

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA DE BANDA ANCHA
PARA EL MEJORAMIENTO DE LA RED WIFI DEL NAPO

Tesis para optar el Título de Ingeniera de las Telecomunicaciones, que presenta la
bachiller:

Daysy Malvaceda Rojas

ASESOR: Ing. Alejandro Carlos Alcócer García

Lima, febrero del 2014

Resumen

En el presente proyecto de tesis se desarrolló el diseño para el mejoramiento de la Red WiFi de larga distancia del Napo, que fue implementada por el Grupo de Telecomunicaciones Rurales de la PUCP. Para lo cual, se evaluó el estado actual de la red y las limitaciones que esta presenta y de acuerdo a ello, se plantearon los requerimientos técnicos de la red, los cuales permitieron establecer los parámetros de diseño para la nueva red.

Los problemas sobre la calidad de los servicios que brinda la red se presentan principalmente en los enlaces de backhaul, dado que no existe suficiente capacidad y por la ausencia de políticas de calidad de servicio.

En esta tesis se desarrolló un nuevo diseño de los enlaces de backhaul de la Red del Napo; por lo cual, se evaluaron las distintas tecnologías recientes de banda ancha, asimismo los equipos disponibles en el mercado. Se eligió el equipo WiMAX Modelo LNK-LU150-N de la marca Alentia como la mejor opción; dicho equipo cumplió con los requerimientos técnicos planteados. Los enlaces del backhaul trabajarán en la frecuencia libre de 5.8 GHz con un ancho de banda de canal de 10MHz, y se utilizarán sistemas fotovoltaicos en las zonas donde no se dispone de energía eléctrica comercial para poder energizar los equipos.

Asimismo, en esta tesis, se plantea un estudio de las diferentes políticas de calidad de servicio con la finalidad de cumplir los requisitos establecidos preliminarmente. Esto dio como resultado la selección de tipo de calidad de servicio Unsolicited Grant Service (UGS) para voz, Real-time Polling Service (rtPS) para vídeo y Best Effort (BE) para datos. Luego, se presentó la propuesta económica de la implementación de la nueva red.

El resultado principal del presente trabajo es una propuesta de ampliación de la capacidad de la red y el establecimiento de políticas de calidad de servicio en el backhaul, lo cual permitiría mejorar los servicios de voz, datos y vídeo que utiliza los centros de salud que son interconectados por la Red del Napo.

Agradecimientos

Mi profundo agradecimiento a mi maravillosa madre, Gloria. Gracias por ser mi mejor amiga, por todos tus sabios consejos. Por ser ese día de primavera en el que siento que todo va a estar bien.

A mi querida hermana, Mari, por su constante apoyo a lo largo de toda mi vida. Gracias por ser una segunda madre para mí, por tu ejemplo de lo grandiosa que eres.

A mi querido hermano, Hubert, por todos los cuidados, por estar pendiente de mí, por hacerme reír. Por ser cómplice de cada una de mis ocurrencias.

A mi asesor, Carlos Alcócer, por su dedicación y tiempo para que pueda culminar este proyecto con el cual se finaliza mi vida universitaria.

A mi segundo asesor, River Quispe, por estar siempre disponible a absolver todas mis dudas.

A todas las personas que contribuyeron a que pueda culminar esta gran etapa de mi vida. Gracias por su amistad sincera, por confiar en mí. Por esas conversaciones, por esas sonrisas, por su alegría. Por hacer que los días brillen más así no haya sol. Muchas gracias.

Dedicatoria

Con mucho amor al hombre de mi vida. Un 12 de julio del 2010, te hice una promesa y te he cumplido. Gracias por estar siempre conmigo y por las grandes lecciones de vida que me das. Por amarme y cuidarme siempre. Te quiero mucho papá.

ÍNDICE

ÍNDICE	v
Lista de Figuras	vii
Lista de Tablas	viii
Introducción	1
Capítulo 1 ESTADO ACTUAL DE LA RED DE NAPO	2
1.1 Introducción	2
1.2 Aspectos Generales	2
1.2.1 Situación Sociocultural en la Región Loreto	2
1.2.2 División Geopolítica de la Provincia de Maynas	4
1.2.3 Descripción del Río Napo	4
1.3 Justificación del despliegue de la Red de Telecomunicaciones del Napo	5
1.3.1 Árbol de Problemas	6
1.3.2 Árbol de Objetivos	7
1.4 Descripción de la Red WiFi del Napo	7
1.5 Servicios brindados actualmente por la Red de Napo	10
1.6 Equipamiento de la Red del Napo	11
1.6.1 Equipos de Telecomunicaciones	11
1.6.2 Sistemas de Protección Eléctrica	11
1.6.3 Servicio de Telefonía	12
1.6.4 Sistema de Energía Fotovoltaica	12
1.6.5 Equipo Cliente	12
Capítulo 2 REQUERIMIENTOS ACTUALES DE LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES DE LOS CENTROS DE SALUD DE NAPO	14
2.1 Introducción	14
2.2 Requisitos generales establecidos por los Usuarios	14
2.3 Evaluación inicial sobre la mejora de los Servicios	17
2.3.1 Telefonía IP	17
2.3.2 Datos	17
2.3.3 Videoconferencia	17
2.4 Requerimientos Técnicos de la nueva Red de Napo	17
Capítulo 3 ANÁLISIS DE LAS TECNOLOGÍAS DE BACKHAUL Y CALIDAD DE SERVICIO PARA LA NUEVA RED	19
3.1 Introducción	19
3.2 Tecnologías para el Transporte de Datos	19
3.2.1 Tendido de Fibra Óptica Fluvial	19
3.2.2 WIMAX	19
3.2.3 LTE	20
3.2.4 PDH (Jerarquía Digital Plesiócrona)	20
3.2.5 SDH (Jerarquía Digital Síncrona)	20
3.2.6 Soluciones Propietarias	21
3.3 WIMAX y Soluciones Propietarias	21
3.3.1 Introducción	21
3.3.2 WIMAX: Estándar IEEE802.16	21
3.3.2.1 Visión General	21
3.3.2.2 Tecnologías de Transmisión WIMAX	22
a. Multiplexación por División de Frecuencia (FDM)	22
b. Multiplexación Ortogonal por División de Frecuencias (OFDM)	22
3.3.2.3 Elementos de la Red	23
a. Estación Base (Base Station-BS)	23
b. Estación Subscriptora (Subscriber Station-SS)	23

3.3.2.4	Capa Física	23
a.	Introducción.....	23
b.	Tipos de Modulación	23
3.3.2.5	Capa Control de Acceso al Medio (MAC)	26
3.3.2.6	Capa de Seguridad	26
3.3.3	WIMAX: Modos de Operación	26
3.3.4	Bandas frecuenciales en WIMAX	27
3.3.5	Calidad de Servicio.....	27
3.3.5.1	Requisitos de los Servicios.....	27
3.3.5.2	Consideraciones de la Calidad de Servicio en Redes Inalámbricas.....	27
3.3.5.3	Técnicas de Garantías de Calidad de Servicio	28
3.3.5.4	Clasificación de Servicios	28
3.3.5.5	Mecanismos de asignación de QoS y Flujo de Servicio de WIMAX	28
3.3.5.6	Tipos de Calidad de Servicio en WIMAX.....	29
3.3.5.7	Otros Tipos de Calidad de Servicio	30
a.	IEEE 802.1p	30
b.	Servicios Diferenciados	30
3.3.5.8	Análisis de la Calidad de Servicio de una Red Experimental	30
3.4	WIMAX para Zonas Rurales.....	31
3.5	Soluciones Comerciales que emplean el estándar 802.16	32
3.5.1	Equipo WiMAX Modelo LNK-LU150-N- Alentia.....	32
3.5.2	Equipo WiMAX Modelo BreezeNET B28- Alvarion	34
3.5.3	Equipo de Solución Propietaria Modelo RADWIN 2000 Serie C-Radwin.....	35
3.5.4	Equipo de Solución Propietaria Modelo RDL-3000-RedLine	36
3.6	Comparativa WiFi-WiMAX	37
 <i>Capítulo 4 DISEÑO DE LA RED DE TELECOMUNICACIONES</i>		40
4.1	Introducción	40
4.2	Elección de Frecuencia de Trabajo	40
4.3	Cálculo de la capacidad de la Red por Servicio	41
4.3.1	Cálculo de Ancho de Banda para Datos.....	41
4.3.2	Cálculo del Ancho de Banda para Telefonía.....	42
4.3.3	Cálculo de Ancho de Banda para Videoconferencia	43
4.4	Cálculo de capacidad de la Red	45
4.5	Selección de Equipos	48
4.6	Selección de Modulación a utilizar y Ancho de Banda del Canal.....	49
4.7	Ubicación de los Nodos de la Red	51
4.8	Simulación de los Radioenlaces	52
4.9	Selección de Calidad de Servicio.....	55
4.10	Seguridad	55
4.11	Configuración del Equipo LNK-LU150-N.....	56
4.12	Distribución de Equipos en la Torre	59
4.13	Direccionamiento IP y Protocolos de Enrutamiento para la Red.....	61
4.14	Diseño del Sistema de Energía	64
4.15	Propuesta Económica	68
 <i>CONCLUSIONES</i>		69
<i>RECOMENDACIONES</i>		70
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>		71
<i>ANEXOS</i>		77

Lista de Figuras

CAPÍTULO 1

FIGURA 1 - 1: MAPA DEL DEPARTAMENTO DE LORETO POR PROVINCIAS Y DISTRITOS	3
FIGURA 1 - 2: DISTRITOS DE LA PROVINCIA DE MAYNAS	3
FIGURA 1 - 3: LOCALIZACION DEL RÍO NAPO EN LA CUENCA AMAZONICA.....	5
FIGURA 1 - 4: ARBOL DE PROBLEMAS	6
FIGURA 1 - 5: ARBOL DE OBJETIVOS	7
FIGURA 1 - 6: UBICACION DE LA RED WIFI ANTERIOR.....	8
FIGURA 1 - 7: DIAGRAMA TECNICO DE LA RED DE NAPO	9
FIGURA 1 - 8: SERVICIO DE MICROSCOPIA	10
FIGURA 1 - 9: SERVICIO DE ECOGRAFIA.....	11

CAPITULO 3

FIGURA 3 - 1: TECNICA OFDM	22
FIGURA 3 - 2: TIPO DE MODULACION SEGUN ALEJAMIENTO DE LA BS	24
FIGURA 3 - 3: ESQUEMA PARA ANALISIS DE CALIDAD DE SERVICIO	28
FIGURA 3 - 4: ADAPTACION INSTANTANEA DE LA CAPACIDAD ASIGNADA A CADA SERVICIO.....	33
FIGURA 3 - 5: COMPARATIVA DE LATENCIA ROUND-TRIP (IDA Y VUELTA) EN CONDICIONES DE SATURACIÓN DEL ENLACE ENTRE ARBA LINK-100 Y SISTEMA 802.11A/B/G/N.....	33

CAPITULO 4

FIGURA 4 - 1: ANCHO DE BANDA DE VIDEOCONFERENCIA.....	44
FIGURA 4 - 2: MODULACION SELECCIONADA PARA LOS SEGMENTOS DE RED50	
FIGURA 4 - 3: ESQUEMA DE DISTRIBUCION DE LOS NODOS.....	52
FIGURA 4 - 4: SIMULACION DE RADIOENLACE SAN RAFAEL-RUMI TUNI.....	53
FIGURA 4 - 5: DISTRIBUCION DE EQUIPOS EN LA TORRE.....	60
FIGURA 4 - 6: ESQUEMA DE LA NUEVA RED DE NAPO ALTO.....	62
FIGURA 4 - 7: ESQUEMA DE LA NUEVA RED DE NAPO BAJO	63
FIGURA 4 - 8: ESQUEMA DEL SISTEMA DE ENERGÍA PARA DOS EQUIPOS WIMAX	64
FIGURA 4 - 9: ESQUEMA DEL SISTEMA DE ENERGIA PARA EL SWITCH Y PLACA ALIX.....	65

Lista de Tablas

CAPÍTULO 1

TABLA 1 - 1: SUPERFICIE, POBLACION Y DENSIDAD POBLACIONAL DE MAYNAS POR DISTRITO	4
TABLA 1 - 2: EQUIPOS EMPLEADOS EN LA RED DE NAPO	13

CAPÍTULO 2

TABLA 2 - 1: REQUERIMIENTOS DE EQUIPOS TELEFONICOS PARA BRINDAR LOS SERVICIOS DE TELEFONIA	15
TABLA 2 - 2: REQUERIMIENTOS DE EQUIPOS TELEFONICOS PARA BRINDAR LOS SERVICIOS DE DATOS	16
TABLA 2 - 3: REQUERIMIENTOS TECNICOS DE LA NUEVA RED DE NAPO.....	18

CAPÍTULO 3

TABLA 3 - 1: ESQUEMAS DE MODULACION	25
TABLA 3 - 2: BIT RATE CON CANAL 10 MHZ	26
TABLA 3 - 3: CARACTERISTICAS DE LA ESTACION BASE LNK-LU150-N	34
TABLA 3 - 4: CARACTERISTICAS DE LA ESTACION BASE BREEZENET B28	35
TABLA 3 - 5: CARACTERISTICAS DE RADWIN 2000-C	36
TABLA 3 - 6: CARACTERISTICAS DE EQUIPO REDLINE 3000	37
TABLA 3 - 7: COMPARATIVA ENTRE WIFI Y WIMAX	39

CAPÍTULO 4

TABLA 4 - 1: CALCULO DE CAPACIDAD PARA EL SERVICIO DE DATOS	42
TABLA 4 - 2: CALCULO DE CAPACIDAD PARA EL SERVICIO DE TELEFONIA	43
TABLA 4 - 3: CALCULO DE CAPACIDAD PARA EL SERVICIO DE VIDEOCONFERENCIA	45
TABLA 4 - 4: CALCULO DE CAPACIDAD TOTAL PARA CABO PANTOJA Y TORRES CAUSANA	45
TABLA 4 - 5: CALCULO DE CAPACIDAD TOTAL PARA TEMPESTAD Y TUPAC AMARU	46
TABLA 4 - 6: CALCULO DE CAPACIDAD TOTAL PARA ANGOTEROS Y CAMPO SERIO	46
TABLA 4 - 7: CALCULO DE CAPACIDAD TOTAL PARA RUMI TUNI Y SAN RAFAEL	46
TABLA 4 - 8: CALCULO DE CAPACIDAD TOTAL PARA COPAL URCO Y SANTA CLOTILDE	46
TABLA 4 - 9: CALCULO DE CAPACIDAD TOTAL PARA TACSHA CURARAY Y NEGRO URCO	47
TABLA 4 - 10: CALCULO DE CAPACIDAD TOTAL PARA TUTA PISHCO Y HUAMAN URCO	47
TABLA 4 - 11: CALCULO DE CAPACIDAD TOTAL PARA MAZAN Y PETRO PERU	47
TABLA 4 - 12: CALCULO DE CAPACIDAD TOTAL PARA HOSPITAL REGIONAL DE LORETO	47

TABLA 4 - 13: COMPARATIVA ENTRE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCION	48
TABLA 4 - 14: SENSIBILIDADES LNK-LU150-N.....	49
TABLA 4 - 15: COORDENADAS DE LOS NODOS Y ALTURA DE LAS TORRES	51
TABLA 4 - 16: RESULTADOS DE LOS RADIOENLACES	54
TABLA 4 - 17: SELECCION DE LOS TIPOS DE CALIDAD DE SERVICIO	55
TABLA 4 - 18: DIRECCIONES IP DE LOS EQUIPOS WIMAX.....	57
TABLA 4 - 19: PARAMETROS DE CONFIGURACION DE LOS ENLACES EN EQUIPO WIMAX.....	58
TABLA 4 - 20: CONFIGURACION DE LA CALIDAD DE SERVICIO.....	58
TABLA 4 - 21: CALCULO DE ENERGIA PARA UN EQUIPO WIMAX.....	66
TABLA 4 - 22: CALCULO DE ENERGIA PARA DOS EQUIPOS WIMAX	67
TABLA 4 - 23: CALCULO DE ENERGIA PARA PLACA ALIX Y SWITCH.....	67
TABLA 4 - 24: PROPUESTA ECONOMICA DE LA NUEVA RED DE NAPO	68

Introducción

Las zonas rurales han sido generalmente desatendidas por el gobierno en muchos servicios, como salud, educación, infraestructura, etc. [OMS12] Asimismo, en las telecomunicaciones. El Grupo de Telecomunicaciones Rurales de la PUCP, ha implementado varias redes de telecomunicaciones en zonas rurales con el objetivo de contribuir a la mejora de calidad de vida de las comunidades marginales mediante el uso de telecomunicaciones. De esta forma, colabora a incrementar las relaciones entre lo urbano y lo rural. En el año 2010, se culminó el despliegue de la Red del Napo, y actualmente brinda los servicios de telecomunicaciones tales como voz, datos y limitadas sesiones de videoconferencia.

La presente tesis plantea un mejoramiento de la tecnología actual, específicamente, en los enlaces que conforman el backhaul. Para lo cual se propone la optimización de los servicios de telecomunicaciones de tal manera que se pueda beneficiar a los usuarios de los centros de salud con nuevos servicios como videoconferencia, telefonía entre otros.

En el primer capítulo se presenta una descripción del lugar geográfico donde se implementará el nuevo diseño de red; asimismo, se expone el estado actual de la red con los equipos que dispone.

En el segundo capítulo se describen los servicios actuales de la red del Napo, los nuevos servicios a brindar establecidos por los usuarios de la red, así como los requerimientos técnicos para implementar dichos servicios, los cuales permiten establecer los criterios de diseño para la nueva red de la cual es objeto esta tesis.

En el tercer capítulo se efectúa un análisis de las tecnologías de banda ancha disponibles en el mercado para el cambio de los enlaces que conforman el backhaul. Asimismo, se plantea un estudio de las diferentes políticas de calidad de servicio con la finalidad de cumplir los requisitos establecidos preliminarmente.

En el cuarto capítulo se realiza el diseño de los enlaces que conforman el backhaul de la red del Napo, el cual incluirá la topología de red, la determinación del ancho banda para los servicios, la selección de equipos y el dimensionamiento de los sistemas de energía. Luego, se presentará la propuesta económica de la implementación de la red de backhaul.

Por último, se presentarán las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.

Capítulo 1

ESTADO ACTUAL DE LA RED DE NAPO

1.1 Introducción

En este capítulo se muestra el entorno donde se encuentra ubicada la red del Napo. Asimismo, se realiza la justificación de implementar redes de telecomunicaciones en esta zona. Luego, se elabora la descripción técnica de la red, los servicios que brinda y los equipos que componen la misma.

1.2 Aspectos Generales

1.2.1 Situación Sociocultural en la Región Loreto

El departamento de Loreto está ubicado en la parte nororiental del Perú, en la llanura amazónica, teniendo 368.852 km² de extensión, lo cual representa el 28.7 % de la superficie total del Perú. Asimismo, es la región con mayor diversidad en etnias y lenguas indígenas. Según el XIV Censo de Población y VI de Vivienda (2010), Loreto cuenta con 983,371 habitantes, de los cuales el 51.24 % son varones (503,879) y 48.76 % son mujeres (479,492). Se encuentra dividido en siete provincias: Maynas, Alto Amazonas, Datem del Marañón, Loreto, Mariscal Ramón Castilla, Requena y Ucayali. Entre todas estas provincias, Maynas es la que presenta mayor cantidad de población; esta cuenta con el 55.28 % (492,992 habitantes) del total de la población del departamento. La figura 1-1 muestra el mapa del departamento de Loreto por Provincias y Distritos [EHAS11]

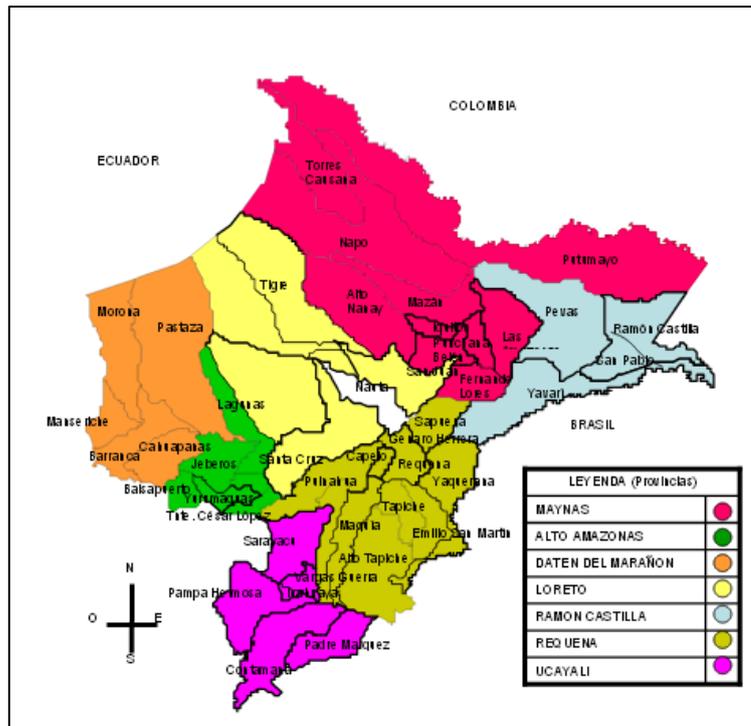


FIGURA 1 - 1: MAPA DEL DEPARTAMENTO DE LORETO POR PROVINCIAS Y DISTRITOS

Fuente: [GRL10]

La figura 1-2 muestra la provincia de Maynas que integra toda la cuenca peruana del río Napo, donde se desarrollará el proyecto. [EHAS11]

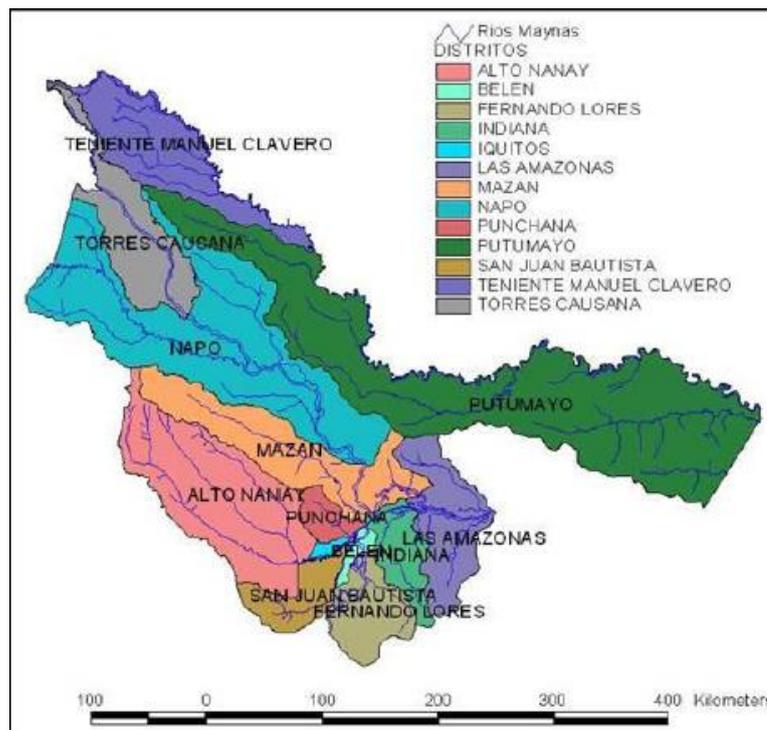


FIGURA 1 - 2: DISTRITOS DE LA PROVINCIA DE MAYNAS

Fuente: [GRL10]

1.2.2 División Geopolítica de la Provincia de Maynas

Según el censo realizado el 2007 por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Maynas tiene una superficie de 119, 859.40 km² y una población de 550, 031 habitantes. Los detalles de la división de la provincia de Maynas se presentan en la tabla 1-1. [INEI07]

TABLA 1 - 1: SUPERFICIE, POBLACION Y DENSIDAD POBLACIONAL DE MAYNAS POR DISTRITO

Fuente: [INEI07]

Provincia /Distrito	Superficie (Km ²)	Población (habitantes)	Densidad Poblacional (Habitantes/Km ²)
Maynas	119,859.40	550,031	4.59
Iquitos	358.15	158,738	443.22
Alto Nanay	14,290.81	2,800	0.2
Fernando Lores	4,476.19	20,419	4.56
Indiana	3,297.76	12,015	3.64
Las Amazonas	6,592.27	10,377	1.57
Mazán	9,922.45	13,938	1.4
Napo	24,298.11	16,221	0.67
Punchana	1,573.39	87,755	55.77
Putumayo	34,942.92	6,159	0.18
Torres Causana	7,363.44	5,187	0.7
Belén	632.8	75,209	118.85
San Juan Bautista	3,117.05	136,163	43.68
Teniente Manuel Clavero	8,994.06	5,050	0.56

1.2.3 Descripción del Río Napo

El río Napo es uno de los principales afluentes directos del río Amazonas en su curso superior. Asimismo, recorre parte de los territorios amazónicos de Ecuador y Perú, como se muestra en la figura 1-3. Este tiene una longitud de 1,130 kilómetros; de los cuales, 667 kilómetros corresponden al territorio peruano. El río Napo atraviesa los distritos de Torres Causana, Tempestad, Santa María, Angoteros, Villa Luisa, Campo Serio, Puerto Elvira y Rumi Tumi. [INEI01]

En cuanto a los establecimientos de salud estos son trece ubicados en los distritos que atraviesa el río Napo.

