



**Máster en Redes de Telecomunicación
para Países en Desarrollo**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN**

PROYECTO FIN DE MÁSTER

**DISEÑO DE LA RED INALÁMBRICA DE
BANDA ANCHA TEC YAPACANÍ II**

Autor: Mauricio Caballero Rúa

Tutor: Andrés Martínez Fernández

Curso académico 2011/2012



Universidad
Rey Juan Carlos

ACTA DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

DATOS DE ESTUDIO DEL MÁSTER

ESTUDIOS CURSADOS: MÁSTER EN REDES DE TELECOMUNICACIÓN PARA PAÍSES EN DESARROLLO

CURSO ACADÉMICO: 2011 / 2012

CONVOCATORIA: Ordinaria Extraordinaria Especial de finalización

DATOS DEL ALUMNO

APELLIDOS: Caballero Rúa		NOMBRE: Mauricio
DNI/Pasaporte: X9105031K	Email: mauricio.caballero.rua@gmail.com	Teléfono: 671896924

TÍTULO DEL TRABAJO FIN DE MÁSTER

Diseño de la red inalámbrica de banda ancha TEC Yapacaní II

DIRECTOR/ES (Obligatorio)

DNI	NOMBRE Y APELLIDOS	UNIVERSIDAD/INSTITUCIÓN
10196457M	Andrés Martínez Fernández	Universidad Rey Juan Carlos

MIEMBROS DEL TRIBUNAL	ACTÚA EN CALIDAD DE
Francisco Javier Ramos López	Presidente
Julio Ramiro Bargeño	Vocal
Francisco Javier Simó Reigadas	Secretario
Manuel Sierra Castañer	Suplente

Reunido el Tribunal de Evaluación con fecha 30 de julio de 2012, ACUERDA otorgar al alumno la calificación global de _____.

Indicar, en su caso, si se propone la concesión de la mención Matrícula de Honor

EL PRESIDENTE	EL SECRETARIO	VOCAL
Fdo.	Fdo.	Fdo.

Agradecimientos

A Dios, por llenarme de bendiciones e iluminarme en el transcurso de mi vida.

A mi tutor, Andrés Martínez, un agradecimiento especial por su colaboración, enseñanzas, tolerancia y la gentileza mostrada desde el inicio del curso.

Al Dr. Oswaldo Chávez por brindarme el apoyo y las condiciones necesarias para que mi estadía en Yapacaní fuera lo más acogedora posible.

A Javier Simó y a todos los profesores que han hecho posible llegar hasta esta etapa de mi vida, también a la Universidad Rey Juan Carlos y específicamente a los creadores del Máster, una idea brillante.

A mis compañeros del Máster, los llevo en el corazón y guardo el mejor recuerdo de todos.

No puedo dejar de mencionar a la razón de mi existencia, gracias Fabio y Ale por estar siempre junto a mí, a mis hermanos Edgar y Erika por el apoyo incondicional y a mis padres que me lo han dado todo, sin ellos no sería nada.

Escribir estas líneas conlleva el paso a una nueva etapa de mi vida, dejo atrás un periodo de formación y de crecimiento personal lleno de vivencias. Aunque me ha tomado más tiempo del planificado, estoy orgulloso de lo aprendido y de lo vivido.

Muchas gracias...

Resumen

En los países en desarrollo la calidad de vida y la sustentabilidad puede mejorar en gran medida si las personas disponen de las herramientas y los recursos adecuados. Un mejor acceso a las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación) puede incidir directamente en el desarrollo humano, pese a esto son muchas las regiones del planeta que carecen del acceso a las ventajas que proporcionan dichas tecnologías.

En este contexto, Bolivia es uno de los países latinoamericanos más afectados por la brecha digital, donde a diferencia de otros países del continente presenta notables falencias en el acceso a las TIC, siendo mayor dicha desigualdad en las poblaciones rurales. La incorporación de las nuevas tecnologías en los sistemas educativos de establecimientos rurales no sólo constituye un mecanismo de apoyo para mejorar la calidad y equidad del sistema educacional, sino que tiene efectos positivos en el desarrollo de recursos humanos, además de proporcionar empoderamiento a la región.

El objetivo del presente Proyecto Fin de Máster radica en la elaboración de una propuesta de mejora para la Red de Telecentros Educativos Comunitarios ubicada en el Municipio de Yapacaní, Bolivia. Esta propuesta engloba el diseño de la red de interconexión y todas las especificaciones necesarias para adherir nuevas unidades educativas a la red. En este sentido, se han seguido metodologías de diseño contrastadas en zonas rurales de otros países de Sudamérica para la elaboración de redes inalámbricas de bajo coste.

Paralelamente y en base a un estudio de campo en el que se ha definido la problemática de la red en aspectos técnicos y sociales, se ha contemplado la elaboración de un Plan de Mantenimiento que englobe un sistema de atención de incidencias y los protocolos de actuación para el mantenimiento de la red. El objetivo de este Plan es definir los procedimientos necesarios para contar con una disponibilidad del equipamiento aceptable, optimizando los escasos recursos económicos y humanos con los que cuentan este tipo de redes rurales.

Índice General

I. INTRODUCCIÓN	1
1. PRESENTACIÓN	3
1.1. MOTIVACIÓN	3
1.2. ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO	5
1.3. MARCO DE REFERENCIA	6
1.3.1. TIC para zonas aisladas en países en vías de desarrollo	6
1.3.2. TIC para la educación: Teleducación.....	8
2. CONTEXTO	10
2.1 BOLIVIA Y LA BRECHA DIGITAL	10
2.1.1. Contexto y realidad socio cultural de Bolivia	10
2.1.2. Avances en términos de brecha digital.....	12
2.1.2.1. Índice de brecha digital	12
2.1.2.2. Proyección de la inclusión digital	13
2.2 TELECENTROS RURALES.....	16
2.2.1. Características de un telecentro comunitario.....	16
2.2.2. Telecentros comunitarios en Bolivia.....	17
2.2.2.1. Plataformas educativas virtuales	18
2.3 PROYECTO TEC YAPACANÍ.....	19
2.3.1. Contexto del Municipio de Yapacaní.....	19
2.3.2. Red TEC Yapacaní.....	22
2.3.3. Problemática de la red.....	23
3. OBJETIVO	25
II. METODOLOGÍA	27
4. MATERIALES Y MÉTODOS	29
4.1. OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN	29
4.2. FORMULACIÓN DE LA PROPUESTA DE DISEÑO.....	30
4.3. FORMULACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.....	31
4.4. RECURSOS	32
III. RESULTADOS	33
5. DISEÑO DE LA RED	35
5.1. EMPLAZAMIENTOS DE LA RED.....	35
5.2. LA SOLUCIÓN TECNOLÓGICA.....	37
5.3. ARQUITECTURA DE LA RED	39
5.3.1. Topología y descripción de la red	39
5.3.2. Distribución de estaciones de la red.....	40
5.4. PLANIFICACIÓN RADIOELÉCTRICA	43
5.4.1. Frecuencia y potencia de operación	43
5.4.2. Software de simulación	44
5.4.2.1. Datos de simulación	44
5.4.3. Cálculo de radioenlaces.....	46
5.4.3.1. Criterios de diseño.....	46

5.4.3.2.	Simulación de los radioenlaces	48
5.5.	DIRECCIONAMIENTO IP Y ENCAMINAMIENTO DE LA RED	51
5.5.1.	Encaminamiento de la red	51
5.5.2.	Direccionamiento IP	54
5.6.	TELEFONÍA IP	55
6.	ESPECIFICACIONES DE LA RED	59
6.1	SOLUCIONES NO ESTÁNDAR BASADAS EN WiFi	59
6.2	TIPOS DE ESTACIONES DE LA RED	60
6.2.1	Estación cliente.....	60
6.2.2	Repetidor + Estación Cliente.....	60
6.3	SUBSISTEMAS DE LA RED.....	61
6.3.1	Subsistema de telecomunicación	62
6.3.2	Subsistema de Infraestructura.....	68
6.3.3	Subsistema de Energía.....	71
6.3.3.1	Consumo del sistema fotovoltaico.....	72
6.3.4	Subsistema de protección eléctrica.....	76
6.3.4.1	Sistema Integral de protección	77
6.3.4.2	Sistema de Puesta a Tierra (SPAT)	78
6.3.5	Subsistema informático	79
7.	MANTENIMIENTO DE LA RED	81
7.1	INTRODUCCIÓN.....	81
7.1.1	Situación actual del mantenimiento.....	81
7.1.2	Disponibilidad	82
7.1.2.1	Situación actual de la disponibilidad	82
7.1.2.2	Objetivos de la disponibilidad	83
7.1.2.3	Técnicas de análisis de la disponibilidad.....	83
7.2	DEFINICIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	84
7.2.1	Niveles de mantenimiento	85
7.3	EJES OPERATIVOS DEL PLAN	87
7.3.1	Monitoreo de datos	87
7.3.1.1	Protocolo SNMP.....	88
7.3.1.2	Monitoreo con Mikrotik	89
7.3.2	Diagnóstico de fallos y gestión de las incidencias	90
7.3.3	Mantenimiento Preventivo	93
7.3.3.1	Mantenimiento realizado por usuarios	93
7.3.3.2	Mantenimiento realizado por personal técnico.....	94
7.3.3.3	Planificación del mantenimiento preventivo	96
7.3.4	Mantenimiento Correctivo.....	97
8.	DETALLE DE LA RED Y PRESUPUESTO	101
8.1	DETALLE DE LA RED	101
8.2	PRESUPUESTO DE LA RED	108
IV.	CONCLUSIONES.....	113
9.	CONCLUSIONES.....	115
V.	ANEXOS	117

Índice de figuras

1. 1	Tasa de cobertura neta para el nivel primario.....	4
1. 2	Tasa de cobertura neta para el nivel inicial, primario y secundario	4
1. 3	Penetración TIC en hogares rurales de América Latina.....	8
2. 1	Países según Índice de Desarrollo Humano	11
2. 2	Índice de brecha digital en Bolivia	13
2. 3	Acceso a las TIC en Bolivia.....	14
2. 4	Objetivos del Plan Nacional de Inclusión Digital.....	14
2. 5	Características de un telecentro comunitario.....	16
2. 6	Mapa de telecentros en Bolivia	18
2. 7	Portales educativos de Latinoamérica.....	19
2. 8	Marco de resultados del proyecto TEC Yapacaní	20
2. 9	Resultados de la evaluación de aprendizaje con el uso de las TIC	21
2.10	Mapa de Yapacaní	22
2.11	Resultados encuesta 1- Carencias de telecentros	24
2.12	Resultados encuesta 2- Dificultades en el uso del telecentro	24
4. 1	Diagrama de la fase de Diseño	30
4. 2	Diagrama de la fase de Mantenimiento	31
5. 1	Emplazamientos de la red	36
5. 2	Detalle de la topología de la Red Troncal y la Red de Distribución.....	40
5. 3	Red Troncal A) Esquema actual B) Esquema propuesto	42
5. 4	Datos empleados en Radiomobile	45
5. 5	Cálculo del balance de potencia	46
5. 6	Cálculo la primera zona de Fresnel.....	47
5. 7	Esquema de las antenas de la red.....	48
5. 8	Configuración de estaciones OSPF de la red	53
5. 9	Interfaces del enrutador preseleccionado	54
5. 10	Configuración inalámbrica de la red.....	58
6. 1	Esquema de la Estación Cliente	60
6. 2	Esquema de la Estación Repetidor + Cliente	61
6. 3	Especificaciones técnicas del RB433AH.....	62
6. 4	Especificaciones técnicas del RB433.....	63
6. 5	Especificaciones técnicas de la tarjeta R52H	64
6. 6	Especificaciones técnicas de la antena HG5819P	65
6. 7	Especificaciones técnicas de la antena HG5812U-PRO	66
6. 8	Especificaciones técnicas de la antena HG5817P-090	66
6. 9	Especificaciones técnicas de la antena HG4958-27EG	66
6. 10	Especificaciones técnicas del LMR-600	68
6. 11	Especificaciones técnicas del SPA3102.....	67
6. 12	Especificaciones técnicas del KX-TS500	67
6. 13	Componentes del subsistema de infraestructura.....	70
6. 14	Elementos del sistema fotovoltaico	71
6. 15	Especificaciones técnicas del AVRX750U.....	72

6. 16	Especificaciones técnicas del EPIP40-20.....	75
6. 17	Especificaciones técnicas del YL50Wp.....	75
6. 18	Especificaciones técnicas del NS-100.....	76
6. 19	Esquema de la estación repetidora con sistema fotovoltaico.....	76
6. 20	Esquema del sistema de protección eléctrica	77
7. 1	Diagrama de análisis de la disponibilidad en sistemas TIC	84
7. 2	Diagrama de procesos del Plan Operativo de Mantenimiento.....	85
7. 3	Flujograma de actuación del equipo de mantenimiento.....	87
7. 4	Esquema SNMP	88
7. 5	Ciclo de vida de una incidencia	91
7. 6	Planificación del mantenimiento preventivo por cada TEC.....	97
8. 1	Cronograma de la instalación	111

Índice de cuadros

5.1	Coordenadas geográficas y ámbito de las estaciones de la red.....	37
5.2	Ubicaciones a interconectar Red TEC Yapacaní.....	41
5.3	Distancias entre nodos de la Red Troncal	42
5.4	Frecuencias disponibles para la red	43
5.5	Resultados obtenidos mediante simulación.....	49
5.6	Configuración radio de los enlaces de la red.....	50
5.7	Comparativa enrutamiento estático y dinámico	51
5.8	Direccionamiento IP para enrutadores de la red.....	55
5.9	Direccionamiento IP para estaciones cliente.....	56
5.10	Configuración telefónica de la red.....	57
6.1	Cálculo de energía necesaria por día.....	73
6.2	Cálculo de energía generada por día.....	74
6.3	Cálculo de relación carga/descarga.....	74
6.4	Estimación de materiales para la instalación del Sistema Integral de Protección y SPAT.....	78
7.1	Resumen de cualidades por niveles de actuación	86
7.2	MIB soportadas por RouterOS	89
7.3	Actividades de mantenimiento preventivo para N0 y N1	93
7.4	Actividades de mantenimiento preventivo para N2 - Subsistema de Energía.....	94
7.5	Actividades de mantenimiento preventivo para N2 - Subsistema de Telecomunicación	95
7.6	Actividades de mantenimiento preventivo para N2 - Subsistema de Protección Eléctrica.....	95
7.7	Actividades de mantenimiento preventivo para N2 - Subsistema de Infraestructura	96
7.8	Actividades de mantenimiento correctivo por software.....	98
7.9	Actividades de mantenimiento correctivo por hardware.....	98
8.1	Especificaciones nodo troncal 15 de Agosto.....	101
8.2	Especificaciones nodo UE Alta Vista.....	102
8.3	Especificaciones nodo troncal Campo Víbora	102
8.4	Especificaciones nodo troncal Santa Cruz	103
8.5	Especificaciones nodo UE Bulo Bulo.....	103
8.6	Especificaciones nodo troncal Puerto Grether.....	104
8.7	Especificaciones nodo troncal San Germán	105
8.8	Especificaciones nodo troncal Mariscal Sucre	105
8.9	Especificaciones nodo UE Nuevo Horizonte	106
8.10	Especificaciones nodo troncal Dirección Distrital.....	106
8.11	Especificaciones nodo UE Nuevo Horizonte	107
8.12	Especificaciones nodo UE Bolívar	107
8.13	Especificaciones nodo UE Nacional Bolivia.....	107
8.14	Especificaciones nodo UE Alianza Norte	108
8.15	Identificación de estaciones para cuadro del presupuesto	108
8.16	Presupuesto para adquisición equipamiento.....	109
8.17	Presupuesto para costo de personal y logística de instalación	110
8.18	Presupuesto total del proyecto.....	110

Acrónimos

ATA Adaptador Telefónico Analógico

CSMA/CA *Carrier-Sense Multiple Access with Colission Avoidance*

FCC *Federal Communications Comission*

GNU/GPL GNU *General Public License*

ISM *Industrial, Scientific and Medical*

LAN *Local Area Network*

MAC *Medium Access Control*

MIB *Management Information Base*

ODM *Objetivos de Desarrollo del Milenio*

OSPF *Open Shortest Path First*

PIRE *Potencia Isótropa Radiada Equivalente*

PNUD *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*

PtP *Punto a Punto*

PtMP *Punto Multi-Punto*

RF *Radio Frecuencia*

SIG *Sistema de Gestión de Incidencias*

SNMP *Simple Network Management Protocol*

TEC *Telecentro Educativo Comunitario*

TIC *Tecnología de la Información y Comunicación*

UE *Unidad Educativa*

UNII *Unlicensed National Information Infrastructure*

VoIP *Voice over IP*

WiFi *Estándar de comunicaciones 802.11*

WiLD *WiFi based Long Distance*

WLAN *Wireless Local Area Network*

Parte

I

INTRODUCCIÓN

Capítulo 1

Presentación

1.1. Motivación

En los inicios de este nuevo siglo, la comunidad internacional retomó la agenda de desarrollo con una visión integral. En septiembre del año 2000, 189 Estados miembros de las Naciones Unidas firmaron un nuevo compromiso mundial para el desarrollo cuya expresión política quedó reflejada en la Declaración del Milenio [1], quedando dicha resolución orientada fundamentalmente a la reducción de la pobreza y la desigualdad en el mundo, definiendo lineamientos que permitan una alianza estratégica entre países desarrollados y países en desarrollo para el cumplimiento de los objetivos trazados.

Los Objetivos del Milenio¹ (ODM) constituyen un sistema estable y homogéneo de seguimiento que permite fijar cuantitativa y temporalmente las metas definidas en la Declaración del Milenio con un alcance temporal hasta el año 2015. Es por esto, que todo proyecto de cooperación debe estar vinculado y debe hacer referencia al cumplimiento de uno o varios de los objetivos planteados.

La meta 3 fijada en los ODM indica que para el año 2015 los niños y niñas del mundo puedan terminar un ciclo de completo de enseñanza primaria [1]. En el caso de Bolivia los indicadores de educación, sobre todo a nivel primario muestran grandes avances en los últimos años, aunque su evolución ha sido lenta y aún no ha llegado al 100% de cobertura neta en educación primaria en el país [2]. La Figura 1.1 muestra la proyección de la tasa de cobertura neta primaria de Bolivia, en la que se tenía un valor del 92% para el año 2007, cifra que es bastante alentadora en términos de la posibilidad de lograr una cobertura universal en los próximos años.

¹ O1: Erradicar la pobreza extrema y el hambre. O2: Lograr la enseñanza primaria universal. O3: Promover la igualdad de género y la autonomía de la mujer. O4: Reducir la mortalidad de niños menores a 5 años. O5: Mejorar la salud materna. O6: Combatir el VIH/SIDA, el paludismo y otras enfermedades. O7: Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente. O8: Establecer una alianza mundial para el desarrollo.

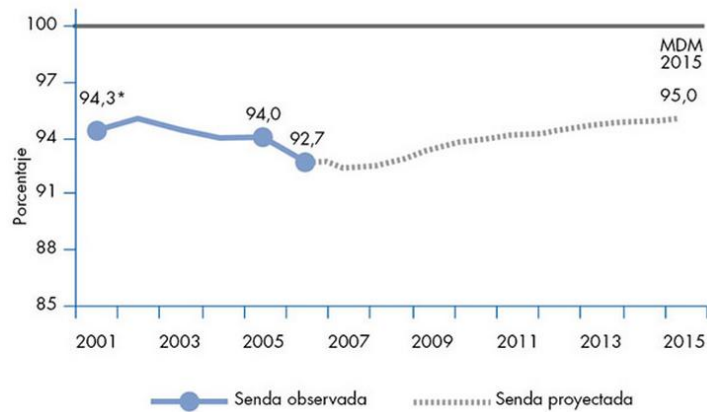


Figura 1.1: Tasa de cobertura neta para el nivel primario [3]

Los últimos años en Bolivia están marcados por los procesos de integración e inclusión de pueblos originarios y comunidades rurales a la sociedad activa de las ciudades más desarrolladas del país [4]. En este sentido las TIC no están al margen de estas transformaciones y juegan un rol clave en la consecución de los ODM al estar inmersa en los procesos de desarrollo de los pueblos en temas de salud, educación, apoyo social, gobernabilidad y medio ambiente [5], bajo la premisa de que el desarrollo tecnológico no debe ser un privilegio de los más ricos, sino un compromiso con los más pobres cambiando el estilo de vida de la población al involucrar a los más desfavorecidos en las nuevas tecnologías.

En detrimento de todo lo anterior, es importante mencionar que en el caso de los ciclos secundario e inicial del sistema de educación de Bolivia, los avances han sido más modestos, como se aprecia en la Figura 1.2. Para el año 2007 la cobertura de estos ciclos sólo alcanzó el 56,8% y 38,2% respectivamente, además de existir una marcada diferencia entre los distintos departamentos del país.

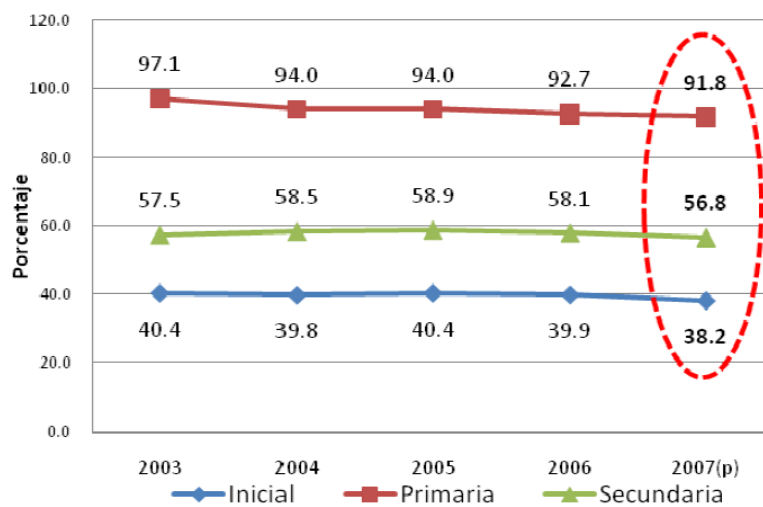


Figura 1.2: Tasa de cobertura neta para el nivel inicial, primario y secundario [2]

Las desigualdades en las posibilidades de acceder a la información, al conocimiento y la educación mediante las TIC se deben a la combinación de factores socioeconómicos y a la carencia de infraestructura con la apropiada tecnología en los lugares alejados del país [5]. En este contexto, los Telecentros Comunitarios adquieren un rol importante en los procesos educativos en las zonas rurales, al ser una herramienta para aprovechar al máximo las posibilidades de desarrollo que ofrecen las TIC, permitiendo un acceso universal a la Sociedad de la Información [6].

En los últimos años en Bolivia se ha incrementado el número de telecentros, siendo el vínculo principal entre las nuevas tecnologías de la información y la educación escolar en zonas rurales [7]. Actualmente existen alrededor de 500 telecentros en Bolivia, los cuales se han conseguido implementar gracias a proyectos dirigidos desde el Gobierno Central, los Gobiernos Departamentales y a la Cooperación Internacional. En este contexto, CEPAC² ha ejecutado el proyecto de Telecentros Educativos Comunitarios (TEC), consistente en la implementación de telecentros ubicados en unidades educativas pertenecientes al Municipio de Yapacaní. A su vez, los telecentros están interconectados a través de una red de banda ancha proporcionando servicios como telefonía IP, videoconferencia, acceso a internet, etc.

1.2. Organización del documento

El presente documento está estructurado de la siguiente manera:

- **Capítulo 1: Presentación**, donde se presentan los aspectos que motivan la realización del presente PFM. Así mismo, se establece la relación entre las TIC y la educación en zonas rurales de países en desarrollo.
- **Capítulo 2: Contexto**, que define primeramente la situación actual del acceso a TIC en Bolivia, se realiza una revisión de planes existentes y plataformas virtuales educativas. En este capítulo también se definen los telecentros educativos comunitarios y su grado de penetración en el país. Por último, se indica la situación sociopolítica del municipio de Yapacaní, el proyecto TEC y se define la problemática que se tratará en este proyecto.
- **Capítulo 3: Objetivo**, donde se concreta el objetivo que se pretende alcanzar con el siguiente proyecto en base a la problemática planteada previamente.
- **Capítulo 4: Materiales y métodos**, donde se expone el procedimiento llevado a cabo para el logro de los resultados del trabajo, así como de los recursos utilizados.

² Centro de Promoción Agropecuaria Campesina

- **Capítulo 5: Diseño de la red**, que contiene la propuesta de diseño para los nuevos emplazamientos definidos para la red. Incluye la planificación radioeléctrica para los dispositivos, un análisis de viabilidad técnica mediante simulación y la definición de los parámetros radioeléctricos más importantes.
- **Capítulo 6: Especificaciones de la red**, donde se detallan los subsistemas componentes de las estaciones de la red y se definen las especificaciones técnicas para el equipamiento. Finalmente se realiza la propuesta de equipos para la red en base a los requerimientos de diseño.
- **Capítulo 7: Mantenimiento de la red**, que contiene una explicación del estado actual del mantenimiento de la red y se definen los diferentes niveles para la realización del mantenimiento preventivo y correctivo. Se elabora también un cronograma y se definen las actividades a efectuar para el cumplimiento del Plan Operativo de Mantenimiento.
- **Capítulo 8: Detalle de la red y Presupuesto**, donde se listan las distintas configuraciones presentes en las estaciones de la red. Luego se presenta el presupuesto desglosado con los costos de adquisición de equipos, logística y personal para la instalación de la red.
- **Capítulo 9: Conclusiones**, en este último capítulo se establece la discusión de los resultados obtenidos en base a la metodología realizada.
- **Bibliografía:** Detalla de manera completa las fuentes bibliográficas que se han utilizado en la elaboración del documento.
- **Anexos:** Se compone de toda la documentación adicional necesaria para complementar la información contenida en la presente memoria.

1.3. Marco de referencia

En este apartado se describirá el escenario que enmarca este PFM, por lo que se hará una introducción a las TIC y la aportación de éstas como complemento a los procesos educativos en las zonas aisladas de países en desarrollo.

1.3.1. TIC para zonas aisladas en países en vías de desarrollo

Las necesidades y problemas de los países industrializados y los países en desarrollo no son las mismas; por lo tanto, las soluciones tampoco pueden serlo. Las herramientas de acceso a la información para ser usadas en países en desarrollo deben responder a necesidades concretas encontradas en la mayoría de éstos [8].

La realidad de las zonas rurales de la mayoría de los países en Latinoamérica obliga a reformular soluciones tecnológicas que los países industrializados han implementado [9]. La transferencia directa de esos desarrollos a países con poca infraestructura y a los que se encuentran en vías de desarrollo será beneficiosa a medida que se guarde una cuidadosa adaptación a la realidad particular de cada país.

Es por esto, que como respuesta a los grandes fracasos e impactos negativos obtenidos como consecuencia de la implantación de soluciones tecnológicas occidentales en países del Tercer Mundo³ se requieren tecnologías propicias y adaptadas al escenario particular de las zonas rurales de los países en vías de desarrollo.

El acceso a las nuevas tecnologías de la información en las zonas aisladas o más desfavorecidas está condicionado por diversos factores, que por lo general son derivados de la situación de extrema pobreza y desigualdad de los países. Algunos de estos factores se detallan a continuación [10]:

- No sólo se carece de infraestructuras de telecomunicación, también suele ser prácticamente inexistente la infraestructura de electrificación y en muchos casos de transporte. La necesidad de dotar a los sistemas de telecomunicación de alimentación eléctrica autónoma para garantizar su funcionamiento continuo y su durabilidad, ligado a la ausencia de vías de acceso, encarece las soluciones tecnológicas y dificulta el mantenimiento.
- El personal técnico cualificado necesario para el mantenimiento y operación de estas tecnologías suele encontrarse en las ciudades, por lo que resulta caro y difícil contar con estos recursos humanos en las zonas rurales.
- La baja densidad poblacional y el reducido poder adquisitivo de la población rural, hace difícil soportar infraestructuras caras de instalar, de mantener y de operar, a la vez de hacer poco rentables las inversiones de los operadores de telecomunicaciones.

Esta problemática se agrava si consideramos exclusivamente las zonas aisladas. La Figura 1.3 establece la situación latinoamericana en términos de penetración TIC en hogares rurales, donde precisamente el último lugar corresponde a Bolivia.

³ Término referido en una primera aproximación para designar a los países no alineados al bloque occidental ni al bloque comunista durante la guerra fría. En la actualidad, el término está referido a los países con un gran retraso económico y social en relación a los países industrializados.

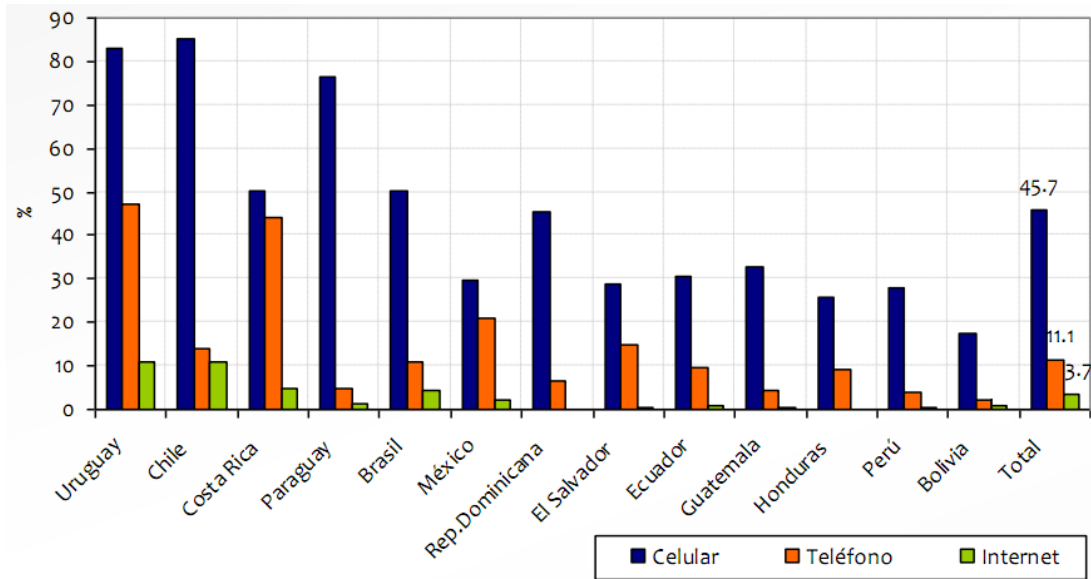


Figura 1.3: Penetración TIC en hogares rurales de América Latina, 2008 [11]

En algunos casos, los altos costos, la escasa cobertura y las deficiencias en el ancho de banda junto con sus prestaciones, ocasionan que los servicios de internet acusen enormes problemas, como es el caso de Bolivia. Algunos expertos suponen que una modificación del entorno de regulación no garantizará la mejora de la calidad ni la extensión de la cobertura de internet [12].

Por lo tanto, será importante establecer un escenario óptimo en el que las zonas más pobres y olvidadas de los países en desarrollo y en particular Bolivia, puedan acceder a las tecnologías para mejorar su calidad de vida, pero con el uso de tecnologías apropiadas que posibiliten superar las deficiencias existentes y en todo caso, convertirlas en el ente impulsor de proyectos provenientes de los agentes de desarrollo, tanto nacionales como internacionales.

1.3.2. TIC para la educación: Teleducación

Los ODM contemplan a la educación como un parámetro fundamental para el logro de los mismos. Actualmente nos encontramos en la denominada Sociedad Red, que se ha generado a raíz de la revolución tecnológica de la información y el florecimiento de las redes sociales, creando una nueva estructura social dominante con una nueva economía informacional y global y una nueva cultura de lo virtual/real [13]. El empleo de las TIC en todos los ámbitos de nuestra sociedad hace inevitable su uso en entornos educativos y exige una profunda reflexión en la búsqueda de sus mejores potencialidades educativas y su adaptación a la actividad educativa cotidiana. La introducción del ordenador como elemento innovador en un centro educativo conlleva modificaciones en las diferentes estructuras, en la organización de los medios y formación del profesorado [14].

La teleeducación tiene como objetivo mejorar la calidad de la educación mediante el empleo de las TIC, incorporando a los ciudadanos a la Sociedad de la Información⁴ para conseguir una mejoría en la calidad de vida y en los procesos políticos, económicos y sociales; a la vez de posibilitar un aprendizaje interactivo, flexible y accesible a cualquier usuario. Los problemas a los que se enfrentan los planificadores de los sistemas educativos de los países en desarrollo son varios: la falta de infraestructura, escasez de docentes cualificados, instalaciones y servicios deficientes [6]. La teleeducación puede ayudar a resolver estos problemas, basándose en sistemas interactivos y no interactivos que utilizan nuevos medios y mecanismos para extender el alcance de la enseñanza.

En el sistema educativo latinoamericano actual, las TIC se encuentran en una etapa expansiva y de grandes inversiones por parte de los gobiernos y apoyados por la empresa privada y por la cooperación internacional. En este sentido, el empleo de las nuevas tecnologías como base fundamental de una serie de planes integrados a los demás factores de aprendizaje, combinado con nuevos enfoques de integración curricular pueden mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje, tomando como base fundamental que el contar con una infraestructura adecuada no es sinónimo de un mejoramiento del proceso educativo.

⁴ Basada en la evolución y apropiación de las Tecnologías de Información y Comunicación como herramientas de desarrollo y empoderamiento de los pueblos.

Capítulo 2

Contexto

En este capítulo se analizará el contexto para el desarrollo del presente PFM. Por lo que se ha realizado una revisión al estado del acceso a las TIC en Bolivia, al igual que los planes o proyectos vinculados al mejoramiento de las condiciones de accesibilidad a internet en zonas rurales. Así mismo, se presentarán las principales plataformas virtuales educativas que contribuyen en los procesos educativos. En una primera instancia se han definido los telecentros educativos comunitarios y se ha revisado el estado actual de los mismos en la realidad boliviana. Finalmente, se detallará el caso de estudio, indicando la realidad sociopolítica de la zona en cuestión, se describirá el proyecto TEC Yapacaní y se definirá la problemática asociada al presente trabajo.

2.1 Bolivia y la brecha digital

2.1.1. Contexto y realidad socio cultural de Bolivia

Según la CPE⁵, Bolivia es un Estado plurinacional independiente, democrático, intercultural, descentralizado y con autonomías; fundado en la pluralidad y el pluralismo político, económico, jurídico, cultural y lingüístico, dentro del proceso integrador del país. Geográficamente, es un país mediterráneo con una superficie de 1.098.581 Km², siendo el quinto más grande de Sudamérica, ocupa una posición estratégica al estar situada en el centro de América del Sur, limitando al norte y este con Brasil, al este y sureste con Paraguay, al sur con Argentina, al suroeste con Chile y al oeste con Perú; abarcando más de 13 grados geográficos teniendo por consiguiente una gran diversidad en cuanto al relieve, caracterizado por la región Andina, región Sub-Andina y la región de los Llanos, ocupando el 28%, 13% y 59% del territorio respectivamente.

⁵ Constitución Política del Estado, modificada en 2009.

Como muestra la Figura 2.1, con este valor Bolivia se sitúa en el grupo de países con un desarrollo humano medio según esta clasificación, donde figura por debajo del promedio mundial y en la última posición a nivel sudamericano. El grado de pobreza en Bolivia sitúa al país en uno de los más pobres de América Latina, donde la pobreza definida como el porcentaje de personas cuyo ingreso per cápita no cubre un mínimo de necesidades, ya sean alimentarias y no alimentarias, alcanza a 2 de cada 3 bolivianos.

Los datos reflejan que aproximadamente el 60% de los bolivianos se encuentran por debajo de la línea moderada de la pobreza, es decir, no tiene ingresos suficientes (2 dólares por día) para satisfacer sus necesidades básicas, mientras que el 37% no puede cubrir ni tan siquiera sus necesidades alimentarias mínimas con 1 dólar diario, correspondiente a la indigencia o pobreza extrema. Por otro lado, el Coeficiente de Gini⁹ de 0,58 para el año 2010, demuestra que Bolivia pertenece al grupo de países con mayor desigualdad en la distribución del ingreso a nivel mundial, donde se evidencia además una notable disparidad de este valor en las zonas urbanas y rurales del país [16].

2.1.2. Avances en términos de brecha digital

Bolivia en los últimos años ha dado pasos significativos en el acceso a los servicios de telecomunicaciones, principalmente en centros urbanos. Pero queda todavía pendiente integrar al sector rural y las poblaciones dispersas de su vasto territorio, donde aún no existen las necesarias infraestructuras de telecomunicaciones [17], condición indispensable para que estas regiones se integren a la sociedad de la información y el conocimiento.

2.1.2.1. Índice de brecha digital

La brecha digital es probablemente uno de los primeros conceptos con que se inicia la reflexión alrededor del tema del impacto social de las TIC [12]. Desde ésta se percibe que las tecnologías van a producir diferencias en las oportunidades de desarrollo de las poblaciones y que se establecerá una distancia entre aquellas que tienen o no tienen acceso a las mismas.

La brecha digital se define como la separación que existe entre las personas (países, departamentos, provincias, comunidades) que utilizan las TIC como parte rutinaria de su vida diaria y aquellas que no tienen acceso a las mismas y que aunque las tuvieran no saben cómo utilizarlas. Las desigualdades en las posibilidades de acceder a la información, al conocimiento y a la educación mediante las TIC se deben a la combinación de factores socioeconómicos con la carencia de infraestructura con tecnología apropiada en las zonas alejadas del país.

⁹ Mide la desigualdad en los ingresos de un país, es un valor entre 0 y 1 donde 0 representa una igualdad perfecta, mientras que un valor de 1 corresponde a una desigualdad perfecta.

Según la ADSIB¹⁰, Bolivia ostenta un índice de brecha digital igual a 0.7475, siendo uno de los peores de América Latina.

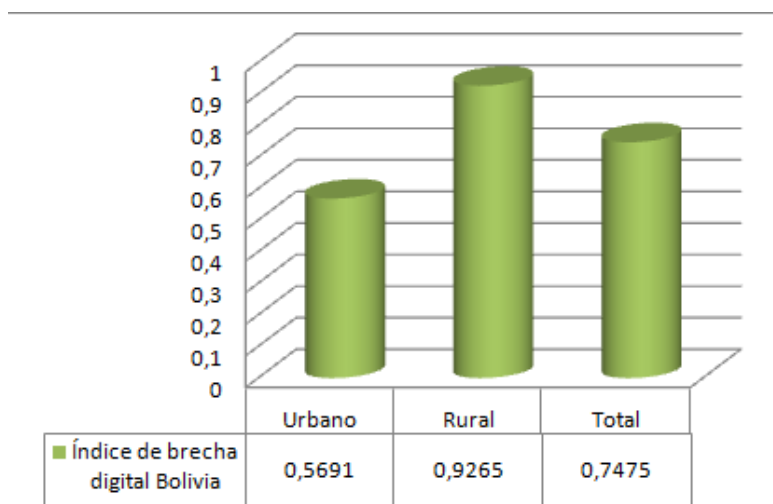


Figura 2.2: Índice de brecha digital en Bolivia

La Figura 2.2 muestra los valores actuales según el entorno de estudio, donde se puede establecer que la diferencia existente entre las zonas urbanas y rurales es significativa, siendo éstas últimas prácticamente excluidas al acceso a las TIC. Según informe de la SITTEL¹¹, en el año 2010 aproximadamente 19 mil localidades rurales de menos de 350 habitantes no cantaban con ningún tipo de servicio de telecomunicaciones porque simplemente no son económicamente rentables para los operadores [17], siendo éste uno de los factores de la exclusión de gran parte de la población y constituye una causa evidente de la actual brecha digital del país.

2.1.2.2. Proyección de la inclusión digital

La situación actual del acceso a las TIC en Bolivia, como se aprecia en la Figura 2.3, a pesar de los indicadores presentados, registra indicios de mejora generados fundamentalmente por nuevas políticas del gobierno central, gobiernos departamentales y la ayuda internacional para el apoyo y mejoramiento del acceso a las TIC en las zonas más desfavorecidas del país.

¹⁰ Agencia Boliviana para el Desarrollo de la Sociedad de la Información, <http://adsib.gob.bo/>. Es una institución dependiente de la Vicepresidencia de la República que tiene el mandato de promover políticas públicas de TIC y apoyar el proceso de inclusión digital en Bolivia.

¹¹ Superintendencia de Telecomunicaciones de Bolivia.

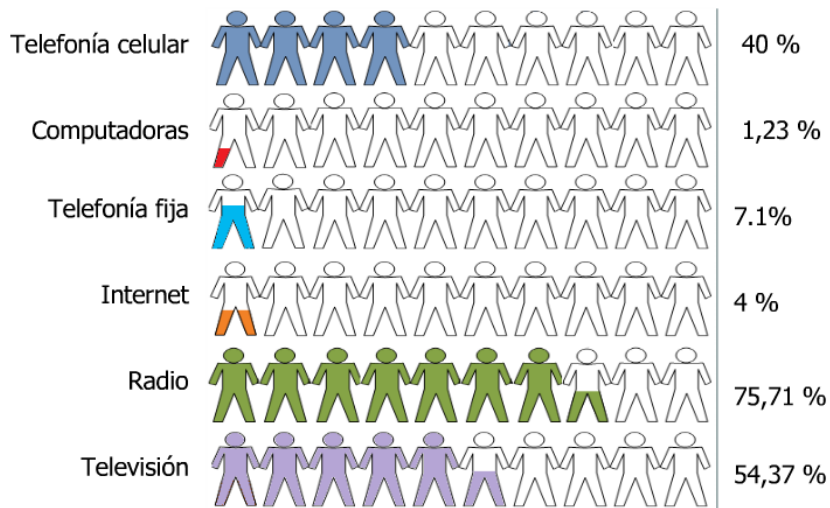


Figura 2.3: Acceso a las TIC en Bolivia [18]

Existe una tendencia incremental en la penetración del acceso de telecomunicaciones en el área rural, a partir de un nuevo marco de políticas públicas bajo el principio: “acceso y derecho universal a telecomunicaciones” establecida en la CPE de 2009. Como parte fundamental se crea el Plan Nacional de Inclusión Digital (PNID)¹², el cual busca la universalización del uso y la aplicación de las TIC para disminuir la marginación, la exclusión social de los ciudadanos bolivianos y contribuir al desarrollo integral del país.

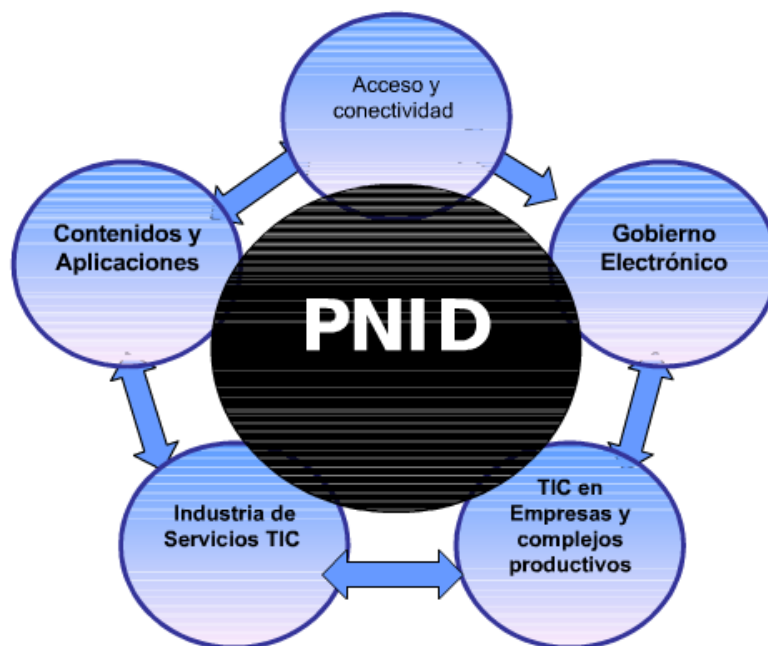


Figura 2.4: Objetivos del Plan Nacional de Inclusión Digital

¹² Dicho plan abarca el Programa de Telecentros Comunitarios, el cual fue diseñado por el Ministerio de Obras Públicas, Ministerio de Vivienda, la Presidencia de la República y la SITTEL.

La Figura 2.4 muestra de manera general los objetivos en los que se enmarca el mencionado plan, los cuales se detallarán a continuación [18]:

- Mejorar el acceso a internet con precios razonables y con una mayor calidad, a la vez de ampliar la cobertura a regiones en las que no se dispone del servicio.
- Modernizar la gestión pública a través del pleno desarrollo de los sistemas de información y comunicación del Estado, garantizando la transparencia, acceso a la información y participación social.
- Fomentar el uso más avanzado de tecnología en empresas y acortar las diferencias en el uso entre pequeñas y grandes entidades, mediante la generación de incentivos para la innovación de aplicaciones tecnológicas según las necesidades.
- Desarrollar capacidades para el uso y aprovechamiento de las TIC, digitalizando la educación pública y aumentando la presencia de las mismas en clase; a la vez de promover la generación de recursos digitales y la gestión educativa.

Realizando un análisis de los objetivos y de las estrategias de ejecución del mismo, podemos establecer que existe un marcado interés por favorecer las zonas olvidadas y con menor desarrollo del país. Entre las metas más importantes del PNID está la reducción de la brecha digital en un 10% hasta el año 2015, la alfabetización digital con prioridad en la población desfavorecida y la instalación de telecentros comunitarios en zonas rurales buscando en términos generales, un empoderamiento comunal para el desarrollo.

