



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y
COMPUTACIÓN**

“ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA RED WAN PARA LA DIRECCIÓN DEL
PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS MEDIANTE RADIOENLACES PUNTO
A PUNTO DE BANDA ANCHA.”

INFORME DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO EN TELEMÁTICA

PRESENTADO POR:

Jarol Paul Alulima Fuentes

GUAYAQUIL – ECUADOR

2014

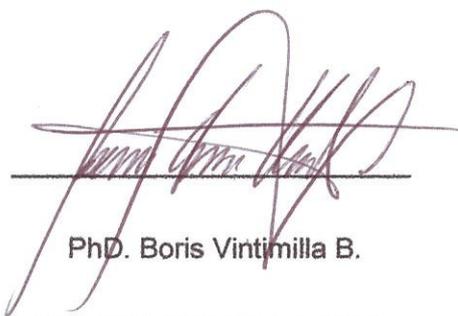
AGRADECIMIENTO

Al Ing. Efrén Herrera por su apoyo y recomendaciones, a la Ing. Patricia Chávez y al Ing. Ignacio Marín por sus consejos y enseñanzas. Al Ing. Lenin Franco por sus conocimientos transmitidos y su ayuda en la realización de este proyecto.

DEDICATORIA

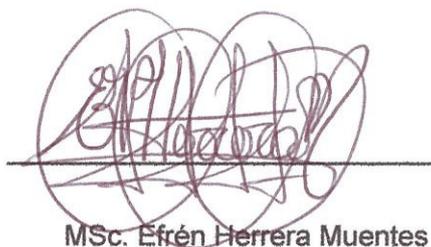
Dedico este trabajo con mucho entusiasmo, amor y cariño a Dios por darme fortaleza y nunca dejarme vencer. A mi querida madre María Fuentes Carvajal por siempre confiar en mí y brindarme su amor y apoyo durante toda mi carrera pese a las adversidades. A mis hermanos Lady y Hans Alulima, quienes siempre me han incentivado para seguir adelante. A mis abuelos Germán Fuentes y Ana Carvajal por su gran amor brindado. A katuska Romero por su amor y comprensión. A Walter López por sus sabios consejos y aliento para poder cumplir nuestras metas.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



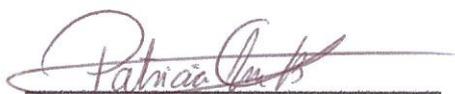
PhD. Boris Vintimilla B.

SUB-DECANO DE LA FIEC
PRESIDENTE



MSc. Efrén Herrera Muentes

DIRECTOR DE TESIS



MSc. Patricia Chávez Burbano

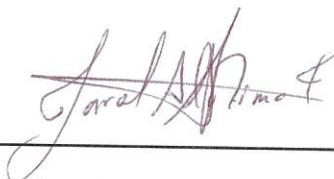
PROFESOR DELEGADO
POR LA UNIDAD ACADÉMICA



DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Informe de Proyecto de Graduación, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL).



Jarol Paul Alulima Fuentes



RESUMEN

El presente proyecto corresponde al análisis y diseño de la red WAN para la Dirección del Parque Nacional Galápagos mediante radioenlaces punto a punto, con la finalidad de dimensionar el ancho de banda entre los diferentes Departamentos y Oficinas Técnicas en las islas San Cristóbal, Isabela y Floreana, y un punto remoto en Isabela denominado Base Bolívar. Para lo cual se realizó un análisis de la red WAN satelital y la elección de la tecnología inalámbrica con mayores prestaciones, que permita satisfacer las demandas actuales y futuras para la nueva reestructuración de la Dirección del Parque Nacional Galápagos. Logrando establecer el diseño de una red con alta disponibilidad y mayor capacidad de transmisión, de acuerdo a las demandas de servicios actuales y tomando en cuenta el crecimiento futuro de la institución.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL.....	VII
ABREVIATURAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE TABLAS	XVIII
INTRODUCCIÓN	XIX
CAPÍTULO 1	1
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo General.	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4 Alcance.....	6
1.5 Limitaciones.....	7

CAPÍTULO 2.....	8
2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Radioenlace.....	8
2.1.1 Enlace Punto a Punto.....	9
2.1.2 Enlace Punto a Multipunto.	10
2.1.3 Enlace Multipunto a Multipunto.	11
2.2 Ondas Electromagnéticas.....	12
2.3 Espectro Electromagnético.....	16
2.4 Propagación.	17
2.5 Zona de Fresnel.	19
2.6 Principales fenómenos que afectan a un Radioenlace.....	21
2.6.1 Interferencia.	21
2.6.2 Atenuación.	22
2.6.3 Desvanecimiento.....	22
2.6.4 Reflexión.	23
2.6.5 Difracción.	23
2.6.6 Cambio de Polarización.	24
CAPÍTULO 3.....	25
3. ANÁLISIS DE LA RED WAN DE LA DPNG.....	25
3.1 Satélite Operativo.	26
3.2 Descripción y Estado de Operación de las Estaciones Terrenas.	27
3.2.1 Isla Santa Cruz.....	29