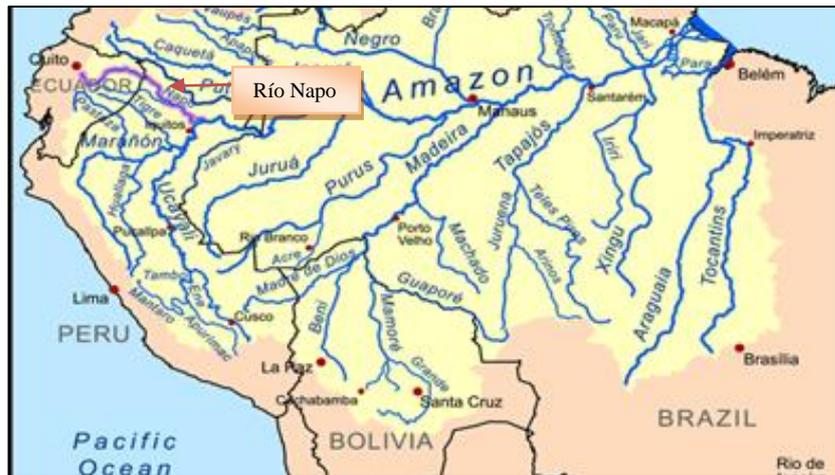


FIGURA 1 - 3: LOCALIZACION DEL RÍO NAPO EN LA CUENCA AMAZONICA
Fuente: [INEI01]

1.3 Justificación del despliegue de la Red de Telecomunicaciones del Napo

En su mayoría, los pobladores de las comunidades indígenas son personas de bajos recursos económicos cuyas principales actividades económicas son la agricultura y la ganadería. Esta situación se agrava más debido a la dificultad de accesos de transportes y comunicaciones. [EHAS11]

A través de los diferentes estudios realizados por la fundación de Enlace Hispanoamericano de Salud (EHAS), se ha comprobado que en la región de Maynas existen relevantes dificultades para obtener una apropiada prevención de enfermedades, severos problemas para realizar diagnósticos y tratamiento de enfermedades más prevalentes, así como para la transferencia apremiante de pacientes. (Ver anexo 1, sección Enfermedades en el entorno de trabajo). Según un estudio realizado el Ministerio de Salud (MINSA) en el 2011, las principales enfermedades que aquejan a los pobladores de la región son

- Infecciones agudas de las vías respiratorias superiores
- Helmintiasis
- Infecciones intestinales
- Infecciones de la cavidad bucal, de las glándulas salivales y de los maxilares
- Anemias nutricionales
- Dorsopatías
- Infecciones de la piel y del tejido subcutáneo
- Micosis

Decenas de comunidades han vivido en estas áreas por cientos de años. Los ribereños constituyen una población joven amenazada por los altos niveles de incidencia de las enfermedades mencionadas anteriormente. La tasa de mortalidad infantil registrada en la

región de Maynas es una de las más elevadas en el Perú debido a la falta de cuidados médicos adecuados. [EHAS11]

Ante los altos índices de enfermedades registrados en la región de Maynas, el Grupo de Telecomunicaciones Rurales de la Pontificia Universidad Católica del Perú desarrolló un sistema de redes de telecomunicaciones en tiempo real en los centros de salud de la cuenca del río Napo. [NEO13]

1.3.1 Árbol de Problemas

En la figura 1-4, se presenta el árbol de problemas, el cual se desarrolló de manera convencional.

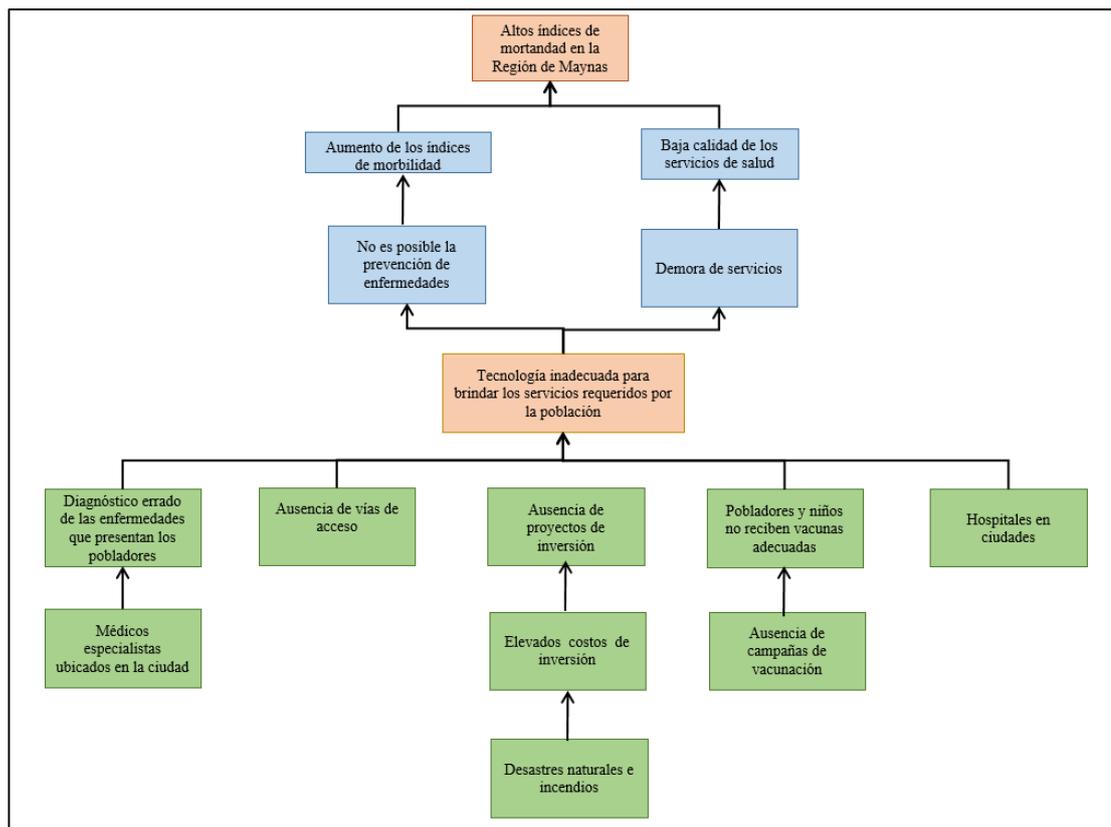


FIGURA 1 - 4: ARBOL DE PROBLEMAS

Fuente: "Elaboración propia"

1.3.2 Árbol de Objetivos

En la figura 1-5, se presenta el árbol de objetivos, el cual se desarrolló de manera convencional.

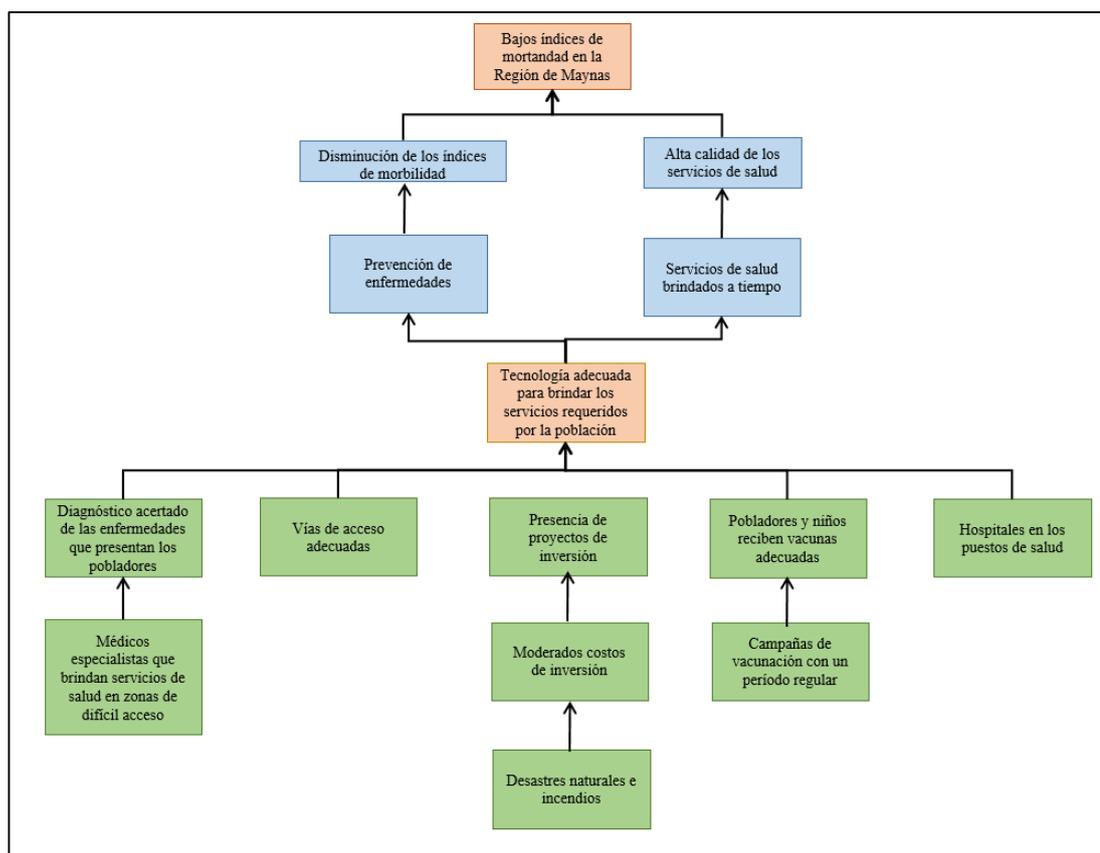


FIGURA 1 - 5: ARBOL DE OBJETIVOS

Fuente: "Elaboración propia"

1.4 Descripción de la Red WiFi del Napo

La red está localizada a lo largo de las riberas de los ríos Napo y Curaray, como se aprecia en la figura 1-6. Dicha red está conformada por 17 nodos que cubren alrededor de 400 kilómetros, la cual interconecta 13 establecimientos de salud con el Hospital y la Dirección Regional de Salud de Loreto como se muestra en la figura 1-7. Actualmente, esta red brinda servicios de telefonía, Internet y acceso limitado de videoconferencia.



FIGURA 1 - 6: UBICACION DE LA RED WIFI ANTERIOR

Fuente: [EHAS11]

La tecnología utilizada en la red es el estándar IEEE 802.11g para larga distancia. Los enlaces están configurados en modo infraestructura; de este modo, todas las estaciones que forman parte de la red se comunican entre sí mediante un punto de acceso. La red está compuesta por enlaces de acceso y de backhaul. En la tabla 1-2, se observa cómo se han distribuido los equipos para los diversos subsistemas.

Los enlaces de backhaul varían desde 15 hasta 50 kilómetros, y en cada nodo se implementa enlaces de acceso. Los enlaces de acceso sirven para la conexión entre los clientes.

La mayoría de comunidades que se encuentran alrededor de la red del Napo no cuenta con un sistema de abastecimiento eléctrico. Por lo cual, la solución más eficiente es la utilización de paneles solares, baterías para energizar el equipamiento de telecomunicaciones.

Actualmente, la Red del Napo posee una velocidad de 6 Mbps en cada enlace del backhaul.

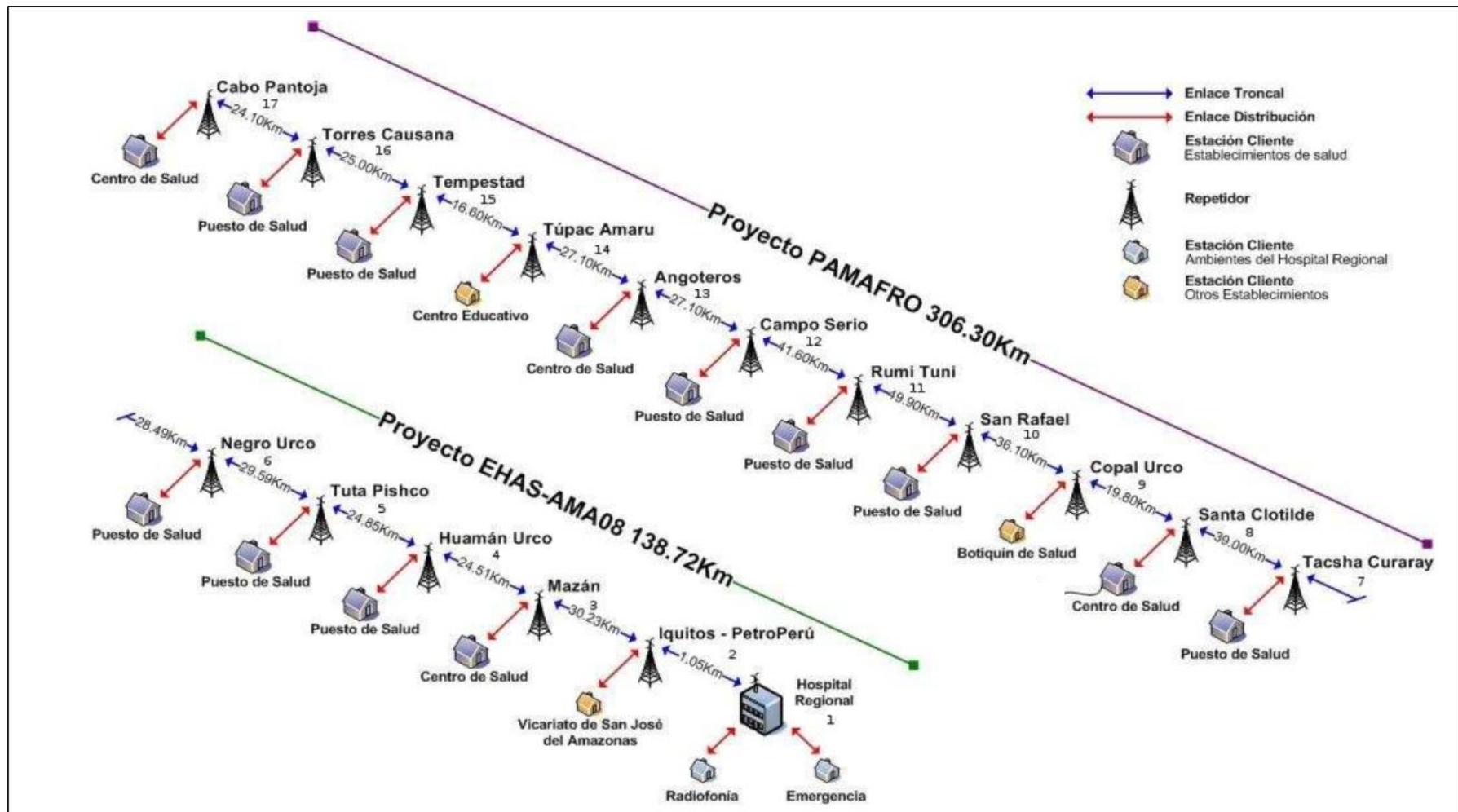


FIGURA 1 - 7: DIAGRAMA TECNICO DE LA RED DE NAPO

Fuente: [EHAS11]

1.5 Servicios brindados actualmente por la Red de Napo

- **Telefonía IP:** cada centro de salud cuenta con servicio de telefonía IP para poder comunicarse con el resto de establecimientos de la red. Se utilizó el software libre Asterisk como servidor de telefonía IP y como terminal telefónico se utilizó ATAs conectado a teléfonos analógicos. Los teléfonos están habilitados para realizar llamadas entre todos. Consecuentemente, se puede llamar hacia fuera de la red utilizando tarjetas prepago y además recibir llamadas desde afuera de la red; la comunicación por la telefonía pública se realiza por medio de una línea ubicada en la Dirección Regional de Salud de Loreto (DIRESA). [GTR11]
- **Datos:** Todas las computadoras ubicadas en la red del Napo acceden a Internet y además están habilitadas para la transferencia de archivos. El acceso de Internet es brindado por DIRESA.[GTR11]
- **Videoconferencia:** para este servicio, se emplea el servidor de video Spontania [DIAL13], ubicado en Iquitos. Los clientes de este servidor están instalados en Santa Clotilde, Mazán y Cabo Pantoja. Las videoconferencias permiten brindar servicios de microscopía y ecografía como se muestra en las figuras 1-8 y 1-9; no obstante, dichos servicios no se dan en tiempo real. Además, la red solo puede soportar una videoconferencia a la vez sin ningún otro servicio habilitado.[GTR11]

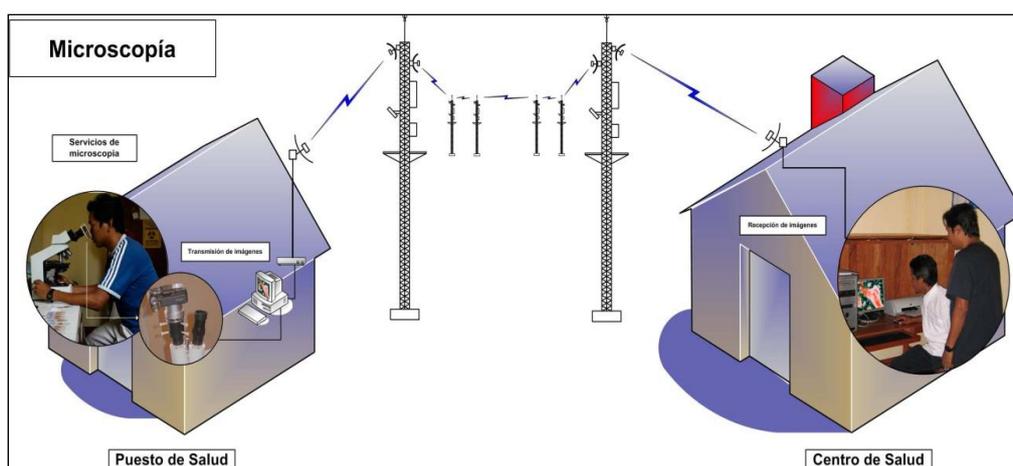


FIGURA 1 - 8: SERVICIO DE MICROSCOPIA

Fuente: [GTR11]

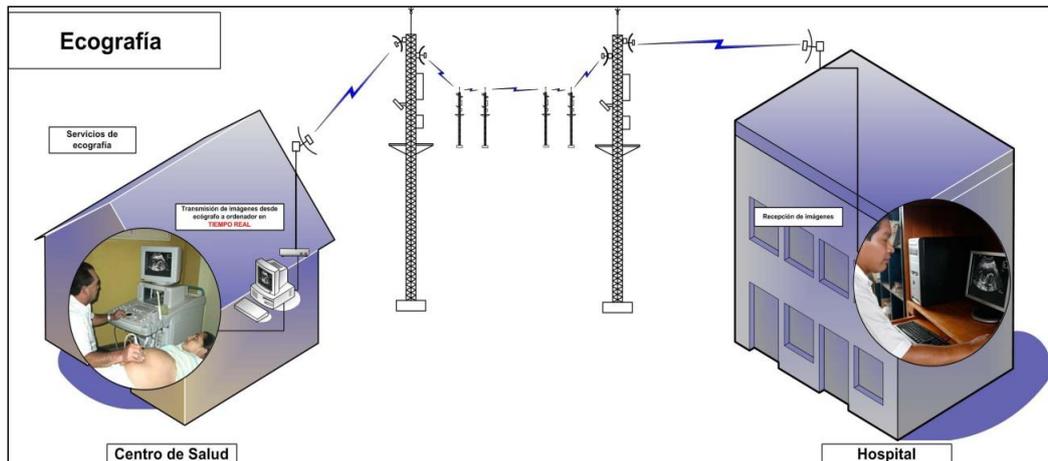


FIGURA 1 - 9: SERVICIO DE ECOGRAFIA

Fuente: [GTR11]

1.6 Equipamiento de la Red del Napo

1.6.1 Equipos de Telecomunicaciones

- **Enrutador WiFi:** es una computadora que incluye memoria, procesador, unidad de almacenamiento, con una interfaz de radio WiFi y un sistema operativo que permite configurar enlaces de largas distancias. Para este diseño, se empleó una solución de Mikrotik (RB433AH con radios R52Hn).[GTR11]
- **Antenas:** para la red de acceso se emplearon las antenas directiva tipo panel Hyperlink de 14 dBi y para la red backhaul se ha utilizado directivas punto a punto Hyperlink de 24 dBi. [GTR11]
- **Cables de conexiones de radiofrecuencia:** para realizar las conexiones entre el extremo del pigtail y la antena se emplearon los cables coaxiales LMR-400 cuya atenuación es 0.355 dB/m.

