de Servicio.	44
3.2.3.2. Desempeño de WiMax.	45
3.2.3.3. Modulación Adaptativa y Codificación.	50

4. Diseño de Red de Banda Ancha.	51
4.1. Diseño de Red de Transporte.	52
4.1.1. Red Provincial de Fibra Óptica.	52
4.1.2. Ubicación del Nodo de Agregación y de los Nodos de Distribución.	54
4.1.3. Interfaces Ópticas de la Red de Transporte.	57
4.1.4. Diseño de Planta Interna.	59
4.1.5. Presupuesto de Enlace.	60
4.1.6. Selección de Equipos.	60
4.1.7. Esquema de la Red de Transporte.	61
4.2. Diseño de Red de Acceso.	63
4.2.1. Línea de vista de un Nodo de Distribución	64
4.2.2. Selección de Antena.	69
4.2.3. Enlace Santa Cruz - Quío.	70
4.2.4. Presupuesto de Enlace.	75
5. Conclusiones.	76
Apéndice	78
Bibliografía	105

Índice de Figuras

2.1. Provincia de Santa Cruz.	6
2.2. Provincia de Santa Cruz.	7
2.3. PEA de 15 años a más según ocupación.	8
2.4. PEA de 15 años a más según nivel educativo.	10
3.1. Características del Emisor y el Receptor en un Sistema de Comunicaciones Ópticas.	21
3.2. Características del Medio en un Sistema de Comunicaciones Ópticas.	22
3.3. Perfiles de índice y dimensiones típicas de los tres tipos más comunes de fibra óptica.	24
3.4. Niveles de PDH.	25
3.5. Estructura de trama de la señal STS-1.	26
3.6. Elementos de la Red SONET.	27
3.7. Arquitectura Punto a Punto.	28
3.8. Arquitectura Punto a Multipunto.	28
3.9. Arquitectura en Anillo.	29
3.10. Estructura de trama STM-1.	31
3.11. Multiplexación SDH.	32
3.12. Red SDH Genérica.	35
3.13. Aplicaciones de WiMax.	40
3.14. Arquitectura de Red WiMax.	43
3.15. Interfaces WiMax.	43
3.16. Modelo de Capas de ISO/OSI.	46
3.17. Formato de MAC PDU de WiMax.	48
3.18. Radio de la celda y AMC.	50
4.1. Tendido sobre la infraestructura eléctrica de media tensión. . .	52
4.2. Tendido subterráneo en la red vial.	53
4.3. Red Provincial de Fibra Óptica.	53
4.4. Ubicación de nodos y localidades beneficiadas.	56

4.5. Diagrama unifilar de Nodos de Distribución con las distancias y ancho de banda.	58
4.6. Esquema de Planta Interna en Nodo de Agregación - Santa Cruz.	59
4.7. Router CISCO ONS M2 15454.	61
4.8. Router CISCO ASR 903.	61
4.9. Esquema de Red de Transporte.	62
4.10. Localidades con línea de vista desde Santa Cruz.	65
4.11. Localidades con línea de vista desde Catache.	66
4.12. Localidades con línea de vista desde Chancaybaños.	66
4.13. Localidades con línea de vista desde La Esperanza.	67
4.14. Localidades con línea de vista desde Ninabamba.	67
4.15. Localidades con línea de vista desde Pulán.	68
4.16. Localidades con línea de vista desde Saucepampa.	68
4.17. Localidades con línea de vista desde Uticyacu.	68
4.18. Localidades con línea de vista desde Yauyucán.	69
4.19. Cambium Networks PTP 650.	70
4.20. Enlace Santa Cruz a repetidor para llegar a Quío.	74
4.21. Enlace repetidor a Quío.	74

Índice de Tablas

2.1. Localidades beneficiadas.	11
2.2. Cálculo de potenciales usuarios por servicio.	12
2.3. Tráfico en Erlangs y Usuarios simultáneos de canal de Internet.	13
2.4. Canales de Telefonía y Ancho de banda por localidad.	13
2.5. Ancho de banda de localidades beneficiadas.	14
2.6. Número de instituciones abonadas obligatorias en la provincia de Santa Cruz.	16
2.7. Establecimientos de Salud beneficiados por localidad.	16
2.8. Departamentos policiales beneficiados por localidad.	17
2.9. Instituciones educativas beneficiadas por localidad.	18
2.10. Instituciones educativas beneficiadas por localidad.	19
3.1. Clasificación de las interfaces ópticas.	34
3.2. Tabla de equivalencia entre SONET y SDH.	37
3.3. Espectro Radioeléctrico.	38
3.4. Comparación de WiMax con Wi-Fi y 3G.	41
3.5. Estándares WiMax.	42
3.6. Resumen de categorías, aplicaciones y parámetros de QoS.	45
3.7. Máximas velocidades de datos, PUSC, $G=1/8$	47
3.8. Carga útil máxima, PUSC, $G=1/8$	47
3.9. Carga neta, BW 10MHz, PUSC, $G=1/8$	47
3.10. Máximas velocidades de de diferentes Capas de WiMax.	49
3.11. Esquemas de Modulación y Codificación 3.5GHz y 3.5MHz.	50
4.1. Demanda en Mbps por cada distrito en la provincia de Santa Cruz.	54
4.2. Ubicación del Nodo de Agregación y de los Nodos de Distri- bución.	54
4.3. Interfaces Ópticas por Nodo de Distribución.	57
4.4. Presupuesto de Enlace en los Nodos de Distribución.	60
4.5. Ubicación de las Localidades.	63

4.6. Demanda en Mbps por cada localidad en la provincia de Santa Cruz.	64
4.7. Opciones de selección de ancho de banda y modulación para Quío.	71
4.8. Opciones de selección de ancho de banda y modulación para Quío.	71
4.9. Opciones de selección de ancho de banda y modulación para Quío.	72
4.10. Sensibilidad del Receptor para Quío.	73
4.11. Pérdidas totales para Quío.	73
4.12. Ancho de banda, modulación, nivel de Rx, potencia de Tx y pérdidas de red inalámbrica.	75

Resumen

El presente trabajo trata sobre el estudio de una red de transporte óptico y una red de acceso inalámbrico, con la finalidad de mejorar el servicio de las telecomunicaciones, en este caso el internet, en las localidades de la provincia de Santa Cruz.

Para lograr el objetivo, en primer lugar se ha desarrollado un estudio demográfico y un análisis socio económico de las poblaciones de cada localidad, las cuales han sido seleccionadas según el estudio de la RDNFO. Esto ha ayudado a establecer las ubicaciones de los nodos de distribución, así como del cálculo de la demanda de banda ancha.

Luego se ha tomado en cuenta conceptos teóricos sobre fibra óptica y su uso en redes de transporte, así como de las redes inalámbricas y el uso de WiMax.

Siguiendo con el desarrollo, se ha detallado el estudio del diseño de la red de Telecomunicaciones, en donde se ha seleccionado los equipos necesarios para las interfaces ópticas, además del número de enlaces inalámbricos, todo esto para obtener los resultados deseados.

Finalmente, se ha logrado el estudio del diseño de una red de transporte óptico y la red de acceso inalámbrico con calidad de transmisión y de servicio, la cual ha interconectado a todos los distritos de la provincia de Santa Cruz con sus localidades beneficiadas, logrando de esta manera la mejora tecnológica para suplir las necesidades de instituciones educativas, de policía y de salud, todo esto con una proyección a 10 años.

Capítulo 1

Introducción

1.1. Planteamiento del Problema.

La provincia de Santa Cruz está ubicada en la región Cajamarca. Cuenta con 11 distritos y un promedio de 48000 pobladores; Santa Cruz de Succhabamba, su capital, se encuentra ubicada a 2035 m.s.n.m. Al igual que otras comunidades en vías de desarrollo carece de un buen acceso al servicio de las telecomunicaciones, especialmente en áreas rurales. La capital provincial cuenta con servicios de telefonía móvil y telefonía fija; también existen establecimientos de cabinas de internet pero de baja calidad. Además, sólo algunas capitales distritales cuentan con acceso a internet a través de unas cabinas de internet de muy baja calidad y/o telefonía móvil, mas ninguno con telefonía fija. Sólo los caseríos cercanos a la capital provincial y/o capitales distritales gozan del servicio de telefonía móvil mas no otro servicio de telecomunicaciones. Por otro lado los pobladores de los demás caseríos están casi desconectados de la tecnología y el desarrollo.

Es importante recalcar que la mayoría de la población son en su mayoría ganaderos y agricultores, además desconocen el beneficio de las telecomunicaciones y el desarrollo que este implica en sus vidas. Esta es una razón por lo que existe una baja demanda de servicios de telecomunicaciones en comunidades rurales de la provincia de Santa Cruz y hace que empresas privadas no abran un mercado entre la población de estas, pero no es sólo el desconocimiento de estos servicios sino también que existen grandes extensiones de terrenos inaccesibles que hacen que la construcción de una Red de Servicios de Telecomunicaciones sea muy costoso para el sector privado. Esto hace difícil que Santa Cruz tenga una cobertura de servicios de redes de acceso a las telecomunicaciones de una calidad adecuada, considerándose como calidad, la confiabilidad del acceso y la velocidad de la misma.

Ahora, es importante aclarar que el acceso a las telecomunicaciones implica desarrollo e igualdad de oportunidades entre pobladores de comunidades rurales y pobladores de comunidades urbanas.[Bossio, 2010] Un dato importante también es el acceso de información por parte de los estudiantes de los colegios. Raymond Barber, consultor del Banco Interamericano de Desarrollo BID dice: La brecha tecnológica existente trae consecuencias entre las estudiantes (conectadas) y las que no lo están. Los jóvenes conectados están en superioridad frente a los que no lo están, perdiendo estos últimos oportunidades laborales, puestos de trabajos, etc. [FITELE, 2013] El desarrollo no sólo es para la comunidad sino también para todo el país, por ello Raymond también menciona que si se incrementan en 10 % los servicios de Telecomunicaciones, aumentaría el PBI en un 3.19 %, la productividad en un 2.61 % y se generarían miles de puestos de trabajo.

Las telecomunicaciones mejora otros aspectos importantes como un

mejor acceso al servicio de salud, bases de datos en la RENIEC. Luis Montes, Secretario Técnico de FITEC afirma: si alguien necesita una atención de salud especializada, el médico podrá contactarse con hospitales de referencia, compartir exámenes e imágenes y acceder de manera más rápida a estos (telemedicina). Gracias a esta conectividad un nacido vivo podrá ser registrado de manera inmediata en la base de datos del Reniec.[El Comercio, 2014]

Por ello es importante la mejora del acceso al servicio de Telecomunicaciones en lugares rurales (en este caso Santa Cruz), teniendo pues el acceso de alta capacidad en estas comunidades el desarrollo y la mejora es inminente.

1.2. Formulación del Problema Científico.

¿De qué manera el estudio del diseño de una Red de Banda Ancha, usando una Red de Transporte de Fibra Óptica y Tecnología WiMAX en la Red de Acceso, demostrará una mejora en los Servicios de Telecomunicaciones en la provincia de Santa Cruz?.

1.3. Justificación e Importancia.

Para un país como el Perú, el acceso a las telecomunicaciones de seguro es un gran logro para el desarrollo social y económico de los pueblos, especialmente en los lugares aislados en donde es hasta desconocido. Por ello es indispensable contar con la tecnología que el mundo actual demanda y que sin duda ayudará a las comunidades en sus actividades agrícolas y ganaderas.

Para mí, como profesional de las Telecomunicaciones; el desarrollo de esta tesis me permitirá conocer más de cerca todas las técnicas y tecnologías involucradas en el despliegue de estas redes de acceso de telecomunicaciones y adaptarla a la difícil geografía de comunidades rurales en Santa Cruz y estaré seguro de estar contribuyendo con una tecnología que permitirá reducir la brecha digital estimulando del desarrollo económico y social de las localidades mencionadas.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo General.

Realizar el estudio del diseño de una red de Banda Ancha, usando una Red de Transporte de Fibra Óptica y Tecnología WiMax en la red de

acceso, de esta manera demostrar la mejora de los servicios de telecomunicaciones en las localidades rurales de la provincia de Santa Cruz con calidad de servicio y alta velocidad de transmisión.

1.4.2. Objetivos Específicos.

1. Estudiar la arquitectura de red WiMax (Red de banda ancha / IEEE 802.16) aplicada a localidades rurales.
2. Obtener información relevante a las localidades rurales a atender, para establecer los requerimientos principales de acceso a los servicios de telecomunicaciones, para dimensionar adecuadamente la red de acceso de banda ancha a diseñar.
3. Determinar los equipos, materiales y demás elementos a utilizar en las diferentes partes de la red, que satisfaga los requerimientos establecidos.
4. Realizar pruebas a nivel de Simulación del desempeño de la red y verificar parámetros de calidad.

1.5. Hipótesis.

Si se realiza el estudio del diseño de una Red de Transporte de Fibra Óptica y Tecnología WiMax en la Red de Acceso, soportado en las teorías de Redes de Telecomunicaciones, Sistemas de Transmisión y Modulación, se demostrará una mejora en los Servicios de Telecomunicaciones en la provincia de Santa Cruz con calidad de servicio y alta velocidad de transmisión.

Capítulo 2

Análisis actual de Santa Cruz y sus distritos

2.1.1. Ubicación Geográfica.

The image displays a map of Sabah, Malaysia, with its administrative districts outlined. Kudat District is highlighted in red, indicating its location in the northernmost part of the state. An inset map in the bottom left corner provides a broader view of Sabah, with a blue box indicating the specific area shown in the main map.

Figura 2.1: Provincia de Santa Cruz.

2.1.2. Límites.

La provincia de Santa Cruz limita por el sur con la provincia de San Miguel, por el norte con la provincia de Chota, por el este con la provincia de Hualgayoc, y por el oeste con la región Lambayeque.



Figura 2.2: Provincia de Santa Cruz.

2.1.3. Clima.

Es más probable encontrar lluvias entre los meses de diciembre a abril. En los meses de mayo, junio y julio se puede apreciar un cielo despejado y días soleados, en estos meses existe un verdor impresionante en la zona y también es la época de las cosechas de maíz, arvejas, y trigo. En los meses de agosto a noviembre es posible encontrar días de frío (heladas) y viento. Su temperatura es variada según cada distrito, se puede apreciar desde 10°C hasta 18°C, con un 48 % de humedad y con una media anual de 15°C.

2.1.4. Extensión Territorial.

La provincia de Santa Cruz presenta una extensión territorial de 1417.93Km², ocupando el 4.2 % de la región de Cajamarca. Esta cuenta con 11 distritos.

2.2. Actividades Económicas.

En la Población Económicamente Activa de la provincia de Santa Cruz, de 15 años más (11,001 personas), predominan los trabajadores independientes con el 49 %, que según la definición del INEI son personas que explotan "su propio negocio o que ejerce por su cuenta una profesión u oficio, o tiene trabajadores remunerados a su cargo.[INEI, 2007] Ejemplo: pintor de carteles o vendedores de fruta"; añadiríamos allí propietarios de bodegas, puesto en los mercados, etc., la segunda actividad en importancia es el "Trabajador familiar no remunerado". El 20 %, son personas que trabajan sin remuneración en una empresa o negocio familiar dirigida por un pariente, el 15 % son Empleados, es decir aquellos que según el INEI "desempeñan una ocupación eminentemente intelectual; trabajan en una institución, organismo, empresa privada o estatal", en este caso tienen una participación importante el conjunto de profesores que laboran en las distintas instituciones educativas de la provincia. Obreros son solamente el 12.5 % que refleja el bajo número de unidades económicas existentes en la provincia.

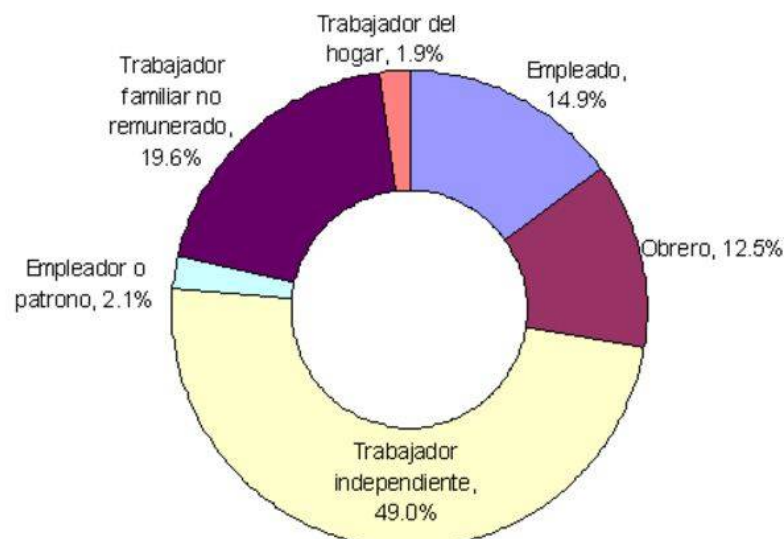


Figura 2.3: PEA de 15 años a más según ocupación.

2.3. Desarrollo Social.

Se presentan resultados de estudios relacionados con el desarrollo social de la provincia de Santa Cruz, a fin de establecer un escenario donde las redes de acceso de Banda Ancha, puede ser el motor para contribuir estos indicadores sociales.

Se observa que Santa Cruz en general presenta indicadores sociales encima del promedio, existe todavía un largo camino por recorrer. Las diferencias mostradas en estos indicadores entre áreas urbanas y rurales son notorias, de tal manera que la mejora de la calidad de los servicios públicos; entre los que esta el acceso de banda ancha, es un reto nacional, regional y provincial a fin de elevar el capital humano para lograr una nación igualitaria y más competitiva.

2.3.1. Índice de Desarrollo Humano.

Un índice que permite tener una idea global al desarrollo humano de un país o una región es el Índice de Desarrollo Humano (IDH), elaborado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Este se mide usando tres indicadores, que son esperanza de vida, logro educativo (que considera a su vez la alfabetización de las personas mayores de 15 años y la escolaridad entre 5 y 18 años de edad) y el ingreso per cápita. La región Cajamarca ocupa el puesto 19 a nivel nacional y la provincia de Santa Cruz el puesto 84 de un total de 198.

En cuanto a la pobreza total y pobreza extrema, Cajamarca es la octava región de mayor tasa de pobreza total. [BCRP, 2014]

2.3.2. Población.

El censo del 2007 realizado por el INEI se estimó una población de 43856 habitantes donde el 50.19 % son varones y el 49.81 % son mujeres, estando el 79.04 % en la zona rural y el 20.96 % en el área urbana.

Un dato importante es conocer el nivel educativo de la Población Económicamente Activa de la provincia de Santa Cruz, de 15 años a más (11,001 personas), el 44.5 % tiene solamente educación primaria, el 31 % tiene educación secundaria, el 8.2 % no tiene ningún nivel, solo el 5.1 % tiene educación universitaria completa. Se puede decir que es muy bajo el nivel educativo la PEA de Santa Cruz de 15 años a más, lo cual tiene las siguientes repercusiones:[ProInversión, 2015]

1. Para que se constituyan negocios en la provincia se necesitan en algunos casos, mano de obra calificada y esta no existe.

2. Los que actualmente constituyen la PEA se dedican a actividades económicas como el transporte, ya sea en ómnibus, combis o en mototaxi y es posible que no cuenten con ningún nivel educativo, por lo tanto no respetan las normas de tránsito, por que no lo conocen, pues no saben ni leer.
3. Una de las actividades de enorme potencial en la provincia es el Turismo, para su desarrollo se necesitan guías, orientadores, que conozcan la historia, la cultura que brinden un trato amable y educado a los visitantes, para ello no existiría la base en la PEA actual, habría que formarlo.

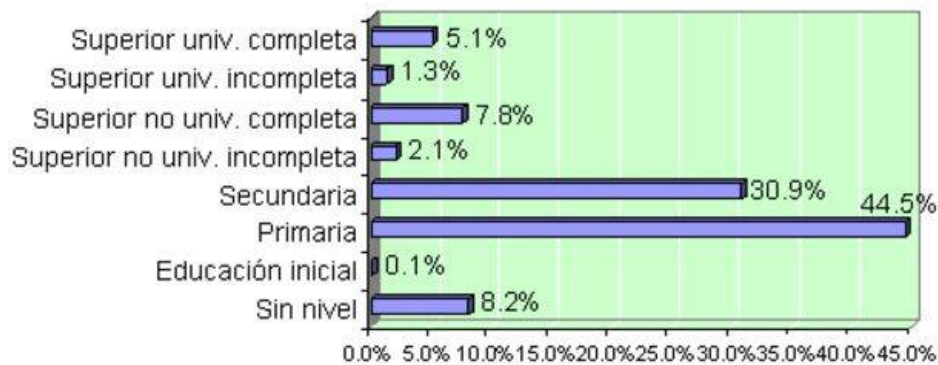


Figura 2.4: PEA de 15 años a más según nivel educativo.

2.4. Los Centros Poblados.

Este estudio se concentra en los distritos y caseríos rurales de la provincia de Santa Cruz, para lo cual se ha considerado los distritos y caseríos ya estudiados por FITEL. Sin embargo se recoge los datos del Censo de 1993 de Centros poblados y se proyecta la población actual, usando la tasa de crecimiento establecida por los diferentes censos posteriores.[INEI, 1993]

2.5. Cálculo de la Demanda de Centros Poblados.

Con el conocimiento de la cantidad de habitantes de los centros poblados, se ha realizado un estudio de planificación de recursos, traducido en

ancho de banda necesario por caserío, para cubrir las necesidades de comunicación en los servicios considerados de Telefonía Móvil, Telefonía Fija e Internet de Banda Ancha, además se ha realizado un cálculo de estas necesidades en 10 años es decir en 2026.[Gallardo et al., 2007]

Nro	LOCALIDAD	2016
	DISTRITO DE SANTA CRUZ	
1	QUIO	151
2	MARAYPAMPA	872
	DISTRITO DE ANDABAMBA	
3	ANDABAMBA	349
	DISTRITO DE CATACHE	
4	CATACHE	752
5	MONTE SECO	586
6	MACUACO	197
	DISTRITO DE CHANCAYBAÑOS	
7	CHANCAYBAÑOS	249
8	MONTAN MAYO	295
9	CHIRICONGA	339
10	TAYAPAMPA	509
11	CUSHIC	87
	DISTRITO DE LA ESPERANZA	
12	LA ESPERANZA	273
13	CHAQUIL	611
	DISTRITO DE NINABAMBA	
14	NINABAMBA	305
15	POLULO	356
16	ACHIRAMAYO	712
	DISTRITO DE PULÁN	
17	PULAN	407
18	SAN JUAN DE DIOS	644
19	SUCCHAPAMPA	392
20	EL ROBLE	575
	DISTRITO DE SAUCEPAMAPA	
21	SAUCEPAMPA	236
22	ROMERO CIRCA	1135
	DISTRITO DE UTICYACU	
23	UTICYACU	244
24	SANGACHE	478
	DISTRITO DE YAUUYUCÁN	
25	YAUUYUCAN	903
26	PUCHUDEN	952
27	CHILAL	265
	POBLACIÓN BENEFICIADA	12874

Tabla 2.1: Localidades beneficiadas.

La metodología seguida para el cálculo de las necesidades de la población en las localidades consideradas es la siguiente:

Por ejemplo para una localidad con una población de 872 habitantes, se ha usado el promedio de habitantes por vivienda para calcular el número de viviendas por localidad, este promedio es obtenido de los datos del INEI, para el caso particular de Santa Cruz es de 4.4, lo que nos lleva a una cantidad de 198 viviendas.

Para la penetración de telefonía móvil se ha usado la información proporcionada por [Bossio, 2010], donde nos muestra que el 40 % de hogares rurales del Perú al menos un miembro de la familia utilizaría teléfono celular, esto es en el 2009 y representaba el triple de los hogares rurales con acceso móvil registrados por el INEI en el 2007.

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

Finalmente respecto a la telefonía fija básica, actualmente se ha quedado en una penetración de sólo el 0.4 % de los hogares y que se mantiene a lo largo de los años como se muestra en [Gallardo et al., 2007].

Usando un porcentaje de penetración de 40 % para telefonía móvil, 4 % para telefonía fija y 5.6 % para Internet (Hogares con PC) se ha determinado el número de usuarios potenciales de cada servicio, se muestra en la siguiente tabla:

Nro	LOCALIDAD	2016	VIVIENDAS 4.4 HAB/VIV	MÓVIL 40%	FIJO 4%	INTERNET 5.6%
1	QUIO	151	34	28	2	25
2	MARAYPAMPA	872	198	159	8	135
3	ANDABAMBA	349	79	64	4	55

Tabla 2.2: Cálculo de potenciales usuarios por servicio.

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

los resultados se muestran en la tabla siguiente, usando los mismos centros poblados de la tabla anterior.

Nro	LOCALIDAD	2016	TELEFONÍA MÓVIL	TELEFONÍA FIJA	USUARIOS DE INTERNET
1	QUIO	151	0.186	0.03	2
2	MARAYPAMPA	872	1.06	0.12	9
3	ANDABAMBA	349	0.426	0.06	4

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

Se usará las tablas de Erlang, con una probabilidad de bloqueo de 1 % para determinar el número de circuitos necesarios tanto para los usuarios de telefonía fija como móvil y luego se considera un ancho de banda conservador de 32Kbps para cada canal (basado en el Codificador G. 729 con un período de paquetización de 25ms). Con esto habremos obtenido el ancho de banda necesario para los servicios de telefonía fija y móvil, para el caso de acceso a internet una de las premisas principales es una velocidad de 2Mbps, todos los usuarios de Internet (o al menos los que se conectan simultáneamente) dispondrán de esta velocidad por tal motivo ahora ya se puede calcular la demanda de ancho de banda por centro poblado. Ver tabla siguiente:

Nro	LOCALIDAD	2016	TELEFONÍA MÓVIL CANALES	TELEFONÍA FIJA CANALES	USUARIOS DE INTERNET	ANCHO DE BANDA (Mbps)
1	QUIO	151	2	1	2	4.096
2	MARAYPAMPA	872	4	2	9	18.192
3	ANDABAMBA	349	3	2	4	8.16

Tabla 2.4: Canales de Telefonía y Ancho de banda por localidad.

Se ha realizado el cálculo para las demás localidades, obteniéndose como resultado la tabla siguiente, donde también se incluye la demanda proyectada para el 2026. Es importante indicar que esta proyección no sólo incluye el crecimiento de la población si no también el crecimiento de la penetración de los diferentes servicios y fundamentalmente los servicios de Telefonía Móvil e Internet.

Nro	LOCALIDAD	2016	BW (Mbps)	2026	BW (Mbps)
	DISTRITO DE SANTA CRUZ				
1	QUIO	151	4.096	195	6.096
2	MARAYPAMPA	872	18.192	1130	24.224
	DISTRITO DE ANDABAMBA				
3	ANDABAMBA	349	8.16	453	10.16
	DISTRITO DE CATACHE				
4	CATACHE	752	16.192	974	22.224
5	MONTE SECO	586	14.192	759	16.192
6	MACUACO	197	6.096	256	6.128
	DISTRITO DE CHANCAYBAÑOS				
7	CHANCAYBAÑOS	249	6.128	322	8.128
8	MONTAN MAYO	295	8.128	383	8.16
9	CHIRICONGA	339	8.16	440	10.16
10	TAYAPAMPA	509	12.16	659	14.192
11	CUSHIC	87	2.096	112	4.096
	DISTRITO DE LA ESPERANZA				
12	LA ESPERANZA	273	6.128	353	8.16
13	CHAQUIL	611	14.192	791	18.192
	DISTRITO DE NINABAMBA				
14	NINABAMBA	305	8.128	396	10.16
15	POLULO	356	8.16	461	10.16
16	ACHIRAMAYO	712	16.16	922	20.224
	DISTRITO DE PULÁN				
17	PULAN	407	10.16	528	12.16
18	SAN JUAN DE DIOS	644	14.192	834	18.192
19	SUCCHAPAMPA	392	10.16	508	12.16
20	EL ROBLE	575	12.192	744	16.192
	DISTRITO DE SAUCEPAMAPA				
21	SAUCEPAMPA	236	6.096	306	8.128
22	ROMERO CIRCA	1135	24.224	1470	32.256
	DISTRITO DE UTICYACU				
23	UTICYACU	244	6.128	316	8.128
24	SANGACHE	478	10.16	619	14.192
	DISTRITO DE YAUYUCÁN				
25	YAUYUCAN	903	20.192	1169	26.224
26	PUCHUDEN	952	20.224	1233	26.224
27	CHILAL	265	6.128	344	8.16
	POBLACIÓN BENEFICIADA	12874		16677	

Tabla 2.5: Ancho de banda de localidades beneficiadas.