Aunque estos lineamientos son recientes, tanto en el país y en buena parte de las zonas rurales ya se habían registrado un conjunto de importantes iniciativas en TIC que han facilitado la creación de telecentros comunitarios impulsados por algunos municipios y diversas ONG. Por su parte, la empresa privada y los operadores no consideran prioritaria aún la inversión en infraestructura de telecomunicaciones en zonas rurales a pesar de la vigente normativa que dispone incentivos para tal efecto [17].

En definitiva, la modalidad más utilizada para reducir la brecha digital y proporcionar conectividad a los grupos excluidos ha sido el modelo de acceso compartido, en el que opta por la implementación de las siguientes iniciativas:

- Instalación de ordenadores en red en escuelas públicas, incorporando las TIC para mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje.
- Montaje de telecentros en comunidades socialmente excluidas, brindando acceso a las TIC para generar iniciativas de desarrollo local y productivo.

2.2 Telecentros rurales

Los telecentros rurales surgen como iniciativas de promoción de nuevas tecnologías entre las poblaciones de baja renta en diversos países y se intensifican en los últimos años sobre todo por el impacto de internet, siendo naciones de América Latina, África y Asia los lugares donde más se han proliferado. Desde mediados de la década de los noventa los telecentros revelaron ser una alternativa eficaz para promover el desarrollo comunitario, el empoderamiento y la inclusión social aprovechando las TIC en zonas rurales del mundo [12]. Con sus luces y sombras, las experiencias de este tipo de centros han mostrado el potencial en las mejoras en la educación, la salud, emprendimientos económicos y otras áreas.

La definición de un telecentro es ambigua, dado que existe una diversidad de términos para referirse a este tipo de iniciativas, como ser centro comunitario, centro tecnológico, infocentro, cabinas públicas, cibercentro, etc. Se puede establecer como el elemento diferenciador para su denominación la finalidad del uso de los mismos. En este sentido, podemos definir a un telecentro comunitario como un lugar de encuentro y aprendizaje que permite el acceso público a las TIC y que está situado en poblaciones rurales con el propósito de mejorar las condiciones de vida en zonas desfavorecidas y disminuir la brecha digital existente [6].

2.2.1. Características de un telecentro comunitario

Los telecentros comunitarios tienen un objetivo netamente social, cuya finalidad es servir a la sociedad. La Figura 2.5 muestra la dinámica de un telecentro, donde sus características y funcionalidades producen un beneficio a la comunidad, gracias a que todos los actores participan activamente, apoyando y creciendo en un ambiente solidario, donde cada usuario es un beneficiario directo de los servicios del acceso tecnológico.



Figura 2.5: Características de un telecentro comunitario

El acceso a las TIC permite a cada usuario ser un actor clave en la generación del conocimiento, lo que es necesario para lograr la sostenibilidad y el crecimiento de la comunidad, donde la tecnología forma parte de las vivencias diarias de los habitantes. Esto genera un escenario retroalimentado, dando como resultado el empoderamiento y la inclusión de la comunidad en la sociedad del conocimiento. Un aspecto clave a considerar en el despliegue de los telecentros es su sostenibilidad, ya que en general su implementación viene de la mano de proyectos concretos. Por esto, deben analizarse aspectos como el financiamiento, personal para la gestión y una planificación adecuada de los servicios para la población beneficiaria.

Los telecentros comunitarios son un instrumento poderoso para apoyar el desarrollo local a través del uso de las TIC y el fortalecimiento de la inclusión digital. Su énfasis está en la alfabetización digital, donde su uso social y apropiación de herramientas tecnológicas en función de un proyecto de transformación social puede mejorar las condiciones de vida de las personas [19].

2.2.2. Telecentros comunitarios en Bolivia

Ante las notables funcionalidades y prestaciones derivadas de la implementación de los telecentros, desde el año 2006 existe una corriente generalizada de optar por este tipo de centros en Bolivia, como mecanismo para el desarrollo de las localidades rurales del país. Como actores principales en la financiación de telecentros se han identificado al gobierno nacional, gobiernos departamentales y cooperación internacional.

Al margen de los actores antes mencionados, organizaciones como CIDOB¹³ y la AOPEB¹⁴ superan los 30 telecentros instalados que son autosostenidos por comunidades productoras de insumos ecológicos. Es decir, iniciativas de la sociedad civil están demostrando que los telecentros son una opción válida y necesaria [12]. Según información de la Red TIC Bolivia¹⁵ en coordinación con Telecentre.org¹⁶, en el país existen 448 telecentros donde las ubicaciones están distribuidas desigualmente, siendo la zona las zonas de los Valles y el Altiplano las que cuentan con un mayor número de establecimientos. Los departamentos de Potosí, Pando y Beni al tener una baja densidad poblacional son los menos provistos de estas instalaciones.

¹³ Confederación Indígena del Oriente Boliviano, <http://www.cidob-bo.org/>

¹⁴ Asociación de Organizaciones de Productores Ecológicos de Bolivia, <http://www.aopeb.org/>

¹⁵ Una red conformada en la actualidad por 22 organizaciones (ONG, organizaciones de base, empresas privadas y entidades gubernamentales) que ejecutan proyectos multisectoriales TIC con la colaboración del Instituto Internacional para la Comunicación para el Desarrollo (IICD) de los Países Bajos.

¹⁶ Programa global que apoya la creación y sostenibilidad de los telecentros comunitarios en el mundo, abarcando 300 organizaciones y más de 100.000 telecentros.

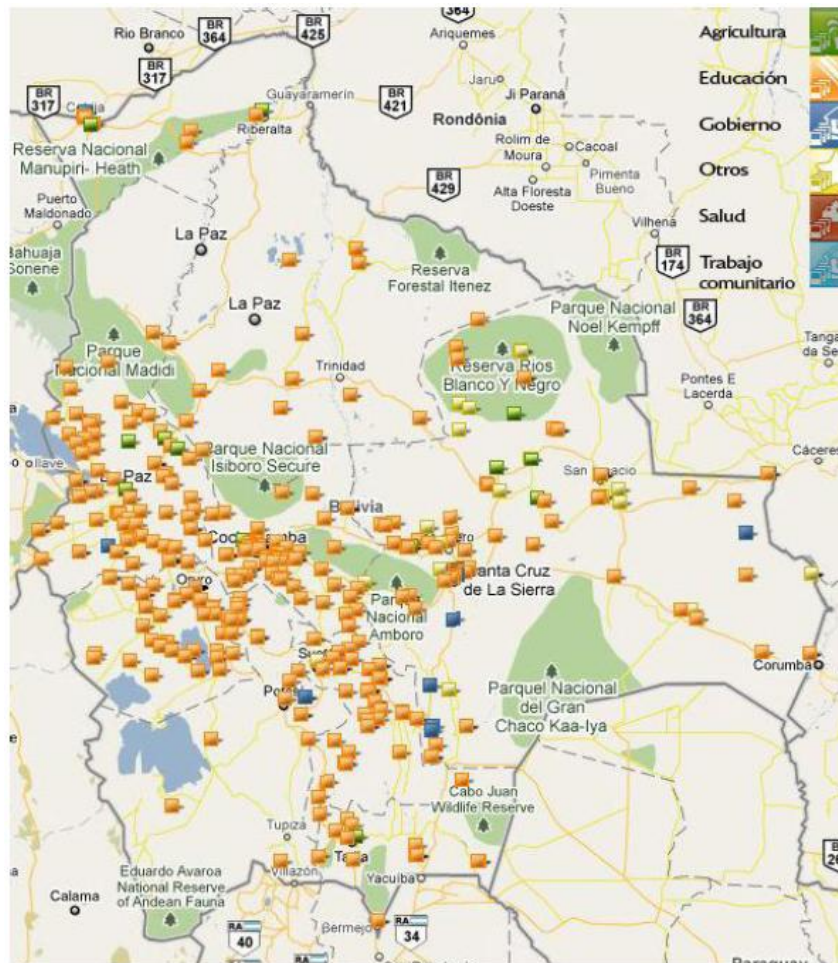


Figura 2.6: Mapa de telecentros en Bolivia [www.telecentremap.org]¹⁷

De la figura anterior podemos afirmar que los telecentros comunitarios en Bolivia son utilizados mayormente con un fin educativo, siendo un complemento en los procesos de enseñanza y un instrumento poderoso para el acceso a las TIC. Es por este motivo, que las herramientas informáticas y la calidad de los contenidos tienen un rol vital al ampliar el catálogo de temáticas disponibles para su educación.

2.2.2.1. Plataformas educativas virtuales

Las posibilidades que ofrece internet en todos los ámbitos, tiene una especial relevancia en el sector educativo, donde la difusión, sensibilización y promoción de las herramientas informáticas va en aumento. El avance de la tecnología ha permitido el desarrollo de aplicaciones propias para los telecentros, como son los portales web y las plataformas virtuales educativas.

¹⁷ Sitio web con datos del origen, tipo y estado de los telecentros. Contiene información actualizada de Bolivia, Burkina Faso, Ecuador, Ghana, Mali, Tanzania, Uganda y Zambia.

En los telecentros comunitarios que se han evaluado en el presente trabajo, se utiliza mayoritariamente software libre, teniendo instalados diversos programas para el uso tanto de los alumnos como de los profesores, como el Jclíc¹⁸, procesadores de textos, imágenes, datos, juegos y otras aplicaciones con material didáctico.



Figura 2.7: Portales educativos de Latinoamérica

La figura anterior muestra las plataformas virtuales disponibles cuyos contenidos y servicios educativos potencian los procesos de enseñanza-aprendizaje, dichos portales son promovidos por el Ministerio de Educación, como *educabolivia*¹⁹ como parte del PNID; además existen iniciativas como *RedPizarra*²⁰ y la Red Latinoamericana de Portales Educativos (RELPE)²¹.

2.3 Proyecto TEC Yapacaní

2.3.1. Contexto del Municipio de Yapacaní

La Red TEC Yapacaní es un proyecto de inclusión digital, que está orientado a facilitar el acceso del sector educativo del Municipio a la Sociedad de la Información y el Conocimiento, con el desarrollo de una plataforma tecnológica TIC, desarrollo de competencias especializa-

¹⁸ Es un entorno basado en software libre para la creación, realización y evaluación de actividades educativas multimedia.

¹⁹ Portal educativo disponible en <http://www.educabolivia.bo/>

²⁰ Comunidad educativa en línea disponible en <http://www.redpizarra.org/>

²¹ Red de portales educativos, como son: <http://www.edu.ar/>, <http://www.educarecuador.ec/>, <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/>, <http://www.educarchile.cl/>, <http://www.mineduc.edu.gt/>, <http://perueduca.edu.pe/>, <http://cubaeduca.rimed.cu/>, <http://portaleducativo.edu.ve/>.

das en profesores/as de unidades escolares y establecimiento de un sistema organizado de control social con capacidad administrativa.

El proyecto ha sido posible con la financiación del Instituto Internacional de Comunicación para el Desarrollo (IICD), el Ayuntamiento de Pamplona, la Agencia Catalana de Cooperación al Desarrollo y Ayuda en Acción Bolivia. El ámbito del proyecto ha abarcado una población directa de 3.666 alumnos, 102 profesores y 965 familias de 13 unidades educativas donde están instalados los telecentros, al igual de haberse creado 10 Comités de padres/madres de familia que participan en el diseño curricular de las unidades educativas. La Figura 2.8 ilustra el marco de resultados definidos en el proyecto.

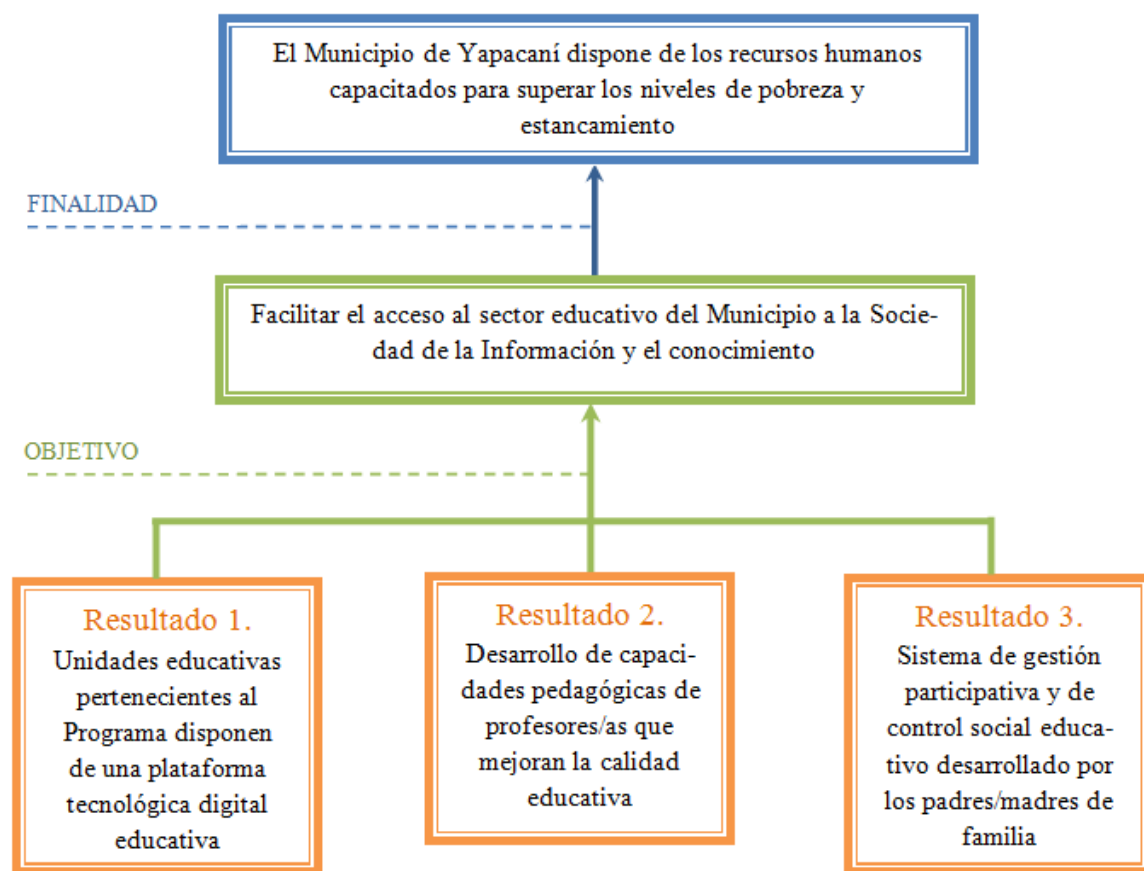


Figura 2.8: Marco de resultados del proyecto TEC Yapacaní

La Red cuenta con los siguientes servicios para el cumplimiento de los resultados:

- Correo electrónico: Capacidad de crear cuentas de usuario de correo electrónico y todas las funcionalidades de este servicio.
- Navegación Internet: Permite el acceso a los portales educativos y para la búsqueda de información.
- Compartición de archivos entre las computadoras de la red.
- Servicio de telefonía entre estaciones de la red.
- Sistema de biblioteca virtual

- *E-learning* sobre herramientas TIC
- Sistema de alerta temprana: Permite alertar sobre la posibilidad de ocurrencia de desastres, sean de origen natural o causados por el hombre.

En [22] se detalla un estudio piloto realizado en 2010 por CEPAC con el apoyo de IICD y de Red TicBolivia²², el cual tenía el propósito de medir el impacto de la educación sobre la lectura y escritura a través del uso de las TIC en el ciclo primario. Dicho estudio fue elaborado en el Municipio de Yapacaní considerando 12 unidades educativas públicas, alcanzando 228 estudiantes de escuelas con y sin telecentro para estimar las competencias, mencionadas según capacidades y desempeño

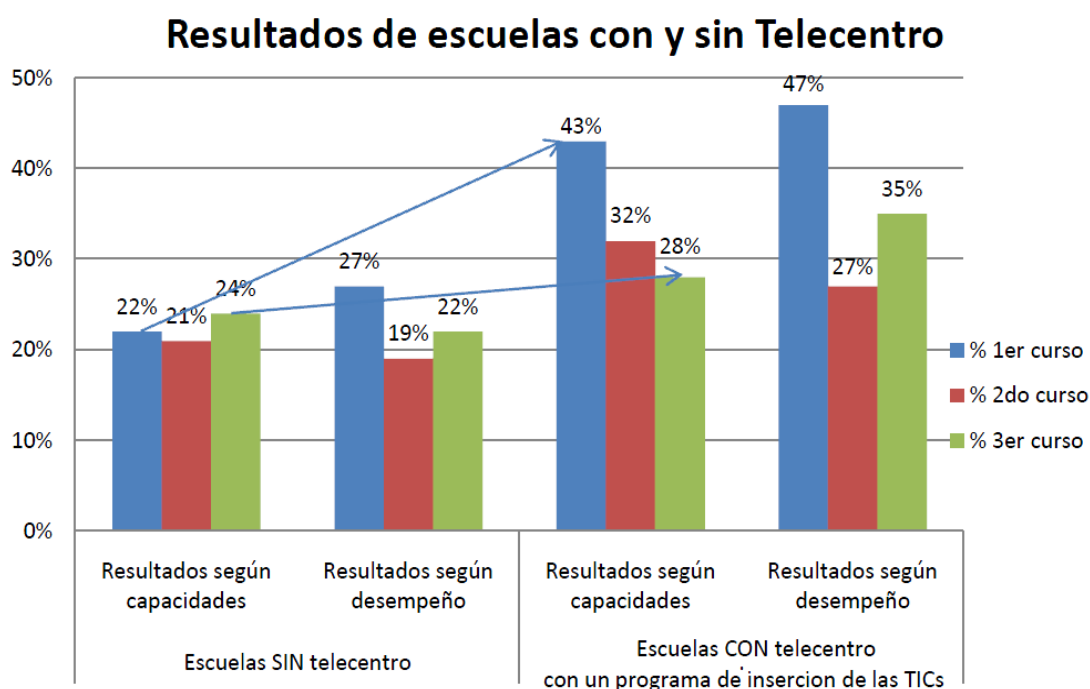


Figura 2.9: Resultados de la evaluación de aprendizaje con el uso de las TIC [23]

La Figura 2.9 ilustra los resultados finales de esta evaluación, en la que concluye que los estudiantes de las escuelas con telecentro han obtenido mejores resultados en las pruebas respecto a las que no cuentan con esta plataforma, siendo esta diferencia variable entre un 4% a un 21%. Por lo tanto, en cuanto al dominio de competencias según capacidades los datos nos muestran que el hecho que una escuela tenga un telecentro educativo como herramienta en el aula contribuye a obtener mejores resultados en términos de capacidad y desempeño escolar, respecto de las escuelas que no cuentan con esta plataforma. Estos resultados tienden a ser significativamente mejores si el telecentro educativo cuenta con un programa sistemático de inserción de las TIC en el aula.

²² <http://www.ticbolivia.net/>

2.3.2. Red TEC Yapacaní

El Municipio de Yapacaní es principalmente agropecuario, forestal, turístico, con importantes reservas de petróleo y principalmente de gas natural. Esto deriva en grandes oportunidades de crecimiento y desarrollo económico para una de las regiones más pujantes del Departamento de Santa Cruz. Geográficamente se encuentra limitado al norte por la reserva forestal El Choré y sur por el Parque Nacional Amboró, mientras que por el este limita por el río Yapacaní y por el oeste por el río Ichilo.

Según el INE, el Municipio cuenta con una población de 31.538 habitantes, de los cuales 16.949 (53,74%) habitantes corresponden al área rural y 14.589 (46,26%) habitantes corresponden al área urbana. La proporción por sexo es del 46% para mujeres y 54% para hombres, existiendo un promedio general de 4,6 hijos por familia.

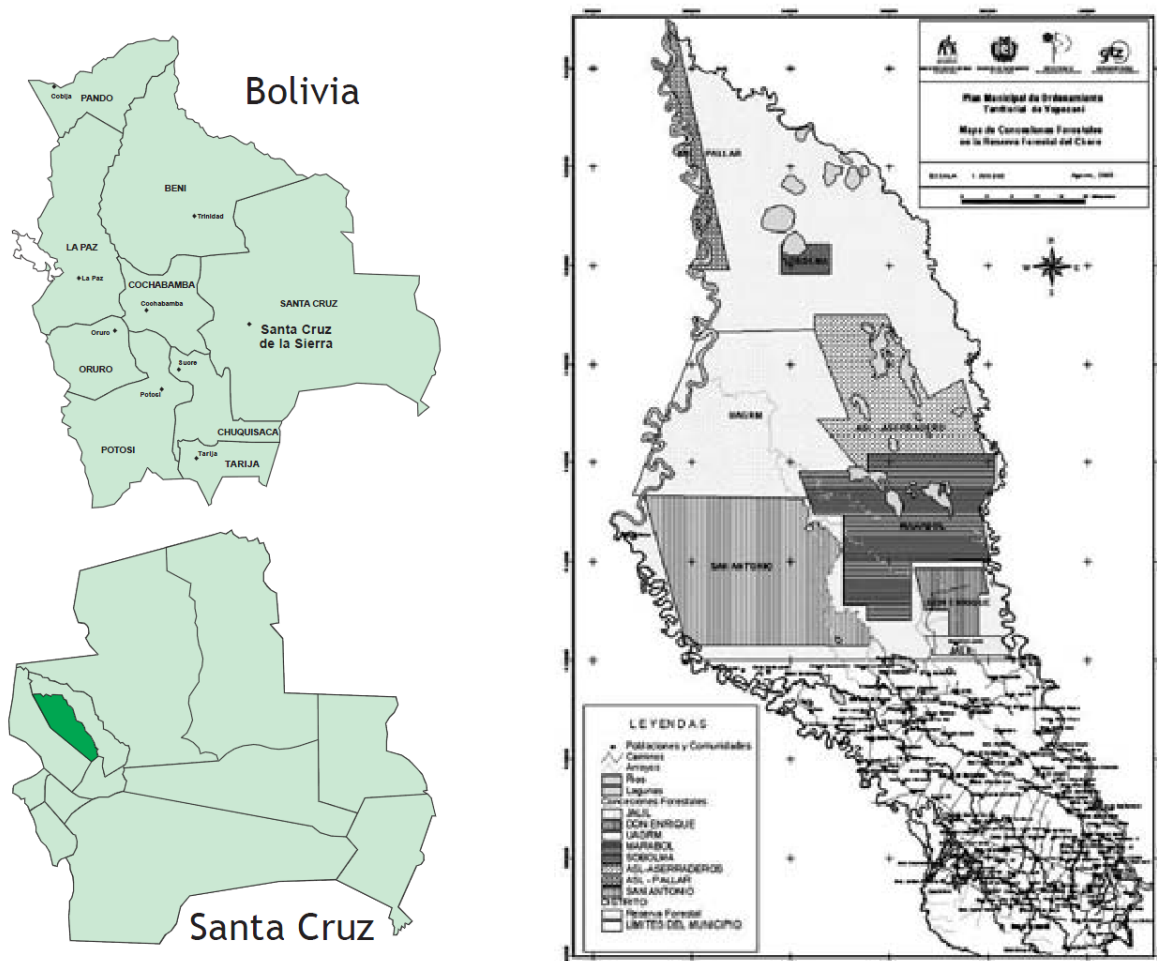


Figura 2.10: Mapa de Yapacaní

Según datos del Plan de Desarrollo Económico Local para el Municipio de Yapacaní 2009-2013, la actividad económica está vinculada a: 1) La producción de arroz cuya totalidad alcanza el 16,8% de la producción nacional. 2) La ganadería mixta, existiendo alrededor de 3.900

familias dedicadas a este rubro. 3) La producción de gas natural, que alcanza el 47% de la producción total del Departamento. 4) Otras actividades de menor importancia como la producción de cítricos, miel de abeja y el cultivo de café. Además de existir un sector dedicado a la actividad forestal y a la actividad turística.

2.3.3. Problemática de la red

La Red TEC Yapacaní actualmente contempla 13 unidades educativas del Municipio, las cuales tienen implementados telecentros con un número de computadores dependiente del alumnado de cada establecimiento. La actividad en cada telecentro ha sido definida para incorporar el uso de las TIC en los procesos educativos, donde por un lado se considera a las TIC como herramienta educativa basada en el interés que suscitan por sí mismas y por el otro, su capacidad para incrementar la motivación por el aprendizaje. Otro aspecto en este sentido, se basa en la enseñanza de las TIC como tal y en su beneficio social como herramienta de apoyo a la reducción de la brecha digital.

Los resultados definidos en el origen del proyecto han sido alcanzados de manera aceptable, ya que existe una capacitación permanente a los docentes en ofimática, internet, software educativo y metodologías de elaboración de material didáctico digital, al igual que se ha alcanzado contar con 4.000 niños con alfabetización digital, que aplican la computadora como un medio de aprendizaje. Por otro lado, existen Comités de Gestión formados por el personal educativo, padres de familia y comunitarios de la zona, encargados de la administración de los recursos, resguardo de instalaciones y equipos del telecentro, promoción del uso de las TIC en la malla curricular, al igual de generar contenidos educativos locales. Si consideramos que el proyecto ha tenido gran aceptación y buenos resultados, como los descritos en la Figura 2.9, se plantea la necesidad de contar con telecentros similares y con los mismos servicios en el mayor número de unidades educativas del Municipio para lograr alcanzar uniformidad en estos indicadores en todos los establecimientos del Distrito Escolar.

Del mismo modo, no se puede obviar la problemática existente en diversos ámbitos del proyecto. Tomando en cuenta los resultados esperados y en base a un análisis de la situación se ha establecido a la sostenibilidad de la red como la problemática central; en el sentido de que hasta ahora, la gestión de los servicios, mantenimiento y administración de los telecentros están a cargo de la fundación CEPAC, mientras se continúa a la espera de que el Municipio de Yapacaní tome el control de la red. En la evaluación externa realizada al Proyecto, detallada en [23], se obtuvo la opinión de los usuarios finales de los telecentros en base a 2 encuestas, en las que se intentaba averiguar las carencias y dificultades encontradas desde el punto de vista de los usuarios del telecentro. Los resultados relevantes de estas encuestas en relación al presente trabajo se ilustran en la Figura 2.11 y Figura 2.12:

¿QUE LE FALTA A SU TELECENTRO?

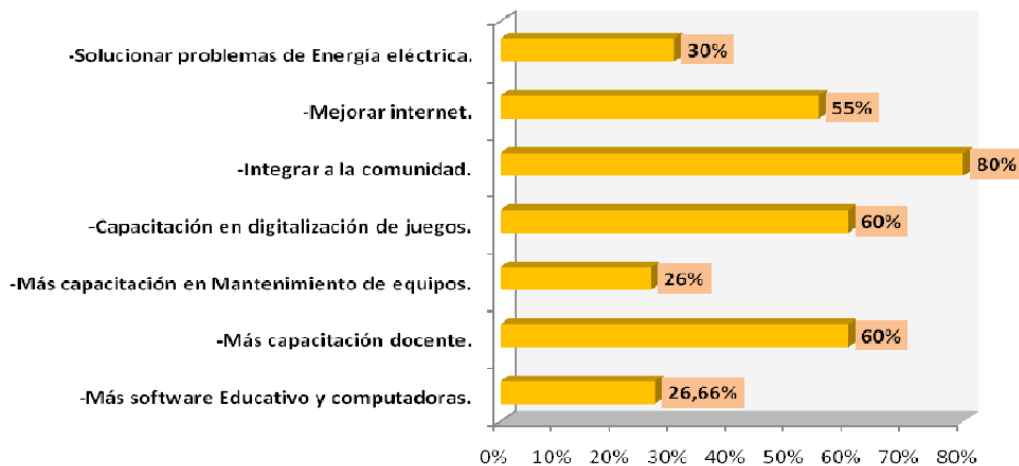


Figura 2. 11: Resultados encuesta 1- Carencias de telecentros

DIFICULTADES EN EL USO DEL TEC

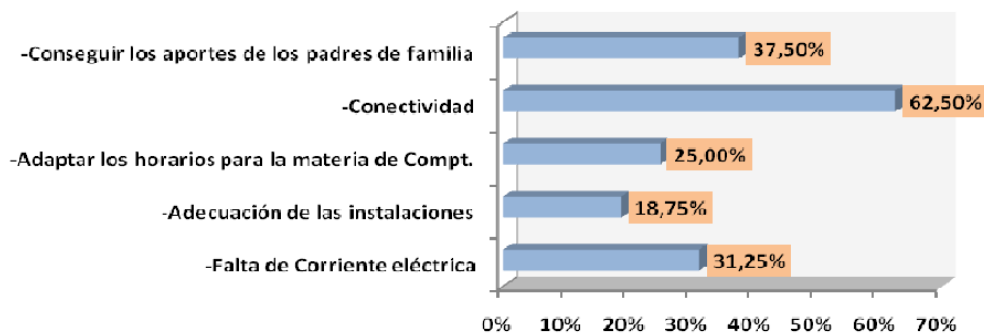


Figura 2.12: Resultados encuesta 2- Dificultades en el uso del telecentro

Los datos obtenidos de las encuestas identifican a la integración de las TIC a la comunidad y a los problemas de conectividad, como las mayores dificultades presentes en los telecentros. En este sentido, contrastando estos datos con los obtenidos mediante entrevistas personales con usuarios de la red y personal técnico, se han recogido los siguientes aspectos relacionados con las causas que originan los principales problemas para la operación normal de la red:

- Falta de personal del Municipio encargado específicamente del control de la red, lo cual origina en el abandono de la misma.
- Falta de mantenimiento al equipamiento general de la red de conectividad, ya que los telecentros como tales, funcionarían de manera *offline* para el desarrollo de las asignaturas y por esto tiende a existir desatención a la red de datos.
- Carencia de personal técnico especializado en la atención de fallas y averías de la red inalámbrica, lo que repercute en tiempos de indisponibilidad demasiado largos, al igual que falta de planificación de las intervenciones por el personal técnico.

Capítulo 3

Objetivo

En este capítulo se describirá el objetivo formulado para el presente PFM, considerando la problemática vinculada a la Red TEC Yapacaní y tomando en cuenta diversas experiencias similares en redes de telecomunicaciones para países en desarrollo. Este trabajo pretende incidir sobre las causas de los problemas detectados partiendo de la siguiente hipótesis:

La implementación de telecentros educativos comunitarios permitirá al acceso y enseñanza de las TIC en las unidades educativas dentro del Municipio de Yapacaní, mientras que la aplicación de un plan operativo de mantenimiento idóneo, según las características propias del entorno, permitirá a la red ser sostenible técnicamente.

Se pretende por tanto proporcionar condiciones de acceso a las TIC en unidades educativas que en la actualidad no pueden hacerlo considerando sus necesidades de comunicación y acceso a información. Al igual que se requiere reducir los tiempos de respuesta entre fallos de la red, lo cual generará un mayor nivel de disponibilidad del sistema de comunicaciones.

En este contexto, el objetivo central de este PFM consiste en el diseño de una red de telecomunicación de banda ancha que permita la interconexión y acceso a las TIC en las unidades educativas del Municipio en cuestión.

Los resultados esperados de este trabajo son los siguientes:

1. Diseño de la red, contemplando unidades educativas tanto en el ámbito urbano como rural del Municipio.
2. Definición de las especificaciones y el equipamiento técnico para llevar a cabo la implementación de la red.
3. Elaboración de un Plan Operativo de Mantenimiento.

Parte

II

METODOLOGÍA

Capítulo 4

Materiales y métodos

En este capítulo se va a describir la metodología utilizada para el logro del objetivo planteado en el capítulo anterior, una vez establecida la problemática y el contexto del PFM. Para ello, se han definido las siguientes etapas para este cometido: Obtención de información, formulación de la propuesta de diseño y la formulación del Plan de Mantenimiento para la red.

4.1. Obtención de información

Como paso previo es imprescindible la recolección sistemática de información y el análisis de las mismas. Este proceso debe incluir un análisis de necesidades mediante el cual se localicen los problemas de la comunidad y de las personas involucradas. Tanto si se tienen nociones de las necesidades locales o pueden parecer obvias, como si no se tiene ninguna idea previa, es fundamental llevar a cabo el análisis de necesidades antes de realizar la planificación de cualquier proyecto.

En este sentido, la información recopilada en este trabajo proviene de:

- Documentación oficial y escritos. Consiste en la revisión de documentación formal o no formal sobre la situación de estudio. Se han revisado documentos redactados por CEPAC, como la propuesta técnica inicial de la red, información de los servicios de la red [22] e informes de evaluación externa del proyecto [23].
- Observación participativa: Consiste en la traducción conceptual de situaciones observadas a los diferentes actores en Yapacaní y su interacción con los sistemas TIC implementados, siendo los actores mencionados alguna autoridad municipal, profesores y personal técnico de la red. Esta observación ha permitido obtener información muy útil sobre el contexto global.
- Entrevistas en profundidad: Entrevistas realizadas al Coordinador del Área de Desarrollo Territorial Yapacaní y al Responsable de la Administración de la Red TEC Yapacaní, utilizando un cuestionario con un listado de preguntas concretas y orientadas a la metodología de trabajo en la red.

4.2. Formulación de la propuesta de diseño

Se ha seguido para este punto metodologías documentadas gracias a la experiencia obtenida en la implementación de diversas redes rurales de países en desarrollo, como ser [24], [25], [26]. Para la ampliación de la red al ser comparables los ámbitos de ejecución descritos en la documentación consultada, se han seguido los lineamientos definidos en dicha bibliografía. La Figura 4.1 detalla un modelo de diseño utilizado en este PFM.

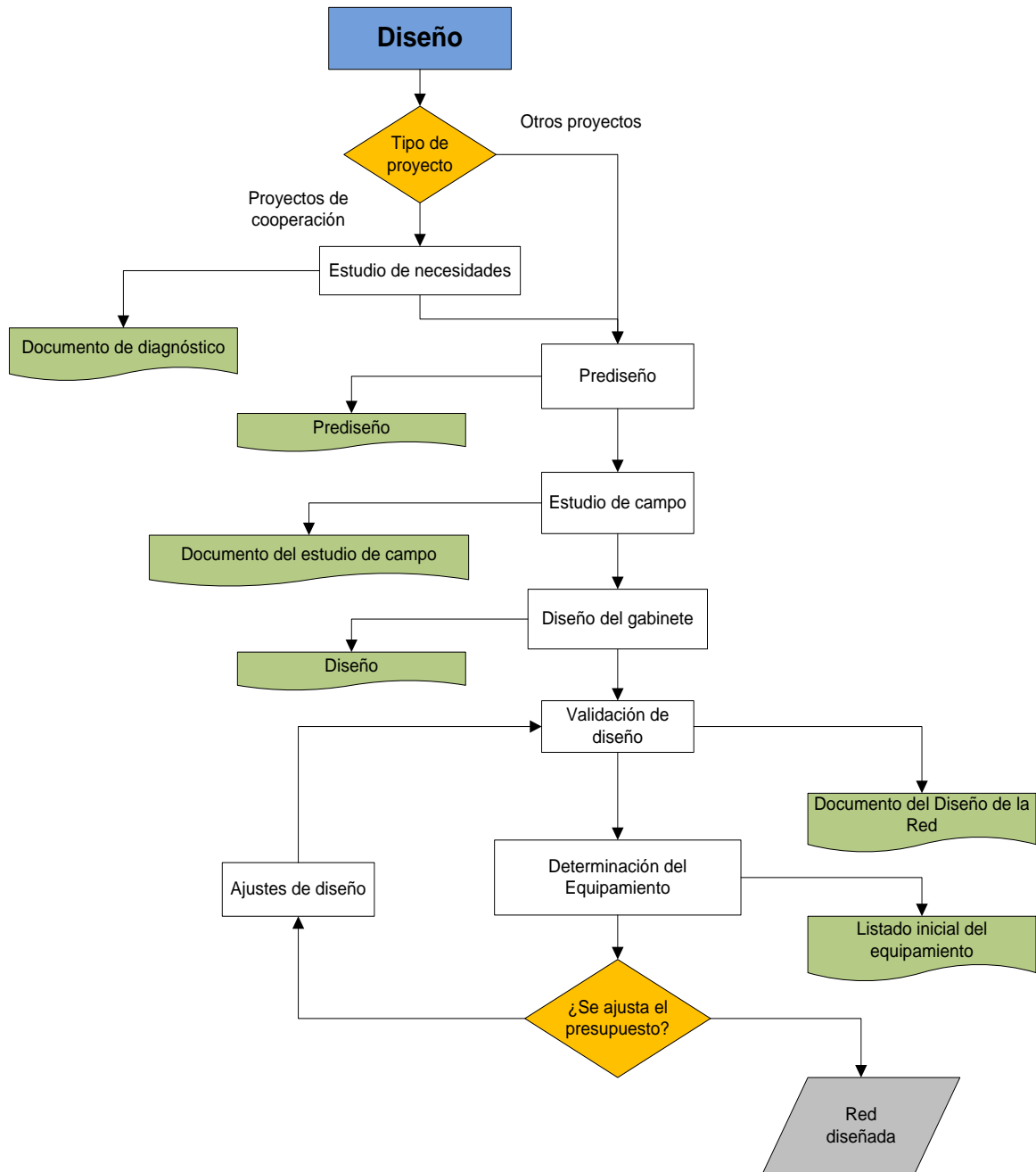


Figura 4.1: Diagrama de la fase de Diseño [25]

De la gráfica podemos extraer las siguientes consideraciones:

- La etapa de pre-diseño define la zona de intervención y la determinación de las estaciones a ser tomadas en cuenta. En este caso, las unidades educativas de la red han sido seleccionadas por la Dirección Distrital de Educación de Yapacaní, por lo que sólo ha sido necesario obtener las coordenadas geográficas y determinar el tipo de estación para cada caso.
- La etapa de diseño del gabinete define los subsistemas de cada estación, el cálculo de los radioenlaces, la distribución de antenas. En fin, todos los datos requeridos para determinar los presupuestos de cada enlace y la viabilidad técnica de la red.
- La etapa de validación comprende la aceptación del diseño propuesto mediante un diseño participativo entre los beneficiarios directos y los demás actores involucrados.
- La etapa de determinación del equipamiento define las especificaciones técnicas del equipamiento a proponer, el cual debe considerar posibles distribuidores locales y precios según determinadas especificaciones. Esta etapa repercute de manera directa en el proceso de compras y mantenimiento.

4.3. Formulación del Plan de mantenimiento

Para la elaboración del Plan Operativo de Mantenimiento se ha seguido la metodología descrita en [10], tomando en cuenta los aspectos descritos en la Figura 4.2:

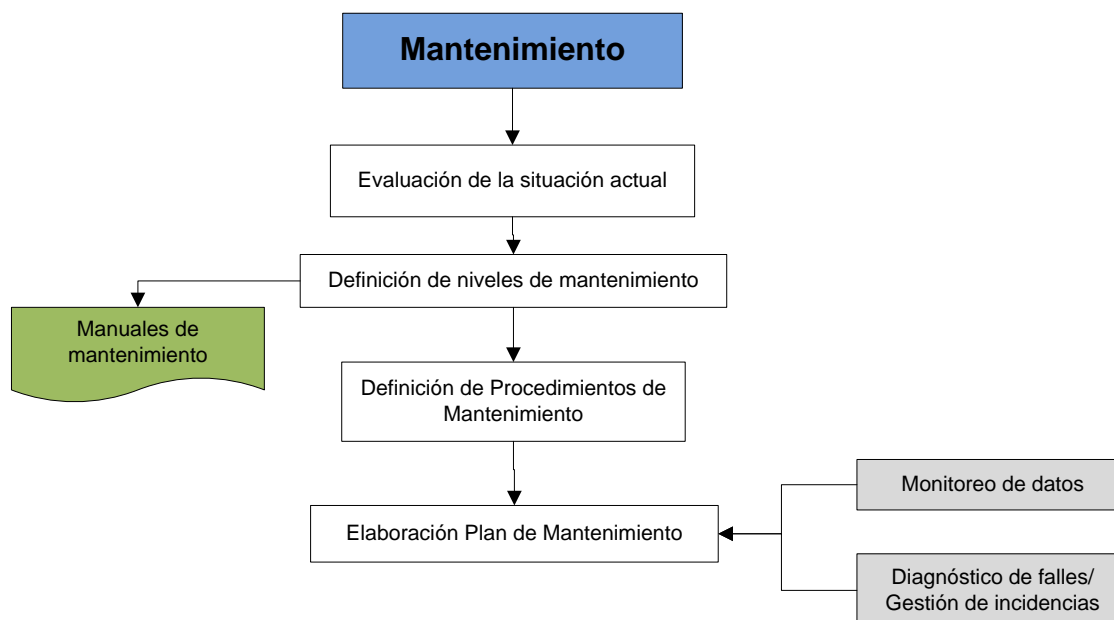


Figura 4.2: Diagrama de la fase de Mantenimiento [25]

Se intenta por medio del Plan Operativo de Mantenimiento de la red, aumentar y prolongar en el tiempo la disponibilidad de sistemas de comunicaciones, incluyendo:

- Procedimiento de monitorización sistemática de los sistemas a través de un Sistema de Gestión de Red.
- Procedimiento de Gestión de las Incidencias detectadas y reportadas.
- Planificación del mantenimiento preventivo y correctivo.

4.4. Recursos

Los materiales que se han utilizado para la realización del presente trabajo son:

1. Informes internos de la propuesta de diseño de la fase inicial del proyecto TEC Yapacaní, al igual que documentación de la evaluación externa de la red [22], [23].
2. Entrevistas personales con personal técnico y usuarios finales de la red, acerca del funcionamiento y operativa en general para la identificación de las carencias técnicas de la red.
3. Literatura sobre las características relevantes para redes de telecomunicaciones de bajo coste para países en vías de desarrollo [24], [25], [26], [29], [31].
4. Literatura sobre la elaboración de planes de mantenimiento y especificaciones de las actividades para los protocolos de actuación [10], [34].
5. Software de simulación radioeléctrica para el estudio de viabilidad técnica de la red.
6. Estudio de campo para la evaluación del estado de la red TEC Yapacaní.

Parte

III

RESULTADOS

Capítulo 5

Diseño de la red

En este capítulo se va a describir el proceso del diseño de la red, específicamente la Fase 2 del Proyecto TEC Yapacaní, por lo que se considerarán para éste los nuevos emplazamientos al igual que las estaciones de la fase inicial para el dimensionado de la red en su totalidad. Para ello, primeramente se debe definir la tecnología inalámbrica y la legislación vigente a utilizar en el diseño, ya que de éstas dependerán los parámetros más determinantes como la frecuencia, potencia, etc.

Posteriormente se definirá la topología de la red, se utilizará una herramienta de simulación para el cálculo de los radioenlaces considerando los parámetros del equipamiento preseleccionado. Finalmente se ha elaborado el direccionamiento IP y el encaminamiento para la red. Para este capítulo se ha considerado de manera general los procedimientos de diseño para redes de telecomunicaciones en zonas aisladas descritos en [24], [25] y [26].

5.1. Emplazamientos de la red

En [22] se detallan los buenos resultados obtenidos a corto plazo con la implementación de los telecentros educativos en Yapacaní, los cuales han permitido considerar la ampliación del proyecto a nuevas unidades educativas del Municipio, involucrando de esta manera, un mayor número de nodos dentro de la red. La predisposición de las autoridades locales y la presencia de importantes ONG en la región, posibilita la eventual implementación de estos nuevos emplazamientos en un futuro cercano.

Los nuevos emplazamientos involucrados en la red estarán dentro del Municipio de Yapacaní y estarán ubicados en las unidades educativas de las comunidades campesinas de la zona, las cuales en su mayoría sólo brindan educación primaria, a excepción de ITCIO (Instituto Técnico de Capacitación Indígena Originario), que es una institución de formación y preparación de los pobladores de la región en disciplinas técnicas y productivas para el desarrollo integral de la región.

La Figura 5.1 ilustra las estaciones de la fase inicial y las contempladas para la ampliación de la red, motivo del presente PFM:



Figura 5.1: Emplazamientos de la red

Como se aprecia en la gráfica anterior la red cuenta con 13 unidades educativas (fase 1), de las cuales 8 pertenecen al ámbito urbano y 5 al ámbito rural del Municipio de Yapacaní. Los nuevos puntos de la red (fase 2) están orientados mayoritariamente a la interconexión de telecentros en las zonas más alejadas del Municipio. En el Cuadro 5.1 se detallan las coordenadas geográficas de todas las estaciones de la red.