1.6.2 Sistemas de Protección Eléctrica

- **Protector de línea:** Ubicado entre la antena y la radio WiFi.
- Sistema de protección contra descargas eléctricas.
 - Tetrapuntal tipo Franklin
 - Cable de cobre
 - Puesta a tierra longitudinal de 10 metros.

1.6.3 Servicio de Telefonía

- **Adaptador Telefónico Analógico (ATA):** Se utilizó el modelo GrandStream HT502. Este incluye dos puertos FXS con sus respectivos teléfonos analógicos. [GSR13]
- **Gateway de voz:** Se utilizó el modelo GrandStream HT503, el cual cuenta con un puerto FXO y FXS. [GSR13]
- **Servidor de telefonía:** como servidor se está utilizando la placa Alix de PC Engines junto a una Compact Flash donde se instaló un sistema operativo Linux Voyage. En dicho servidor se ha instalado el Asterisk.

1.6.4 Sistema de Energía Fotovoltaica

- Módulo fotovoltaico de 85 W-P a 12 VDC
- Baterías de 10 A-H a 12 VDC
- Controlador de Corriente de 12 VDC a 20 A

1.6.5 Equipo Cliente

- Laptop
- Inversor de 110 VAC, 2 A.
- Luminarias 12 VDC

TABLA 1 - 2: EQUIPOS EMPLEADOS EN LA RED DE NAPO

Fuente: “Elaboración Propia”

Equipos	Marca de Equipo	Características	CP	TC	T	TA	A	CS	RT	SR	CU	SC	TC	NU	TP	HU	M	PP	HR
1. Enlace Troncal																			
Torre			1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
Enrutador WiFi larga distancia	RouterBoard 433AHG		1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	2
Enrutador WiFi acceso	PC Engines	Alix2D, Asterisk	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Antena direccional tipo panel	Hyperlink	14 dBi	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Antena direccional punto a punto	Hyperlink	24 dBi	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Cable coaxial LMR-400	Heliac	3m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Protector de rayos	Hyperlink	$\lambda/4$, 2.4 GHz	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Modulo fotovoltaico		80 W-H	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Batería Solar	Sprinter PV120	115 A-H	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Controlador Solar	Steca	20 A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2. Enlace de Acceso																			
Enrutador WiFi acceso	PC Engines	Alix2D	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Antena direccional tipo panel	Hyperlink	14 dBi	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Computadora			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Adaptador telefónico	GrandStream	HT502	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1	1	1	1	3	3
Gateway de voz	GrandStream	HT503	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Teléfono analógico	Panasonics		2	1	1	1	1	1	1	1	1	9	1	1	1	1	2	5	5
Modulo fotovoltaico	Isotofon	85 W-P	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Switch	Encore	8 puertos	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Servidor de videoconferencias	Spontania	Instalado en una PC icore3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3. Sistema de Alimentación																			
Batería Solar	Sprinter	115 A-H	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Controlador Solar	Steca	30 A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Inversor	PowerFeed	220 VAC	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Luminarias	General Electric	12 VDC, 11 W	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Capítulo 2

REQUERIMIENTOS ACTUALES DE LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES DE LOS CENTROS DE SALUD DE NAPO

2.1 Introducción

A continuación se describe la situación actual de los servicios de telecomunicaciones. Asimismo, los requerimientos establecidos por los usuarios. Posteriormente, los requerimientos técnicos establecidos de acuerdo a los servicios a brindar.

2.2 Requisitos generales establecidos por los Usuarios

Según los usuarios del centro de salud, el nuevo diseño de la red del Napo debe cumplir las siguientes características.

- Ser una solución comparable en precio a la solución actual, que represente al equipamiento instalado en la torre (Precio de la solución actual, S/. 296,202.70).
- Brindar un buen servicio en telefonía, videoconferencia y datos.
- Debe soportar diversos servicios de telecomunicaciones.
- No se debe pagar licencias por el uso de frecuencia.

- Ser fácil de instalar y simple de mantener, con la finalidad de que se pueda capacitar a las personas del lugar para ayudar en la instalación. Asimismo, ellos puedan encargarse del mantenimiento de los equipos que conforman la red.
- Ser compacta y liviana de tal forma que se facilite el transporte de los equipos.
- Ser robusta para resistir temperaturas extremas y entornos campestres rigurosos.
- Permitir videoconferencias de buena calidad en los nodos de Santa Clotilde, Cabo Pantoja y Mazán.
- Todos los centros de salud deben contar al menos con equipos telefónicos según la tabla 2-1.
- Se debe permitir el acceso a Internet por medio de la DIRESA.
- Todos los centros deben contar con computadoras personales según la tabla 2-2 para los servicios de datos tales como Internet, correo electrónico, transferencia de archivos.

TABLA 2 - 1: REQUERIMIENTOS DE EQUIPOS TELEFONICOS PARA BRINDAR LOS SERVICIOS DE TELEFONIA

Fuente: “Elaboración Propia”

Nodos	Actual	Futuro
Cabo Pantoja	2	7
Torres Causana	1	1
Tempestad	1	1
Túpac Amaru	1	1
Angoteros	1	1
Campo Serio	1	1
Rumí Tuni	1	1
San Rafael	1	1
Copal Urco	1	1
Santa Clotilde	7	7
Tacsha Curaray	1	1
Negro Urco	1	1
Tuta Pishco	1	1
Huamán Urco	1	1
Mazán	2	7
Petro Perú	5	1
Hospital Regional de Loreto	5	5

**TABLA 2 - 2: REQUERIMIENTOS DE EQUIPOS TELEFONICOS PARA BRINDAR
LOS SERVICIOS DE DATOS**

Fuente: “Elaboración Propia”

Nodos	Actual	Futuro
Cabo Pantoja	1	9
Torres Causana	1	2
Tempestad	1	2
Túpac Amaru	0	0
Angoteros	1	2
Campo Serio	0	0
Rumi Tuni	1	2
San Rafael	1	2
Copal Urco	1	2
Santa Clotilde	9	9
Tacsha Curaray	1	2
Negro Urco	1	2
Tuta Pishco	1	2
Huamán Urco	1	2
Mazán	1	9
Petro Perú	1	2
Hospital Regional de Loreto	0	0

2.3 Evaluación inicial sobre la mejora de los Servicios

2.3.1 Telefonía IP

Se han reportado quejas de los usuarios por el servicio de telefonía: mala calidad de la voz, retardos y ruidos. Por lo cual, representa un problema ya que este es el servicio más utilizado por los usuarios de los puestos de salud. Estos problemas están relacionados a la falta de calidad de servicio en la red y el uso de diferentes codificadores. Por lo cual, se plantea implementar calidad de servicio y uniformizar los codificadores de voz. Para el nuevo diseño de los enlaces de backhaul, se tomará como referencia el códec G.729a, el cual es generalmente utilizado para VoIP y tiene el balance justo entre calidad de sonido y eficiencia en el uso de ancho de banda. [SEO13] El acceso a la red de telefonía pública se mantendrá con la misma solución utilizada, que es por medio de una línea contratada por la DIRESA.

2.3.2 Datos

El servicio de datos incluye el acceso a Internet y transferencia de archivos. Para brindar el servicio de Internet a los usuarios de la red, se utilizará el mismo acceso de 900 Kbps que posee la DIRESA. [GTR11]

2.3.3 Videoconferencia

El sistema de videoconferencia implementado por el servidor Spontania seguirá siendo considerado en el nuevo diseño de la red. Este servicio trabaja en el modo cliente- servidor. Para que el sistema de videoconferencia pueda enviar video de calidad aceptable y de forma continua será necesario determinar el ancho de banda adecuado. Una llamada de videoconferencia sugerida por el GTR debe poseer una velocidad de 1 Mbps en un sentido (desde el cliente hasta el servidor). Actualmente se realiza aceptablemente una sola sesión de videoconferencia (500 Kbps desde el cliente hasta el servidor), si se desea otra se aprecia que la calidad empeora; esto es debido a la falta de políticas de calidad de servicio. Por lo tanto, se requiere incrementar la capacidad y dar políticas de calidad de servicio a fin de brindar tres sesiones videoconferencias de buena calidad como mínimo sugerido por los usuarios.

2.4 Requerimientos Técnicos de la nueva Red de Napo

La tabla 2-3 muestra los requerimientos técnicos de la nueva red del Napo, con sus respectivas sustentaciones; estos serán la base para el diseño posterior. Estos requerimientos se obtuvieron en base a los requerimientos hechos por los usuarios y el análisis previo sobre los servicios.

TABLA 2 - 3: REQUERIMIENTOS TECNICOS DE LA NUEVA RED DE NAPO

Fuente: “Elaboración Propia”

Requisitos	Sustentación
La nueva red de distribución deberá trabajar en frecuencias de la banda ISM.	No se pagará por el uso de frecuencia
Cada centro de salud debe contar con la cantidad de equipos telefónicos requeridos.	Ver tabla 2-1
Cada centro de salud debe contar con la cantidad de computadoras requeridas.	Ver tabla 2-2
La red debe contar con políticas de calidad de servicio para los flujos de voz, datos y video.	Diferenciar servicios de telecomunicaciones
La alimentación de los equipos será realizada a base de energía fotovoltaica.	Los nodos desde Cabo Pantoja hasta Mazán no tienen energía eléctrica pública.
Se deberá emplear el códec G.729a para telefonía VoIP.	Uniformizar el codificador de voz. Tiene una mejor relación costo/beneficio respecto de otras alternativas.
Se necesita tres sesiones de vídeo conferencia y se recomienda que el ancho de banda sea alrededor de 1 Mbps (sugerido por el GTR-PUCP).	Asegurar que los nodos principales dispongan del servicio de videoconferencia.
Se utilizará cifrado para la transmisión de información de los enlaces.	La información viaje segura
La red de acceso se mantendrá con la tecnología actual (WiFi).	No se presentan inconvenientes con la red de acceso.
Se debe mantener la altura actual de las torres de telecomunicaciones.	No se considerará presupuesto para incrementar la altura de las torres.
Se deberá utilizar el mismo sistema de protección contra descargas eléctricas existentes en las torres.	-----
La red debe permitir comunicación telefónica con la red de servicio telefónico público por medio de la DIRESA.	-----
La red debe permitir el acceso a Internet por medio del acceso brindado por la DIRESA.	-----

Capítulo 3

ANÁLISIS DE LAS TECNOLOGÍAS DE BACKHAUL Y CALIDAD DE SERVICIO PARA LA NUEVA RED

3.1 Introducción

Con el presente tema de tesis se busca desarrollar un sistema de red que permita satisfacer las necesidades de los centros de salud del Napo. Para lo cual, se han planteado seis tecnologías que podrían solucionar los problemas de la red del Napo. Estas son fibra óptica fluvial, WiMAX, PDH, SDH, LTE y Soluciones Propietarias. En este capítulo se muestra la descripción de estas. Además, los posibles equipos para utilizar en el nuevo diseño de los enlaces de backhaul.

3.2 Tecnologías para el Transporte de Datos

3.2.1 Tendido de Fibra Óptica Fluvial

La fibra óptica fluvial es una nueva tecnología que ha sido desarrollada en Nicaragua por la Empresa Fibra Optim. Sin embargo, dado que es reciente, tiene costos elevados. Asimismo, no se cuenta con mucha información acerca de esta tecnología. [OPTI13]

3.2.2 WIMAX

Este es un estándar de transmisión de datos que utiliza, entre otras, las bandas de radio en las frecuencias de 2.3 a 6 GHz. Una de sus aplicaciones más comunes es la de brindar servicios de

banda ancha en zonas donde el despliegue de cable o fibra no existe, como por ejemplo en las zonas rurales. [IEEE12]

3.2.3 LTE

LTE es una tecnología del grupo de normas 3GPP que compró el mundo GSM y 3G/UMTS. Este es un estándar para comunicaciones inalámbricas de altas velocidades. El objetivo de LTE es incrementar la capacidad y la velocidad de las redes de datos inalámbricas utilizando técnicas nuevas de procesamiento digital de señales y modulaciones, las cuales han sido desarrolladas en el año 2000. A este objetivo se le suma el rediseño y simplificación de la arquitectura de red a un sistema basado totalmente en IP, lo cual ha ido reduciendo la latencia de transferencia en comparación con la arquitectura 3G.

Si bien LTE presenta múltiples ventajas no es adecuada para utilizarla en soluciones de backhaul debido a que LTE define tecnologías de acceso móvil de banda ancha; las cuales están optimizadas para teléfonos móviles y terminales de datos. Por tales motivos, LTE no es indicada para el nuevo diseño de la red WiFi del Napo. Además, la tecnología es de costo alto. [LTE13]

3.2.4 PDH (Jerarquía Digital Plesiócrona)

Esta es una tecnología de telecomunicaciones utilizada para transportar grandes cantidades de información mediante el uso de equipos digitales de transmisión que funcionan sobre fibra óptica, cable coaxial, cable de microondas. Lamentablemente, la tecnología muestra grandes desventajas para su implementación como la existencia de tres estándares incompatibles entre sí: europeo, estadounidense y japonés; es decir, no existe un estándar mundial en formato digital. Además, tiene una capacidad limitada de administración. [MAC08]

3.2.5 SDH (Jerarquía Digital Síncrona)

Este es un estándar internacional de comunicaciones para redes de transmisión de alta capacidad desarrollado por la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones). Fue diseñado para eliminar las desventajas de PDH. Asimismo, permite transportar diferentes tipos de tráfico: voz, vídeo, multimedia y paquetes de datos como los que genera IP. Además, gestiona el ancho de banda eficientemente. A pesar de sus múltiples ventajas, el SDH es una solución compleja que involucra altos costos de equipos digitales. [MAC08]

3.2.6 Soluciones Propietarias

Las soluciones WiMAX propietarias de backhaul trabajan en la banda de 5.8 GHz. Dichas soluciones ofrecen rendimiento y robustez en cualquier entorno. Por otro lado, las soluciones son escalables y brindan soporte al crecimiento en el tráfico de datos. Además, están disponibles en arquitectura punto a punto. Las empresas que brindan soluciones propietarias son Radwin y Redline.

3.3 WIMAX y Soluciones Propietarias

3.3.1 Introducción

Al realizar el análisis de las posibles tecnologías que podrían cumplir con los requerimientos de la nueva red del Napo, se concluye que las tecnologías WiMAX y las soluciones propietarias deben ser estudiadas para seleccionar la más adecuada. Ambas soluciones utilizan WiMAX como base de la realización de equipos. Además, son adecuadas para el entorno rural, como es la zona de la cuenca del río Napo.

3.3.2 WIMAX: Estándar IEEE802.16

3.3.2.1 Visión General

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) ha sido identificada por diferentes autores como la tecnología que podría cubrir la falta de acceso a infraestructura de telecomunicaciones de grandes sectores de la población que habita las zonas rurales del planeta. Esto se debe principalmente a que desde sus inicios fue concebida para brindar acceso inalámbrico de banda ancha a distancias de decenas de kilómetros. Por tal motivo, es posible llevar servicio de acceso inalámbrico hasta zonas aisladas sin necesidad de realizar altas inversiones requeridas por redes cableadas. De tal manera, no solo se disminuye el costo sino también se reduce notablemente los tiempos de despliegue. [CYTED13]

Además, al tratarse de una tecnología estándar permite obtener beneficios del ecosistema que se forma alrededor de ella. De tal forma, es posible alcanzar economías de escala. Por ejemplo, los diferentes fabricantes, que opten por desarrollar la tecnología, deben proponer soluciones innovadoras o menores precios para diferenciar sus productos, lo cual conlleva a que exista una mayor oferta de soluciones de la tecnología WiMAX. Por otro lado, la interoperabilidad entre los equipos de distintos fabricantes brinda una mayor independencia y mayor sostenibilidad a largo plazo debido a que no depende de las decisiones de un único fabricante. [CYTED13]

El hecho de ser una tecnología que fue diseñada inicialmente para operadores también tiene sus ventajas: brinda gran robustez, una seguridad muy superior a la de tecnologías inalámbricas

precedentes. Además, WiMAX brinda la posibilidad de ofrecer calidad de servicio estricta a todas las comunicaciones que tienen lugar dentro de la red. [CYTED13]

Las ventajas mencionadas, unidas a la gran flexibilidad que aporta tanto en las frecuencias en las que se puede emplear como en los escenarios en los que es relevante (fijos y móviles), la convierte en una tecnología interesante como para ser considerada para dotar de conectividad a las zonas rurales de países como la zona de la cuenca del río Napo. [CYTED13]

3.3.2.2 Tecnologías de Transmisión WIMAX

a. Multiplexación por División de Frecuencia (FDM)

FDM es una técnica convencional que consiste en enviar diferentes señales, las cuales son moduladas con distintas frecuencias y pasan por el canal como si se tratase de una misma señal. En el demodulador, estas son decodificadas utilizando las frecuencias empleadas para la modulación. [COIM10]

b. Multiplexación Ortogonal por División de Frecuencias (OFDM)

OFDM es una técnica de multicanalización que está basada en la utilización de muchas subportadoras. Estas son seleccionadas de manera que sus espectros no interfieren con la frecuencia central de cada subportadora como se muestra en la figura 3-1. El estándar IEEE 802.16 cuenta con dos capas físicas basadas en OFDM: una de estas utiliza OFDM como tal y otra emplea una variante de esta técnica, llamada OFDMA, en la cual diferentes usuarios comparten un símbolo OFDM.

La clave de OFDM está en la ortogonalidad de las señales, lo cual permite mezclar varias de ellas en transmisión para luego separarlas en recepción sin que se presente interferencia. [PUCP13]

La técnica de OFDM es similar a FDM; sin embargo, se emplean subportadoras, las cuales son ortogonales de tal manera que pueden interponerse y no se presente interferencia.

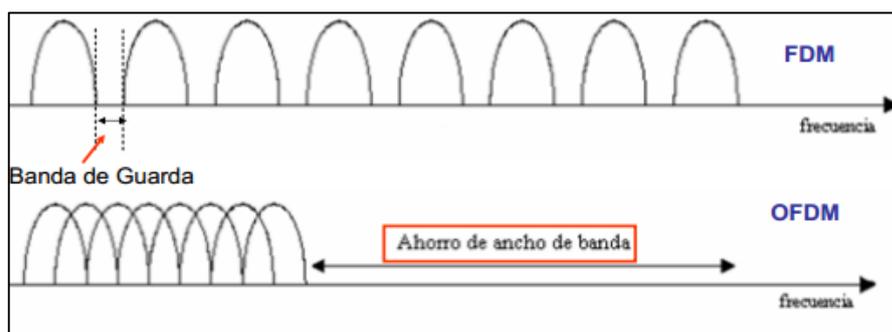


FIGURA 3 - 1: TECNICA OFDM

Fuente: [PUCP11]

3.3.2.3 Elementos de la Red

a. Estación Base (Base Station-BS)

Este equipo está encargado de realizar las funciones de transmisión, brindar conectividad, mecanismos de control y gestión a las estaciones cliente. [IEEE09]

b. Estación Subscriptora (Subscriber Station-SS)

Este equipo está encargado de brindar las funciones de receptor, de tal manera que proporcione conectividad con la estación base. [IEEE09]

3.3.2.4 Capa Física

a. Introducción

La capa física de WiMAX está basada en la multiplexación ortogonal de la frecuencia (OFDM). Esta comprende los tipos de modulación, codificación e interfaces. [IEEE09]

b. Tipos de Modulación

En la arquitectura de WiMAX se usan distintas normas propias de la familia IEEE802; en especial, la norma 802.3.

Se ha diseñado, por parte del IEEE 802.16 Working Group D, un sistema para que en la máxima capacidad del sistema se brinde una confiabilidad del 99.999%. En dicho sistema, el nivel físico incluye OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), Time Division Duplex (TDD), Frequency Division Duplex (FDD), Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) y Quadrature Amplitude Modulation (QAM). De los tipos de modulación que se emplean de forma adaptativa en la tecnología WiMAX: BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM; BPSK es el método menos eficiente. Por tal motivo, BPSK se emplea donde las estaciones subscriptoras se encuentran más alejadas de las estaciones base. Por lo tanto, se requiere mayor potencia para realizar la transmisión. Por otro lado, se utiliza 64QAM, donde las estaciones subscriptoras se encuentran relativamente cerca de la estación base; por lo cual, requiere menos potencia para la transmisión. En la figura 3-2, se muestra el tipo de modulación en función a la distancia de la estación subscriptora respecto de la estación base. [OPTL08]

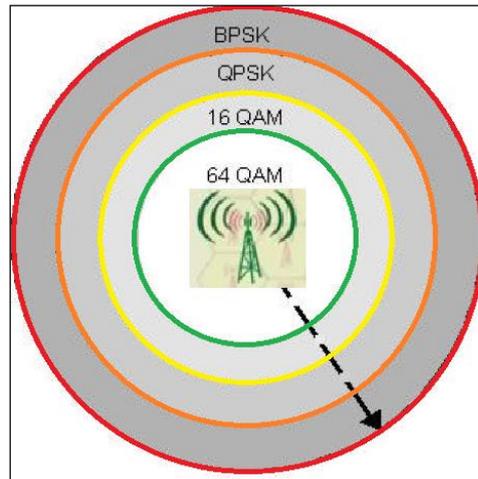


FIGURA 3 - 2: TIPO DE MODULACION SEGUN ALEJAMIENTO DE LA BS
Fuente: [OPTL08]

La capa física 802.16 permite emplear modulación OFDM con 256 subportadoras; de las cuales solo se utilizan 200 portadoras: 192 para datos y 8 pilotos. La separación entre subportadoras es de 45 KHz. La señal ocupa un ancho de banda total de 9 MHz. El estándar 802.16 utiliza corrección de errores, el cual se encuentra basado en códigos concatenados Reed-Salomon Convolutacional. Asimismo, las subportadoras se modulan de forma adaptativa con modulación BPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM. [ANDR07] [IEEE09]

La longitud de símbolo es aproximadamente 22.2 μ s, a los que se añade un prefijo cíclico seleccionable, el cual varía entre 100 ns y 5.6 μ s. Dicho prefijo ayuda a mitigar los ecos causados por la propagación de multitrayecto. [ANDR07] [IEEE09]

La modulación emplea 8 portadoras piloto distribuidas en los 9MHz de ancho de banda. Dichos pilotos son suficientes para compensar los desvanecimientos selectivos y coherencia espectral. La capacidad de un símbolo OFDM modulado en 64 QAM-3/4 es 864 bits. 864 bits entre 192 portadoras de datos; de lo cual se tiene 4,5 bits por portadora. Dado que la duración de un símbolo completo es de 23,1 μ s, la capacidad bruta máxima a nivel físico 802.16 es de 34.29 Mbps (con tiempo de guarda de 1/32 ms). [IEEE09]

Las modulaciones más altas serán capaces de transmitir mayor información, como se puede observar en la tabla 3-1.