EL Gobierno del Perú y FITELE en su afán de mejorar las telecomunicaciones está haciendo un proyecto que ya va en desarrollo, el proyecto brindará acceso a Internet e intranet de Banda Ancha a las instituciones públicas y privadas.

Los Proyectos permitirán: (i) brindar acceso a Internet e intranet de banda ancha a instituciones públicas (locales escolares de gestión estatal, establecimientos de salud y dependencias policiales), (ii) implementar una Red de Transporte de fibra óptica y la instalación, operación y mantenimiento de una Red de Acceso para brindar los servicios indicados a los usuarios de las localidades. La Red de Transporte estará conformada por redes de fibra óptica ADSS de 48 hilos, que será desplegada sobre la infraestructura de las redes de alta tensión, media tensión eléctrica y postes en algunos tramos de las redes viales disponibles en la región. La Red de Acceso, es la infraestructura y el equipamiento electrónico que permitirá a los usuarios finales acceder a los servicios previstos en el proyecto, utilizando para ello la Red de Transporte [ProInversión, 2015].

En su estudio para la región Cajamarca y específicamente para la provincia de Santa Cruz se tiene a 70 instituciones beneficiadas, las cuales gozarán del servicio de Internet e Intranet. Para el servicio de Internet se contará como mínimo una conexión de 2048Kbps de bajada, 512Kbps de subida y cuarenta por ciento (40 %) de velocidad garantizada. La relación entre la velocidad de bajada y de subida es de 4 a 1. Para Intranet también se debe garantizar el cuarenta por ciento (40 %) de velocidad de transmisión, pero la relación entre la velocidad de bajada y de subida será de 1 a 1.

A continuación se puede apreciar las tablas con mejor detalle.

DISTRITO	LOCALIDAD	DATOS DE UBICACIÓN			INSTITUCIONES ABONADAS OBLIGATORIAS		
		LONGITUD	LATITUD	ALTURA (m.s.n.m.)	LOCALES ESCOLARES	ESTABLECIMIENTOS DE SALUD	DEPENDENCIAS POLICIALES
SANTA CRUZ	QUIO	-78.902990	-6.632200	2208	0	1	0
SANTA CRUZ	MARAYPAMPA	-78.913730	-6.663010	2294	1	1	0
ANDABAMBA	ANDABAMBA	-78.817300	-6.662800	2540	2	1	1
CATACHE	CATACHE	-79.032600	-6.673960	1336	2	1	1
CATACHE	MONTE SECO	-79.112040	-6.857050	1206	1	1	0
CATACHE	MACUACO	-79.240900	-6.801630	299	1	1	0
CHANCAYBANOS	CHANCAYBANOS	-78.867080	-6.575060	1637	2	1	1
CHANCAYBANOS	MONTAN MAYO	-78.791710	-6.556890	2504	1	0	0
CHANCAYBANOS	CHIRICONGA	-78.817020	-6.692560	2103	1	1	0
CHANCAYBANOS	TAYAPAMPA	-78.836370	-6.571360	1882	1	1	0
CHANCAYBANOS	CUSHIC	-78.835550	-6.586020	1924	2	1	0
LA ESPERANZA	LA ESPERANZA	-78.895900	-6.693030	1708	1	1	0
LA ESPERANZA	CHAQUIL	-78.865860	-6.636220	2173	2	1	0
NINABAMBA	NINABAMBA	-78.787600	-6.650360	2172	2	2	1
NINABAMBA	POLULO	-78.802510	-6.685800	2296	1	1	0
NINABAMBA	ACHIRAMAYO	-78.770300	-6.678280	2443	2	1	0
PULAN	PULAN	-78.920540	-6.738090	2056	2	1	1
PULAN	SAN JUAN DE DIOS	-78.891000	-6.715540	2520	2	1	0
PULAN	SUCCHAPAMPA	-78.947650	-6.716460	2501	1	1	0
PULAN	EL ROBLE	-78.908520	-6.737910	2358	1	0	0
SAUCEPAMPA	SAUCEPAMPA	-78.916390	-6.691950	1931	2	1	0
SAUCEPAMPA	ROMERO CIRCA	-78.890550	-6.677850	2415	1	1	0
UTICYACU	UTICYACU	-78.794000	-6.606600	2332	1	1	1
UTICYACU	SANGACHE	-78.763590	-6.696580	2877	1	2	0
YAUUYUCAN	YAUUYUCAN	-78.818790	-6.674650	2497	2	1	1
YAUUYUCAN	PUCHUDEN	-78.859310	-6.691420	2450	2	0	0
YAUUYUCAN	CHILAL	-78.837200	-6.720700	2793	0	1	0

Tabla 2.6: Número de instituciones abonadas obligatorias en la provincia de Santa Cruz.

DATOS DE LA LOCALIDAD		DATOS DEL ESTABLECIMIENTO DE SALUD			
DISTRITO	LOCALIDAD	COD_UNICO MINS	NOMBRE DE ESTABLECIMIENTO	CATEGORÍA	DIRECCIÓN
SANTA CRUZ	QUIO	00004817	QUIO	I-1	QUIO
SANTA CRUZ	MARAYPAMPA	00004814	MARAYPAMPA	I-1	MARAYPAMPA
ANDABAMBA	ANDABAMBA	00004818	ANDABAMBA	I-2	ANDABAMBA
CATACHE	CATACHE	00004819	CATACHE	I-3	CATACHE
CATACHE	MONTE SECO	00004776	MONTE SECO	I-1	MONTE SECO
CATACHE	MACUACO	00004777	MACUACO	I-2	MACUACO
CHANCAYBANOS	CHANCAYBANOS	00004823	CHANCAYBANOS	I-3	CHANCAYBANOS
CHANCAYBANOS	CHIRICONGA	00006929	CHIRICONGA	I-1	CHIRICONGA
CHANCAYBANOS	TAYAPAMPA	00004825	TAYAPAMPA	I-1	TAYAPAMPA
CHANCAYBANOS	CUSHIC	00011559	CUSHIC	I-1	CUSHIC
LA ESPERANZA	LA ESPERANZA	00004826	LA ESPERANZA	I-2	LA ESPERANZA
LA ESPERANZA	CHAQUIL	00004828	CHAQUIL	I-1	CHAQUIL
NINABAMBA	NINABAMBA	00004821	CULDÉN	I-1	CULDÉN
NINABAMBA	NINABAMBA	00004829	NINABAMBA	I-3	NINABAMBA
NINABAMBA	POLULO	00012164	POLULO	I-1	POLULO
NINABAMBA	ACHIRAMAYO	00006841	ACHIRAMAYO	I-1	ACHIRAMAYO
PULAN	PULAN	00004830	PULAN	I-3	PULAN
PULAN	SAN JUAN DE DIOS	00004831	SAN JUAN DE DIOS	I-1	SAN JUAN DE DIOS
PULAN	SUCCHAPAMPA	00004832	SUCCHAPAMPA	I-1	SUCCHAPAMPA
PULAN	SAUCEPAMPA	00004833	SAUCEPAMPA	I-2	SAUCEPAMPA
SAUCEPAMPA	ROMERO CIRCA	00006795	ROMERO CIRCA	I-1	ROMERO CIRCA
SAUCEPAMPA	UTICYACU	00004834	UTICYACU	I-2	UTICYACU
UTICYACU	SANGACHE	00007029	SEÑOR DE LOS MILAGROS	I-1	SEÑOR DE LOS MILAGROS
UTICYACU	SANGACHE	00007030	SANGACHE	I-1	SANGACHE
YAUUYUCAN	YAUUYUCAN	00004835	YAUUYUCAN	I-3	YAUUYUCAN
YAUUYUCAN	CHILAL	00011561	CHILAL	I-1	CHILAL

Tabla 2.7: Establecimientos de Salud beneficiados por localidad.

DATOS DE LA LOCALIDAD		DATOS DE LA DEPENDENCIA POLICIAL				
DISTRITO	LOCALIDAD	CÓDIGO	COMISARÍA	DIRECCIÓN	REFERENCIA	DIRTEPOL
ANDABAMBA	ANDABAMBA	0121	CPNP RURAL ANDABAMBA	AV. CAJAMARCA # SN	FRENTE A LA PLAZA DE ARMAS	NOR ORIENTE - LAMBAYEQUE
CATACHE	CATACHE	0122	CPNP RURAL CATACHE	CA. MANUEL FRANCISCO BURGA # SN	INGRESO AL DISTRITO	NOR ORIENTE - LAMBAYEQUE
CHANCAYBAÑOS	CHANCAYBAÑOS	0124	CPNP RURAL CHANCAYBAÑOS	AV. 13 DE JUNIO # SN	A UNA CUADRA DE LA PLAZA DE ARMAS	NOR ORIENTE - LAMBAYEQUE
NINABAMBA	NINABAMBA	0125	CPNP RURAL NINABAMBA	CA. MANUEL A. ODRÍA # SN	A DOS CUADRAS DE LA PLAZA DE ARMAS	NOR ORIENTE - LAMBAYEQUE
PULÁN	PULÁN	0126	CPNP RURAL PULÁN	AV. CAJAMARCA # 307	A MEDIA CUADRA DE LA PLAZA DE ARMAS	NOR ORIENTE - LAMBAYEQUE
UTICYACU	UTICYACU	0127	CPNP RURAL UTICYACU	JR. CHOTA # SN	ESQUINA CON DOS DE MAYO	NOR ORIENTE - LAMBAYEQUE
YAUYUCÁN	YAUYUCÁN	0128	CPNP RURAL YAUYUCÁN	AV. CAJAMARCA # SN	FRENTE A LA PLAZA DE ARMAS	NOR ORIENTE - LAMBAYEQUE

Tabla 2.8: Departamentos policiales beneficiados por localidad.

DATOS DE LA LOCALIDAD		DATOS INSTITUCION EDUCATIVA			
DISTRITO	LOCALIDAD	CODIGO LOCAL	NOMBRE DE LA IE	DIRECCIÓN DE LA IE	MÓDULOS
SANTA CRUZ	MARAYPAMPA	137164	10610	MARAYPAMPA	PRIMARIA
ANDABAMBA	ANDABAMBA	137423	10636	AV. CAJAMARCA S/N	PRIMARIA
ANDABAMBA	ANDABAMBA	137442	JOSÉ DEL C. CABREJOS	AV. CAJAMARCA S/N	SECUNDARIA
CATACHE	CATACHE	538393	10638	CA. SAN AGUSTIN S/N	PRIMARIA
CATACHE	CATACHE	538492	SAN AGUSTÍN	CA. SAN AGUSTÍN S/N	SECUNDARIA
CATACHE	MONTE SECO	583007	PRIMERO DE MAYO	MONTE SECO	SECUNDARIA
CATACHE	MACUACO	138007	SAGRADO CORAZÓN DE JESÚS	MACUACO	SECUNDARIA
CHANCAYBAÑOS	CHANCAYBAÑOS	138106	10650	CA. 13 DE JUNIO S/N	PRIMARIA
CHANCAYBAÑOS	CHANCAYBAÑOS	504864	CHANCAY BAÑOS	AV. LOS MAESTROS S/N	SECUNDARIA
CHANCAYBAÑOS	MONTAN MAYO	504835	ENRRIQUE CABALLERO ORREGO	MONTAN MAYO	SECUNDARIA
CHANCAYBAÑOS	CHIRICONGA	138149	10654	CHIRICONGA	INICIAL - PRIMARIA
CHANCAYBANOS	TAYAPAMPA	138130	10653	TAYAPAMPA	PRIMARIA
CHANCAYBAÑOS	CUSHIC	138111	10651	CUSHIC	PRIMARIA
CHANCAYBAÑOS	CUSHIC	530617	CRISTO REY	CUSHIC	SECUNDARIA
LA ESPERANZA	LA ESPERANZA	138432	SOCORRO ALVARADO PUELLES	LA ESPERANZA	SECUNDARIA
LA ESPERANZA	CHAQUIL	138352	10659	CHAQUIL	PRIMARIA
LA ESPERANZA	CHAQUIL	138446	SATURNINO TORRES SAAVEDRA	CHAQUIL	SECUNDARIA
NINABAMBA	NINABAMBA	138494	10669	JR. MANUEL A. ODRÍA S/N	PRIMARIA
NINABAMBA	NINABAMBA	138564	SEÑOR DE LOS MILAGROS	CA. BURGA LARREA S/N	SECUNDARIA
NINABAMBA	POLULO	138583	CÉSAR A. VALLEJO MENDOZA	POLULO	SECUNDARIA
NINABAMBA	ACHIRAMAYO	138521	10675	ACHIRAMAYO	PRIMARIA
NINABAMBA	ACHIRAMAYO	138578	JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI	ACHIRAMAYO	SECUNDARIA
PULÁN	PULÁN	138682	10676	AV. SANTA CRUZ S/N	PRIMARIA
PULÁN	PULÁN	138899	VENCEDORES 2 DE MAYO	AV. PULÁN S/N	SECUNDARIA

Tabla 2.9: Instituciones educativas beneficiadas por localidad.

DATOS DE LA LOCALIDAD		DATOS INSTITUCION EDUCATIVA			
DISTRITO	LOCALIDAD	CODIGO LOCAL	NOMBRE DE LA IE	DIRECCIÓN DE LA IE	MÓDULOS
PULÁN	SAN JUAN DE DIOS	138719	10680	SAN JUAN DE DIOS	PRIMARIA
PULÁN	SAN JUAN DE DIOS	538524	SIMÓN BOLÍVAR	SAN JUAN DE DIOS	SECUNDARIA
PULÁN	SUCCHAPAMPA	138903	VÍCTOR RAÚL HAYA DE LA TORRE	SUCCHAPAMPA	SECUNDARIA
PULÁN	EL ROBLE	138922	ENRIQUE LÓPEZ ALBÚJAR	EL ROBLE	SECUNDARIA
SAUCEPAMPA	SAUCEPAMPA	139002	10605	JR. 9 DE OCTUBRE S/N	PRIMARIA
SAUCEPAMPA	SAUCEPAMPA	139059	JORGE BASADRE GROHMANN	AV. SAUCEPAMPA S/N	SECUNDARIA
SAUCEPAMPA	ROMERO CIRCA	582965	LEONCIO PRADO	ROMERO CIRCA	SECUNDARIA
UTICYACU	UTICYACU	013494	10702	CA. DOS DE MAYO S/N	PRIMARIA
UTICYACU	SANGACHE	139200	MARCCOS LINARES PÉREZ	CAMINO REAL	SECUNDARIA
YAUUCÁN	YAUUCÁN	139276	10706	AV. MAGISTERIAL S/N	PRIMARIA
YAUUCÁN	YAUUCÁN	139323	JOSÉ GABRIEL CONDORCANQUI	CA. DOS DE MAYO S/N	PRIMARIA
YAUUCÁN	PUCHUDÉN	139281	10708	PUCHUDÉN	PRIMARIA
YAUUCÁN	PUCHUDÉN	139337	ÓSCAR DEMETRIO URRACA	PUCHUDÉN	SECUNDARIA

Tabla 2.10: Instituciones educativas beneficiadas por localidad.

Capítulo 3

Marco Teórico.

3.1. Red de Transporte de Fibra Óptica

3.1.1. El Sistema de Comunicaciones Ópticas.

En todo sistema de comunicaciones deseamos enviar información. La información en un sistema de comunicaciones se envía por medio de impulsos o de señales moduladas de luz [Govind, 2010].

3.1.1.1. Elementos de un Enlace.

Un enlace básico de Comunicaciones Ópticas consta de tres bloques funcionales fundamentales.

1. El Emisor.

La fuente productora de luz, generalmente un diodo láser (LD). El bloque emisor (Figura 3.1) contiene además una serie de circuitos electrónicos destinados a generar las señales a transmitir, y a suministrarlas al dispositivos optoelectrónico. Las longitudes de onda más apropiadas para Comunicaciones Ópticas están en la región del infrarrojo próximo.

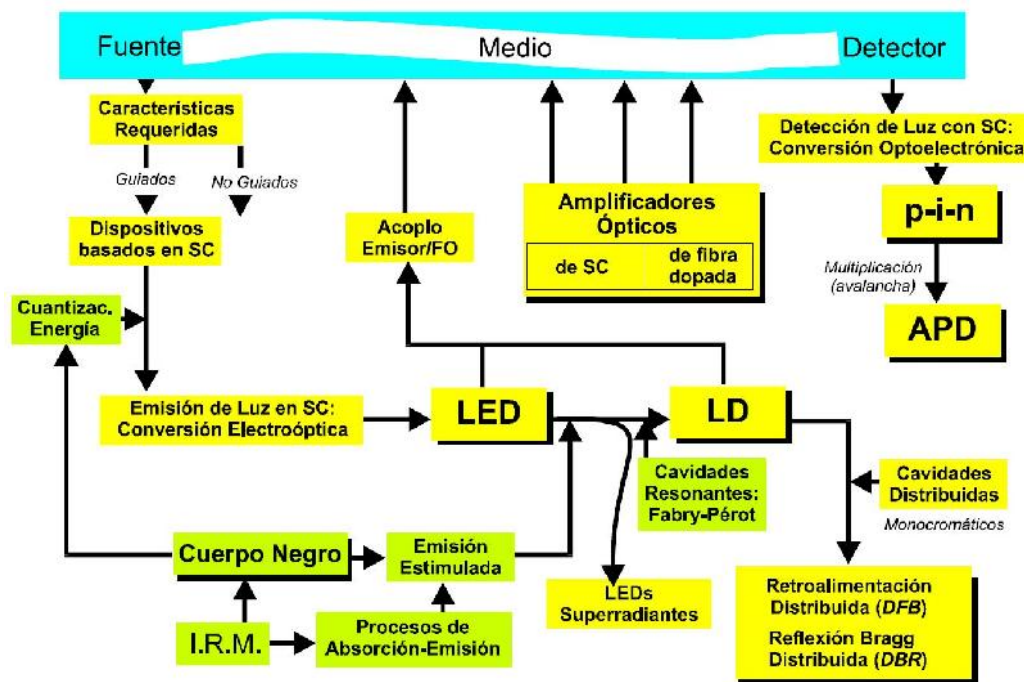


Figura 3.1: Características del Emisor y el Receptor en un Sistema de Comunicaciones Ópticas.

2. El Medio.

Aunque existen Comunicaciones Ópticas atmosféricas, espaciales o submarinas no guiadas, la gran mayoría se realizan a través de un medio dieléctrico (Figura 3.2). El Medio por excelencia es la Fibra Óptica. El material empleado más común, por su extraordinaria transparencia, es la sílice (SiO_2). Este material básico va dopado con otros componentes para modificar sus propiedades, en especial su índice de refracción. En Comunicaciones Ópticas a muy corta distancia (algunos metros) están tomando auge las fibras de plástico (POF).

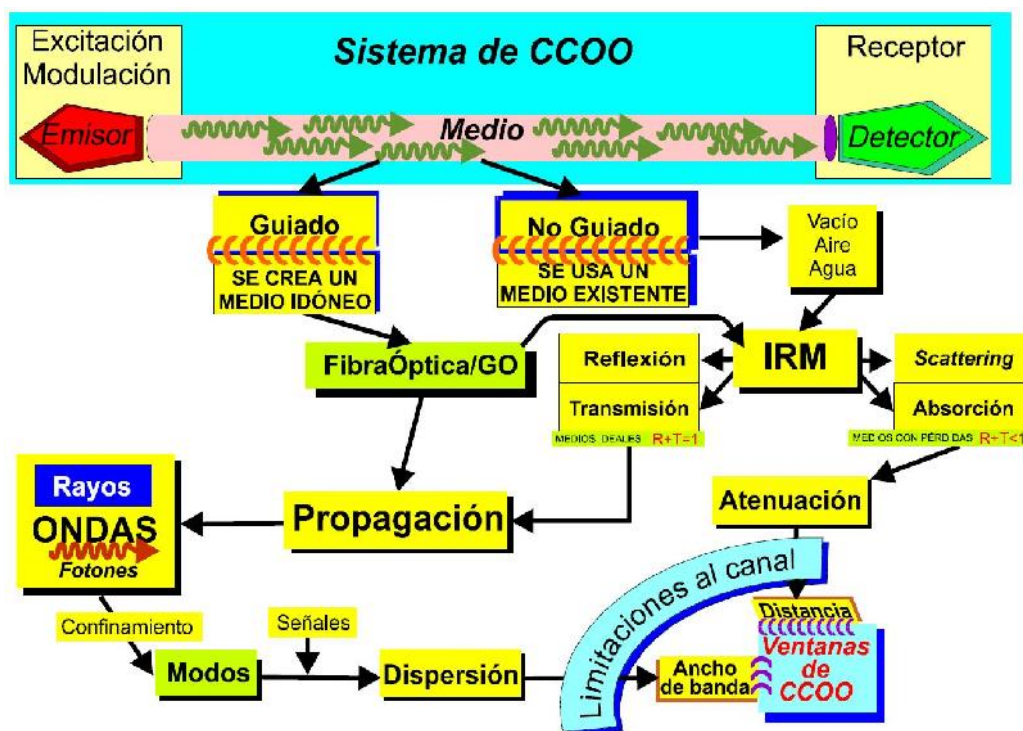


Figura 3.2: Características del Medio en un Sistema de Comunicaciones Ópticas.

3. El Receptor.

El circuito de recepción (Figura 3.1) es el elemento más complejo de Sistema de Comunicaciones Ópticas. Consta de un detector, generalmente optoelectrónico, ya sea un fotodiodo p-l-n (PIN) o un diodo de avalancha (APD) y de una serie de circuitos recuperadores de la señal: amplificador, filtro, comparador, etc.

3.1.2. La Fibra Óptica.

La fibra óptica es el medio preferido para la transmisión guiada de luz. Se construye con materiales dieléctricos, preferentemente sílice. Una fibra típica tiene $125\mu\text{m}$ de grosor, aproximadamente el doble que el cabello humano. La luz se guía por un núcleo central cuyo diámetro oscila entre 4 y $1000\mu\text{m}$ dependiendo del tipo de fibra (típicamente entre 4 y $62.5\mu\text{m}$). El resto de la fibra óptica es una cubierta del mismo material, que recubre el núcleo. Es precisamente este cambio de índice lo que hace que la luz se guíe por el interior de la fibra [Senior, 2009].

3.1.2.1. Tipos de Fibras.

Las fibras ópticas pueden clasificarse según su perfil de índices en abruptas (el índice pasa bruscamente del valor de la cubierta al del núcleo con un escalón) y graduales (el índice pasa de forma suave desde la cubierta hasta el núcleo). Además se suelen clasificar según el número de modos que soportan [Govind, 2010]. Los tipos de fibras más comunes son : monomodo, multimodo de índice gradual y multimodo de índice abrupto (Figura 3.3).

1. Fibras Monomodo.

Son fibras de índice abrupto. Como ya se ha comentado, permiten eliminar la dispersión intermodal, mejorando considerablemente el ancho de banda. Usualmente las fibras ópticas monomodo se utilizan en conjunción con diodos láser.

2. Fibras Multimodo.

Son fibras de núcleo bastante mayor (lo cual facilita el acoplo) y con apertura numérica más alta (lo que también contribuye a aumentar la potencia acoplada). Por contra, presentan dispersión intermodal, que puede ser catastrófica en distancias largas, puesto que reduce drásticamente el ancho de banda. Se trata pues de un medio cuyo ancho de banda no es elevado y que tiene un ángulo de aceptación alto. El candidato ideal para servir de fuente a esta fibra óptica es el LED.

Las fibras ópticas multimodo de índice abrupto fueron las primeras que se emplearon. Actualmente, sin embargo, sólo se encuentran comercialmente en vidrio y plástico para aplicaciones especiales. Sus diámetros son mayores que los indicados en la figura, pudiendo superar 1mm.

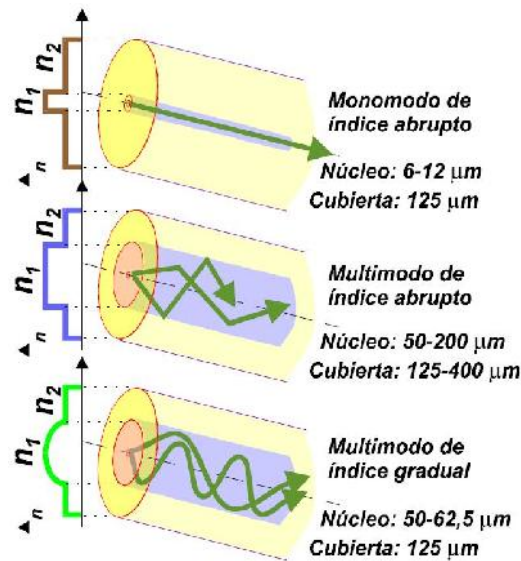


Figura 3.3: Perfiles de índice y dimensiones típicas de los tres tipos más comunes de fibra óptica.

3.1.3. PDH.

La Jerarquía Digital Plesiócrona, abreviada como PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), es una tecnología usada en telecomunicaciones tradicionalmente para telefonía que permite enviar varios canales telefónicos sobre un mismo medio (ya sea coaxial, radio o microondas) usando técnicas de multiplexación por división de tiempo y equipos digitales de transmisión. También puede enviarse sobre fibra óptica, aunque no está diseñado para ello, para este caso es mejor usar SDH [Portillo Meniz, 2006].

El término plesiócrono se deriva del griego “plesio”, cercano y “chronos”, tiempo, y se refiere al hecho de que las redes PDH funcionan en un estado donde las diferentes partes de la red estén casi, pero no completamente sincronizadas. La tecnología PDH, por ello, permite la transmisión de flujos de datos que, nominalmente, están funcionando a la misma velocidad (bit rate), pero permitiendo una cierta variación alrededor de la velocidad nominal gracias a la forma en la que se construyen las tramas.

La jerarquía usada en Latinoamérica es la misma de Europa que agrupa 32 canales de 64Kbps para obtener 2048Kbps (E1). Luego multiplicando por 4 sucesivamente se obtiene jerarquías de nivel superior con las velocidades de 8Mbps (E2), 34 Mbps (E3) y 139 Mbps (E4).

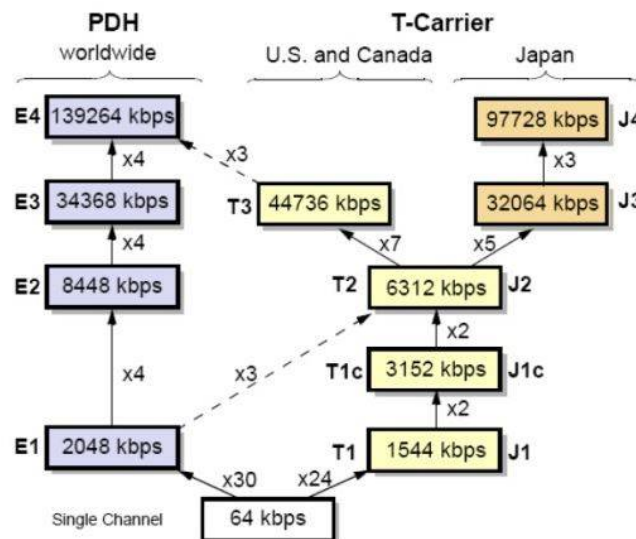


Figura 3.4: Niveles de PDH.

3.1.3.1. Limitaciones de PDH.

El proceso de justificación por una parte, y por otra el hecho de que la temporización vaya ligada a cada nivel jerárquico, hacen que en la práctica sea imposible identificar una señal de orden inferior dentro de un flujo de orden superior sin demultiplexar completamente la señal de línea.

Uno de los mayores inconvenientes de la demultiplexación plesiócrona es que una vez formada la señal múltiplex, no es posible extraer un tributario concreto sin demultiplexar completamente la señal.

Supongamos por ejemplo que tenemos un flujo de 140 Mbps, y que en un punto intermedio deseamos extraer un canal a 2 Mbps; es necesario para ello recurrir a las voluminosas y rígidas cadenas de multiplexación.

Las diferentes jerarquías plesiócronas existentes: Americana, Europea y Japonesa, hacen muy difícil el interfuncionamiento. La escasa normalización ha conducido a que los códigos de línea, la modulación o las funciones de supervisión, sean específicas de cada suministrador, de forma que equipos de diferentes fabricantes son incompatibles entre sí.

3.1.4. SONET.

La red óptica sincronizada (en inglés Synchronous Optical Network, cuyo acrónimo es SONET) es un estándar para el transporte de telecomunicaciones en redes de fibra óptica.

La decisión de creación de SONET fue tomada por la E.C.S.A. (Exchange Carriers Standard Association) en los Estados Unidos para posibilitar la conexión normalizada de los sistemas de fibra óptica entre sí, aunque estos fueran de distinto fabricante. En las últimas etapas de desarrollo de SONET entró también el CCIT (Comité Consultivo Internacional Telefónico y Telegráfico), antecesor del actual UIT-T, de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) para que se pudiera desarrollar una norma que posibilitara la interconexión mediante fibra de las redes telefónicas a nivel mundial [Ramaswami, 2010].