Site	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud [msnm]	FASE 1
1	Dirección Distrital	17°24'7.62"S	63°52'58.14"O	297	
2	UE 25 de Mayo	17°24'20.04"S	63°52'35.46"O	300	
3	UE El Carmen	17°23'59.70"S	63°53'36.42"O	297	
4	UE Simón Bolívar	17°24'20.46"S	63°53'4.32"O	299	
5	Instituto INTY	17°24'19.62"S	63°53'15.00"O	298	
6	UE Heroínas	17°24'17.64"S	63°53'23.70"O	300	
7	UE Niño Jesús	17°24'47.94"S	63°52'45.12"O	297	
8	CEPAC	17°24'39.30"S	63°53'0.30"O	299	
9	UE Palmar Norte	17° 4'46.38"S	64°18'36.90"O	242	
10	UE Campo Víbora	17° 4'58.70"S	64°17'42.37"O	245	
11	UE Puerto Choré	17° 4'37.86"S	64°16'47.52"O	232	
12	UE Los Pozos	17° 0'46.44"S	64° 3'35.10"O	251	
13	UE 15 de Agosto	17° 4'0.48"S	64° 5'35.16"O	244	

Site	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud [msnm]
14	UE Alianza Norte	17°23'53.81"S	63°53'0.99"O	297
15	UE Nacional Bolivia	17°23'38.96"S	63°53'6.90"O	295
16	UE Bolívar	17°22'56.49"S	63°58'54.11"O	321
17	UE Mariscal Sucre	17°23'19.02"S	63°58'19.06"O	316
18	ITCIO	17°22'19.51"S	64° 0'42.40"O	306
19	UE San Germán	17°19'33.68"S	64° 8'11.20"O	267
20	UE Nuevo Horizonte	17°18'47.76"S	64° 9'6.96"O	263
21	UE Santa Cruz	17°17'12.37"S	64°11'7.91"O	256
22	UE Puerto Grether	17°15'48.68"S	64°20'28.68"O	246
23	UE Buló Buló	17°15'24.16"	64°21'38.01"O	243
24	UE Alta Vista	17° 2'31.00"	64° 5'46.77"O	244

FASE 2

Cuadro 5.1: Coordenadas geográficas y ámbito de las estaciones de la red

5.2. La solución tecnológica

La tecnología utilizada para este proyecto se enmarca en las soluciones tecnológicas apropiadas y sostenibles para entornos rurales de países en desarrollo. Por lo que, en la elección de la tecnología a utilizar se deben tomar en cuenta los siguientes criterios [27]:

- Debe ser robusta y sencilla de usar, ya que los usuarios van a ser poco cualificados y no van a contar con el apoyo continuado de asesores capacitados.
- Debe requerir poco o ningún mantenimiento por parte técnicos especializados, ya que los costos de logística por la presencia de personal cualificado son mayores. Es por esto, que la administración de la red debe tener asociados costos fijos mínimos.
- Debe ser de bajo consumo, ya que frecuentemente tendrá que depender de instalaciones de energía propia, como ser fuentes fotovoltaicas o eólicas que encarecen las instalaciones y aumentan los costos de mantenimiento.
- Debe tener costos de despliegue y de operación muy bajos. Esto excluye a las redes cableadas, las de telefonía móvil y las redes satelitales como soluciones únicas. En ocasiones se puede plantear el acceso a internet de la red por uno de estos medios, pero la distribución del acceso se deberá efectuar con una tecnología complementaria más barata.

En este contexto, existen alternativas tecnológicas inalámbricas que son convenientes resaltar como ser HF (*High Frequency*), VHF (*Very High Frequency*), IEEE 802.11 (WiFi), IEEE 802.16 (WiMAX). Como la red TEC Yapacaní es una red de banda ancha se descartan las tecnologías HF y VHF por su baja prestación en cuanto a la velocidad de transmisión. En cuanto a la comparativa WiFi-WiMAX en [24] se presentan una serie de ventajas y desventa-

jas de cada una de ellas, concluyendo que la elección de una de ellas estará en función de las características y los requisitos de la red que se pretenda desplegar.

Considerando que la fase inicial del proyecto TEC Yapacaní utiliza IEEE 802.11a, se utilizará este mismo estándar para el diseño de la fase 2 de la red. Es por esto, que a continuación se realizará una breve explicación basada sólo en dicha tecnología.

WiFi

La familia de estándares IEEE 802.11, más conocida como WiFi, tiene asignadas las bandas ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) 902-928 MHz, 2,400-2,483 GHz y 5,725-5,850 GHz para el uso en las redes inalámbricas basadas en espectro ensanchado con objeto de lograr redes de área local inalámbricas (WLAN).

WiFi comparte la mayoría de su funcionamiento interno con el estándar de redes de área local *Ethernet*, sin embargo difiere en la especificación de la capa física (PHY) utilizando señales radio en lugar de cableado y en su capa de control de acceso al medio (MAC), ya que para controlar el acceso al medio *Ethernet* utiliza CSMA/CD, mientras que WiFi usa CSMA/CA. El elevado ancho de banda de hasta 11 Mbps para 802.11b y hasta 54 Mbps para 802.11a/g (que se traducen en aproximadamente hasta 6 Mbps y hasta 22 Mbps netos respectivamente) a un precio reducido, lo presenta como una de las mejores opciones para la transmisión de datos y redes de telefonía empleando VoIP (voz sobre IP) en este escenario.

No obstante, pueden ser utilizadas (bajo ciertas restricciones legales de potencia) en exteriores, si se introducen antenas externas, amplificadores adecuados, etc. Las regulaciones vigentes en Hispanoamérica permiten establecer enlaces de decenas de kilómetros a potencias muy bajas, con un ancho de banda mucho mayor que otras soluciones tecnológicas, lo que abre el camino a servicios como aplicaciones de tiempo real. Como la comunicación punto a punto sólo puede darse entre estaciones con perfecta línea de vista, en muchos contextos no suelen lograrse alcances mayores de unos 40 Km. Sin embargo, pueden salvarse obstáculos con el uso de emplazamientos aislados intermedios o las propias estaciones cliente utilizadas como repetidores, para interconectar 2 estaciones que se encuentren a una mayor distancia [27].

Las ventajas e inconvenientes que presenta el uso de esta tecnología se indican a continuación [29]:

Ventajas:

- Uso de las bandas no licenciadas ISM 2,4 / 5,8 GHz (con limitaciones de potencia).
- Velocidades desde 1 hasta 54 Mbps brutos, siempre teniendo en cuenta que el *throughput* neto obtenido está alrededor de un 50-70% de esos valores, lo cual satisface las necesidades de ancho de banda de este escenario.

- Tecnología con estándar ampliamente conocido y fácil de configurar, lo que contribuye a los bajos costos de los equipos.
- Bajo consumo de potencia, menor de 10 W por enrutador.
- Flexibilidad: un nodo puede adherirse a la red si puede ver a uno de los nodos vecinos (las zonas rurales aisladas normalmente no siguen una distribución geométrica ordenada alrededor de un punto central).
- Hardware fácilmente integrable en un sistema impermeable que soporte condiciones meteorológicas adversas.

Desventajas:

- Requiere línea de vista directa (esto podría elevar, en algunos casos, el número de repetidores necesarios aumentando demasiado el costo).
- Al ser una tecnología creada para redes de corto alcance, hay que solventar ciertos problemas relacionados con su utilización para distancias de decenas de kilómetros.
- El número de colisiones aumenta en relación al número de usuarios.
- Tiene un número limitado de canales no interferentes, 3 en 2,4 GHz y 8 en 5,8 GHz.

Desde el año 2001, esta tecnología ha tomado fuerza en escenarios de aplicación que requieren sistemas de comunicaciones de largas distancias; si bien este estándar no se concibió para redes extensas, sus ventajas en cuanto al costo, uso de frecuencias libres y su gran ancho de banda, han despertado el interés de diversos agentes tecnológicos de países en desarrollo. Incluso en los núcleos urbanos de muchos países se han dado experiencias de aplicación WiFi para distribuir el acceso a Internet con la mayor cobertura posible en exteriores. Además, el enorme éxito de WiFi en todos los ámbitos ha dado lugar a una gran cantidad de productos en el mercado, casi todos ellos de bajo consumo, a precios bajos y mucha flexibilidad de uso, especialmente en combinación con desarrollos de software abierto. Respecto al uso de frecuencias en los casos en que no hay un vacío legal, la mayor parte de los Estados adoptan las restricciones de la FCC (*Federal Communications Commission*) en el uso de las bandas ISM usadas por esta tecnología.

5.3. Arquitectura de la red

5.3.1. Topología y descripción de la red

La Red TEC Yapacaní estará conformada por una Red Troncal o de Transporte y por una Red de Distribución o de Acceso. La primera de éstas será la red por la que se transmitirá la señal inalámbrica y el posible acceso a internet, mientras que la segunda será la conformada

por los enlaces de la red troncal con cada estación cliente, que son las unidades educativas descritas anteriormente.

- Red Troncal: Conformada por enlaces punto a punto (PtP), con la finalidad de transportar el tráfico generado en todas las estaciones cliente de la red.
- Red de Distribución: Conformada por enlaces punto multipunto (PtMP) o PtP, con la finalidad de brindar acceso de la señal transportada por la red troncal a las estaciones cliente.

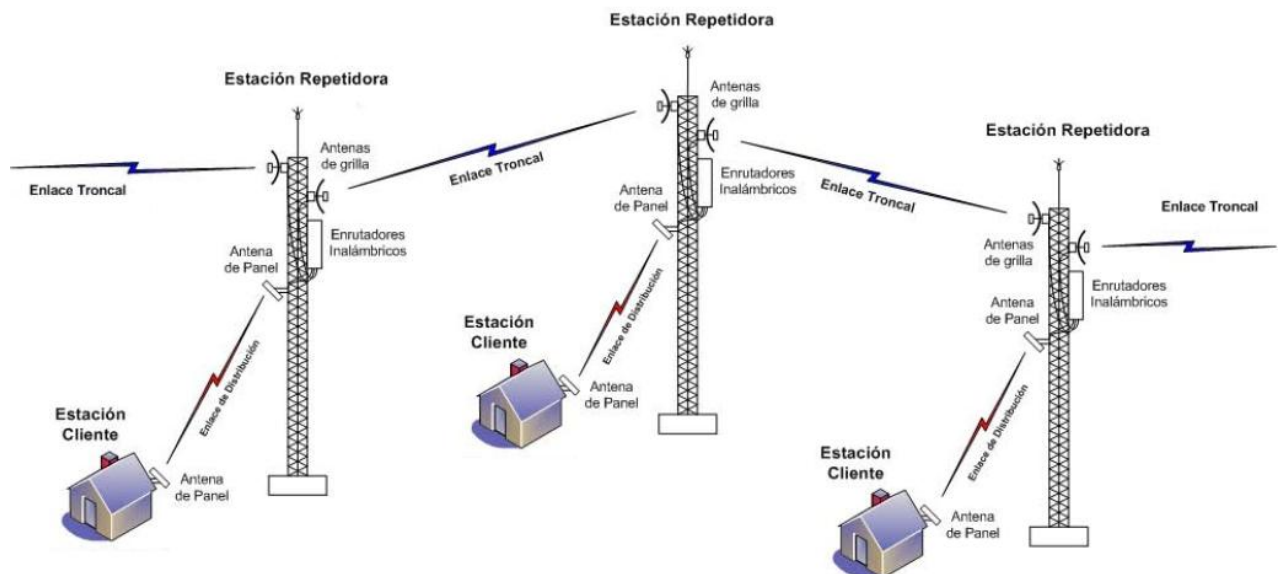


Figura 5.2: Detalle de la topología de la Red Troncal y la Red de Distribución [31]

5.3.2. Distribución de estaciones de la red

Tomando en cuenta que los nuevos emplazamientos están distribuidos geográficamente por todo el Municipio, requieren para su interconexión formar parte de una Red de Distribución, bien por ser un lugar más poblado o bien, por estar geográficamente mejor posicionado para el diseño final de la red. Si bien, este trabajo está referido a la ampliación de la red se ha realizado un replanteo de las condiciones iniciales del diseño de la red, donde se ha mantenido a la estación Dirección Distrital de Educación para el acceso a Internet. Dicha conexión contratada a COTAS²³ consiste en 512 Kbps de bajada y 128 Kbps de subida vía ADSL, siendo ésta la velocidad máxima que dispone el operador en esta zona. El Cuadro 5.2 detalla cómo se interconectarán las estaciones en la red dependiendo su Red de Distribución, quedando las ubicaciones a interconectar dispuestas de la siguiente manera:

²³ <http://www.cotas.com/>. Cooperativa de Teléfonos Automáticos Santa Cruz de la Sierra.

Síte	Nombre	Entorno	Red de distribución
1	Dirección Distrital (N)	Urbano	-
2	UE 25 de Mayo	Urbano	YAPACANÍ
3	UE El Carmen	Urbano	YAPACANÍ
4	UE Simón Bolívar	Urbano	YAPACANÍ
5	Instituto INTY	Urbano	YAPACANÍ
6	UE Heroínas	Urbano	YAPACANÍ
7	UE Niño Jesús	Urbano	YAPACANÍ
8	CEPAC	Urbano	YAPACANÍ
9	UE Palmar Norte	Rural	PALMAR NORTE
10	UE Campo Víbora (N)	Rural	-
11	UE Puerto Choré	Rural	PALMAR NORTE
12	UE Los Pozos	Rural	15 DE AGOSTO
13	UE 15 de Agosto (N)	Rural	-
14	UE Alianza Norte	Urbano	YAPACANÍ_2FASE
15	UE Nacional Bolivia	Urbano	YAPACANÍ_2FASE
16	UE Bolívar	Rural	MARISCAL SUCRE
17	UE Mariscal Sucre (N)	Rural	-
18	ITCIO	Rural	MARISCAL SUCRE
19	UE San Germán (N)	Rural	-
20	UE Nuevo Horizonte	Rural	SAN GERMÁN
21	UE Santa Cruz	Rural	-
22	UE Puerto Grether (N)	Rural	-
23	UE Bulu Bulu	Rural	PUERTO GRETHER
24	UE Alta Vista	Rural	15 DE AGOSTO_2FASE

Cuadro 5.2: Ubicaciones a interconectar Red TEC Yapacaní

Las estaciones (N) que no tienen asignadas una Red de Distribución son las que conforman la Red Troncal y son Dirección Distrital, Mariscal Sucre, San Germán, Santa Cruz, Campo Víbora, 15 de Agosto y Puerto Grether. Es importante recalcar que estos nodos están ubicados dentro de unidades educativas con el mismo nombre, pero tienen distinto equipamiento y configuración. En el presente trabajo se propone un cambio en la Red Troncal de la Red, como se muestra en la Figura 5.3, debido a los siguientes condicionantes:

- La existencia de nuevos emplazamientos obliga a una adecuación de la red para poder brindar interconexión a los mismos.
- La inestabilidad de los enlaces y bajos niveles de recepción en los dispositivos han sido los problemas comunes detectados en la fase de estudio de campo.

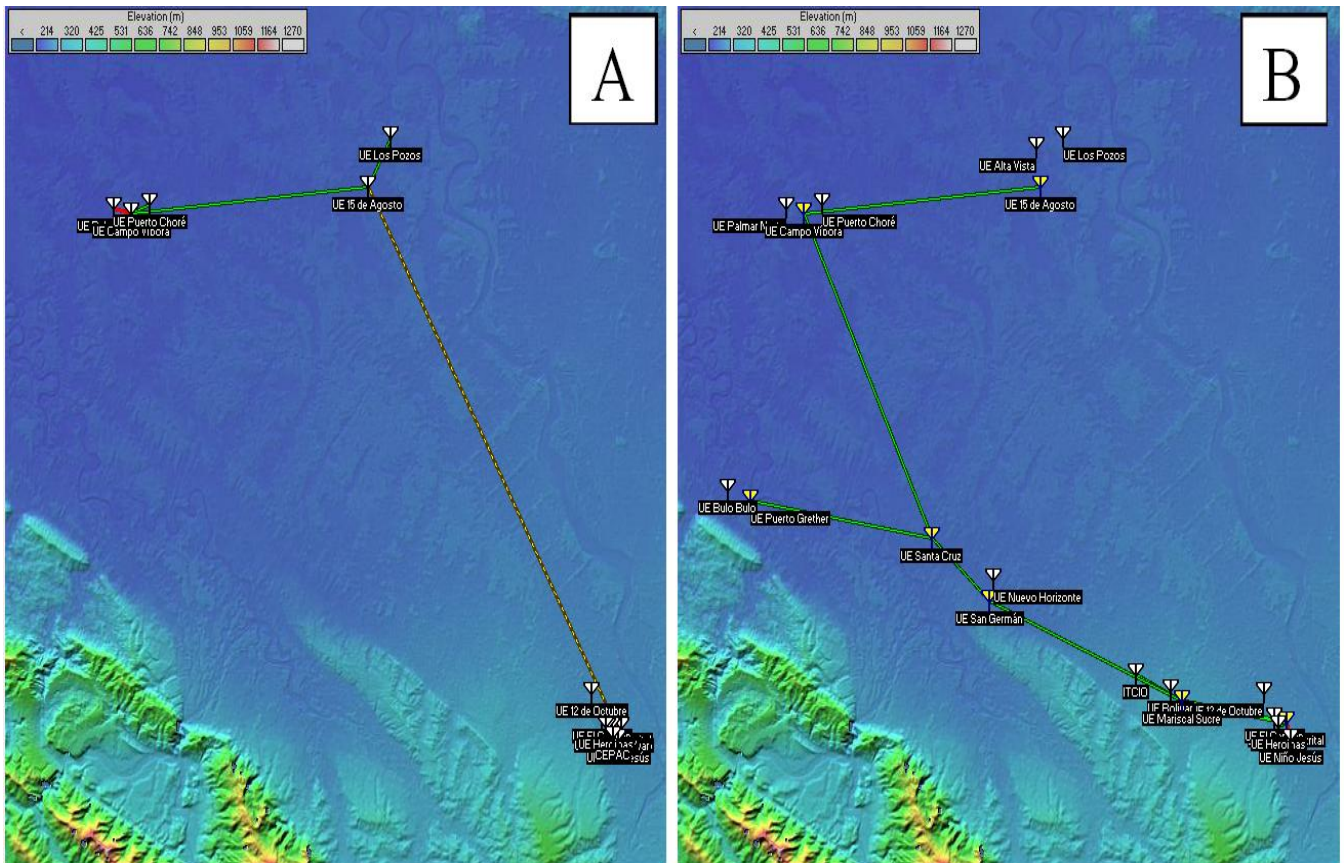


Figura 5.3: Red Troncal A) Esquema actual B) Esquema propuesto

El cambio de esquema para la Red Troncal se debe a que la mayoría de las unidades educativas contempladas en la ampliación se encuentran en la parte occidental del Municipio, de modo que se aprovecha algunas de estas estaciones para ser parte de la Red Troncal. Es importante resaltar el enlace Dirección Distrital – 15 de Mayo de 43 Km de distancia (Figura 5.3A), ha presentado inestabilidad desde la implementación de la red.

El Cuadro 5.3 detalla las distancias entre los puntos de esta nueva configuración.

Punto 1	Punto 2	Distancia [Km]
Dirección Distrital	Mariscal Sucre	9,6
Mariscal Sucre	San Germán	18,8
San Germán	Santa Cruz	6,8
Santa Cruz	Campo Víbora	25,5
Santa Cruz	Puerto Grether	16,7
Campo Víbora	15 de Agosto	21,5

Cuadro 5.3: Distancias entre nodos de la Red Troncal

5.4. Planificación radioeléctrica

5.4.1. Frecuencia y potencia de operación

La Ley General de Telecomunicaciones, Tecnologías de la Información y Comunicación, promulgada por el Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda, señala en su artículo 8 que el Plan de Frecuencias²⁴ reglamenta el uso equitativo y eficiente del espectro radioeléctrico de acuerdo a normas nacionales y recomendaciones internacionales. Dicho Plan de Frecuencias, establece la banda de 5,8 GHz como libre en el rango de 5725 a 5850 MHz [28].

El estándar IEEE 802.11a toma en cuenta la banda alta UNII, en la que el rango de frecuencias puede variar según la legislación de cada país. Así mismo, establece una canalización de 20 MHz y una frecuencia central de canal determinada por la Ecuación 3.1.

$$f_c[\text{MHz}] = 5000 + (5 \cdot n_{ch}) \quad (3.1)$$

Donde n_{ch} es el número de canal

La banda UNII establece para el rango de frecuencias de 5725 a 5850 MHz los canales no interferentes 149, 153, 157, 161 y 165. Considerando la ecuación 3.1, se pueden determinar las frecuencias que se pueden utilizar en el diseño de la red.

Canal	Frecuencia [MHz]
149	5745
153	5765
157	5785
161	5805
165	5825

Cuadro 5.4: Frecuencias disponibles para la red

En cuanto a la PIRE máxima permitida, la mencionada Ley se acoge a las restricciones de la FCC para el uso de las bandas ISM de 5.8 GHz, las cuales en su reglamentación FCC 15.247 establece que, para las bandas no licenciadas el valor de la PIRE no debe exceder el valor de 36 dBm (4 W), al igual que la potencia pico máxima de un transmisor no debe exceder el valor de 30 dBm (1 W).

En general, por cada 1dB de reducción de potencia del transmisor de los 30 dBm posibles se puede añadir 3 dB en la ganancia de la antena. Por otro lado, la normativa vigente establece que para entornos rurales el valor de 36 dBm para la PIRE se puede sobrepasar siempre y

²⁴ Disponible en <http://www.oopp.gob.bo>. Este Plan ha sido promulgado por la Autoridad de Regulación y Fiscalización de Telecomunicaciones y Transportes (ATT), ex Superintendencia de Telecomunicaciones de Bolivia.

cuando se presente una justificación pertinente. Cabe recalcar que para la fase 1 del presente proyecto se contó con todos los permisos legales impuestos por el Viceministerio de Telecomunicaciones.

5.4.2. Software de simulación

La simulación permite estimar el comportamiento y prestaciones de la red como parte de un estudio previo al despliegue, por lo que se debe recurrir a una herramienta que permita en la medida de sus posibilidades brindar mayor fidelidad en los resultados.

Existen numerosos programas para analizar y planificar el funcionamiento de un sistema de radiocomunicaciones, como son los privativos, con elevados costos pero con mayores prestaciones y funcionalidades. Mientras que por otro lado, tenemos a disposición programas gratuitos como el SPLAT (*Signal Propagation, Loss And Terrain*) con licencia GNU/GPL o el Radio Mobile²⁵, que es una aplicación de libre distribución.

En este caso, se ha optado por Radio Mobile por su sencillez en su aplicación, entorno gráfico más versátil y por contar con una aceptable fidelidad en los resultados. Utiliza el modelo de predicción de propagación de Longley-Rice y los perfiles geográficos de la zona de estudio, permitiendo simulación de enlaces en el rango de 20 MHz - 20 GHz y longitudes de trazo entre 1 y 2.000 Km [24].

El diseño de los radioenlaces mediante este simulador permite establecer los valores mínimos a considerar en cuanto a la ganancia, potencia de transmisión, sensibilidades en recepción y la atenuación en el cableado a utilizar. Por lo tanto, nos ayudará a definir los requisitos para la elección del equipamiento de la red.

5.4.2.1. Datos de simulación

Se han considerado los siguientes valores para las simulaciones, tomando las condiciones geográficas propias de la zona, la topología definida, la normativa del uso del espectro radioeléctrico y el clima. A continuación se detallan los datos de configuración para simular la red:

- Frecuencia: El rango de frecuencias permitido va desde 5745 a 5825 MHz.
- Polarización: Vertical
- Modo estadístico: *Broadcast*, con el 90% de tiempo y 80% de los lugares y situaciones.
- Refractividad de la superficie: 360 Unidades-N

²⁵ Disponible en <http://www.cplus.org/rmw/english1.html>

- Conductividad del suelo: 0,005 S/m
- Clima: Ecuatorial
- Permitividad relativa al suelo: 15
- Topología: Red de datos, con topología en estrella.

Por otro lado, también se han introducido los parámetros técnicos relativos al equipamiento, los cuales se han extraído de las especificaciones del fabricante del equipamiento preseleccionado, detallado en el punto 6.3.1 y en el Anexo C. Todos los datos descritos anteriormente se aprecian en la Figura 5.4:

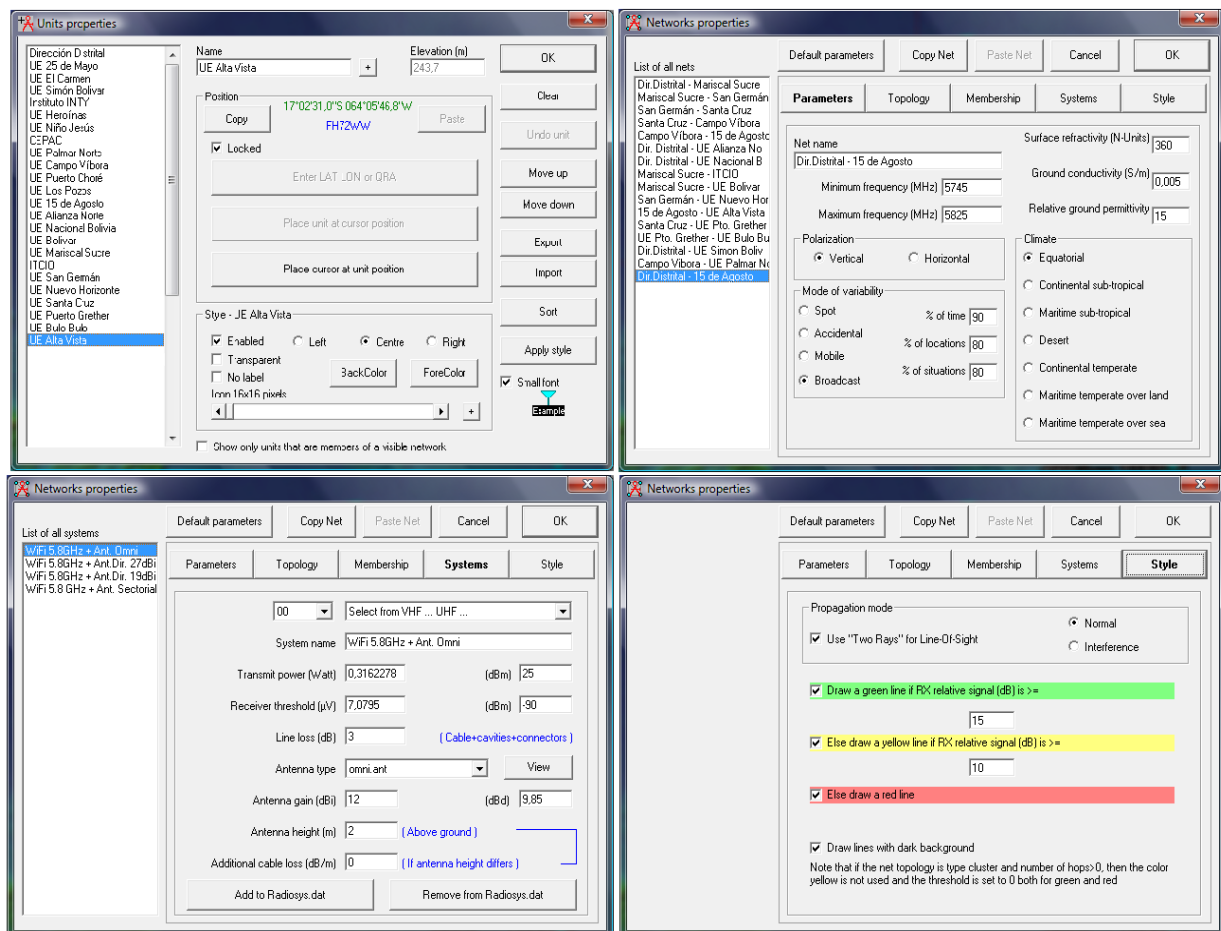


Figura 5.4: Datos empleados en Radiomobile

Existen algunas carencias en la simulación realizada con Radio Mobile, en [26] se hace referencia a la incertidumbre en los valores de los parámetros del modelo de propagación y la interferencia mutua entre radios de una misma torre como algunas de ellas. Específicamente se hace referencia a la polarización, pérdidas adicionales, refractividad, conductividad, permitividad del terreno y el clima, indicando que no existen estudios que indiquen valores idóneos para estos parámetros.

Por ello, en todas las simulaciones se han tomado en cuenta estas consideraciones, de modo que se han atribuido los valores que al simular generen mayores pérdidas en el enlace. Esto es, aumentar las pérdidas añadidas para que una vez desplegada la red, se obtengan valores mejores que los calculados. Para obtener mayor fidelidad en los datos también se ha procedido al bloqueo de unidades a corta distancia y la elección del número de píxeles/registros según la resolución del mapa; esto permite obtener el margen relativo en recepción (Rx Relativo) correcto.

5.4.3. Cálculo de radioenlaces

5.4.3.1. Criterios de diseño

De modo general, en los modelos de propagación utilizados para simulación se cumple que las pérdidas por propagación aumentan con el aumento de la frecuencia de operación y la distancia entre el transmisor/receptor. Teniendo en cuenta que el balance de enlace permite calcular la potencia recibida a partir de la potencia transmitida, las ganancias y atenuaciones que aparecen en el trayecto; se ha realizado el cálculo del nivel de señal esperado y el margen de desvanecimiento para los enlaces de la red.

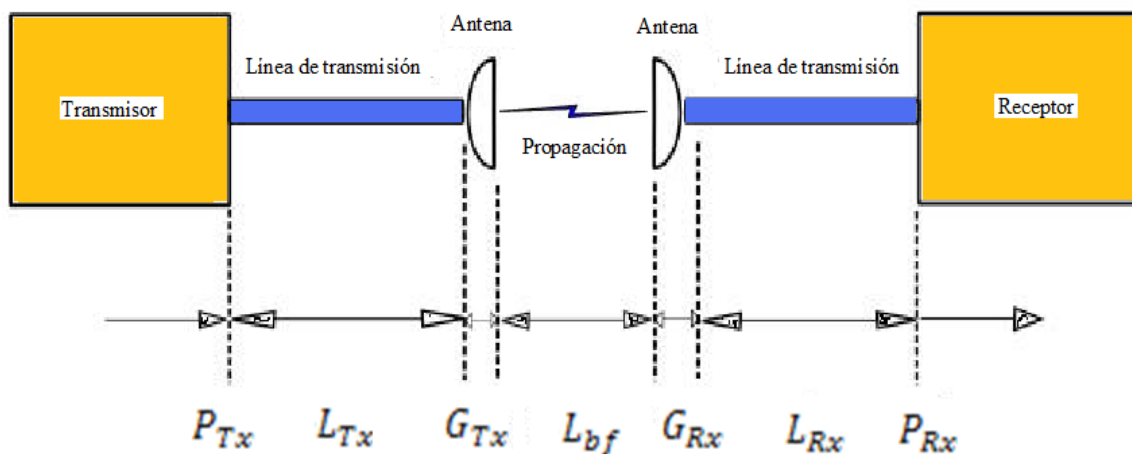


Figura 5.5: Cálculo del balance de potencia

La Figura 5.5 muestra los elementos a ser tomados en cuenta en el balance del enlace, la ecuación 3.2 indica que para obtener un buen margen de señal en recepción, los únicos factores modificables son la potencia de transmisión, las ganancias de las antenas tanto en transmisión como en recepción y las pérdidas presentes tanto en el cableado como en los conectores.

$$P_{Rx}(dBm) = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - L_{Tx} - L_{Rx} - L_{bf} \quad (3.2)$$

Donde L_{bf} representa las pérdidas por espacio libre

$$L_{bf}(dB) = 32,45 + 20 \log[f(MHz)] + 20 \log[d(Km)] \quad (3.3)$$

Por lo tanto, se debe asegurar que P_{Rx} sea mayor que la Sensibilidad del equipo receptor (S_{Rx}) para el correcto funcionamiento, por lo que se debe establecer un margen de seguridad (Ecuación 3.4) con un valor que garantice la estabilidad del enlace.

$$M (dB) = P_{Rx} - S_{Rx}(dBm) \quad (3.4)$$

Debido al rango de frecuencia utilizado en este trabajo y para evitar mayores atenuaciones de la señal transmitida, se debe considerar tener una línea de vista que permita un buen enlace entre las estaciones de la red, además de un buen despeje de la primera zona de Fresnel.

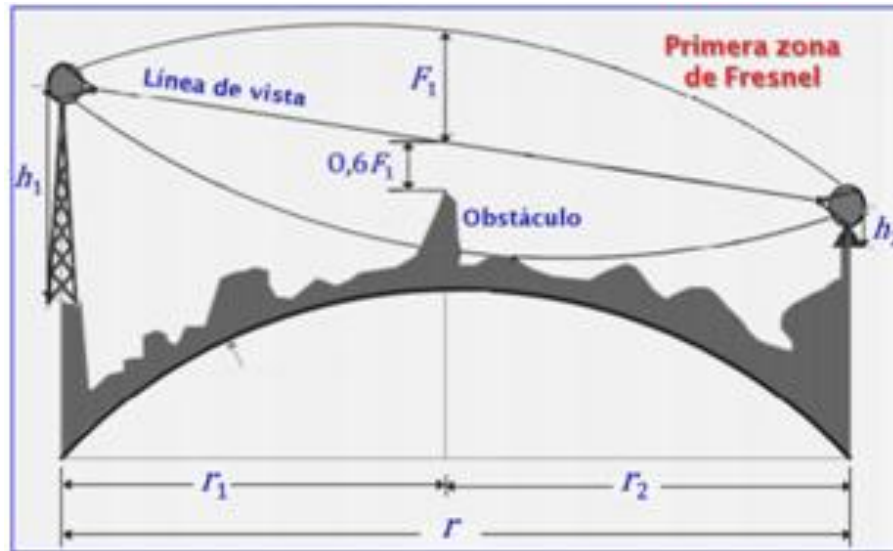


Figura 5.6: Cálculo la primera zona de Fresnel

$$F_1(m) = 17,32 \sqrt{\frac{r_1(Km)r_2(Km)}{r(Km)f(GHz)}} \quad (3.5)$$

Tomando en cuenta la gráfica anterior y la Ecuación 3.5, se puede establecer que mantener un determinado valor del despeje de la primera zona de Fresnel garantiza calidad en el enlace, de manera que el margen de potencia recibida puede variar en función a la altura de la antena y parámetros propios a los equipos de transmisión.

Considerando las expresiones detalladas anteriormente y las recomendaciones o criterios de diseño más frecuentes en la bibliografía consultada, se puede especificar que:

- Para obtener un buen diseño se deben simular los enlaces con al menos 15 a 20 dB de Rx Relativo, debido a que los resultados obtenidos en el Radio Mobile son teóricos y se debe tener un margen de sobre-dimensionamiento por factores no previstos (condiciones climáticas, desvanecimientos, etc.)

- Los enlaces deberán tener visión radioeléctrica directa, algo que se consigue con el despeje mayor al 60 % del radio de la primera zona de Fresnel. Es decir, el valor del Peor Fresnel ha de ser superior a $0,6F_1$.
- Para evaluar el presupuesto de potencia de un radioenlace debemos conocer las características del equipamiento y evaluar la pérdida en el trayecto.

5.4.3.2. Simulación de los radioenlaces

El diseño de los radioenlaces por medio de Radio Mobile permite conocer los parámetros necesarios para el diseño de la red, tales como la potencia de transmisión mínima de las tarjetas inalámbricas, ganancias de las antenas, como las alturas a las que deben estar implementadas. En base a dichos valores se determinan los requisitos mínimos para la elección de los equipos y sistemas que ofrece el mercado. En el siguiente capítulo se detallará el equipamiento seleccionado para la red. Pero, a efectos de la simulación se han considerado valores comunes del equipamiento para este tipo de redes, como ser antenas directivas de 27 dBi, antenas sectoriales de 17 y omnidireccionales de 12 dBi para los enlaces troncales y de distribución, mientras que las antenas de las estaciones cliente serán antenas directivas de 19 dBi o 27 dBi. En los criterios de diseño se han mencionado valores de seguridad en función a la sensibilidad del equipo receptor, en este sentido se tomará en cuenta un valor de sensibilidad igual a -90 dBm al ser un valor frecuente en las tarjetas inalámbricas, mientras que la potencia de transmisión máxima que se considera tiene un valor de 25 dBm.

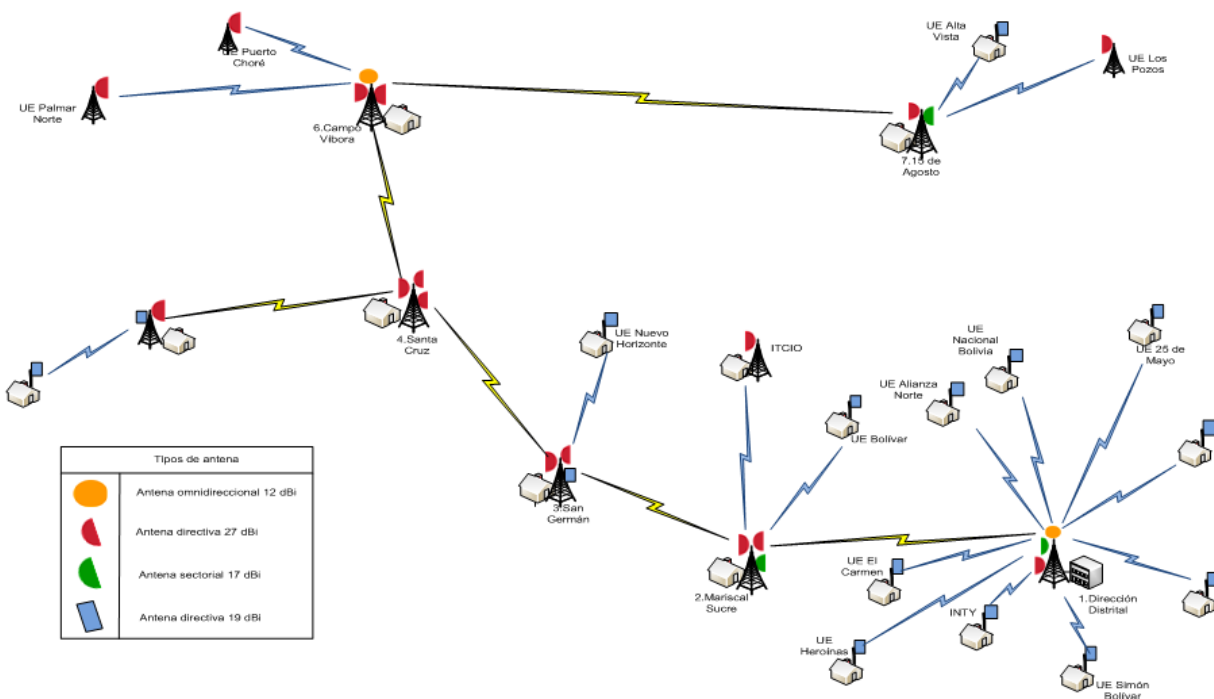


Figura 5.7: Esquema de las antenas de la red

Por otro lado, se considerarán valores de atenuación de 25 dB/100m para cables coaxiales, mientras que 0,25 dB por cada conector y 1 dB para los protectores contra descargas eléctricas. De esta manera, se ha proporcionado en todos los casos un valor de al menos 3 dB para todas las pérdidas inherentes al cableado y conectores, tanto para transmisión como para recepción. También se ha tomado en cuenta la posible interferencia generada por tener ubicados dos equipos radio próximos entre ellos en la estructura de la torre. Se ha dejado una distancia mínima de 2 metros entre ellos y se han colocado, en los correspondientes casos, las antenas omnidireccionales debajo de las antenas directivas para evitar interferencias.

	Nodo Tx	Nodo Rx	Distancia enlace [Km]	Altura antena Nodo Tx [m]	Mínima potencia de Tx [dBm]	Sensibilidad en Rx [dBm]	Ganancia antena Tx [dBi]	Ganancia antena Rx [dBi]	Cables y conectores [dB]	Peor Fresnel	Path Loss [dB]	Rx Relativo [dB]
ENLACES TRONCALLES	Dirección Distrital	Mariscal Sucre	9,58	29	16	-90	27	27	-3	1 F1	138,5	15,5
	Mariscal Sucre	Dirección Distrital		20,5		-90	27	27	-3			
	Mariscal Sucre	San Germán	18,79	22	24	-90	27	27	-3	0,8F1	146,7	15,3
	San Germán	Mariscal Sucre		18		-90	27	27	-3			
	San Germán	Santa Cruz	6,8	16,5	16	-90	27	27	-3	2,1F1	138,7	15,3
	Santa Cruz	San Germán		22		-90	27	27	-3			
	Santa Cruz	Campo Víbora	25,46	30	25	-90	27	27	-3	0,8F1	147,9	15,1
	Campo Víbora	Santa Cruz		30		-90	27	27	-3			
	Campo Víbora	15 de Agosto	21,52	28	22	-90	27	27	-3	1,0F1	144,5	15,5
	15 de Agosto	Campo Víbora		28		-90	27	27	-3			
	Santa Cruz	Puerto Grether	16,73	28	25	-90	27	27	-3	0,6F1	147,7	15,4
	Puerto Grether	Santa Cruz		16,5		-90	27	27	-3			
ENLACES DE DISTRIBUCIÓN	Dirección Distrital	UE Alianza Norte	0,43	27	8	-90	17	19	-3	2,6F1	114,6	15,4
	UE Alianza Norte	Dirección Distrital		5		-90	19	17	-3			
	Dirección Distrital	UE Nacional Bolivia	0,92	27	12	-90	17	19	-3	3,0F1	121,3	15,5
	UE Nacional Bolivia	Dirección Distrital		5		-90	19	17	-3			
	Mariscal Sucre	ITCIO	4,61	19	23	-90	17	27	-3	0,7F1	135,8	15,2
	ITCIO	Mariscal Sucre		12		-90	27	17	-3			
	Mariscal Sucre	UE Bolívar	1,25	19	21	-90	17	19	-3	1,4F1	125,5	15,5
	UE Bolívar	Mariscal Sucre		5		-90	19	17	-3			
	San Germán	UE Nuevo Horizonte	1,5	14	21	-90	19	19	-3	2,0F1	127,1	15,9
	UE Nuevo Horizonte	San Germán		5		-90	19	19	-3			
	Puerto Grether	UE Bulo Bulo	2,18	18	23	-90	19	19	-3	1,2F1	129,9	15,1
	UE Bulo Bulo	Puerto Grether		10		-90	19	19	-3			
	Dirección Distrital	UE 25 de Mayo	0,77	23	21	-90	12	19	-3	3,3F1	120,3	15,7
	UE 25 de Mayo	Dirección Distrital		5		-90	19	12	-3			
	Dirección Distrital	UE El Carmen	1,15	23	24	-90	12	19	-3	3,2F1	123,3	15,7
	UE El Carmen	Dirección Distrital		5		-90	19	12	-3			
	Dirección Distrital	UE Simón Bolívar	0,44	23	15	-90	12	19	-3	5,2F1	114,8	15,2
	UE Simón Bolívar	Dirección Distrital		5		-90	19	12	-3			
	Dirección Distrital	Instituto INTY	0,62	23	20	-90	12	19	-3	3,2F1	119,3	15,7
	Instituto INTY	Dirección Distrital		5		-90	19	12	-3			
	Dirección Distrital	UE Heroínas	0,82	23	22	-90	12	19	-3	3,5F1	121,2	15,8
	UE Heroínas	Dirección Distrital		5		-90	19	12	-3			
	Dirección Distrital	UE Niño Jesús	1,3	23	25	-90	12	19	-3	2,1F1	125	15,0
	UE Niño Jesús	Dirección Distrital		5		-90	19	12	-3			
	Dirección Distrital	CEPAC	0,98	23	24	-90	12	19	-3	3,1F1	123,2	15,8
	CEPAC	Dirección Distrital		5		-90	19	12	-3			
	15 de Agosto	UE Alta Vista	2,78	27	21	-90	17	27	-3	2,1F1	131,4	15,3
	UE Alta Vista	15 de Agosto		5		-90	27	17	-3			
	15 de Agosto	Los Pozos	4,02	27	24	-90	17	27	-3	2,9F1	136,2	15,8
	UE Los Pozos	15 de Agosto		18		-90	27	17	-3			
	Campo Víbora	UE Palmar Norte	1,65	24	21	-90	12	27	-3	2,8F1	128,1	15,9
	UE Palmar Norte	Campo Víbora		18		-90	27	12	-3			
Campo Víbora	UE Puerto Choré	1,74	24	19	-90	12	27	-3	2,7F1	126,7	15,3	
UE Puerto Choré	Campo Víbora		10		-90	27	12	-3				

Cuadro 5.5: Resultados obtenidos mediante simulación

En las simulaciones se han tenido en cuenta las consideraciones de diseño descritas tomando un valor de al menos un 60% de despeje de la primera zona de Fresnel y un valor de 15 dB como margen de seguridad en todos los casos, de esta manera para considerar un enlace como

estable la potencia de la señal recibida debe ser al menos 15 dB superior a la sensibilidad del receptor. El Cuadro 5.5 detalla los resultados obtenidos en la simulación. En los cálculos se han tenido en cuenta a todas las estaciones de la red, incluyendo las de la fase inicial que, en algunos casos, se han replanteado para mejorar sus prestaciones. Por razones de costos y mantenimiento se ha intentado contar con torres con la menor altura posible, siendo la estación de Santa Cruz la única de la Fase 2 que cuenta con una altura de 30 m.

En conclusión, los resultados de la simulación evidencian que todos los enlaces son viables, ya que en todos los casos se tienen valores mayores del Margen de Seguridad de 15 dB definido en los criterios de diseño. Finalmente se procede a asignar frecuencias a los radioenlaces, considerando los canales disponibles descritos en el Cuadro 5.4. Así mismo se utilizarán para todos los casos el modo infraestructura en los enlaces, de modo que existirá un AP y uno o varios clientes. Para ello se asigna a cada enlace radio su propio identificador SSID (*Service Set Identifier*) que es usado por el AP para anunciar su propia WLAN. El Cuadro 5.6 detalla la configuración radio de los enlaces de la red.