TABLA 3 - 1: ESQUEMAS DE MODULACION

Fuente: [IEEE09]

Modulación	Bits de Información/ portadora	Subportadoras de información	Bits de información OFDM
BPSK ½	0.5	192	96
QPSK ½	1	192	192
QPSK ¾	1.5	192	288
16 QAM ½	2	192	384
16 QAM ¾	3	192	576
64QAM 2/3	4	192	768
64 QAM ¾	4.5	192	864

Para el cálculo del Bit Rate (BR), que se puede conseguir a nivel físico (PHY) se utilizará la siguiente fórmula [IEEE09]:

$$Mbps = \frac{N_{usados} \times b_m \times c_r}{T_s} = \frac{N_{bitsOFDM}}{T_s}$$

N_{usados} = Número de portadoras de datos de OFDM

b_m = Número de bits en la codificación

c_r = Prefijo cíclico

T_s = Período de símbolo= $T_b + T_g$

$N_{bitsOFDM}$ = Número de bits de información por símbolo OFDM

El tiempo de guarda (T_g) ayuda a mitigar los efectos de la interferencia entre símbolos (ISI). Por lo tanto, se debe seleccionar un valor aceptable 1/8 ns. La tabla 3-2 muestra los distintos valores de velocidad de transmisión (Bit Rate-BR) a nivel PHY que se puede lograr según la modulación empleada para un ancho de banda de canal de 10 MHz. Aquí la velocidad de transmisión, se ha calculado en base a la fórmula anterior. Las tablas de cálculo de bit rate para los anchos de banda de canal 1.75 MHz, 3.5 MHz y 7 MHz se muestran en el anexo 3 en la sección capa física de WiMAX. Asimismo, en dicho anexo se presentan mayores detalles de la capa física en WiMAX. [IEEE09]

TABLA 3 - 2: BIT RATE CON CANAL 10 MHZ

Fuente: [IEEE09]

Id de Tx	Modulación BW=10 MHz	Nusados	Bm	Cr	Tb	Tg=tb/8	Ts		BR Mbps
0	BPSK ½	192	1	0.5	22.4	2.8	25.2	198	3.81
1	QPSK ½	192	2	0.5	22.4	2.8	25.2	198	7.62
2	QPSK ¾	192	2	0.75	22.4	2.8	25.2	198	11.43
3	16 QAM 1/2	192	4	0.5	22.4	2.8	25.2	198	15.24
4	16 QAM 3/4	192	4	0.75	22.4	2.8	25.2	198	22.86
5	64QAM 2/3	192	6	0.67	22.4	2.8	25.2	198	30.63
6	64 QAM 3/4	192	6	0.75	22.4	2.8	25.2	198	34.29

3.3.2.5 Capa Control de Acceso al Medio (MAC)

La capa MAC del estándar 802.16 se caracteriza por brindar una comunicación orientada a la conexión y por realizar una planificación determinista para distribuir los recursos de la red; de tal manera, es posible garantizar ciertos niveles de calidad de servicio (QoS) para cada conexión. [CYTED13]

3.3.2.6 Capa de Seguridad

La capa de seguridad es importante para el diseño de la red dado que proporciona a los suscriptores privacidad, autenticación y confidencialidad a través de la red inalámbrica de banda ancha. Esto se realiza aplicando las transformaciones criptográficas entre las conexiones de la estación base y las estaciones subscriptoras. [IEEE12] Para mayores detalles revisar el anexo 3 Sección Capa de Seguridad.

3.3.3 WIMAX: Modos de Operación

La tecnología WiMAX soporta tres modos de operación: Punto a punto (Point-to-point- PTP), Punto a multipunto (Point-to-Multipoint- PMP), Retransmisión (Relay) y Multipunto a Multipunto (Multipoint-to-Multipoint- Mesh).

En el modo PMP, la estación base provee comunicación centralizada a las estaciones subscriptoras; por lo cual, estas no podrán comunicarse directamente entre ellas. Por lo tanto, la complejidad de los protocolos de la capa MAC disminuye.

El modo de operación PtP es similar a PMP. La diferencia radica en que, en lugar de tener varias estaciones subscriptoras, solo se tendrá una. Esta será otra estación base.

3.3.4 Bandas frecuenciales en WIMAX

En WiMAX se tienen dos tipos de bandas: Bandas licenciadas y Bandas exentas de Licencia. Según los requerimientos establecidos en el Capítulo 2 no se realizará pago por el uso de frecuencias. Por lo cual, se deben emplear las bandas exentas de licencia.

Estas bandas son libres; sin embargo, presentan interferencia adicional y los problemas de convivencia de diferentes servicios. Por otro lado, las capas físicas y MAC deben introducir mecanismos para facilitar la detección y evitar interferencias. Asimismo, se debe prevenir causar interferencia a otros usuarios. [IEEE12]

3.3.5 Calidad de Servicio

3.3.5.1 Requisitos de los Servicios

Los servicios de telefonía requieren bajos niveles de retardo y de jitter a fin de que la voz sea correctamente reproducible en el destino. Sin embargo, pueden funcionar correctamente con cierto porcentaje de pérdida de paquetes. No obstante, las retransmisiones de paquetes no son recomendables ya que aumentarían jitter y latencia. [ALB09]

Al igual que los servicios de telefonía, las aplicaciones de video, como videoconferencia, requieren bajos niveles de retardo y jitter. Además, es necesario asegurar un caudal mínimo de manera que se pueda mantener niveles de calidad aceptables. [ALB09]

Los servicios de datos toleran ciertos niveles de latencia y jitter. No obstante, no permiten la pérdida de paquetes. De tal manera que si un paquete se pierde, deberá ser retransmitido por algún nivel. Por lo general, es por la capa de red o por la de aplicación. [ALB09]

3.3.5.2 Consideraciones de la Calidad de Servicio en Redes Inalámbricas

La capacidad instantánea que ofrecen las redes inalámbricas es variable en función de las condiciones del medio radioeléctrico, inestable por naturaleza. Por lo tanto, la QoS no se puede garantizar únicamente reordenando paquetes. [ALB09]

El tiempo requerido para transmitir un byte varía según la modulación y la codificación a utilizar. La inestabilidad del medio aéreo a menudo obliga a cambiar dinámicamente la modulación o codificación. [ALB09]

Otro aspecto que debe tomarse cuenta es la capacidad del receptor para manejar altas tasas de error. Por ejemplo, si una transmisión no ha podido alcanzar al equipo receptor debido a algún fenómeno largo de fading, no sería conveniente solicitar una retransmisión de datos inmediatamente debido a que es probable que la transmisión volviera a resultar fallida. Además, una alta tasa de retransmisiones para un receptor, en particular, incrementa la latencia media hacia ese equipo y afecta la QoS de otros equipos del sistema. [ALB09]

3.3.5.3 Técnicas de Garantías de Calidad de Servicio

Todo sistema que utilice mecanismos de QoS realizará al menos dos procesos: Clasificación y Asignación como se muestra en la figura 3-3. El primero de ellos clasifica el tráfico (clasificadores) que entra al equipo, para lo cual emplea diferentes criterios: por equipo destino, por marcas en los paquetes, por aplicación, entre otros. Una vez que se sabe qué parámetros de QoS se debe cumplir, se realiza el segundo proceso. Para lo cual, se asigna los recursos en base a estos parámetros mediante el scheduler. Este establece el orden de transmisión de paquetes en base a los principios de QoS establecidos para cada caso. [ALB09]

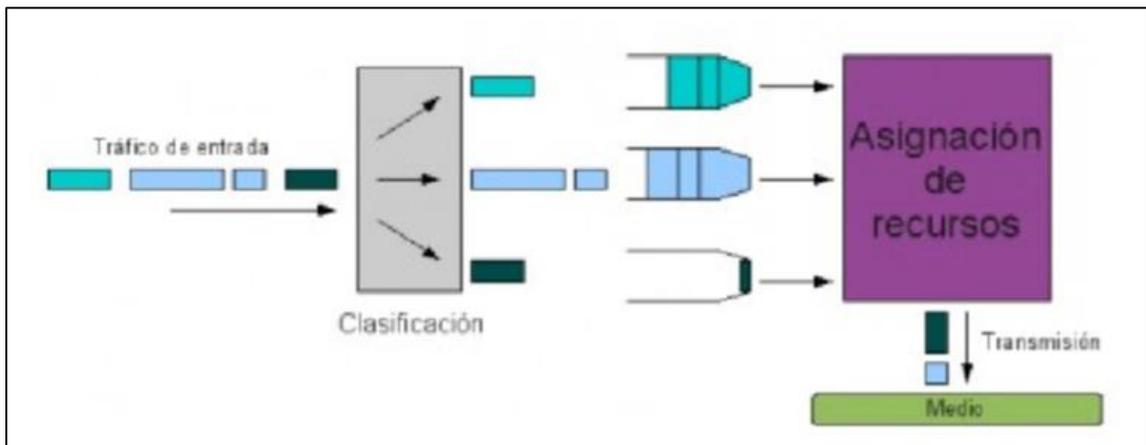


FIGURA 3 - 3: ESQUEMA PARA ANALISIS DE CALIDAD DE SERVICIO

Fuente: [ALB09]

3.3.5.4 Clasificación de Servicios

Las normas de clasificación son muy variadas, por lo cual el operador tiene flexibilidad para filtrar tráfico. A continuación se citan algunos clasificadores disponibles.

- Dirección MAC: priorizar los dispositivos de la red según a dirección física MAC (origen o destino).
- Dirección IP: similar al anterior, se pueden establecer en los equipos intermedios niveles de prioridades para distintas direcciones IP (origen o destino).
- Puerto: filtrado por puerto o por rango de puertos (origen y destino).
- DSCP/TOS: filtrado mediante estos campos que especifican nivel de prioridad en la cabecera IP.

3.3.5.5 Mecanismos de asignación de QoS y Flujo de Servicio de WIMAX

Existen dos mecanismo de asignación de calidad de servicio: QoS a nivel 3 (L3QoS o IPQoS) y QoS a nivel MAC (L2QoS) (Mayores detalles, revisar el anexo 3 Sección Mecanismos de Calidad de Servicio). WiMAX es un sistema L2QoS. La asignación de recursos, en este tipo de mecanismo

de QoS, se hace a nivel de capa MAC. El sistema que asigna los slots de transmisión conoce, en todo momento, la disponibilidad del medio y el tráfico neto que es capaz de transmitir para cada usuario. La estación base es el nodo maestro de la red, que asigna la transmisión de datos tanto en la bajada como en la subida. El tener un nodo central permite eliminar la contienda, lo que garantiza que la estación base puede, si así se desea, conocer en todo momento la disponibilidad del medio radio. Además, la estación base WiMAX conoce la calidad del enlace de cada uno de los clientes que tiene conectados, con lo que puede asignar de manera determinista el tráfico, tanto en bajada como en subida. Para mayores detalles, revisar el anexo 3, sección Calidad de Servicio. [ALB09]

El flujo de servicio está definido como un flujo bidireccional de paquetes con unos parámetros de QoS determinados. Cada uno de los flujos de servicio es identificado con el SFID (Service Flow Identifier), además de un CID (Connection Identifier) si este está activo. Los paquetes de la capa MAC incluyen el identificador de conexión CID de tal forma que son asignados al tipo de tráfico que se entregará en función de los parámetros de QoS del servicio. [IEEE12] Para mayores detalles revisar el anexo 3 en la sección Notas importantes sobre los flujos de servicio.

3.3.5.6 Tipos de Calidad de Servicio en WiMAX

El soporte de calidad de servicio (Quality of Service- QoS) en redes inalámbricas es realmente complicado especialmente para las aplicaciones en tiempo real. La tarea se complica aún más ya que se debe brindar diferentes requerimientos de QoS debido a las distintas aplicaciones y los diferentes comportamientos de tráfico. Sin embargo, los requerimientos de calidad de servicio son cumplidos en WiMAX. [IEEE11]

Uno de los parámetros importantes que se pueden configurar por cada flujo es el de “Tipo de QoS”. El valor de este parámetro especifica el esquema de servicios que debe ser habilitado por el flujo de servicio asociado. Cada servicio está asociado con una serie de parámetros de calidad de servicio que cuantifican diferentes aspectos sobre su comportamiento. El estándar WiMAX especifica cinco tipos diferentes de servicios.

- Unsolicited Grant Service (UGS)
- Extended Real-time Polling Service (ErtPS)
- Real-time Polling Service (rtPS)
- Non-real-time Polling Service (nrtPS)
- Best Effort (BE)

Para mayores detalles, revisar el anexo 3 en la sección Tipos de Calidad de Servicio.

3.3.5.7 Otros Tipos de Calidad de Servicio

a. IEEE 802.1p

IEEE 802.1p es un estándar que brinda priorización de tráfico y filtrado multicast dinámico. En otras palabras, proporciona un mecanismo para implementar Calidad de Servicio (QoS) a nivel de MAC (Media Access Control). Para dicho estándar, se tiene ocho clases distintas de servicios, las cuales están expresadas por medio de 3 bits del campo prioridad de usuario (`user_priority`). A cada paquete se le asigna un nivel de prioridad entre 0 y 7. Aunque es un método de priorización bastante utilizado en entornos LAN, cuenta con varios inconvenientes, como el requerimiento de una etiqueta adicional de 4 bytes (definida en el estándar IEEE802.1Q). [IEEE08a]

b. Servicios Diferenciados

Los Servicios Diferenciados (DiffServ) proporcionan un método que intenta garantizar la calidad de servicio en redes de gran tamaño. Estos servicios analizan diferentes flujos de datos en lugar de conexiones únicas o reservas de recursos. Esto significa que una negociación será hecha para todos los paquetes que envía una organización, ya sea una universidad, un proveedor de servicios de Internet o una empresa. Los contratos resultantes de esas negociaciones son llamados Acuerdos de Nivel de Servicio (SLA). Estos SLAs especifican las clases de tráfico que serán provistos, las garantías que se dan para cada clase y cuántos datos se consideran para cada clase. [DEL10]

3.3.5.8 Análisis de la Calidad de Servicio de una Red Experimental

En los últimos años se ha dado un crecimiento significativo en el área de las comunicaciones inalámbricas. La calidad de servicio (QoS) se ha convertido en una consideración importante para apoyar variedad de aplicaciones que utilizan los recursos de la red. Estas aplicaciones incluyen voz sobre IP, servicios multimedia, como, video streaming, videoconferencia, etc. Por lo cual, Rohit A. Talwalkar y Mohammed Ilyas realizaron un análisis de calidad de servicio aplicado a redes WiMAX. En dicho análisis se empleó un módulo WiMAX basado en simulador de redes populares. Luego, se plantearon diferentes escenarios de la vida real como llamada de voz, transmisión de video y envío de datos. Los parámetros que se tomaron en cuenta fueron el rendimiento, la pérdida de paquetes, jitter normal y retraso medio. Los resultados indican que la mejor calidad de servicio se consigue mediante el uso de flujos de servicio diseñado para aplicaciones específicas. Lastimosamente, el análisis fue realizado solo para los tipos de servicio BE, rtPS y UGS. Para ver el resultado de las pruebas, revisar el anexo 3 sección Experimento de Calidad de Servicio. [IEEE08]

3.4 WiMAX para Zonas Rurales

Desde que fue creado, WiMAX ha sido considerada una solución potencial para mitigar los problemas existentes en diferentes zonas del mundo. Esta idea fue apoyada por el gran interés inicial mostrado por los operadores de países desarrollados, los cuales vieron en esta nueva tecnología la posibilidad de acceder a un mercado, que hasta ese momento era improbable darle servicio a un coste razonable. Dichos operadores han extendido gran cantidad de redes en los últimos años, las cuales están proporcionando servicios de datos a precios asequibles en zonas rurales de forma exitosa. Sin embargo, este éxito no se ha visto reflejado en zonas rurales de países en vías de desarrollo, dado que los operadores ven difícil la posibilidad de recibir algún retorno de inversión sobre los elevados gastos que implica el despliegue de redes de telecomunicaciones en estas áreas.[CYTED13]

Existen diferentes razones para emplear WiMAX en zonas aisladas rurales. En principio, la posibilidad de operar en bandas frecuenciales que no requieran licencia. Además, no solo ha sido definido teóricamente, sino que existen diversos fabricantes que ofrecen equipos en dichas bandas. Entre estos se encuentran Alentia, Alvarion y Aperto. A pesar de que el WiMAX Forum aún no ha definido un perfil de certificación para ellos, los fabricantes garantizan la interoperabilidad entre ellos. Además, los equipos contienen las características técnicas definidas por el estándar 802.16. [CYTED13]

Según un estudio presentado por la Universidad Rey Juan Carlos (Madrid, España), señala que a pesar de que el ecosistema WiMAX, en general, sí pudiera estar en problemas, la viabilidad de contar con equipos WiMAX en bandas libres no peligra para los siguientes años. Esto se debe a que, fundamentalmente, los equipos diseñados para bandas no licenciadas son los más utilizados en los “mercados verticales”, en los cuales se considera que WiMAX tendrá su principal aplicación en el futuro. Los mercados verticales se encuentran orientados a satisfacer las necesidades de un grupo de usuarios con similares requisitos en comunicaciones. [URJC10]

La utilización de las altas frecuencias, como las disponibles en la banda de 5 GHz, impone una restricción cuando se desea establecer enlaces de largas distancias; por lo cual, es necesario que exista una línea de vista radioeléctrica entre ambos extremos del enlace. Dicha limitación, la cual es propia de la banda de frecuencias y no de la tecnología, se soluciona con el empleo de antenas de mayor ganancia y radios de mayor potencia. Cabe resaltar que este es el único factor limitante para establecer un enlace utilizando WiMAX. [CYTED13]

Otra de las consideraciones para las tecnologías que han de ser desplegadas en estos entornos es el bajo consumo de energía, ya que los equipos deberán ser alimentados mediante sistemas autónomos, lo cual encarece los costos de inversión del proyecto. Por lo general, en WiMAX, las

estaciones base tienen un consumo alrededor de los 20 W y las estaciones subscriptoras alrededor de 6 a 10 W. [CYTED13]

Por otro lado, es necesario aclarar que la propiedad NLOS es utilizada en entornos urbanos. En dichos entornos se toma ventaja de la propiedad de reflexión directa de rayos en edificios y construcciones que se encuentren en la trayectoria del enlace. Por tal motivo, en un entorno rural o aislado no es aplicable. Por lo cual, el estudio de RF realizado considera la línea de vista directa (LOS) en los enlaces. [CYTED13]

Además de brindar la mayoría de características necesarias para funcionar en entornos rurales, WiMAX otorga otras particularidades intrínsecas que aportan un gran valor añadido a su uso en dichas zonas. Entre estas tenemos la capacidad de proporcionar servicios IP con garantías de servicio, robustez y esquema de seguridad. [CYTED13]

3.5 Soluciones Comerciales que emplean el estándar 802.16

3.5.1 Equipo WiMAX Modelo LNK-LU150-N- Alentia

La estación base LNK-LU150-N es un equipo que forma parte la nueva familia de radioenlaces punto-punto IP de Alentia Systems. Las características del sistema se presentan en la tabla 3-3. Diseñado conforme al estándar IEEE 802.16-2009.

- Cada enlace proporciona una capacidad de 35 Mbps netos en un canal de 10 MHz.
- Implementa mecanismos de gestión de QoS, separación de servicios y control de latencia.
- Como se muestra en la figura 3-4, el traffic-shaper (conformador de tráfico) es capaz de adaptar instantáneamente la capacidad asignada a cada servicio a las condiciones físicas del canal. De tal manera que la capacidad es garantizada para los servicios prioritarios incluso en canales con condiciones físicas variables en el tiempo.
- La latencia, en condiciones de saturación, del enlace LNK-LU150-N es menor a los sistemas 802.11a/b/g/n como se muestra en la figura 3-5.