3.1.4.1. Señal Básica y elementos de la Red SONET.

1. La Señal Básica de SONET.

SONET define una tecnología para transportar muchas señales de diferentes capacidades a través de una jerarquía óptica síncrona y flexible. Esto se logra por medio de un esquema de multiplexado por interpolación de bytes. La interpolación de bytes simplifica la multiplexación y ofrece una administración de la red extremo a extremo [Govind, 2010].

El primer paso en el proceso de la multiplexación de SONET implica la generación de las señales del nivel inferior de la estructura de multiplexación. En SONET la señal básica la conocemos como señal de nivel 1 o también STS-1 (Synchronous Transport Signal level 1). Está formada por un conjunto de 810 bytes distribuidos en 9 filas de 90 bytes. Este conjunto es transmitido cada 125 microsegundos, correspondientes a la velocidad del canal telefónico básico de 64 kbit/s, por lo que la velocidad binaria de la señal STS-1 es 51,84 Mbit/s.

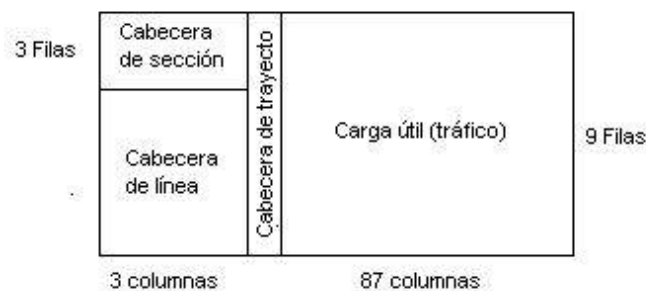


Figura 3.5: Estructura de trama de la señal STS-1.

Las señales de niveles más altos están formadas por la multiplexación de diversas señales de nivel 1 (STS-1), creando una familia de señales STS-N, donde la N indica el número de señales de nivel 1 que la componen.

2. Elementos de la Red SONET.

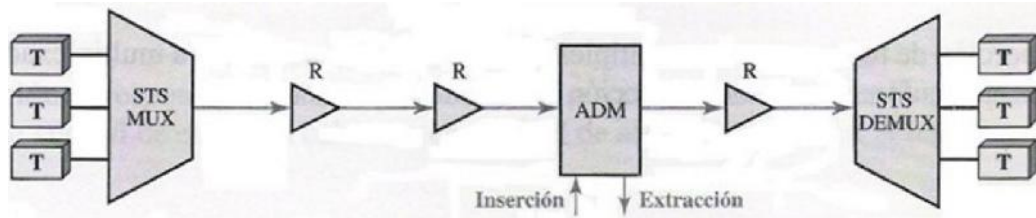


Figura 3.6: Elementos de la Red SONET.

- **Multiplexor Terminal.**

Es el elemento que actúa como un concentrador de las señales DS-1 (1,544 Mbit/s) tributarias así como de otras señales derivadas de esta y realiza la transformación de la señal eléctrica en óptica y viceversa.

Dos multiplexores terminales unidos por una fibra con o sin un regenerador intermedio conforman el más simple de los enlaces de SONET.

- **Regenerador.**

Necesitamos un regenerador cuando la distancia que separa a dos multiplexores terminales es muy grande y la señal óptica que se recibe es muy baja. El reloj del regenerador se apaga cuando se recibe la señal y a su vez el regenerador reemplaza parte de la cabecera de la trama de la señal antes de volver a retransmitirla. La información de tráfico que se encuentra en la trama no se ve alterada.

- **Multiplexor Add/Drop (ADM).**

El multiplexor de extracción-inserción (ADM) permite extraer en un punto intermedio de una ruta parte del tráfico cursado y a su vez inyectar nuevo tráfico desde ese punto. En los puntos donde tengamos un ADM, solo aquellas señales que necesitamos serán descargadas o insertadas al flujo principal de datos. El resto de señales a las que no tenemos que acceder seguirá a través de la red.

3.1.4.2. Configuración de la Red SONET.

1. Punto a Punto.

La configuración de red punto a punto está formada por dos multiplexores terminales, unidos por medio de una fibra óptica, en los extremos de la conexión y con la posibilidad de un regenerador en medio del enlace si este hiciese falta.

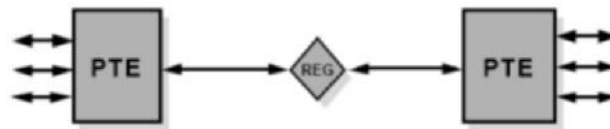


Figura 3.7: Arquitectura Punto a Punto.

2. Punto a Mutipunto

Una arquitectura punto a multipunto incluye elementos de red ADM a lo largo de su recorrido. El ADM es el único elemento de red especialmente diseñado para esta tarea. Con esto se evitan las incómodas arquitecturas de red de demultiplexado, conectores en cruz (cross-connect), y luego volver a multiplexar. Se coloca el ADM a lo largo del enlace para facilitar el acceso a los canales en los puntos intermedios de la red.

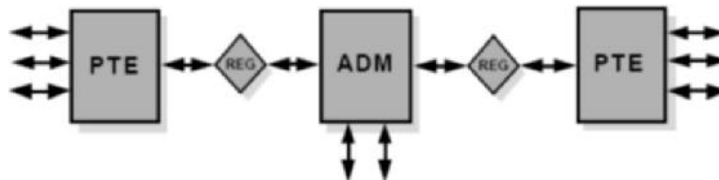


Figura 3.8: Arquitectura Punto a Multipunto.

3. Arquitectura en Anillo.

El elemento principal en una arquitectura de anillo es el ADM. Se pueden colocar varios ADM en una configuración en anillo para tráfico bidireccional o unidireccional. La principal ventaja de la topología de anillo es su seguridad; si un cable de fibra se rompe o se corta, los multiplexores tienen la inteligencia necesaria para desviar el tráfico a través de otros nodos del anillo sin ninguna interrupción.

La demanda de servicios de seguridad, diversidad de rutas en las instalaciones de fibra, flexibilidad para cambiar servicios para alternar los nodos, así como la restauración automática en pocos segundos, han hecho de la arquitectura de anillo una topología muy popular en SONET.

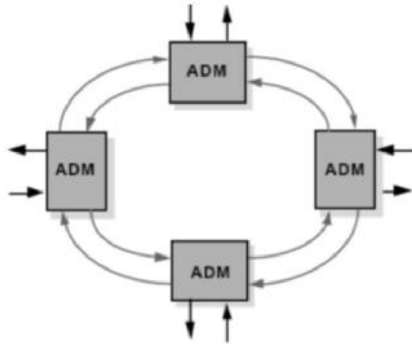


Figura 3.9: Arquitectura en Anillo.

3.1.4.3. Beneficios de la Red SONET.

Aquí podemos ver las ventajas que presenta la SONET frente a otros sistemas:

- La creciente flexibilidad de configuración y la disponibilidad de ancho de banda de SONET proporciona significativas ventajas frente a otros sistemas de telecomunicación más antiguos.
- Reducción de los equipos necesarios para la multiplexación y la extracción-inserción de tráfico en puntos intermedios de las grandes rutas.
- Aumento de la fiabilidad de la red, como consecuencia del menor número de equipos implicados en las conexiones.
- Proporciona bytes de cabecera que facilitan la administración de los bytes de información y el mantenimiento de los propios equipos.
- Definición de un formato síncrono de multiplexación para el transporte de señales digitales de la Jerarquía Digital Plesiócrona o PDH, en sus diversos niveles (como DS-1, DS-3) y una estructura síncrona que simplifica enormemente la interfaz de los conmutadores digitales, así como los conectores y los multiplexores.
- La existencia de una gran gama de estándares genéricos que permitan la interconexión de productos de diferentes fabricantes.
- La definición de una arquitectura flexible capaz de incorporar futuras aplicaciones, con una gran variedad de velocidades de transmisión.

- Interfaz centralizada, integrada y remota para los equipos de transporte y multiplexación.
- Rápido aislamiento de fallos.
- Monitorizado de rendimiento extremo a extremo.
- Soporte de nuevos servicios de alta velocidad.
- Permite REDES VIRTUALES privadas.
- La posibilidad de crear estructuras de red distribuidas de forma muy económica gracias a los multiplexores ADD/DROP (ADM).
- Estructura en doble anillo para mayor inmunidad a los fallos.

3.1.5. SDH.

La Jerarquía Digital Síncrona, abreviado como SDH, del inglés Synchronous Digital Hierarchy, es un conjunto de protocolos de transmisión de datos. Se puede considerar como la revolución de los sistemas de transmisión, como consecuencia de la utilización de la fibra óptica como medio de transmisión, así como de la necesidad de sistemas más flexibles y que soporten anchos de banda elevados. La jerarquía SDH se desarrolló en EE. UU. bajo el nombre de SONET o ANSI T1X1 y posteriormente el CCITT (Hoy UIT-T) en 1989 publicó una serie de recomendaciones donde quedaba definida con el nombre de SDH.

La trama básica de SDH es el STM-1 (Synchronous Transport Module level 1), con una velocidad de 155 Mbit/s.

Cada trama va encapsulada en un tipo especial de estructura denominado contenedor. Una vez encapsulados se añaden cabeceras de control que identifican el contenido de la estructura (el contenedor) y el conjunto, después de un proceso de multiplexación, se integra dentro de la estructura STM-1. Los niveles superiores se forman a partir de multiplexar a nivel de byte varias estructuras STM-1, dando lugar a los niveles STM-4, STM-16, STM-64 y STM-256 [Portillo Meniz, 2006].

3.1.5.1. Estructura de la trama STM-1.

Las tramas contienen información de cada uno de los componentes de la red: trayecto, línea y sección, además de la información de usuario. Los

datos son encapsulados en contenedores específicos para cada tipo de señal tributaria.

A estos contenedores se les añade una información adicional denominada "tara de trayecto" (Path overhead), que consiste en una serie de bytes utilizados con fines de mantenimiento de red, y que dan lugar a la formación de los denominados contenedores virtuales (VC) [Castillo Ríos, 2010]. El resultado de la multiplexación es una trama formada por 9 filas de 270 octetos cada una (270 columnas de 9 octetos). La transmisión se realiza bit a bit en el sentido de izquierda a derecha y de arriba abajo. La trama se transmite a razón de 8000 veces por segundo (cada trama se transmite en $125 \mu s$). Por lo tanto, el régimen binario (Rb) para cada uno de los niveles es:

$$\text{STM-1} = 8000 * (270 \text{ columnas} * 9 \text{ filas} * 8 \text{ bits}) = 155 \text{ Mbit/s}$$

$$\text{STM-4} = 4 * 8000 * (270 \text{ columnas} * 9 \text{ filas} * 8 \text{ bits}) = 622 \text{ Mbit/s}$$

$$\text{STM-16} = 16 * 8000 * (270 \text{ columnas} * 9 \text{ filas} * 8 \text{ bits}) = 2.5 \text{ Gbit/s}$$

$$\text{STM-64} = 64 * 8000 * (270 \text{ columnas} * 9 \text{ filas} * 8 \text{ bits}) = 10 \text{ Gbit/s}$$

$$\text{STM-256} = 256 * 8000 * (270 \text{ columnas} * 9 \text{ filas} * 8 \text{ bits}) = 40 \text{ Gbit/s}$$

De las 270 columnas que forman la trama STM-1, las 9 primeras forman la denominada "tara o cabecera" (overhead), independiente de la tara de trayecto de los contenedores virtuales antes mencionados, mientras que las 261 restantes constituyen la carga útil (Payload).

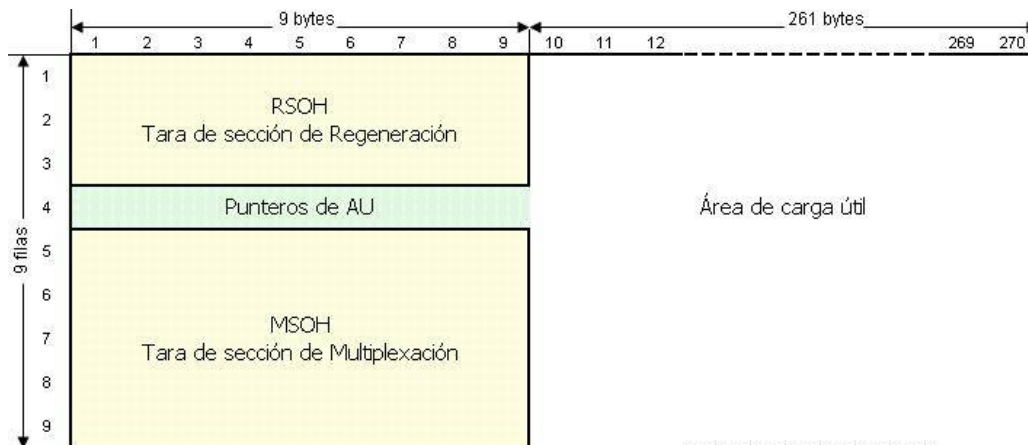


Figura 3.10: Estructura de trama STM-1.

1. SOH (Section Overhead).

El SOH (Section Overhead) se divide en dos partes: El R-SOH y el M-SOH. El primero de ellos (R-SOH) es utilizado para aplicaciones entre

repetidores, los cuales están comprendidos por los bytes de las filas 1 a 3, en tanto que para el uso entre terminales de multiplexación (M-SOH) corresponden a los bytes de las filas 5 a 9.

2. POH (Path Overhead).

El POH (Path Overhead) tiene como misión monitorizar la calidad e indicar el tipo de contenedor virtual que se tiene. Está compuesto por el VC (Contenedor Virtual) que es la entidad de carga útil que viaja sin cambios a lo largo de la red, además de algunos bytes que se agregan y se desempaquetan en los distintos puntos terminación del servicio de transporte.

3.1.5.2. Multiplexación SDH.

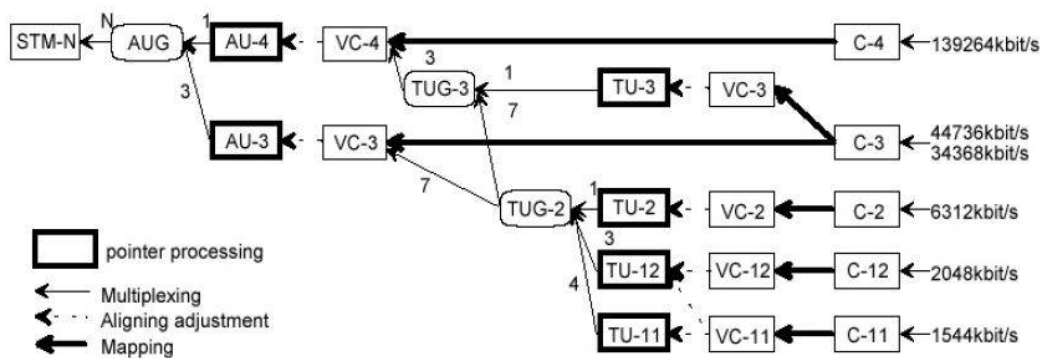


Figura 3.11: Multiplexación SDH.

A continuación se detallan los pasos para el mapeo de un STM-1 mediante un E1 [Govind, 2010].

- Se considera el mapeo de una señal de 2Mbps en la trama SDH, la señal original PDH será 2048Kbps, con una variación de 50ppm. Esto es insertado en un contenedor (**C-12**), donde la justificación se lleva a cabo utilizando técnicas tradicionales de stuffing (relleno de bits). Esto se hace para compensar las variaciones de frecuencias permitidas en tasas de bits para PDH y SDH.
- El contenedor se coloca en un contenedor virtual (**VC-12**) donde el path overhead se añade. Este overhead es llevado con la señal a lo largo de la red, incluso cuando se conectan en forma cruzada en diferentes tramas SDH. Esto permite el mantenimiento y la supervisión de la

señal a través de la red. Incluye la detección de errores, indicaciones de alarma, y una etiqueta de señal.

- Un punto se agrega al contenedor virtual para formar una unidad tributaria (TU-12). Esto permite que el sistema SDH compense las diferencias de fase a través de la red o entre las redes.
- Tres TU-12 son multiplexados en un grupo de unidad tributaria (TUG-12).
- Siete TUG-2 están multiplexados en un TUG-3. Esta es la unidad del mismo tamaño que sería usada para el mapeo, por ejemplo, una señal E3 en una trama SDH.
- Tres TUG-3 son multiplexadas a través de una unidad administrativa (AU-4) y en un grupo de unidad administrativa (AUG) para formar una trama STM-1.

3.1.5.3. Interfaces Ópticas para Equipos y Sistemas relacionados con SDH.

Esta recomendación especifica los parámetros de las interfaces ópticas para equipos y sistemas basados en la jerarquía digital síncrona para permitir la compatibilidad transversal (multivendedor) en secciones de cable elementales. También se pretende que estas especificaciones estén conformes con la Rec. UIT-T G.955 compatibilidad longitudinal de equipos de nivel jerárquico y aplicación comparables. La recomendación se basa en el uso de una fibra óptica para cada dirección.

Mediante la adecuada combinación de transmisores y receptores pueden obtenerse balances de potencia para los sistemas de línea de fibra óptica optimizados, en términos de atenuación/dispersión y costes con respecto a las diversas aplicaciones. Sin embargo, para simplificar el desarrollo de los sistemas con compatibilidad transversal, conviene limitar el número de categorías de aplicaciones y los correspondientes conjuntos de especificaciones de interfaces ópticas para la normalización. Se contemplan tres amplias categorías de aplicación:

- **Intracentrales:** Correspondiente a distancias de interconexiones inferiores a 2Km aproximadamente.
- **Intercentrales, a corta Distancia:** correspondientes a distancias de interconexión de 15Km aproximadamente.

- **Intercentrales, a larga distancia:** Correspondiente a distancias de interconexión de 40Km aproximadamente en la ventana de 1310nm y de 80Km aproximadamente en la ventana de 1550nm.

Aplicación		Intracentrales	Intercentrales				
			Corta distancia		Larga distancia		
Longitud de onda nominal de la fuente (nm)		1310	1310	1550	1310	1550	
Tipo de fibra		G.652	G.652	G.652	G.652	G.652, G.654	G.653
Distancia (Km) ^{a)}		≤ 2	~ 15		~ 40	~ 80	
Nivel STM	STM-1	I-1	S-1.1	S-1.2	L-1.1	L-1.2	L-1.3
	STM-4	I-4	S-4.1	S-4.2	L-4.1	L-4.2	L-4.3
	STM-16	I-16	S-16.1	S-16.2	L-16.1	L-16.2	L-16.3
a) Estas distancias objetivo se utilizan a efectos de clasificación y no de especificación. La designación de los tipos de fibra en los códigos de aplicación, no anulará la posibilidad de aplicar el conjunto de parámetros ópticos de esta Recomendación a los sistemas monocanales de la fibra G.655.							

Tabla 3.1: Clasificación de las interfaces ópticas.

3.1.5.4. Aspectos de Gestión de los Elementos de Red de Transporte en SDH.

Las redes SDH actuales están construidas, básicamente, a partir de cuatro tipos distintos de equipos o elementos de red (ITU-T G.782): Regeneradores, Multiplexores Terminales, Multiplexores de Inserción y Extracción, y Distribuidores Multiplexores. Estos equipos pueden soportar una gran variedad de configuraciones en la red, incluso, un mismo equipo puede funcionar indistintamente en diversos modos, dependiendo de la funcionalidad requerida en el nodo donde se ubica. En la Figura 3.12 se muestra un diagrama de bloques de un elemento SDH genérico [Millán Tejedor, 2001].

1. Regeneradores Intermedios o IR (Intermediate Regenerators).

Como su propio nombre indica regeneran la señal de reloj y la relación de amplitud de las señales digitales a su entrada, que han sido atenuadas y distorsionadas por la dispersión de la fibra óptica por la que viajan. Los regeneradores obtienen la señal de reloj a partir de la ristra de bits entrante.

2. Multiplexores Terminales o TM (Terminal Multiplexers).

Es un elemento que se utiliza en un enlace punto a punto. Implementa únicamente la terminación de línea y la función de multiplexar o desmultiplexar varios tributarios en una línea STM-N.

3. Multiplexores de Inserción y Extracción o ADM (Add and Drop Multiplexers).

Se encargan de extraer o insertar señales tributarias plesiócronas o síncronas de cualquiera de las dos señales agregadas STM-N que recibe (una en cada sentido de transmisión), así como dejar paso a aquellas que se desee.

4. Distribuidores Multiplexores o DXC (Digital Cross - Connect).

Permiten la interconexión sin bloqueo de señales a un nivel igual o inferior, entre cualquiera de sus puertos de entrada y de salida. Los DXCs admiten señales de acceso, tanto plesiócronas como síncronas, en diversos niveles.

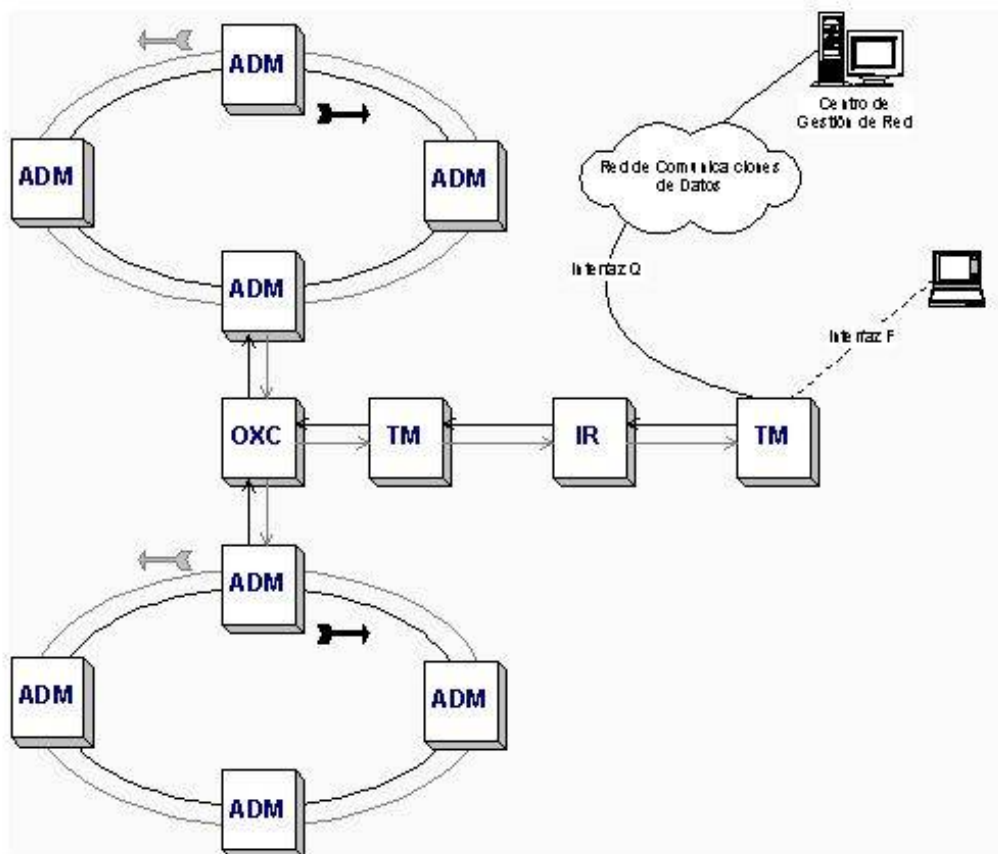


Figura 3.12: Red SDH Genérica.

3.1.5.5. Beneficios de SDH.

La SDH presenta una serie de ventajas respecto a la Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH) [Castillo Ríos, 2010].

Algunas de estas ventajas son:

- El proceso de multiplexación es mucho más directo. La utilización de punteros permite una localización sencilla y rápida de las señales tributarias de la información.
- El procesamiento de la señal se lleva a cabo a nivel de STM-1. Las señales de velocidades superiores son síncronas entre sí y están en fase por ser generadas localmente por cada nodo de la red.
- Las tramas tributarias de las señales de línea pueden ser subdivididas para acomodar cargas plesiócronas, tráfico ATM o unidades de menor orden. Esto supone mezclar tráfico de distinto tipo dando lugar a redes flexibles.
- Compatibilidad eléctrica y óptica entre los equipos de los distintos proveedores gracias a los estándares internacionales sobre interfaces eléctricas y ópticas.
- Un STM-1 tiene la capacidad de agrupar varios E1 y T1 de forma multiplexada, es decir, se universaliza las velocidades ocupando los VC correspondientes, la capacidad del STM-1 es suficiente.

3.1.6. SONET/SDH.

SONET/SDH se diseñó para cumplir con cuatro objetivos principales [Chomycz, 2009]:

- Permitir la interconexión de redes de diferentes operadores, por lo que fue necesario fijar un estándar de señalización común con respecto a la longitud de onda, la temporización y la estructura de los marcos (frames) empleados, entre otros.
- Unificar los sistemas digitales estadounidenses, europeo y japonés, que se basaban en modulaciones por modificación de pulsos codificados (PCM) de 64 Kbps incompatibles entre sí.
- Garantizar la correcta multiplexación de varios canales digitales en portadoras de gran velocidad.

- Proporcionar apoyo a la operación, la administración y el mantenimiento de la red, cuestiones que no habían sido bien abordadas en estándares anteriores.

Aún cuando tienen puntos de compatibilidad, el estándar SONET prácticamente solo es aplicado en Estados Unidos y Canadá mientras que el SDH se aplica en el resto del mundo.

3.1.6.1. Velocidades SONET/SDH.

Las señales de niveles más altos están formadas por la multiplexación de diversas señales de nivel 1 (STM-1), creando una familia de señales STM-N, donde la N indica el número de señales de nivel 1 que la componen.

SONET Optical Carrier Level	SONET Formato de Trama	SDH Nivel y Formato de Trama	Ancho de Banda de Carga (Kbps)	Velocidad de Línea (Kbps)
OC-1	STS-1	STM-0	50.112	51.840
OC-3	STS-3	STM-1	150.336	155.520
OC-12	STS-12	STM-4	601.344	622.080
OC-24	STS-24	-	1.202.688	1.244.160
OC-48	STS-48	STM-16	2.405.376	2.488.320
OC-192	STS-192	STM-64	9.621.504	9.953.280
OC-768	STS-768	STM-256	38.486.016	39.813.120
OC-3072	STS-3072	STM-1024	153.944.064	159.252.480

Tabla 3.2: Tabla de equivalencia entre SONET y SDH.

En la tabla anterior, el ancho de banda de carga es la velocidad de línea menos el ancho de banda de la línea y de sección.

Hay que resaltar que la progresión de velocidad de datos comienza en 155 Mbps y aumenta en múltiplos de 4. La única excepción es OC-24, que está normalizado en ANSI T1.105, pero no es una velocidad SDH estándar de la ITU-T G.707. A veces se describen otras tasas como OC-9, OC-18, OC-36 y OC-96 y OC-1536, pero probablemente nunca han sido desplegados. Sin duda no son comunes y no son compatibles con las normas.

La siguiente velocidad de 160 Gbps OC-3072/STM-1024 no se ha normalizado todavía, debido al coste de trancéptores de alta velocidad, al ser más baratos los multiplex de longitudes de onda a 10 y 40 Gbps.

3.2. Red de Acceso de Banda Ancha.

3.2.1. Redes de Banda Ancha.

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

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

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

3.2.1.1. Espectros de Radio frecuencia.

Parte del espectro electromagnético se ha dividido en lo que se conoce como el Espectro de Radiofrecuencias, tal como se muestra en la Tabla 3.3.

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

Tabla 3.3: Espectro Radioeléctrico.

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

A nivel internacional la IUT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) [Telecom, 2003] se encarga de las asignaciones de frecuencias a modo de recomendaciones y en el Perú el encargado de esta gestión es el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, que mediante el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias - PNAF, regula el uso de espacio radioeléctrico en nuestro país.

3.2.1.2. Evolución de las Redes Inalámbricas de Banda Ancha.

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

Desde la perspectiva de WiMax, las redes inalámbricas de banda ancha a evolucionado a través de cuatro etapas, aunque no necesariamente de manera secuencial: (1) Sistemas Inalámbricos de Bucle Local de Banda Angosta, (2) Primera Generación de Sistemas LOS, (3) Segunda Generación de Sistemas NLOS, (4) Sistemas Inalámbricos de banda ancha basados en estándares.