	Nodo Tx	Nodo Rx	Potencia de transmisión [dBm]	Tipo de enlace	Frecuencia [MHz]	Canal	SSID
ENLACES TRONCALES	Dirección Distrital	Mariscal Sucre	20	Tx/Rx	5825	165	TEC01
	Mariscal Sucre	Dirección Distrital	20				
	Mariscal Sucre	San Germán	25	Tx/Rx	5765	153	TEC02
	San Germán	Mariscal Sucre	25				
	San Germán	Santa Cruz	20	Tx/Rx	5825	165	TEC03
	Santa Cruz	San Germán	20				
	Santa Cruz	Campo Víbora	25	Tx/Rx	5765	153	TEC04
	Campo Víbora	Santa Cruz	25				
	Campo Víbora	15 de Agosto	25	Tx/Rx	5825	165	TEC05
	15 de Agosto	Campo Víbora	25				
	Santa Cruz	Puerto Grether	25	Tx/Rx	5745	149	TEC06
	Puerto Grether	Santa Cruz	25				
ENLACES DE DISTRIBUCIÓN	Dirección Distrital	UE Alianza Norte	20	Tx/Rx	5785	157	TEC07
	UE Alianza Norte	Dirección Distrital	20				
	Dirección Distrital	UE Nacional Bolivia	20	Tx/Rx	5785	157	TEC07
	UE Nacional Bolivia	Dirección Distrital	20				
	Mariscal Sucre	ITCIO	25	Tx/Rx	5805	161	TEC09
	ITCIO	Mariscal Sucre	25				
	Mariscal Sucre	UE Bolívar	25	Tx/Rx	5805	161	TEC09
	UE Bolívar	Mariscal Sucre	25				
	San Germán	UE Nuevo Horizonte	25	Tx/Rx	5785	157	TEC10
	UE Nuevo Horizonte	San Germán	25				
	Puerto Grether	UE Bulu Bulu	25	Tx/Rx	5805	161	TEC11
	UE Bulu Bulu	Puerto Grether	25				
	Dirección Distrital	UE 25 de Mayo	25	Tx/Rx	5745	149	TEC08
	UE 25 de Mayo	Dirección Distrital	25				
	Dirección Distrital	UE El Carmen	25	Tx/Rx	5745	149	TEC08
	UE El Carmen	Dirección Distrital	25				
	Dirección Distrital	UE Simón Bolívar	20	Tx/Rx	5745	149	TEC08
	UE Simón Bolívar	Dirección Distrital	20				
	Dirección Distrital	Instituto INTY	25	Tx/Rx	5745	149	TEC08
	Instituto INTY	Dirección Distrital	25				
	Dirección Distrital	UE Heroínas	25	Tx/Rx	5745	149	TEC08
	UE Heroínas	Dirección Distrital	25				
	Dirección Distrital	UE Niño Jesús	25	Tx/Rx	5745	149	TEC08
	UE Niño Jesús	Dirección Distrital	25				
	Dirección Distrital	CEPAC	25	Tx/Rx	5745	149	TEC08
	CEPAC	Dirección Distrital	25				
	15 de Agosto	UE Alta Vista	25	Tx/Rx	5805	161	TEC13
	UE Alta Vista	15 de Agosto	25				
	15 de Agosto	Los Pozos	25	Tx/Rx	5805	161	TEC13
	UE Los Pozos	15 de Agosto	25				
	Campo Víbora	UE Palmar Norte	25	Tx/Rx	5785	157	TEC12
	UE Palmar Norte	Campo Víbora	25				
Campo Víbora	UE Puerto Choré	20	Tx/Rx	5785	157	TEC12	
UE Puerto Choré	Campo Víbora	20					

Cuadro 5.6: Configuración radio de los enlaces de la red

5.5. Direccionamiento IP y encaminamiento de la red

Al estar diseñando redes de datos que van a transportar paquetes IP, tenemos que realizar un plan de direccionamiento y un plan de encaminamiento, ya que se debe tomar en cuenta al conjunto de la red diseñada y la ubicación de las salidas a Internet [24]. Por lo tanto, cobra especial importancia la elección de un determinado mecanismo de enrutamiento para los paquetes de las estaciones de la red, las cuales deben tener configuradas direcciones IP que pertenecen a determinados segmentos de red definidos en un plan de direccionamiento.

5.5.1. Encaminamiento de la red

El encaminamiento es el proceso con el que se logra que cada dispositivo de la red pueda comunicarse con otros dispositivos pertenecientes a otras redes, de modo que sin éste se limitaría la conectividad a la red local. A su vez, permite que el tráfico de una red busque y asegure el camino óptimo a un determinado destino.

Básicamente existen 2 tipos de encaminamiento, el estático y el dinámico, cada uno con sus ventajas e inconvenientes como se detalla en el siguiente cuadro comparativo.

Enrutamiento Estático		Enrutamiento Dinámico	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Poco procesamiento del CPU	Configuración y mantenimiento prolongados	Menor trabajo para agregar o quitar redes	Requiere recursos (CPU y ancho de banda del enlace)
Fácil de comprender y mantener en redes pequeñas	Propenso a errores en redes extensas	Ajuste automático ante cambios en la topología	
Fácil de configurar	Requiere de intervención del administrador para el mantenimiento	Menos propenso a errores en la configuración	Requiere de mayor conocimiento para la configuración y solución de incidencias
Usado para enrutamiento desde y hacia redes de conexión única	No es adecuado para redes con crecimiento rápido.		
Utiliza una ruta por defecto cuando no hay una mejor coincidencia en la tabla de enrutamiento.	Requiere del conocimiento de toda la red para su implementación.	Escalable, el crecimiento de la red no es un problema	

Cuadro 5.7: Comparativa enrutamiento estático y dinámico [29]

El uso de protocolos de enrutamiento dinámico hace que los enrutadores aprendan automáticamente las rutas hacia las redes remotas y mantiene actualizada su tabla de enrutamiento, compensando de esta manera los cambios en la topología de la red [29]. Este tipo de protocolos

dependiendo del si el uso del mismo se limita a un mismo Sistema Autónomo²⁶ o a varios de estos, se clasifican en IGP (*Interior Gateway Protocols*), que se encargan del enrutamiento de paquetes dentro de un Sistema Autónomo y EGP (*Exterior Gateway Protocols*), que intercambian información de encaminamiento entre diversos Sistemas Autónomos.

En la red TEC Yapacaní el enrutamiento se establece de manera interna, por lo que el protocolo a utilizar debe ser de la familia IGP, los cuales se pueden clasificar según el algoritmo usado para el cálculo de las rutas óptimas en:

- Vector-distancia: Utiliza las pasarelas para actualizar su información de encaminamiento, donde el listado de rutas se guarda en una tabla en la que cada entrada identifica una red o un dispositivo de destino y su métrica.
- Estado de enlace: Divide el conjunto de redes físicas en número de áreas, donde los enrutadores de una misma área tiene idénticas bases de datos que describen la topología completa del dominio de encaminamiento.

Considerando las desventajas del encaminamiento estático y valorando posibles ampliaciones a la red, tanto en número de estaciones cliente como de puntos de acceso a internet, se ha optado por un protocolo de encaminamiento dinámico que ofrece mayores prestaciones en cuanto a la escalabilidad.

OSPF

Open Shortest Path First, es un protocolo de encaminamiento dinámico no propietario, basado en el algoritmo estado de enlace, el cual le permite calcular la distancia más corta entre la fuente y el destino al determinar la ruta para un grupo específico de paquetes, además de soportar máscaras de subred de longitud variable [30].

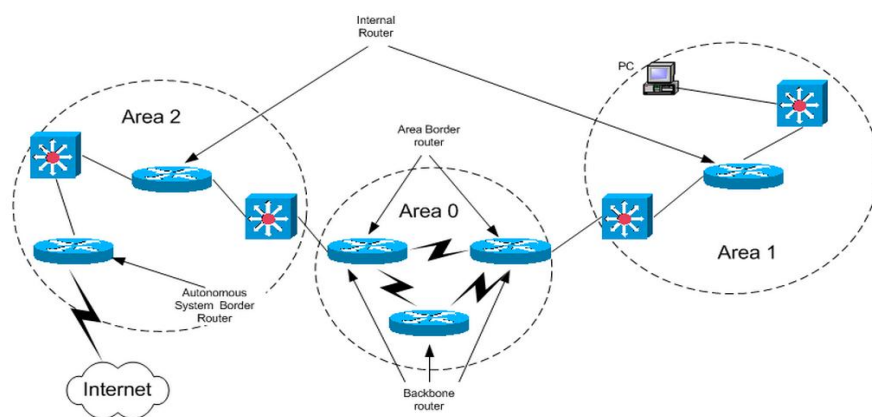


Figura 5.7: Principio de funcionamiento OSPF

²⁶ Un Sistema Autónomo (SA) es un conjunto de redes o de enrutadores que tienen una única política de enrutamiento y que se ejecuta bajo una administración común, utilizando habitualmente un único IGP.

La topología de OSPF se basa en áreas conectadas de forma jerárquica, donde el Sistema Autónomo OSPF puede ser fraccionado en diferentes áreas y éstas a su vez, deben estar conectadas al Área de *Backbone* o Área 0. En OSPF se contemplan 4 clases de enrutadores dependiendo de su situación y su función dentro de una red:

- *Internal Routers (IR)*: Los que pertenecen únicamente a un área.
- *Area Border Routers (ABR)*: Los que están en más de un área y por tanto las interconectan, donde una de las áreas necesariamente es el *backbone*.
- *Backbone Routers (BR)*: Los que se encuentran en el área *backbone* o Área 0.
- *Autonomous System Boundary Routers (ASBR)*: Los que intercambian tráfico con enrutadores de otros sistemas autónomos.

Los enrutadores OSPF conocen los prefijos de las subredes que tienen directamente conectadas, a la vez que conocen por medio de paquetes OSPF a sus vecinos y el coste de alcanzarlos. Con ambos datos construyen una serie de LSA (*Link-State Advertisement*) y los difunde de manera periódica al resto de enrutadores de la red. La Figura 5.8 detalla la configuración de los nodos que tienen OSPF instalado, de modo que el nodo Dirección Distrital de Educación forma parte del área 0 y a la vez es el *gateway* que interconecta la red con el exterior, por lo que es también el ASBR.

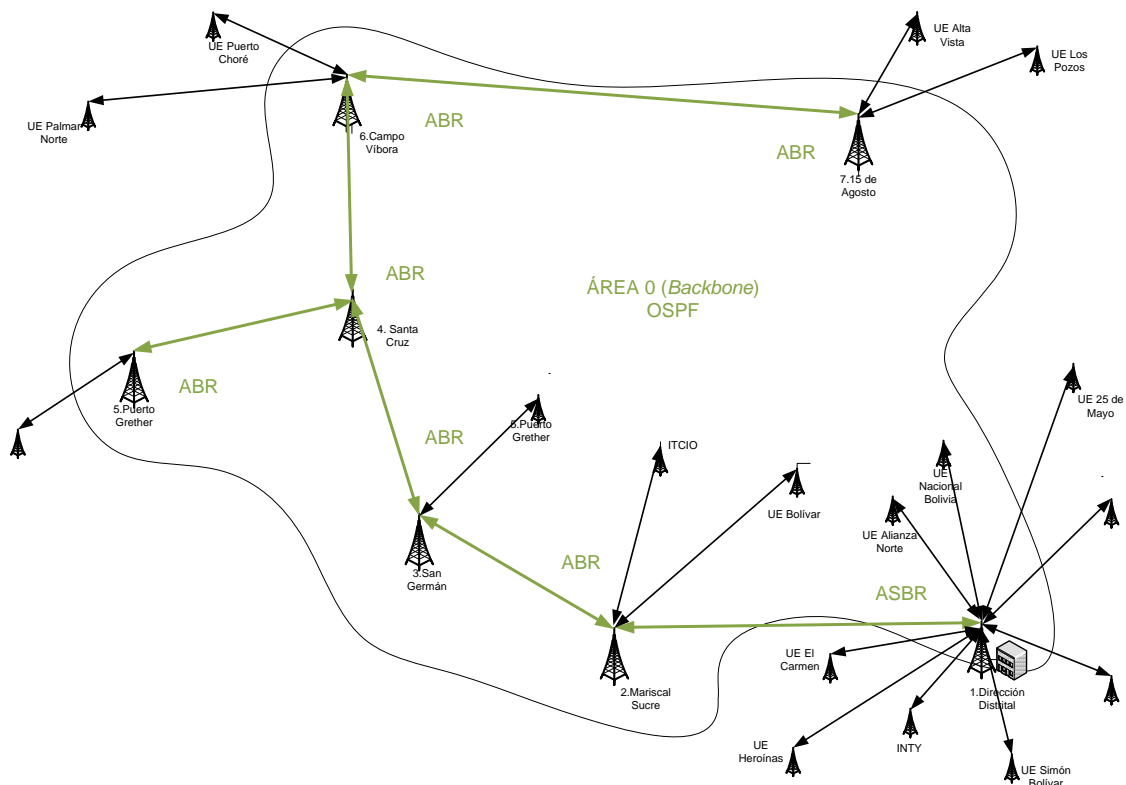


Figura 5.8: Configuración de estaciones OSPF de la red

Para el diseño de esta red y tomando en cuenta que el número de nodos de la red troncal es bajo, la implementación de OSPF se hará mediante 1 sola área *backbone*. Al utilizar este protocolo sólo en la red troncal, se configuran los restantes enlaces con enrutamiento estático y sus datos se encaminarán a través del ABR más cercano. Así mismo, se configura OSPF para operar en modo broadcast.

5.5.2. Direccionamiento IP

Los protocolos de red y transporte utilizados por la red, son IP y TCP respectivamente, los cuales son los principales protocolos en los que está basada Internet. La red troncal, las redes de distribución y las estaciones cliente pertenecerán a redes distintas, pero dentro de la red 10.10.0.0/8. El reparto de direcciones IP se ha hecho siguiendo una serie de criterios que han llevado a su estructura final. Los factores principales para dicho reparto han sido los siguientes:

- Utilización de direcciones privadas en el rango de direcciones IP de la clase A.
- Las interfaces de red, tanto inalámbrica como cableada del enrutador, pertenecen a redes distintas para un mejor entendimiento de la red.
- Restricción del número de estaciones conectadas a un punto de acceso.

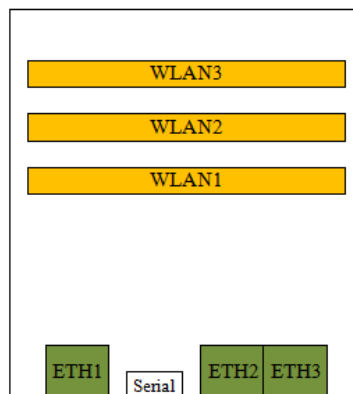


Figura 5.9: Interfaces del enrutador preseleccionado

De esta manera, se han configurado las direcciones IP tomando en cuenta las interfaces disponibles en el equipamiento preseleccionado, las tarjetas Mikrotik (Figura 5.9). Por otro lado, se ha considerado diferentes dominios de red para las comunicaciones de la red troncal y para las redes de distribución, además del dominio asignado a las interfaces cableadas. De esta manera, las direcciones IP para la red troncal serán 10.10.X.Y/28, para los enlaces de distribución serán 10.20.X.Y/28, mientras que las interfaces cableadas serán 10.X.Y.Z/24, donde X es el número definido para cada uno de los emplazamientos de la red, a la vez que Y variará entre 1 y 2 para las estaciones troncales, mientras que para los enlaces de distribución dependerá de la cantidad de estaciones conectadas al repetidor. Los Cuadros 5.8 y 5.9 detallan el direccionamiento realizado para toda la red.

		Enrutador inalámbrico 1						Enrutador inalámbrico 2					
		wlan1	wlan2	wlan3	eth1	eth2	eth3	wlan1	wlan2	wlan3	eth1	eth2	eth3
Repetidores	Dirección Distrital	10.10.1.1	10.20.0.1	10.20.1.1	10.1.1.1								
	Mariscal Sucre	10.10.2.1	10.20.2.1		10.2.1.1	10.2.4.1		10.10.1.2				10.2.1.2	10.2.5.1
	San Germán	10.10.3.1	10.20.3.1		10.3.1.1	10.3.3.1		10.10.2.2				10.3.1.2	10.3.4.1
	Santa Cruz	10.10.4.1			10.4.1.1	10.4.2.1		10.10.3.2	10.10.5.2			10.4.1.2	10.4.3.1
	Puerto Grether	10.10.5.1	10.20.5.1		10.5.1.1								
	Campo Víbora	10.10.6.1	10.20.6.1		10.6.1.1	10.6.4.1		10.10.4.2				10.6.1.2	10.6.5.1
	15 de Agosto	10.10.6.2	10.20.7.1		10.7.1.1								
Estaciones Cliente	UE 25 de Mayo	10.20.0.2			10.0.2.1								
	UE Niño Jesús	10.20.0.3			10.0.3.1								
	CEPAC	10.20.0.4			10.0.4.1								
	UE Simón Bolívar	10.20.0.5			10.0.5.1								
	Instituto INTY	10.20.0.6			10.0.6.1								
	UE Heroínas	10.20.0.7			10.0.7.1								
	UE El Carmen	10.20.0.8			10.0.8.1								
	UE Alianza Norte	10.20.1.2			10.1.2.1								
	UE Nacional Bolivia	10.20.1.3			10.1.3.1								
	ITCIO	10.20.2.2			10.2.2.1								
	UE Bolívar	10.20.2.3			10.2.3.1								
	UE Nuevo Horizonte	10.20.3.2			10.3.2.1								
	UE Bulu Bulu	10.20.5.2			10.5.2.1								
	UE Palmar Norte	10.20.6.2			10.6.2.1								
	UE Puerto Choré	10.20.6.3			10.6.3.1								
	UE Alta Vista	10.20.7.2			10.7.2.1								
	UE Los Pozos	10.20.7.3			10.7.3.1								

Cuadro 5.8: Direccionamiento IP para enrutadores de la red

5.6. Telefonía IP

Cada Telecentro contará con un servicio de telefonía para comunicarse con el resto de emplazamientos de la red. Para no implementar una red propia dedicada sólo a telefonía se ha aprovechado la red de datos utilizando la tecnología de Voz sobre IP (VoIP). Dicha tecnología está referida al conjunto de normas, dispositivos, protocolos que permiten la transmisión de la voz a través de redes de datos (LAN, WAN) basadas en protocolos TCP/IP [29]. El objetivo de utilizar redes de datos para la transmisión de voz es reducir los costos de contratación en líneas telefónicas locales convencionales.

Existen diversas soluciones VoIP en el mercado, pero en esta red la implementación de telefonía IP está basada en una solución no comercial, se ha utilizado el software libre Asterisk²⁷,

²⁷ <http://www.asterisk.org>. Aplicación de software libre (bajo licencia GPL) que proporciona funcionalidades de una central telefónica (PBX). Posibilita la conexión de un número determinado de

al ser el más desarrollado para este tipo de solución y como terminal telefónico se ha utilizado un Adaptador para Teléfono Analógico (ATA) conectado a un teléfono analógico. Los elementos necesarios para implementar una red de telefonía IP los conforman los terminales telefónicos, los *gatekeepers* que son los equivalentes a las centrales telefónicas y los *gateways* que nos sirven de enlace con la red telefónica tradicional. El diseño inicial de la red solamente contemplaba comunicaciones internas dentro de la red, por lo que en este trabajo se propone la posibilidad de recibir llamadas del exterior y realizar llamadas hacia la Red Telefónica Pública Conmutada (RTPC) mediante el uso de tarjetas prepago provistas por el operador COTAS.

	ATA	PC
UE 25 de Mayo	10.0.2.2	10.0.2.3
UE Niño Jesús	10.0.3.2	10.0.3.3
CEPAC	10.0.4.2	10.0.4.3
UE Simón Bolívar	10.0.5.2	10.0.5.3
Instituto INTY	10.0.6.2	10.0.6.3
UE Heroínas	10.0.7.2	10.0.7.3
UE El Carmen	10.0.8.2	10.0.8.3
UE Alianza Norte	10.1.2.2	10.1.2.3
Dirección Distrital	10.1.1.2	10.1.1.3
UE Nacional Bolivia	10.1.3.2	10.1.3.3
ITCIO	10.2.2.2	10.2.2.3
UE Bolívar	10.2.3.2	10.2.3.3
UE Mariscal Sucre	10.2.4.2	10.2.4.3
UE Nuevo Horizonte	10.3.2.2	10.3.2.3
UE San Germán	10.3.3.2	10.3.3.3
UE Santa Cruz	10.4.2.2	10.4.2.3
UE Puerto Grether	10.5.1.2	10.5.1.3
UE Bulu Bulu	10.5.2.2	10.5.2.3
UE Palmar Norte	10.6.2.2	10.6.2.3
UE Puerto Choré	10.6.3.2	10.6.3.3
UE Campo Víbora	10.6.4.2	10.6.4.3
UE 15 de Agosto	10.7.1.2	10.7.1.3
UE Alta Vista	10.7.2.2	10.7.2.3
UE Los Pozos	10.7.3.2	10.7.3.3

Cuadro 5.9: Direccionamiento IP para estaciones cliente

Los protocolos de redes IP originalmente no fueron diseñados para el transporte en tiempo real de audio o cualquier otro tipo de flujo de audio/video, por lo que se han creado protocolos específicos para VoIP, cuyo mecanismo de conexión abarca una serie de transacciones de señalización entre terminales que cargan flujos de audio para cada dirección de la conversación.

teléfonos para hacer llamadas entre sí e incluso conectar a proveedores de VoIP y de telefonía convencional tanto analógica como digital.

IAX (*Inter Asterisk eXchange*) es utilizado para manejar conexiones entre servidores Asterisk minimizando el ancho de banda utilizado en las transmisiones, mientras que SIP (*Session Initiation Protocol*) es un protocolo de señalización orientado a conexiones *end-to-end*, por lo que la lógica se encuentra almacenada en los dispositivos finales [29].

Asterisk no se puede instalar en el sistema operativo de Mikrotik, por lo que se requiere utilizar otro computador para instalar dicho software que permita las comunicaciones de voz entre las estaciones de la red. En este caso, se hará el uso de un servidor ubicado en la estación Dirección Distrital, la que adicionalmente alojará el *gateway* hacia la RTPC.

El Cuadro 5.10 detalla la configuración telefónica para la red.

Estación	IP ATA	IP Servidor	Número telefónico
UE 25 de Mayo	10.0.2.2	10.1.1.4	10
UE Niño Jesús	10.0.3.2	10.1.1.4	11
CEPAC	10.0.4.2	10.1.1.4	12
UE Simón Bolívar	10.0.5.2	10.1.1.4	13
Instituto INTY	10.0.6.2	10.1.1.4	14
UE Heroínas	10.0.7.2	10.1.1.4	15
UE El Carmen	10.0.8.2	10.1.1.4	16
UE Alianza Norte	10.1.2.2	10.1.1.4	17
Dirección Distrital	10.1.1.2	10.1.1.4	18
UE Nacional Bolivia	10.1.3.2	10.1.1.4	19
ITCIO	10.2.2.2	10.1.1.4	20
UE Bolívar	10.2.3.2	10.1.1.4	21
UE Mariscal Sucre	10.2.4.2	10.1.1.4	22
UE Nuevo Horizonte	10.3.2.2	10.1.1.4	30
UE San Germán	10.3.3.2	10.1.1.4	31
UE Santa Cruz	10.4.2.2	10.1.1.4	40
UE Puerto Grether	10.5.1.2	10.1.1.4	50
UE Bulo Bulo	10.5.2.2	10.1.1.4	51
UE Palmar Norte	10.6.2.2	10.1.1.4	60
UE Puerto Choré	10.6.3.2	10.1.1.4	61
UE Campo Víbora	10.6.4.2	10.1.1.4	62
UE 15 de Agosto	10.7.1.2	10.1.1.4	70
UE Alta Vista	10.7.2.2	10.1.1.4	71
UE Los Pozos	10.7.3.2	10.1.1.4	72

Cuadro 5.10: Configuración telefónica de la red

La Figura 5.10 detalla la configuración de la red:

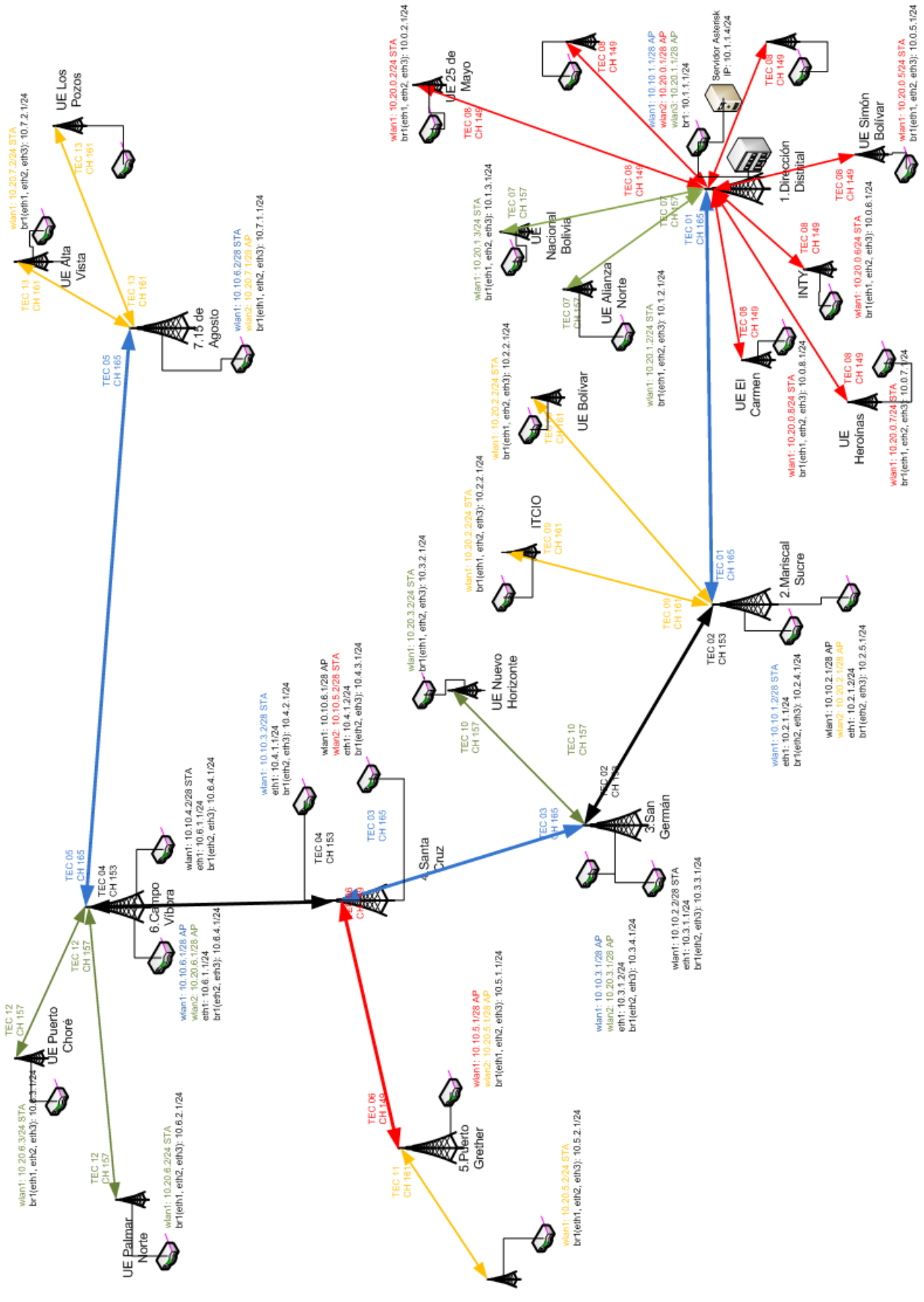


Figura 5.10: Configuración inalámbrica de la red

Capítulo 6

Especificaciones de la red

En este capítulo se describen los tipos de estaciones de la red para posteriormente realizar la definición de los subsistemas que las componen. Posteriormente se propone el equipamiento necesario para cada subsistema de las estaciones considerando las especificaciones indicadas en el capítulo anterior. Se utilizarán equipos compatibles con los existentes en la fase inicial de la red, al igual que se tiene en cuenta que el equipamiento propuesto facilite las tareas de mantenimiento y gestión de la red.

6.1 Soluciones no estándar basadas en WiFi

Luego de la exitosa estandarización de IEEE 802.11a, al igual que IEEE 802.11b como una tecnología de redes inalámbricas de área local (WLAN), varios factores hicieron que pocos años más tarde WiFi se empezara a ver como una tecnología con muchas posibilidades para el rango de las redes inalámbricas de área metropolitana y redes rurales de cierta extensión [24].

El principal obstáculo para las redes de largas distancias de WiFi lo constituye su protocolo CSMA/CA (*Carrier-Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) de su MAC (*Medium Access Control*), por lo que tanto investigadores y desarrolladores del mundo académico, como empresas fabricantes de productos de comunicaciones inalámbricas de banda ancha orientaron mayoritariamente su trabajo al estudio y desarrollo de alternativas no basadas en el acceso múltiple por contienda.

No obstante existen gamas de productos comerciales que ofrecen soluciones para este tipo de aplicaciones y son actualmente muy empleadas en el mundo y en especial en zonas rurales de países en desarrollo, como Mikrotik²⁸, una empresa letona que produce enrutadores y estaciones WiFi para exteriores y que ha desarrollado el protocolo *Nstreme*, el cual al activarse en una determinada configuración para un enlace, básicamente reemplaza el CSMA/CA por TDMA (*Time Division Multiple Access*).

²⁸ <http://www.mikrotik.com/>

6.2 Tipos de estaciones de la red

6.2.1 Estación cliente

Las estaciones cliente, en este caso los telecentros, son los encargados de brindar el acceso a los servicios para los usuarios, siendo la red de acceso la encargada de brindar conectividad entre los telecentros con la Red Troncal. En este contexto, será necesario considerar el equipamiento para los enlaces de distribución y por otro lado el equipamiento de energía, protección eléctrica, infraestructura e informática.

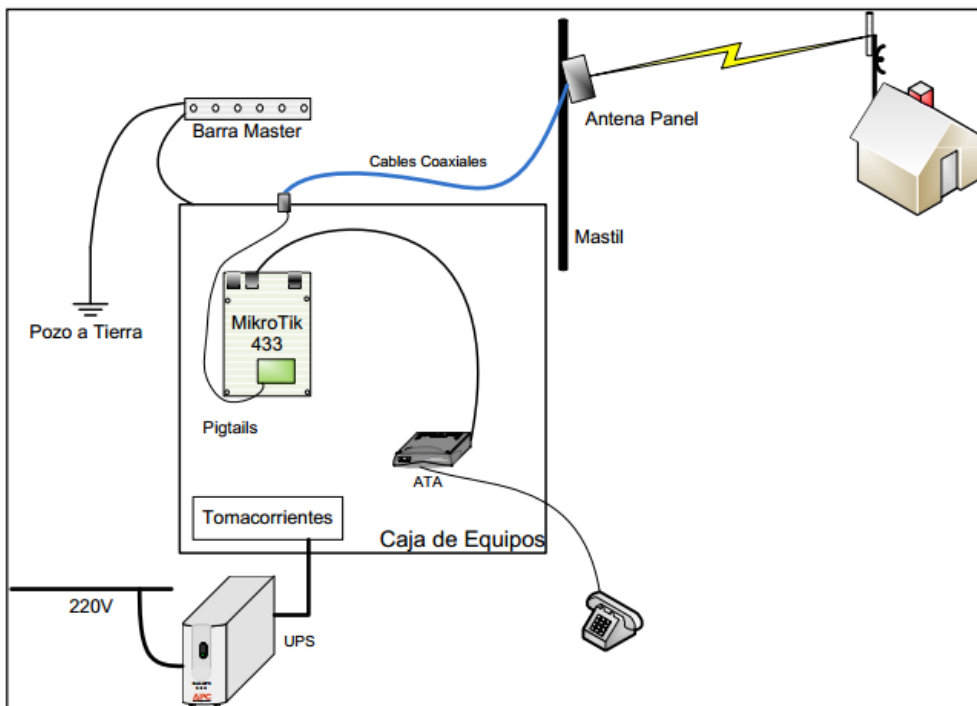


Figura 6.1: Esquema de la Estación Cliente

6.2.2 Repetidor + Estación Cliente

Este tipo de estaciones son las que interconectan cada telecentro con la red mediante los enlaces de distribución y por otro lado, permiten el flujo de información de las estaciones por la red troncal definida. Contempla también, dada la arquitectura, un telecentro que estará conectado a uno de los puertos *Ethernet* del enrutador para tener conectividad con el resto de la red.

La Figura 6.2 muestra el esquema de este tipo de estación, será aplicable a las estaciones que conforman la red troncal, vale decir Dirección Distrital, Mariscal Sucre, San Germán, Santa Cruz, Puerto Grether, 15 de Agosto y Campo Víbora.

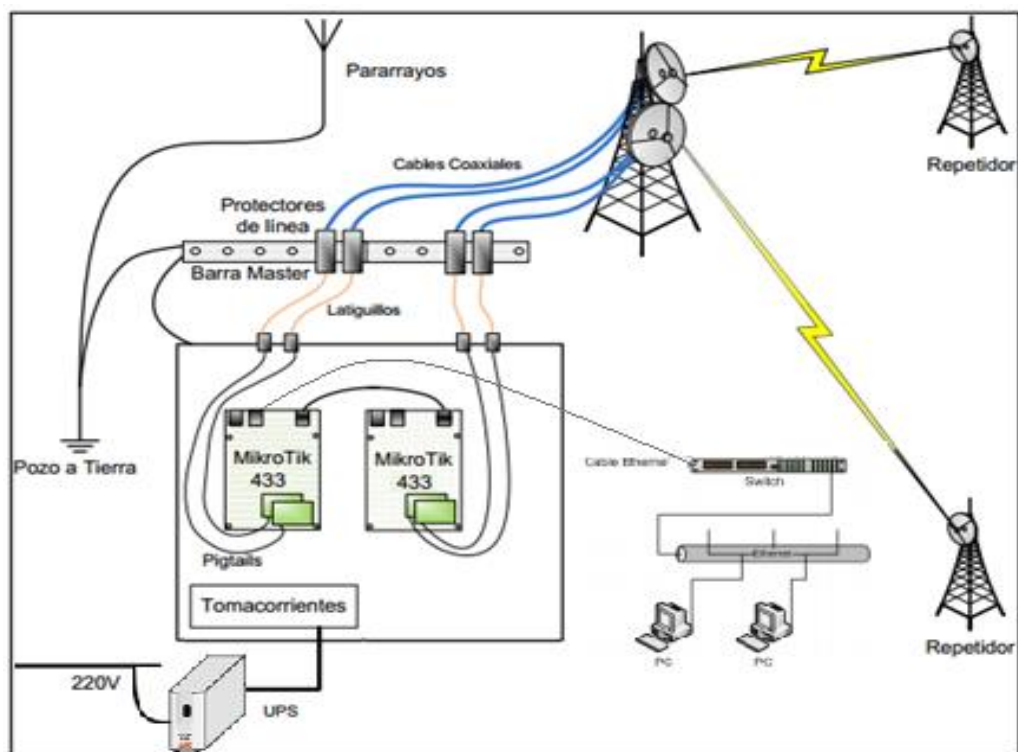


Figura 6.2: Esquema de la Estación Repetidor + Cliente

6.3 Subsistemas de la red

En este apartado se detallarán los subsistemas y el equipamiento propuesto en base a las características de cada subsistema en las estaciones contempladas para este PFM.

Para cada estación de la red se han definido 5 subsistemas, los cuales ostentan diferencias dependiendo de las características propias de cada estación y del equipamiento requerido, como ser la disponibilidad de energía comercial o tipo de estación. Los subsistemas mencionados son los siguientes:

- Subsistema de Telecomunicación
- Subsistema de Energía
- Subsistema de Protección Eléctrica
- Subsistema de Infraestructura
- Subsistema Informático

Es importante destacar que los Subsistemas de Telecomunicación y el Informático proveen los servicios de la red a los usuarios, mientras que los Subsistemas de Energía y Protección Eléctrica aseguran la permanente disponibilidad de dichos servicios. El Subsistema de Infraestructura constituye la estructura mecánica que permite ubicar adecuadamente todos los componentes en las estaciones de la red.

6.3.1 Subsistema de telecomunicación

En este subsistema se incluyen todos los equipos y componentes que intervienen en la transmisión de la información (voz y datos) en el telecentro y en los repetidores. Cabe resaltar que en este proyecto no se contempla la red LAN o WLAN que debe configurarse en el telecentro para los diferentes computadores. En tal caso y dependiendo del número de estaciones se debería incorporar un *switch* para este subsistema. El capítulo 5 se ha centrado fundamentalmente en el diseño de este subsistema para la red, en el cual se ha definido el uso de la tecnología WiFi para la transmisión de información entre la red troncal, red de distribución y estaciones finales, al igual que VoIP para las comunicaciones de voz. A continuación se describen los equipos que conforman este subsistema y se presenta el equipamiento seleccionado para las estaciones de la red.

Enrutador WiFi

Es una computadora de propósito específico construida en una sola tarjeta de circuito impreso (PCB, *Printed Circuit Board*) que incluyen memoria, procesador, unidad de almacenamiento y que presenta una o varias interfaces radio WiFi, además está dotado de un sistema operativo que permita configurar los enlaces de larga distancia. En [29] se detallan las características más importantes de algunos modelos de enrutadores del mercado, resaltando las ventajas y desventajas de cada uno de ellos. Este equipo es el elemento principal de las estaciones, pues es el que servirá para las estaciones clientes para dar acceso a la Red Troncal, mientras que para las estaciones repetidoras permitirá el manejo de los flujos de datos provenientes de sus enlaces de distribución y de sus enlaces troncales. Las Figuras 6.3 y 6.4 resumen las características y especificaciones técnicas de ambos enrutadores:

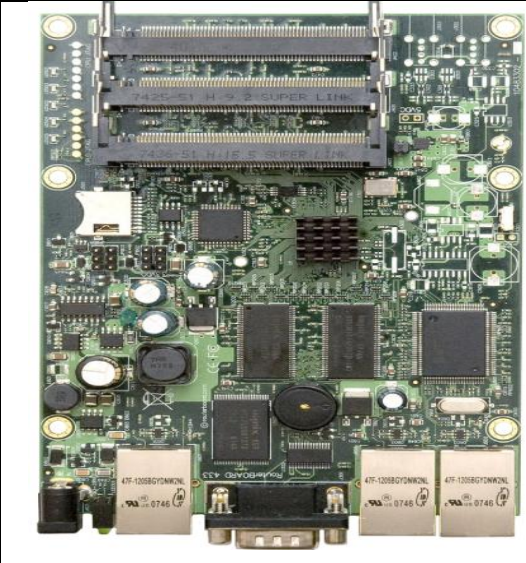
Enrutador 1	
	Fabricante Mikrotik
	Modelo RB433 AH
	CPU Atheros AR7161 680 MHz
	Memoria 128 MB DDR SDRAM
	MiniPCI 3 slots MiniPCI
	Ethernet 3 puertos Ethernet
	Puerto serie 1 DB9 RS232C
	Consumo ~3 W sin tarjetas, máximo 25W
	S.O. Mikrotik RouterOS v3, nivel 5
	Dimensiones 10,5 cm x 15 cm

Figura 6.3: Especificaciones técnicas del RB433AH


Enrutador 2	
	Fabricante Mikrotik
	Modelo RB433
	CPU Atheros AR7130 300 MHz
	Memoria 64 MB DDR SDRAM
	MiniPCI 3 slots MiniPCI
	Ethernet 3 puertos Ethernet
	Puerto serie 1 DB9 RS232C
	Consumo ~3 W sin tarjetas, máximo 25W
	S.O. Mikrotik RouterOS v3, nivel 4
	Dimensiones 10,5 cm x 15 cm

Figura 6.4: Especificaciones técnicas del RB433

Se han propuesto los equipos Mikrotik, dado que son los implementados en la fase 1 del proyecto, además de haber sido contrastadas sus prestaciones. Al existir un distribuidor en Bolivia reduce los costos, facilita su adquisición y permite el soporte técnico. En el caso de la red troncal se ha considerado el modelo *RouterBoard 433AH* dado que presenta mayores prestaciones que el modelo usado para los telecentros, el modelo *RouterBoard 433*.

Tarjeta inalámbrica

Es un dispositivo que permite el envío y la recepción de datos en una WLAN. Pueden ser insertadas en las ranuras de los enrutadores y pueden integrar antenas para el establecimiento de los enlaces. El Cuadro 6.4 muestra una comparativa entre las diversas tarjetas inalámbricas para WiLD disponibles en el mercado.

Interfaces	Estándar	Potencia máxima en IEEE 802.11g [dBm]	Potencia máxima en IEEE 802.11a [dBm]	Conector antena	Sensibilidad
SR2	g	26 @ 1-24 Mbps	-	1 U.FL y 1 MMCX	6 Mbps-94 dBm 12 Mbps-91 dBm
R52H	a/g	26 @ 6 Mbps	26 @ 6 Mbps	2 U.FL	6 Mbps-90 dBm 54 Mbps -70 dBm
SR5	a	-	26 @ 6-24 Mbps	1 U.FL y 1 MMCX	6 Mbps-94 dBm 12 Mbps-91 dBm
XR2	g	28 @ 1-24 Mbps	-	1 U.FL y 1 MMCX	6 Mbps-94 dBm 12 Mbps-91 dBm
XR5	a	-	28 @ 6-24 Mbps	1 U.FL y 1 MMCX	6 Mbps-94 dBm 12 Mbps-91 dBm
EMP - 8602+S	a/g	27 @ 6-24 Mbps	22 @ 6-24 Mbps	2 U.FL	6 Mbps-90 dBm (a) 6 Mbps-92 dBm (g)

Cuadro 6.4: Comparativa de tarjetas inalámbricas para WiLD [29]

Se ha propuesto la tarjeta inalámbrica MiniPCI modelo Mikrotik R52H, la que trabaja en 802.11a/b/g, además tiene una potencia máxima de salida de 25 dBm y dispone también de seguridad WEP, WPA y WPA2. Además está optimizada para trabajar con el protocolo *Nstreme* para largas distancias de Mikrotik, el cual está diseñado para superar las limitaciones en distancia propias del estándar.

La Figura 6.5 resume las especificaciones técnicas de esta tarjeta:


Tarjeta Inalámbrica		
	Fabricante	Mikrotik
	Modelo	R52H
	Rango de f	2.192-2.539 MHz 4.920-6.100 MHz
	Estándares	IEEE 802,11a/b/g
	Potencia de salida máxima	25 dBm
	Chipset	AR5414
	Formato	MiniPCI
	OS	RouterOS
	Dimensiones	6 cm x 4,5 cm

Figura 6.5: Especificaciones técnicas de la tarjeta R52H

En enlaces inalámbricos de larga distancia no se pueden configurar las tarjetas inalámbricas con todas las velocidades que soporta, ya que al aumentar la velocidad de transmisión de las mismas también disminuye su sensibilidad. En las especificaciones provistas por el fabricante (Anexo C) no se detallan los valores de sensibilidad necesarios para soportar las velocidades de 9 Mbps, 12 Mbps y 18 Mbps. Lo que sí se puede suponer es que al usar esquemas de modulación de pocos símbolos no se incrementa demasiado la sensibilidad especificada en el valor de -90 dBm en 6 Mbps. Por lo tanto, en los enlaces las tarjetas serán configuradas para soportar 6 Mbps y 9 Mbps con BPSK, mientras que para las velocidades de 12 Mbps y 18 Mbps se utilizará QPSK, siendo esta última la máxima velocidad soportada en los enlaces.

Antenas

Son dispositivos pasivos que convierten la señal de radiofrecuencia en ondas electromagnéticas que se propagan en el espacio y viceversa. Existen distintos tipos de antenas, las principales son las directivas (grilla, plato o panel) para cubrir largas distancias; las omnidireccionales para cubrir un área de 360° y las sectoriales que permiten abarcar varias áreas de cobertura, pueden ser de 90° o 120°.

La elección de las antenas dependerá de la distancia, pérdidas por propagación y demás particularidades de cada enlace. Es importante destacar que las antenas de menor ganancia permiten un mayor arco de cobertura y no requieren un apuntamiento tan preciso con el otro extremo del enlace, mientras que las antenas con mayor ganancia concentran su energía en un área menor y requieren de un apuntamiento más preciso.

Por tal motivo, tomando en cuenta las antenas requeridas para la red y considerando los datos de simulación obtenidos mediante Radiomobile se proponen los siguientes tipos de antena:

- Estaciones cliente: Según la cercanía a los repetidores se podrán utilizar antenas directivas de 19 dBi (mayoría de los casos) y antenas directivas de 27 dBi. En este caso los modelos de antena HG5819P y HG4958-27EG.
- Estaciones repetidoras: Se podrán utilizar antenas omnidireccionales de 12 dBi y sectoriales de 17 dBi para los enlaces de distribución y antenas de 27 dBi para los enlaces troncales. En este caso, los modelos de antena HG5812U-PRO, HG5817P-090 y HG4958-27EG respectivamente.

Es importante mencionar que en algunos casos no se requiere de antenas de tanta ganancia para lograr niveles aceptables de recepción, pero se ha optado por definir sólo estos tipos de antenas para facilitar las compras y el mantenimiento de las mismas.

Las Figuras 6.6, 6.7, 6.8 y 6.9 resumen las especificaciones técnicas de las antenas citadas:

Antena 1		
	Fabricante	HyperLink
	Modelo	HG5819P
	Tipo	Directiva
	Frecuencia	5725 - 5850 MHz
	Ganancia	19 dBi
	Polarización	Vertical / Horizontal
	Impedancia	50 Ω
	Conector	N Hembra
	Peso	1,6 Kg
	Dimensiones	315 x 315 x 25 mm
	Conector	N Hembra

Figura 6.6: Especificaciones técnicas de la antena HG5819P


Antena 2		
	<i>Fabricante</i>	HyperLink
	<i>Modelo</i>	HG5812U-PRO
	<i>Tipo</i>	Omnidireccional
	<i>Frecuencia</i>	5725 - 5850 MHz
	<i>Ganancia</i>	12 dBi
	<i>Polarización</i>	Vertical
	<i>Impedancia</i>	50 Ω
	<i>Conector</i>	N Hembra
	<i>Peso</i>	0,7 Kg
	<i>Longitud</i>	0,7 m
	<i>Conector</i>	N Hembra

Figura 6.7: Especificaciones técnicas de la antena HG5812U-PRO


Antena 3		
	<i>Fabricante</i>	HyperLink
	<i>Modelo</i>	HG5817P-090
	<i>Tipo</i>	Sectorial 90°
	<i>Frecuencia</i>	5725 - 5850 MHz
	<i>Ganancia</i>	17 dBi
	<i>Polarización</i>	Vertical
	<i>Impedancia</i>	50 Ω
	<i>Conector</i>	N Hembra
	<i>Peso</i>	1,8 Kg
	<i>Longitud</i>	455x115x60 mm
	<i>Conector</i>	N Hembra

Figura 6.8: Especificaciones técnicas de la antena HG5817P-090


Antena 4		
	<i>Fabricante</i>	HyperLink
	<i>Modelo</i>	HG4958-27EG
	<i>Tipo</i>	Directiva
	<i>Frecuencia</i>	4900 - 5850 MHz
	<i>Ganancia</i>	27 dBi
	<i>Polarización</i>	Vertical /Horizontal
	<i>Impedancia</i>	50 Ω
	<i>Conector</i>	N Hembra
	<i>Peso</i>	1,52 Kg
	<i>Longitud</i>	400 x 600 mm
	<i>Conector</i>	N Hembra

Figura 6.9: Especificaciones técnicas de la antena HG4958-27EG

En la fase inicial de la red se tienen antenas omnidireccionales instaladas en los nodos Dirección Distrital, 15 de Agosto y Campo Víbora. Para la fase 2, motivo del presente PFM, sólo se deberá cambiar la existente en 15 de Agosto, ya que se la reemplazará por una sectorial que pueda dar cobertura a la UE Alta Vista.