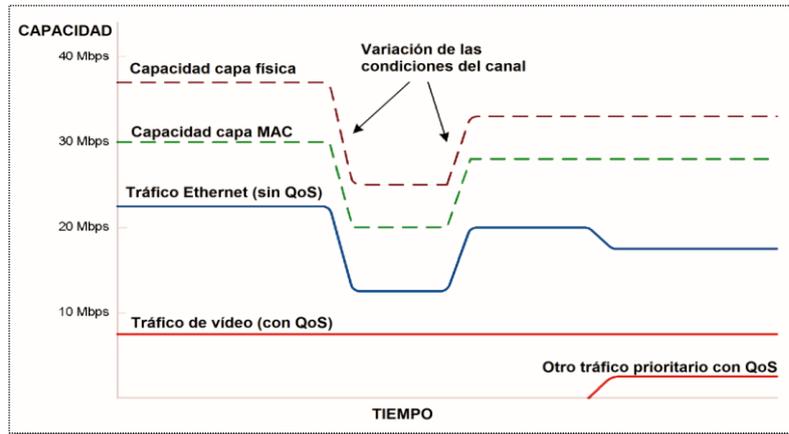


FIGURA 3 - 4: ADAPTACION INSTANTANEA DE LA CAPACIDAD ASIGNADA A CADA SERVICIO
Fuente: [ALB13]

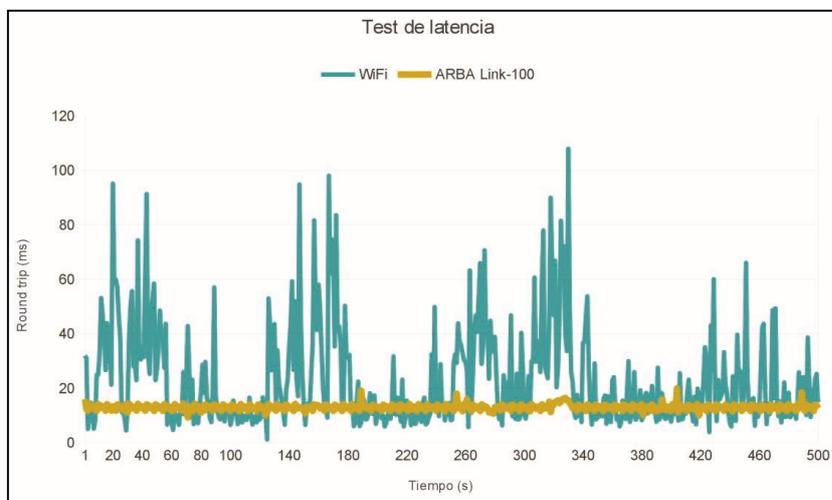


FIGURA 3 - 5: COMPARATIVA DE LATENCIA ROUND-TRIP (IDA Y VUELTA) EN CONDICIONES DE SATURACIÓN DEL ENLACE ENTRE ARBA LINK-100 Y SISTEMA 802.11A/B/G/N
Fuente: [ALB13]

TABLA 3 - 3: CARACTERISTICAS DE LA ESTACION BASE LNK-LU150-N

Fuente: [ALB13]

Parámetros radio	
Rango de frecuencias	4900-5875 MHz
Modulación	OFDM IEEE 802.16-2009
Ancho de banda de canal	3.5,5,7 y 10 MHz
Modulación adaptativa	BPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM
Codificación de corrección de errores en adelante	Reed-Solomon y convolucional IEEE 802.16-2009
Máxima potencia RF	23 dBm
Control de potencia de transmisión	>30 Db
DFS	
Antena	Integrada 23 dBi o conector N
Sensibilidad	-92 dBm/-75 dBm
Tráfico y caudal	
Máxima tasa de transferencia bruta	50 Mbps
Tráfico Ethernet agregado	35 Mbps
Máximo PPS	10
Cifrado	AES 128 y 3DES
Calidad de Servicio	
Control de QoS	QoS en Capa 2. Capacidad mínima o máxima garantizada por servicio
Diferenciación de Servicios	Sí
Flujos diferenciados	16
Gestión	
Interfaces locales de gestión	HTTP / HTTPS / SSH / XML-RPC

3.5.2 Equipo WiMAX Modelo BreezeNET B28- Alvarion

El equipo BreezeNET B28 es una solución implementada por la empresa Alvarion. Las características técnicas del equipo se recogen en la tabla 3-4.

- Trabaja en modo punto a punto.
- Trabaja en bandas no licenciadas (5.8 GHz).
- Largo alcance: más de 60 Km.
- Calidad de servicio (QoS) para datos, voces y video (prioridad de enlace inalámbrico)
- Desempeño robusto en ambiente sin línea de vista (NLOS)
- Caudal máximo: 35 Mbps.

TABLA 3 - 4: CARACTERISTICAS DE LA ESTACION BASE BREEZENET B28
Fuente: [ALV13]

Parámetros radio	
Rango de frecuencias	4900-5875 MHz
Modulación	OFDM IEEE 802.16-2009
Ancho de banda de canal	3.5,5,7 y 10 MHz
Modulación adaptativa	BPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM
Codificación de corrección de errores en adelante	Reed-Solomon y convolucional IEEE 802.16-2009
Máxima potencia RF	23 dBm
Control de potencia de transmisión	>30 Db
DFS	
Antena	Integrada 23 dBi o conector N
Sensibilidad	-92 dBm/-75 dBm
Tráfico y caudal	
Máxima tasa de transferencia bruta	50 Mbps
Tráfico Ethernet agregado	35 Mbps
Máximo PPS	10
Cifrado	AES 128 y 3DES
Calidad de Servicio	
Control de QoS	QoS en Capa 2. Capacidad mínima o máxima garantizada por servicio
Diferenciación de Servicios	Sí
Flujos diferenciados	16
Gestión	
Interfaces locales de gestión	HTTP / HTTPS / SSH / XML-RPC

3.5.3 Equipo de Solución Propietaria Modelo RADWIN 2000 Serie C-Radwin

El equipo RADWIN 2000 Serie C ha sido diseñado para backhaul IP y TDM. Las especificaciones técnicas se recogen en la tabla 3-5.

- Radios de capacidad extra que brindan un rendimiento neto agregado de hasta 200 Mbps (100 simétricos).
- Simple de instalar y mantener.
- Las soluciones RADWIN Serie C operan en entornos dificultosos: escenarios sin línea de vista, ambientes de alta interferencias, y temperaturas extremas.

TABLA 3 - 5: CARACTERISTICAS DE RADWIN 2000-C

Fuente: [RAD13]

Parámetros radio	
Rango de frecuencias	2,302-2,472 GHz, 3,400-3,700 GHz y 4,800-6,060 GHz
Modulación	2x2 MIMO-OFDM
Ancho de banda de canal	10/20/40 MHz
Modulación adaptativa	Soportada
Codificación de errores en adelante	Reed-Solomon y convolucional IEEE 802.16-2009
Máxima potencia RF	26 dBm/ -67
Control de potencia de transmisión	No especificado por el fabricante
DFS	Sí
Antena	Antenas externas
Sensibilidad	-88 dBm/ -67 dBm
Tráfico y Caudal	
Máxima tasa de transferencia bruta	100 Mbps
Tráfico Ethernet agregado	No especificado por el fabricante
Máximo PPS	No especificado por el fabricante
Cifrado	AES 128
Calidad de Servicio	
Control de QoS	Soportado 4 niveles
Diferenciación de Servicios	No especificado por el fabricante
Flujos diferenciados	No especificado por el fabricante
Gestión	
Interfaces locales de gestión	No especificado por el fabricante

3.5.4 Equipo de Solución Proprietaria Modelo RDL-3000-RedLine

El equipo RDL-3000 es un sistema inalámbrico de próxima generación de Redline. Las características técnicas se recogen en la tabla 3-6.

- Gestiona múltiples flujos de datos para ampliar la cobertura.
- Alta velocidad y baja latencia.
- Capacidad de ser configurado por software para brindar enlaces punto a punto (PTP) o punto a multipunto (PMP)
- Utiliza aceleradores de hardware y tecnología MIMO. Incorpora antenas MIMO 2x2.
- En la configuración de PTP, RDL -3000 ofrece 100 Mbps hasta 100 Km.

TABLA 3 - 6: CARACTERISTICAS DE EQUIPO REDLINE 3000

Fuente: [RED13]

Parámetros radio	
Rango de frecuencias	2300-2700 MHz, 3300-3800 MHz, 4940-5875 MHz
Modulación	OFDM 2 x 2 A/B MIMO
Ancho de banda de canal	3.5/5/7/10/14/20 MHz
Modulación adaptativa	BPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM
Codificación de errores en adelante	No especificado por el fabricante
Máxima potencia RF	26 dBm
Control de potencia de transmisión	No especificado por el fabricante
DFS	No especificado por el fabricante
Antena	Antena externa
Sensibilidad	-88 dBm/ -67 dBm
Tráfico y Caudal	
Máxima tasa de transferencia bruta	>120 Mbps
Tráfico Ethernet agregado	100 Mbps
Máximo PPS	>150,000 PPS
Cifrado	AES-128
Calidad de Servicio	
Control de QoS	802.1 p/Q, CIR, PIR support,
Diferenciación de Servicios	Sí
Flujos diferenciados	Múltiples flujos de servicio por subscriptor
Gestión	
Interfaces locales de gestión	ClearView, HTTP (Web) HTTPS (SSL), SSH

3.6 Comparativa WiFi-WiMAX

Además de las soluciones propietarias basadas en Wi-Fi (Microtik, Uiquiti, entre otras), existen diferentes proyectos de despliegue en zonas rurales de países en desarrollo que aprovechan la posibilidad de emplear equipos estándar Wi-Fi y adecuarlos para enlaces de largas distancias. Este hecho, unido a la existencia de una gran oferta de radios Wi-Fi de elevadas potencia (hasta 26 dBm) y la alternativa de emplear la banda de 2.4 GHz, en la cual las ondas electromagnéticas se propagan mejor que en la banda de 5 GHz supone que se pueden realizar enlaces más largos con esta tecnología que con WiMAX. [CYTED13]

La probabilidad de emplear radios de elevada potencia es solo una de las ventajas que brinda la construcción de nodos Wi-Fi a la medida de los requisitos de la red, lo que agrega mayor flexibilidad al despliegue de red de WiMAX. [CYTED13]

Por otro lado, las soluciones de WiMAX ofrecen distintas ventajas que, dependiendo de la situación, podrían competir con las mencionadas para Wi-Fi. Dichas soluciones, dado que han sido producidas en serie y particularmente diseñadas para zonas rurales, dan robustez altamente superior a la brindada por las soluciones ad-hoc Wi-Fi, cuyo mantenimiento es más complejo

debido a la diversidad de aplicaciones y componentes físicos que conforman la solución final. [CYTED13]

Además se debe añadir la posibilidad de brindar calidad de servicio estricta, la cual es la principal ventaja de WiMAX frente a Wi-Fi, la cual emplea una capa MAC estadística con acceso al medio por contienda y transmisión por ráfagas. El acceso al medio por contienda involucra que ningún elemento coordina el acceso al canal, lo cual puede dar como resultado colisiones entre dos o más usuarios intentando transmitir al mismo tiempo. Cuando el número de usuarios es elevado, las probabilidades de colisión incrementan; por lo tanto, la capacidad de la red se reduce. De esta manera, se hace imposible garantizar determinados niveles de calidad de servicio. La tabla 3-7 muestra la comparación entre la tecnología anterior (WiFi) y la tecnología que será empleada para el mejoramiento: WiMAX. [CYTED13]

TABLA 3 - 7: COMPARATIVA ENTRE WIFI Y WIMAX

Fuente: [ALB09]

	WiFi - 802.11g	WiMAX - 802.16
CAPA FÍSICA		
Modulación	BPSK, QPSK1/2, QPSK 2/3, 16QAM1/2, 16QAM3/4, 64QAM 2/3, 64QAM3/4	BPSK, QPSK1/2, QPSK 2/3, 16QAM1/2 , 16QAM3/4, 64QAM2/3, 64-QAM3/4
Número de subportadoras OFDM	64 subportadoras (52 empleadas)	256 subportadoras (200 empleadas)
BW canal	20 MHz (16, 25 MHz reales)	10 MHz (9 MHz reales) Mayor número de canales disponibles
Prefijo cíclico	¼	1/4, 1/8 , 1/16 y 1/32
Diseñado para entornos	Interiores	Exteriores
Capacidad bruta máxima	54 Mbps	37,7 Mbps
CAPA MAC		
Acceso al medio	MAC estadística Transmisión a ráfagas Con contienda Escucha/espera aleatorias	MAC determinista Sistema entramado Libre de contienda Sin silencios
Caudal neto máximo	< 22 Mbps No garantizado	34,4 Mbps Garantizado
Eficiencia MAC	<40%	92%
Calidad de servicio	Garantías relativas Hasta nivel 3	Garantías absolutas Hasta nivel 2. Permite asignación de recursos

Capítulo 4

DISEÑO DE LA RED DE TELECOMUNICACIONES

4.1 Introducción

En este capítulo se presentara el diseño propuesto, en base a los requerimientos presentados en el segundo capítulo. Asimismo, la selección de equipos y la calidad de servicio en base al análisis realizado en el tercer capítulo. Finalmente, se muestra la propuesta económica considerando el costo de equipos y mantenimiento de los mismos.

4.2 Elección de Frecuencia de Trabajo

Se elegirá la banda 5725-5875 MHz cuya frecuencia central es 5800 MHz. Esta ha sido destinada para aplicaciones científicas, industriales y médicas. Al ser una banda libre, está sujeta a aceptar la interferencia perjudicial de las aplicaciones anteriormente mencionadas. De esta banda, la banda de 5725-5850 MHz está atribuida para servicios fijo y/o móvil, público y/o privado. [MTC05] [MTC05a]

Los servicios que se brinden y los equipos que operen en la banda 5.725-5.850 GHz deben cumplir con las siguientes características:

- La potencia isotrópica radiada equivalente (PIRE) máxima no debe exceder de 36 dBm (1 W) para la frecuencia de 5.8 GHz
- La potencia pico máxima de salida de un transmisor no debe exceder de 30 dBm

- Está prohibido utilizar amplificadores, transmisores o cualquier dispositivo similar que modifique las condiciones de PIRE máxima mencionadas anteriormente
- Emplear un mecanismo de detección de radar de selección dinámica de frecuencia. El umbral de detección para equipos con una PIRE entre 200 mW es -64 dBm.
- En zonas rurales y en los lugares considerados de preferente interés social no hay restricciones de la ganancia de las antenas.
- Se pueden emplear diferentes técnicas de transmisión o modulación digital, las cuales permitan la mutua coexistencia. Para mayores detalles revisar el anexo 2.

4.3 Cálculo de la capacidad de la Red por Servicio

4.3.1 Cálculo de Ancho de Banda para Datos

Para determinar el ancho de banda de datos se tomó de referencia el libro Andrews, el cual indica un ancho de banda de 256 Kbps para un usuario de Internet. [ANDR07]

La tabla 4-1 muestra los cálculos de capacidad requeridos por los servicios de datos. La capacidad requerida por una computadora es 256 Kbps. El factor de simultaneidad se coloca para cada caso. Para el caso de una sola computadora se asume 100%. Para nueve computadoras, de 20%. Para las cantidades intermedias de computadoras, el factor de simultaneidad se elabora de acuerdo al rango.

TABLA 4 - 1: CALCULO DE CAPACIDAD PARA EL SERVICIO DE DATOS

Fuente: "Elaboración propia"

Número	Nodos	Computadoras	Velocidad (Mbps)	Factor de Simultaneidad	Caudal (Mbps)
1	Cabo Pantoja	9	2,304	20,00%	0,4608
2	Torres Causana	2	0,512	80,00%	0,4096
3	Tempestad	2	0,512	80,00%	0,4096
4	Túpac Amaru	0	0	0,00%	0
5	Angoteros	2	0,512	80,00%	0,4096
6	Campo Serio	2	0,512	80,00%	0,4096
7	Rumi Tuni	2	0,512	80,00%	0,4096
8	San Rafael	2	0,512	80,00%	0,4096
9	Copal Urco	2	0,512	80,00%	0,4096
10	Santa Clotilde	9	2,304	20,00%	0,4608
11	Tacsha Curaray	2	0,512	80,00%	0,4096
12	Negro Urco	2	0,512	80,00%	0,4096
13	Tuta Pishco	2	0,512	80,00%	0,4096
14	Huamán Urco	2	0,512	80,00%	0,4096
15	Mazán	9	2,304	20,00%	0,4608
16	Petro Perú	0	0	0,00%	0
17	Hospital Regional de Loreto	0	0	0,00%	0
Total		49	12,544		5,888

4.3.2 Cálculo del Ancho de Banda para Telefonía

Como se ha mencionado anteriormente se considerará tecnología VoIP para la transmisión de voz. Para el cálculo de ancho de banda necesario para la transmisión de la señal de voz debe considerarse el formato final del paquete de voz y el codificador. En el anexo 4, en la sección Telefonía VoIP, se presenta las características de los codificadores más comunes para poder seleccionar el más adecuado.

Desde la perspectiva económica, es muy recomendable emplear codificadores que consigan la mayor tasa de compresión. No obstante, al tener un mayor nivel de compresión, la calidad de la voz será menor. Por lo tanto, se debe llegar a una solución de compromiso.

Se ha decidido trabajar con el codificador G.729a debido a que brinda una mayor calidad de voz y un ancho de banda relativamente bajo. Este es el más utilizado para aplicaciones de VoIP.

Utilizando la lista de codecs de Cisco (para ver la lista de codecs revisar el anexo 4 en la sección Codecs de Voz), se determina que el ancho de banda por línea telefónica es de 29.6 Kbps.

De acuerdo a los requerimientos, todos los teléfonos deben poder comunicarse en simultáneo. En la tabla 4-2, se muestra el cálculo de capacidad para el servicio de telefonía.

TABLA 4 - 2: CALCULO DE CAPACIDAD PARA EL SERVICIO DE TELEFONIA
Fuente: “Elaboración propia”

Número	Nodos	Equipos Telefónicos	Velocidad (Mbps)	Factor de Simultaneidad	Caudal (Mbps)
1	Cabo Pantoja	7	0,21	100,00%	0,21
2	Torres Causana	1	0,03	100,00%	0,03
3	Tempestad	1	0,03	100,00%	0,03
4	Túpac Amaru	1	0,03	100,00%	0,03
5	Angoteros	1	0,03	100,00%	0,03
6	Campo Serio	1	0,03	100,00%	0,03
7	Rumi Tuni	1	0,03	100,00%	0,03
8	San Rafael	1	0,03	100,00%	0,03
9	Copal Urco	1	0,03	100,00%	0,03
10	Santa Clotilde	9	0,27	100,00%	0,27
11	Tacsha Curaray	1	0,03	100,00%	0,03
12	Negro Urco	1	0,03	100,00%	0,03
13	Tuta Pishco	1	0,03	100,00%	0,03
14	Huamán Urco	1	0,03	100,00%	0,03
15	Mazán	7	0,21	100,00%	0,21
16	Petro Perú	1	0,03	100,00%	0,03
17	Hospital Regional de Loreto	5	0,15	100,00%	0,15
Total		41	1,23		1,23

4.3.3 Cálculo de Ancho de Banda para Videoconferencia

El GTR-PUCP realizó una prueba de videoconferencia empleando dos equipos configurados con una resolución de 1280x800 píxeles, una velocidad de tramas de 30 cuadros por segundo y H264 como formato de compresión. De lo cual, se obtuvo un ancho de banda requerido (de cliente a servidor) de 80,9 bytes/segundo ($=80.9*8= 0,800$ Mbps), que presenta a una persona realizando saludos con ambas manos; la prueba se muestra en la figura 4-1. Por lo tanto, se empleará 1 Mbps como referencia para garantizar una buena calidad de videoconferencia.

```

run 0:09:51 device eth0          pkt[filter]: none
[c]ntfilter: on [b]ps=bytes/s [l]ocal aggr: none      [r]emote aggr: none
Paused. Press any key to resume.

```

LOCAL (IP)	REMOTE (IP)	PORT	PROTO	PORT	TXBPS TX	RXBPS RX	TOTALBPS TOTAL
10.10.26.6	10.10.21.3	554	TCP	51052	89.6k/s	1.39k/s	90.9k/s
10.10.26.6	10.10.21.3	554	TCP	51052	42.1m	832k	42.9m
10.10.27.6	10.10.21.3	554	TCP	51058	89.1k/s	1.21k/s	90.3k/s
10.10.27.6	10.10.21.3	554	TCP	51058	39.3m	594k	39.8m
10.10.22.6	10.10.21.3	554	TCP	51053	68.6k/s	1.24k/s	69.8k/s
10.10.22.6	10.10.21.3	554	TCP	51053	39.9m	766k	40.6m
10.10.23.6	10.10.21.3	554	TCP	51054	66.3k/s	1.25k/s	67.6k/s
10.10.23.6	10.10.21.3	554	TCP	51054	37.7m	717k	38.4m
10.10.25.6	10.10.21.3	554	TCP	51055	65.8k/s	1.46k/s	67.3k/s
10.10.25.6	10.10.21.3	554	TCP	51055	37.5m	798k	38.2m
TOTAL					379k/s	6.56k/s	386k/s
					196m	3.63m	200m

FIGURA 4 - 1: ANCHO DE BANDA DE VIDEOCONFERENCIA

Fuente: "Elaboración propia"

La tabla 4-3 muestra los cálculos de capacidad requeridos por los servicios de videoconferencia. La capacidad requerida para un servicio de videoconferencia es de 1 Mbps. Para el cálculo de capacidad de videoconferencia, se considera que existirán ocho videoconferencias a la vez en todo el trayecto de la red. De esta forma, se cumple el requerimiento de tener como mínimo tres sesiones de videoconferencia en simultáneo.

TABLA 4 - 3: CALCULO DE CAPACIDAD PARA EL SERVICIO DE VIDEOCONFERENCIA

Fuente: “Elaboración propia”

Número	Nodos	Computadoras de videoconferencia	Velocidad (Mbps)	Factor de Simultaneidad	Caudal (Mbps)
1	Cabo Pantoja	1	1	100,00%	1
2	Torres Causana	1	1	100,00%	1
3	Tempestad	1	1	100,00%	1
4	Túpac Amaru	1	0	100,00%	0
5	Angoteros	0	0	100,00%	0
6	Campo Serio	1	0	100,00%	0
7	Rumi Tuni	1	1	100,00%	1
8	San Rafael	1	1	100,00%	1
9	Copal Urco	1	0	100,00%	0
10	Santa Clotilde	1	1	100,00%	1
11	Tacsha Curaray	1	0	100,00%	0
12	Negro Urco	1	0	100,00%	0
13	Tuta Pishco	1	1	100,00%	1
14	Huamán Urco	1	0	100,00%	0
15	Mazán	1	1	100,00%	1
16	Petro Perú	0	0	100,00%	0
17	Hospital Regional de Loreto	0	0	100,00%	0
Total		14	8		8

4.4 Cálculo de capacidad de la Red

Las tablas 4-4, 4-5, 4-6, 4-7,4-8, 4-9, 4-10, 4-11 y 4-12 muestran la capacidad requerida por cada uno de los nodos de la red del Napo, de acuerdo a los servicios brindados: datos, voz y vídeo.