3.2.1.3. Redes de Banda Ancha Inalámbricas Fijas.

Las aplicaciones usando soluciones inalámbricas fijas pueden ser clasificadas como: Punto a Punto (Point-to-Point PTP) y Punto a Multipunto (Point-to-Multipoint PTM). Las aplicaciones PTP incluyen conectividad entre edificios, conectividad dentro de un campus, y backhaul de Microondas. Aplicaciones PTM incluyen: (1) Banda residencial, oficinas pequeñas/oficinas en casa (SOHO), empresas de pequeñas a medias (SME) y Banda Ancha Rural. (2) T1 o T1-Fraccional para brindar servicios a negocios, y (3) Backhaul de Puntos de Acceso Wi-Fi. La Figura 3.13 muestra algunas de las aplicaciones típicas de WiMax.

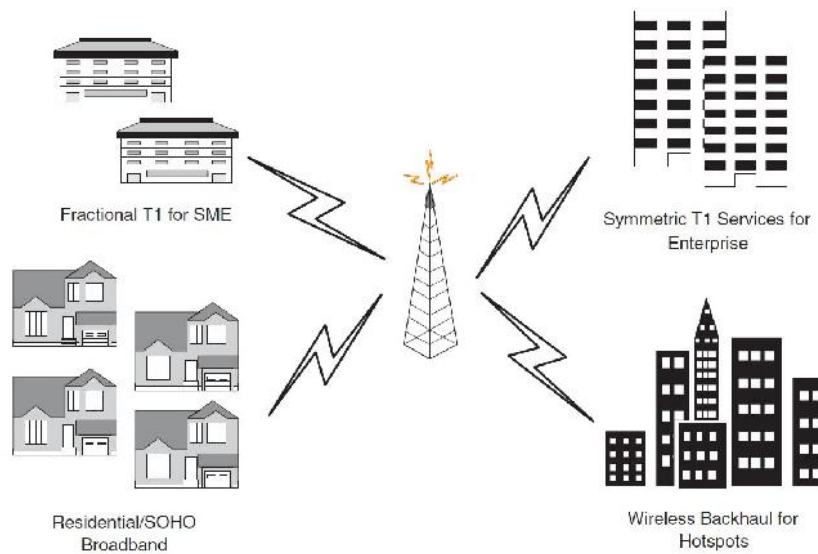


Figura 3.13: Aplicaciones de WiMax.

3.2.1.4. Redes de Banda Ancha Inalámbricas Móviles.

WiMax fue desarrollado para aplicaciones fijas, hoy todo el potencial de WiMax se puede aprovechar usando las aplicaciones nómadas y móviles de banda ancha, de esta manera permite a los usuarios finales de banda ancha en el hogar y el trabajo demandar servicios similares en el contexto de redes nómadas o móviles, y muchos operadores pueden usar WiMax para cumplir con esta demanda.

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

3.2.1.5. Comparación de WiMax con otras Tecnologías Inalámbricas de Banda Ancha.

Al no ser WiMax la única tecnología en brindar servicios inalámbricos de banda ancha, en la Tabla 3.4 se presenta un resumen de la comparación de WiMax con las tecnologías 3G y Wi-Fi.

Parámetro	WiMax Fijo	WiMax Móvil	HSPA	1xEV-DO	Wi-Fi
Estándar	IEEE 802.16 2004	IEEE 802.16e 2005	3GPP Release 6	3GPP2	IEEE 802.11 a/g/n

Tabla 3.4: Comparación de WiMax con Wi-Fi y 3G.

3.2.2. WiMax.

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

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

3.2.2.1. Estándar 802.16.

El estándar WiMax fue desarrollado por la IEEE en varias fases. Se basa en el trabajo hecho por el comité de estándares LAN/MAN IEEE-802, que fue creado en febrero de 1980 para definir estándares para redes de área local y metropolitana (LAN Y MAN).

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

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

3G, 4G).

3.2.2.2. Ventajas de WiMax.

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

1. Red conmutada de paquetes (Basada en IP).
2. Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal (OFDM).
3. Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal (OFDMA).
4. Duplex por División de Tiempo (TDD).
5. Modulación Adaptativa Multinivel (hasta 64QAM).
6. Técnicas de corrección de errores robusta.
7. Diseñado para sistemas de antenas avanzadas.

WiMax soporta velocidades de hasta 70 Mbps, con rangos de alcance de 10 Km y aprovecha el protocolo IP utilizado hoy en las redes cableadas, siendo así capaz de interconectarse directamente a las mismas.

3.2.2.3. Evolución de estándares.

En la Tabla 3.5 se muestra como ha evolucionado este estándar a través de los años, hasta llegar hasta su actual implementación.

Proyecto	Descripción
P802.16m	Interface avanzada de aire. Este proyecto deberá resultar en la creación de WiMax Release 2.0 (WiMax 2.0).
Borrador P802.16h	Mecanismos de coexistencia mejorados para operación sin licencia.
Borrador P802.16j	Especificación de enlaces de múltiples saltos.
Std 802.16 - 2009	Esta revisión es conocida como Release 1.0/1.5 e incluye clarificación y mejoras en el modo de operación Multiplexación por División de Frecuencia (FDD).
Std 802.16 - 2004	Estándar activo. Revisión de IEEE Std. 802.16. Fue desarrollado por el Grupo de Trabajo bajo el nombre de P802.1 - REV agregando el rango de frecuencias de operación de 2 - 11 GHz.
Std 802.16a - 2003	Primera versión de NLOS con rango de frecuencias de trabajo menos de 11GHz para redes de acceso fijas.
Std 802.16 - 2001	Primera versión de LOS con frecuencias de trabajo en el rango de 10 - 66 GHz para redes de acceso fijas.

Tabla 3.5: Estándares WiMax.

3.2.2.4. Arquitectura de Red.

La arquitectura se divide en ASN (Acces Service Network), CSN (Connection Service Network) y MS (Mobile Stations), dentro de ASN tenemos a BS (Base Station), como lo indica la Figura 3.14. Las interfaces entre los bloques de la arquitectura son definidos en la Figura 3.15.

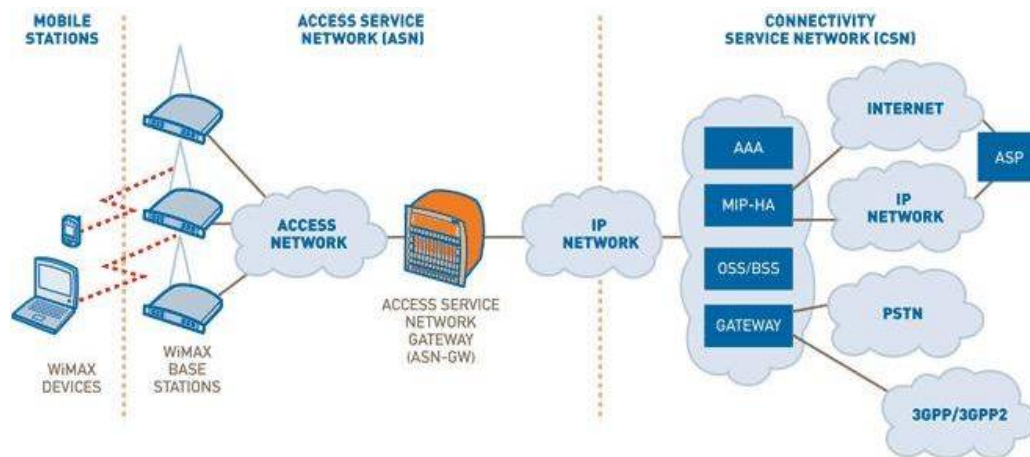


Figura 3.14: Arquitectura de Red WiMax.

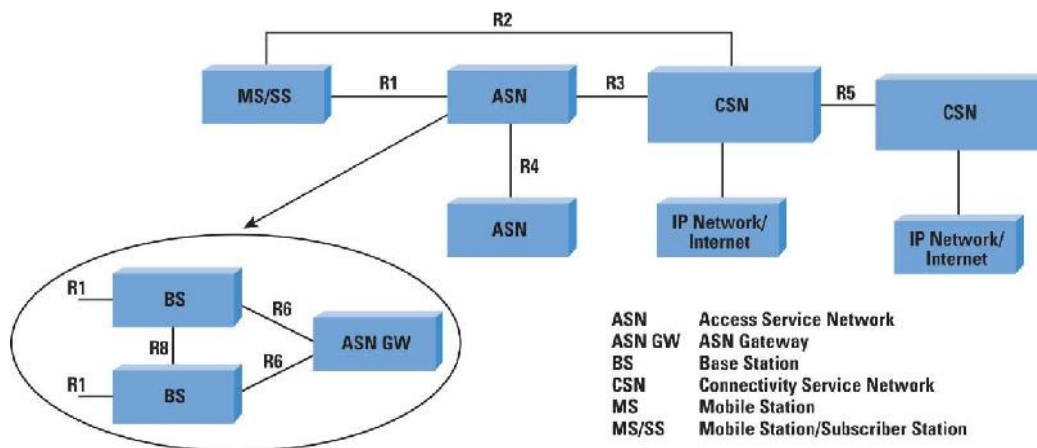


Figura 3.15: Interfaces WiMax.

R1) Es la interface de aire entre el MS y el BS.

R2) Es una interface lógica entre el SS y el CSN (Una conexión física directa entre ambos no existe). Esto es asociado con servicio de Autenticación, Autorización, Administración de Configuración de Host IP y Administración de Movilidad.

R3) Es la interface entre ASN y CSN. Este soporte AAA, políticas de administración y administración de movilidad.

R4) Consiste de protocolos entre ASNs para coordinar administración de movilidad.

R5) Consiste de protocolos para comunicación entre CSNs.

R6) Consiste de protocolos de comunicación entre BS y ASN.

R8) Consiste de protocolos de comunicación entre BSs.

3.2.3. QoS y Desempeño de WiMax.

3.2.3.1. Soporte de Calidad de Servicio.

El soporte para calidad de servicio (QoS) es esencial para los sistemas inalámbricos de banda ancha con canales diseñados para simultáneamente transportar una combinación de voz, video y servicios de datos. Algoritmos de QoS son requeridos para asegurar que el uso compartido del canal no resulte en degradación o falla. Ejemplos incluyen flujos abruptos de videos, niveles de latencia en una llamada de voz que interfiera con la conversación natural o la descarga de una página de internet que es inaceptablemente retrasado o se congela. A pesar del hecho de que los suscriptores están compartiendo el enlace de banda ancha con otros, ellos esperan un aceptable nivel de desempeño desde el proveedor de servicio bajo todas las condiciones [Alvarion, 2012].

Los estándares móviles WiMax proporcionan un conjunto de herramientas para soportar QoS para múltiples aplicaciones. La estación base WiMax asigna todos los recursos de tiempo de aire ascendentes y descendentes utilizando un procedimiento de programación de tráfico que la demanda del tráfico y los parámetros de suscripción de suscriptores individuales. Se emplean entonces algoritmos globales para asegurar que se cumplen los parámetros de calidad de servicios específicos de la aplicación. En la Tabla 3.6 se

resume las categorías de Qos, parámetros Qos y aplicaciones a ser controladas en el estándar 802.16e-2005.

Categoría Qos	Aplicaciones	Parámetros de QoS
UGS (Unsolicited Grant Service)	VoIP.	Máxima Velocidad Sostenida. Máxima Tolerancia de Latencia. Tolerancia de Jitter.
rtPS (Real-Time Polling Service)	Streaming Audio o Video.	Minima Velocidad Reservada. Máxima Velocidad Sostenida. Máxima Tolerancia de Latencia. Prioridad de Tráfico.
ertPS (Extended Real-Time Polling Service)	Voice with Activity Detection (VoIP).	Minima Velocidad Reservada. Máxima Velocidad Sostenida. Máxima Tolerancia de Latencia. Tolerancia de Jitter. Prioridad de Tráfico.
nrtPS	File Transfer Protocol (FTP).	Minima Velocidad Reservada. Máxima Velocidad Sostenida. Prioridad de Tráfico.
BE	Data Transfer, Web Browsing, etc.	Máxima Velocidad Sostenida. Prioridad de Tráfico.

Tabla 3.6: Resumen de categorías, aplicaciones y parámetros de QoS.

3.2.3.2. Desempeño de WiMax.

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

La velocidad de datos en sistemas de comunicación son básicamente determinadas por la capacidad de las interfaces involucradas. Por consiguiente en sistemas de comunicación inalámbricos las interfaces de aire pueden aparecer como el cuello de botella en todo el sistema y deberá ser analizado con cuidado. La capacidad de las interfaces de aire de un sistema móvil WiMax depende de la estructura de la señal OFDMA y el esquema de duplex en particular. Entonces, las posibles velocidades a través de las interfaces de aire es determinada por la implementación de la capa física (PHY). Sin embargo, en la cima de estas velocidades de datos físicos, el throughput de los datos e2e (end-to-end) desde el punto de vista de las aplicaciones es de gran interés y depende de las implementaciones de las capas superiores (ver Figura 3.16), es obio que las mediciones de throughput en la capa física y en las capas superiores son importantes a la hora de determinar el desempeño real de un despliegue de red WiMax.

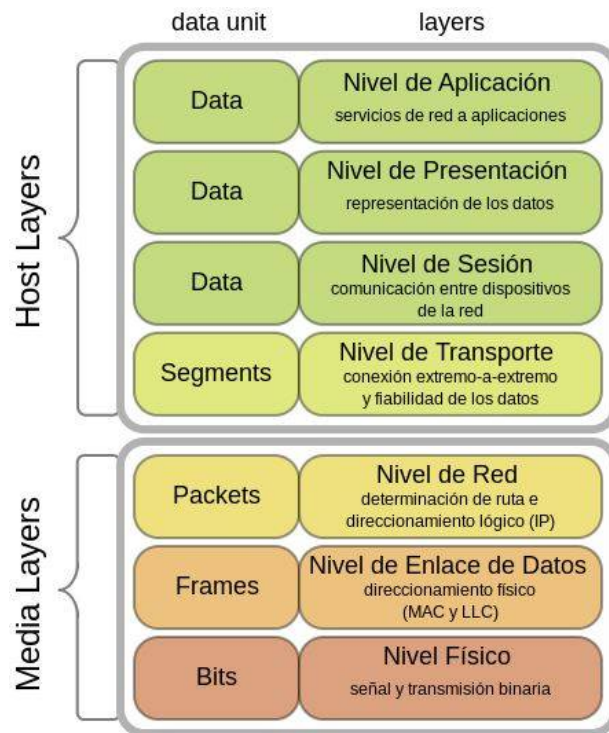


Figura 3.16: Modelo de Capas de ISO/OSI.

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

1. Capa Física de WiMax.

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

Sin embargo, comunicación digital a través de una interface requiere un cierto procesamiento de datos (por ejemplo codificación de canal), señalización y cabeceras. Entonces la capacidad PHY no es enteramente disponible para las capas superiores. Además, el esquema duplex tiene un impacto significativo sobre las posibles tasas de datos hacia una dirección. En caso de duplex por división de tiempo (TD), el esquema más común en WiMax, la bajada y la subida comparten los recursos disponibles sobre el tiempo, con estas consideraciones en la Tabla 3.8 se muestra la carga útil máxima para la bajada y la subida para diferentes

esquemas de modulación.

BW (MHz)	n	F _s (MHz)	N _{FFT}	Δf (KHz)	N _{data}	T _b (μs)	T _s (μs)	R _{QPSK} (Mbps)	R _{16QAM} (Mbps)	R _{64QAM} (Mbps)
10	28/25	11.2	1024	10.9	720	91.4	102.9	14	28	42
8.75	8/7	10	1024	9.8	720	102.4	115.2	12.5	25	37.5
7	8/7	8	1024	7.8	720	128	144	10	20	30
5	28/25	5.6	512	10.9	360	91.4	102.9	7	14	21
3.5	8/7	4	512	7.8	360	128	144	5	10	15

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

BW	Max DL slots	Máxima carga útil de bajada (DL) (Mbps)			Max UL slots	Máxima carga útil de subida (UL) (Mbps)		
		QPSK	16QAM	64QAM		QPSK	16QAM	64QAM
10	330	6.336	12.672	19.008	210	4.032	8.064	12.096
8.75	240	4.608	9.216	13.824	175	3.360	6.720	10.080
7	150	2.880	5.760	8.640	140	2.668	5.376	8.064
5	135	2.592	5.184	7.776	102	1.958	3.917	5.875
3.5	45	0.864	1.728	2.592	68	1.306	2.611	3.917

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

Además de la asignación de símbolos en OFDMA, el canal físico de WiMax, es responsable de la codificación de canal que consiste de dos pasos. Un primer paso es ejecutar la codificación de corrección de errores hacia adelante (FEC Forward Error Correction) y el segundo paso consiste de un codificador de canal de repetición, para incrementar la protección de los datos. En la Tabla 3.9 se muestra la carga útil para un ancho de banda de 10MHz, PUSC, G=1/8.

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

Tabla 3.9: Carga neta, BW 10MHz, PUSC, G=1/8.

2. Capa MAC de WiMax.

La capa MAC de WiMax corresponde a la capa de enlace de datos (3.14) de la ISO/OSI y determina la máxima capacidad de la interface de aire relacionado. Esta capa entrega los datos a la capa física en forma de PDUs MAC (Unidad de Datos de Protocolo). El PDU de la MAC está compuesta de acuerdo a la Figura 3.17 de 6 bytes de cabecera, una carga útil variable y 4 bytes de CRC.

6 bytes	0 - 2041 bytes	4 bytes
Mac Header	Mac Payload	CRC-42

Figura 3.17: Formato de MAC PDU de WiMax.

3. MTU - Máxima Unidad de Transmisión.

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

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

4. Capa IP.

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

5. Capa Transporte.

Hay dos protocolos comunes de capa de transporte, la capa 04 del modelo ISO/OSI (3.14). Estos son el protocolo sin conexión (UDP), es decir sin protección adicional para transmisión y el más importante que es el protocolo orientado a conexión (TCP). El protocolo TCP maneja datos por medio de segmentos de cierta longitud incluyendo 20 bytes de cabecera que incluye 16 bits de direcciones de puerto de destino y origen. La longitud del segmento TCP se ajusta idealmente al tamaño del MTU Ethernet es de 1500 bytes.

En la Tabla 3.10 [Steffen Heuel, 2011] se muestra la carga útil máxima de subida (UL) y bajada (DL) para varias capas incluyendo TCP y UDP, reproducimos acá las de más interés para el proyecto.

		Máxima carga útil de bajada (DL)					Máxima carga útil de subida (UL)				
		PHY	MAC	IPv4	UDP	TCP	PHY	MAC	IPv4	UDP	TCP
10 MHz		DL:UL = 35:12 Símbolos					DL:UL = 26:21 Símbolos				
QPSK	1/2	3.17	3.15	3.13	3.07	3.01	2.02	2.00	1.99	1.95	1.91
	3/4	4.75	4.72	4.69	4.60	4.51	3.02	3.00	2.98	2.93	2.87
16QAM	1/2	6.34	6.30	6.26	6.14	6.01	4.03	4.01	3.98	3.90	3.82
	3/4	9.50	9.44	9.37	9.20	9.01	6.05	6.01	5.97	5.86	5.74
64QAM	3/4	14.26	14.17	14.07	13.81	13.53	9.07	9.01	8.95	8.79	8.61
8.75 MHz		30:12					24:18				
QPSK	3/4	3.46	3.43	3.41	3.35	3.28	2.52	2.50	2.49	2.44	2.39
16QAM	3/4	6.91	6.87	6.82	6.69	6.56	5.04	5.01	4.97	4.88	4.78
64QAM	3/4	10.37	10.30	10.23	10.04	9.84	7.56	7.51	7.46	7.32	7.17
7 MHz		24:9					18:15				
QPSK	3/4	2.16	2.15	2.13	2.09	2.05	2.02	2.00	1.99	1.95	1.91
16QAM	3/4	4.32	4.29	4.26	4.18	4.10	4.03	4.01	3.98	3.90	3.82
64QAM	3/4	6.48	6.44	6.39	6.28	6.15	6.05	6.01	5.97	5.86	5.74
5 MHz		35:12					26:21				
QPSK	3/4	1.94	1.93	1.92	1.88	1.84	1.47	1.46	1.45	1.42	1.39
16QAM	3/4	3.89	3.86	3.84	3.77	3.69	2.94	2.92	2.90	2.84	2.79
64QAM	3/4	5.83	5.79	5.76	5.65	5.53	4.41	4.38	4.35	4.27	4.18
3.5 MHz		24:9					18:15				
QPSK	3/4	0.65	0.64	0.64	0.63	0.61	0.98	0.97	0.97	0.95	0.93
16QAM	3/4	1.30	1.29	1.28	1.26	1.23	1.96	1.95	1.93	1.90	1.86
64QAM	3/4	1.94	1.93	1.92	1.88	1.84	2.94	2.92	2.90	2.84	2.79

Tabla 3.10: Máximas velocidades de de diferentes Capas de WiMax.

3.2.3.3. Modulación Adaptativa y Codificación.

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

En la Figura 3.18 se observa como los esquemas de modulación se ajustan a la calidad del enlace (SNR) y esta a la distancia desde la estación base. Cuanto más cerca de la estación base mejora la calidad de enlace y se puede usar esquemas de modulación más altos, lo contrario también es cierto, cuanto mas lejos de la estación base se usan esquemas de modulación más bajos.

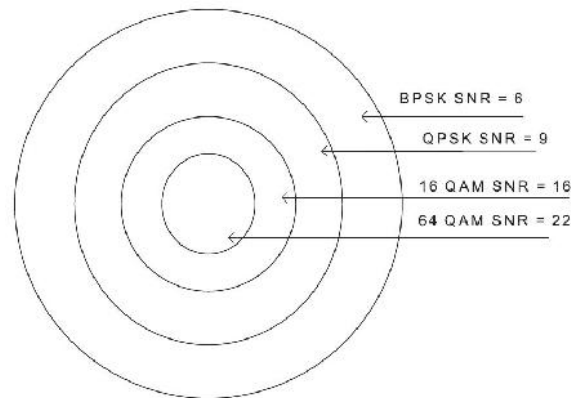


Figura 3.18: Radio de la celda y AMC.

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

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

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

Capítulo 4

Diseño de Red de Banda Ancha.

4.1. Diseño de Red de Transporte.

4.1.1. Red Provincial de Fibra Óptica.

En el proyecto realizado por FITEI se observa que se cuenta con un Nodo de Agregación en la ciudad de Santa Cruz, teniendo esto se desarrollará la red provincial de fibra óptica, la cual estará interconectada con las capitales de distrito, que llevan el nombre de Nodos de Distribución. Para su implementación se hará uso de la infraestructura eléctrica de media tensión (ver Figura 4.1), además en forma subterránea a través de la red vial (ver Figura 4.2).

Teniendo esas dos formas de distribución, en la Figura 4.3 se aprecia un esquema de la red provincial.



Figura 4.1: Tendido sobre la infraestructura eléctrica de media tensión.



Figura 4.2: Tendido subterráneo en la red vial.

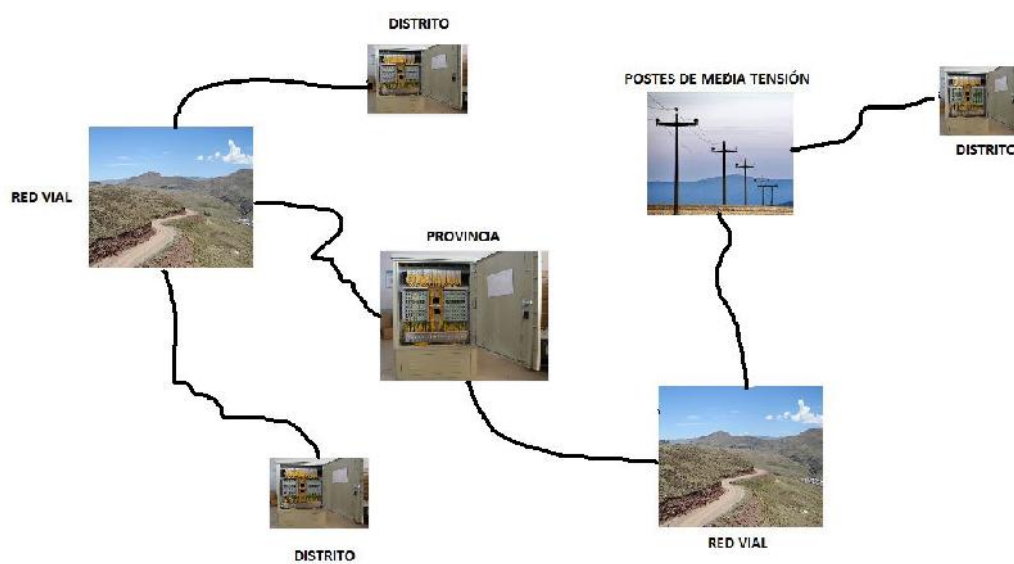


Figura 4.3: Red Provincial de Fibra Óptica.

4.1.2. Ubicación del Nodo de Agregación y de los Nodos de Distribución.

Ahora, para un buen dimensionamiento de la ruta por donde se implementará la fibra es necesario considerar el análisis realizado en el capítulo 2 y la Tabla 2.5. pero esta vez se tomará la demanda por distrito (ver Tabla 4.1). En esta tabla se agrega al distrito de Sexi, siendo el único distrito que no ha sido tomado en cuenta en la Red de Acceso (FITEI) pero que si es tomado en cuenta en la Red de Transporte, por lo tanto si llegará la fibra hasta este distrito. Es importante tener en cuenta la ubicación tanto del nodo de agregación como de los diferentes nodos de distribución (ver Tabla 4.2).

NRO	DISTRITO	DOWNLOAD		UPLOAD	
		TOTAL	GARANTIZADO	TOTAL	GARANTIZADO
1	SANTA CRUZ	30.3	12.1	7.6	3.0
2	ANDABAMBA	10.2	4.1	2.6	1.0
3	CATACHE	44.5	17.8	11.1	4.5
4	CHANCAYBAÑOS	44.7	17.9	11.2	4.5
5	LA ESPERANZA	26.4	10.6	6.6	2.6
6	NINABAMBA	40.5	16.2	10.1	4.1
7	PULÁN	58.7	23.5	14.7	5.9
8	SAUCEPAMPA	40.4	16.2	10.1	4.0
9	SEXI	8.1	3.2	2.0	0.8
10	UTICYACU	22.3	8.9	5.6	2.2
11	YAUUYUCÁN	60.6	24.2	15.2	6.1
TOTAL		386.7	154.7	96.7	38.7

Tabla 4.1: Demanda en Mbps por cada distrito en la provincia de Santa Cruz.

NRO	DISTRITO	LOCALIDAD	NODO	DATOS DE UBICACIÓN		
				LONGITUD	LATITUD	ALTURA (m.s.n.m.)
1	SANTA CRUZ	SANTA CRUZ DE SUCCHABAMBA	NODO DE AGREGACIÓN	-78.944400	-6.626140	2023
2	ANDABAMBA	ANDABAMBA	NODO DE DISTRIBUCIÓN	-78.817300	-6.662800	2540
3	CATACHE	CATACHE	NODO DE DISTRIBUCIÓN	-79.032600	-6.673960	1335
4	CHANCAYBAÑOS	CHANCAYBAÑOS	NODO DE DISTRIBUCIÓN	-78.867080	-6.575080	1637
5	LA ESPERANZA	LA ESPERANZA	NODO DE DISTRIBUCIÓN	-78.895800	-6.593030	1708
6	NINABAMBA	NINABAMBA	NODO DE DISTRIBUCIÓN	-78.787600	-6.650360	2172
7	PULÁN	PULÁN	NODO DE DISTRIBUCIÓN	-78.920640	-6.738090	2056
8	SAUCEPAMPA	SAUCEPAMPA	NODO DE DISTRIBUCIÓN	-78.916390	-6.691950	1931
9	SEXI	SEXI	NODO DE DISTRIBUCIÓN	-79.052420	-6.562960	2482
10	UTICYACU	UTICYACU	NODO DE DISTRIBUCIÓN	-78.794000	-6.606600	2332
11	YAUUYUCÁN	YAUUYUCÁN	NODO DE DISTRIBUCIÓN	-78.818790	-6.674650	2497

Tabla 4.2: Ubicación del Nodo de Agregación y de los Nodos de Distribución.

Seguidamente, se realiza un análisis de localización de la red de transporte provincial, para determinar la distancia de tendido aéreo de fibra óptica sobre la infraestructura eléctrica de media tensión y el tendido subterráneo en la red vial . En la Figura 4.4 se observa la ubicación de los diferentes nodos del presente estudio. Se reitera que el Nodo de Agregación de Santa Cruz será el que gestionará todo el tráfico provincial, por lo cual dimensionaremos la red de transporte óptico a partir de este nodo.



Figura 4.4: Ubicación de nodos y localidades beneficiadas.