ATA

Es un dispositivo que convierte las señales entregadas por un teléfono analógico a un formato compatible con una red de datos TCP/IP. La Figura 6.10 resume las especificaciones técnicas del ATA seleccionado:

ATA		
	Fabricante	Lynksis
	Modelo	SPA3102
	Puertos	FXS y FXO
	Codecs soportados	G.711/G.726/ G.729a/G.723.1
	Ethernet	2 puertos Ethernet
	Voltaje entrada	5 V
	Consumo	5 W
	Peso	0,15 Kg
	Dimensiones	101 x 101x 28 mm

Figura 6.10: Especificaciones técnicas del SPA3102

Teléfono analógico

Es un equipo que permite comunicaciones de voz y que debe ir conectado directamente al ATA o a través de una roseta telefónica. Junto al ATA constituyen el terminal telefónico utilizado en las estaciones finales. La Figura 6.11 resume las especificaciones técnicas del teléfono analógico seleccionado:


Teléfono analógico		
	Fabricante	Panasonic
	Modelo	KX-TS500
	Montaje mural	Si
	Re-llamada	Si
	Volumen de timbre	Regulable
	Dimensiones	101 x 101x 28 mm

Figura 6.11: Especificaciones técnicas del KX-TS500

Cableado RF

El cableado RF es un factor importante en el diseño del subsistema, ya que puede ser una fuente indeseable de degradación de las señales. Es importante seleccionar cables de baja pérdida a un costo razonable. Se ha optado por el uso de cables coaxiales, los cuales se encargan de transportar la potencia de radiofrecuencia a las antenas y viceversa, debiendo tener en ambos extremos conectores N Macho para su conexión con el *pigtail* de la tarjeta inalámbrica y los conectores N Hembra de las antenas. También se considera como parte de este cableado el *pigtail* que conectará las tarjetas inalámbricas con el cable coaxial, que al tener mucha atenuación son generalmente cortos (típicamente 30 cm.). En este caso se ha tomado en cuenta el modelo ACUFL de Mikrotik.

La Figura 6.12 resume las especificaciones técnicas del cable coaxial seleccionado:


Cable coaxial		
	<i>Fabricante</i>	Times Microwave Systems
	<i>Modelo</i>	LMR-600
	<i>Atenuación</i>	Para 5800 MHz 23,8 dB/100m
	<i>Impedancia</i>	50 Ω
	<i>Capacitancia</i>	76,8 pF/m
	<i>Inductancia</i>	0,19 μ H/m
	<i>Peso</i>	0,2 Kg/m

Figura 6.12: Especificaciones técnicas del LMR-600

6.3.2 Subsistema de Infraestructura

Este subsistema contempla toda la estructura metálica de las estaciones, que si bien no forman parte de los procesos de comunicación, cumplen funciones indispensables para la operatividad de la red.

Las torres, dentro del marco de los sistemas inalámbricos de telecomunicación rural, se hacen cargo de la fijación y el soporte de dispositivos tales como paneles fotovoltaicos, radios, antenas y computadoras [24]. A continuación se detallan las funciones relevantes que desempeñan las torres en su calidad de elementos de fijación y soporte:

- Establecimiento y mantenimiento de una posición espacial específica, altura sobre el suelo, orientación y dirección.
- Portado del peso propio y carga útil, fuerzas propias, fuerzas por viento, lluvia, etc.

- c. Portado de fuerzas debidas a maniobras de instalación, mantenimiento, siniestros o situaciones no previstas.
- d. Puesta a tierra e igualamiento de potenciales eléctricos.
- e. Seguridad mediante distanciamiento o altura sobre el suelo o edificaciones.
- f. Coordinación visual arquitectónica o estética con el ambiente.

Toda la teoría necesaria para el diseño de ingeniería de estructuras de soporte para antenas de telecomunicación se encuentra detallada en el estándar TIA/EIA-222-F, publicado por la TIA, *Telecommunications Industry Association*. En [24] y [31] se detallan las especificaciones de montaje para cumplir con dicha normativa internacional.

Las estructuras correspondientes a las estaciones de la red TEC Yapacaní podrán ser de 2 tipos:

- Mástiles sólidos o tubulares: Postes o mástiles de poca altura, generalmente no mayores a 5 metros, destinados para la gran mayoría de las estaciones cliente de la red.
- Torre con rigidez asistida por drizas: Estructura esbelta donde la carga del peso propio y de la carga es responsabilidad de un arreglo triangular de tubos, mientras que la rigidez es conseguida mediante el tendido de líneas de tracción o drizas instaladas entre la torre y el suelo. Serán utilizadas en las estaciones que requieran de antenas a más de 15 m. del suelo.

En el caso particular de este subsistema se debe considerar la adquisición de una estructura llave en mano o realizar el diseño e instalación por cuenta propia, donde sus costos dependen principalmente de la altura y el lugar de instalación de la estructura. Se ha realizado una comparativa entre ambas opciones considerando los costos de materiales (estructura y ferretería), costos del traslado de materiales y personal de instalación, al igual que el pago para personal de obras civiles y el pago al personal de la instalación de la torre. En base a esto, se puede establecer que la instalación por cuenta propia es aproximadamente un 30% más barata que adquirir una solución llave en mano, ya que por ejemplo para una torre de 18 m los costos son de 21.700 bolivianos (3.100 USD) y 30.100 (4.300 USD) respectivamente.

La Figura 6.13 detalla un tramo utilizado para la estructura y los accesorios requeridos para el montaje de las torres. Se detallan también los elementos necesarios para una torre ventada de 30 m con balizaje, en los que cada tramo de la estructura respeta la medida estándar de 3 m.

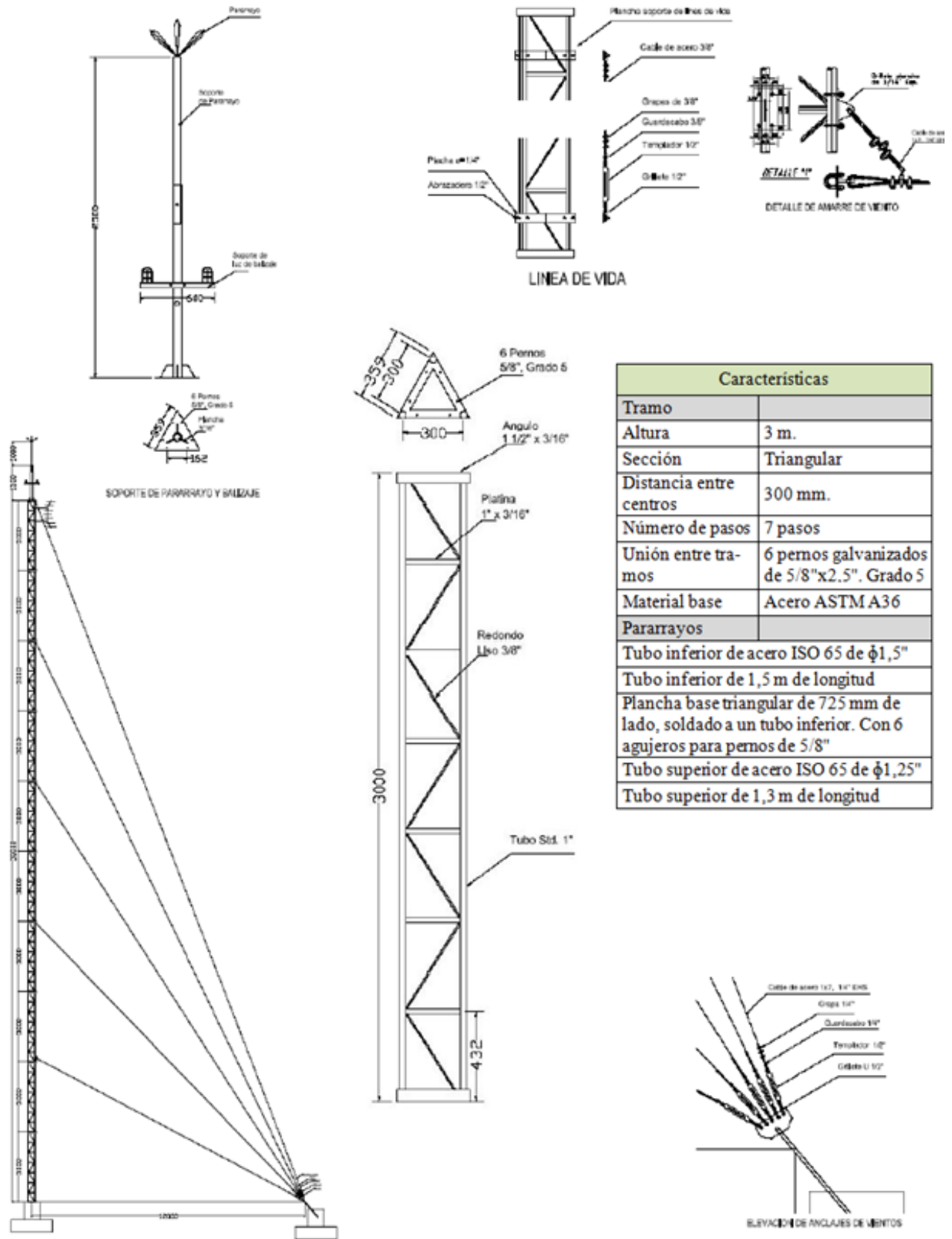


Figura 6.13: Componentes del subsistema de infraestructura

6.3.3 Subsistema de Energía

Este subsistema es el encargado de proveer la energía necesaria para alimentar el equipamiento de las estaciones, permitiendo la normal operación y garantizando la provisión de los servicios de la red. La alimentación eléctrica es un aspecto fundamental a la hora del diseño de la red, es por esto que la fase 2 del proyecto ha contemplado en su totalidad unidades educativas que disponen de provisión eléctrica comercial, ya que en la fase inicial se tienen 2 estaciones que requieren motores a base de combustible, con los consiguientes problemas propios de la gestión y aprovisionamiento de este recurso para los motores.

Es importante mencionar que la energía provista por la red de distribución eléctrica en esta zona es algo inestable y sufre cortes no programados del servicio. Por lo que, este subsistema contempla el cálculo del consumo energético para la implementación de otra solución energética (paneles solares, regulador y batería) en la red, al menos para los equipos de la red troncal, de modo que un corte puntual en alguna estación no afecte a la conectividad de la totalidad de la red.

En este contexto, a continuación se detallan los elementos que conforman este subsistema:

- Sistema fotovoltaico:
 - Panel solar: Es un dispositivo que capta energía del sol y tiene la capacidad de convertir esta energía en corriente eléctrica, que es transmitida por al regulador y de éste a las baterías para su recarga.

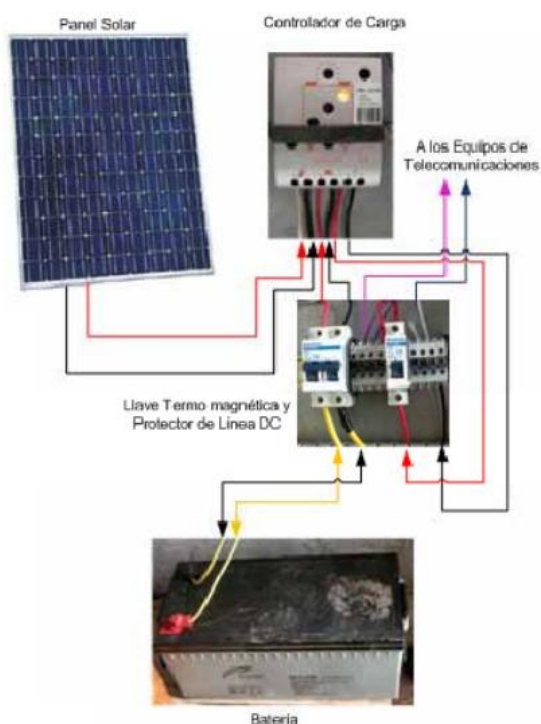


Figura 6.14: Elementos del sistema fotovoltaico

- **Batería:** Es un dispositivo que almacena energía eléctrica usando procesos electroquímicos. Dependiendo los casos pueden ser abiertas o libres de mantenimiento, de descarga profunda y aptas para climas variados. Son las encargadas de suministrar energía al equipamiento.
- **Regulador:** Es un dispositivo que evita sobrecargas y descargas de tensión en la batería. Durante el día la corriente generada por los paneles solares llega hasta el regulador y éste la distribuye a los distintos dispositivos, lo restante lo envía a la batería para almacenarla. Durante la noche el regulador obtiene corriente de la batería para abastecer los equipos encendidos.
- **UPS, *Uninterruptible Power Supply*:** Dispositivo que permite estabilizar el nivel de tensión eléctrica entregado a la carga y evitar sobrecargas de tensión, a la vez que actúa como fuente de suministro de energía en caso de interrupción del suministro eléctrico, dependiendo de la capacidad inherente a sus baterías.

UPS		
	Fabricante	Tripp-Lite
	Modelo	AVRX750U
	Capacidad de salida en VA	750 VA
	Capacidad de salida en W	450 W
	Corrección de sobretensión	Reducción de 12% para 245-282Vca
	Corrección de baja tensión	Aumento de 14% para 159-205 Vca
	Autonomía con carga completa (450W)	3 min.
	Autonomía con media carga (225W)	10 min.

Figura 6.15: Especificaciones técnicas del AVRX750U

- **Tabla de energía (caja de distribución):** Es el elemento de almacenaje en el que se realiza el cableado y las conexiones de todas las cargas que componen el subsistema de energía (equipos instalados). La caja incluye además una llave termomagnética (interruptor) que actúa como protector de descargas eléctricas y una bornera que permite conectar los cables que alimentan a los dispositivos de manera ordenada.

6.3.3.1 Consumo del sistema fotovoltaico

Como se ha mencionado este cálculo será realizado para brindar suministro eléctrico para el equipamiento de la red troncal mediante un sistema de energía alternativo. Para este cálculo se tomarán en cuenta los siguientes criterios:

1. Se considera un valor de 1.3 para la relación carga/descarga o factor de corrección, la cual está referida a la relación entre la generación y el consumo diario de energía, idealmente si este valor fuera igual a 1 sería suficiente para que las baterías estuvieran siempre al 100% de su carga, pero debe ser mayor si se considera la eficiencia de los equipos y pérdidas en el cableado.
2. Se asume una pérdida adicional de 10% sobre el consumo de las cargas ($\eta_G = 0,1$).
3. Se tendrá en cuenta un valor de 4.1 KW-h/m² para la radiación diaria media del peor mes del año en la zona, en este caso dicho valor corresponde al Departamento de Santa Cruz²⁹.
4. Se considera un valor de 10 W para el consumo del enrutador considerando operativas sus interfaces inalámbricas y configurados como AP, al igual que sus puertos Ethernet.

Cálculo de energía necesaria por día

Para el cálculo de la energía necesaria por día se utilizará la Ecuación 6.1, mientras que el Cuadro 6.1 muestra los resultados obtenidos para estaciones con 1 y 2 enrutadores de la red troncal TEC Yapacaní. Se han considerado 14 horas de uso para los equipos mencionados debido a que los servicios de la red no requieren de su funcionamiento ininterrumpido, lo que deriva en un menor consumo.

$$E_{consumo-total} [Wh/dia] = Cantidad_routers * Horas_uso * Potencia * (1 + \eta) \quad (6.1)$$

Número de enrutadores	Horas de uso	Potencia [W]	Consumo [W-h/día]	Pérdidas adicionales $\eta_G = 10\%$	Total de energía necesaria [W-h/día]
1	14	10	140	14	154
2	14	10	280	28	308

Cuadro 6.1: Cálculo de energía necesaria por día

Cálculo de energía generada

Para el cálculo de la energía total generada por el sistema fotovoltaico se utilizará la Ecuación 6.2, mientras que el Cuadro 6.2 muestra los resultados obtenidos para estaciones con 1 y 2 enrutadores considerando paneles solares con una potencia pico de 50 Wp.

$$E_{generada-total} [Wh/dia] = Cantidad_paneles * Potencia * Radiación \quad (6.2)$$

²⁹ Datos extraídos del Mapa de Distribución de Energía Solar en Bolivia, elaborado por el Viceministerio de Energía e Hidrocarburos en el año 2001.

Número de enrutadores	Número de paneles	Potencia pico del módulo [Wp]	Radiación a 1 KW/m ² del peor mes [h/día]	Total de energía generada [W-h/día]
1	1	50	4,1	205
2	2	50	4,1	410

Cuadro 6.2: Cálculo de energía generada por día

Cálculo de relación carga/descarga

Es importante considerar en el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, que el factor entre la energía generada por éste y la energía consumida por el sistema debe ser mayor a 1. Siendo calculado como el cociente entre la energía generada y la energía consumida en el sistema el Cuadro 6.3 muestra esta relación para los casos anteriores, donde se obtienen valores de 1.33 para ambos casos, cumpliéndose de esta manera el criterio de diseño establecido.

Número de enrutadores	Total de energía necesaria [W-h/día]	Total de energía generada [W-h/día]	Relación de carga/descarga
1	154	205	1,33
2	308	410	1,33

Cuadro 6.3: Cálculo de relación carga/descarga

Cálculo de capacidad para baterías

La capacidad de las baterías debe ser suficiente como para entregar a la carga la energía necesaria por día, tomando en cuenta para ello que las baterías no deben descargarse más del 80% de su capacidad total para no afectar su tiempo de vida útil, además del número de días de autonomía deseado. Se utiliza la Ecuación 6.3 para el cálculo de este valor, en la que se utiliza el caso más restrictivo para el consumo, es decir, se considera el uso de 2 enrutadores, al igual que 3 días de autonomía.

$$C_{min}[W - h] = \frac{E_{consumo-total} * (1 + \eta) * N_{da}}{Pd_{max}} \quad (6.3)$$

$$C_{min}[W - h] = \frac{308 * (1 + 0,1) * 3}{0,8} \cong 1.200$$

Para la elección del modelo de este dispositivo se debe considerar un voltaje de la batería de 12 V y la determinada capacidad del modelo en Ah a elegir, de modo que el valor de potencia calculado del producto de ambos datos debe ser como mínimo igual a C_{min} . De esta manera, se requiere 1 batería de 100 Ah de capacidad.

En base a los cálculos efectuados se ha optado por los equipos descritos en los Cuadros 6.16, 6.17 y 6.18, en los que se detallan sus especificaciones técnicas. Cabe considerar que en Santa Cruz, la empresa Enersol SA es la única comercializadora de equipos para sistemas fotovoltaicos, lo que implica garantía y soporte, al igual que ningún margen de maniobra para las compras de este equipamiento.

Regulador		
	<i>Fabricante</i>	BrightSun Power
	<i>Modelo</i>	EPIP40-20
	<i>Tensión nominal</i>	12/24 V
	<i>Corriente nominal</i>	20 A
	<i>Tensión de desconexión</i>	11,1 V
	<i>Tensión de reconexión</i>	12,5 V
	<i>Terminales</i>	P/ cables de 10 mm ²
	<i>Consumo máximo</i>	10 mA
	<i>Peso</i>	250 g
	<i>Dimensiones</i>	188,9 x 130 x 51,7 mm

Figura 6.16: Especificaciones técnicas del EPIP40-20

Panel Solar		
	<i>Fabricante</i>	BrightSun Power
	<i>Modelo</i>	YL50 - YINGLI SOLAR
	<i>Potencia nominal</i>	50 Wp
	<i>Voltaje de Máxima Potencia</i>	17,5 V
	<i>Voltaje de circuito abierto</i>	21 V
	<i>Corriente de corto circuito</i>	3,1 A
	<i>Corriente de máxima potencia</i>	2,9 A
	<i>Peso</i>	5,4 Kg
	<i>Dimensiones</i>	630 x 660 x 35 mm

Figura 6.17: Especificaciones técnicas del YL50Wp


Batería		
	<i>Fabricante</i>	Toyo Solar
	<i>Modelo</i>	NS-100AH
	<i>Tensión nominal</i>	12 V
	<i>Tensión de carga</i>	14,8 V
	<i>Tensión de carga permanente</i>	13,4 V
	<i>Tensión luego de la descarga</i>	10,5 V
	<i>Temperatura</i>	-15/50 °C
	<i>Peso</i>	13 Kg
	<i>Dimensiones</i>	504 x 220 x 255 mm

Figura 6.18: Especificaciones técnicas del NS-100

Como se ha mencionado, se utilizarán sistemas fotovoltaicos en las estaciones troncales para asegurar el servicio y no depender de un inestable aprovisionamiento de energía eléctrica. El esquema de dichas estaciones quedaría de la siguiente manera:

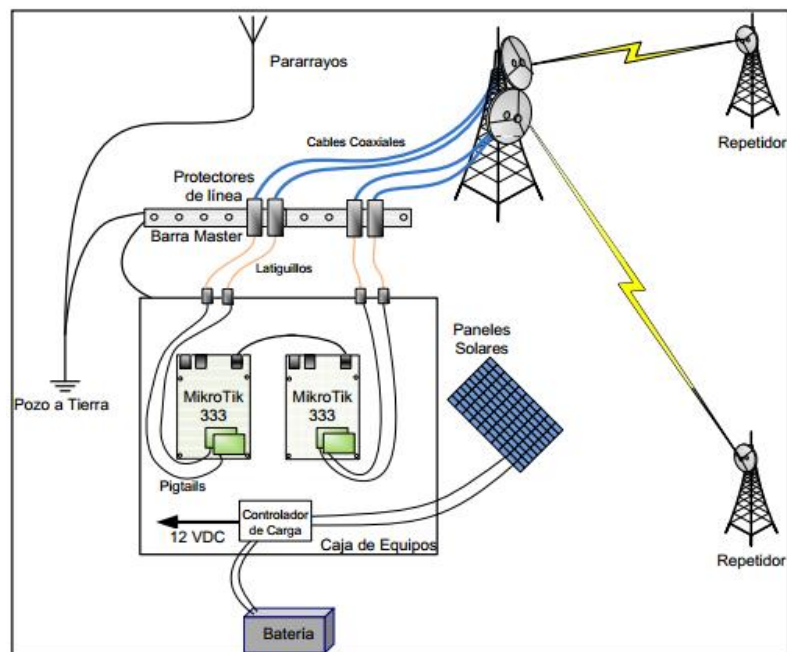


Figura 6.19: Esquema de la estación repetidora con sistema fotovoltaico

6.3.4 Subsistema de protección eléctrica

En las zonas rurales existe gran diversidad de fenómenos eléctricos de origen atmosférico que pueden afectar a la salud de las personas y al buen funcionamiento del equipamiento electrónico. Por ello es necesaria la implementación de un sistema de protección eléctrica que garantice la seguridad de las personas y la funcionalidad de los equipos [31].

La Figura 6.20 ilustra las partes que conforman este subsistema, las cuales pueden ser agrupadas en el Sistema Integral de Protección y el Sistema de Puesta a Tierra.

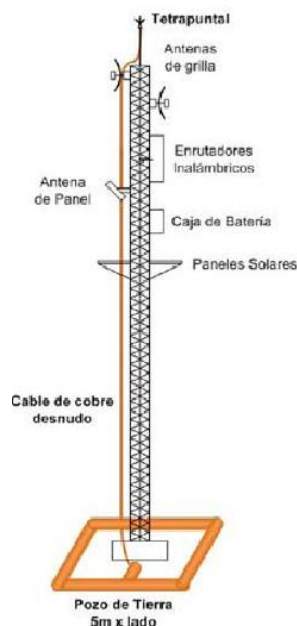


Figura 6.20: Esquema del sistema de protección eléctrica [29]

6.3.4.1 Sistema Integral de protección

Al no existir una tecnología que por sí misma pueda eliminar el riesgo de los rayos y sus transitorios, es necesario un sistema integral, que se encargue de la captura de la descarga atmosférica, derivar el rayo hacia tierra en forma segura, disipar la energía a tierra y proteger a los equipos contra los efectos transitorios (sobrevoltajes y sobrecorrientes).

En este contexto, a continuación se detallan los elementos que lo conforman:

- Pararrayos: El punto más vulnerable de una descarga directa del rayo se encuentra en la parte superior de la estructura, de modo que se requiere una estructura metálica que esté ubicada varios metros por encima del último tramo de la torre y de las antenas, ya que se pretende capturar la descarga eléctrica producida por el rayo, sin que dañe las instalaciones.
- Cable bajante de pararrayos: Conecta el pararrayos, agente receptor del rayo, con el sistema de aterramiento. De esta manera deriva la energía de la descarga eléctrica a tierra. La solución consiste en emplear cables de cobre desnudo de al menos 50 mm^2 que bajen aislados de la estructura de la torre mediante separadores laterales.
- Barra máster: Es una platina de cobre empleada para conectar los cables de aterramiento de los equipos con el pozo de Puesta a Tierra. Deben estar ubicadas próximas a los equipos de comunicación y se deben instalar en la torre o en el interior de las instalaciones dependiendo el caso.

- Protector de Línea: Elemento que protege los equipos de posibles descargas eléctricas que entren por la antena y que a través del cable coaxial puedan dañar el equipo radio. Se colocan en la barra máster de las torres y deben conectar 2 cables coaxiales (uno llega al equipo radio y el otro a la antena).

6.3.4.2 Sistema de Puesta a Tierra (SPAT)

Los pozos de puesta a tierra se rellenan con materiales especiales que disminuyen la resistencia a tierra y crean una vía de fácil acceso para las descargas ambientales u otro tipo de corrientes no deseadas que puedan afectar a los equipos. Usualmente se deben tomar en cuenta 2 sistemas de puesta a tierra (Sistema PAT del pararrayos y un Sistema PAT de comunicaciones) unidos mediante un cable de baja resistencia, como por ejemplo de 50 mm².

Material	Cantidad	Descripción
Pararrayos	1	Tipo Franklin tetrapuntal
Base aisladora del pararrayos	1	Base aisladora con tuerca para el pararrayos, ubicada entre éste y la estructura de la torre
Separadores laterales	(h/3)+1	Separa el cable de cobre desnudo 1/0 AWG de la estructura de la torre
Aislador de carrete	(h/3)+1	Aísla los separadores laterales de la estructura de la torre
Cable de cobre desnudo 8 AWG		Une la estructura de la torre con el pozo de tierra de comunicaciones
Bentonita	20 Kg	Contribuye a reducir la resistividad del pozo
Fleje de cobre 0,8 mm x 7 cm.	20 m	2 flejes de cobre de 10 m cada uno
Saco de sal	50 Kg	1 saco de sal por cada 10m de fleje de cobre
Soldadura exotérmica	2	Une el cable de cobre al fleje del SPAT
Molde para soldadura exotérmica	1	Para unir el cable de cobre 1/0 AWG con el fleje de cobre
Masilla para soldadura exotérmica		Evita la fuga de oxígeno durante la operación de soldadura
Barra máster de 25x5x300mm	1	Barra de cobre electrolítico de gran pureza
Cable GPT 12 AWG verde	10	Conecta los terminales de puesta de tierra de los equipos de comunicaciones y energía a la barra máster
Protector de línea	1	Preferentemente del tipo "látigo de cuarto de onda"
Terminales tipo "0"	3	Para conectar los cables de PAT a la barra máster
Tornillos de 3/16" de diámetro x 1/2"	3	Fijan los terminales de PAT a la barra máster
Aislador para barra máster	2	Aísla la barra máster de la base donde sea instalada

Cuadro 6.4: Estimación de materiales para la instalación del Sistema Integral de Protección y Sistema de Puesta a Tierra [31]

La resistencia del suelo es un factor importante en el diseño de su Sistema PAT, ya que es influenciada directamente por el tipo de tierra (arcilla, arena, granito, etc.), contenido de agua, cantidad de electrolitos (minerales y sales disueltas) y la temperatura. En el caso de la Red TEC Yapacaní la implantación de sistemas PAT no implicará mayores inconvenientes, ya que es un terreno blando y húmedo, por lo que presenta baja resistividad.

El diseño de un sistema PAT implica la definición de un valor de resistencia del sistema, siendo típicos valores por debajo de los 10 Ω . Por lo que, antes de la realización del PAT se debe realizar una medición de la resistividad del suelo, de modo que dependiendo del resultado de esta medida se empleen la cantidad de materiales necesarios para lograr el valor de resistividad deseado. Los pozos realizados para la puesta a tierra pueden tener una longitud de 10 m y una profundidad de 50 cm. En [24] y [31] se describe el proceso, los materiales y las cantidades necesarias para la construcción de pozos de puesta a tierra y sistemas integrales de protección, al igual que se detalla el procedimiento de medida de la resistividad del terreno.

6.3.5 Subsistema informático

Este subsistema permite al usuario final acceder a los servicios de la red, como el acceso a internet, al correo electrónico u otras labores afines a cada usuario. En el diseño de la red se ha contemplado para este subsistema un sólo computador que será el servidor de la LAN/WLAN, ya que el número de computadores del telecentro variará en función del diseño participativo que se realice previo a la instalación de la red, al igual que dependerá del financiamiento conseguido y el aporte de los Comités Locales.

Por otro lado, los usuarios del telecentro con este subsistema podrán acceder a los portales educativos provistos por el Ministerio de Educación o los descritos en la Sección 2.2.2.1, podrán efectuar una revisión bibliográfica para trabajos escolares o en caso *offline*, podrán utilizar los programas instalados que componen la malla curricular de la asignatura de computación.

Capítulo 7

Mantenimiento de la red

En este capítulo se trata uno de los problemas detectados en la fase del estudio de campo, específicamente la indisponibilidad de los equipos de la red de interconexión, lo cual condiciona la operación de todo el sistema. En este contexto, se tomará en cuenta la metodología descrita en [10] para la elaboración de un Plan de Mantenimiento.

El correcto funcionamiento y la disponibilidad de una red juegan un papel preponderante en el diseño de la misma, por lo que en esta fase se debe crear un Plan de Mantenimiento que garantice la operación de la red con alta disponibilidad. Es importante tomar en cuenta las ubicaciones de los emplazamientos y las actividades de mantenimiento, al igual que los costos asociados al momento de la elección de los equipos, ya que las zonas más alejadas o con peores accesos implican mayor dificultad y costos en los protocolos de actuación.

7.1 Introducción

7.1.1 Situación actual del mantenimiento

En ámbitos rurales la operación y mantenimiento de una red son tan importantes como la elección de una tecnología apropiada. Desde que la red TEC Yapacaní en su fase inicial está operativa, el mantenimiento ha estado a cargo de CEPAC, que ha sido la ONG encargada de su implementación. Para ello, existe un Responsable Técnico que se encarga de verificar los fallos de la red, al igual del diseño de contenidos educativos y de la capacitación a docentes de los telecentros.

En el estudio de campo previo al presente proyecto se evidenciaron problemas en la red, tanto en la operación normal de la misma, como en los subsistemas que la conforman. Tales falencias fueron detectadas en la inspección de los emplazamientos y entrevistas tanto al Responsable Técnico del proyecto como al Director de CEPAC.

No existe un plan de mantenimiento que permita mitigar las fallas o llevar el control de las incidencias de la red. Está previsto que la gestión y el mantenimiento de la red pase a control del Municipio de Yapacaní con el inconveniente implícito de que en este caso no habría personal técnico especializado para el mantenimiento de la red.

En [10] y [26] se recogen diferentes causas de fallos para redes implementadas en Perú por la Fundación EHAS³⁰ (Enlace Hispanoamericano de Salud) en los últimos años. Dichas causas son comunes en redes implementadas en zonas rurales de países en vías de desarrollo y son semejantes a las falencias detectadas en el estudio de campo previo a la elaboración de este PFM.

La problemática detectada en la red puede ser clasificada de manera general en problemas de conectividad de los nodos troncales, problemas de disponibilidad del equipamiento, problemas de disponibilidad de los servicios y problemas en la resolución de incidencias de la red. Es importante considerar las condiciones climáticas propias de la región geográfica implicada, ya que al ser un clima tropical, presenta temperaturas altas con niveles de humedad adversos a la vida de cualquier equipamiento electrónico.

7.1.2 Disponibilidad

La disponibilidad de los sistemas informáticos y de comunicaciones se entiende como el porcentaje del tiempo que éstos funcionan normalmente. Aunque cualquier usuario desearía que los sistemas tuvieran siempre una disponibilidad del 100 %, esto no ocurre nunca, ya que los equipos, por buenos que sean se malogran y por muy bien establecido que esté el sistema de reparación, dicha actividad lleva un tiempo. Asegurar una disponibilidad excesivamente alta significa la instalación de sistemas redundantes lo cual encarece mucho la infraestructura y los costes de mantenimiento. Es muy importante que se fijen cifras de disponibilidad por servicio razonables (para telefonía, para acceso a Internet, para servicios, etc.).

7.1.2.1 Situación actual de la disponibilidad

La disponibilidad de cada servicio ha de ser definida teniendo en cuenta el entorno, las necesidades reales de los usuarios y la repercusión objetiva de la avería en las actividades de los mismos. En el caso de la red TEC Yapacaní no se cuenta con reportes de fallas o incidencias de la red, donde los casos de fallos no han sido resueltos con celeridad y han dado paso a tener bajos niveles de disponibilidad. Considerando la falta de estos datos, se hace difícil cuantificar y establecer el valor actual de disponibilidad de la red, pero en términos generales se puede establecer que la disponibilidad del equipamiento es deficiente y la conectividad de la red es casi nula.

³⁰ <http://www.ehas.org/>

7.1.2.2 Objetivos de la disponibilidad

Para llevar a cabo una eficiente gestión de la disponibilidad es preciso considerar los siguientes aspectos descritos en [10]:

- *Conocer las actividades clave de los usuarios.* Por medio de los telecentros los profesores de computación acceden a Internet como apoyo y preparación para las clases. Además utilizan las comunicaciones de voz para avisar fechas para las reuniones mensuales en la Dirección Distrital de Educación de Yapacaní. Por otro lado, los alumnos utilizan el telecentro para las clases de computación, para acceder al material de apoyo y utilizar los portales educativos, además de los programas informáticos instalados como el JCLIC.
- *Cuantificar los intervalos razonables de interrupción de los diferentes servicios dependiendo de sus respectivos impactos.* Se considera que una interrupción de una semana (7 días naturales) es aceptable, considerando el tiempo de detección del fallo hasta su reparación.
- *Determinar las franjas horarias de disponibilidad de los servicios TIC.* Al tratarse de una red para interconectar telecentros, las franjas horarias de interés son los periodos en que exista actividad escolar.
- *Establecer protocolos de mantenimiento y revisión de los servicios TIC.* Éste es precisamente el objetivo de este Plan de Mantenimiento.

El tiempo de recuperación de un fallo que precise mantenimiento correctivo presencial implica: diagnóstico remoto y presencial, obtención de repuestos y desplazamiento del personal técnico de mantenimiento. Por el contexto de la zona de Yapacaní, es imposible que el tiempo de recuperación sea inferior a una semana, por lo tanto, para la red inalámbrica durante la ejecución del presente Plan de Mantenimiento cabe considerar como objetivo un 90% de disponibilidad para la conectividad WiFi y Telefonía, mientras que un 80% para los servicios de teleeducación. Es importante señalar que los objetivos planteados son poco ambiciosos si los comparamos con otro tipo de redes, pero si consideramos el entorno, los servicios y la finalidad de la red son totalmente aceptables.

7.1.2.3 Técnicas de análisis de la disponibilidad

La disponibilidad de sistemas TIC en porcentajes se calcula teniendo en cuenta los tiempos promedio entre fallos (MTBF, *Mean Time Between Failure*) y los tiempos de recuperación (MTTR, *Mean Time To Recovery*). Estos últimos comprenden los tiempos de detección y respuesta frente a fallos y los tiempos de reparación. La Figura 7.1 ilustra el diagrama de tiempos relacionados con la disponibilidad de los sistemas. Los parámetros citados se relacionan mediante la expresión:

$$Disponibilidad[\%] = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} 100 \quad (7.1)$$

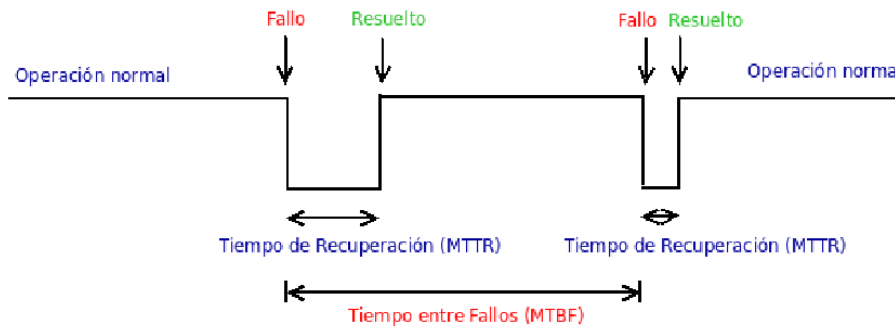


Figura 7.1: Diagrama de análisis de la disponibilidad en sistemas TIC [10]

Por tanto, es preciso reunir información estadística sobre estas variables, durante la operación de las redes de comunicaciones y los servicios asociados. Como se ha mencionado no se tiene un registro de las incidencias y las fallas acontecidas en la red, por lo que será un aspecto a tratar en el Plan de Mantenimiento.

7.2 Definición del Plan de Mantenimiento

Existen varias razones por las que el mantenimiento resulta complicado en zonas rurales [32]. En primer lugar, los pobladores locales no tienen los conocimientos necesarios sobre redes inalámbricas, esto conlleva a capacidades de diagnóstico limitadas, uso incorrecto de los equipos y fallos de configuración. Por tanto, se deben crear algunas herramientas que ayuden a aumentar este conocimiento y la capacitación debe formar parte de este proceso.

En segundo lugar, debido a la falta de suministro eléctrico en algunas zonas rurales, las caídas de funcionamiento de los equipos se producirán de manera más repetida que en el caso de tener un flujo de energía permanente. La tercera razón es que muchos establecimientos con nodos inalámbricos se encuentran muy distantes entre sí por lo que los desplazamientos para reparaciones y mantenimiento se tornan complicados. Otro aspecto importante es que el acceso remoto a redes puede no ser posible debido a la caída de algún enlace en la red por lo que los expertos pueden tener importantes dificultades para resolver las incidencias o incluso, diagnosticar los problemas.

Es importante para la elaboración del Plan de Mantenimiento, en cualquier tipo de redes de telecomunicación, definir un Conocimiento Histórico de la Red y los sistemas, el cual debe ser permanentemente actualizado. En redes rurales por su naturaleza misma, este punto es difícil de alcanzar, pero muy importante para ayudar a anticiparse a fallos y diagnosticarlos adecuadamente.

La Figura 7.2 presenta un diagrama del Plan Operativo de Mantenimiento que refleja las entradas y salidas de cada bloque de actividades y la manera en que realimentan el conocimiento histórico de la red. El objetivo principal de este Plan es posibilitar la realización de un mantenimiento preventivo y correctivo de los sistemas a través de un equipo distribuido en varios niveles de responsabilidad.

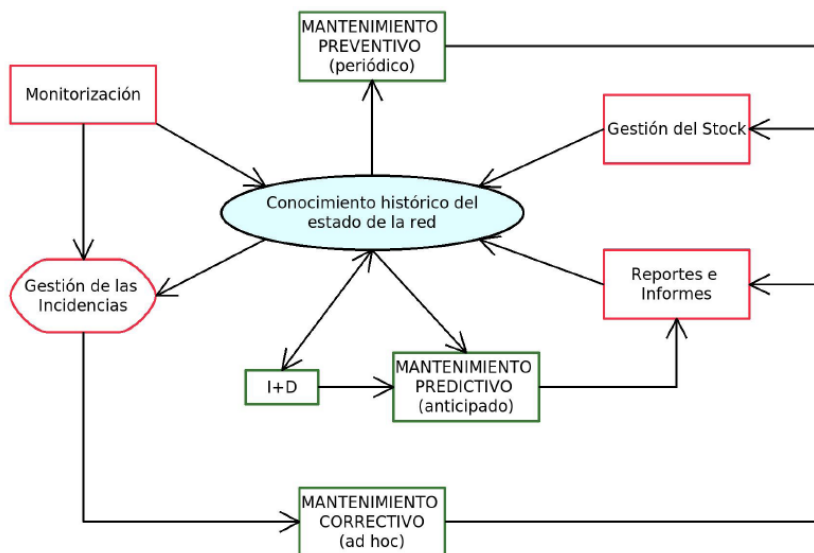


Figura 7.2: Diagrama de procesos del Plan Operativo de Mantenimiento [10]

En tal sentido, el Plan Operativo de Mantenimiento será más efectivo en la medida en que estén bien definidas las actividades, funciones y responsabilidades de todas las personas involucradas en su ejecución, por lo tanto éstas deben contar con la capacitación necesaria considerando su nivel de responsabilidad dentro del flujograma del proceso de mantenimiento.

7.2.1 Niveles de mantenimiento

En general, la mayor complejidad para la definición de planes de mantenimiento es organizativa, ya que lo deseable es contar con un equipo de mantenimiento conformado por profesionales capacitados para realizar las tareas necesarias. Las actividades de mantenimiento son diversas, pueden comprender la reparación, sustitución y modificación de los elementos de la instalación. Para algunas de estas acciones será necesario intervenir de forma presencial, mientras que otras tareas se podrán realizar de manera remota.

Los niveles de mantenimiento están referidos a los ámbitos de actuación de cada persona o grupo que interviene en el mantenimiento. Se proponen 4 niveles de menor a mayor conocimiento técnico y experiencia, a la vez de mayor y menor cercanía geográfica a los emplazamientos de la red.

N1: Este nivel está constituido por los responsables de cada telecentro. En la mayoría de los casos serán los profesores de la asignatura de computación, quienes no cuentan con una capacitación especializada en este tipo de redes o en la solución de fallas del equipamiento técnico en general. Por lo general, se limitarán a reportar posibles indicadores visuales de alarma, averías en los subsistemas o cualquier problema referente a los servicios de la red.

N2: Este nivel está constituido por el Responsable Técnico de la Red³¹. Se tratará de un ingeniero de telecomunicaciones o electrónico con formación específica en redes inalámbricas, sistemas de energía y sistemas informáticos. A su vez, es el máximo responsable de la operación y mantenimiento de la red, por lo que entre sus tareas estará garantizar la disponibilidad acordada y coordinar el trabajo con los responsables de cada telecentro. Pertenece a este nivel también un técnico torrero para las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo.

N3: Este nivel corresponde a los proveedores de las soluciones adquiridas. Ante fallas o incidencias fuera del alcance del conocimiento tecnológico de los anteriores niveles, se acudirá a la empresa distribuidora de los equipos Mikrotik en Bolivia, que solicita como requisito de garantía la instalación de la red mediante otra empresa externa. Mientras tenga vigencia la garantía del equipamiento, esta empresa prestará capacitación al personal técnico, y resolverá las incidencias importantes de la red. Fuera de este plazo de servicio, esto estaría sujeto a condiciones particulares en cada caso y se deberán establecer contratos de mantenimiento por un tiempo a convenir.

A los niveles descritos, cabe añadir un N0 constituido por los usuarios de los sistemas de la red, que además de utilizar debidamente los mismos, deben reportar al N1 las incidencias para realizar una supervisión básica del estado en su telecentro.

Nivel	N1	N2	N3
Experiencia tecnológica	*	**	***
Conocimiento científico-tecnológico	*	**	***
Accesibilidad (cercanía) a la red	***	**	*
Responsabilidad de mantenimiento	**	***	*

Cuadro 7.1: Resumen de cualidades por niveles de actuación

Tomando en cuenta las competencias descritas para cada nivel del equipo de mantenimiento el siguiente diagrama muestra el flujo a seguir en el caso de un fallo o incidencia en la red.

³¹ Actualmente está a cargo de personal de CEPAC. Cuando la red pase a ser administrada por el Municipio de Yapacaní, podrá mantenerse o no el personal a cargo dependiendo el marco de actuación establecido.