TABLA 4 - 4: CALCULO DE CAPACIDAD TOTAL PARA CABO PANTOJA Y TORRES CAUSANA

Fuente: “Elaboración propia”

Servicios/Nodos	Cabo Pantoja		Torres Causana	
	Tráfico generado	Tráfico acumulado	Tráfico generado	Tráfico acumulado
Datos	0,4608	0,4608	0,4096	0,8704
Voz	0,21	0,21	0,03	0,24
Vídeo	1	1	1	2
Total(Mbps)	1,6708	1,6708	1,4396	3,1104

TABLA 4 - 5: CALCULO DE CAPACIDAD TOTAL PARA TEMPESTAD Y TUPAC AMARU

Fuente: “Elaboración propia”

Servicios/Nodos	Tempestad		Túpac Amaru	
	Tráfico generado	Tráfico acumulado	Tráfico generado	Tráfico acumulado
Datos	0,4096	1,28	0	1,28
Voz	0,03	0,27	0,03	0,3
Vídeo	1	3	0	3
Total(Mbps)	1,4396	4,55	0,03	4,58

TABLA 4 - 6: CALCULO DE CAPACIDAD TOTAL PARA ANGOTEROS Y CAMPO SERIO

Fuente: “Elaboración propia”

Servicios/Nodos	Angoteros		Campo Serio	
	Tráfico generado	Tráfico acumulado	Tráfico generado	Tráfico acumulado
Datos	0,4096	1,6896	0,4096	2,0992
Voz	0,03	0,33	0,03	0,36
Vídeo	0	3	0	3
Total(Mbps)	0,4396	5,0196	0,4396	5,4592

TABLA 4 - 7: CALCULO DE CAPACIDAD TOTAL PARA RUMI TUNI Y SAN RAFAEL

Fuente: “Elaboración propia”

Servicios/Nodos	Rumi Tuni		San Rafael	
	Tráfico generado	Tráfico acumulado	Tráfico generado	Tráfico acumulado
Datos	0,4096	2,5088	0,4096	2,9184
Voz	0,03	0,39	0,03	0,42
Vídeo	1	4	1	5
Total(Mbps)	1,4396	6,8988	1,4396	8,3384

TABLA 4 - 8: CALCULO DE CAPACIDAD TOTAL PARA COPAL URCO Y SANTA CLOTILDE

Fuente: “Elaboración propia”

Servicios/Nodos	Copal Urco		Santa Clotilde	
	Tráfico generado	Tráfico acumulado	Tráfico generado	Tráfico acumulado
Datos	0,4096	3,328	0,4608	3,7888
Voz	0,03	0,45	0,27	0,72
Vídeo	0	5	1	6
Total(Mbps)	0,4396	8,778	1,7308	10,5088

TABLA 4 - 9: CALCULO DE CAPACIDAD TOTAL PARA TACSHA CURARAY Y NEGRO URCO

Fuente: “Elaboración propia”

Servicios/Nodos	Tacsha Curaray		Negro Urco	
	Tráfico generado	Tráfico acumulado	Tráfico generado	Tráfico acumulado
Datos	0,4096	4,1984	0,4096	4,608
Voz	0,03	0,75	0,03	0,78
Vídeo	0	6	0	6
Total(Mbps)	0,4396	10,9484	0,4396	11,388

TABLA 4 - 10: CALCULO DE CAPACIDAD TOTAL PARA TUTA PISHCO Y HUAMAN URCO

Fuente: “Elaboración propia”

Servicios/Nodos	Tuta Pishco		Huamán Urco	
	Tráfico generado	Tráfico acumulado	Tráfico generado	Tráfico acumulado
Datos	0,4096	5,0176	0,4096	5,4272
Voz	0,03	0,81	0,03	0,84
Vídeo	1	7	0	7
Total(Mbps)	1,4396	12,8276	0,4396	13,2672

TABLA 4 - 11: CALCULO DE CAPACIDAD TOTAL PARA MAZAN Y PETRO PERU

Fuente: “Elaboración propia”

Servicios/Nodos	Mazán		Petro Perú	
	Tráfico generado	Tráfico acumulado	Tráfico generado	Tráfico acumulado
Datos	0,4608	5,888	0	5,888
Voz	0,21	1,05	0,03	1,08
Vídeo	1	8	0	8
Total(Mbps)	1,6708	14,938	0,03	14,968

TABLA 4 - 12: CALCULO DE CAPACIDAD TOTAL PARA HOSPITAL REGIONAL DE LORETO

Fuente: “Elaboración propia”

Servicios/Nodo	Hospital Regional de Loreto	
	Tráfico generado	Tráfico acumulado
Datos	0	5,888
Voz	0,15	1,23
Vídeo	0	8
Total(Mbps)	0,15	15,118

4.5 Selección de Equipos

Se debe llevar a cabo la selección de los equipos que serán instalados. Dichos equipos y el uso que de ellos se realice han de cumplir, en el caso de Perú, con las normas legales vigentes establecidas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC), dentro del ámbito de su competencia. Asimismo, se debe garantizar que se dispondrá de repuestos, suministro, accesorios y, en general, de cualquier elemento, utilizado por los equipos empleados, en el mercado nacional por un período mayor a cinco años. De la misma manera, estos equipos deben satisfacer los estándares internacionales (ITU, ETSI, IEEE) para los propósitos que sean adquiridos. [GTR11] De acuerdo a la tabla 4-13, se ha seleccionado el equipo LNK-LU150-N porque posee una buena relación entre rendimiento, consumo de energía y precio. El equipo implementa los cinco tipos de calidad de servicio de WiMAX; de esta forma, el equipo es más flexible y brinda la posibilidad de elegir el tipo de QoS que se acomode mejor a las características de la nueva red. El equipo posee un bajo consumo de energía; por lo tanto, requiere de menor cantidad de paneles y baterías. Por otro lado, asegura una velocidad máxima de 35 Mbps (en un sentido), la cual es suficiente para satisfacer las necesidades de la nueva red de acuerdo al cálculo de capacidad realizado anteriormente. Además trabaja en la banda de 5.8 GHz. Finalmente, el equipo tiene un precio competitivo respecto a las otras alternativas de solución.

TABLA 4 - 13: COMPARATIVA ENTRE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCION

Fuente: “Elaboración propia”

Equipos	Potencia de transmisión (dBm)	Sensibilidad del Receptor (dBm)	Calidad de Servicio	Rendimiento (Mbps)	Potencia (W)	Ancho de banda de canal(MHz)	Precio Referencial (dólares)
LNK-LU150-N	23	-74	BE, RTPS, NRTPS, ERTPS y UGS	35	10	1.75/3.5/7 /10	76.800,00
BreezeNET B28	21	-70	Prioridad de Enlace Inalámbrico	35	25	10/20/40	120.258,56
RADWIN 2000 Serie C	25	-70	802.1p Servicio Diferenciado	100	15	10/20/40	252.709,60
RDL-3000	IEEE 802.3at	-70	802.1 p/Q	120	60	3.5/5/7/10/14/20	167.851,42

4.6 Selección de Modulación a utilizar y Ancho de Banda del Canal

Para los cálculos de las prestaciones de la red WiMAX, se tomarán parámetros y características tanto de los equipos como del estándar IEEE802.16-2009 debido a que es el estándar soportado por el equipo seleccionado. [IEEE09] [ALB13] [ANDR07]

En la tabla 4-14, se muestran las sensibilidades que el equipo seleccionado necesita para un óptimo funcionamiento por cada ancho de banda de canal soportado por el mismo.

TABLA 4 - 14: SENSIBILIDADES LNK-LU150-N

Fuente: [ALB13]

Id.Tx	Modulación	SNR (dB)	1.75 MHz (dBm)	3.5 MHz (dBm)	7 MHz (dBm)	10 MHz (dBm)
1	BPSK 1/2	6	-99.5	-96.5	-93.5	-92
2	QPSK 1/2	9	-96.5	-93.5	-90.5	-89
3	QPSK 3/4	12	-94	-91	-88	-86.5
4	16 QAM 1/2	15	-91	-88	-85	-83.5
5	16 QAM3/4	18	-87.5	-84.5	-81.5	-80
6	64QAM 2/3	22	-83.5	-80.5	-77.5	-76
7	64 QAM 3/4	24	-81.5	-78.5	-75.5	-74

De acuerdo a los cálculos realizados, los equipos han de estar configurados con anchos de banda de canal (BW_{canal}) de 10 MHz, debido a que en este se logra las mayores velocidades para las distintas modulaciones que se puedan emplear. La red se ha dividido en dos segmentos de red; En la figura 4-2, se muestra las modulaciones elegidas para estos.

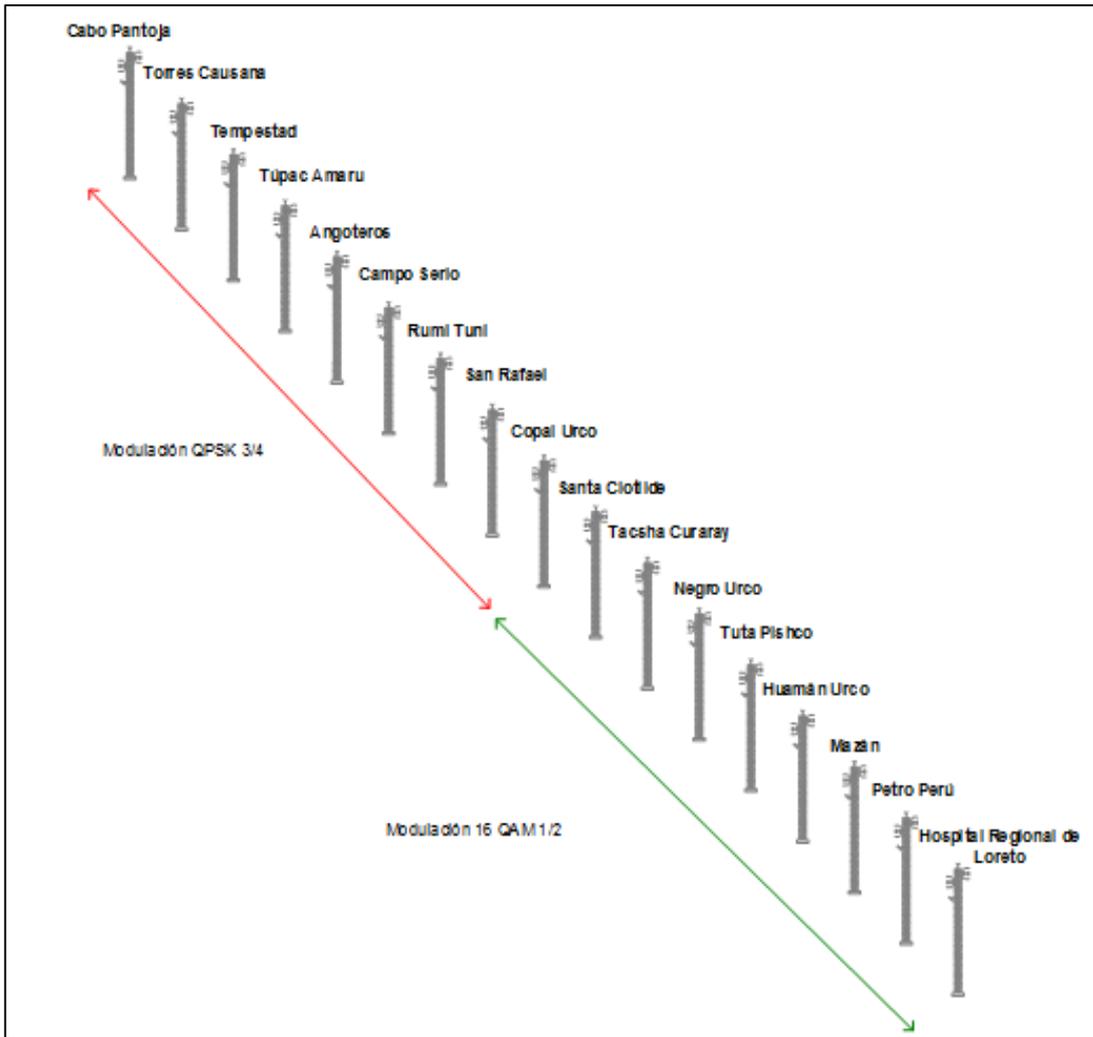


FIGURA 4 - 2: MODULACION SELECCIONADA PARA LOS SEGMENTOS DE RED
 Fuente: "Elaboración propia"

4.7 Ubicación de los Nodos de la Red

Para el diseño, se trabajará con las ubicaciones anteriores, las cuales se muestran en la Tabla 4-15. En la figura 4-3 se muestra el esquema de la distribución de los nodos.

TABLA 4 - 15: COORDENADAS DE LOS NODOS Y ALTURA DE LAS TORRES
Fuente: [GTR11]

Número	Nodos	Latitud	Longitud	Altura de la torre (metros)
1	Cabo Pantoja	0°58'12.80"S	75°10'30.10"O	45
2	Torres Causana	1° 6'15.40"S	75° 0'15.80"O	45
3	Tempestad	1°16'57.70"S	74°53'2.30"O	60
4	Túpac Amaru	1°21'47.00"S	74°44'42.00"O	45
5	Angoteros	1°34'6.80"S	74°36'40.60"O	66
6	Campo Serio	1°47'40.80"S	74°42'28.60"O	66
7	Rumi Tuni	2° 3'14.00"S	74°26'10.50"O	90
8	San Rafael	2°21'53.80"S	74° 6'44.10"O	90
9	Copal Urco	2°20'52.10"S	73°47'24.70"O	54
10	Santa Clotilde	2°29'22.40"S	73°40'40.70"O	72
11	Tacsha Curaray	2°48'47.60"S	73°32'27.20"O	72
12	Negro Urco	3° 1'23.10"S	73°23'31.50"O	75
13	Tuta Pishco	3° 6'31.40"S	73° 8'17.50"O	57
14	Huamán Urco	3°19'7.60"S	73°13'1.90"O	66
15	Mazán	3°29'59.90"S	73° 5'28.00"O	69
16	Petro Perú	3°43'32.29"S	73°14'36.25"O	36
17	Hospital Regional de Loreto	3°43'33.80"S	73°15'12.17"O	27



FIGURA 4 - 3: ESQUEMA DE DISTRIBUCION DE LOS NODOS

Fuente: [GTR11]

4.8 Simulación de los Radioenlaces

Se emplea el RadioMobile como herramienta para la simulación de los radio enlaces. Asimismo, se han tomado algunas consideraciones para calificar un enlace como óptimo. La primera de ellas, el nivel de señal en recepción debe estar entre 10 y 15 dB por encima de la sensibilidad del receptor para contrarrestar desvanecimientos de la señal debido al ambiente real donde se instalarán los enlaces. De la misma manera, se debe comprobar que en el punto más crítico que la claridad mínima del enlace debe ser de 20 m, lo cual corresponde con la altura estimada promedio de los árboles. Además, se debe asegurar que el peor Fresnel sea mayor que 0,6 F1. [GTR11]

Se tendrán dos segmentos de red, los cuales estarán configurados con distintas modulaciones. Para el primer segmento de red, que incluye los nodos de Cabo Pantoja hasta Santa Clotilde, se trabajará con la modulación QPSK 3/4 (sensibilidad -86.5 dBm), dado que esta nos permite alcanzar una velocidad de 11.43 Mbps. El segundo segmento de red requiere de mayor velocidad,

por lo cual se trabajará con la modulación 16 QAM 1/2 (sensibilidad -83.5 dBm), la cual permite una velocidad de 15.24 Mbps. La potencia de transmisión para los equipos en dichas modulaciones, recomendados por la empresa Albentia, es de 20 dBm. Se está considerando el tipo de clima Ecuatorial para la simulación. Los resultados de las configuraciones de los radio enlaces se muestran en la tabla 4-16. Estos resultados cumplen los requisitos establecidos anteriormente. La figura 4-4 muestra el resultado de la configuración del enlace más largo: Rumi Tuni-San Rafael. Para observar los resultados de las otras configuraciones de los radioenlaces en el programa Radio Mobile, revisar el anexo 6 Sección Resultados de radio enlaces.

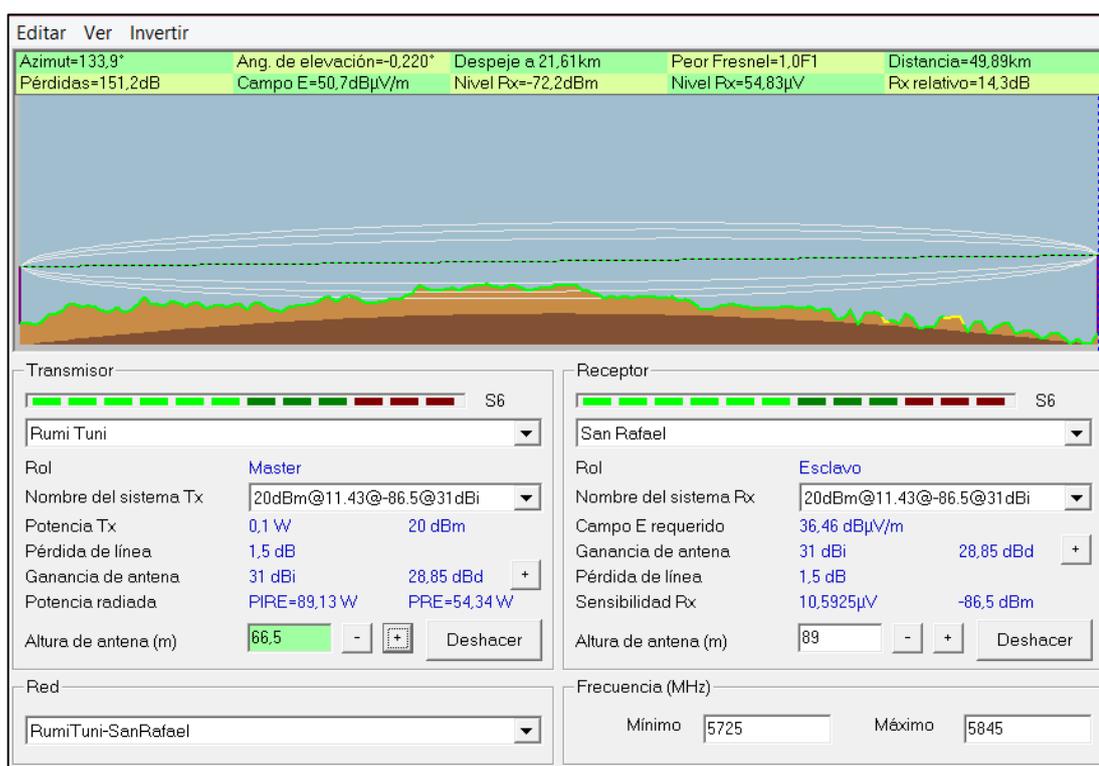


FIGURA 4 - 4: SIMULACION DE RADIOENLACE SAN RAFAEL-RUMI TUNI

Fuente: “Elaboración propia”

TABLA 4 - 16: RESULTADOS DE LOS RADIOENLACES

Fuente: "Elaboración propia"

Id de Tx	Enlaces	Distancia(Km)	Peor Fresnel (F1)	Rx relativo(dB)	Altura de la antena (m)
1	Cabo Pantoja-Torres Causana	24,11	1,0	21,1	CP: 37
					TC: 29
2	Torres Causana-Tempestad	23,92	2,2	19,9	TC: 38
					T: 58
3	Tempestad-Túpac Amaru	17,84	2,9	19,4	T: 51
					TA: 44
4	Túpac Amaru-Angoteros	27,24	1,7	20,9	TA: 44
					A: 52
5	Angoteros-Campo Serio	27,33	2,9	11,9	A: 65
					CS: 63
6	Campo Serio-Rumi Tuni	41,73	1,6	15,3	CS: 54
					RT: 83
7	Rumi Tuni-San Rafael	49,89	1	14,3	RT: 78
					SR: 77
8	San Rafael-Copal Urco	35,83	3	17,1	SR: 89
					CU: 53
9	Copal Urco-Santa Clotilde	20,08	4,2	22,1	CU: 51
					SC: 66
10	Santa Clotilde-Tacsha Curaray	39,05	1	13,9	SC: 63
					TC: 70
11	Tacsha Curaray-Negro Urco	28,58	2,7	15,7	TC: 71
					NU: 74
12	Negro Urco-Tuta Pishco	29,74	1	16,2	NU: 49
					TP: 51
13	Tuta Pishco-Huamán Urco	24,94	2,6	16,1	TP: 55
					HU: 60
14	Huamán Urco-Mazán	24,52	1,7	18	HU: 56,5
					M: 51
15	Mazán-Petro Perú	30,24	1,8	15,1	M: 56,5
					PP: 34,5
16	Petro Perú-Hospital Regional de Loreto	1,11	7,8	30,1	PP: 30
					HR: 23

4.9 Selección de Calidad de Servicio

El tráfico que entra al equipo y que se ha de transmitir debe ser clasificado. Esta clasificación se realiza con el criterio de filtrado por tipo de servicio. Se configura seis flujos de servicio para cada estación base: voz, datos y vídeo.

Para el servicio de datos se le asigna el tipo de calidad de servicio BE dado que para este servicio es tolerable la pérdida de paquetes. Para el servicio de telefonía se le asigna el tipo de calidad de servicio UGS, que fue diseñado para soportar flujos de datos en tiempo real consistentes en paquetes de tamaño fijo. De esta manera, se elimina la sobrecarga y la latencia de las solicitudes de la estaciones subscriptoras y se asegura que las concesiones estén disponibles para satisfacer las necesidades de los flujos. Finalmente, para el servicio de video se asigna el tipo de calidad de servicio RTPS, el cual ha sido diseñado para soportar flujos de servicio en tiempo real. A fin de dar mayor prioridad al tráfico de voz, se utiliza el parámetro propietario QoS Prio. En la tabla 4-17 se explica el porqué de la selección de los tipos de calidad de servicio.