4.1.3. Interfaces Ópticas de la Red de Transporte.

El ancho de banda total es 386.7 Mbps de Download y 96.7 Mbps de Upload, estas cantidades serán gestionadas por una plataforma de aprovisionamiento de multiservicios, de nueva generación con interfaces SONET/SDH, multiplexación por división de longitud de onda avanzada, agregación y transporte de múltiples servicios de alta densidad.

El diagrama unifilar (Ver Figura 4.5) es donde se consideran las distancias, nos permite dimensionar las diferentes interfaces necesarias para satisfacer la demanda establecida, tal como se muestra en la Tabla 4.3.

NODO	SONET		SDH	
	DOWN	UP	DOWN	UP
ANDABAMBA	OC-1	OC-1	STM-0	STM-0
CATACHE	OC-1	OC-1	STM-0	STM-0
CHANCAYBAÑOS	OC-1	OC-1	STM-0	STM-0
LA ESPERANZA	OC-1	OC-1	STM-0	STM-0
NINABAMBA	OC-1	OC-1	STM-0	STM-0
PULÁN	OC-3	OC-1	STM-1	STM-1
SAUCEPAMPA	OC-1	OC-1	STM-0	STM-0
SEXI	OC-1	OC-1	STM-0	STM-0
UTICYACU	OC-1	OC-1	STM-0	STM-0
YAUYUCÁN	OC-3	OC-1	STM-1	STM-1
INTERFAZ DE NODO DE SANTA CRUZ				
SANTA CRUZ	OC-12	OC-12	STM-4	STM-4

Tabla 4.3: Interfaces Ópticas por Nodo de Distribución.

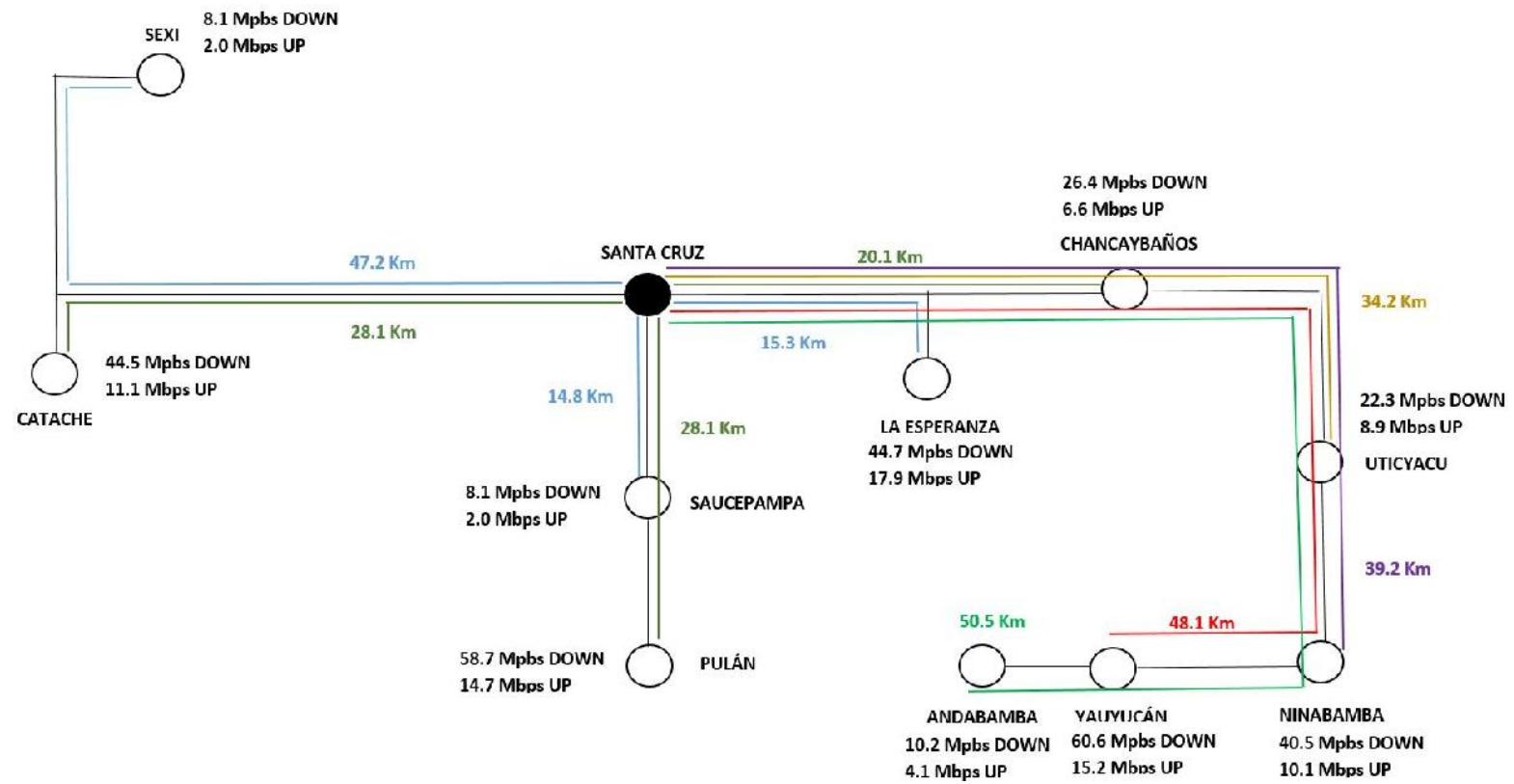


Figura 4.5: Diagrama unifilar de Nodos de Distribución con las distancias y ancho de banda.

4.1.4. Diseño de Planta Interna.

Ahora para el diseño de la planta de fibra óptica se instalará dos componentes: la planta interior y a planta exterior. En la primera, se tiene dos fusiones que forman la conexión con el ingreso y egreso, generalmente consta con un gabinete de piso, la cual en su parte inferior se instalará las bandejas de empalme, y en la parte superior las bandejas de acopladores; en la parte media irá el equipo de conmutación óptico.

Esta instalación se repite en los nodos de distribución, pero en este caso se requiere posiblemente sólo una bandeja de empalme y una bandeja de acopladores, pues como máximo se tendrá cuatro fibras por nodo de distribución, dos activas y dos de reserva.

El modelo de este gabinete se puede apreciar mejor en la Figura 4.6.

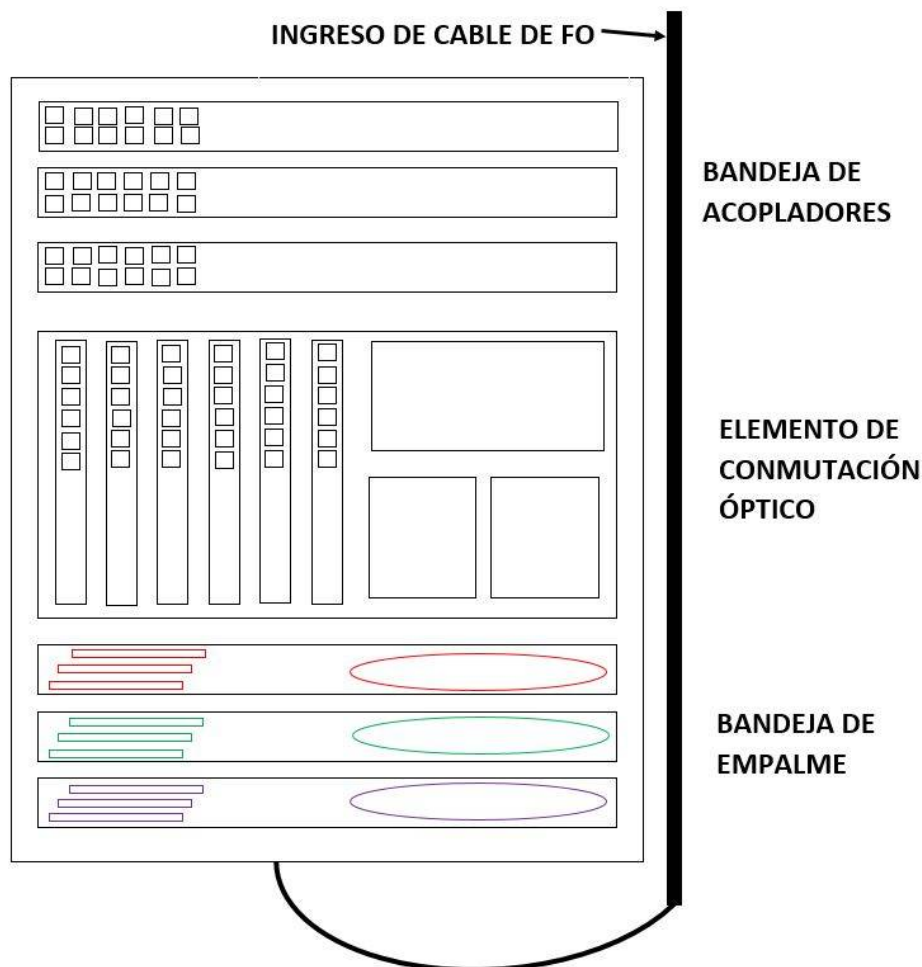


Figura 4.6: Esquema de Planta Interna en Nodo de Agregación - Santa Cruz.

4.1.5. Presupuesto de Enlace.

Con estas consideraciones se puede desarrollar el presupuesto de enlace como se muestra en la Tabla 4.4. El margen de seguridad compensa los empalmes adicionales que pudieran ocurrir como resultado de cambios de ruta o mantenimiento. La selección de equipamiento deberá asegurar que las pérdidas totales estén dentro de las pérdidas máximas disponibles sobre la ruta.

En el apéndice se tiene una gama de equipos que pueden soportar una pérdidas máximas disponibles sobre la ruta de hasta 22dB como máximo los cuales pueden cubrir las necesidades de todos los nodos.

NODO	Atenuación (0.25 dB/Km)	Conectores	Fusiones	Panels	Margen	Total Pérdidas
ANDABAMBA	12.63 dB	1.4 dB	1.5 dB	3 dB	3 dB	21.20 dB
CATACHE	7.03 dB	1.4 dB	0.8 dB	3 dB	3 dB	15.23 dB
CHANCAYBAÑOS	5.03 dB	1.4 dB	0.6 dB	3 dB	3 dB	13.03 dB
LA ESPERANZA	3.83 dB	1.4 dB	0.5 dB	3 dB	3 dB	11.73 dB
NINABAMBA	9.80 dB	1.4 dB	1.2 dB	3 dB	3 dB	18.40 dB
PULÁN	7.03 dB	1.4 dB	0.8 dB	3 dB	3 dB	15.23 dB
SAUCEPAMPA	3.70 dB	1.4 dB	0.4 dB	3 dB	3 dB	11.50 dB
SEXI	11.80 dB	1.4 dB	1.4 dB	3 dB	3 dB	20.60 dB
UTICYACU	9.80 dB	1.4 dB	1.2 dB	3 dB	3 dB	18.40 dB
YAUYUCÁN	12.03 dB	1.4 dB	1.4 dB	3 dB	3 dB	20.83 dB

Tabla 4.4: Presupuesto de Enlace en los Nodos de Distribución.

4.1.6. Selección de Equipos.

Se usará fibra óptica monomodo, ITU.T - G.652 D, ccon una atenuacion máxima dB/Km de 0.35 dB a 1310 nm y 0.25 dB a 1550 nm, una resistencia mecánica de 3000 N; lo cables pueden ser de 24 hilos y de 48 hilos, además de una longitud de span de 200m.

En cuanto a la selección de equipos se han tomado los siguientes: para el equipo de conmutación se usará el CISCO ONS 15454 M2 (ver Figura 4.7), y para el nodo de distribución el CISCO ASR 903 (ver Figura 4.8), ambos con las tarjetas de interfaz ópticas correspondientes para las velocidades y atenuaciones especificadas en las Tablas 4.1 y 4.4.



Figura 4.7: Router CISCO ONS M2 15454.



Figura 4.8: Router CISCO ASR 903.

4.1.7. Esquema de la Red de Transporte.

En la Figura 4.8 se puede apreciar un esquema de la red especificada.

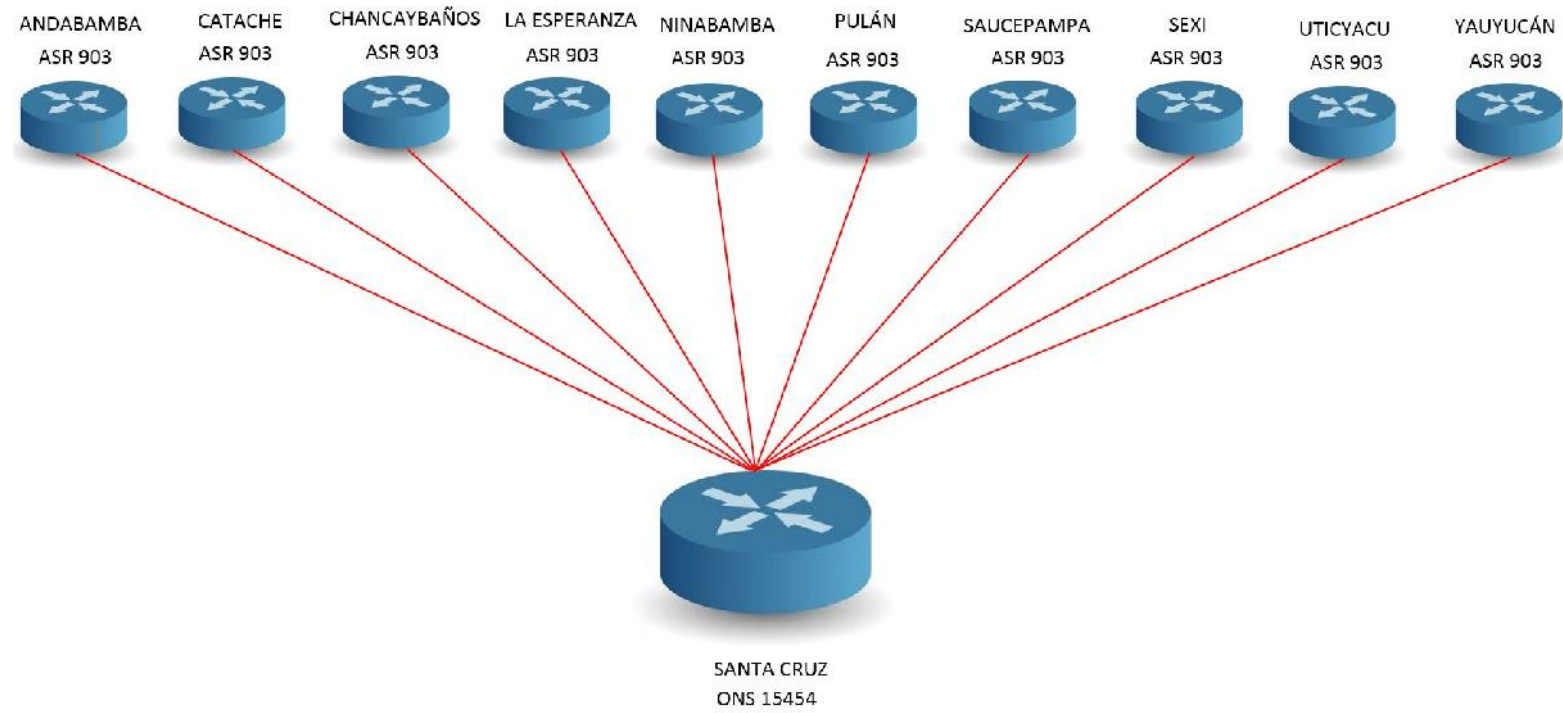


Figura 4.9: Esquema de Red de Transporte.

4.2. Diseño de Red de Acceso.

Una vez realizado el diseño de la red de transporte, se procede al estudio de la red inalámbrica en cada uno de los distritos a partir de cada nodo de distribución. En la Tabla 4.5 se tiene la ubicación de cada localidad por distrito y en la Tabla 4.6 se puede ver el área de influencia de cada nodo de distribución y las capacidades que deben ser cubiertas; con esta información ya se puede realizar el diseño de red, en donde se hará uso de WiMax en la banda comprendida en el rango de 5.1GHz a 5.8GHz, ofreciendo así al operador la disponibilidad de implementar el proyecto utilizando cualquier frecuencia comprendida en este rango.

NRO	DISTRITO	LOCALIDAD	DATOS DE UBICACIÓN		
			LONGITUD	LATITUD	ALTURA (m.s.n.m.)
1	SANTA CRUZ	QUÍO	-78.902990	-6.632200	2208
2	SANTA CRUZ	MARAYPAMPA	-78.913730	-6.663010	2294
3	CATACHE	MONTE SECO	-79.112040	-6.857050	1206
4	CATACHE	MACUACO	-79.240900	-6.801630	299
5	CHANCAYBAÑOS	MONTÁN MAYO	-78.791710	-6.556890	2504
6	CHANCAYBAÑOS	CHIRICONGA	-78.817020	-6.592560	2103
7	CHANCAYBAÑOS	TAYAPAMPA	-78.836370	-6.571360	1862
8	CHANCAYBAÑOS	CUSHIC	-78.835650	-6.586020	1924
9	LA ESPERANZA	CHAQUIL	-78.855860	-6.636220	2173
10	NINABAMBA	POLULO	-78.802510	-6.685800	2296
11	NINABAMBA	ACHIRAMAYO	-78.770300	-6.678280	2443
12	PULÁN	SAN JUAN DE DIOS	-78.891000	-6.715540	2520
13	PULÁN	SUCCHAPAMPA	-78.947660	-6.716460	2501
14	PULÁN	EL ROBLE	-78.908520	-6.737910	2358
15	SAUCEPAMPA	ROMERO CIRCA	-78.890550	-6.677850	2415
16	UTICYACU	SANGACHE	-78.763590	-6.595580	2877
17	YAUYUCÁN	PUCHUDÉN	-78.859310	-6.691420	2460
18	YAUYUCÁN	CHILAL	-78.837200	-6.720700	2793

Tabla 4.5: Ubicación de las Localidades.

NRO	DISTRITO	LOCALIDAD	DOWNLOAD		UPLOAD	
			100%	40%	100%	40%
1	SANTA CRUZ	QUÍO	6.1	2.4	1.5	0.6
2		MARAYPAMPA	24.2	9.7	6.1	2.4
3	CATACHE	MONTE SECO	16.2	6.5	4.1	1.6
4		MACUACO	6.1	2.4	1.5	0.6
5	CHANCAYBAÑOS	MONTÁN MAYO	8.7	3.5	2.2	0.9
6		CHIRICONGA	10.2	4.1	2.6	1.0
7		TAYAPAMPA	14.2	5.7	3.6	1.4
8		CUSHIC	4.1	1.6	1.0	0.4
9	LA ESPERANZA	CHAQUIL	18.2	7.3	4.6	1.8
10	NINABAMBA	POLULO	10.2	4.1	2.6	1.0
11		ACHIRAMAYO	20.2	8.1	5.1	2.0
12	PULÁN	SAN JUAN DE DIOS	18.2	7.3	4.6	1.8
13		SUCCHAPAMPA	12.2	4.9	3.1	1.2
14		EL ROBLE	16.2	6.5	4.1	1.6
15	SAUCEPAMPA	ROMERO CIRCA	32.3	12.9	8.1	3.2
16	UTICYACU	SANGACHE	14.2	5.7	3.6	1.4
17	YAUYUCÁN	PUCHUDÉN	26.2	10.5	6.6	2.6
18		CHILAL	26.2	10.5	6.6	2.6

Tabla 4.6: Demanda en Mbps por cada localidad en la provincia de Santa Cruz.

4.2.1. Línea de vista de un Nodo de Distribución .

Se ha determinado las líneas de vista para cada nodo de distribución con sus respectivos terminales. En la Figura 4.10 se puede apreciar que para el Nodo ubicado en Santa Cruz ha tenido que usarse un repetidor para poder llegar a sus terminales, Quío y Maraypampa.

Para el distrito de Catache se ha tenido que distribuir tres repetidores para llegar a Macuaco; por otro lado, para llegar hasta Monte Seco se ha hecho uso de los tres repetidores anteriores mas uno adicional. Se puede apreciar el diseño en la Figura 4.11.

Chancaybaños tiene línea de vista con Tayapampa, pero para Cushic, Chiriconga y Montán Mayo a tenido que emplearse un repetidor previo desde el nodo distribución. Ver Figura 4.12.

En la Figura 4.13 se muestra el uso de un repetidor, para llegar desde La Esperanza hasta Chaquil.

En el diseño del distrito de Ninabamba se aprecia que hay línea para llegar hasta Polulo, sin embargo para llegar hasta Achiramayo ha tenido que

emplazarse un repetidor en Polulo. Todo esto se grafica en la Figura 4.14.

Para el distrito de Pulán, se observa en la Figura 4.15, que para llegar hasta El Roble, hay línea de vista. Sin embargo para lo mismo en las localidades de San Juan de Dios y Succhapampa ha tenido que diseñarse un repetidor en El Roble.

Para tener línea de vista desde Saucepampa hasta Romero Circa ha tenido que colocarse un repetidor. Esto se puede apreciar mejor en la Figura 4.16.

En la Figura 4.17 al igual que en el caso anterior se a utilizado un repetidor para llegar desde Utcyacu hasta Sangache.

Finalmente, en el distrito de Yauyucán se ha usado un repetidor para llegar hasta Puchudén, y otro repetidor para llegar hasta Chilal, esto se grafica en la Figura 4.18.



Figura 4.10: Localidades con línea de vista desde Santa Cruz.

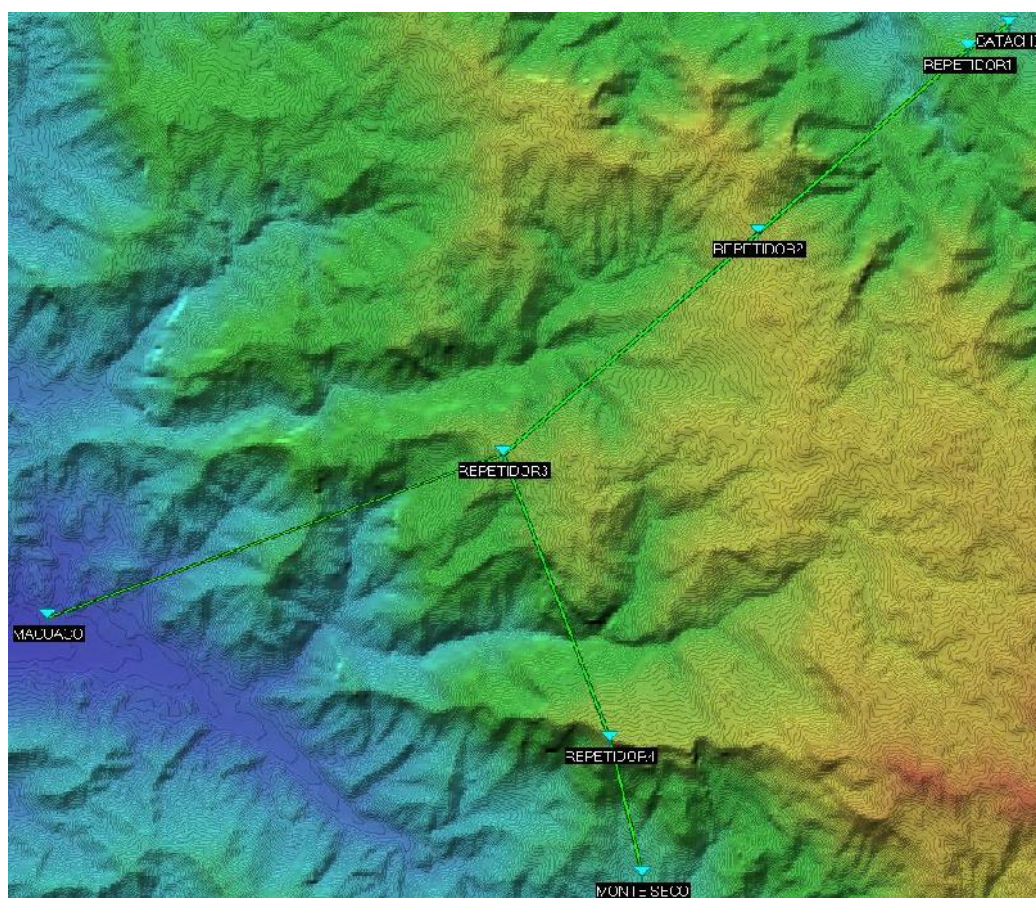


Figura 4.11: Localidades con línea de vista desde Catache.

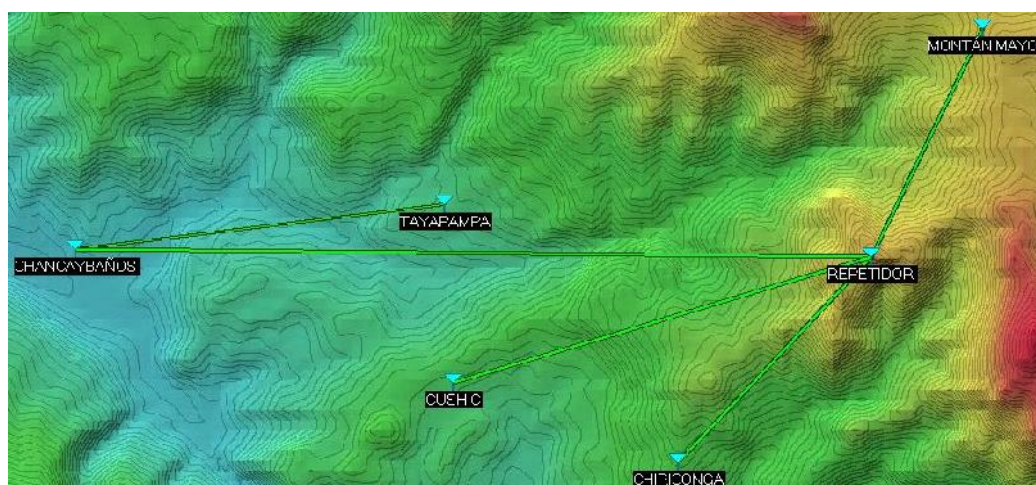


Figura 4.12: Localidades con línea de vista desde Chancaybaños.

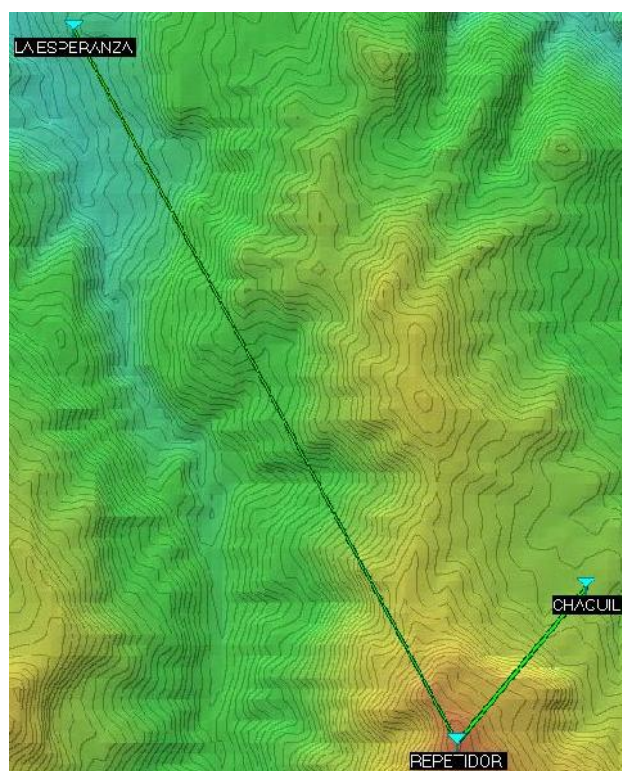


Figura 4.13: Localidades con línea de vista desde La Esperanza.



Figura 4.14: Localidades con línea de vista desde Ninabamba.

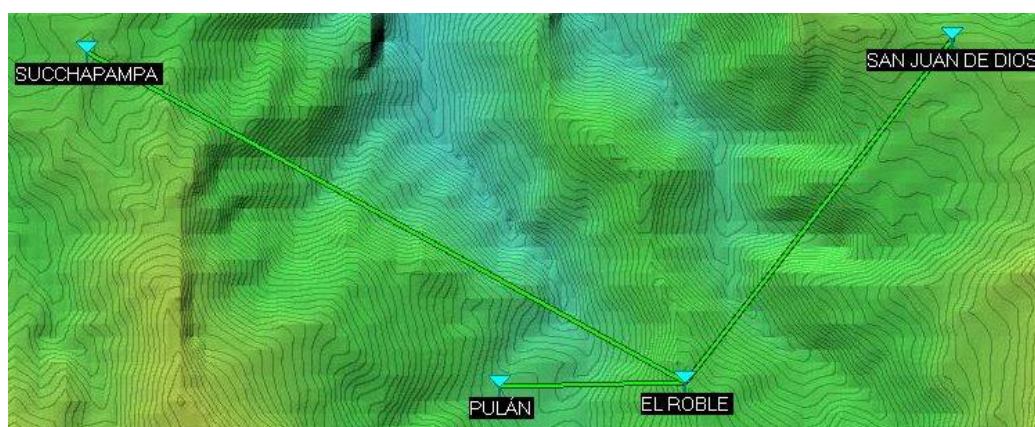


Figura 4.15: Localidades con línea de vista desde Pulán.