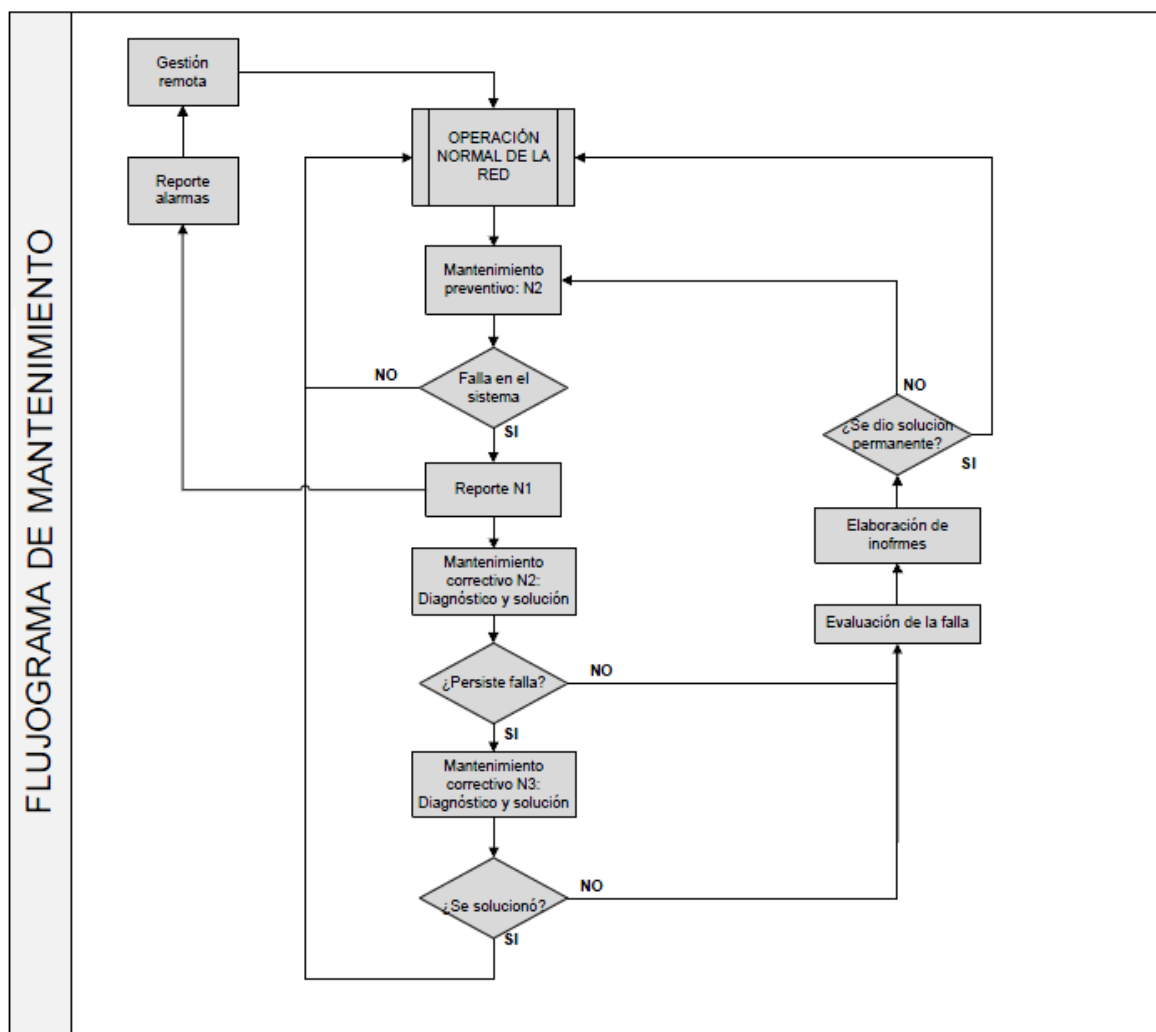


Figura 7.3: Flujoograma de actuación del equipo de mantenimiento

7.3 Ejes operativos del Plan

7.3.1 Monitoreo de datos

La monitorización es la base de la entrada de información al Conocimiento Histórico de la Red. Como su nombre lo indica, la monitorización se basa en la observación de diversos parámetros que caracterizan el funcionamiento de la red y los sistemas instalados. Algunos de estos parámetros se podrán deducir a raíz de conversar con los usuarios finales, pero es conveniente disponer también de fuentes de información objetivas [10].

Existen diversos Sistemas de Gestión de Red (SGR) para implementar en este tipo de redes, como Nagios³², OpenNMS³³, Zabbix³⁴, entre otras. La monitorización de la red mediante un

³² <http://www.nagios.org/>

³³ <http://www.opennms.org/>

³⁴ <http://www.zabbix.com/es/>

SGR es una función a desempeñar fundamentalmente por N2 y de forma esporádica por N1, mientras que N3, ante una petición específica, podrá acceder para ayudar a resolver alguna incidencia mayor.

El monitoreo planteado para la Red de TEC Yapacaní pretende mostrar información básica y necesaria para conocer el estado de los equipos de la red y algunas aplicaciones, realizar pruebas de conectividad, testeo del ancho de banda o verificar la cantidad de llamadas hechas por un determinado un cliente.

Para gestionar un dispositivo de manera remota es necesario disponer de un mecanismo que permita el traspaso de información entre los dispositivos que componen la red. Para ello, se propone el uso del protocolo *Simple Network Management Protocol*, SNMP, al ser soportado por el RouterOS de Mikrotik. Mediante este protocolo podemos realizar consultas a equipos ubicados remotamente sobre parámetros u objetos propios del protocolo. Para realizar estas consultas es necesario tener configurados los dispositivos que se gestionarán con un agente SNMP, el cual entienda el protocolo y pueda responder a las consultas de la estación de gestión de red.

7.3.1.1 Protocolo SNMP

Es un protocolo de la capa de aplicación que posibilita el intercambio de información entre dispositivos de una red. Permite por lo tanto a los administradores supervisar el funcionamiento, planificar el crecimiento, al igual que mitigar y resolver problemas inherentes a la red.

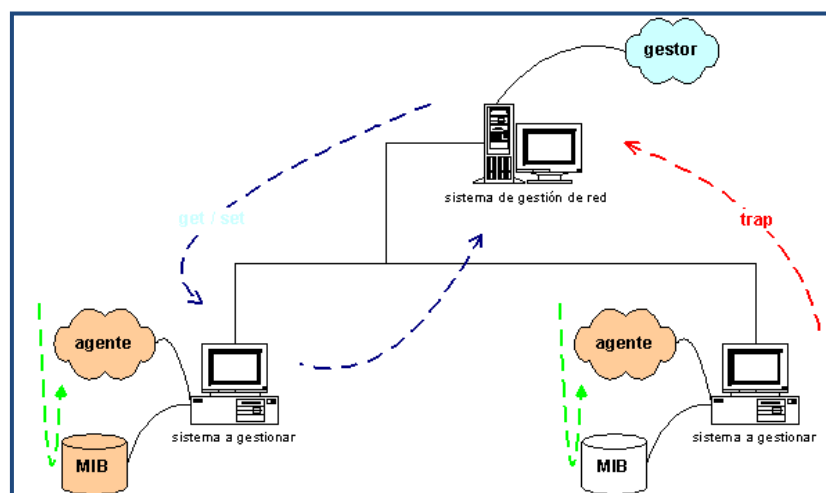


Figura 7.4: Esquema SNMP

La arquitectura SNMP está formada por un agente que se instala en la máquina que se desea monitorizar y un sistema de administración encargado de interactuar con los agentes. Por consiguiente, este protocolo tiene una arquitectura cliente servidor distribuida. El principio de funcionamiento reside por lo tanto, en el intercambio de información de gestión entre nodos gestores y nodos gestionados.

Habitualmente, los agentes mantienen en cada dispositivo gestionado información acerca de su estado y su configuración, donde el gestor pide al agente vía SNMP que realice determinadas operaciones con estos datos de gestión, gracias a las cuales podrá conocer el estado del recurso y podrá influir en su comportamiento.

- La parte servidora de SNMP consiste en un software gestor, responsable del sondeo de los agentes SNMP para la obtención de información específica y del envío de peticiones a dichos agentes solicitando la información relativa a un determinado valor de su configuración.
- La parte cliente de SNMP consiste en un software agente y una base de datos con información de gestión o *Management Information Base*, MIB³⁵. Los agentes SNMP reciben peticiones y reportan información a los gestores SNMP para la comunidad a la que pertenecen, siendo una comunidad, un dominio administrativo de agentes y gestores SNMP. Es decir, son los elementos del sistema de gestión ubicados en cada uno de los dispositivos a gestionar e invocados por el gestor de la red.

7.3.1.2 Monitoreo con Mikrotik

Las MIB que soporta el RouterOS de Mikrotik están detalladas en el Cuadro 7.2, donde la primera de ellas, *MikroTik RouterOS OID*, es la propietaria de Mikrotik y buena parte del resto son MIB comúnmente utilizadas.

Management Information Base	MikroTik RouterOS OID: enterprises.14988.1
	RFC1493: <i>Definitions of Managed Objects for Bridges</i>
	RFC2863: <i>The Interfaces Group MIB</i>
	RFC1213: Management Information Base for Network Management of TCP/IP-base internets: MIB-II
	RFC2011: <i>SNMPv2 Management Information Base for the Internet Protocol using SMIV2</i>
	RFC2096: <i>IP Forwarding Table MIB</i>
	RFC2790: <i>Host Resources MIB</i>
	CISCO-AAA-SESSION-MIB

Cuadro 7.2: MIB soportadas por RouterOS

³⁵ Colección de información organizada jerárquicamente que es accedida usando un protocolo de administración de red, como el SNMP. La jerarquía MIB puede ser representada como un árbol de objetos administrados, donde cada uno de ellos tienen su propio identificador.

Es importante mencionar que aunque las variables obtenidas con las MIB soportadas por Mikrotik proporcionan información importante, se requieren otros datos con información referida a los siguientes aspectos [33]:

- Estadísticas de la propagación de paquetes: La información requerida es el retardo mínimo, medio y máximo que presentan los paquetes al transmitirse por interfaces inalámbricas, al igual que la cantidad de paquetes transmitidos correctamente.
- Ancho de banda de cada enlace: La información requerida es el ancho de banda, para ello el RouterOS permite realizar un testeado de ancho de banda tanto en enlaces inalámbricos como cableados.
- Registro de llamadas salientes y recibidas: La información requerida son el origen y destino de las llamadas dentro de la red a través del servidor Asterisk. Esta información es de gran ayuda para el Conocimiento Histórico de la Red, ya que en base a esta información se podrá dimensionar la red optimizando el ancho de banda.

Los requerimientos descritos pueden ser obtenidos con comandos vía consola que el sistema operativo de Mikrotik soporta, tales como el *ping*, *bandwidth test*, etc. Por lo tanto, es usual agrupar en *scripts* todos los comandos requeridos en base a las necesidades de gestión propias de cada red. Así mismo, se generan rutinas que permiten la recolección de los datos en horarios en que no se utilizan los servicios de la red.

Para la aplicación de los *scripts* se deben sincronizar todos los eventos en los enrutadores Mikrotik, para ello se debe configurar el Protocolo de Tiempo de la Red (NTP, por sus siglas en inglés) utilizando servidores de uso público. En el caso de la red TEC Yapacaní será suficiente sincronizar el servidor ubicado en Dirección Distrital como único cliente de los servidores públicos y a su vez, todos los equipos de la red deben sincronizarse con este servidor. Por otro lado, el servidor central de Dirección Distrital debe contar con una aplicación que permita el almacenamiento en una base de datos de la información contenida en los diferentes archivos enviados por las estaciones de la red, de manera que no se sature la capacidad de almacenamiento de las tarjetas.

7.3.2 Diagnóstico de fallos y gestión de las incidencias

El correcto funcionamiento de los equipos que conforman la red es fundamental para asegurar su conservación en el tiempo y el máximo aprovechamiento de éstos por parte de los usuarios que tienen acceso a ellos. En este contexto una incidencia es un evento que no es parte de la operación normal de los servicios y que causa, o podría causar la interrupción o reducción de la calidad de los servicios proporcionados [26].

Un Sistema de Gestión de Incidencias³⁶ (SGI) puede facilitar en gran medida la resolución de todos los fallos de la red. Trabaja mediante *tickets*, que son archivos contenidos en el sistema de seguimiento que tienen información acerca de intervenciones realizadas por personal de soporte técnico o terceros a pedido de un usuario final que ha reportado una incidencia.

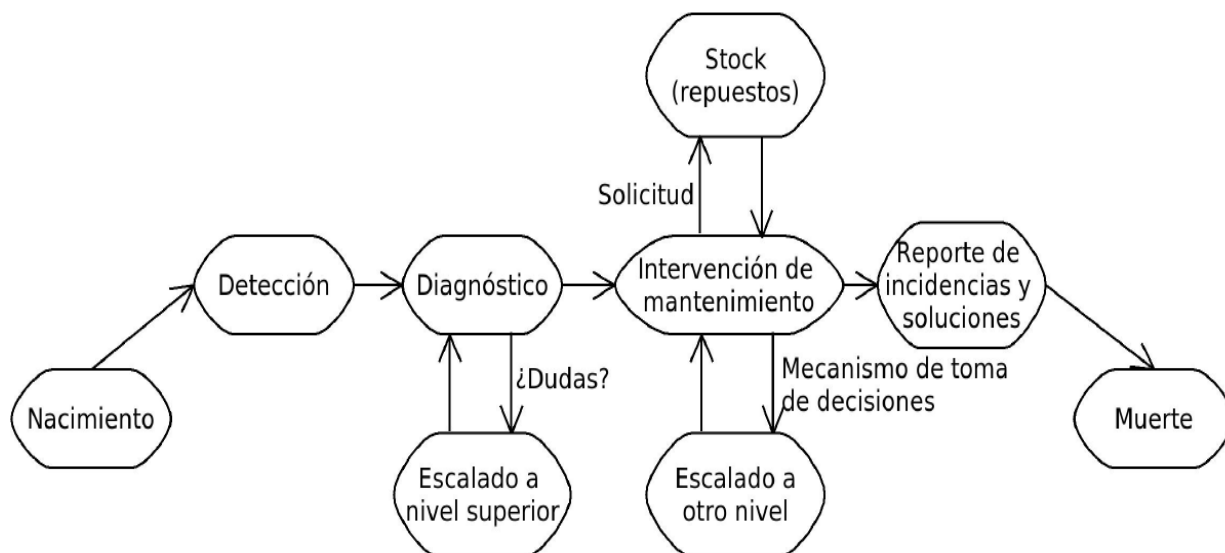


Figura 7.5: Ciclo de vida de una incidencia [10]

Algunas de las funciones que puede llevar a cabo un sistema de *tickets* genérico son [26]:

1. Registro de un evento o *ticket*.
2. Asignación de un propietario o persona responsable.
3. Asignación de un grupo de interés.
4. Seguimiento a cambios en su estado.
5. Comunicación a las partes interesadas de los cambios.
6. Generar actividades basadas en el estado y/o prioridad del *ticket*.
7. Presentación de un informe sobre el estado de uno o más *tickets*.
8. Finalización del evento.

Un SGI permite a los usuarios del sistema dar seguimiento, crear incidencias, editar las existentes o resolverlas en caso necesario. Cada vez que un técnico realiza un cambio, el sistema registra la acción y el responsable de la misma, llevando un histórico de las acciones ejecutadas. Cada técnico puede tener incidencias asignadas, de tal forma que éste es responsable de la incidencia.

³⁶ Paquete de software que administra y mantiene listas de incidencias detectadas por usuarios finales e intermedios de un sistema o red.

Se propone para esta red el uso de la herramienta Request Tracker³⁷ (RT), cuyo uso en la red es recomendable ya que constituye en sí mismo un registro de todas las actividades de mantenimiento, permite la coordinación del trabajo y el escalado de tareas, a la vez que constituye una base de conocimiento sobre problemas, procedimientos y soluciones.

Con el objetivo de facilitar el diagnóstico de la causa real de los fallos, en [10] se detallan una serie de árboles de diagnóstico que indican las comprobaciones rutinarias que se deben realizar para descubrir la causa real que da origen a un problema. Esta documentación establecen protocolos de actuación teniendo en cuenta las experiencias de los usuarios y técnicos, al igual que en base a manuales e informes de actuación elaborados por la Fundación EHAS en sus redes desplegadas en América. Los fallos pueden ser clasificados en 6 categorías:

Telefonía. Problemas asociados al uso de VoIP con Asterisk, como desconexión, falta de alimentación eléctrica o problemas de cableado tanto para el teléfono analógico y el ATA.

Computadora. Problemas asociados al hardware de los equipos informáticos, cableado de conexión o alimentación eléctrica.

Comunicación WiFi: Problemas asociados a las fluctuaciones del nivel de señal recibido generalmente ocasionado por factores climatológicos, desapuntamiento de antenas, falta de memoria en los enrutadores. Además de los problemas ocasionados por conectividad y alimentación eléctrica.

Energía. Problemas asociados con el bloqueo de llaves termomagnéticas o reguladores a causa de rayos, alta resistividad de pozos de puesta a tierra, cableado eléctrico, etc.

Infraestructura. Problemas por los daños ocasionados en vientos y mástiles por la caída de rayos, vientos no tensados, falta de pintura en las torres, etc.

Internet. Problemas asociados a caídas en el acceso a Internet o dificultades de los usuarios con su navegador web, configuración de su correo u otras aplicaciones.

En el caso de la Red TEC Yapacaní al no contar hasta el momento con un SGI que permita evaluar las principales causas de fallos e inconvenientes de la red, se tomará en cuenta toda la problemática descrita para la elaboración de manuales de mantenimiento para el N1 y N2 de la red. Por otro lado, se conocerá la percepción que tienen los usuarios de la red mediante encuestas directas (Anexo D), para ello se aprovecharán las reuniones mensuales de los profesores del Municipio en la Dirección Distrital de Educación, en las cuales se realiza seguimiento a la malla curricular y se evalúan los procesos educativos en general.

³⁷ Software *Open Source*, por lo que puede extenderse y modificarse según las necesidades.

7.3.3 Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo define los procedimientos necesarios para prevenir la aparición de problemas que afecten la operación normal de la red. Las actividades correspondientes a este proceso deben ser definidas en un protocolo de actuación para los niveles de mantenimiento.

La experiencia en redes de este tipo indica que no basta con disponer del recurso humano capacitado y el financiamiento suficiente, sino que es necesario asimilar dentro de la organización o comunidad los procesos y actividades referidas al mantenimiento [26]. Todas las partes involucradas deben conocer con claridad las condiciones, plazos, recursos y vías de comunicación establecidas para cada actividad del mantenimiento. De este modo resulta interesante un diseño participativo de los protocolos de actuación, para conocer las necesidades de las intervenciones y para que se puedan compatibilizar las tareas de mantenimiento con las actividades del personal.

7.3.3.1 Mantenimiento realizado por usuarios

Las tareas de mantenimiento preventivo a realizar por parte de N0-N1 son sencillas, aunque requieren de un mayor grado de periodicidad. Las principales recomendaciones en este aspecto son que el ambiente donde estén instalados los equipos debe permanecer en adecuadas condiciones, libre de posibles daños por efectos ambientales o manipulación indebida, además con una frecuente limpieza exterior del equipamiento.

Subsistema de la red	Actividad	Descripción	Duración [h]	Periodicidad
Telecomunicación	Verificación de equipo radio	Inspección visual de enrutadores y cableado RF	0,3	Semanal
Energía	Verificación del estado del regulador*	Observación de luces indicadoras del regulador	0,02	Diario
	Mantenimiento de baterías*	Revisión del nivel de agua	0,2	Semanal
		Corrección del nivel de agua	0,4	Semanal
	Verificación de UPS	Inspección visual de indicadores	0,02	Semanal
Protección Eléctrica	Mantenimiento de paneles solares*	Inspección y limpieza de paneles solares	2	Bimestral
	Verificación de pararrayos	Inspección visual del pararrayos y cable de bajada	0,02	Semanal
	Mantenimiento del SPAT	Inspección visual de la soldadura de aislamiento	0,02	Semanal
Vertido de agua a pozos PAT		0,2	Mensual	
Infraestructura	Limpieza del telecentro	Limpieza de equipos y ambiente de trabajo	1	Semanal
	Verificación de balizaje	Inspección visual nocturna del estado de la baliza	0,02	Semanal
	Verificación de torre o mástil	Inspección visual de la estructura de la torre o mástil	0,04	Semanal
Informático	Mantenimiento de ordenadores	Liberación de espacio en disco, configuración de antivirus, instalación de programas.	1	Mensual

Cuadro 7.3: Actividades de mantenimiento preventivo para N0 y N1

* Actividades de mantenimiento del sistema fotovoltaico, por lo que son exclusivas para estaciones de la Red Troncal.

El Cuadro 7.3 describe las actividades que deben realizar N0 y N1 dependiendo el subsistema de la red en el que se realice el mantenimiento. Se asigna además una duración aproximada para el desempeño de cada actividad y su periodicidad.

7.3.3.2 Mantenimiento realizado por personal técnico

Las tareas de mantenimiento preventivo a realizar por parte de N2 son más específicas y revisten mayor complejidad. Estas actividades se realizarán de manera cuatrimestral tomando en cuenta que pueden ser combinadas con tareas de mantenimiento correctivo reportadas y planificadas antes de la intervención.

El Cuadro 7.4, 7.5, 7.6 y 7.7 describe las actividades que debe realizar N2 dependiendo el subsistema de la red en el que se realice el mantenimiento. También se asigna una duración aproximada para el desempeño de cada actividad y su periodicidad.

Actividad	Descripción	Duración [h]	Periodicidad
Mantenimiento de baterías	Medición de voltaje en bornes	0,2	Cuatrimestral
	Comprobación y llenado de nivel de líquido	0,5	Cuatrimestral
	Comprobación y engrase de bornes	0,2	Cuatrimestral
	Limpieza de batería	1	Cuatrimestral
Mantenimiento de regulador de tensión	Comprobación de conexiones y conectores	0,5	Cuatrimestral
	Comprobación de tornillos	0,2	Cuatrimestral
	Comprobación de tipo de batería	0,2	Cuatrimestral
	Medición de voltajes (panel, batería, carga)	0,2	Cuatrimestral
Mantenimiento de paneles solares	Comprobación de la estructura	0,2	Cuatrimestral
	Comprobación de pernos	0,5	Cuatrimestral
	Comprobación de estado, ángulo de inclinación y obstrucciones	0,2	Cuatrimestral
	Comprobación de prensa estopas y pernos	0,2	Cuatrimestral
	Revisión de cableado de energía	0,5	Cuatrimestral
	Medición de voltaje en circuito abierto	0,2	Cuatrimestral
Mantenimiento de UPS	Medición de volteje entregado a la carga	0,2	Cuatrimestral
	Revisión de cableado de energía	0,2	Cuatrimestral

Cuadro 7.4: Actividades de mantenimiento preventivo para N2 correspondiente al Subsistema de Energía

Actividad	Descripción	Duración [h]	Periodicidad
Verificación de sistema radiante	Comprobación de apuntamiento de antenas	1	Cuatrimstral
	Verificación de cableado y conectores	0,4	Cuatrimstral
	Medición de potencia y limpieza de antenas	1	Bienal
Reemplazo de sistema radiante	Reemplazo programado de cable coaxial	4	Quinquenal
	Reemplazo programado de antena	4	Quinquenal
Verificación de enrutadores	Comprobación de estado, cable de alimentación y conectores RJ45	1	Cuatrimstral
	Comprobación de cable coaxial y conectores	0,5	Cuatrimstral
	Comprobación de tarjetas inalámbricas y <i>pigtails</i>	0,5	Cuatrimstral
Verificación del ATA	Comprobación de estado, fuente y cable de alimentación	0,2	Cuatrimstral
	Comprobación de cables y conectores RJ11 y RJ45	0,1	Cuatrimstral
	Comprobación de configuración	0,25	Cuatrimstral
Verificación del teléfono	Comprobación del estado y conector RJ11	0,2	Cuatrimstral

Cuadro 7.5: Actividades de mantenimiento preventivo para N2 correspondiente al Subsistema de Telecomunicación

Actividad	Descripción	Duración [h]	Periodicidad
Mantenimiento del Sistema de Puesta a Tierra	Comprobación de estado y tipo de terreno	0,1	Cuatrimstral
	Medición de pozo de aterramiento	0,25	Cuatrimstral
	Comprobación protectores de línea	0,25	Cuatrimstral
	Verificación del conexionado del aterramiento al aterramiento de la torre	0,2	Cuatrimstral
Reemplazo de PAT	Reactivación de pozos PAT	10	Quinquenal
Mantenimiento del Sistema de Pararrayos	Comprobación del estado del pararrayos	0,5	Cuatrimstral
	Comprobación del aterrado en tramos de torre	0,5	Cuatrimstral
	Verificación de la bajante del pararrayos	0,5	Cuatrimstral
	Comprobación de estado y evaluación de deterioro del pararrayos y sus puntas	0,4	Cuatrimstral

Cuadro 7.6: Actividades de mantenimiento preventivo para N2 correspondiente al Subsistema de Protección Eléctrica

Actividad	Descripción	Duración [h]	Periodicidad
Mantenimiento de la estructura	Mantenimiento de vientos y ferretería de la torre	2	Cuatrimstral
	Pintado de la estructura metálica	5	Quinquenal
Verificación de caja de distribución	Comprobación de estado, borneras y conexión PAT	0,1	Cuatrimstral
	Limpieza de equipos de transmisión y cableado en general.	0,3	Cuatrimstral
Verificación de luminarias	Comprobación de estado e interruptores	0,2	Cuatrimstral

Cuadro 7.7: Actividades de mantenimiento preventivo para N2 correspondiente al Subsistema de Infraestructura

Cabe resaltar que en los cuadros anteriores se ha incluido el conjunto de actividades de mantenimiento preventivo a realizar por el personal técnico de la red, sin diferenciar el tipo de estación en la que se efectúe un determinado mantenimiento, de modo que existirán actividades que no apliquen para estaciones cliente. Por otro lado, existen actividades que N2 debe realizar para comprobar la óptima operación de la red y sus servicios, como puede ser la verificación de la operatividad de la red mediante comandos *pings* a todos los enrutadores de la red o la prueba de operatividad del servicio de telefonía mediante llamadas puntuales.

Es importante llevar un cronograma que respalde las actividades de mantenimiento preventivo por cada emplazamiento de la red, en el que se pueda realizar un seguimiento a las actividades inherentes a cada subsistema, su periodicidad y pueda llevar un control sobre tareas no efectuadas con anterioridad.

7.3.3.3 Planificación del mantenimiento preventivo

La realización de las actividades del mantenimiento preventivo descrito debe ser planificada para contar con 3 intervenciones anuales por cada emplazamiento de la red. Debe existir coordinación entre N1 y N2 para el cumplimiento de la planificación mostrada en el Cuadro 7.6, en el que se ha optimizado el desplazamiento del personal técnico según las distancias entre la ubicación de los Telecentros y Yapacaní, lugar de residencia del Responsable de la Red y el Técnico de Telecomunicaciones (N2).

El trabajo en altura implica mayor tiempo en la realización del mantenimiento de infraestructura, ya que además de considerar las actividades mencionadas se deben considerar los tiempos de ascenso y descenso de las torres, es por esto que en las estaciones con estructuras metálicas de más de 20 metros se considera 1 día para la realización del mantenimiento, mientras que se puede realizar el mantenimiento de 2 estaciones que no dispongan de esta estructura por día según la distancia entre ellas. Al ser la estación más grande e importante de la red, Dirección Distrital tiene asignado un día y medio para su mantenimiento.

Equipo	Días															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
N1 Dirección Distrital	■	■														
N1 UE 25 de Mayo		■														
N1 UE El Carmen			■													
N1 UE Simón Bolívar			■													
N1 Instituto INTY				■												
N1 UE Heroínas				■												
N1 UE Niño Jesús					■											
N1 CEPAC					■											
N1 UE Alianza Norte						■										
N1 UE Nacional Bolivia						■										
N1 UE Campo Vibora							■									
N1 UE Palmar Norte								■								
N1 UE Puerto Choré								■								
N1 UE 15 de Agosto									■							
N1 UE Los Pozos										■						
N1 UE Alta Vista										■						
N1 UE Mariscal Sucre											■					
N1 ITCIO												■				
N1 UE Bolívar													■			
N1 UE Nuevo Horizonte														■		
N1 UE San Germán															■	
N1 UE Santa Cruz																■
N1 UE Puerto Grether																■
N1 UE Bulo Bulo																■
N2	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Figura 7.6: Planificación del mantenimiento preventivo por cada TEC

De esta manera, en 16 días naturales se podría completar el mantenimiento preventivo en la totalidad de estaciones de la red. En [34] se detallan las tareas específicas para cada actividad del mantenimiento preventivo efectuado, tanto por los usuarios como por el personal técnico, dependiendo del subsistema de la red.

7.3.4 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo atiende y brinda solución a los fallos de la red, por lo que reviste especial importancia el tiempo de respuesta ante fallos dependiendo de la complejidad del problema identificado o reportado. El mantenimiento correctivo se aplica tras la detección y diagnóstico de un fallo, mediante el reporte de incidencias. Como cada intervención de mantenimiento correctivo tiene un coste asociado se pretende minimizar el número de intervenciones de este tipo ya sea potenciando las actividades que puedan realizarse remotamente o bien con la intervención sólo de N1. Tras la detección de un fallo y la apertura de una incidencia, el equipo de mantenimiento deberá determinar el diagnóstico de la causa real del fallo y proceder a las actividades para su solución. Como se ha indicado en la Sección 7.3.2, en [10] se presentan diferentes árboles de diagnóstico y resolución de fallos para una red WiFi.

El Cuadro 7.8 describe las actividades que pueden ser realizadas de manera remota, mientras que el Cuadro 7.9 identifica actividades que requieren de una intervención presencial.

Actividad	Duración [h]
Reinstalación de S.O. y configuración en CF	3
Reconfiguración de ATA	1,5
Instalación de una aplicación en PC	1
Reinstalación de S.O. en PC	3
<i>Backup</i> de PC	3

Cuadro 7.8: Actividades de mantenimiento correctivo por software [10]

Actividad	Duración [h]
Cambio de ubicación de escritorio y equipos	10
Corrección de instalación eléctrica	4
Corrección de vientos	3
Desmontaje de torre	30
Drenaje de antena y cambio de vulcanizante	2
Instalación de CPU o componente reparado	2
Montaje de antena	2
Nivelación de agua de baterías	0,3
Reconexión de cable coaxial	3
Reemplazo de antena	3
Reemplazo de baterías	1
Reemplazo de cable coaxial	3
Reemplazo de conector en cable coaxial	3
Reemplazo de cable desnudo para SPAT	1,5
Reemplazo de cables o conectores de energía	1
Reemplazo de disco duro	1
Reemplazo de inversor	0,5
Reemplazo de monitor	0,5
Reemplazo de mouse	0,3
Reemplazo de unidad CD/DVD	0,5
Reemplazo de protector de línea	0,5
Reemplazo de regulador	1
Reemplazo o mantenimiento de ferretería	1
Reparación de CPU en sitio	3
Retiro de CPU con avería	0,5

Cuadro 7.9: Actividades de mantenimiento correctivo por hardware [10]

Si bien las fallas tienen un carácter aleatorio, la experiencia permite prever la ocurrencia de algunas circunstancias que, a su vez, deriven en la aparición de averías en la red, así como detectar en forma rápida y certera el origen de las mismas [34]. En este sentido, se ha comentado

que el tiempo de respuesta entre fallos es uno de los parámetros más importantes del mantenimiento correctivo, por lo que en base a la experiencia generada en redes rurales de este tipo la simplificación de este proceso se puede conseguir gracias a un stock de repuestos que permita una rápida reposición de los equipos o tarjetas con problemas.

En [34] se detallan las tareas específicas para cada actividad del mantenimiento correctivo a efectuar por los diferentes niveles de mantenimiento planteados y dependiendo del subsistema de la red. De manera general, el mantenimiento correctivo sigue la siguiente secuencia:

1. Reporte y detección de averías: Los fallos críticos que pueden implicar suspensión de los servicios pueden ser detectados desde la gestión efectuada por N2, mientras que los fallos menores deben ser reportados por el N1 de cada TEC.
2. Atención de averías: En caso de que se requiera la intervención de N2 y N3 se debe programar la visita previo diagnóstico de la falla. Podrá llevarse algún equipo o componente para pruebas y recambio de unidades, además se deberá disponer de las herramientas o materiales específicos en caso de requerirse; igualmente se debe generar un registro de la intervención.

Capítulo 8

Detalle de la red y Presupuesto

En este capítulo se describirá el detalle de la configuración final y equipamiento de las estaciones de la red. Seguidamente se realiza el desglose del presupuesto económico para la puesta en marcha del proyecto.

8.1 Detalle de la red

A continuación se describen las especificaciones de todas las estaciones contempladas en la Fase 2 de la red, para lo que se detalla sus parámetros radio, las direcciones IP, antenas, alimentación eléctrica, sus sistemas de protección eléctrica e infraestructura.

Sistema de alimentación	Sistema fotovoltaico (12 V, 1.200 W-H)	
Altura	Torre ventada - 30 m	
Protección Eléctrica	Sistema de pararrayos + PAT	

Enrutador 1	Mikrotik RB 433AH		
Tarjetas inalámbricas	1		
1	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC05
		Canal	165
		Modo	Cliente
		Punto de acceso	Campo Víbora
		Dirección IP	10.10.6.2/28
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
		Antena	Directiva 27 dBi HG4958-27EG
2	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC13
		Canal	161
		Modo	Access Point
		Cliente	2 Telecentros
		Dirección IP	10.20.7.1/28
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
		Antena	Sectorial 90° HG5817P-090

Cuadro 8.1: Especificaciones nodo troncal 15 de Agosto

Sistema de alimentación	Red de energía eléctrica + UPS		
Altura	Mástil 5 m		
Protección Eléctrica	PAT		
Enrutador 1	Mikrotik RB 433		
Tarjetas inalámbricas	1		
1	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC13
		Canal	161
		Modo	Cliente
		Punto de acceso	15 de Agosto
		Dirección IP	10.20.7.2/24
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
		Antena	Directiva 27 dBi HG4958-27EG

Cuadro 8.2: Especificaciones nodo UE Alta Vista

Sistema de alimentación	Sistema fotovoltaico (12 V, 1.200 W-H)
Altura	Torre ventada - 30 m
Protección Eléctrica	Sistema de pararrayos + PAT

Enrutador 1	Mikrotik RB 433AH		
Tarjetas inalámbricas	2		
1	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC05
		Canal	165
		Modo	Access Point
		Cliente	15 de Agosto
		Dirección IP	10.10.6.1/28
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
		Antena	Directiva 27 dBi HG4958-27EG
2	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC12
		Canal	157
		Modo	Access Point
		Cliente	2 Telecentros
		Dirección IP	10.20.6.1/28
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
		Antena	Omnidireccional 12 dBi HG5812U

Enrutador 2	Mikrotik RB 433AH		
Tarjetas inalámbricas	1		
1	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC04
		Canal	153
		Modo	Cliente
		Punto de Acceso	Santa Cruz
		Dirección IP	10.10.4.2/28
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
		Antena	Directiva 27 dBi HG4958-27EG

Cuadro 8.3: Especificaciones nodo troncal Campo Víbora

Sistema de alimentación	Sistema fotovoltaico (12 V, 1.200 W-H)
Altura	Torre ventada - 30 m
Protección Eléctrica	Sistema de pararrayos + PAT

Enrutador 1	Mikrotik RB 433AH		
Tarjetas inalámbricas	1		
1	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC04
		Canal	153
		Modo	Access Point
		Cliente	Campo Víbora
		Dirección IP	10.10.4.1/28
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
		Antena	Directiva 27 dBi HG4958-27EG

Enrutador 1	Mikrotik RB 433AH		
Tarjetas inalámbricas	2		
1	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC03
		Canal	165
		Modo	Cliente
		Punto de Acceso	San Germán
		Dirección IP	10.10.3.2/28
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
		Antena	Directiva 27 dBi HG4958-27EG
2	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC06
		Canal	149
		Modo	Cliente
		Punto de Acceso	Puerto Grether
		Dirección IP	10.20.5.2/28
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
		Antena	Directiva 27 dBi HG4958-27EG

Cuadro 8.4: Especificaciones nodo troncal Santa Cruz

Sistema de alimentación	Red de energía eléctrica + UPS
Altura	Mástil 5 m
Protección Eléctrica	PAT

Enrutador 1	Mikrotik RB 433		
Tarjetas inalámbricas	1		
1	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC11
		Canal	161
		Modo	Cliente
		Punto de acceso	Puerto Grether
		Dirección IP	10.20.5.2/24
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
		Antena	Directiva 19 dBi HG5819P

Cuadro 8.5: Especificaciones nodo UE Bulu Bulu

Sistema de alimentación	Sistema fotovoltaico (12 V, 1.200 W-H)		
Altura	Torre ventada - 18 m		
Protección Eléctrica	Sistema de pararrayos + PAT		
Enrutador 1	Mikrotik RB 433AH		
Tarjetas inalámbricas	1		
1	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC06
		Canal	149
		Modo	Access Point
		Cliente	Santa Cruz
		Dirección IP	10.10.5.1/28
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
		Antena	Directiva 27 dBi HG4958-27EG
2	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC11
		Canal	161
		Modo	Access Point
		Cliente	UE Buló Buló
		Dirección IP	10.20.5.1/28
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
		Antena	Directiva 19 dBi HG5819P

Cuadro 8.6: Especificaciones nodo troncal Puerto Grether

Sistema de alimentación	Sistema fotovoltaico (12 V, 1.200 W-H)		
Altura	Torre ventada - 18 m		
Protección Eléctrica	Sistema de pararrayos + PAT		
Enrutador 1	Mikrotik RB 433AH		
Tarjetas inalámbricas	2		
1	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC03
		Canal	165
		Modo	Access Point
		Cliente	Santa Cruz
		Dirección IP	10.10.3.1/28
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
		Antena	Directiva 27 dBi HG4958-27EG
2	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC10
		Canal	157
		Modo	Access Point
		Cliente	UE Nuevo Horizonte
		Dirección IP	10.20.3.1/28
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
		Antena	Directiva 19 dBi HG5819P

Enrutador 2		Mikrotik RB 433AH	
Tarjetas inalámbricas		1	
1	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC02
		Canal	153
		Modo	Cliente
		Punto de Acceso	Mariscal Sucre
		Dirección IP	10.10.2.2/28
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
		Antena	Directiva 27 dBi HG4958-27EG

Cuadro 8.7: Especificaciones nodo troncal San Germán

Sistema de alimentación	Sistema fotovoltaico (12 V, 1.200 W-H)
Altura	Torre ventada - 24 m
Protección Eléctrica	Sistema de pararrayos + PAT

Enrutador 1		Mikrotik RB 433AH	
Tarjetas inalámbricas		2	
1	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC02
		Canal	153
		Modo	Access Point
		Cliente	San Germán
		Dirección IP	10.10.2.1/28
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
		Antena	Directiva 27 dBi HG4958-27EG
2	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC09
		Canal	161
		Modo	Access Point
		Cliente	2 Telecentros
		Dirección IP	10.20.2.1/28
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
		Antena	Sectorial 90° HG5817P-090

Enrutador 2		Mikrotik RB 433AH	
Tarjetas inalámbricas		1	
1	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC01
		Canal	165
		Modo	Cliente
		Punto de Acceso	Dirección Distrital
		Dirección IP	10.10.1.2/28
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
		Antena	Directiva 27 dBi HG4958-27EG

Cuadro 8.8: Especificaciones nodo troncal Mariscal Sucre

Sistema de alimentación	Red de energía eléctrica + UPS
Altura	Mástil 5 m
Protección Eléctrica	PAT

Enrutador 1	Mikrotik RB 433		
Tarjetas inalámbricas	1		
1	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC10
		Canal	157
		Modo	Cliente
		Punto de acceso	San Germán
		Dirección IP	10.20.3.2/24
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
Antena	Directiva 19 dBi HG5819P		

Cuadro 8.9: Especificaciones nodo UE Nuevo Horizonte

Sistema de alimentación	Red de energía eléctrica + UPS
Altura	Torre ventada - 30 m
Protección Eléctrica	Sistema de pararrayos + PAT

Enrutador 1	Mikrotik RB 433AH		
Tarjetas inalámbricas	3		
1	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC01
		Canal	165
		Modo	Access Point
		Cliente	Mariscal Sucre
		Dirección IP	10.10.1.1/28
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
Antena	Directiva 27 dBi HG4958-27EG		
2	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC08
		Canal	149
		Modo	Access Point
		Cliente	7 Telecentros
		Dirección IP	10.20.0.1/28
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
Antena	Omnidireccional 12 dBi HG5812U		
3	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC07
		Canal	157
		Modo	Access Point
		Cliente	2 Telecentros
		Dirección IP	10.20.0.1/28
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
Antena	Sectorial 90° HG5817P-090		

Cuadro 8.10: Especificaciones nodo troncal Dirección Distrital

Sistema de alimentación	Red de energía eléctrica + UPS
Altura	Torre ventada - 24 m
Protección Eléctrica	Sistema de pararrayos + PAT

Enrutador 1	Mikrotik RB 433		
Tarjetas inalámbricas	1		
1	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC09
		Canal	161
		Modo	Cliente
		Punto de acceso	Mariscal Sucre
		Dirección IP	10.20.2.2/24
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
		Antena	Directiva 27 dBi HG4958-27EG

Cuadro 8.11: Especificaciones nodo UE Nuevo Horizonte

Sistema de alimentación	Red de energía eléctrica + UPS
Altura	Mástil 5 m
Protección Eléctrica	PAT

Enrutador 1	Mikrotik RB 433		
Tarjetas inalámbricas	1		
1	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC09
		Canal	161
		Modo	Cliente
		Punto de acceso	Mariscal Sucre
		Dirección IP	10.20.2.3/24
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
		Antena	Directiva 19 dBi HG5819P

Cuadro 8.12: Especificaciones nodo UE Bolívar

Sistema de alimentación	Red de energía eléctrica + UPS
Altura	Mástil 5 m
Protección Eléctrica	PAT

Enrutador 1	Mikrotik RB 433		
Tarjetas inalámbricas	1		
1	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC07
		Canal	157
		Modo	Cliente
		Punto de acceso	Dirección Distrital
		Dirección IP	10.20.1.3/24
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
		Antena	Directiva 19 dBi HG5819P

Cuadro 8.13: Especificaciones nodo UE Nacional Bolivia

Sistema de alimentación	Red de energía eléctrica + UPS		
Altura	Mástil 5 m		
Protección Eléctrica	PAT		
Enrutador 1	Mikrotik RB 433		
Tarjetas inalámbricas	1		
1	Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H MiniPCI	Estándar	802.11a
		SSID	TEC07
		Canal	157
		Modo	Cliente
		Punto de acceso	Dirección Distrital
		Dirección IP	10.20.1.2/24
		Velocidad máxima	18 Mbps
		Nstreme	Activado
		Antena	Directiva 19 dBi HG5819P

Cuadro 8.14: Especificaciones nodo UE Alianza Norte

8.2 Presupuesto de la red

Para estimar los costos asociados a la implementación del proyecto se han considerado además de los costos de la adquisición del equipamiento, los costos de logística para la instalación. Para facilitar identificación del equipamiento para cada estación se ha clasificado a las estaciones según los equipos y materiales utilizados en sus respectivos subsistemas. De esta manera la red contará con 2 tipos de estaciones, descritas en la Sección 6.2, donde cada una de ellas tendrá 5 subsistemas comunes pero con diferente equipamiento: Telecomunicaciones, Energía, Infraestructura, Protección Eléctrica y el Informático.

Por ello, primeramente se establece el presupuesto para la adquisición del equipamiento (Cuadro 8.16) para las estaciones de la Fase 2 del Proyecto. Se tendrá en cuenta en este presupuesto el equipamiento existente en el caso de las estaciones de la fase inicial (Dirección Distrital, Campo Víbora y 15 de Agosto) para los cambios generados por la nueva configuración de la red.