TABLA 4 - 17: SELECCION DE LOS TIPOS DE CALIDAD DE SERVICIO

Fuente: “Elaboración Propia”

Servicio/ Tipo Servicio	BE	NrtPS	rtPS	ertPS	UGS
Datos	Los datos son enviados cuando se dispone de recursos	Constantes sondeos unicast que le dan mayor prioridad al flujo de datos	Optimizado para flujo de vídeo	Constantes mensajes de señalización	Diseñado para servicios como voip
Voz	La información es enviada cuando se dispone de recursos	Respecto a UGS tiene mayor latencia y perdida de paquetes	Optimizado para flujo de vídeo	Constantes mensajes de señalización	Bajos niveles de retardo, latencia y porcentaje de paquetes perdidos
Video	La información es enviada cuando se dispone de recursos	No es útil para vídeo dado que el flujo de información no se transmite en tiempo real	Diseñado para soportar flujos de servicio en tiempo real	Constantes mensajes de señalización	Presenta mayor jitter respecto a rtPS.

4.10 Seguridad

El equipo debe ser configurado con la opción de cifrado AES 128, dado que es más rápido tanto en software como en hardware, relativamente fácil de implementar y requiere poca memoria respecto a la otra alternativa 3DES.

4.11 Configuración del Equipo LNK-LU150-N

El acceso al equipo WiMAX será realizado vía web. El usuario es wmax y la contraseña es wmax. Los equipos WiMAX deben estar configurados con las direcciones IP mostradas en la tabla 4-18. En la ventana Bridging Setup se realizan las configuraciones de networking. Asimismo, en la ventana Radio Setup, se realizan las configuraciones del radio del Master. Los valores de los parámetros a ingresar pueden ser tomados de la tabla 4-19. Los parámetros de calidad de servicio pueden ser configurados en la ventana Flow Description de acuerdo a la tabla 4-20.

TABLA 4 - 18: DIRECCIONES IP DE LOS EQUIPOS WIMAX

Fuente: "Elaboración Propia"

Enlaces	Dirección IP equipo WiMAX
Cabo Pantoja-Torres Causana	CP:10.11.9.3/28
	TC:10.11.9.4/28
Torres Causana-Tempestad	TC:10.11.8.3/28
	T:10.11.8.4/28
Tempestad-Túpac Amaru	T:10.11.7.3/28
	TA:10.11.7.4/28
Túpac Amaru-Angoteros	TA:10.11.6.3/28
	A:10.11.6.4/28
Angoteros-Campo Serio	A:10.11.5.3/28
	CS:10.11.5.4/28
Campo Serio-Rumi Tuni	CS:10.11.4.3/28
	RT:10.11.4.4/28
Rumi Tuni-San Rafael	RT:10.11.3.3/28
	SR:10.11.3.4/28
San Rafael-Copal Urco	SR:10.11.2.3/28
	CU:10.11.2.4/28
Copal Urco-Santa Clotilde	CU:10.11.1.3/28
	SC:10.11.1.4/28
Santa Clotilde-Tacsha Curaray	SC:10.11.17.3/28
	TC:10.11.17.4/28
Tacsha Curaray-Negro Urco	TC:10.11.18.3/28
	NU:10.11.18.3/28
Negro Urco-Tuta Pishco	NU:10.11.19.3/28
	TP:10.11.19.3/28
Tuta Pishco-Huamán Urco	TP:10.11.20.3/28
	HU:10.11.20.3/28
Huamán Urco- Mazán	HU:10.11.21.3/28
	M:10.11.21.3/28
Mazán-Petro Perú	M:10.11.22.3/28
	PP:10.11.22.3/28
Petro Perú-Hospital Regional de Loreto	PP:10.11.23.3/28
	HR:10.11.23.3/28

TABLA 4 - 19: PARAMETROS DE CONFIGURACION DE LOS ENLACES EN EQUIPO WIMAX

Fuente: "Elaboración Propia"

Enlaces	Frecuencia de Canal(MHz)	Duración de la Trama(ms)	Prefijo cíclico	Máxima distancia del Usuario (Km)	Potencia de transmisión (dBm)	Ancho de banda de canal (MHz)
Cabo Pantoja-Torres Causana	5745	10	0,75	24,1	20	10
Torres Causana-Tempestad	5785	10	0,75	29,6	20	10
Tempestad-Túpac Amaru	5745	10	0,75	16,6	20	10
Túpac Amaru-Angoteros	5785	10	0,75	27,1	20	10
Angoteros-Campo Serio	5745	10	0,75	27,1	20	10
Campo Serio-Rumi Tuni	5785	10	0,75	41,6	20	10
Rumi Tuni-San Rafael	5745	10	0,75	49,9	20	10
San Rafael-Copval Urco	5785	10	0,75	36,1	20	10
Copal Urco-Santa Clotilde	5745	10	0,75	19,8	20	10
Santa Clotilde-Tacsha Curaray	5785	10	0,75	39	20	10
Tacsha Curaray-Negro Urco	5745	10	0,5	28,5	20	10
Negro Urco-Tuta Pishco	5785	10	0,5	29,6	20	10
Tuta Pishco-Huamán Urco	5745	10	0,5	24,9	20	10
Huamán Urco- Mazán	5785	10	0,5	24,6	20	10
Mazán-Petro Perú	5745	10	0,5	30,3	20	10
Petro Perú-Hospital Regional de Loreto	5785	10	0,5	29,6	20	10

TABLA 4 - 20: CONFIGURACION DE LA CALIDAD DE SERVICIO

Fuente: "Elaboración propia"

Servicios/Tipo de Servicio	BE	RTPS	UGS	QoS Prio
Datos	X			0
Vídeo		X		1
Voz			X	2

4.12 Distribución de Equipos en la Torre

A 1.5 m de la parte más alta de la torre está instalado el tetrapuntal del pararrayos. De este sale un cable de cobre que se conecta a la puesta a tierra. La puesta a tierra de cada equipo está empalmada a la torre y esta está empalmada a la puesta a tierra en su base. Luego, se colocarán las antenas de acuerdo a las alturas configuradas en el RadioMobile. A 1m de las antenas, se colocarán los equipos WiMAX. La interconexión entre las antenas y los equipos WiMAX serán realizadas mediante cable coaxial. El switch interconectará los equipos WiMAX y la Placa Alix. Se dispondrá de dos controladores de corriente: controlador de corriente para equipos WiMAX, y controlador de corriente para el Switch y la Placa Alix. El primer controlador será conectado, mediante el cable de energía, a los equipos WiMAX, los paneles y baterías. El segundo de ellos será conectado al switch y la placa Alix. Una caja metálica contendrá el switch, los dos controladores de corriente y la placa Alix. Dicha caja será colocada aproximadamente a 2 metros de los equipos WiMAX. A 2 metros debajo de la caja metálica, se colocarán otras cajas metálicas, las cuales contendrán a las baterías. Las baterías (cada una estará colocada dentro de una caja metálica) que alimentarán los equipos WiMAX deberán estar conectadas en paralelo mediante el cable de energía. A esa misma altura se colocarán los soportes de los módulos solares; de tal manera, que cuando se realice mantenimiento en la torre no se presenten problemas para desplazarse a través de la torre. Se puede apreciar la distribución de los equipos en la figura 4-5.

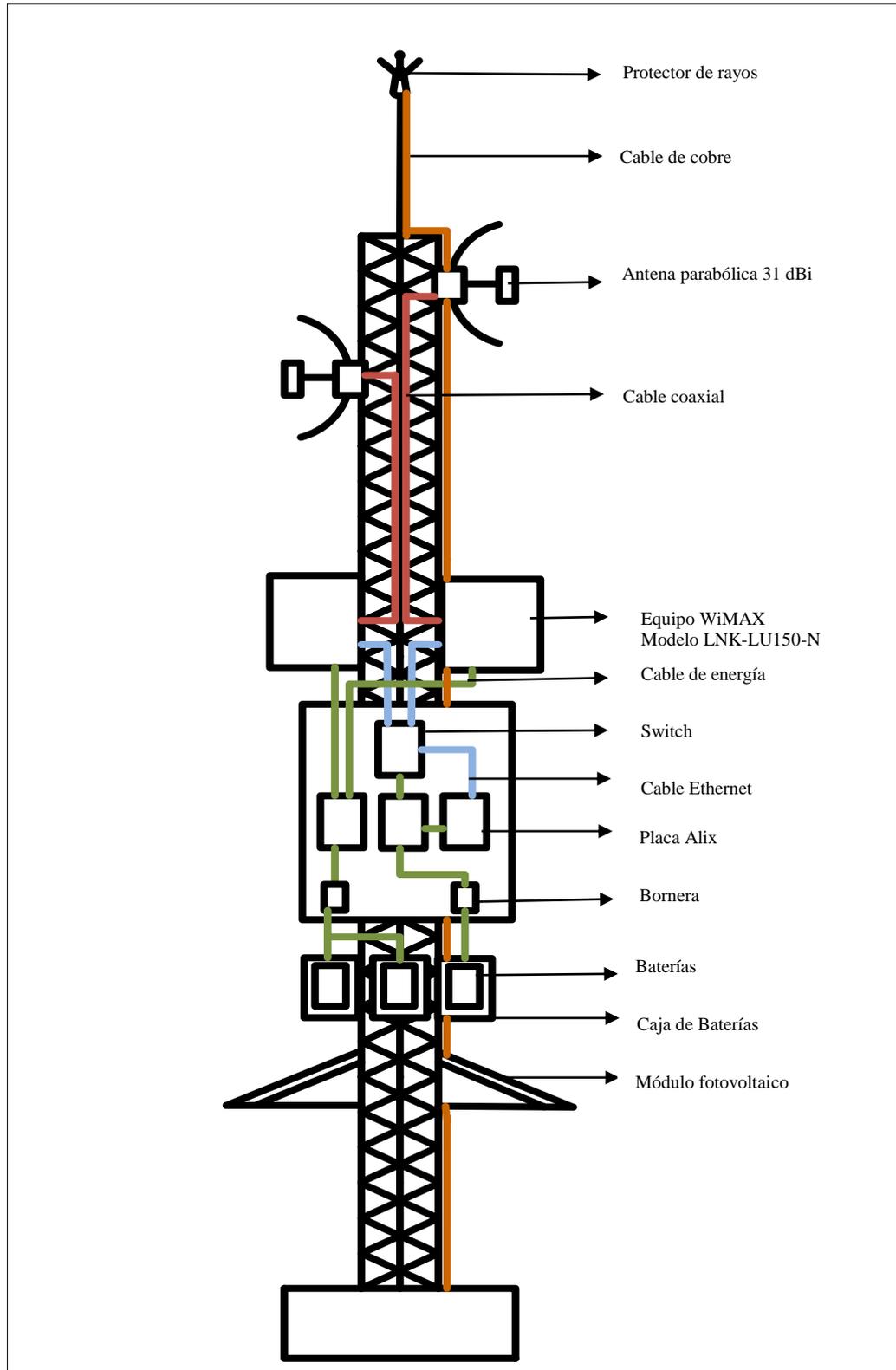


FIGURA 4 - 5: DISTRIBUCION DE EQUIPOS EN LA TORRE
 Fuente: "Elaboración Propia"

4.13 Direccionamiento IP y Protocolos de Enrutamiento para la Red

Para lograr la comunicación entre los nodos se necesita de enrutadores o switch de capa 3 que puedan dirigir el tráfico para cada nodo, dado que los equipos WiMAX solo brindan conexión en la capa 2. Por lo cual, se utilizarán los equipos Alix como enrutadores y se define el tipo de enrutamiento.

Entre los protocolos de enrutamiento para emplear en los enrutadores se puede contar con OSPF y RIP, además de crear rutas estáticas. El protocolo OSPF es más eficiente que RIP por lo que es una buena opción; pero la topología que muestra la red (longitudinal y fija) y además de ser una red inalámbrica favorece más a la implementación de crear rutas estáticas. OSPF posee un buen comportamiento en redes cableadas grandes (50 enrutadores por área); sin embargo, en redes inalámbricas, su comportamiento puede dificultar establecer rápidamente la tabla de rutas en casos donde los enlaces se pierden y se recuperan intermitentemente debido a lluvias fuertes. Por lo tanto, una tabla en base a rutas estáticas tendría una reacción rápida en dichos casos. En las figuras 4-6 y 4-7, se muestra el direccionamiento IP de la red.

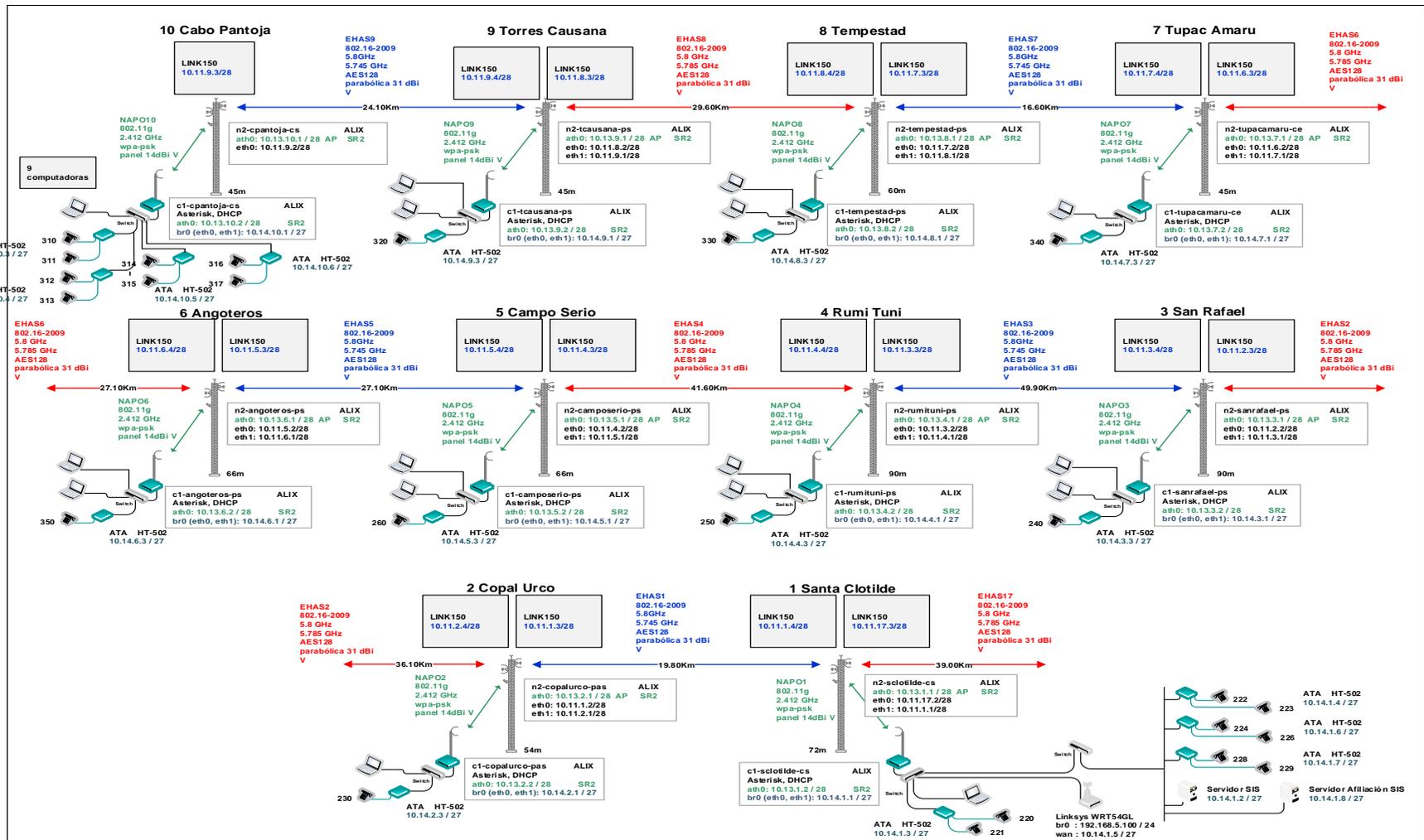


FIGURA 4 - 6: ESQUEMA DE LA NUEVA RED DE NAPO ALTO

Fuente: "Elaboración propia"

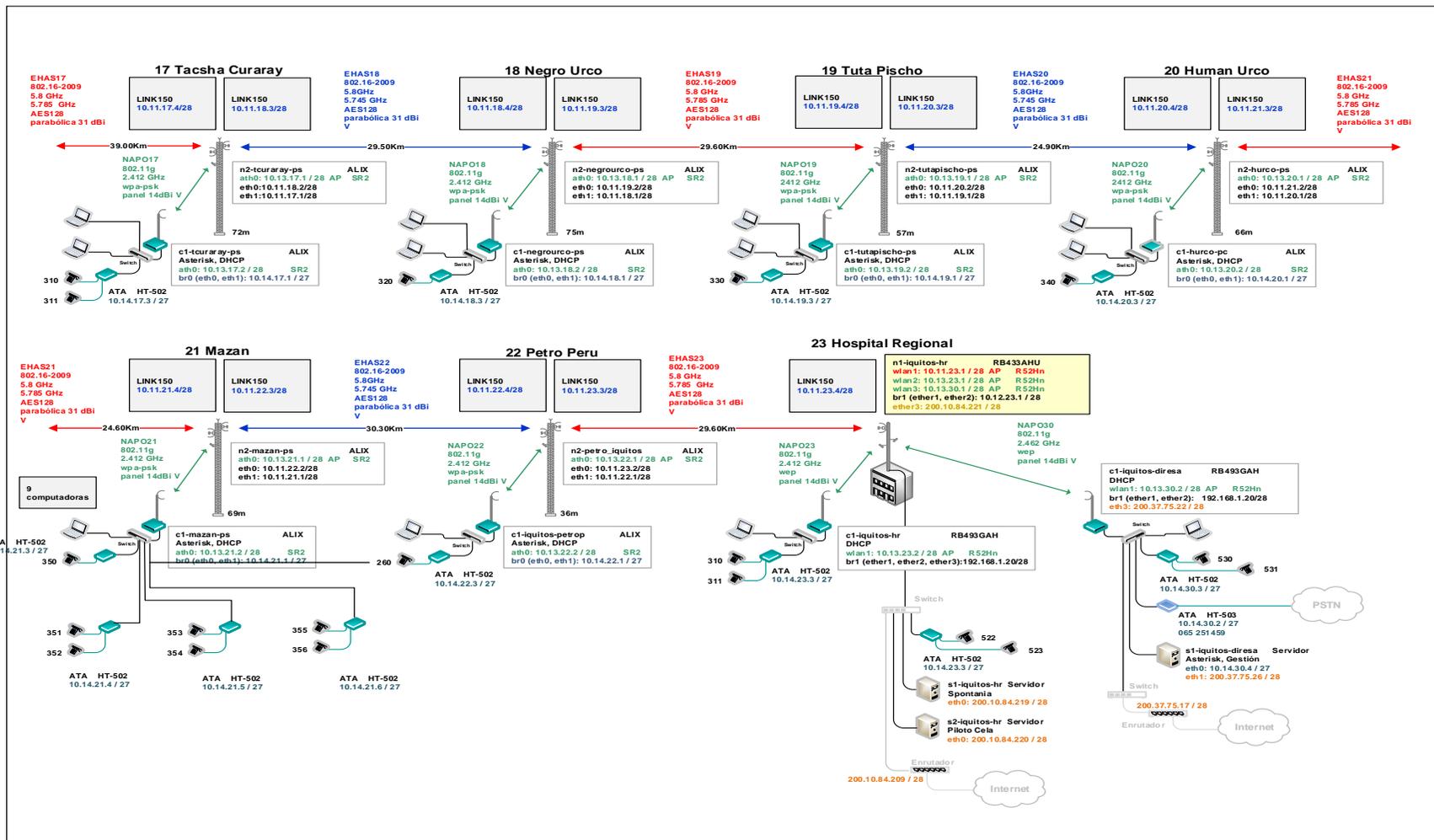


FIGURA 4 - 7: ESQUEMA DE LA NUEVA RED DE NAPO BAJO
Fuente: "Elaboración propia"

4.14 Diseño del Sistema de Energía

Los nodos desde Cabo Pantoja hasta Mazán no disponen de energía eléctrica permanente. Por lo tanto, el GTR-PUCP emplea sistemas fotovoltaicos para la alimentación de los equipos de telecomunicaciones. En la figura 4-8 se muestra la distribución de equipos para el sistema de energía para los equipos WiMAX y en la figura 4-9, la distribución de equipos para la Placa Alix y el Switch.

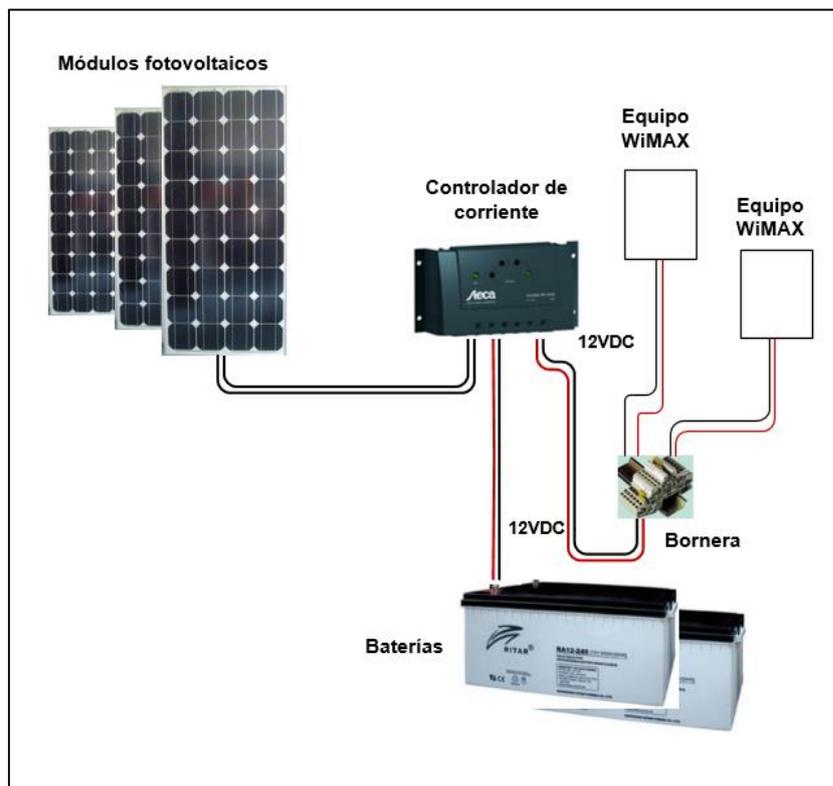


FIGURA 4 - 8: ESQUEMA DEL SISTEMA DE ENERGÍA PARA DOS EQUIPOS WIMAX

Fuente: "Elaboración propia"

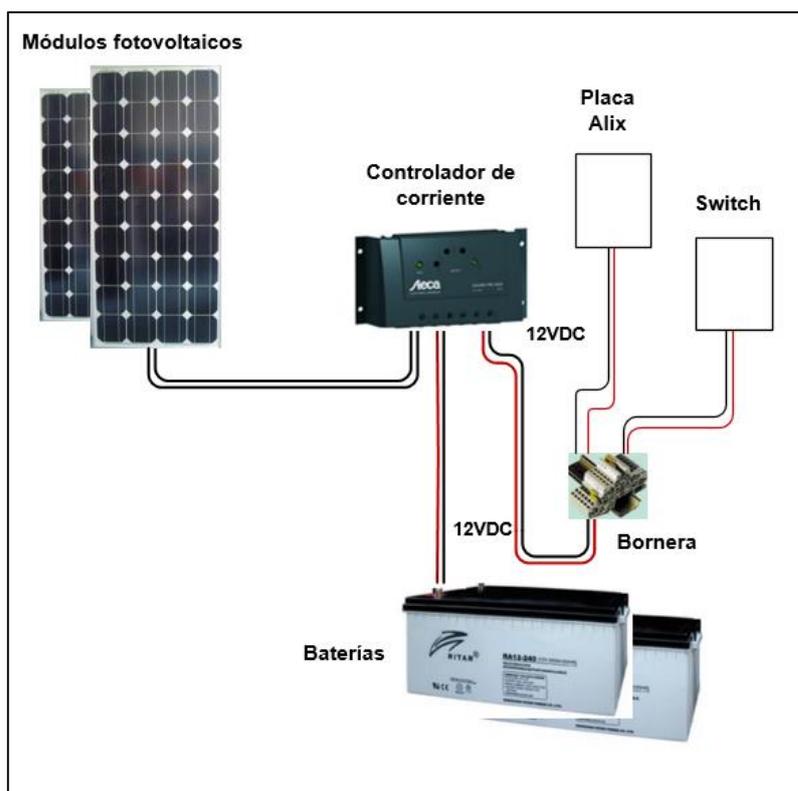


FIGURA 4 - 9: ESQUEMA DEL SISTEMA DE ENERGIA PARA EL SWITCH Y PLACA ALIX

Fuente: “Elaboración propia”

El sistema está conformado por módulos fotovoltaicos y baterías controlados por un controlador de corriente.