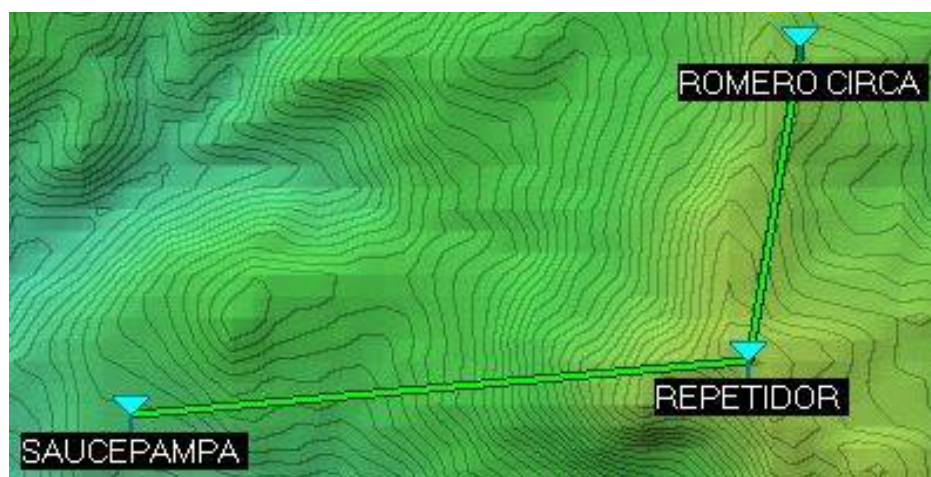


Figura 4.16: Localidades con línea de vista desde Saucepampa.



Figura 4.17: Localidades con línea de vista desde Uticyacu.

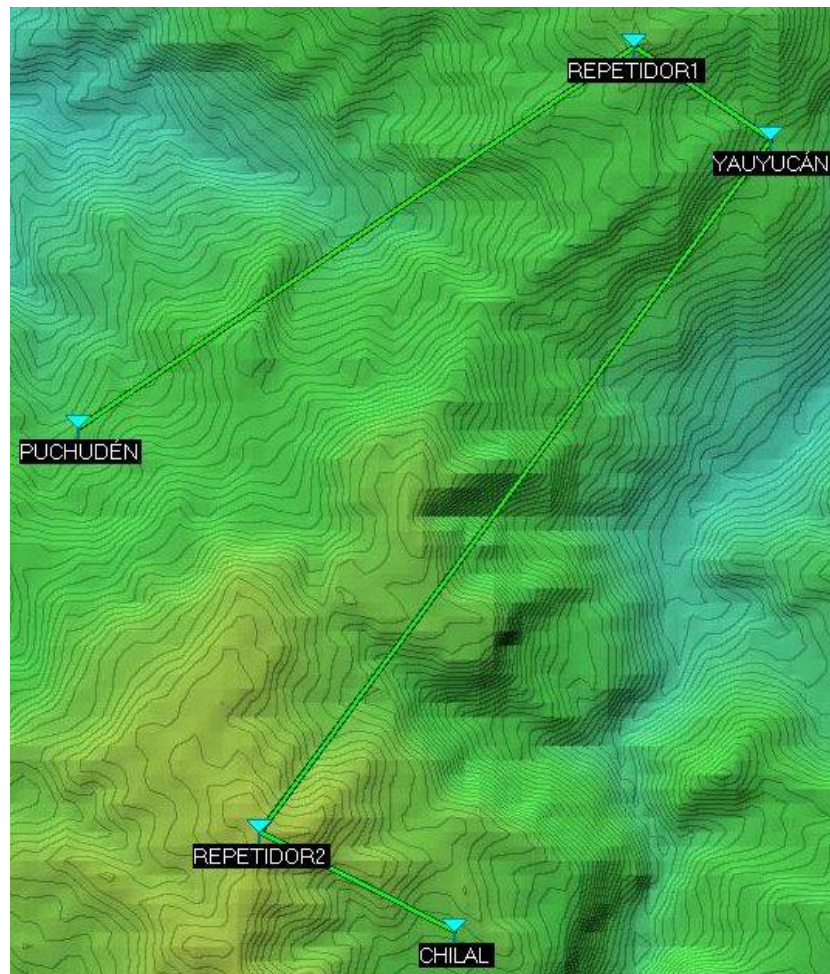


Figura 4.18: Localidades con línea de vista desde Yauyucán.

4.2.2. Selección de Antena.

Para obtener la capacidad que demanda cada una de las localidades, en los enlaces se ha considerado la utilización de los equipos de la marca Cambium Networks, específicamente el modelo PTP (Point to Point) 650 (ver Figura), que puede brindar hasta un throughput agregado de 450 Mbps, en una solución espectralmente eficiente y auto optimizada. PTP 650 es un puente ethernet inalámbrico que ofrece una variedad de características que les dan una mayor capacidad, flexibilidad operativa y la mayor eficiencia espectral de la industria. PTP 650 proporciona flexibilidad multi banda en el rango de 4.9 GHz a 6.05 GHz y opera en tamaños de canal desde 5 MHz a 45 MHz.

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

En el apéndice, se muestra una hoja de especificaciones sobre este producto donde se puede apreciar más características.



Figura 4.19: Cambium Networks PTP 650.

Para garantizar las velocidades necesarias 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 las tablas obtenidas del manual de usuario del equipo PTP 650, el cual se reproduce en el apéndice, pero tomando sólo las de interés para el proyecto.

4.2.3. Enlace Santa Cruz - Quío.

Para este enlace se requiere una velocidad de transmisión de 6.1 Mbps de download y 1.5 Mbps de upload, dándonos un tráfico agregado de 7.6 Mbps. Con esta velocidad se cubre la demanda de la localidad de Quío. Podemos observar que no existe simetría en el enlace y se debe usar un enlace con una relación 3:1, tal como se muestra en las Tablas 4.7, 4.8 y 4.9.

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

Tabla 4.7: Opciones de selección de ancho de banda y modulación para Quío.

Modulation mode	30 MHz (Tx/Rx/Aggregate)			20 MHz (Tx/Rx/Aggregate)		
256QAM 0.81 dual	63.00	21.00	84.00	42.00	14.00	56.00
64QAM 0.92 dual	53.00	18.00	71.00	35.00	12.00	47.00
64QAM 0.75 dual	43.00	14.00	57.00	29.00	10.00	39.00
16QAM 0.87 dual	34.00	11.00	45.00	22.00	7.00	29.00
16QAM 0.63 dual	24.00	8.00	32.00	16.00	5.00	21.00
256QAM 0.81 single	32.00	11.00	43.00	21.00	7.00	28.00
64QAM 0.92 single	27.00	9.00	36.00	18.00	6.00	24.00
64QAM 0.75 single	22.00	7.00	29.00	14.00	5.00	19.00
16QAM 0.87 single	17.00	6.00	23.00	11.00	5.00	16.00
16QAM 0.63 single	12.00	5.00	17.00	8.00	5.00	13.00
QPSK 0.87 single	8.00	5.00	13.00	6.00	5.00	11.00
QPSK 0.63 single	6.00	5.00	11.00	5.00	4.76	9.76
BPSK 0.63 single	5.00	3.61	8.61	5.00	2.38	7.38

Tabla 4.8: Opciones de selección de ancho de banda y modulación para Quío.

Modulation mode	15 MHz (Tx/Rx/Aggregate)			10 MHz (Tx/Rx/Aggregate)		
256QAM 0.81 dual	31.00	10.00	41.00	21.00	7.00	28.00
64QAM 0.92 dual	26.00	9.00	35.00	18.00	6.00	24.00
64QAM 0.75 dual	22.00	7.00	29.00	14.00	5.00	19.00
16QAM 0.87 dual	17.00	6.00	23.00	11.00	5.00	16.00
16QAM 0.63 dual	12.00	5.00	17.00	8.00	5.00	13.00
256QAM 0.81 single	16.00	5.00	21.00	11.00	5.00	16.00
64QAM 0.92 single	13.00	5.00	18.00	9.00	5.00	14.00
64QAM 0.75 single	11.00	5.00	16.00	7.00	5.00	12.00
16QAM 0.87 single	8.00	5.00	13.00	6.00	5.00	11.00
16QAM 0.63 single	6.00	5.00	11.00	5.00	4.82	9.82
QPSK 0.87 single	5.00	5.00	10.00	5.00	3.35	8.35
QPSK 0.63 single	5.00	3.59	8.59	5.00	2.41	7.41
BPSK 0.63 single	5.00	1.80	6.80	3.61	1.20	4.82

Tabla 4.9: Opciones de selección de ancho de banda y modulación para Quío.

En dichas tablas se observa que se han seleccionado seis opciones: Si se usa un ancho de banda de 45 MHz la modulación seleccionada sería QPSK 0.63 single, si se usa 40 MHz la modulación sería también QPSK 0.63 single, para 30 MHz sería QPSK 0.87 single, para 20 MHz sería 16QAM 0.63 single, para 15 MHz sería 16QAM 0.87 single, finalmente para 10 MHz sería 64QAM 0.75 single.

Seleccionar cualquiera de estas condiciones determinará el valor mínimo de señal en el receptor y las pérdidas totales de acuerdo a las Tablas 4.10 y 4.11.

Lo que se lee en la tablas dichas anteriormente es que por ejemplo si se selecciona 10 MHz 64QAM 0.75 single, se debe tener un nivel de umbral en el receptor de -77.6 dBm, la potencia máxima del transmisor puede ser 24 dBm y las pérdidas máximas en el enlace puede ser de 147.6 dB. Se optará por esta condición, los resultados se podrá apreciar mejor en el Radio Mobile.

Quío es una localidad a la que llegamos mediante dos saltos: el primero es desde Santa Cruz hacia un repetidor y el segundo es desde el repetidor hacia Quío.

En las Figuras 4.19 y 4.20 se puede apreciar el primer y segundo enlace respectivamente, con los niveles de señal esperados.

Modulation mode	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	30 MHz	40 MHz	45 MHz	P (all bands)
BPSK 0.63 single	-96.6	-94.6	-92.8	-91.5	-89.8	-88.5	-88.0	27
QPSK 0.63 single	-93.5	-91.5	-89.7	-88.4	-86.7	-85.4	-84.9	26
QPSK 0.87 single	-89.4	-87.4	-85.7	-84.4	-82.7	-81.4	-80.9	26
16QAM 0.63 single	-87.1	-85.1	-83.4	-82.1	-80.3	-79.1	-78.6	25
16QAM 0.63 dual	-83.2	-81.2	-79.4	-78.2	-76.4	-75.2	-74.6	25
16QAM 0.87 single	-82.6	-80.6	-78.9	-77.6	-75.9	-74.6	-74.1	25
16QAM 0.87 dual	-79.6	-77.6	-75.8	-74.6	-72.8	-71.6	-71.0	25
64QAM 0.75 single	-79.6	-77.6	-75.8	-74.6	-72.8	-71.6	-71.1	24
64QAM 0.75 dual	-76.5	-74.5	-72.7	-71.5	-69.7	-68.5	-68.0	24
64QAM 0.92 single	-75.8	-73.8	-72.0	-70.7	-69.0	-67.7	-67.2	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	-72.6	-70.6	-68.8	-67.6	-65.8	-64.6	-64.0	23
256QAM 0.81 dual	-69.1	-67.1	-65.3	-64.1	-62.3	-61.1	-60.6	23

Tabla 4.10: Sensibilidad del Receptor para Quío.

Modulation mode	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz	30 MHz	40 MHz	45 MHz
BPSK 0.63 single	169.6	167.6	165.8	164.5	162.8	161.5	161.0
QPSK 0.63 single	165.5	163.5	161.7	160.4	158.7	157.4	156.9
QPSK 0.87 single	161.4	159.4	157.7	156.4	154.7	153.4	152.9
16QAM 0.63 single	158.1	156.1	154.4	153.1	151.3	150.1	149.6
16QAM 0.63 dual	154.2	152.2	150.4	149.2	147.4	146.2	145.6
16QAM 0.87 single	153.6	151.6	149.9	148.6	146.9	145.6	145.1
16QAM 0.87 dual	150.6	148.6	146.8	145.6	143.8	142.6	142.0
64QAM 0.75 single	149.6	147.6	145.8	144.6	142.8	141.6	141.1
64QAM 0.75 dual	146.5	144.5	142.7	141.5	139.7	138.5	138.0
64QAM 0.92 single	145.8	143.8	142.0	140.7	139.0	137.7	137.2
64 QAM 0.92 dual	142.5	140.5	138.8	137.5	135.8	134.5	134.0
256QAM 0.81 single	141.6	139.6	137.8	136.6	134.8	133.6	133.0
256QAM 0.81 dual	138.1	136.1	134.3	133.1	131.3	130.1	129.6

Tabla 4.11: Pérdidas totales para Quío.

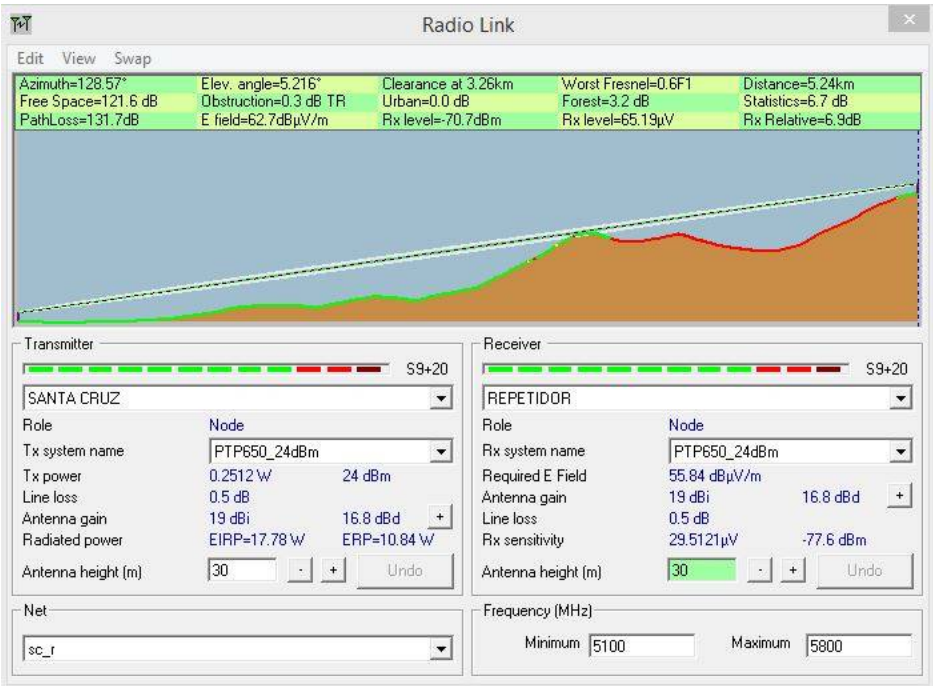


Figura 4.20: Enlace Santa Cruz a repetidor para llegar a Quío.

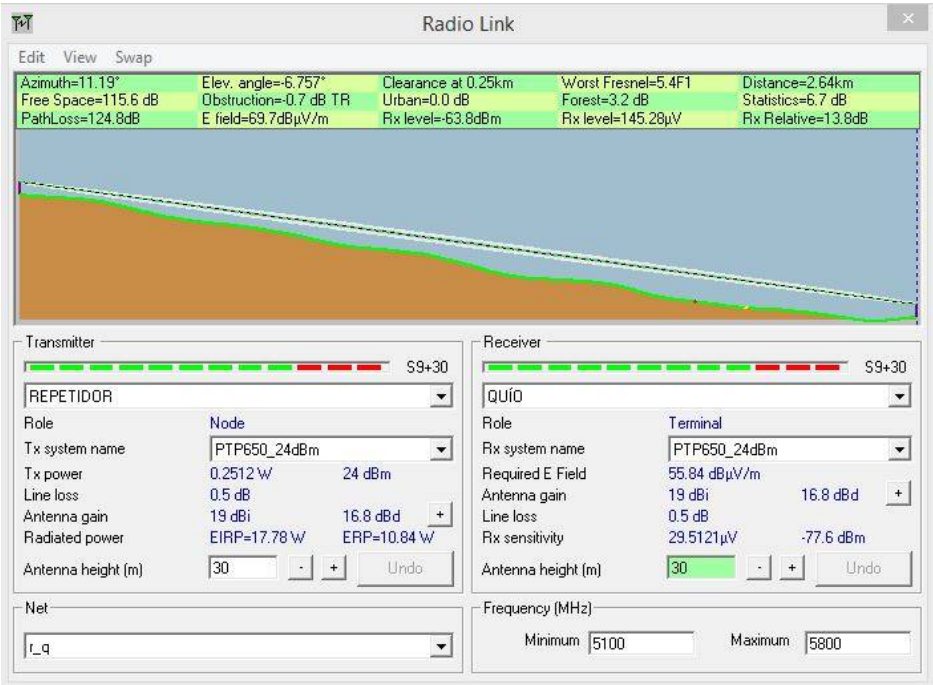


Figura 4.21: Enlace repetidor a Quío.

4.2.4. Presupuesto de Enlace.

En la Tabla 4.12, se detalla el ancho de banda del canal en MHz, el tipo de modulación, nivel de umbral del receptor y potencia del transmisor. Todos estos deducidos a partir del caso de Quío y su línea de vista con Santa Cruz.

NRO	DISTRITO	LOCALIDAD	ANCHO DE BANDA	MODULACIÓN	NIVEL RX	POTENCIA TX	PÉRDIDAS TOTALES
1	SANTA CRUZ	QUÍO	10 MHz	64QAM 0.75 SINGLE	-77.6 dBm	24 dBm	147.6 dB
2		MARAYPAMPA	45 MHz	16QAM 0.87 SINGLE	-74.1 dBm	25 dBm	145.1 dB
3	CATACHE	MONTE SECO	10 MHz	64QAM 0.92 DUAL	-70.5 dBm	24 dBm	140.5 dB
4		MACUACO	10 MHz	64QAM 0.75 SINGLE	-77.6 dBm	24 dBm	147.6 dB
5	CHANCAYBAÑOS	MONTÁN MAYO	10 MHz	64QAM 0.92 SINGLE	-73.8 dBm	24 dBm	143.8 dB
6		CHIRICONCA	10 MHz	256QAM 0.81 SINGLE	-70.6 dBm	23 dBm	139.6 dB
7		TAYAPAMPA	20 MHz	16QAM 0.63 DUAL	-78.2 dBm	25 dBm	149.2 dB
8		CUSHIC	15 MHz	BPSK 0.63 SINGLE	-92.8 dBm	27 dBm	165.8 dB
9	LA ESPERANZA	CHAQUIL	15 MHz	64QAM 0.75 DUAL	-72.7 dBm	24 dBm	142.7 dB
10	NINARAMBA	POLULO	10 MHz	256QAM 0.81 SINGLE	-70.6 dBm	23 dBm	139.6 dB
11		ACHIRAMAYO	15 MHz	64QAM 0.75 DUAL	-72.7 dBm	24 dBm	142.7 dB
12	PULÁN	SAN JUAN DE DIOS	20 MHz	16QAM 0.87 DUAL	-74.6 dBm	25 dBm	145.6 dB
13		SUCCHAPAMPA	10 MHz	64QAM 0.75 DUAL	-74.5 dBm	24 dBm	144.5 dB
14		EL ROBLE	10 MHz	64QAM 0.92 DUAL	-70.5 dBm	24 dBm	140.5 dB
15	SAUCEPAMPA	ROMERO CIRCA	40 MHz	16QAM 0.63 DUAL	-75.2 dBm	25 dBm	146.2 dB
16	UTICYACU	SANGACHE	20 MHz	16QAM 0.63 DUAL	-78.2 dBm	25 dBm	149.2 dB
17	YAUUYUCÁN	PUCHUDÉN	40 MHz	16QAM 0.63 DUAL	-75.2 dBm	25 dBm	146.2 dB
18		CHILAL	40 MHz	16QAM 0.63 DUAL	-75.2 dBm	25 dBm	146.2 dB

Tabla 4.12: Ancho de banda, modulación, nivel de Rx, potencia de Tx y pérdidas de red inalámbrica.

Capítulo 5

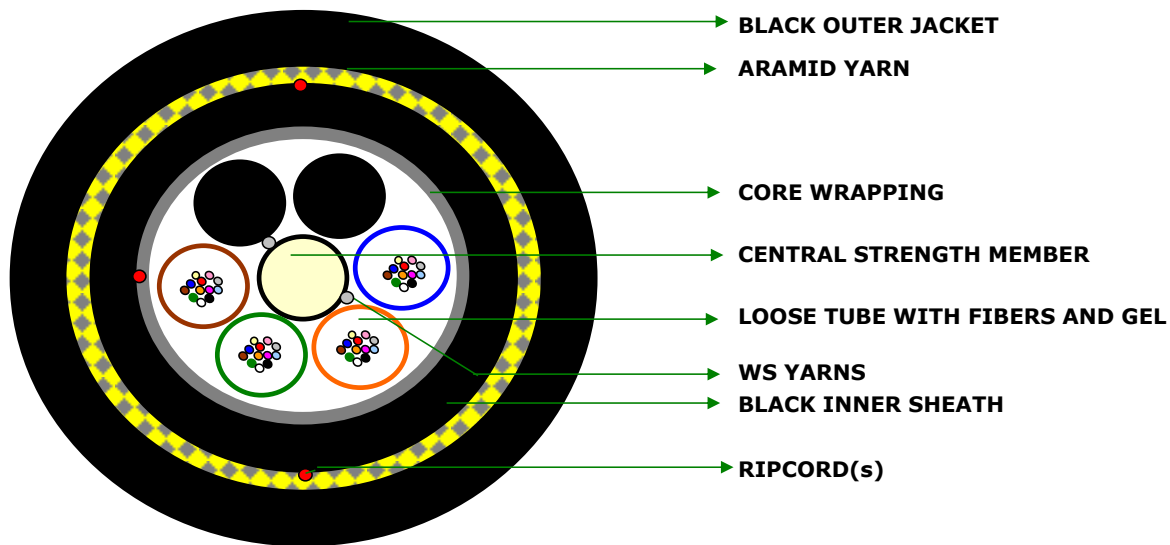
Conclusiones.

- Se ha diseñado una red de telecomunicaciones, que comprende una red de transporte óptico y una red de acceso de banda ancha en la provincia de Santa Cruz.
- Ha sido importante contar con los datos referentes a la cantidad de pobladores del INEI para calcular la demanda del ancho de banda.
- El estudio de la RDNFO ha sido vital para la ubicación del nodos de agregación y de los nodos de distribución.
- En el diseño de la red de transporte se toma en cuenta al distrito de Sexi, mas no en el el diseño de la red acceso, todo esto usado gracias al estudio de la RDNFO.
- El despliegue por dónde va la fibra, si es a través de de la red vial o a través de la infraestructura de media tensión ha sido ayudado gracias al estudio de la RDNFO, en esta provincia no se ha tomado en cuenta la infraestructura eléctrica de alta tensión como es el caso en otras provincias del Perú.
- En los enlaces inalámbricos sólo se toman en cuenta el ancho de banda de las localidades y no de los distritos ya que los mismos son utilizados como nodos de distribución y son abastecidos en el diseño de la red de transporte.
- La selección de equipos se ha previsto de acuerdo a las condiciones y resultados requeridos. Es por ello que en el anexo se reproducen los data sheets de los mismos para su detalle.
- Para determnar parámetros como la interfaz óptica, ha sido importante recurrir a la exposición de conceptos en el marco teórico.
- También la selección de algunos parámetros para los enlaces como ancho de banda, potencia del transmisor y otros han sido tomados de los data sheet anteriormente expuestos.
- Este estudio está previsto hasta por diez años y en cada enlace hay un porcentaje de garantía del 70 %, logrando así confiabilidad y servicio de calidad.

Apéndice

SM (G.652) Multi Tube Double Jacket ADSS Optical Fiber Cable
PRODUCT INFORMATION

Fiber	
Single Mode Optical Fiber	Sterlite Fiber ITU.T - G.652 D
Maximum Cabled Fiber Attenuation dB/Km	1310nm : 0.35 & 1550nm : 0.25
PMDq	≤ 0.2 ps/ √km
Loose Tube	
Water Blocking Element	Thixotropic gel to prevent water ingress in loose tube
Tube	Thermoplastic Material
Core	
Central Strength Member	Fiber Reinforced Plastic to provide tensile strength and antibuckling properties.
Filler	Polyethylene Black
Water blocking elements	Water Swellable Yarns is added to prevent water ingress in the core of cable.
Core Wrapping	Binder and Water Blocking Tape.
Cable	
Rip Cord	Twisted yarns
Inner Sheathing	UV Proof Black MDPE
Peripheral Strength Member	Aramid Yarns to meet the required tensile strength
Outer Sheathing	UV Proof Black HDPE

CONSTRUCTIONAL DETAILS


Typical construction Diagram - Not to Scale

OPTICAL FIBER CABLE PERFORMANCE

MECHANICAL				ENVIRONMENTAL	
Crush Resistance	3000N/ 100mm			Temp. Performance	
Minimum Bend Radius		Impact strength	25Nm	Installation	-30°C to + 70°C
-During Installation	20 D	Torsion	± 180°	Operation	-40°C to + 70°C
-After Installation	15 D	Cable Bend	20 D x 4 Turns x 3cycles	Storage	-40°C to + 70°C
Water Penetration	1m head, 3m samples, 24 hrs.(Over Inner PE)				

Tests shall be carried out as per IEC Standards. Change in attenuations shall be < 0.05 dB.

PRINTING DETAILS

Printing details (White - Hot Foil Emb.)	STERLITE SM Fiber Count G652D ADSS 200m OFC Laser Symbol Telephone Symbol FITELE Year of Production Cable ID Meter Marking
---	---

The accuracy of marking shall be ± 0.5%. Occasional loss of printing & remarking shall be as per Bell core GR 20 and this supercedes the earlier markings.

Prepared By:- N. Nitesh

Approved By:-

Doc. No.:- XX/12-F-D-S3-2-AA-200mtr

Rev.:-1.0

Date:- 05-09-2013



SM (G.652) Multi Tube Double Jacket ADSS Lite Optical Fiber Cable

CABLE CONSTRUCTION

Fiber Count	Fibers Per Tube	Tubes	Fillers	Color of Loose Tubes In Sequence	Fiber Color	Diameter of Cable (±5%)	Weight of Cable (±10%)	Max. Tensile Strength
Nos.	Nos.	Nos.	Nos.			mm	Kg/Km	kN
24	12	2	4	Blue,Orange,Filler, Filler,Filler,Filler.	Blue,Orange,Green, Brown,Slate,White, Red,Black,Yellow, Violet,Pink,Aqua.	12.9	125	6.3
48	12	4	2	Blue,Orange,Green, Brown,Filler,Filler.	Blue,Orange,Green, Brown,Slate,White, Red,Black,Yellow, Violet,Pink,Aqua.	12.9	125	6.3

Filler Color: Black
Sheath Color: Black
Jacket Color: Black

LOADING CONDITION

	Span Length	Sag %		Excess Load	
	mtr	Installation Sag	Vector Sag	Ice Load	Wind Speed
	200	1.0%	4.1%	10 mm	60 Km / Hr

Spacing : Cable shall be install at minimum distance of 1 mtr from 23kV Power Line.

Standard Lenqth Details

Cable length (Km) 4 ± 5%
Order Tolerance: ± 5 %
Short Lengths : Max 5 %, Customer Approval.

Prepared By:- N. Nitesh

Approved By:-

Doc. No.:- XX/12-F-D-53-2-AA-200mtr

Rev.:-1.0

Date:- 05-09-2013

Cisco ONS 15454 M2 Multiservice Transport Platform

Product Overview

The Cisco® ONS 15454 M2 Multiservice Transport Platform (MSTP) sets the industry benchmark for compact, simple, fast, and intelligent dense wavelength-division multiplexing (DWDM) solutions. Its compact form, simplicity, and low power consumption reduce capital expenditures (CapEx) and operating expenses (OpEx). The Cisco ONS 15454 M2 (Figure 1) is compatible with the existing portfolio of Cisco ONS 15454 MSTP line cards, thereby offering a multitude of MSTP applications in a smaller footprint. From access aggregation solutions with the integrated AC power module to core applications such as optical line amplifiers with an optical service channel (OSC), the flexible Cisco ONS 15454 M2 supports a broad range of solutions.