ID	Estación
A	Dirección Distrital
B	Campo Víbora
C	15 de Agosto
D	Mariscal Sucre
E	San Germán
F	Santa Cruz
G	Puerto Grether
H	UE Alianza Norte
I	UE Nacional Bolivia
J	UE Bolívar
K	ITCIO
L	UE Nuevo Horizonte
M	UE Alta Vista
N	UE Bulu Bulu

Cuadro 8.15: Identificación de estaciones para cuadro del presupuesto

Items	Estación														Total Unds.	Unidad (USD)	Total (USD)	Ámbito de la compra
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N				
SUBSISTEMA DE TELECOMUNICACIONES																		
Mikrotik RB 433AH + Fuente	1	2	1	2	2	3	1	0	0	0	0	0	0	0	12	280	3360	Local
Mikrotik RB 433 + Fuente	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	10	185	1850	Local
Tarjeta inalámbrica Mikrotik R52H	2	2	1	3	3	3	2	1	1	1	1	1	1	1	23	90	2070	Local
Pigtail MMCX - N Hembra	2	2	1	3	3	3	2	1	1	1	1	1	1	1	23	22	506	Local
Placa PC Engines Alix 2c2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	7	380	2660	Importación
Cable coaxial LMR-600	2	2	1	3	3	3	2	1	1	1	1	1	1	1	23	35	805	Local
Antena directiva HG4958-27EG	1	2	1	2	2	3	1	0	0	0	1	0	1	0	14	145	2030	Local
Antena directiva HG5819P	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	7	120	840	Local
Antena omnidireccional HG5812U-PRO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	155	0	Local
Antena sectorial HG5817P-090	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	225	675	Local
Caja metálica para equipos radio	-	-	-	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	14	80	1120	Local
Protector de línea 5,8 GHz cuarto de onda	-	-	-	3	3	3	2	0	0	0	1	0	0	0	12	70	840	Importación
ATA Lynksis SPA3102	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14	75	1050	Local
Teléfono Panasonic KX-TS500	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14	25	350	Local
SUBSISTEMA INFORMÁTICO																		
PC + monitor	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	850	9350	Local
Impresora	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	220	2420	Local
Mueble para computadora	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	100	1100	Local
SUBSISTEMA DE INFRAESTRUCTURA																		
Torre ventada de 30 m + ferretería	-	-	-	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2450	2450	Local
Torre ventada de 24 m + ferretería	-	-	-	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	1950	3900	Local
Torre ventada de 18 m + ferretería	-	-	-	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1500	3000	Local
Mástil de 5 m con platina soldada	-	-	-	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	6	250	1500	Local
Platinas para adosar caja de equipos en la torre	-	-	-	2	2	2	1	0	0	0	1	0	0	0	8	70	560	Local
Cúpula para luminaria de baliza de 12 Vdc	-	-	-	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	80	80	Local
SUBSISTEMA DE PROTECCIÓN ELÉCTRICA																		
Sistema de pararrayos + SPAT para torre de 30m	-	-	-	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1500	1500	Local
Sistema de pararrayos + SPAT para torre de 24m	-	-	-	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	1200	2400	Local
Sistema de pararrayos + SPAT para torre de 18m	-	-	-	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1000	2000	Local
Sistema PAT para caseta	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	500	5500	Local
SUBSISTEMA DE ENERGÍA																		
UPS Tripp-Lite 750 VA - 450 W	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	280	3080	Local
Panel solar Yingli 50 Wp	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	8	450	3600	Local
Batería Toyo Solar 12 V-100AH	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	8	260	2080	Local
Regulador BrightSun Power 12 Vdc -20A	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	8	180	1440	Local
Caja metálica para equipos	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	8	110	880	Local
Accesorios de conexión	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	8	25	200	Local
Cable NMT 2x10 AWG conexión de paneles[10m]	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	8	30	240	Local
Cable GPT 8 AWG conexión de baterías[10m]	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	8	18	144	Local
Costo total equipamiento (USD)																	65580	

Cuadro 8.16: Presupuesto para adquisición equipamiento

Es importante destacar que en el cuadro anterior el equipamiento ya existente en las estaciones se ha representado con un (-), por lo que no han sido tomados en cuenta en el cómputo global. Por otro lado, los equipos correspondientes al sistema fotovoltaico están asignados sólo a estaciones troncales de la red, como se ha indicado en el Capítulo 6. También se han considerado los costos de logística y del personal necesario para la instalación de las estructuras y los equipos radio, como se detalla a continuación:

- En los emplazamientos que requieren la instalación de una torre, se deben contemplar los costos del envío de materiales para las obras civiles, la ferretería y demás accesorios para la estructura metálica. Para ello, se debe alquilar un camión para el transporte de los materiales, siendo este costo de 420 USD por estación.
- En los emplazamientos que requieren la instalación de una torre, se debe contemplar el pago de 1 albañil y un ayudante para las obras civiles necesarias para las bases de las torres. Este pago se realiza por jornal, siendo de 87 USD.
- Se requiere personal de instalación para la estructura metálica en las estaciones que necesitan una torre, siendo este dependiente de la altura de la misma (Ver Sección 8.1). Tiene un costo aproximado de 80 USD por día por persona.
- Se debe considerar el transporte del personal de instalación de las torres en los casos que sea necesario, siendo de 220 USD por estación.
- Para todas las estaciones se requieren personal capacitado para la instalación de los equipos radio, antenas, cableado, etc.

Concepto	Coste (USD)
Costo transporte materiales	2100
Costo personal para obras civiles	957
Costo transporte de personal de instalación	1100
Costo personal instalación torres	2400
Costo personal instalación equipos radio	4100
Costo logística compra de equipos	150
Total	10807

Cuadro 8.17: Presupuesto para costo de personal y logística de instalación

Finalmente se puede estimar el costo total del proyecto con la suma de los costos por la adquisición del equipamiento con los costos de personal y logística de la instalación, por lo que este costo es igual a 77.387 USD, como se aprecia en el Cuadro 8.17.

Concepto	Coste (USD)
Costo adquisición de equipos	65580
Costo pago personal	7457
Costo logística de la instalación	3350
Imprevistos	1000
Total	77387

Cuadro 8.18: Presupuesto total del proyecto

Tomando en cuenta el personal involucrado en la instalación de la red, se ha elaborado un cronograma de la instalación para estimar el tiempo en el que se llevaría a cabo la implementación de la red. En la Figura 8.1 se ilustra las actividades necesarias para la implementación de

las estaciones, también se ha tomado en cuenta las actividades para realizar los ajustes en las estaciones de la red existentes para la nueva configuración de la red, en este caso sólo interviene el personal de instalación. Es importante mencionar que la coordinación de toda la instalación estará a cargo del Responsable de la red (N2), quien de igual manera se debe encargar de la compra de los equipos previamente a la contratación del personal para la instalación.

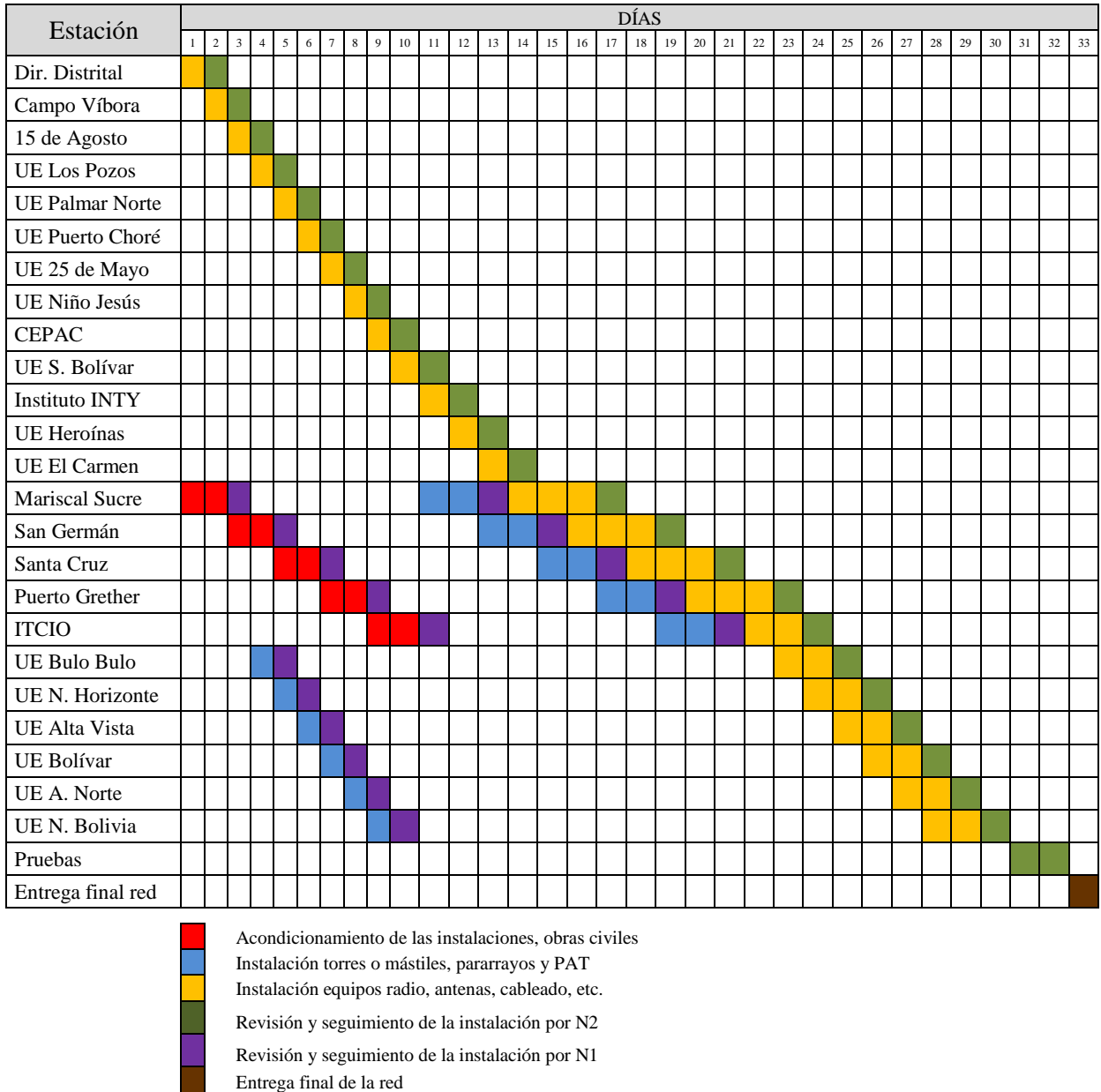


Figura 8.1: Cronograma de la instalación

Parte

IV

CONCLUSIONES

Capítulo 9

Conclusiones

En el presente Proyecto Fin de Máster se ha pretendido realizar una propuesta de mejora para la red TEC Yapacaní, fruto de una fase de estudio de campo en la que principalmente se detectaron las carencias y problemática en general de la red. Aunque dicha red cuenta con apoyo de diferentes organizaciones del Municipio de Yapacaní y de las comunidades que se benefician con los telecentros, no es utilizada como debiera ni se cumplen en su totalidad las necesidades de integrar las TIC a la comunidad. De esta manera se pudo comprobar que a nivel técnico la principal problemática que presenta la red está referida a la conectividad entre los telecentros y a la indisponibilidad del equipamiento, principalmente ocasionado por los largos tiempos de respuesta ante fallos de la red.

Por otro lado, existe un gran interés en el sector educativo de zonas rurales de Bolivia, generado por los buenos resultados obtenidos en términos de rendimiento escolar y aprovechamiento de las TIC para las comunidades. Esta expectativa generada se ve respaldada desde los gobiernos, tanto nacional como departamental y local integrando las tecnologías como un pilar de los procesos educativos. En el caso particular de Yapacaní será responsabilidad de las autoridades replicar el modelo de los TEC a las unidades educativas que no cuentan con telecentros y no pueden acceder a las nuevas tecnologías en las mismas condiciones que los alumnos que abarca el proyecto.

Para la realización de la ampliación de la red se han revisado diversas metodologías para el diseño de redes de telecomunicaciones para zonas aisladas en países en desarrollo, las cuales aunque han sido elaboradas en base al estudio y seguimiento de redes en otros países latinoamericanos son totalmente válidas dado el ámbito del presente PFM (se ha podido constatar que tanto la problemática como las posibles soluciones son comunes). Por otro lado, es importante mencionar que la elaboración e implantación formal de un plan para la gestión del mantenimiento de la red se considera un requisito fundamental para asegurar la máxima disponibilidad del equipamiento y por lo tanto, se pueda garantizar su sostenibilidad.

A modo de resumen, se pueden mencionar los hitos alcanzados en el presente trabajo:

- Se ha realizado una propuesta de diseño para la ampliación de la red TEC Yapacaní, con la que se expande la cobertura de unidades educativas del Municipio que contarán con una plataforma tecnológica digital que apoye los procesos educativos y acerque las TIC a las comunidades.
- Se han conseguido definir y comparar los elementos, características y funcionamiento de los subsistemas que componen una red de telecomunicaciones de bajo coste, utilizando la tecnología WiFi.
- Se ha conseguido conocer y comprender las diversas actividades requeridas para la ejecución del mantenimiento preventivo y correctivo en redes inalámbricas de telecomunicaciones.
- Se ha realizado el dimensionado de la red considerando soluciones que permitan la integración de nuevos emplazamientos sin alterar en demasía el diseño original, como el diseño de la red troncal, el tipo de enrutamiento elegido, la asignación de direcciones IP y la configuración del equipamiento de telefonía.

Es importante recalcar que no disponer de un Sistema de Gestión de Incidencias hace inviable la estimación de un número de intervenciones de mantenimiento en la red, de manera que aplicar un SGI permitirá contar con un conocimiento histórico de la misma, con el que se puedan establecer protocolos de actuación ante eventuales fallas y averías de la red. Esto, a su vez posibilita estimar el stock y los recursos logísticos para las futuras intervenciones.

Finalmente, cabe mencionar que el objetivo trazado en el inicio del presente trabajo se ha cumplido, dado que se presenta una propuesta de mejora de la red TEC Yapacaní descrita, la que por un lado contiene un diseño técnico válido para la adición de las nuevas unidades educativas, mientras que por otro presenta un Plan de Mantenimiento que permite optimizar las actividades necesarias para la operación de la red.

Parte

V

ANEXOS

Anexo A:

Resultados de simulación para enlaces troncales

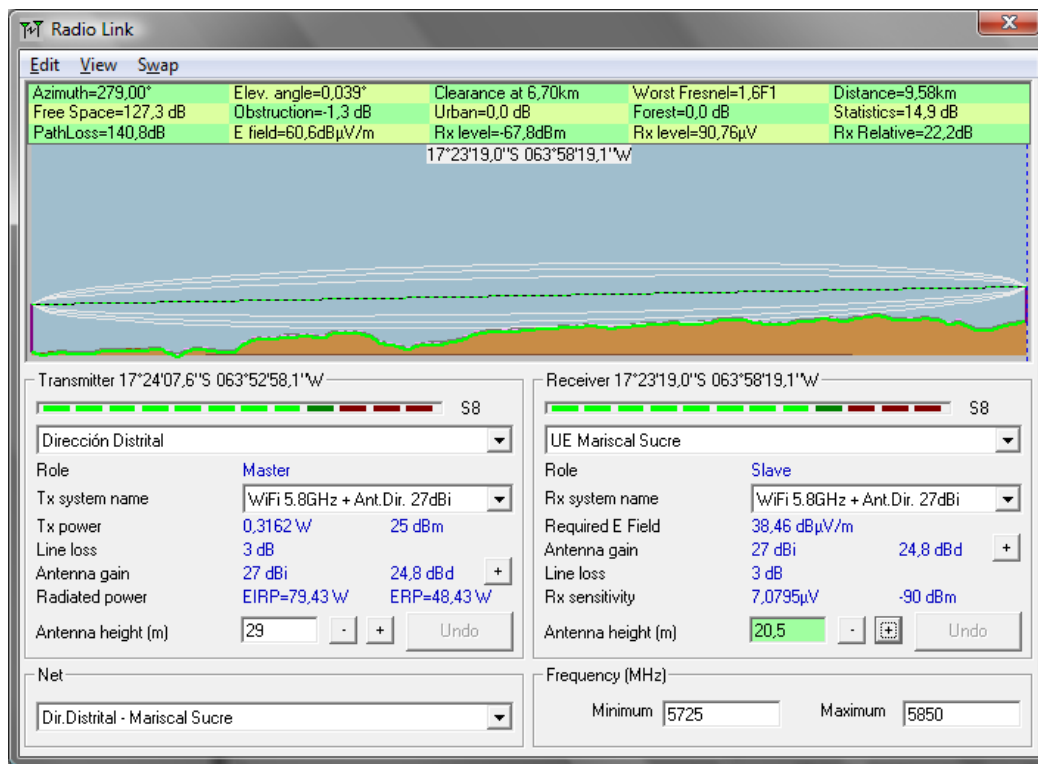


Figura A.1: Enlace Dirección Distrital – Mariscal Sucre

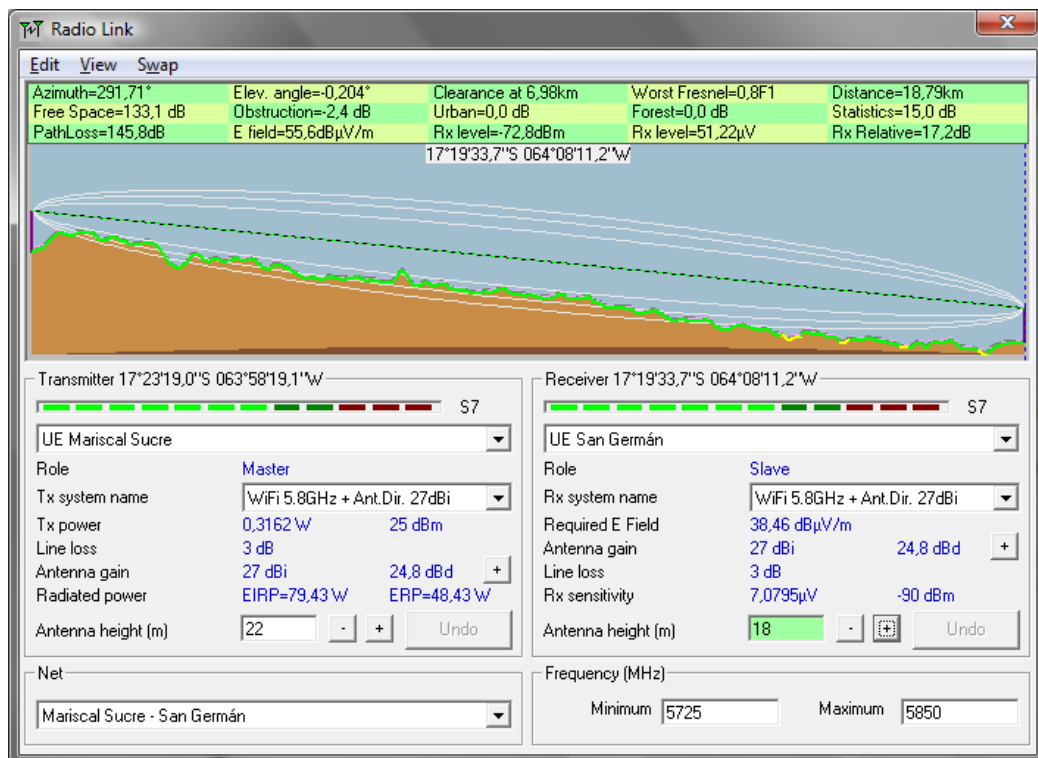
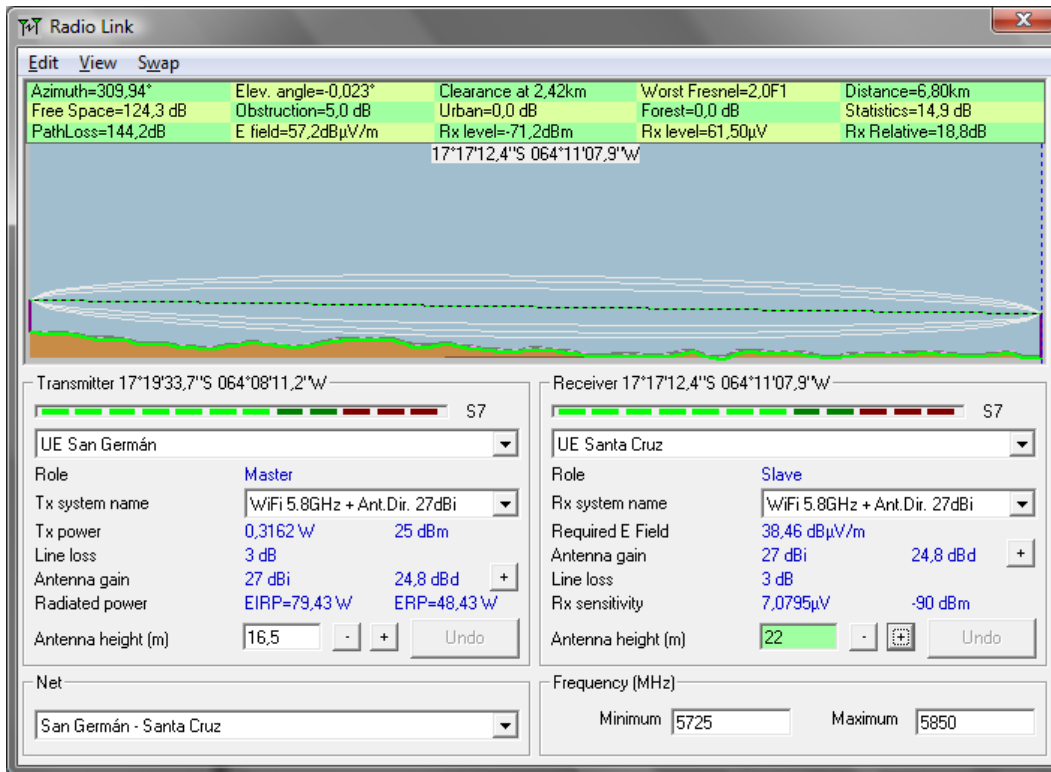
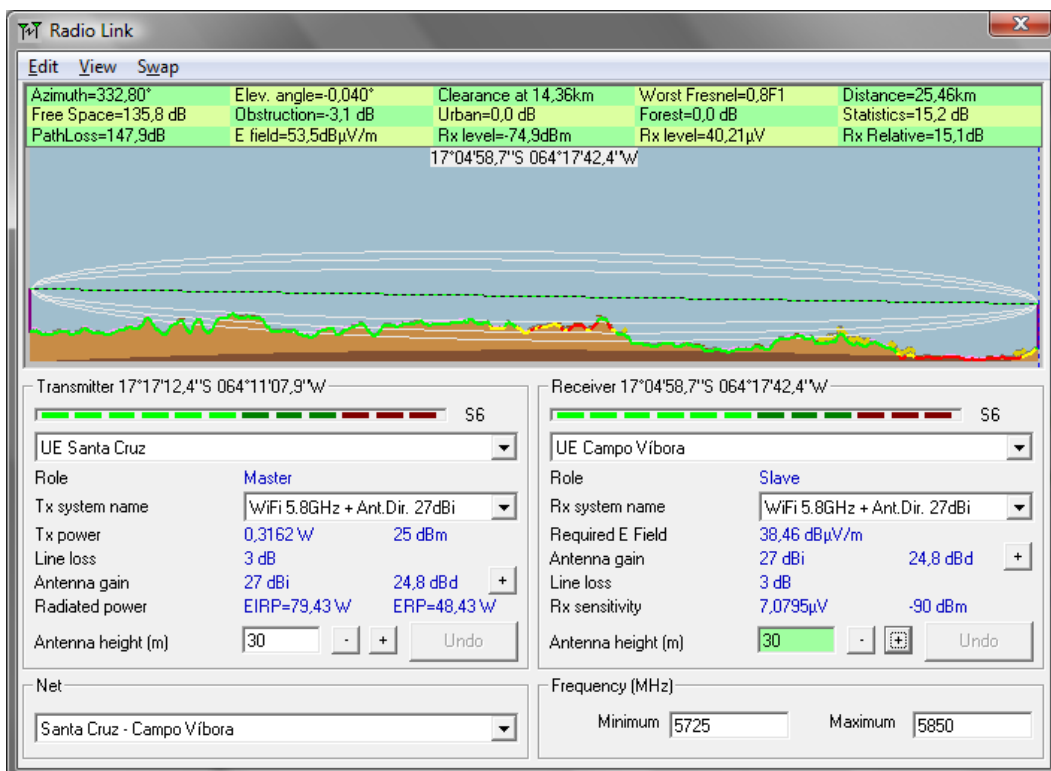


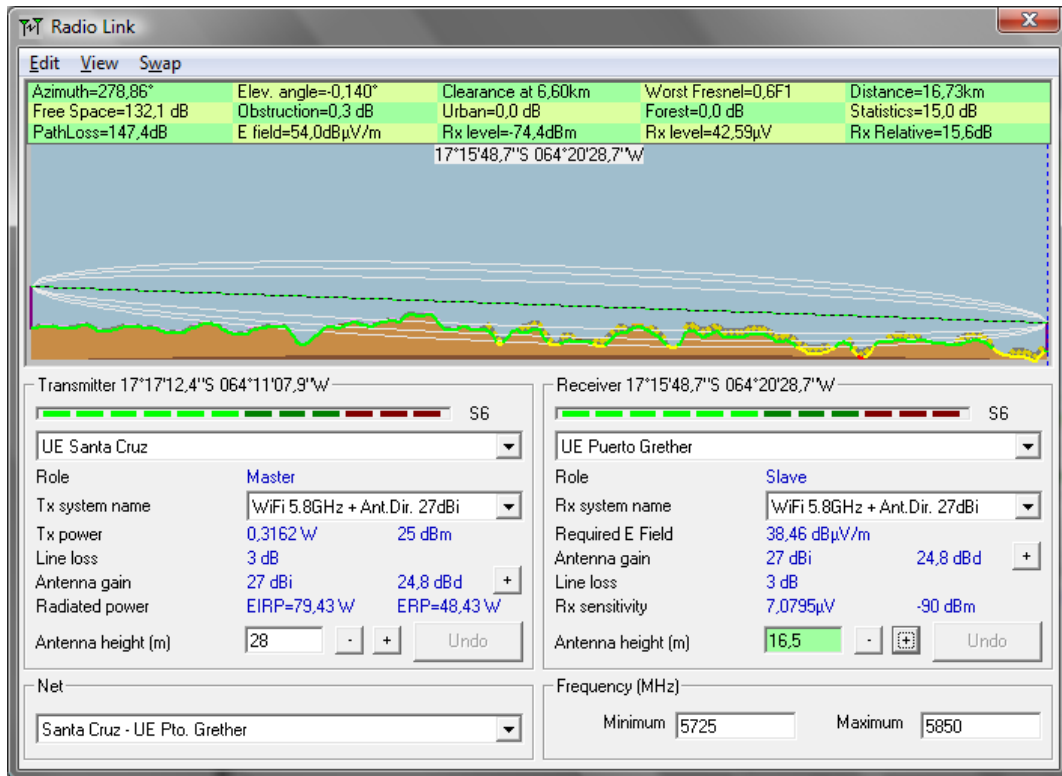
Figura A.2: Mariscal Sucre – San Germán



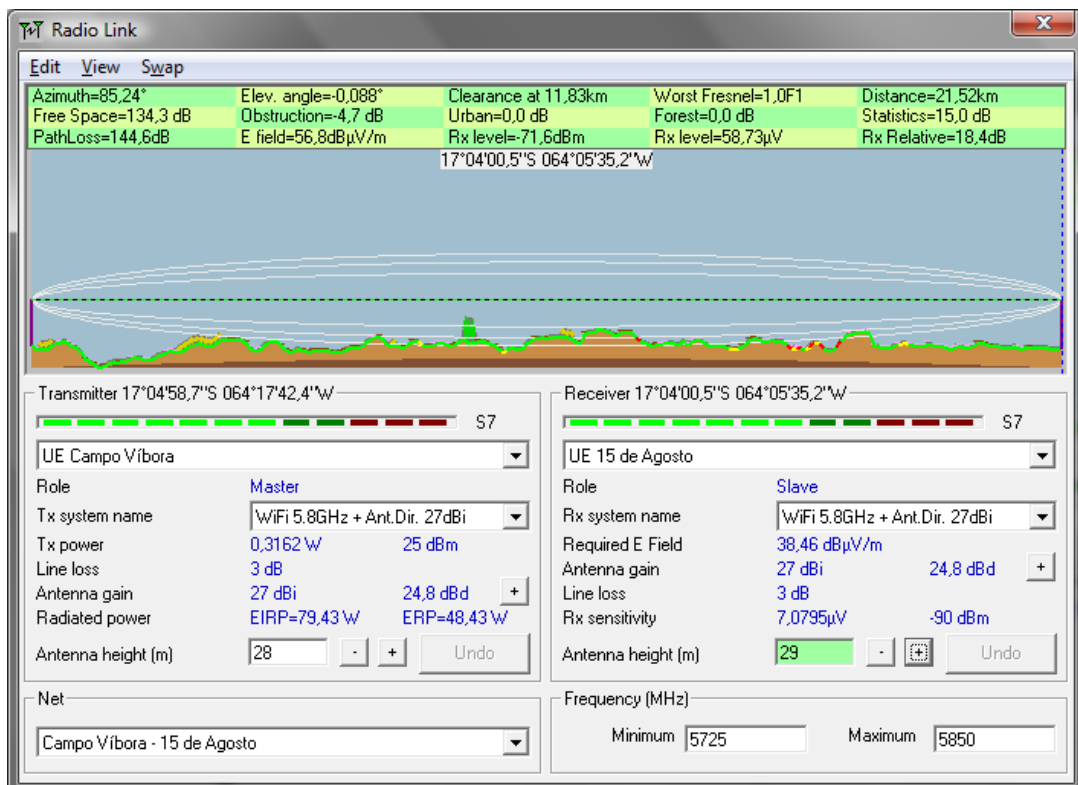
Anexo A.3: Enlace San Germán – Santa Cruz



Anexo A.4: Enlace Santa Cruz – Campo Víbora



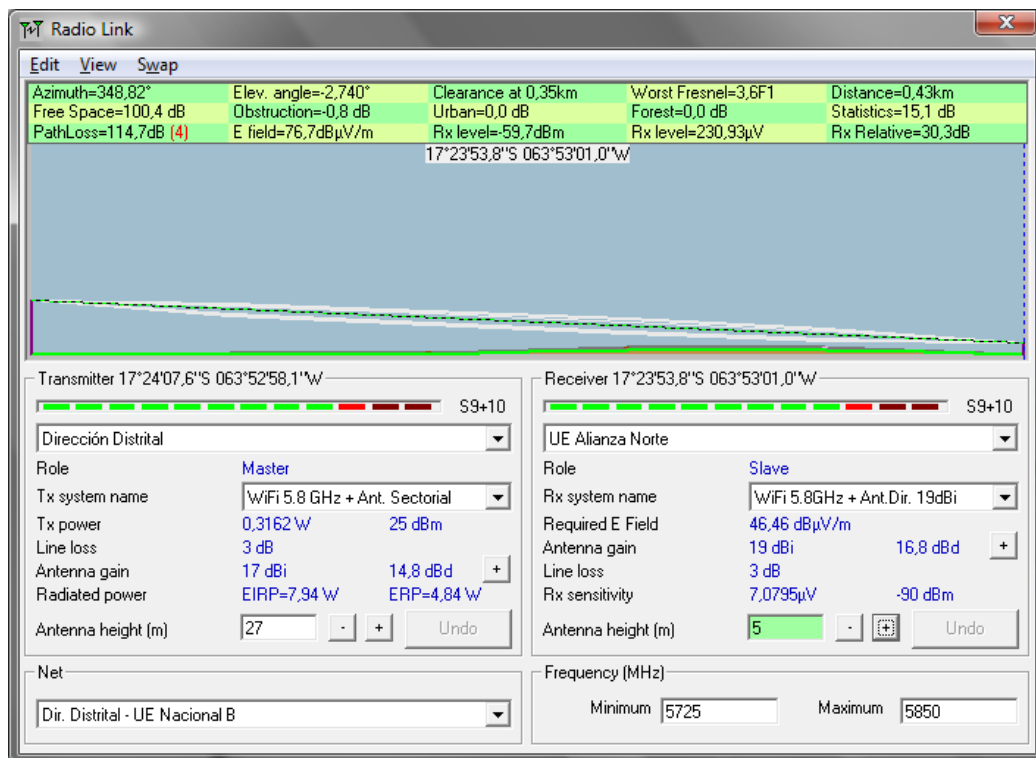
Anexo A.5: Enlace Santa Cruz – Puerto Grether



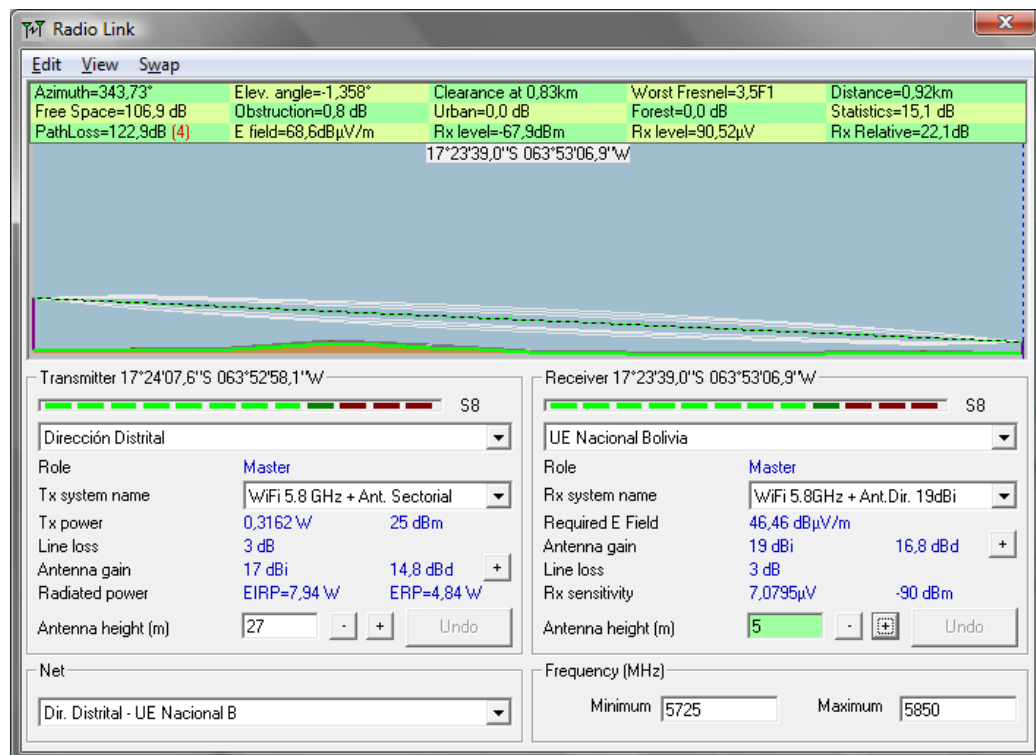
Anexo A.6: Enlace Campo Víbora – 15 de Agosto

Anexo B:

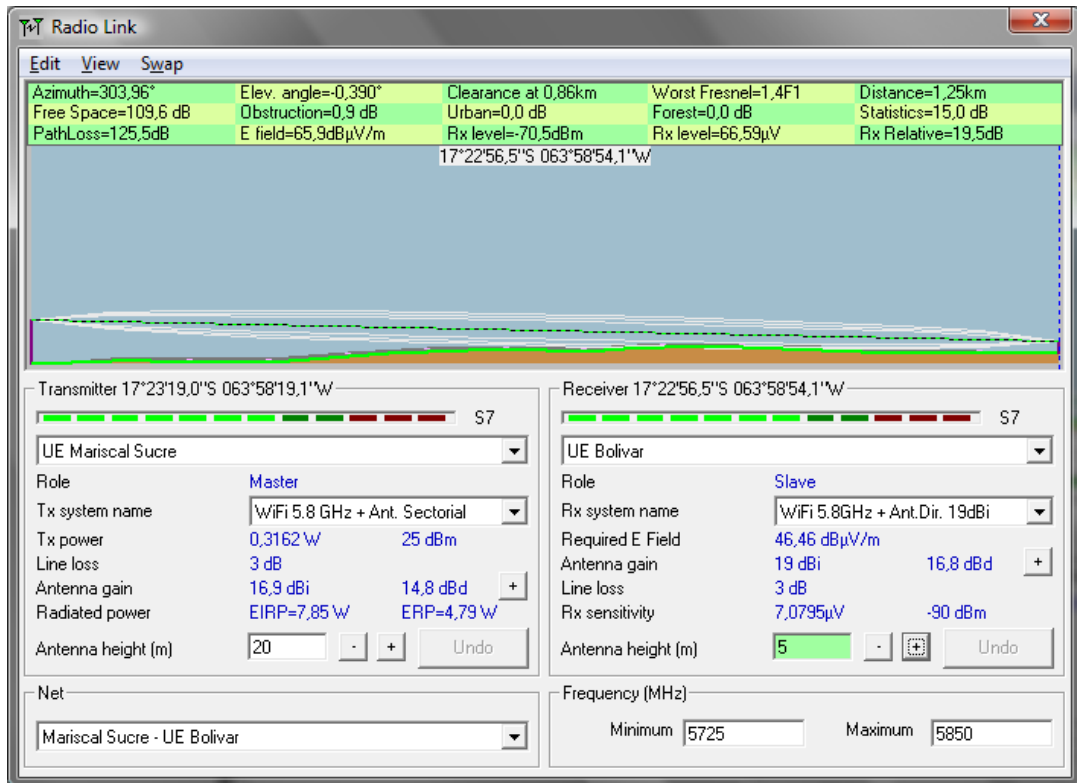
Resultados de simulación para enlaces de distribución



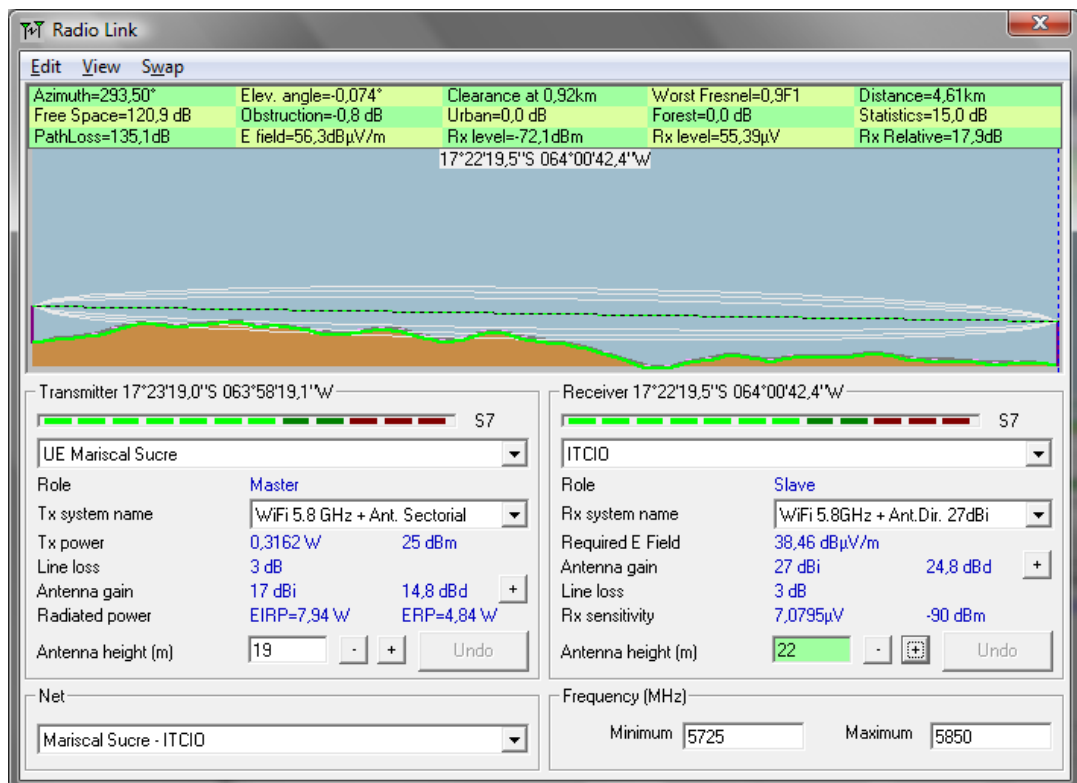
Anexo B.1: Enlace Dirección Distrital – UE Alianza Norte



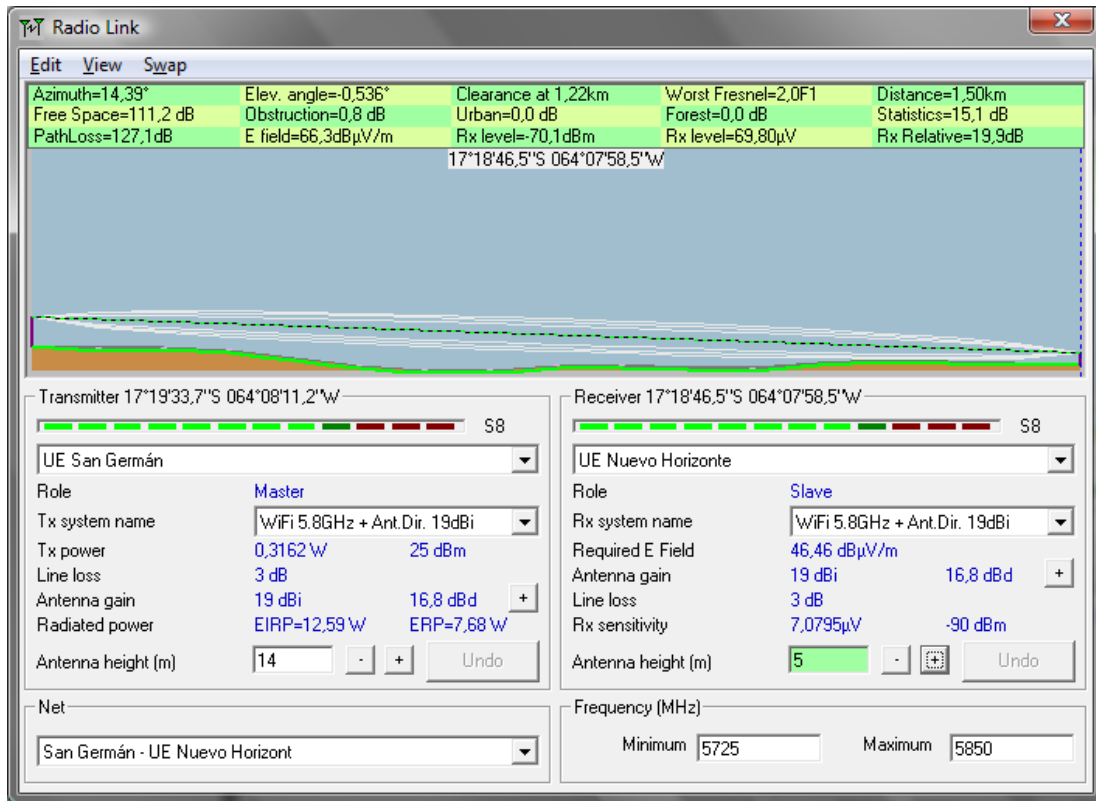
Anexo B.2: Enlace Dirección Distrital – UE Nacional Bolivia



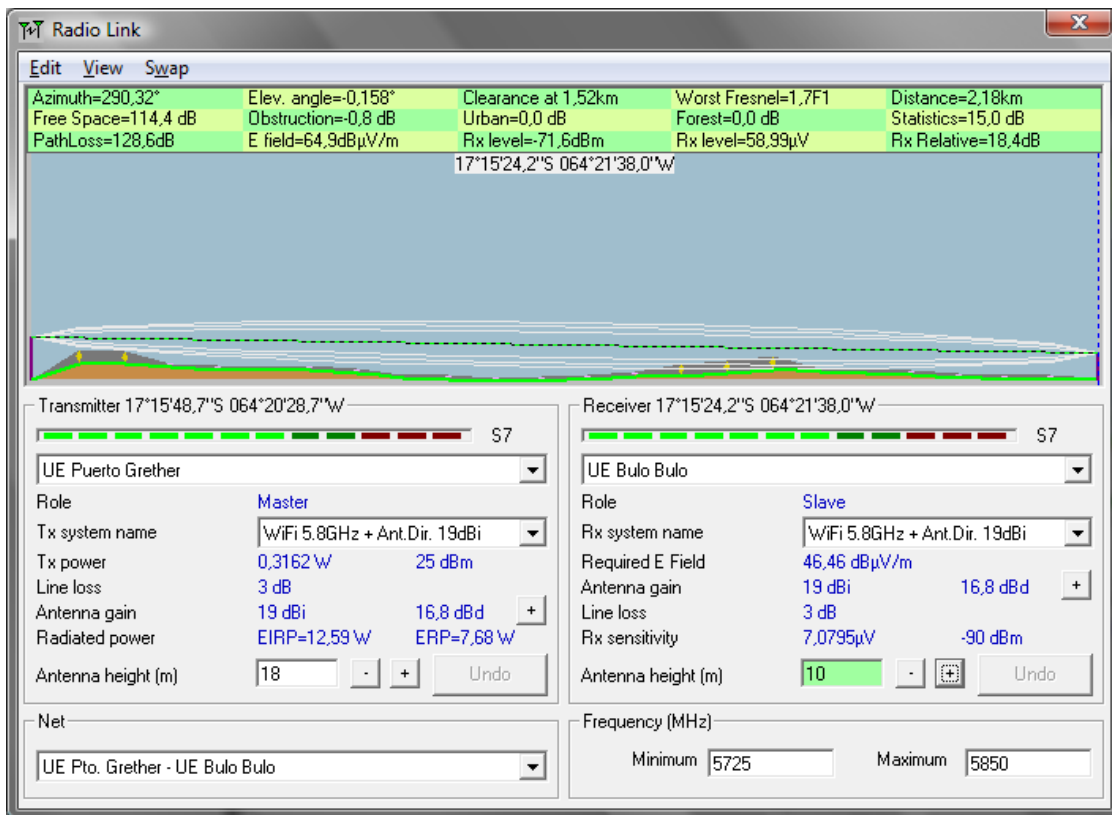
Anexo B.3: Enlace Mariscal Sucre – UE Bolívar



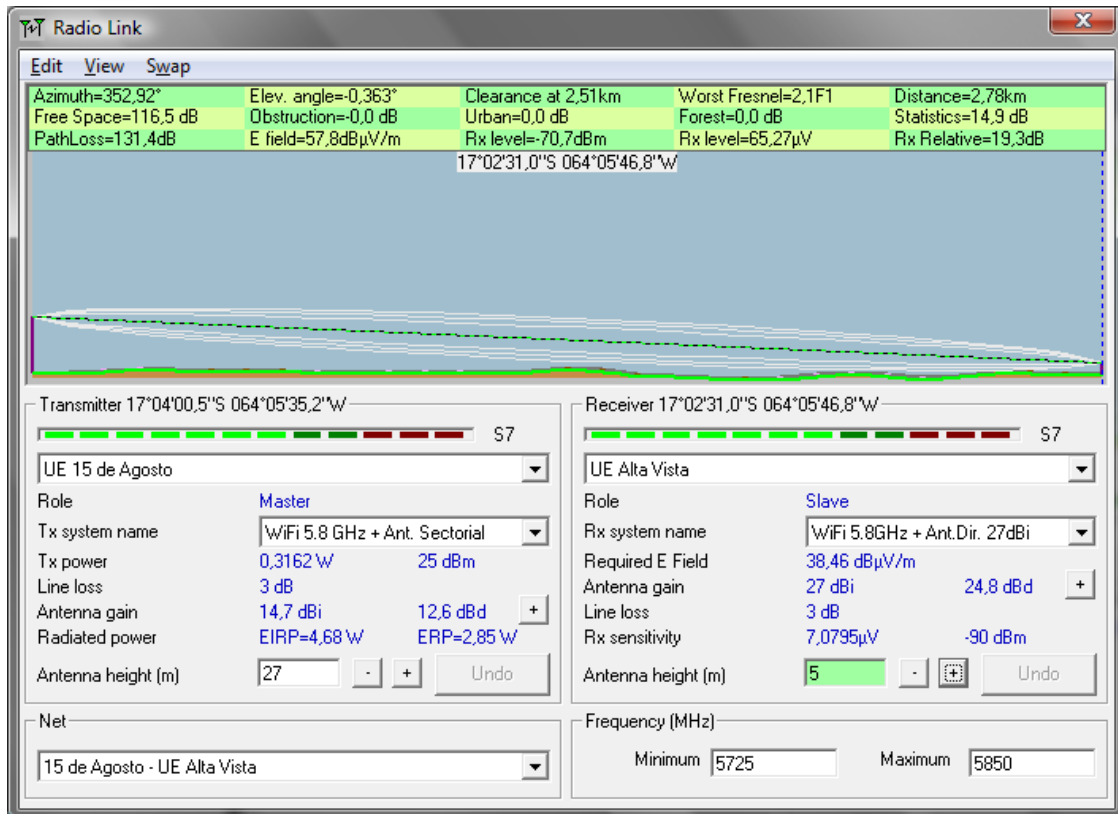
Anexo B.4: Enlace Mariscal Sucre - ITCIO