Para el diseño del sistema fotovoltaico, se tomará como base el procedimiento utilizado en el GTR , el cual toma como referencia el procedimiento que sigue la empresa SunFields Europe [SUNF10], la cual está posicionada dentro del rubro de consultoría y distribución de los materiales que involucra la instalación de sistemas fotovoltaicos.

Los nodos desde Cabo Pantoja hasta Mazán serán abastecidos de energía por el sistema fotovoltaico y los restantes mediante corriente eléctrica.

El procedimiento del diseño está dividido en tres partes:

- **Estimación del consumo de energía requerido:** Se estima cuanto será la potencia de la carga.
- **Cálculo del número de paneles:** Se calcula la cantidad de paneles solares para brindar la energía necesaria a la carga.
- **Cálculo del número de baterías:** Se calcula la cantidad de baterías para brindar la energía necesaria a la carga.

La relación carga/ descarga es la relación entre la generación y consumo diarios de energía. Idealmente, debería ser 1 para que las baterías estuvieran al 100 % de sus cargas. Sin embargo, se debe considerar ineficiencias de los equipos y pérdidas en el cableado. Por lo cual, se considera un valor mayor a 1,3. Asimismo, de acuerdo al número de paneles y baterías se selecciona los días de autonomía. Los días de autonomía deben ser mayores o igual a tres días. De acuerdo al procedimiento mencionado anteriormente, se obtuvo los siguientes resultados.

La tabla 4-21 muestra que se necesitará de dos paneles y una batería para alimentar un equipo WiMAX. Para este cálculo de capacidad y los demás realizados se ha considerado una capacidad de la batería de 100 A-H y la potencia pico del módulo fotovoltaico de 90 W-P. [ALON13]

TABLA 4 - 21: CALCULO DE ENERGIA PARA UN EQUIPO WIMAX

Fuente: [ALON13]

Cargas	Cantidad	Nº de horas	Potencia	Inversor	W-H/día		
Equipo WiMAX Modelo LNK-LU150-N	1	24	12,0	1	288		
Total de energía necesaria en un día					288 W-H/día		
Pérdidas					1,1 %		
Total energía necesaria					316,8 W-H/día		
Número de paneles		2		Número de baterías(número par)		1	
Potencia pico del módulo	90 W-P	Capacidad de una batería	100 A-H				
Radiación a 1000w/m2(peor mes) en horas	3,50 horas/día	Voltaje de batería	12 VDC				
Total energía generada	630 W-H/día	Capacidad banco de batería	1.200 W-H				
Relación carga/descarga	1,99	Profundidad de descarga	0,8				
				Días de autonomía	3,0		

La tabla 4-22 muestra que se emplearán tres paneles y dos baterías para alimentar dos equipos WiMAX. [ALON13]

TABLA 4 - 22: CALCULO DE ENERGIA PARA DOS EQUIPOS WIMAX

Fuente: [ALON13]

Cargas	Cantidad	Nº de horas	Potencia	Inversor	W-H/día	
Equipo WiMAX Modelo LNK-LU150-N	2	24	12,0	1	576	
Total de energía necesaria en un día					576 W-H/día	
Pérdidas					1,1 %	
Total energía necesaria					633,6 W-H/día	
Número de paneles		<input type="text" value="3"/>	Número de baterías(número par)			<input type="text" value="2"/>
Potencia pico del módulo	90 W-P		Capacidad de una batería	100 A-H		
Radiación a 1000w/m2(peor mes) en horas	3,50 horas/día		Voltaje de batería	12 VDC		
Total energía generada	945 W-H/día		Capacidad banco de batería	2.400 W-H		
Relación carga/descarga	<input type="text" value="1,49"/>		Profundidad de descarga	0,8		
			Días de autonomía	<input type="text" value="3,0"/>		

La tabla 4-23 muestra que se necesitará dos paneles y dos baterías para alimentar la Placa Alix y el Switch Sartra. [ALON13]

TABLA 4 - 23: CALCULO DE ENERGIA PARA PLACA ALIX Y SWITCH

Fuente: [ALON13]

Cargas	Cantidad	Nº de horas	Potencia	Inversor	W-H/día	
Placa Alix	1	24	10,0	1	240	
Switch Sartra	1	24	5,0	1	120	
Total de energía necesaria en un día					360 W-H/día	
Pérdidas					1,1 %	
Total energía necesaria					396,0 W-H/día	
Número de paneles		<input type="text" value="2"/>	Número de baterías(número par)			<input type="text" value="2"/>
Potencia pico del módulo	90 W-P		Capacidad de una batería	100 A-H		
Radiación a 1000w/m2(peor mes) en horas	3,50 horas/día		Voltaje de batería	12 VDC		
Total energía generada	630 W-H/día		Capacidad banco de batería	2.400 W-H		
Relación carga/descarga	<input type="text" value="1,59"/>		Profundidad de descarga	0,8		
			Días de autonomía	<input type="text" value="4,8"/>		

4.15 Propuesta Económica

La tabla 4-24 incluye los precios de los equipos a utilizar, para lo cual se considera básicamente el costo de los nuevos equipos, materiales, entre otros. Para este proyecto no se habla de rentabilidad, puesto que es un proyecto sin retorno de inversión. Se observa de la tabla 4-24 que el mayor costo de inversión es el de los equipos WiMAX.

TABLA 4 - 24: PROPUESTA ECONOMICA DE LA NUEVA RED DE NAPO
Fuente: “Elaboración propia”

Equipos	Características	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Red Troncal				
Unidad punto-punto ARBA Link Serie 100	Banda de Trabajo: 4900-5900 MHz. Conector N 50 Mbps	32	\$2.400,00	\$76.800,00
Antenas parabólicas	Tipo: malla, Ganancia: 31dBi, 90cm. Incluye cable RF 1m	32	\$748,80	\$23.961,60
Switch SATRA	8 Puertos 10/100/1000 Mbps	15	\$16,32	\$244,80
Protector de línea	5.8GHz	32	\$90,00	\$2.880,00
Cable coaxial LMR400	Largo: 2m, incluye conectores	32	\$58,02	\$1.856,64
Cable Ethernet	Largo: 3m Categoría: 5	32	\$5,44	\$174,08
Sistema de balizaje		17	\$600,00	\$10.200,00
Caja Metálicas	Norma: IP 65 con todos los accesorios	15	\$180,00	\$2.700,00
Materiales de instalación	Tuercas, tornillos, vulcanizantes, cintilla	17	\$100,00	\$1.700,00
Energía				
Baterías Sprinter	12 VDC, 100 A-H	59	\$250,22	\$14.762,98
Modulos Fotovoltaicos Sun Earth	90 W-P	74	\$450,00	\$33.300,00
Controlador de Corriente	3A	30	\$118,00	\$3.540,00
Borneras	Para conexiones internas de energía, con sus accesorios	17	\$154,00	\$2.618,00
Caja de Baterías Solares	Norma: IP 65 con todos los accesorios	45	\$180,00	\$8.100,00
Soporte metalico de paneles	Con todos sus accesorios	45	\$141,43	\$6.364,35
Cableado Eléctrico Interno	5m de cables para conexiones eléctricas	17	\$7,23	\$122,91
Materiales de Instalación	Tuercas, tornillos, vulcanizantes, cintilla	17	\$100,00	\$1.700,00
Total				\$191.025,36
Total Soles				S/. 534.871,01

CONCLUSIONES

Finalizado el presente proyecto, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

1. El backhaul de la Red del Napo será implementado en base a equipos WiMAX en 5.8 GHz que permitirá el tráfico de cualquier servicio IP, como voz, datos y video.
2. El nuevo diseño de red plantea el mejoramiento de la capacidad de la red en los enlaces de backhaul. Anteriormente, se habría logrado una velocidad aproximada de 6 Mbps por cada enlace de subida y de bajada. Con la nueva red se lograría una velocidad de 11.43 Mbps en los enlaces de subida y de bajada para los primeros ocho enlaces y para los siguientes ocho enlaces se alcanzaría una velocidad de 15.24 Mbps en los enlaces de subida y de bajada. El mejoramiento, a nivel de incremento de velocidad entre la nueva y la antigua red, se debe al cambio de tecnología, la cual es WiMAX.
3. El nuevo diseño de red ha incluido políticas de calidad de servicio en los enlaces de backhaul. De esta manera, es posible dar prioridad al tráfico de voz, luego al de vídeo y, finalmente, datos. Como consecuencia, se mejoraría la percepción de los servicios por parte del usuario. Para el tráfico de voz, se ha elegido el tipo de calidad de servicio Unsolicited Grant Service (UGS). Para el tráfico de vídeo, se ha elegido el tipo de calidad de servicio Real-time Polling Service (Rtps). Para el tráfico de datos, se ha elegido el tipo de calidad de servicio Best Effort (BE). La diferenciación de tráfico se realiza mediante el parámetro QoS prio.
4. Dado que se planteaba no realizar un pago por el uso de la frecuencia, se ha trabajado el diseño en base a la frecuencia libre de 5.8 GHz. Estos equipos emplean la banda no licenciada de 5.8 GHz.
5. La red puede soportar hasta ocho videoconferencias en simultáneo utilizando el modo cliente servidor si dichas videoconferencias estén configuradas con una resolución de 1280x800 píxeles y una velocidad de tramas de 30 cuadros/segundo y no superen una velocidad de 1 Mbps en un sentido.
6. El equipamiento del backhaul, en el segmento de red que no se dispone de energía eléctrica pública, será energizado por medio de sistemas fotovoltaicos con una autonomía mínima de tres días. Si se desea mayor autonomía se necesitaría aumentar mayor cantidad de baterías o aumentar la capacidad de estas.
7. El presupuesto total del equipamiento correspondiente solo al cambio de tecnología a WiMAX en la parte del backhaul asciende a S/. 534.871,01.

RECOMENDACIONES

Se sugieren, a continuación, algunas recomendaciones a tener en cuenta sobre el presente proyecto:

1. Se ha elegido realizar el diseño con estaciones base de la marca Alcentia dado que cumple con los requerimientos de capacidad. No obstante, si se deseará más capacidad, se podría optar por trabajar con otros equipos como Radwin modelo 2000 Serie C o Redline modelo RDL 3000.
2. Se recomienda realizar un plan de mantenimiento cada año verificando el pozo a tierra y el sistema de cableado en cada nodo.
3. Se recomienda disponer de un sistema de monitorización de los equipos de red que se instalarían (baterías, paneles solares, rectificadores, entre otros).

BIBLIOGRAFÍA

- [ALB09] ALBENTIA
2009 “Libro Amarillo: Los Servicios y la QoS”
- [ALB13] Albentia Systems
2013 ARBA Link. Radioenlaces punto a punto.
Última Consulta: 22 de Junio del 2013.
URL: <http://www.albentia.com>
- [ALON13] ALONSO, Miguel
“Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos”. Madrid: Departamento de Energías Renovables.
Última Consulta: 22 de marzo del 2013.
URL:
http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45302/componente45301.pdf
- [ALV13] Alvarion
2013 ARBA Link. Radioenlaces punto a punto
Última Consulta: 22 de Junio del 2013.
URL: <http://www.alvarion.com/es/>
- [ANDR07] ANDREWS, Jeffrey
2007 “Orthogonal Frequency Divison Multiplexing”, PEARSON EDUCATION
Fundamentals of WiMAX. One Lake Street: Safari, pp. 271. Capítulo 8.
- [COIM10] COIMBRA, Edison
2010 Multiplexación Por División De Frecuencia FDM [diapositivas]
Última Consulta: 22 de Junio del 2013
URL: http://www.coimbraweb.com/documentos/analogico/3.5_mux_fdm.pdf

- [CYTED13] Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo
2013 Tecnologías de la Información y las Comunicaciones para zonas rurales:
Aplicación a la atención de salud en países de desarrollo
“Las redes de telecomunicación basadas en WiMAX (IEEE 802.16)”.
ADVANTIA, pp. 135. Capítulo 9
Última Consulta: 20 de marzo del 2013
URL: <http://gtr.telecom.pucp.edu.pe/download/publicaciones/Maserratti.pdf>
- [DIAL13] Spontania: Group Video Call and Colaboration
2013 Última Consulta: 1 de septiembre del 2013
URL: http://www.coimbraweb.com/documentos/analogico/3.5_mux_fdm.pdf
- [DEL09] DELFINO, Adrián y RIVERO, Sebastián
2009 Monografía de Evaluación de Performance en Redes de Telecomunicaciones
Última Consulta: 1 de septiembre del 2013
URL:
http://iie.fing.edu.uy/ense/asign/perfredes/trabajos/trabajos_2003/diffserv/Trabajo%20Final.pdf
- [EHAS11] Enlace Hispanoamericano de Salud
2011 A Telemedicine WiFi Network Optimized for Long Distances in the
Amazonian Jungle of Peru. Lima.
- [ETSIT11] Escuela Técnica Superior De Ingenieros De Telecomunicación
2011 Evaluación del Impacto en Salud del Proyecto de Telemedicina
EHAS-Napo. España
- [GRL10] Gobierno Regional de Loreto
2010 Análisis de la Situación de Salud de la Región Loreto [diapositivas]
Última Consulta: 22 de junio del 2013.
URL: <http://www.bvsde.paho.org/documentosdigitales/bvsde/texcom/ASIS-regiones/Loreto/Loreto2010.pdf>

- [GSR13] Centro Virtual GrandStream “Innovative IP Voice & Video”
2013 Última Consulta: 22 de Junio del 2013
URL:
<http://www.grandstream.com/index.php/products/ip-voicetelephony/consumer-analog-telephone-adaptors>
- [GTR11] Grupo de Telecomunicaciones Rurales
2011 Redes Inalámbricas para zonas rurales
Última Consulta: 22 de Junio del 2013
URL:
<http://gtr.telecom.pucp.edu.pe/download/publicaciones/Libro%20RIpZR%20da%20edicion.pdf>
- [HEG11] HEGOA. Instituto de Estudios sobre Desarrollo y Cooperación
2011 Internacional. Diccionario de Acción Humanitaria y Cooperación al Desarrollo.
- [IEEE08] ROHIT A. Talwalkar y MOHAMMAD Ilyas
2008 Analysis of Quality of Service (QoS) in WiMAX networks
- [IEEE08a] HU, Lingyan, PEN, Jie y YOUNG, Xin
2008 Experimental Research about the Impact of IEEE 802.1p on Real-time Behavior
- [IEEE09] IEEE 802.16-2009 Standard for local and metropolitan area networks: Air 2009
2009 interface for Fixed and Movil Broadband Wireless Access Systems
IEEE Computer Society and the IEEE and the IEEE Microwave Theory and Techniques Society
- [IEEE11] MELEK Oktay y HACI Ali Mantar
2011 A Real-Time Scheduling Architecture for IEEE802.16 - WiMAX Systems. Slovakia: IEEE International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics.
- [IEEE12] IEEE Computer Society and the IEEE Microwave Theory and Techniques Society
2012 “IEEE Standard for Air Interface for Broadband Wireless Access Systems”. New York

- [INEI01] Instituto Nacional de Estadística e Informática
2001 Documento: “PERU: Compendio Estadístico 2001”
Última Consulta: 11 de abril del 2013
URL: <http://www.inei.gob.pe>
- [INEI07] Instituto Nacional de Estadística e Informática
2007 Documento: “Censos Nacionales de Población y Vivienda”
Última Consulta: 22 de Junio del 2013.
URL: <http://www.inei.gob.pe>
- [LTE13] BEDELL, Paul
2013 “LTE 4G”. New York: McGraw-Hill, c2013
Wireless Crash Course
- [MAC08] MACIAS, Eugenia
2008 Tecnología de Telecomunicaciones PDH, SDH y DWDM
Última Consulta: 22 de junio del 2013
URL: http://www.spw.cl/05mar07_mobile/Transporte/Jerarquia_digital_plesiocrona_PDH.pdf
- [MIN11] Ministerio de Salud - Oficina General de Estadística e Informática
2011 Última Consulta: 22 de Junio del 2013
URL: <http://www.minsa.gob.pe/>
- [MTC05] Ministerio de Transporte y Comunicaciones
2005 Modifican el Plan Nacional Atribución de Frecuencias
Resolución Ministerial N°2 585-2005-MTC/O3
- [MTC05a] Ministerio de Transporte y Comunicaciones
2005 Establecen condiciones técnicas de servicios de telecomunicaciones y Modifican el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias
Resolución Ministerial N°777-2005-MTC/O3
- [NEO13] Suplemento de Innovación y Tecnología
2013 Redes que curan. Lima, Perú

- [OMS12] Organización Mundial de la Salud
2012 Tecnología de Telecomunicaciones PDH, SDH y DWDM
Última Consulta: 22 de junio del 2013.
URL: <http://www.who.int/hhr/activities/NTD%20information%20sheet%20-%20Spanish.pdf>
- [OPTI13] OPTIM
2013 Última Consulta: 22 de Junio del 2013
URL: <http://www.optim.com.ni/nosotros.html>
- [OPTL08] Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones
2008 Documento: “Cuarto Boletín Tecnológico”
Última Consulta: 19 de septiembre de 2013
URL: <http://www.osiptel.gob.pe/WebSiteAjax/>
- [PUCP12] BARTRA, Gumercindo
2012 Capítulo 3: Protocolo IP. Codificadores de Voz.
- [PUCP13] ATEL ASESORES C.A.
2013 Acceso Múltiple OFDMA [diapositivas]
Última Consulta: 19 de septiembre de 2013
URL: http://departamento.pucp.edu.pe/ingenieria/images/documentos//seccion_telcomunicaciones/Capitulo%203%20Acceso%20Multiple%20OFDMA.pdf
- [RAD13] Radwin
2013 Radwin 2000 Portafolio Soluciones punto a punto
Última Consulta: 22 de Junio del 2013
URL: <http://es.radwin.com/>
- [RED13] RedLine
2013 RedLine 200 Portafolio Soluciones punto a punto
Última Consulta: 22 de Junio del 2013
URL: <http://rdlcom.com/>

- [SEO13] SEOnet
2013 Codex en la Telefonía IP, Codex VoIP
Última Consulta: 22 de Junio del 2013.
URL: <http://www.telefoniavozip.com/voip/codecs-voip.htm>
- [SUNF10] ALONSO, José
2010 “Boletín Solar Fotovoltaica Autónoma”. SunFields Europe. La Coruña.
Última Consulta: 20 de Marzo del 2013.
URL: <http://www.sfe-solar.com/%C2%BFque-es-un-sistema-fotovoltaico-autonomo-de-que-consta-y-como-se-dimensiona-1685/>
- [URJC10] MORENO, Rey
2010 “Análisis de la viabilidad de la modificación de la enmienda 802.16j para su aplicación en la banda no licencia de 5GHz”. Master’s thesis, España, 2010.
[Online]
Última Consulta: 22 de junio del 2013
URL: http://www.ehas.org/uploads/file/difusion/academico/PFM/PFM_CREYM.pdf
- [VELA11] VELARDE, Edgar
2011 Codificadores de Voz
Última Consulta: 22 de Junio del 2013
URL: <http://blog.pucp.edu.pe/item/25802/ancho-de-banda-para-voip>
- [WIMA12] JORDI
2012 IEEE-16 – WIMAX [diapositivas].Cátedra de telecomunicaciones

ANEXOS

Anexo 1: Morbilidad en la zona de trabajo

Se presenta en este anexo las principales causas de morbilidad en la región de Maynas. Asimismo, las principales enfermedades que aquejan a los pobladores de la región.

Anexo 2: Bandas Frecuenciales en el Perú

Se presenta en este anexo las resoluciones ministeriales para las bandas de frecuencia establecidas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Anexo 3: WiMAX

Se presenta en este anexo detalles del estándar 802.16-2009.

Anexo 4: Servicios de telecomunicaciones

Se presenta en este anexo detalles técnicos de los servicios de telecomunicaciones de voz, datos y vídeo.

Anexo 5: Hojas Técnicas de las alternativas de solución

Se presenta en este anexo especificaciones técnicas de los equipos evaluados para el mejoramiento de los enlaces de backhaul.

Anexo 6: RadioMobile

Se presenta en este anexo las configuraciones de los radioenlaces en el programa RadioMobile y los resultados de estos.