Figure 1. Cisco ONS 15454 M2 Multiservice Transport Platform



Key Features and Benefits

The Cisco ONS 15454 M2 chassis has one slot for the control card and two slots for service cards. These two line-card slots provide increased power and cooling capability over the original Cisco ONS 15454 chassis, and a usable high-speed backplane for future applications. You can configure the M2 with integrated DC or AC power inputs. The DC power module has inputs for redundant A and B feeds. The integrated AC power module has a single input and is universal in that it accepts a power input ranging from 110 to 240VAC, 50 to 60 Hz. With its front-facing connections, the M2 is ideal for cabinet installations and ETSI front-connection requirements, making this platform truly global.

Although a single processor card controls the node, the Cisco ONS 15454 M2 has a built-in memory module to backup the software package, IP address, and circuit database (Figure 2). This backup capability improves mean time to repair (MTTR) and increases operational simplicity. Also new to the M2 is the ability to connect, via through

a USB port, to a Cisco ONS passive device for inventory management. Some Cisco ONS 15216 passive devices, such as the single-module reconfigurable optical add/drop multiplexer (SM-ROADM) patch panel, have an erasable programmable ROM (EEPROM) in the device that the M2 can be readable by the M2 and therefore will show up appears in the Cisco Transport Controller inventory management pane.

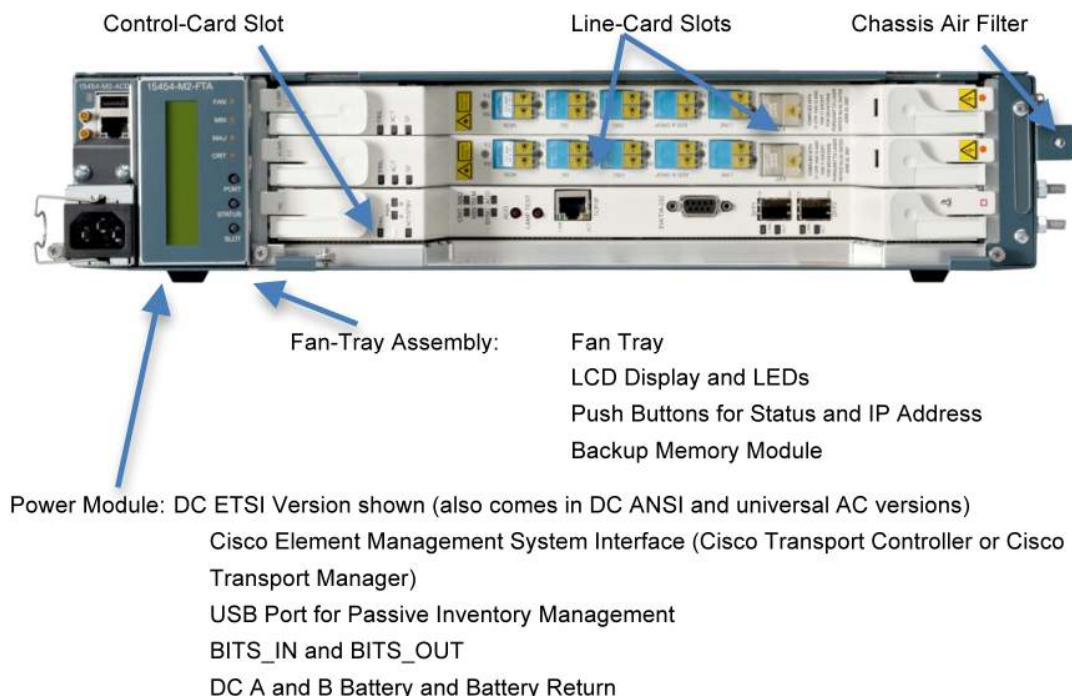
You can mount the Cisco ONS 15454 M2 MSTP in 19-, 21-, or 23-inch racks or cabinets.Brackets come with the Shelf Assembly and can also be ordered as spares.Optional air deflectors can be used in 21" and 23" installations With 19-inch brackets, the airflow is right to left; with 21-inch brackets, airflow can be selected as right to left; right front in, and left front out; left up out; or left back out. With 23-inch brackets, airflow is from right front in to left back out.

The Cisco ONS 15454 M2 MSTP has a single high-capacity fan-tray assembly where the three fans are individually monitored and controlled. If a single fan fails (unlikely), you receive a fan fail alarm and the other fans increase in speed to provide sufficient airflow to give you time to safely replace the fan tray.

Doors are optional and hence do not come with the Shelf Assembly. They can be ordered as spares.

Specifically designed for the new M2 platform are new control cards that consolidate the functions of the control card, OSC termination, and increased alarms into just one card. Virtually all MSTP applications that were possible with the original 12-service-slot MSTP chassis are now supported in the more compact M2 chassis. The OSC now also supports Fast Ethernet and Gigabit Ethernet connections, in addition to OC-3/STM-1, giving you more bandwidth for use with the user data channel.

Figure 2. Cisco ONS 15454 M2 MSTP Modules



The Cisco ONS 15454 M2 MSTP provides capital and operational efficiency by addressing the increasing demand for bandwidth and multiple services at the edge of the network. It uses the existing Cisco Transport Controller management and integrates well with other optical transport platforms. With innovative technology, the Cisco ONS 15454 M2 MSTP pushes intelligence to the edge of the network, thus allowing the optimization of next-generation networks across multiple layers and removing costly optical-electrical-optical (OEO) devices for network segmentation or regeneration.

The Cisco ONS 15454 M2 MSTP carries on the existing features such as multilayer graphical network, node, and card visibility; A-to-Z network-based service provisioning; and graphical software wizards to simplify and speed user operations for such tasks as initial network turn-up; service provisioning; and network, node, and bandwidth upgrades. The Cisco ONS 15454 M2 MSTP takes advantage of the embedded software architecture and control plane to introduce a level of operational simplicity unheard of in DWDM networks.

In addition to the integrated software features, the Cisco ONS 15454 M2 MSTP is supported by an easy-to-use but powerful network design tool, the Cisco Transport Planner. The Cisco Transport Planner is a user-friendly, Java-based application (fully developed and tested by Cisco) for modeling and optimizing DWDM networks based on the user's network parameters.

Topology Flexibility

One recent core network trend is the consolidation of multiple Layer 2/3 networks into a single IP/Multiprotocol Label Switching (IP/MPLS) infrastructure. In spite of this Layer 2/3 convergence, however, the underlying transport layer (Layer 1) of many service provider core networks has continued to use SONET/SDH. Many service provider networks globally still use SONET/SDH today, creating OpEx and CapEx concerns for service providers as well as the challenges of profitability and return on investment (ROI). Some network inefficiencies result from the way core transport networks are built out today to support the IP or service layer over the SONET/SDH layer, supported by an underlying DWDM infrastructure. The OEO conversions and the associated electrical processing directed by the layered network architecture result in an additional cost in terms of space, because many racks of shelves may be required in a service provider point of presence (POP), as well as the additional power and cooling that is necessary because of the active electronics components that they contain.

You can configure the Cisco ONS 15454, ONS15454 M6, and ONS 15454 M2 MSTP chassis to support any edge, metro, regional, or core DWDM topology, allowing you to use a unified solution for the overall network, independently from the topology and reach. The ultimate topology flexibility is achieved through a set of fully reconfigurable optical add/drop multiplexers (ROADMs). Multidegree ROADMs (2 through 8 degrees of freedom) allow wavelengths to remain in the optical domain while being passed from one ring or network segment to another, further eliminating the need for OEO conversions and using the ability of core routers to initiate DWDM-compatible wavelengths.

The Cisco ONS 15454 M2 MSTP with the single-module ROADM offers a tremendous decrease in footprint, power requirements, and patch-cable complexity over the first-generation ROADM. You can use the SM-ROADM in an M2 for edge DWDM solutions where east and west are on separate nodes.

Table 1 lists the modules that make up the Cisco ONS 15454 M2 MSTP.

Module	Part Number
Common Equipment for the Cisco ONS 15454 M2	
Shelf Assembly with brackets	15454-M2-SA
Chassis door (optional), and deep door version	15454-M2-DR, 15454-M2-DDR
Fan-Tray Assembly with LCD Status and Backup Memory	15454-M2-FTA, 15454-M2-FTA2
Chassis air filter	15454-M2-FTF
Power Options	
DC power module with ANSI power connector	15454-M2-DC
With element management solution connection	
With USB connection to passive Cisco ONS device for inventory management	
With Building Integrated Timing Supply (BITS) 1 input and output	
DC power module with ETSI power connector	15454-M2-DC–E
With element management solution connection	
With USB connection to passive Cisco ONS device for inventory management	
With BITS 1 input and output	
AC power module with universal IEC power connector	15454-M2-AC
With element management solution connection	
With USB connection to passive Cisco ONS device for inventory management	
With BITS 1 input and output	
Brackets and Air Deflectors (Optional spares)	
19-in., 21-in., and 23-in. brackets	15454-M2-BRKT
21-in. air deflectors	15454-M2-DEFL21
23-in. air deflectors	15454-M2-DEFL23
Wall-mount bracket	15454-M2-WM
Common Equipment for the Cisco ONS 15454 M6 and M2	
Transport Node Controller (TNC) card	15454-M-TNC
Transport Shelf Controller (TSC) card	15454-M-TSC
Enhanced TNC card	15454-M-TNCE
Enhanced TSC card	15454-M-TSCE
Slot Filler Cards	
Line-card blank	15454-BLANK
Line-card slot-detectable filler	15454-M-FILLER
Control-card slot-detectable filler	15454-M-T-FILLER
Cisco ONS 15454 M6 power-module blank filler	15454-M6-PWRFLR

Product Name	Description	Length	Gauge	Connector 1	Connector 2
15454-M-120TMGCBL(=)	BITS IN/OUT cable for ANSI	0.6 m	COAX 23 AWG	DIN 1.0/2.3	2 WIRE WRAP PINS
15454-M2-DCCBL-LE(=)	DC power cable for ETSI left exit	10 m	12 AWG	Power D-Sub 2 poles	none
15454-M6-DCCBL-LE(=)	DC power cable for ETSI left exit	10 m	8 AWG	Power D-Sub 3 poles	none
15454-M6-DCCBL-RE(=)	DC power cable for ETSI right exit	10 m	8 AWG	Power D-Sub 3 poles	none
15454-M-ACCBL-L(=)	AC power cable ANSI 110 Vac left exit	3 m	15A – 125V	C13	NEMA 5-15P
15454-M-ACCBL-L2(=)	AC power cable ANSI 220 Vac left exit	3 m	15A – 250V	C13	NEMA 6-15P
15454-M-ACCBL-R(=)	AC power cable ANSI 110 Vac right exit	3 m	15A – 125V	C13	NEMA 5-15P

Product Name	Description	Length	Gauge	Connector 1	Connector 2
15454-M-ACCBL-R2(=)	AC power cable ANSI 220 Vac right exit	3 m	15A – 250V	C13	NEMA 6-15P
15454-M-ACL6-L(=)	AC power cable for Data Center	3 m	15A – 250V	C13	NEMA WD 6 L6-20P
15454-M-ACL6-R(=)	AC power cable for Data Center	3 m	15A – 250V	C13	NEMA WD 6 L6-20P
15454-M-ALMCBL(=)	SCSI Alarm cable	20 m	28 AWG	Mini SCSI	None
15454-M-ALMCBL2(=)	SCSI Alarm cable limited to 8 inputs	20 m	24 AWG	Mini SCSI	None
15454-M-CBL-LARG(=)	AC power cable – ARG left exit	3 m	10A – 250V	C13	IRAM 2073 – IEC 60884-1
15454-M-CBL-LAUS(=)	AC power cable – AUS left exit	3 m	10A – 250V	C13	AS/NZS 3112: 2000
15454-M-CBL-L-CHI(=)	AC power cable – China left exit	3 m	10A – 250V	C13	GB2099.1/GB1002
15454-M-CBL-L-EU(=)	AC power cable – EU left exit	3 m	10A – 250V	C13	CEE 7 STANDARD SHEET VII
15454-M-CBL-L-IND(=)	AC power cable – India left exit	3 m	10A – 250V	C13	IS 1293
15454-M-CBL-L-JPN(=)	AC power cable – Japan left exit	3 m	15A – 125V	C13	JIS C8303 & JIS C8306
15454-M-CBL-L-KOR(=)	AC power cable – KOR left exit	3 m	10A – 250V	C13	K60884-01
15454-M-CBL-L-UK(=)	AC power cable – UK left exit	3 m	10A – 250V	C13	BS 1363/A & SS145/A
15454-M-CBL-RARG(=)	AC power cable – ARG right exit	3 m	10A – 250V	C13	IRAM 2073 – IEC 60884-1
15454-M-CBL-RAUS(=)	AC power cable – AUS right exit	3 m	10A – 250V	C13	AS/NZS 3112: 2000
15454-M-CBL-R-CHI(=)	AC power cable – China right exit	3 m	10A – 250V	C13	GB2099.1/GB1002
15454-M-CBL-R-EU(=)	AC power cable – EU right exit	3 m	10A – 250V	C13	CEE 7 STANDARD SHEET VII
15454-M-CBL-R-IND(=)	AC power cable – India right exit	3 m	10A – 250V	C13	IS 1293
15454-M-CBL-R-JPN(=)	AC power cable – Japan right exit	3 m	15A – 125V	C13	JIS C8303 & JIS C8306
15454-M-CBL-RKOR(=)	AC power cable – KOR right exit	3 m	10A – 250V	C13	K60884-01
15454-M-CBL-R-UK(=)	AC power cable – UK right exit	3 m	10A – 250V	C13	BS 1363/A & SS145/A
15454-M-TMGCBL(=)	BITS IN/OUT cable for ETSI	20 m	COAX 23 AWG	DIN 1.0/2.3	none
15454-M-USBCBL(=)	USB cable for passive devices	3 m	28#/1P + 24#/2C + AEB	USB "A" MALE	USB "A" MALE

Table 3 provides details about physical and operational parameters of the Cisco ONS 15454 M2 MSTP.

Table 3. Product Specifications

Item	Specification
Power Requirements	Maximum
M2 AC power configuration	350W
M2 DC power configuration	450W
Power Consumption	
M2 fan-tray assemblies	40W
M2 AC power module	52W
M2 DC power modules	30W
Physical Dimensions	
Rack mounting	19- or 23-in.(483- or 584-mm, respectively) EIA rack-mounting 19-in. (83-mm) rack-mounting or 21-in. (533-mm) cabinet mounting
Shelf assembly	
Cisco ONS 15454 M2 shelf assembly	(H x W x D): 3.46 x 17.18 x 11.02 in. (87.9 x 436.4 x 280 mm)

Item	Specification
Environmental Conditions	
Storage temperature	–40 to 158°F (–40 to 70°C)
Operating temperature	Normal: 32 to 131°F (0 to 55°C) Short-term ¹ : 23 to 131°F (–5 to 55°C)
Relative humidity	Normal: 5 to 85%, noncondensing Short-term ² : 5 to 90% but not to exceed 0.024 kg water/kg of dry air

¹Refers to a period of not more than 96 consecutive hours and a total of not more than 15 days in 1 year.

²Refers to a total of 360 hours in any given year, but no more than 15 occurrences during that 1-year period.)

Regulatory Standards Compliance

Table 4 summarizes regulatory standards compliance and agency approvals.

Table 4. Regulatory Standards Compliance and Agency Approvals

ANSI (Cisco ONS 15454) System	ETSI (Cisco ONS 15454E) System
Supported Countries	
<ul style="list-style-type: none"> • Canada • United States • Korea 	<ul style="list-style-type: none"> • Europe • Latin America • Japan • Asia Pacific • Middle East and Africa
EMC (Class A)	
<ul style="list-style-type: none"> • ICES-003 Issue 4(2004) • GR-1089-CORE, Issue 4 (Type 2 and Type 4 equipment) • GR-1089-CORE – Issue 03 (Oct 2002) (Objective O3-2 – Section 3.2.1 – Radiated Emissions requirements with all doors open) • FCC 47CFR15, Class A subpart B (2006) 	<ul style="list-style-type: none"> • EN 300 386 v1.3.3 (2005) and v1.4.1 (2007) • CISPR 22 – Fifth edition (2005-04) Class A and the amendment 1 (2005-07) • CISPR 24 – First edition (1997-09) and amendment 1 (2001-07) and amendment 2 (2002-10). • EN 55022:1998 Class A – CENELEC Amendment A2:2003 • EN 55024:1998 – CENELEC Amendment A1:2001 and Amendment A2:2003 • Resolution 237 (Brazil) • VCCI V-3/2006.04 • EN 61000-6-1:2001 • EN 61000-6-2:1999
Safety	
<ul style="list-style-type: none"> • UL/CSA 60950 -1 First Edition(2003) • GR-1089-CORE, Issue 4 (Type 2 and Type 4 equipment) 	<ul style="list-style-type: none"> • UL/CSA 60950 -1 First Edition (2003) • IEC 60950-1 (2001/10)/Amendment 11:2004 to EN 60950-1:2001, 1st Edition (with all country deviations)
Environmental	
<ul style="list-style-type: none"> • GR-63-CORE, Issue 3 (2006) 	<ul style="list-style-type: none"> • ETS 300-019-2-1 V2.1.2 (Storage, Class 1.1) • ETS 300-019-2-2 V2.1.2 (Transportation, Class 2.3) • ETS 300-019-2-3 V2.1.2 (Operational, Class 3.1E) • EU WEEE regulation • EU RoHS regulation
Power and Grounding	
<ul style="list-style-type: none"> • GR-1089-CORE, Issue 4 	<ul style="list-style-type: none"> • ETS 300 132-2
Optical Safety	
<ul style="list-style-type: none"> • EN or IEC 60825-2 Third edition (2004-06) • EN or IEC 60825-1 Consol. Ed. 1.2 – incl. am1+am2 (2001-08) • 21CFR1040 (2004/04) (Accession Letter and CDRH Report) • IEC-60825-2 Third edition (2004-06) • ITU-T G.664 (2006) 	

ANSI (Cisco ONS 15454) System	ETSI (Cisco ONS 15454E) System
Miscellaneous	
<ul style="list-style-type: none"> • Acoustic noise <ul style="list-style-type: none"> ◦ GR-63-CORE, Issue 3 (2006) ◦ ETS 300 753 ed.1 (1997-10) • Rain, sand, dust, and moisture proofing <ul style="list-style-type: none"> ◦ AS 1939-1990, 4.2, IP 53 • Mechanical shock and bumps <ul style="list-style-type: none"> ◦ AS1099- 2.27 • Customer-specific requirements <ul style="list-style-type: none"> ◦ AT&T Network Equipment Development Standards (NEDS) Generic Requirements, AT&T 802-900-260 ◦ SBC TP76200MP ◦ Verizon SIT.NEBS.NPI.2002.010 	

Ordering Information

To place an order, visit the Cisco Ordering homepage and refer to Table 4. To download software, visit the Cisco Software Center.

Table 5. Ordering Information

Product ID	Description
Common Equipment	
15454-M2-SA=	Shelf assembly, Cisco ONS 15454 M2
15454-M2-DR=	Chassis Door, Cisco ONS 15454 M2
15454-M2-DDR=	Chassis Deep Door, Cisco ONS 15454 M2
15454-M2-FTA=	Fan Tray assembly, Cisco ONS 15454 M2
15454-M2-FTA2=	2 nd gen Fan Tray assembly, Cisco ONS 15454 M2
15454-M2-FTF=	Chassis Air Filter, Cisco ONS 15454 M2
15454-M2-DC=	DC Power Supply Module, Cisco ONS M2
15454-M2-DC-E=	DC ETSI Power Supply Module, Cisco ONS M2
15454-M2-AC=	AC Power Supply Module, Cisco ONS M2
15454-M2-BRKT=	19"/23" and 21" Brackets, Cisco ONS 15454 M2
15454-M2-DEF21=	21" Air deflector, Cisco ONS 15454 M2
15454-M2-DEF23=	23" Air deflector, Cisco ONS 15454 M2
15454-M2-WM=	Wall mount bracket, Cisco ONS M2
15454-M-SHIPKIT=	Shipkit, Cisco ONS 15454 M6 and Cisco ONS 15454 M2
15454-M-TNC-K9=	Transport Node Controller
15454-M-TSC-K9=	Transport Shelf Controller
15454-M-TNCE-K9=	Enhanced Transport Node Controller
15454-M-TSCE-K9=	Enhanced Transport Shelf Controller
15454-BLANK=	Shelf slot-filler panel, fits any slot in Cisco ONS 15454 ANSI shelf assembly
15454-M-FILLER=	Shelf line-slot filler card, fits line-card slots in Cisco ONS 15454 M6 and ONS 15454 M2 chassis
15454-M-T-FILLER=	Shelf control-slot filler card, fits control-card slots in Cisco ONS 15454 M6 and ONS 15454 M2 chassis

Warranty

The following warranty terms apply to the Cisco ONS 15454 M2 MSTP as well as services you may use during the warranty period. Your formal warranty statement appears in the Cisco Information Packet that accompanies your Cisco product.

- Hardware warranty duration: Five years
- Software warranty duration: One year
- Hardware replacement, repair, or refund procedure: Cisco or our service center will use commercially reasonable efforts to ship a replacement part for delivery within 15 working days after receipt of the defective product at Cisco's site. Actual delivery times of replacement products may vary depending on customer location.

Product warranty terms and other information applicable to Cisco products are available at:

<http://www.cisco.com/go/warranty>.

Service and Support

Cisco Services make networks, applications, and the people who use them work better together.

Today, the network is a strategic platform in a world that demands better integration among people, information, and ideas. The network works better when services, together with products, create solutions aligned with business needs and opportunities.

The unique Cisco Lifecycle approach to services defines the requisite activities at each phase of the network lifecycle to help ensure service excellence. With a collaborative delivery methodology that joins the forces of Cisco, our skilled network of partners, and our customers, we achieve the best results.

For More Information

For more information about the Cisco ONS 15454 Multiservice Transport Platform, contact your local Cisco account representative or visit Cisco at: www.cisco.com/go/optical or www.cisco.com/go/IPoDWDM.



Americas Headquarters
Cisco Systems, Inc.
San Jose, CA

Asia Pacific Headquarters
Cisco Systems (USA) Pte. Ltd.
Singapore

Europe Headquarters
Cisco Systems International BV Amsterdam,
The Netherlands

Cisco has more than 200 offices worldwide. Addresses, phone numbers, and fax numbers are listed on the Cisco Website at www.cisco.com/go/offices.

Cisco and the Cisco logo are trademarks or registered trademarks of Cisco and/or its affiliates in the U.S. and other countries. To view a list of Cisco trademarks, go to this URL: www.cisco.com/go/trademarks. Third party trademarks mentioned are the property of their respective owners. The use of the word partner does not imply a partnership relationship between Cisco and any other company. (1110R)

Cisco ASR 900 Series Aggregation Services Routers

Cisco® ASR 900 Series Aggregation Services Routers are full-featured, modular aggregation platforms. They're designed for the cost-effective delivery of converged mobile, residential, and business services. You get redundancy, a shallow depth, low power consumption, and high service scale in routers packed with useful features and optimized for small aggregation and remote point-of-presence (POP) applications.

The Cisco ASR 902 Router, Cisco ASR 903 Router, and Cisco ASR 907 Router (Figure 1) provide a comprehensive and scalable feature set, supporting Layer 2 VPN (L2VPN) and Layer 3 VPN (L3VPN) services in compact designs.

Figure 1. Cisco ASR 903 Router, ASR 902 Router, and ASR 907 Router



Major Applications

Broadband Aggregation

The modular Cisco ASR 900 Series router supports broadband aggregation for delivering “any-play” services (voice, video, data, and mobility). Designed to support thousands of subscribers, the ASR 900 Series includes quality of service (QoS) features that allow the routers to scale to a large number of queues per device. Combined with a highly granular, three-level hierarchical QoS algorithm, a large number of queues can result in a greatly enhanced broadband user experience. This full-featured Layer 2 and Layer 3 router supports a variety of broadband applications, including IPTV and video on demand (VoD), enhancing and extending the Cisco Evolved Programmable Network architecture.

Preaggregation for Mobile Applications

Deployed as a preaggregation platform for mobile backhaul, the ASR 900 Series router can aggregate cell sites and use Multiprotocol Label Switching (MPLS) as a transport for Radio Access Network (RAN) backhaul traffic. It also provides the timing services required in today's converged access networks by offering integrated support for the Building Integrated Timing Supply (BITS), 10 MHz, 1 Pulse Per Second (1PPS), and Time Of Day (TOD) interfaces. The router also supports synchronous Ethernet (SyncE) and IEEE-1588, and it can act as the source for network clocking for time-division multiplexing (TDM), Synchronous Digital Hierarchy (SDH), Synchronous Optical Network (SONET), Synchronous Ethernet (SyncE), and Global Positioning System (GPS) interfaces. In addition, the ASR 900 Series router can be deployed in small and rugged environments, due to its shallow depth and qualification for extended temperature ranges.

Metro Ethernet Aggregation

The ASR 900 Series router is built to meet service provider requirements for Carrier Ethernet aggregation. It is optimized for remote central office and smaller aggregation sites where a full-featured, modular, small-footprint, and fully redundant aggregation platform is needed. This router offers service flexibility and delivers Layer 2, IP, and MPLS transport for advanced L2VPN, L3VPN, and multicast services.

Major Differentiators

The ASR 900 Series router helps service providers deliver advanced services for residential broadband, mobile, and Metro Ethernet applications. This allows an operator to provide differentiated and cost-effective services to end users.

Flexible Deployment Options

The ASR 900 Series router is designed with a compact form factor to accommodate deployment in small spaces. Available with a range of mounting options, the router can be deployed in space-constrained locations such as ETSI 300-mm deep cabinets. The side-to-side airflow design allows two Cisco ASR 900 Series routers to be mounted back-to-back in a 600-mm cabinet, while the extended temperature range supported by the router allows it to be deployed in locations with minimum environmental control. Small footprint and extended temperature range support allow service providers to extend the reach of their Carrier Ethernet networks to more challenging and remote locations, yet save money on air conditioning.

High Availability and Modularity

The ASR 900 Series router is a modular platform. Cisco offers a choice of multiple distinct route switch processors (RSPs), AC and DC power supplies, a fan tray, and a wide range of interface modules. The Ethernet interfaces are available in copper and fiber, with speeds ranging from 10 Mbps to 100 Gbps. The legacy interfaces are available in speeds ranging from nxDS0 to OC-12/STM-4 for Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH), SDH, and SONET. The interface modules, power supplies, and fan tray are all field replaceable.

The design of the Cisco ASR 907 and ASR 903 routers delivers in-box hardware redundancy and supports software redundancy with in-service software upgrade (ISSU) support when a pair of route switch processors is inserted in the chassis.

Operational Efficiency

The ASR 900 Series router features essential capabilities that help service providers simplify and automate the management of their networks, promoting efficiency gains in the deployment and operation of the networks. The router provides proactive diagnostic tools including Generic Online Diagnostics (GOLD) which help service providers avoid potential problems before they occur, troubleshoot any problems, and implement solutions when problems are diagnosed.

System Design

The ASR 900 Series routers are built as fully modular systems with a future-ready design. The router chassis supports online field replacement and upgrades of all components. The Cisco ASR 907 Router is designed to contain one fan tray, up to three power supplies, two route switch processor (RSP) cards, and up to 16 interface module cards. The Cisco ASR 903 Router is designed to contain one fan tray, two power supplies, two RSP cards, and up to six interface module cards. The ASR 902 Router uses the same design as the ASR 903 Router, but due to its smaller size, it has four interface module cards and one RSP card. All components support online replacement and field upgrades, with the exception of the RSP card on the ASR 902 Router, which requires the system to be brought down for a replacement or upgrade.

Fan Tray

ASR 900 Series routers have a single fan tray slot, which must be populated for the system to operate. The fan tray contains redundant fans. The systems continue to operate on a single fan failure. The systems have been designed to remain operational during the replacement of the fan tray. The duration of the fan tray replacement has a hard time limit imposed on reinsertion of the fan tray depending on the system's ambient temperature. In addition to cooling the chassis, the fan tray also contains a connector for dry-contact inputs and several system-level alarm LEDs.

The A902-FAN-E, A903-FAN-E, and A907-FAN-E modules all support an optional field-serviceable dust filter. The dust filter space of the A903-FAN-E and A902-FAN-E fan trays reduces their respective cooling capacity. This can result in a smaller operating temperature range for the total system, especially in combination with RSP3C and interface modules with more than 40G throughput capacity. Consult your account team for more details.

Power Supply

A variety of AC and DC power supplies are available for ASR 900 Series routers. Depending on the system module configuration of a larger capacity power supply might be needed. The system supports operation on a single power supply, while two or more power supplies will function in a load-share configuration. Mixing of AC and DC power supplies in a single operational chassis is supported.