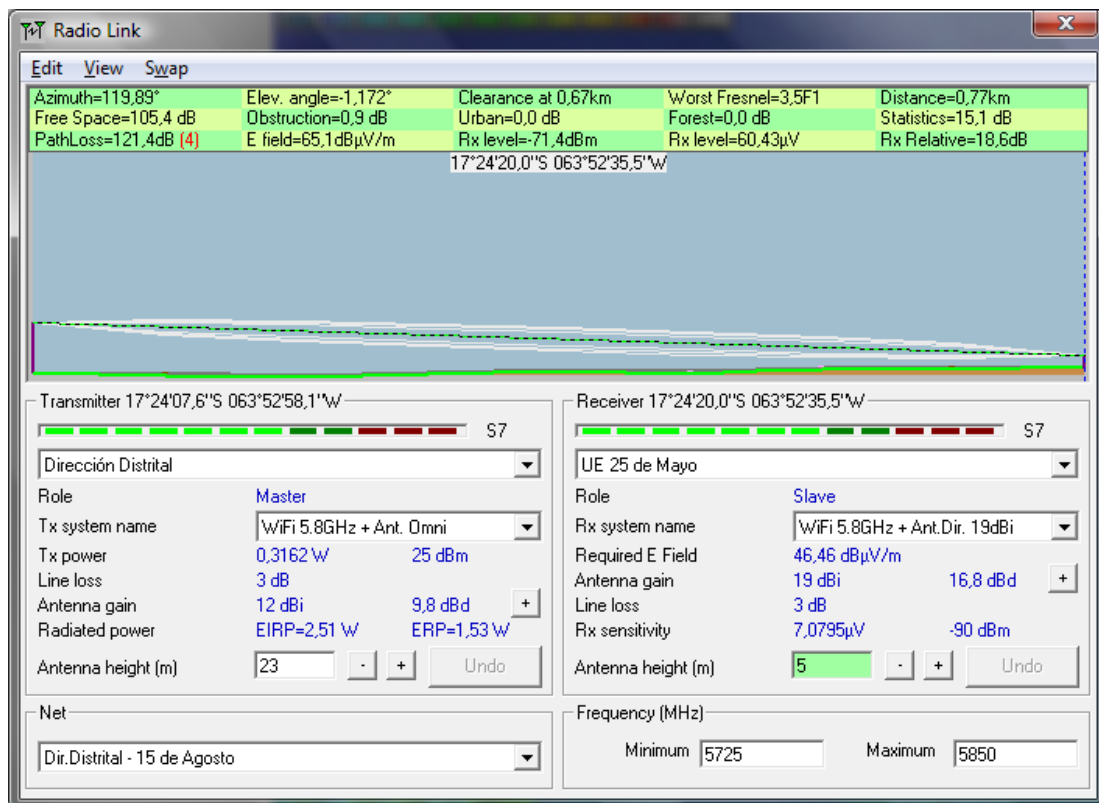
Anexo B.5: Enlace San Germán – UE Nuevo Horizonte



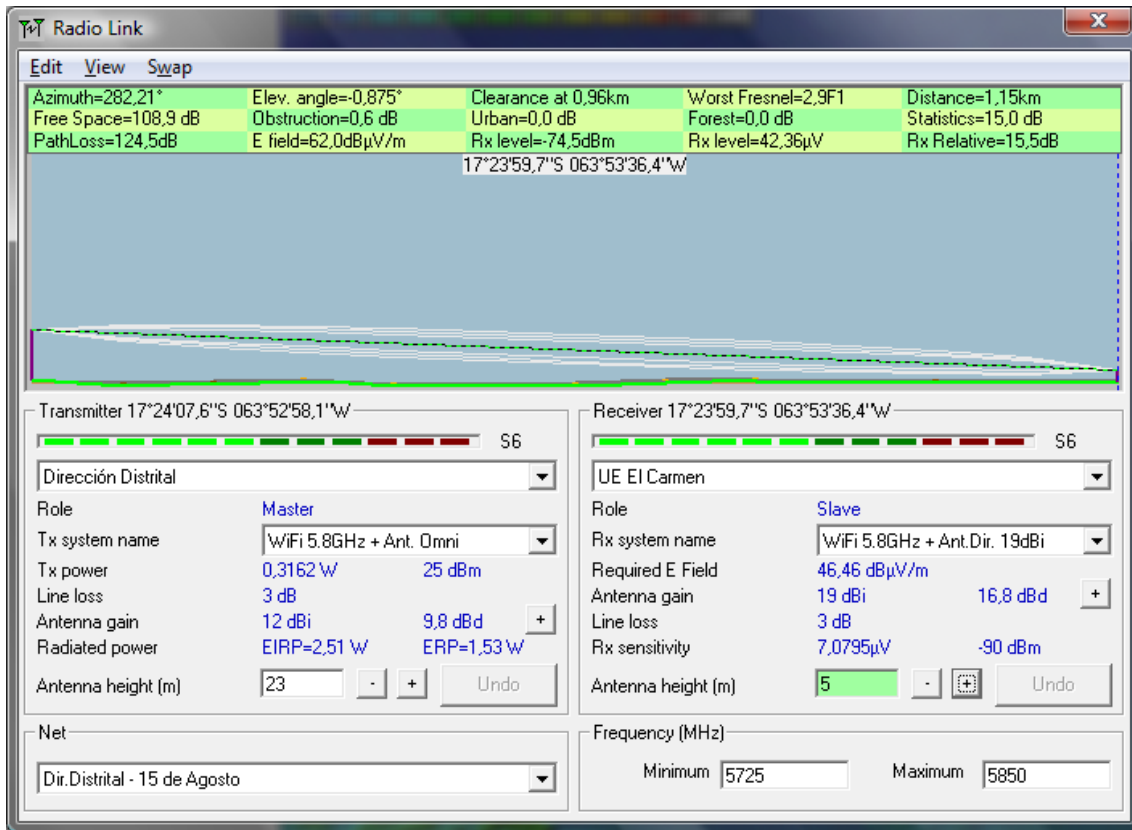
Anexo B.6: Enlace Puerto Grether – UE Bulu Bulu



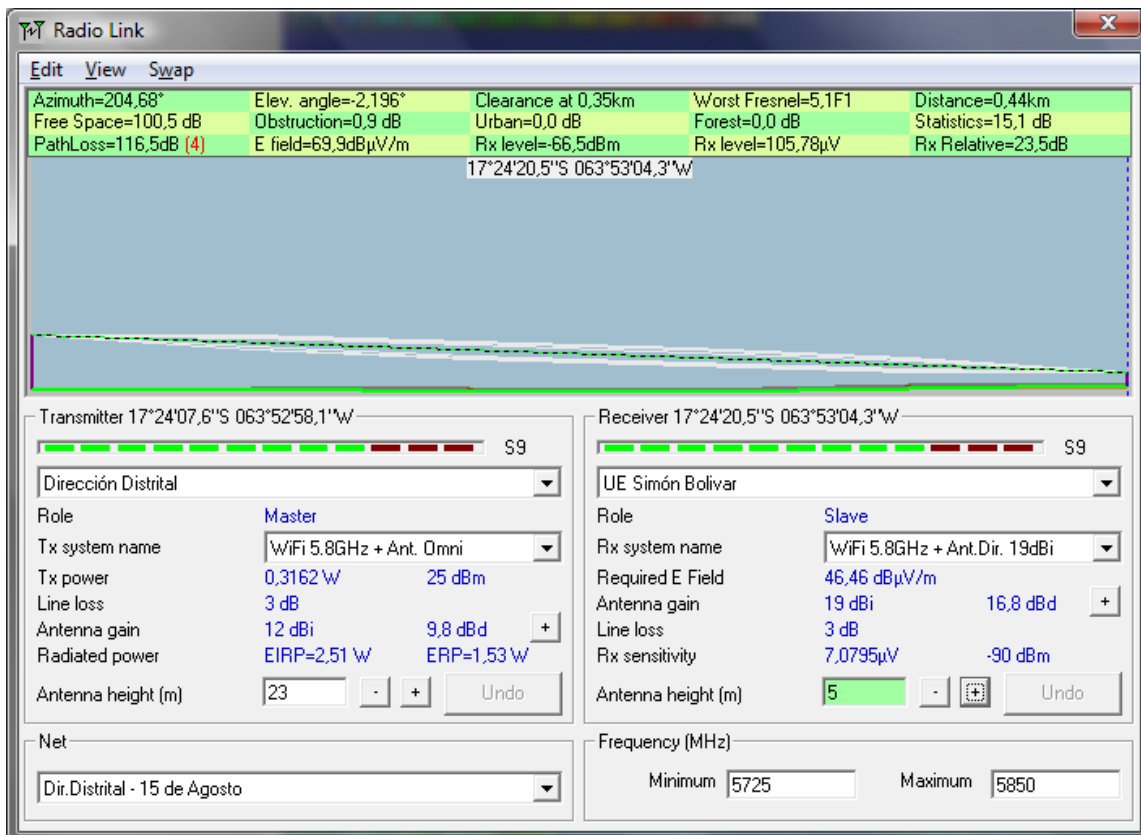
Anexo B.7: Enlace 15 de Agosto – UE Alta Vista



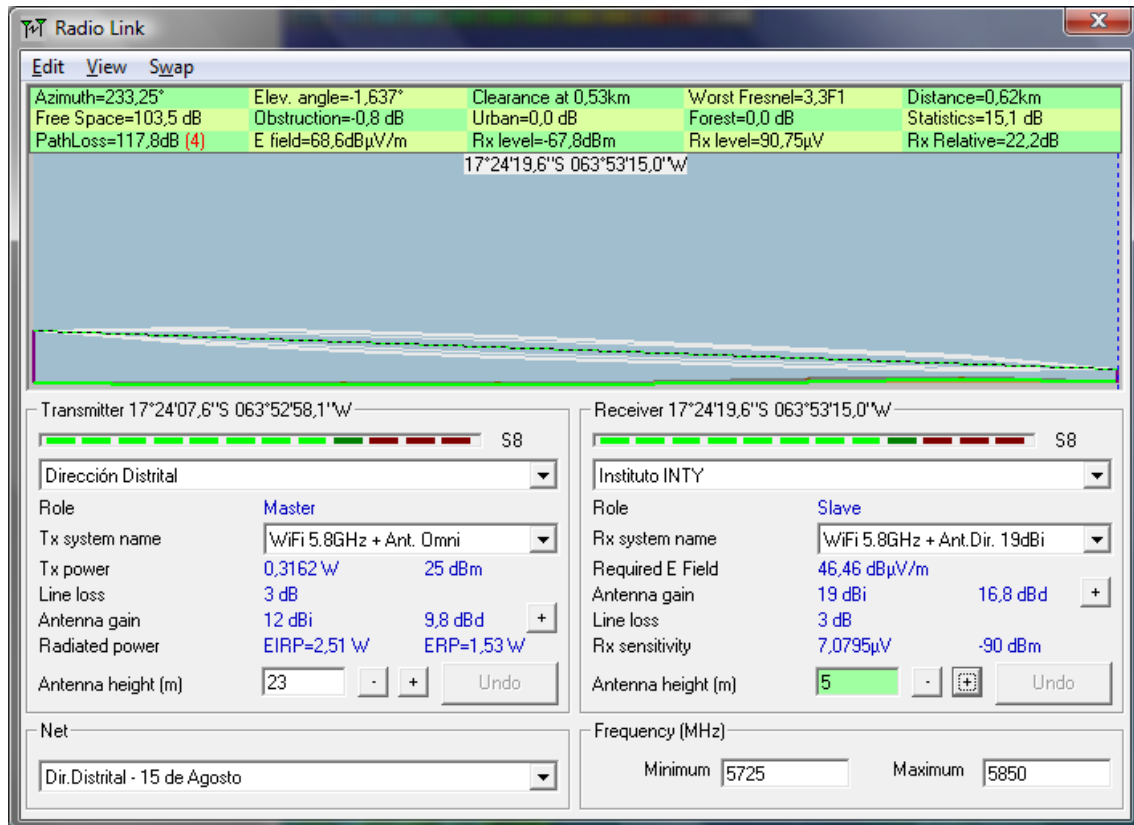
Anexo B.8: Enlace Dirección Distrital – UE 25 de Mayo



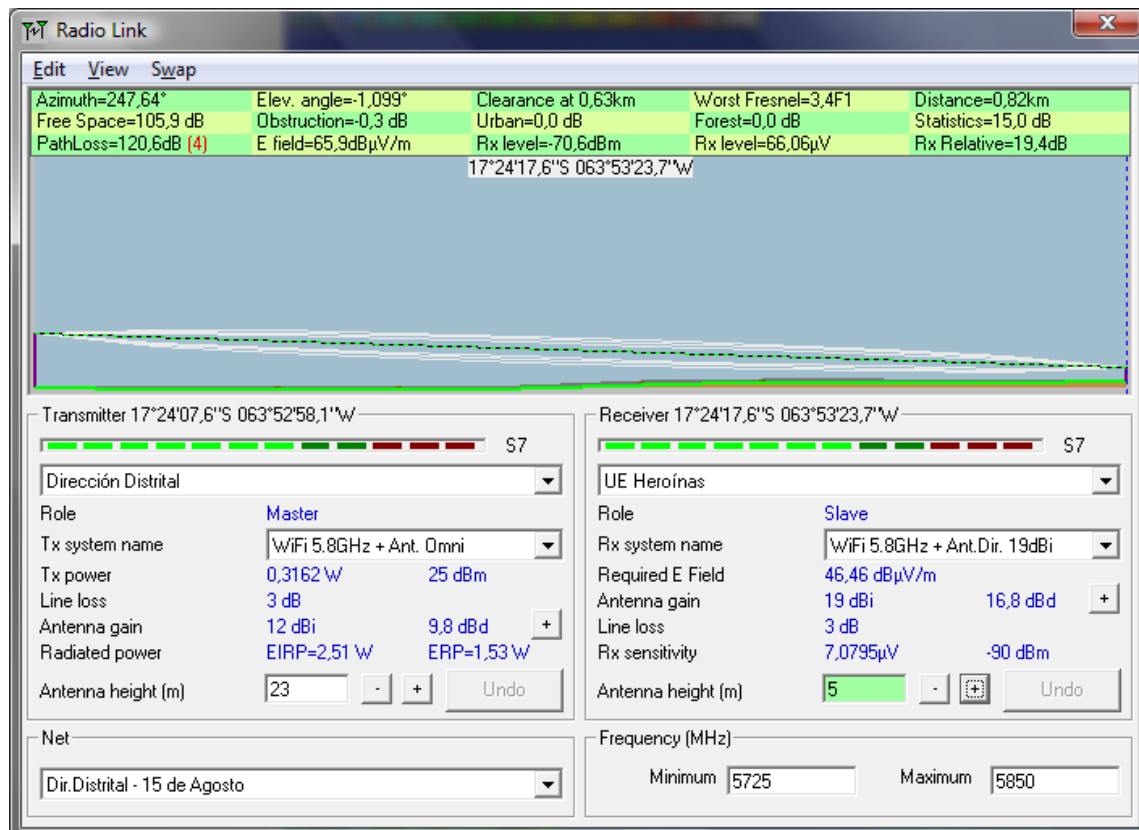
Anexo B.9: Enlace Dirección Distrital – UE El Carmen



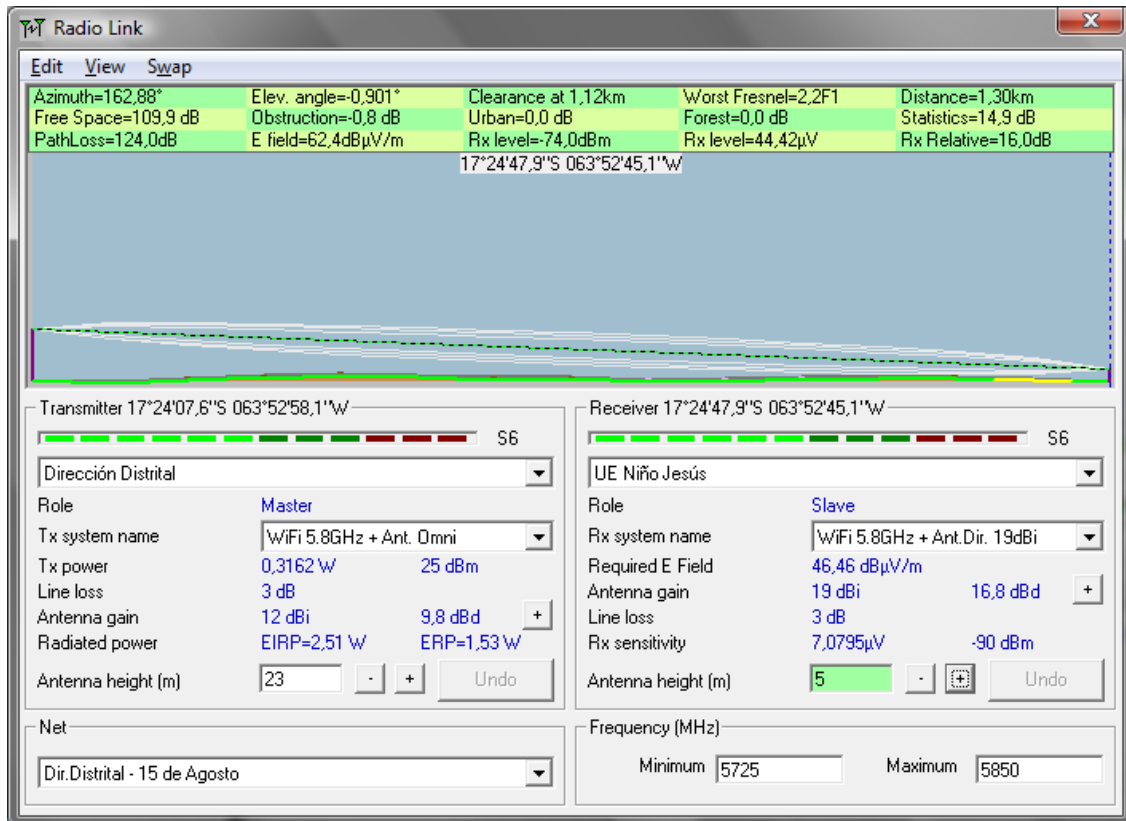
Anexo B.10: Enlace Dirección Distrital – UE Simón Bolívar



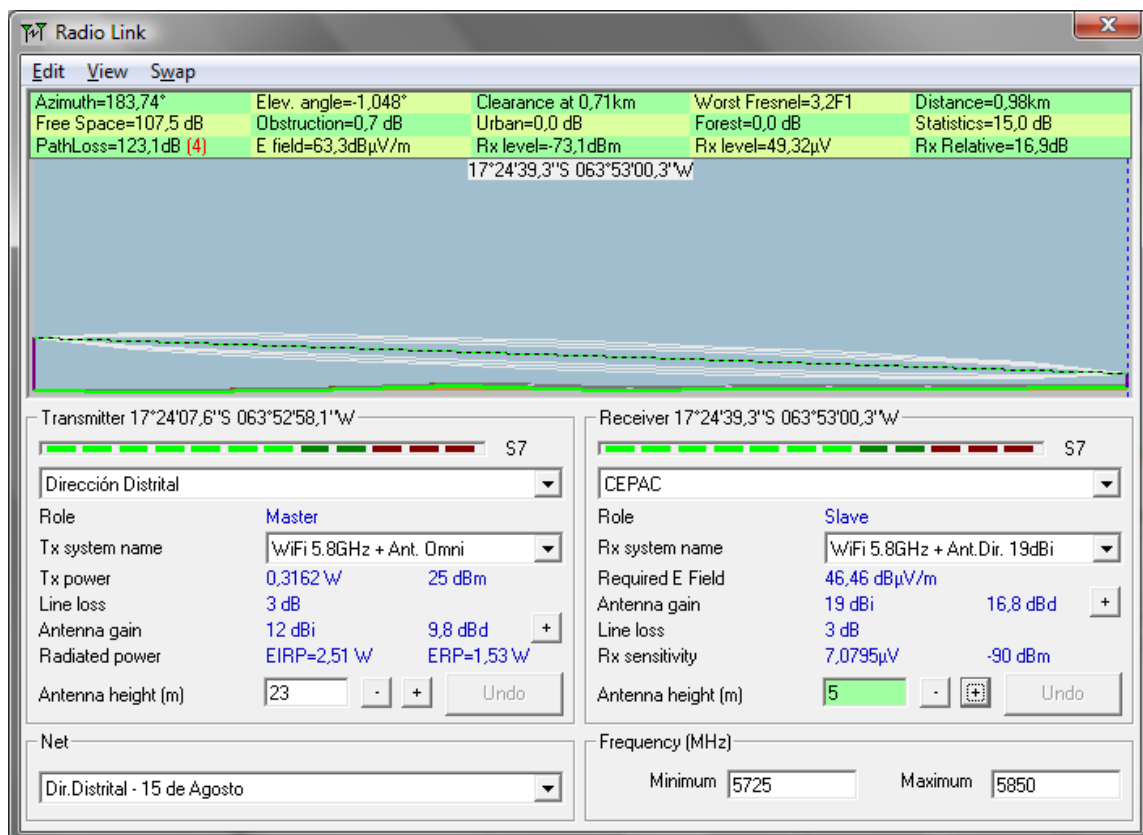
Anexo B.11: Enlace Dirección Distrital – Instituto INTY



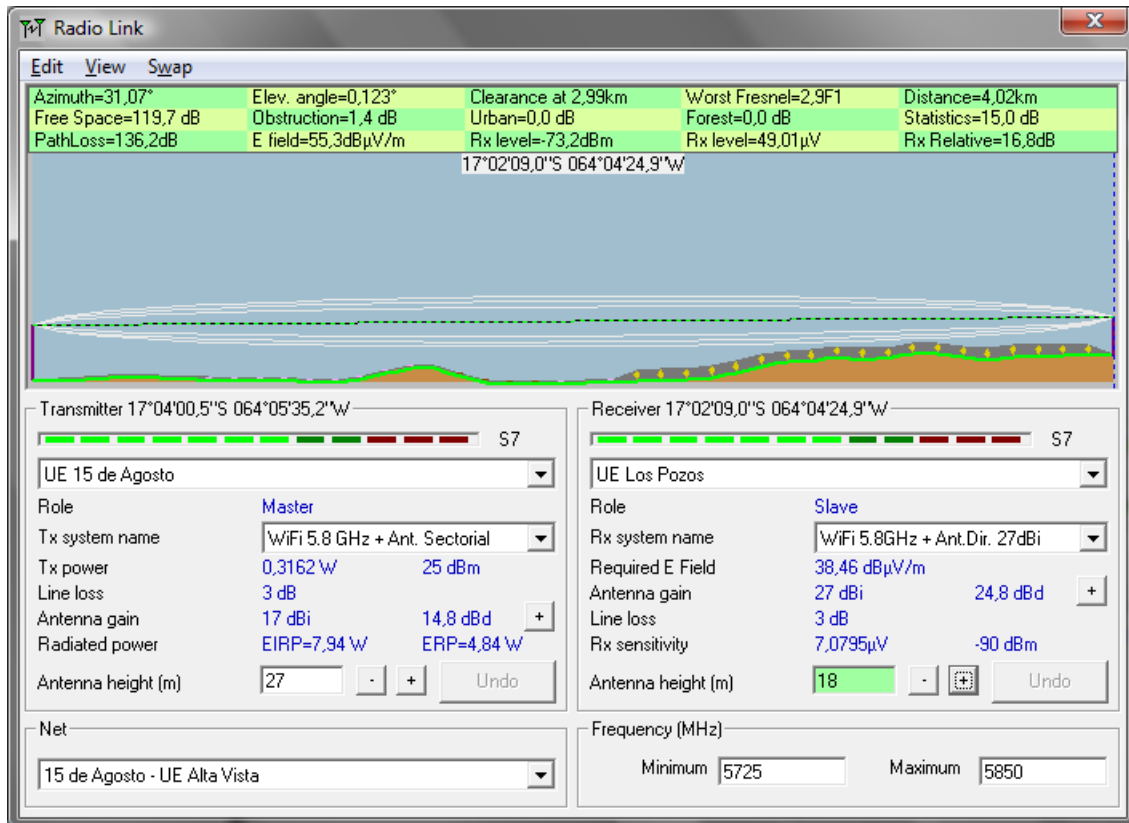
Anexo B.12: Enlace Dirección Distrital – UE Heroínas



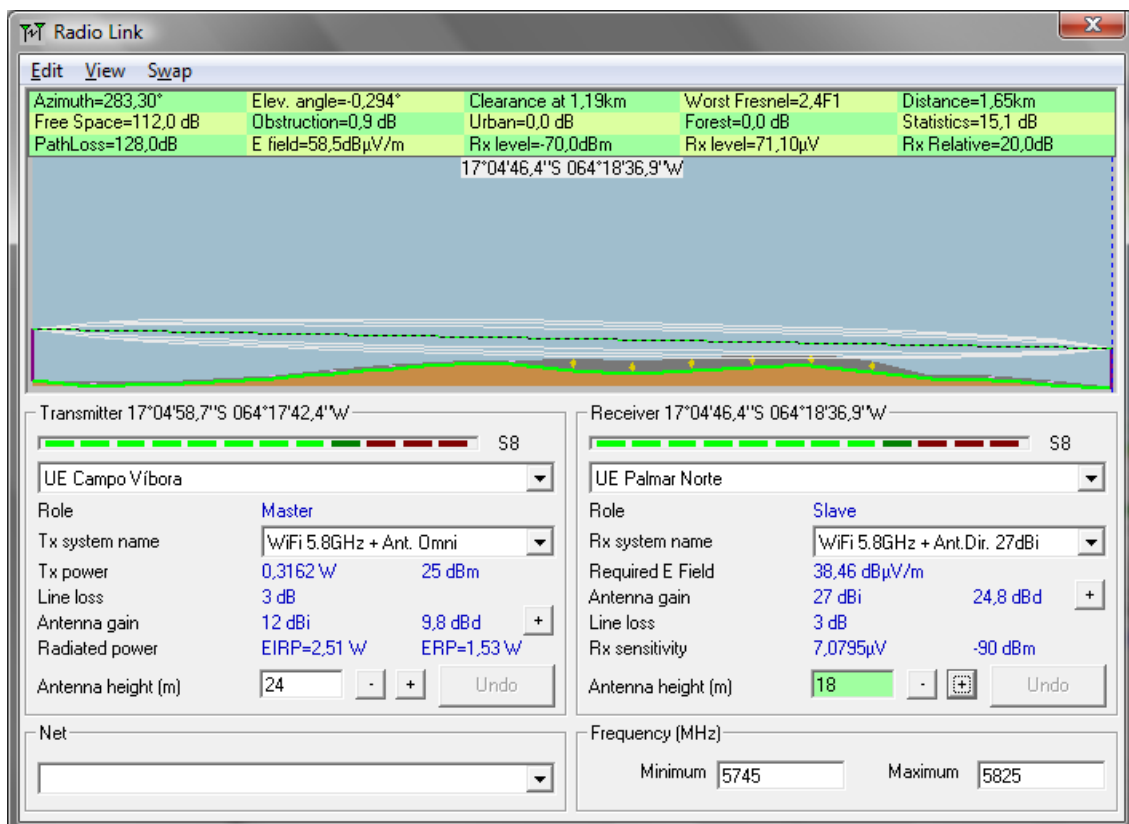
Anexo B.13: Enlace Dirección Distrital – UE Niño Jesús



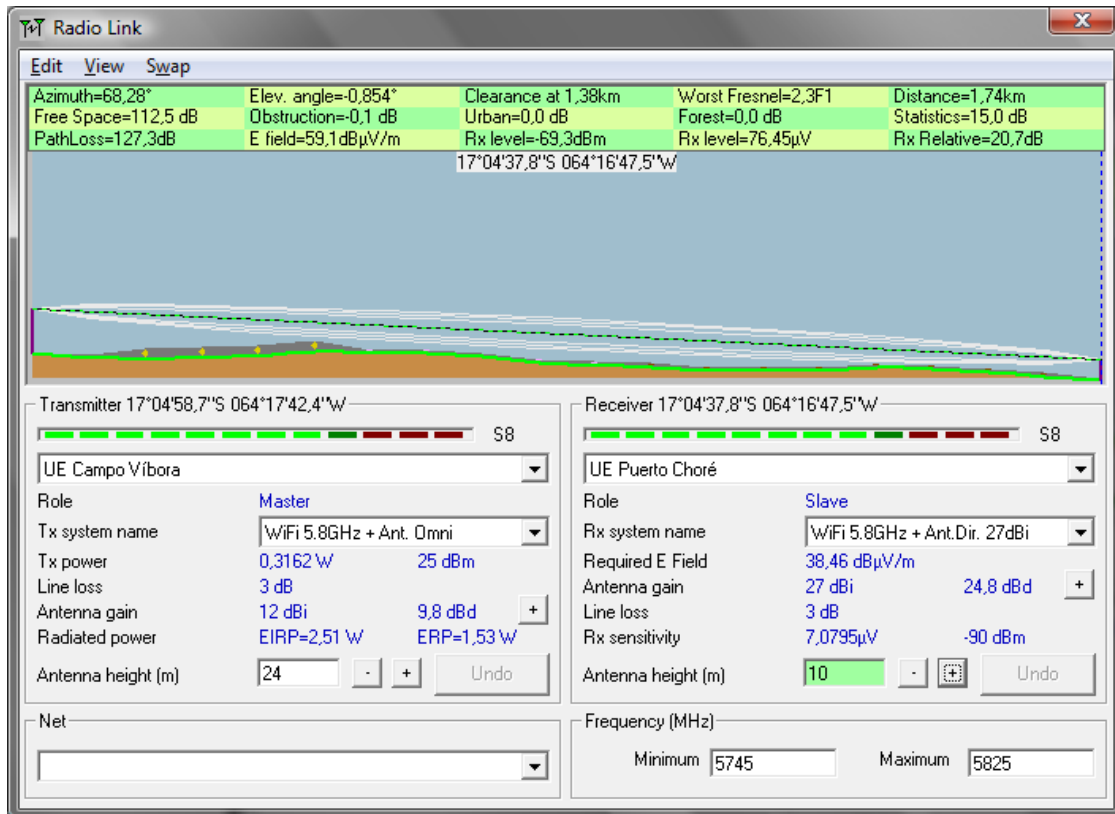
Anexo B.14: Enlace Dirección Distrital – CEPAC



Anexo B.15: Enlace 15 de Agosto – UE Los Pozos



Anexo B.16: Enlace Campo Víbora – UE Palmar Norte



Anexo B.17: Enlace Campo Víbora – UE Puerto Choré

Anexo C:

Especificaciones del equipamiento

RouterBOARD 433



The rb433 is a high speed AP/router.

Much faster than it's predecessors the rb433 is replacing not only the low priced rb133, but also the powerful rb333.

The heart of this device is the new Atheros CPU which makes this tiny device a quick one. Tests show that this device is faster than any other low cost product by mikrotik, making the rb400 series fit right behind rb600 and rb1000.

rb433 includes RouterOS - the operating system, which will turn this powerful system into a highly sophisticated router/firewall or bandwidth manager.

One small device - with all the power of RouterOS. At a very special price.

CPU	Atheros AR7130 300MHz network processor
Memory	64MB DDR SDRAM onboard memory
Boot loader	RouterBOOT
Data storage	64MB onboard NAND memory chip
Ethernet	Three 10/100 Mb/s Fast Ethernet ports with Auto-MDIX
miniPCI	Three MiniPCI Type IIIA/III slots
Extras	Reset switch, Beeper
Serial port	One DB9 RS232C asynchronous serial port
LEDs	Power, NAND activity, 5 user LEDs
Power options	Power over Ethernet 10..28V DC (except power over details). Power jack: 10..28V DC
Dimensions	10.5 cm x 15 cm, 137 grams
Power consumption	~3W without extension cards, maximum = 25 W
Operating System	MikroTik RouterOS v3, Level4 license

routerboard.com

Figura C.1: Especificaciones RB 433

RouterBOARD 433AH



The RB433AH is a more powerful version of the standard RB433. The 128MB DDR will be capable of supporting new RouterOS features coming. The microSD slot supports an additional memory card that can be used for a Dude database and other features.

The 680MHz Atheros MIPS 24K CPU with a 64KB/32KB instruction/data cache is probably the fastest CPU used in low cost wireless access points.

The three Ethernet and mpci slots give you ample data interfaces to put the big CPU power to work.

CPU	Atheros AR761 680MHz network processor
Memory	128MB DDR SDRAM onboard memory
Boot loader	RouterBOOT
Data storage	64MB onboard NAND memory chip and microSD
Ethernet	Three 10/100 Mbit/s Ethernet ports with Auto-MDI/X
miniPCI	Three MiniPCI Type IIA/IBS slots
Extras	Reset switch, Beeper
Serial port	One DB9 RS232C asynchronous serial port
LEDs	Power, NAND activity, 5 user LEDs
Power options	Power over Ethernet: 10..28V DC (except power over datalines). Power jack: 10..28V DC. Voltage monitor.
Dimensions	10.5 cm x 15 cm, 137 grams
Power consumption	~3W without extension cards, maximum = 25 W, 16W output to cards
Operating System	Mikrotik RouterOS v3, Level5 license

routerboard.com

Figura C.2: Especificaciones RB 433AH

R52H

802.11a+b+g miniPCI card for multiband high speed applications, with up to 350mW output power. It works on 2.192-2.539 and 4.920-6.100GHz frequency range (in RouterOS only) and supports Turbo mode for faster transfers. The card performs best when coupled with MikroTik RouterOS.

- Turbo, 802.11a, 802.11b and 802.11g IN ONE
- Operates in either 2.4GHz or 5GHz wireless bands

IEEE 802.11a:	24dBm / -90dBm @ 6Mbps 19dBm / -70dBm @ 54Mbps
IEEE 802.11b:	25dBm / -92dBm @ 1Mbps 25dBm / -87dBm @ 11Mbps
IEEE 802.11g:	25dBm / -90dBm @ 6Mbps 20dBm / -70dBm @ 54Mbps



Specifications	
Chipset	AR5414
Frequency range	2.192-2.539MHz 4920-6100MHz
Standards	IEEE802.11a, IEEE802.11b, IEEE802.11g
Max output power	25dBm
Format	miniPCI
Dimensions	6.0cm x 4.5 cm
Connectors	2x uFI
Temperature	Operating -20C to +70C
Powering	3.3V +/- 10% DC; 800mA max (600mA typ.)
OS	RouterOS all versions. Windows via 3rd party drivers (not full frequency range)

Figura C.3: Especificaciones tarjeta inalámbrica R52H

BrightSun
Power Corporation

BRIGHTSUN POWER CORPORATION
Email: info@brightsunpower.com www.brightsunpower.com
8300 NW 53 St Suit 350 Doral, Fl 33166, USA
Tel: +1 305 396 4065 Fax: +1 305 407 9128

SOLAR CONTROLLER

FOR SOLAR POWER SYSTEM WITH DIGITAL AND SYMBOL DISPLAY

EPSOLAR EPIP is the second generation with high quality and reliability.
Adds new features and protections using highly advance technology
Provides longer battery life and improved system performance
Sets new standards for reliability and self-diagnostics

MODEL NO: EPIP40
EPIP40-20: 12/24 VOLT auto work, 20 AMPS
EPIP40-30: 12/24 VOLT auto work, 30 AMPS

Microprocessor which is made in USA
PWM or ON/OFF series battery charging options
State of charge (SOC) battery regulation
Battery Ah setting, boost charging, equalising charging, float charging
Automatic load reconnection, manual load switch
Temperature compensation
LCD display: SOC as a fuel gauge, all system parameters in digital value, system status as symbols
Full circuit protection, electronic fuse * Field adjustable parameters by four buttons
Load control option: ON/OFF, Dusk-to-Dawn, On + setting hours, setting time ON/OFF. (For type -II)

Regulation point: 14.4 Volt
Low voltage disconnect: 11.10 Volt
Low voltage Reconnect: 12.5 Volt
Self-consumption: 10mA maximum
Terminals: for wire sizes to 10mm²
Temperature: -35°C to +55°C
Weight: 250g
Dimension: 188.9x130x51.70mm
Compliance: CE



Figura C.4: Especificaciones regulador EPIP40



www.brightsunpower.com

50(17)PR630x660
YL50

YL50Wp, Yingli Solar

Yingli's 50 watt photovoltaic module is designed for large electrical power requirements. With a 25 year warranty, the YL50 has superb durability to withstand rigorous operating conditions. Ideal for grid-connected and remote power systems, the YL50 offers high usable power per square foot of solar array.

- ◆ Solar Cell: High efficiency crystalline solar cell. Even if under the weak light, the solar module can produce maximum power output.
- ◆ Tempered glass: Anti-reflecting coating and high transmission rate glass increase the power output and mechanical strength of solar module.
- ◆ EVA and TPT: Using high quality EVA and TPT to prevent destroying and water.
- ◆ Al frame: Without screw, corner connection. 6 holes on the frame can be installed easily.
- ◆ Junction box: Multi function junction box with water proof.
- ◆ Long lifetime: ≥25 years; Less power decrease.
- ◆ Good performance of preventing from atrocious weather such as wind and hails.
- ◆ Resisting moisture and etching effectively, not effect by geology.



- World-class Product and Service
- Complete Production Chain
- PV Manufacturer from China



Figura C.5: Especificaciones panel solar YL50Wp

Anexo D:

Modelo de encuesta para usuarios de la red

Unidad educativa	Estado de los servicios					Observaciones
	Acceso a internet	Correo electrónico	Telefonía	Portales educativos	Programas educativos	
Dirección Distrital						
Campo Víbora						
15 de Agosto						
UE Los Pozos						
UE Palmar Norte						
UE Puerto Choré						
UE 25 de Mayo						
UE Niño Jesús						
CEPAC						
UE Simón Bolívar						
Instituto INTY						
UE Heroínas						
UE El Carmen						
Mariscal Sucre						
San Germán						
Santa Cruz						
Puerto Grether						
ITCIO						
UE Bulo Bulo						
UE Nuevo Horizonte						
UE Alta Vista						
UE Bolívar						
UE Alianza Norte						
UE Nacional Bolivia						

1. ¿Cuál es el estado de su acceso a Internet?

Bueno Regular Malo No funciona

En caso de indicarse problemas, ¿Qué problemas presenta? ¿Hace cuánto tiempo? ¿Ha reportado el fallo?

2. ¿Cuál es el estado de su servicio de correo electrónico?

Bueno Regular Malo No funciona

En caso de indicarse problemas, ¿Qué problemas presenta? ¿Hace cuánto tiempo? ¿Ha reportado el fallo?

3. ¿Cuál es el estado de su servicio de telefonía?

Bueno Regular Malo No funciona

En caso de indicarse problemas, ¿Qué problemas presenta? ¿Hace cuánto tiempo? ¿Ha reportado el fallo?

Bibliografía

- [1] Organización de las Naciones Unidas, ONU. “Objetivos de Desarrollo del Milenio, una mirada desde América Latina y el Caribe”. Publicación de las Naciones Unidas. 2008.
- [2] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. “Boletín sobre el estado del Desarrollo Humano en Bolivia”. Resumen informativo de UDAPE-PNUD. 2010.
- [3] Sitio web de la Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas, UDAPE. <http://www.udape.gob.bo/>. 2012.
- [4] José Eduardo Rojas. “Caracterización de actores que trabajan en el ámbito de las Tecnologías de información y comunicación para el desarrollo en Bolivia”. Red TicBolivia. 2005.
- [5] Gover Barja, Björn-Sören Gigler. “Qué es y cómo medir la pobreza de información y comunicación en el contexto Latinoamericano”. DIRSI. 2007.
- [6] Moisés López C. “Telecentros Comunitarios: Análisis de experiencias en países en desarrollo”. Proyecto Fin de Carrera, ETSIT. Universidad Politécnica de Madrid. 2002.
- [7] Francisco Benavides. “Políticas educativas sobre nuevas tecnologías en los países iberoamericanos”. Revista Iberoamericana de Educación, Madrid. 2007.
- [8] Andrés Martínez F. “Evaluación del impacto del uso de tecnologías apropiadas de comunicación para el personal sanitario rural de países en desarrollo”. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. 2003.
- [9] Sergio Oliete Josa, Agustí Pérez Foguet. “Cooperación para el desarrollo en el aula”. Ingeniería Sin Fronteras. 2008.
- [10] Inés Bebea G. “Diseño de un plan de sostenibilidad para redes de comunicaciones rurales: Estudio del caso Napo”. Tesis Fin de Máster. Universidad Rey Juan Carlos. 2010.
- [11] Comisión Económica para América Latina y el Caribe. CEPAL. “Penetración de las TIC en la agricultura y las zonas rurales de América Latina: Estimaciones e impactos”. III Seminario Internacional TIC, herramientas para mejorar la competitividad. 2010.
- [12] Marlene Choque A. “Políticas públicas de acceso a las tecnologías de información y de inclusión digital en Bolivia (2000-2007)”. DIRSI. 2010.
- [13] Manuel Castells. “La Sociedad Red: Una visión global”. Editorial Alianza. 2006.

- [14] Manuel Fernández P. “La aplicación de las nuevas tecnologías en la educación”. Departamento de Didáctica y Teoría de la Educación. Universidad Autónoma de Madrid. 1999.
- [15] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. “Human Development Report 2007/2008”. Publicación PNUD. 2008.
- [16] Anna Balkenhol. “Coordinación y complementariedad de la cooperación europea al desarrollo. El caso de Bolivia”. Tesis de Fin de Máster. Instituto de Iberoamérica, Universidad de Salamanca. 2009.
- [17] Orlando D. Arratia. “Bolivia: avances y desafíos para el acceso universal a banda ancha”. Association for Progressive Communications. 2009.
- [18] Roberto Sánchez S. “Fundamentos de Plan Nacional de Inclusión Digital”. Viceministerio de Ciencia y Tecnología de Bolivia. 2009.
- [19] Sitio web de la Red TIC Bolivia. <http://www.ticbolivia.net/>. 2012.
- [20] Sitio web del Instituto Nacional de Estadística. <http://www.ine.gob.bo/>. 2011.
- [21] Sitio web de Centro de Promoción Agropecuaria Campesina, CEPAC. <http://www.cepac.org.bo/>. 2012.
- [22] O. Chávez. “Inclusión Digital Rural: El aprendizaje escolar mejora significativamente con las TICs en el aula, caso Yapacaní”. Tercer Foro Global de Telecentros, Chile 2011.
- [23] Informe de evaluación externa. Proyecto de Telecentros Educativos Comunitarios Yapacaní. COGNOS. 2010.
- [24] A. Rendón, P. Ludeña, A. Martínez. “Tecnologías de la Información y las Comunicaciones para zonas rurales: Aplicación a la atención de salud en países en desarrollo”. CYTED. 2011.
- [25] María Martín E. “Guía para el diseño e implementación de redes inalámbricas en entornos rurales de Perú”. Proyecto Fin de Carrera, Universidad Autónoma de Madrid. 2010.
- [26] B. Salguero. “Propuesta de metodología de diseño de redes inalámbricas extensas de banda ancha para zonas aisladas en países en vías de desarrollo”. Universidad Carlos III de Madrid, Proyecto Fin de Carrera. 2009.
- [27] Elsa Feliz. “Red de Tele-educación para la Salud en la Cuenca del río Napo”. Proyecto Fin de Máster, Universidad Rey Juan Carlos. 2011.
- [28] Plan Nacional de Frecuencias, Viceministerio de Telecomunicaciones, Estado Plurinacional de Bolivia. 2011.

- [29] L. Camacho, R. Quispe, C. Córdova, L. Liñán, D. Chávez. “WILD: WiFi Based Long Distance”. Primera edición, Grupo de Telecomunicaciones Rurales, Pontificia Universidad Católica del Perú. 2009.
- [30] William Staliings. “Local & Metropolitan Area Networks”. Sexta edición, Prentice Hall. 2000.
- [31] Grupo de Telecomunicaciones Rurales. “Redes inalámbricas para zonas rurales”. Segunda edición. Pontificia Universidad Católica del Perú. 2011.
- [32] Sonesh Surana. “Beyond Pilots: keeping Rural Wireless Networks Alive”. 5th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation. 2008.
- [33] Josep Madriles. “Diseño de una Red de Telecomunicación para la Interconexión de datos y telefonía para municipios del Departamento de Cuzco”. Proyecto Fin de Carrera. Pontificia Universidad Católica del Perú. 2008.
- [34] R. Quispe, J.A. Paco, G. Araujo. “Manual de Instalación y Mantenimiento de Sistemas de Telecomunicaciones Inalámbricas WiFi”. Documentación Programa Willay, Pontificia Universidad Católica del Perú. 2008.