Route Switch Processor

The Cisco ASR 900 Route Switch Processor (RSP) is the centralized card in the system performing the data-plane, network-timing, and control-plane functions for the system.

The RSP engine form factor of the Cisco ASR 902 and ASR 903 routers is identical and can be moved between these two chassis types. However, the form factor of the Cisco ASR 907 RSP engine is different and can currently not be shared across different chassis types.

One RSP slot is provided in the ASR 902 Router, while the ASR 907 and ASR 903 routers have two RSP slots. The Cisco ASR 900 RSP is a field replaceable unit (FRU).

Interface Modules

Cisco ASR 900 Series routers have interface module slots. The Cisco ASR 902 Router contains four slots (slots 0 to 3). The Cisco ASR 903 Router contains six slots (slots 0 to 5), and the Cisco ASR 907 Router contains sixteen slots (slots 0 to 15). The supported combination of interface modules depends on the RSP and other interface modules used in the system as well as the chassis that is used.

Software

ASR 900 Series routers are supported in Cisco IOS® XE S Software, which is a modular operating system. This software is designed to provide modular packaging, feature velocity, and powerful resiliency. For more information on the supported features and software capabilities, see the Cisco IOS XE Software for Cisco ASR 900 Series Aggregation Services Router data sheet.

Network Management

Cisco ASR 900 Series routers are supported in Cisco Prime™ for Evolved Programmable Network architectures. Cisco Prime for Evolved Programmable Networks is an end-to-end network management solution that drastically simplifies the design, provisioning, and management of carrier-grade networks. It is a comprehensive solution that centralizes and automates service design, fulfillment, assurance, and performance analysis to help service providers and enterprises lower their costs while meeting high customer expectations.

Table 1 lists the hardware parts available for Cisco ASR 900 Series routers.

Table 1. Hardware Components for Cisco ASR 900 Series Routers

Part Number	Description
ASR 902 System Components	
ASR-902	ASR 902 Router Chassis
ASR-902=	ASR 902 Router Chassis, Spare
A902-FAN-E	ASR 902 Enhanced FAN Tray with FAN Filter Slot
A902-FAN-E=	ASR 902 Enhanced FAN Tray with FAN Filter Slot, Spare
A902-FAN-F	ASR 902 FAN Tray Filter
A902-FAN-F=	ASR 902 FAN Tray Filter, Spare
A902-FAN-F-B=	ASR 902 FAN Tray Filter Blank Panel, Spare
A902-CAB-BRACKET=	ASR 902 Cable Guide Bracket, Spare
A902-RCKMNT-ETSI=	ETSI Rack Mount Option for the Cisco ASR 902, Spare
A902-RCKMNT-19IN=	EIA 19in Rack Mount Option for the Cisco ASR 902, Spare
ASR 903 System Components	
ASR-903	ASR 903 Router Chassis
ASR-903=	ASR 903 Router Chassis, Spare
A903-FAN	ASR 903 FAN Tray
A903-FAN=	ASR 903 FAN Tray, Spare
A903-FAN-E	ASR 903 Enhanced FAN Tray with FAN Filter Slot
A903-FAN-E=	ASR 903 Enhanced FAN Tray with FAN Filter Slot, Spare
A903-FAN-F	ASR 903 FAN Tray Filter
A903-FAN-F=	ASR 903 FAN Tray Filter, Spare
A903-FAN-F-B=	ASR 903 FAN Tray Filter Blank Panel, Spare
A903-RCKMNT-ETSI=	ETSI Rack Mount Option for the Cisco ASR 903, Spare
A903-RCKMNT-19IN=	EIA 19in Rack Mount Option for the Cisco ASR 903, Spare

Part Number	Description
A903-CAB-GUIDE=	ASR 903 Cable Guide Bracket, Spare
A903-CAB-BRACKET=	ASR 903 Cable Guide Bracket Option, Spare
ASR 907 System Components	
ASR-907	ASR 907 Router Chassis
ASR-907=	ASR 907 Router Chassis, Spare
A907-FAN-E	ASR 907 Enhanced FAN Tray with FAN Filter Slot
A907-FAN-E=	ASR 907 Enhanced FAN Tray with FAN Filter Slot, Spare
A907-FAN-F=	ASR 907 FAN Tray Filter, Spare
A907-FAN-F-B=	ASR 907 FAN Tray Filter Blank Panel, Spare
A907-RCKMNT-ETSI=	ETSI Rack Mount Option for the Cisco ASR 907, Spare
A907-RCKMNT-19IN=	EIA 19in Rack Mount Option for the Cisco ASR 907, Spare
A907-CAB-BRACKET=	ASR 907 Cable Guide Bracket, Spare
ASR 900 Common Equipment	
A900-PWR550-A	ASR 900 550W AC Power Supply
A900-PWR550-A=	ASR 900 550W AC Power Supply, Spare
A900-PWR550-D	ASR 900 550W DC Power Supply
A900-PWR550-D=	ASR 900 550W DC Power Supply, Spare
A900-PWR550-D-E	ASR 900 550W DC Power Supply With Enhanced Power Connector
A900-PWR550-D-E=	ASR 900 550W DC Power Supply With Enhanced Power Connector, Spare
A900-PWR1200-A	ASR 900 1200W AC Power Supply
A900-PWR1200-A=	ASR 900 1200W AC Power Supply, Spare
A900-PWR1200-D	ASR 900 1200W DC Power Supply
A900-PWR1200-D=	ASR 900 1200W DC Power Supply, Spare
A900-PWR-BLANK=	ASR 900 Power Supply Blank Cover, Spare
A900-RSPA-BLANK=	ASR 900 Route Switch Processor Type-A Blank Cover, Spare
A9XX-RSPB-BLANK=	ASR 900 Route Switch Processor Type-B Blank Cover, Spare
A900-IMA-BLANK=	ASR 900 Interface Module Type-A Blank Cover, Spare
A900-IMA-BLANK-DEF=	ASR 900 Interface Module Type-A Blank Cover with deflector, Spare

Product Specifications

Tables 2 through 4 list the product, power, and environmental specifications for the Cisco ASR 900 Series routers. Tables 5 and 6 provide safety, compliance, and certification information.

Table 2. Cisco ASR 900 Series Router System Specifications

Description	Cisco ASR 902 Router	Cisco ASR 903 Router	Cisco ASR 907 Router
Physical specifications¹	Height: 3.56 in. (90.424 mm) - 2RU Width: 17.44 in. (443 mm) Depth: 9.22 in. (234.2 mm) Weight: <ul style="list-style-type: none"> • 24.04 lb (10.9 kg) with one RSP, two DC power supplies, and loaded with a typical combination of interface module cards • 9.48 lb (4.3 kg) for an empty chassis • 30 lb shipment weight 	Height: 5.22 in. (132.6 mm) - 3RU Width: 17.44 in. (443 mm) Depth: 9.22 in. (234.2 mm) Weight: <ul style="list-style-type: none"> • 34.17 lb (15.5 kg) with two RSPs, two DC power supplies, and loaded with a typical combination of interface module cards • 11.2 lb (5.1 kg) for an empty chassis • 38 lb shipment weight 	Height: 12.22 in. (310.38 mm) - 7RU Width: 17.44 in. (443 mm) Depth: 9.22 in. (234.2 mm) Weight: <ul style="list-style-type: none"> • 69.32 lb (31.4 kg) with two RSPs, two DC power supplies, and loaded with a typical combination of interface module cards • 34.9 lb (15.9 kg) for an empty chassis • 58 lb shipment weight

Description	Cisco ASR 902 Router	Cisco ASR 903 Router	Cisco ASR 907 Router
Rack mounts	ETSI rack mount kit 19 in. rack mount kit 23 in. rack mount kit		
Power supplies	2 power supply slots	2 power supply slots	3 power supply slots ^{2,3}
Interface modules	4 interface module slots	6 interface module slots	16 interface module slots
Route switch processors	1 RSP slot	2 RSP slots	2 RSP slots
Fan tray	1 fan tray with fan redundancy 2 dry contact input alarms on the fan tray	1 fan tray with fan redundancy 4 dry contact input alarms on the fan tray	
Air flow	Side-to-side airflow; inlet on the right side, outlet on the left side when looking from the front		
Power supplies	Up to 2 power supplies (AC or DC) Modules operate in load-share mode System can operate on a single power supply and supports mixing of one AC and one DC power supplies in a single chassis.		Up to 3 power supplies (AC or DC) Modules operate in load share mode System can operate on a single power supply and supports mixing of AC and DC power supplies in a single chassis.
Chassis MTBF at 40°C operating temperature	900,000 hours	900,000 hours	1,585,000 hours
Fan Tray MTBF at 40°C operating temperature	600,000 hours	600,000 hours	1,329,000 hours

¹ Measured from the front of the chassis (excluding handles from the power supply, fan tray, and interface modules installed in the chassis)

² More than 2 power supply modules only supported for certain power supplies and software releases. Consult your account team for more details.

³ ASR 907 is not compatible with the A900-PWR550-D, A900-PWR550-D-E or A900-PWR550-A power supplies.

Table 3. Power Specifications

Description	Cisco ASR 900 Series Router
Power consumption	Maximum input power 1350W (including loss). This is equivalent to 4600 BTU per hr. Typical input power depends on the actual configuration and can be checked using the Cisco power calculator tool at http://tools.cisco.com/cpc/
AC input voltage and frequency	Voltage range: 85 to 264 VAC, nominal 115 to 230 VAC Frequency Range: 47 to 63 Hz, nominal 50 to 60 Hz
AC Power Supply MTBF at 40°C operating temperature	300,000 hours
DC input voltage	For 550W DC power supply, voltage range: 19.2V to 72V DC, nominal +24V DC, -48V/-60V DC. For 1200W DC power supply, voltage range: -40.8V to -72V DC, nominal -48V/-60V DC
DC Power Supply MTBF at 40°C operating temperature	300,000 hours
Power Supply shipment packaging size (LxWxH)	15.44 in. x 9.44 in. x 4.31 in.
Power Supply shipment weight	3.6 lbs.

Table 4. Environmental Specifications

Description	Cisco ASR 900 Series Router
Operating environment and altitude¹	–40 to 65°C operating temperature (DC operation, with both the 550W and the 1200W power supplies) –40 to 65°C operating temperature (AC operation, with the 1200W power supply) –5 to 55°C operating temperature (AC operation, with 550W AC power supply) ² 0 to 40°C operating temperature (AC operation, with 550W AC power supply) –60 to 1800m operating altitude (for full operating temperature range) Up to 4000m operating altitude (at up to 40°C temperature)
Outside plant	For an outside plant installation, it is required that the router be protected against airborne contaminants, dust, moisture, insects, pests, corrosive gases, polluted air, or other reactive elements present in the outside air. To achieve this level of protection, it is recommended that the unit be installed in a fully sealed enclosure. Examples of such cabinets include IP65 cabinets with heat exchanger complying with Telecordia GR487.
Relative humidity	5 to 95%, noncondensing
Acoustic noise³	Acoustic noise peak operation complies with Network Equipment Building Standards (NEBS) GR-63-Core Issue 3 sound power level of 78 dB at 27°C operation as measured by the ANSI S12.10/ISO 7779 NAIS noise measurement test standard.
Storage environment	Temperature: –40 to 70°C altitude: 15,000 ft (4570m)
Seismic	Zone 4
Hazardous substances	Reduction of Hazardous Substances (ROHS) 6

¹ Minimum temperature range of chassis, fan tray, RSP engine, power supply, optics, and interface modules will dictate the supported operating temperature range. Maximum cooling fan tray module is assumed.

² Not more than the following in a one-year period: 96 consecutive hours, or 360 hours total, or 15 occurrences.

³ The above are for normal (nonfailure) operation. When operating with a fan failure, the above may be exceeded.

Table 5. Safety and Compliance

Type	Standards
Safety	<ul style="list-style-type: none"> • UL 60950-1, 2nd edition • CAN/CSA C22.2 No. 60950-1-07 2nd edition • IEC 60950-1, 2nd edition • EN 60950-1, 2nd edition • AS/NZS 60950.1:2003
Electromagnetic	<ul style="list-style-type: none"> • FCC CFR47 Part 15 Class A
Emissions compliance	<ul style="list-style-type: none"> • EN55022, class A • CISPR22, class A • ICES-003, class A • EN 300 386, class A • VCCI, class A • KN22, class A • EN61000-3-2 to EN61000-3-3
Immunity compliance	<ul style="list-style-type: none"> • EN 300 386 • EN 61000-6-1 • EN 50082-1 • CISPR24 • EN 55024 • KN 24 • EN 50121-4 • EN/KN 61000-4-2 to EN/KN 61000-4-6 • EN/KN 61000-4-8 • EN/KN 61000-4-11
Power substation system compliance	<ul style="list-style-type: none"> • IEC-61850-3 (2002) (Cisco ASR 903) • IEEE1613 (2009) (Cisco ASR 903) • IEC 60870-2-2 Am Class (Cisco ASR 907) and IEC 60870-2-2 Bm Class (Cisco ASR 902 / Cisco ASR 903)

Type	Standards
NEBS¹	<ul style="list-style-type: none"> • GR-63-CORE Issue 3 • GR-1089-CORE Issue 5 • SR-3580 NEBS Level 3
ETSI	<ul style="list-style-type: none"> • ETS/EN 300 119 Part 4 • ETS/EN 300 019 - Storage: Class 1.2, Transportation: Class 2.3, In-Use/Operational: Class 3.2 • ETS/EN 300 753
Network synchronization	<ul style="list-style-type: none"> • ANSI T1.101 • GR-1244-CORE • GR-253-CORE • ITU-T G.703 clause 5 • ITU-T G.703 clause 9 • ITU-T G.781 • ITU-T G.813 • ITU-T G.823 • ITU-T G.824 • ITU-T G.8261/Y.1361 • ITU-T G.8262 • ITU-T G.8264 • IEEE1588-2008

¹: Notable exception: All cabling is provided through the front panel.

Table 6. Certifications

Description	Cisco ASR 900 Series Router
Common Criteria	Cisco ASR 902 Router and Cisco ASR 903 Router running Cisco IOS XE Software 3.13(1)S
FIPS	FIPS 140 validated cryptographic module, Cisco ASR 902 Router and Cisco ASR 903 Router running Cisco IOS XE Software 3.13(1)S
MEF¹	Carrier Ethernet (CE) 1.0 and CE 2.0. MEF 9 and MEF 14.
IEEE 1588-2008¹	1588™ SLAVE (IEEE CONFORMITY ASSESSMENT PROGRAM) <ul style="list-style-type: none"> • IEEE 1588TM Conformity Test Suite for Frequency Synchronization in Telecommunications Networks - Packet Slave Clock • IEEE Std 1588TM-2008 and Recommendation ITU-T G.8265.1 (10/2010) with Amendments 1 (04/2011) and 2 (10/2012)

¹: Applicable to RSP1A, RSP1B, and RSP2A configurations.

Warranty Information

Warranty information is available on Cisco.com at the [Product Warranties](#) page.

Service and Support

Cisco offers a wide range of services programs to help accelerate customer success. These innovative services programs are delivered through a unique combination of people, processes, tools, and partners, promoting high levels of customer satisfaction. Cisco Services help you protect your network investment, optimize network operations, and prepare your network for new applications to extend network intelligence and the power of your business. For more information about Cisco Services, refer to Cisco Technical Support Services or Cisco Advanced Services.

Cisco is committed to reducing your total cost of ownership. Cisco offers a portfolio of technical support services to help ensure that Cisco products operate efficiently, remain highly available, and benefit from the most up-to-date system software. The services and support programs described in Table 7 are available as part of the Cisco Carrier Ethernet Switching Service and Support solution and are available directly from Cisco and through resellers.

Table 7. Service and Support

Advanced Services	Features	Benefits
Cisco Total Implementation Solutions (TIS), available directly from Cisco Cisco Packaged TIS, available through resellers	<ul style="list-style-type: none">• Project management• Site survey, configuration, and deployment• Installation, test, and cutover• Training• Major moves, adds, and changes• Design review and product staging	<ul style="list-style-type: none">• Supplement existing staff• Help ensure functions meet needs• Mitigate risk
Cisco SP Base Support and Service Provider-Based Onsite Support, available directly from Cisco Cisco Packaged Service Provider- Based Support, available through resellers	<ul style="list-style-type: none">• 24-hour access to software updates• Web access to technical repositories• Telephone support through the Cisco Technical Assistance Center (TAC)• Advance replacement of hardware parts	<ul style="list-style-type: none">• Facilitate proactive or expedited problem resolution• Lower total cost of ownership by taking advantage of Cisco expertise and knowledge• Reduce network downtime

Cisco Capital

Financing to Help You Achieve Your Objectives

Cisco Capital can help you acquire the technology you need to achieve your objectives and stay competitive. We can help you reduce CapEx. Accelerate your growth. Optimize your investment dollars and ROI. Cisco Capital financing gives you flexibility in acquiring hardware, software, services, and complementary third-party equipment. And there's just one predictable payment. Cisco Capital is available in more than 100 countries. [Learn more.](#)



Americas Headquarters
Cisco Systems, Inc.
San Jose, CA

Asia Pacific Headquarters
Cisco Systems (USA) Pte. Ltd.
Singapore

Europe Headquarters
Cisco Systems International BV Amsterdam,
The Netherlands

Cisco has more than 200 offices worldwide. Addresses, phone numbers, and fax numbers are listed on the Cisco Website at www.cisco.com/go/offices.

Cisco and the Cisco logo are trademarks or registered trademarks of Cisco and/or its affiliates in the U.S. and other countries. To view a list of Cisco trademarks, go to this URL: www.cisco.com/go/trademarks. Third party trademarks mentioned are the property of their respective owners. The use of the word partner does not imply a partnership relationship between Cisco and any other company. (1110R)



PTP 650 SERIES

RELIABLE, HIGH-CAPACITY POINT-TO-POINT WIRELESS BROADBAND
DESIGNED FOR YOUR MULTI-SERVICE NETWORK

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; last-mile 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

RADIO TECHNOLOGY

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 ² 5.725 – 5.850 GHz 5.825 – 6.050 GHz
Channel sizes ³	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 ⁴	Up to 27 dBm at BPSK; up to 23 dBm at 256 QAM
System gain ⁴	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	Synchronized Time Division Duplex (TDD) and Half Duplex Frequency Division Duplex (HD-FDD); dynamic or fixed transmit/receive ratio; each TDD-synchronized link requires a Cambium TDD-SYNC synchronization unit ⁵ to provide an accurate timing reference signal
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 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 capacity licensing model: Lite Capacity: Up to 125 Mbps Mid Capacity: Up to 250 Mbps Full Capacity: Up to 450 Mbps

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 ⁵
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 module (optional indoor unit) ⁵ 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

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) ⁵
System management	IPv6/IPv4 dual-stack management support Web access via browser using HTTP or HTTPS/TLS ⁶ 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 Pending FCC authorization in North America.

³ 5, 15, and 30 MHz channel widths will be available in a future release.

⁴ Gain, maximum transmit power and effective radiated power may vary based on regulatory domain and region code license.

⁵ Available in a future release.

⁶ Web access via HTTPS/TLS is available on AES-enabled radios.

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

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

Modulation mode	30 MHz (Tx/Rx/Aggregate)			20 MHz (Tx/Rx/Aggregate)		
256QAM 0.81 dual	63.00	21.00	84.00	42.00	14.00	56.00
64QAM 0.92 dual	53.00	18.00	71.00	35.00	12.00	47.00
64QAM 0.75 dual	43.00	14.00	57.00	29.00	10.00	39.00
16QAM 0.87 dual	34.00	11.00	45.00	22.00	7.00	29.00
16QAM 0.63 dual	24.00	8.00	32.00	16.00	5.00	21.00
256QAM 0.81 single	32.00	11.00	43.00	21.00	7.00	28.00
64QAM 0.92 single	27.00	9.00	36.00	18.00	6.00	24.00
64QAM 0.75 single	22.00	7.00	29.00	14.00	5.00	19.00
16QAM 0.87 single	17.00	6.00	23.00	11.00	5.00	16.00
16QAM 0.63 single	12.00	5.00	17.00	8.00	5.00	13.00
QPSK 0.87 single	8.00	5.00	13.00	6.00	5.00	11.00
QPSK 0.63 single	6.00	5.00	11.00	5.00	4.76	9.76
BPSK 0.63 single	5.00	3.61	8.61	5.00	2.38	7.38

Modulation mode	15 MHz (Tx/Rx/Aggregate)			10 MHz (Tx/Rx/Aggregate)		
256QAM 0.81 dual	31.00	10.00	41.00	21.00	7.00	28.00
64QAM 0.92 dual	26.00	9.00	35.00	18.00	6.00	24.00
64QAM 0.75 dual	22.00	7.00	29.00	14.00	5.00	19.00
16QAM 0.87 dual	17.00	6.00	23.00	11.00	5.00	16.00
16QAM 0.63 dual	12.00	5.00	17.00	8.00	5.00	13.00
256QAM 0.81 single	16.00	5.00	21.00	11.00	5.00	16.00
64QAM 0.92 single	13.00	5.00	18.00	9.00	5.00	14.00
64QAM 0.75 single	11.00	5.00	16.00	7.00	5.00	12.00
16QAM 0.87 single	8.00	5.00	13.00	6.00	5.00	11.00
16QAM 0.63 single	6.00	5.00	11.00	5.00	4.82	9.82
QPSK 0.87 single	5.00	5.00	10.00	5.00	3.35	8.35
QPSK 0.63 single	5.00	3.59	8.59	5.00	2.41	7.41
BPSK 0.63 single	5.00	1.80	6.80	3.61	1.20	4.82

Table 76 5.4 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	-96.6	-94.6	-92.8	-91.5	-89.8	-88.5	-88.0	27
QPSK 0.63 single	-93.5	-91.5	-89.7	-88.4	-86.7	-85.4	-84.9	26
QPSK 0.87 single	-89.4	-87.4	-85.7	-84.4	-82.7	-81.4	-80.9	26
16QAM 0.63 single	-87.1	-85.1	-83.4	-82.1	-80.3	-79.1	-78.6	25
16QAM 0.63 dual	-83.2	-81.2	-79.4	-78.2	-76.4	-75.2	-74.6	25
16QAM 0.87 single	-82.6	-80.6	-78.9	-77.6	-75.9	-74.6	-74.1	25
16QAM 0.87 dual	-79.6	-77.6	-75.8	-74.6	-72.8	-71.6	-71.0	25
64QAM 0.75 single	-79.6	-77.6	-75.8	-74.6	-72.8	-71.6	-71.1	24
64QAM 0.75 dual	-76.5	-74.5	-72.7	-71.5	-69.7	-68.5	-68.0	24
64QAM 0.92 single	-75.8	-73.8	-72.0	-70.7	-69.0	-67.7	-67.2	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	-72.6	-70.6	-68.8	-67.6	-65.8	-64.6	-64.0	23
256QAM 0.81 dual	-69.1	-67.1	-65.3	-64.1	-62.3	-61.1	-60.6	23

Table 77 5.4 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	169.6	167.6	165.8	164.5	162.8	161.5	161.0
QPSK 0.63 single	165.5	163.5	161.7	160.4	158.7	157.4	156.9
QPSK 0.87 single	161.4	159.4	157.7	156.4	154.7	153.4	152.9
16QAM 0.63 single	158.1	156.1	154.4	153.1	151.3	150.1	149.6
16QAM 0.63 dual	154.2	152.2	150.4	149.2	147.4	146.2	145.6
16QAM 0.87 single	153.6	151.6	149.9	148.6	146.9	145.6	145.1
16QAM 0.87 dual	150.6	148.6	146.8	145.6	143.8	142.6	142.0
64QAM 0.75 single	149.6	147.6	145.8	144.6	142.8	141.6	141.1
64QAM 0.75 dual	146.5	144.5	142.7	141.5	139.7	138.5	138.0
64QAM 0.92 single	145.8	143.8	142.0	140.7	139.0	137.7	137.2
64 QAM 0.92 dual	142.5	140.5	138.8	137.5	135.8	134.5	134.0
256QAM 0.81 single	141.6	139.6	137.8	136.6	134.8	133.6	133.0
256QAM 0.81 dual	138.1	136.1	134.3	133.1	131.3	130.1	129.6

Bibliografía

- [Abate, 2009] Abate, Z. (2009). *Wimax of Systems Engineering*. USA: Artech House.
- [Alvarion, 2012] Alvarion (2012). *Understanding the Radio Technologies of Mobile Wimax*. Alvarion.
- [Andrews, 2007] Andrews, J. G., G. A. y. M. R. (2007). *Fundamental of Wimax: Understanding Broadband Wireless Networking*. USA: Pearson Education.
- [Bazalar, 2013] Bazalar, I. L. M. (2013). Experiencia de programas y proyectos de servicios de telecomunicaciones para el desarrollo rural en Perú. *Lima: FITEL*.
- [BCRP, 2014] BCRP (2014). Encuentros regionales 2007. [urlhttp://www.bcrp.gob.pe/docs/Proyeccion-Institucional/Encuentros-Regionales/2007/Cajamarca/Informe-Economico-Social/IES-Cajamarca.pdf](http://www.bcrp.gob.pe/docs/Proyeccion-Institucional/Encuentros-Regionales/2007/Cajamarca/Informe-Economico-Social/IES-Cajamarca.pdf).
- [Bossio, 2010] Bossio, J. (2010). Entorno regulatorio de las telecomunicaciones. *Lima: DIRSI*.
- [Castillo Ríos, 2010] Castillo Ríos, Danny, B. M. (2010). *Diseño e Implementación de un anillo SDH a nivel de STM-1 Óptico de tres Nodos*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- [Chomycz, 2009] Chomycz, B. (2009). *Planning Fiber Optic Networks*. McGraw Hill.
- [El Comercio, 2014] El Comercio (2014). Entrevista a Luis Montes, Secretario Técnico de FITEL. [urlhttp://elcomercio.pe/tecnologia/actualidad/fitel-mas-regiones-tendran-conexiones-alta-velocidad-noticia-1781023](http://elcomercio.pe/tecnologia/actualidad/fitel-mas-regiones-tendran-conexiones-alta-velocidad-noticia-1781023).

- [FITEL, 2013] FITEL (2013). Entrevista a Raymond Barber, Consultor del BID. [urlhttp://www.fitel.gob.pe/noticia-la-construccion-red-dorsal-nacional-fibra-optica-enfrenta-desafios-muy-grandes.html](http://www.fitel.gob.pe/noticia-la-construccion-red-dorsal-nacional-fibra-optica-enfrenta-desafios-muy-grandes.html).
- [Gallardo et al., 2007] Gallardo, J., López, K., and Gonzales, C. (2007). *Perú: Evolución del Acceso, la Cobertura y la Penetración en los Servicios de Telefonía*. OSIPTEL.
- [Govind, 2010] Govind, P. A. (2010). *Fiber-Optic Communication Systems*. USA: John Wiley y Sons.
- [INEI, 1993] INEI (1993). Censos nacionales 1993: IX de población y IV de vivienda.
- [INEI, 2007] INEI (2007). Censos nacionales 2007: XI de población y VI de vivienda.
- [Korowajczuck, 2011] Korowajczuck, L. (2011). *LTE, WiMax and VLAN Network Design, Optimization and Performance Analysis*. USA: John Wiley y Sons.
- [Millán Tejedor, 2001] Millán Tejedor, R. J. (2001). *La Tecnología Líder del Transporte Óptico*. World Communications.
- [Portillo Meniz, 2006] Portillo Meniz, J., R. E. D. V. S. J. G. y. H. H. J. C. (2006). *Jerarquía Digital Síncrona, Sistemas de Transmisión Inteligentes*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- [ProInversión, 2015] ProInversión (2015). Instalación de banda ancha para la conectividad integral y desarrollo social de las regiones Tumbes, Piura, Cajamarca y Cusco. [urlhttp://www.proyectosapp.pe/default.aspx](http://www.proyectosapp.pe/default.aspx).
- [Ramaswami, 2010] Ramaswami, Rajiv. Sivarajan, K. N. S. G. H. (2010). *Optical Networks*. Morgan Kaufmann.
- [Senior, 2009] Senior, J. M. (2009). *Optical Fiber Communications Principles and Practice*. Prentice Hall.
- [Steffen Heuel, 2011] Steffen Heuel, H. M. (2011). *Mobile Wimax Throughput Measurements*. Rohde.
- [Telecom, 2003] Telecom, I. (2003). *Standardization Sector of ITU*. ITU.
- [Teribia, 2013] Teribia, A. C., y. E. M. C. P. (2013). *Estudio y Diseño de una Red Wimax para dar Cobertura de Banda Ancha en un Entorno Rural*. PUCP.