3.2.2 Isla San Cristóbal.....	33
3.2.3 Isla Floreana.....	35
3.2.4 Isla Isabela.....	38
3.3 Condiciones Ambientales.....	42
3.4 Ancho de Banda.....	44
CAPÍTULO 4.....	46
4. TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN.....	46
4.1 WIMAX.....	47
4.1.1 Aplicaciones en Galápagos.....	48
4.1.2 Componentes de Red.....	49
4.1.3 Características.....	50
4.2 Solución PTP de Cambium Networks.....	54
4.2.1 Aplicaciones en Galápagos.....	55
4.2.2 Componentes de Red.....	56
4.2.3 Características.....	57
CAPÍTULO 5.....	61
5. ANÁLISIS COMPARATIVO.....	61
5.1 Comparación de Parámetros.....	61
5.2 Problemas de Implementación.....	63
CAPÍTULO 6.....	66
6. DISEÑO DE LA RED WAN DE LA DPNG.....	66

6.1	Demanda de Servicio	66
6.2	Ubicación de las Estaciones.....	68
6.3	Estructura de la Red.....	70
6.4	Banda de Frecuencia.	71
6.5	Elección Técnica de los Equipos.....	74
6.6	Cálculo de los Enlaces.	76
6.6.1	Pérdidas en el Espacio Libre.....	77
6.6.2	Cálculo del Presupuesto del Enlace.....	80
6.6.3	Confiabilidad del Enlace (R).....	83
6.7	Simulación y Análisis de los Enlaces con el software PTP LinkPlanner.	85
6.7.1	Enlace DPNG-Puerto Ayora - Cerro Crocker.	86
6.7.2	Enlace Cerro Crocker – Cerro Asilo de la Paz.	87
6.7.3	Enlace Cerro Asilo de la Paz – DPNG Puerto Velasco Ibarra... ..	89
6.7.4	Enlace Cerro Crocker – DPNG Puerto Baquerizo Moreno.....	90
6.7.5	Enlace Cerro Crocker – El Chapín.	92
6.7.6	Enlace el Chapín – DPNG Puerto Villamil.....	93
6.7.7	Enlace El Chapín – Cerro Azul.....	95
6.7.8	Enlace Cerro Azul – Canal Bolívar.	96
6.8	Diagrama de Red	98
6.9	Manejo de Tráfico IP	99
CAPÍTULO 7.....		100

7. ANÁLISIS FINANCIERO.....	100
7.1 Costo Total del Proyecto.....	100
7.2 Análisis Costo-Beneficio.....	102
CONCLUSIONES	104
RECOMENDACIONES.....	106
ANEXOS.....	108
ANEXO A Dimensionamiento de tráfico IP	109
ANEXO B Sitios escogidos	122
ANEXO C Cálculo de pérdidas en el Espacio Libre.....	127
ANEXO D Cálculo del Margen de Desvanecimiento.....	129
ANEXO E Cálculo de confiabilidad	131
ANEXO F Documento de solicitud para uso de la Información Técnica de la red WAN de la DPNG	133
ANEXO G Documento de aprobación para uso de la Información Técnica de la red WAN de la DPNG	134
ANEXO H Simulaciones	132
GLOSARIO.....	144
BIBLIOGRAFÍA.....	146

ABREVIATURAS

AES	Estándar de Cifrado Avanzado.
BS	Estación base.
CMU	Unidad de módem compacta.
CONATEL	Consejo Nacional de Telecomunicaciones.
DAC	Dirección de Aviación Civil.
DFT	Transformada Discreta de Fourier.
DPNG	Dirección del Parque Nacional Galápagos.
DSL	Línea digital de suscriptor.
FM	Margen de Desvanecimiento.
FSPL	Pérdida en el Espacio Libre.
IF	Frecuencia intermedia.
IP	Protocolo de Internet.

ISI	Interferencia inter-símbolo.
Kb	kilobytes.
LNA	Amplificador de bajo ruido.
LOS	Línea de vista.
LPU	Unidad de protección de descargas.
MMDS	Servicio de Distribución Multipunto Multicanal.
NLOS	Sin línea de vista.
ODU	Unidad de exterior.
OFDM	Multiplexación por división de frecuencias ortogonales.
OFDMA	Acceso múltiple por división ortogonal de frecuencia.
PIDU	Unidad de conexión interna.
PMP	Punto a multipunto.
PTP	Punto a punto.
RMG	Reserva Marina de Galápagos.
RNI	Radiaciones no ionizantes.
SHF	Frecuencia súper alta.
SS	Estación suscriptora o cliente.
SUPERTEL	Superintendencia de Telecomunicaciones.
TIC	Tecnología de Información y Comunicación.

UHF	Frecuencia ultra alta.
UTP	Par trenzado no blindado.
VHF	Frecuencia muy alta.
VIC	Tarjeta de interfaz de voz.
WAN	Red de área extendida.
WIC	Tarjeta de interfaz WAN.
WIMAX	Interoperabilidad mundial para el acceso por microondas.

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2. 1: Enlace Punto a Punto.....	10
FIGURA 2. 2: Enlace Punto a Multipunto.....	11
FIGURA 2. 3: Enlace Multipunto a Multipunto.....	12
FIGURA 2. 4: Reflexión de una onda de radio.....	13
FIGURA 2. 5: Refracción de una onda.	14
FIGURA 2. 6: Difracción en la cima de una montaña..	15
FIGURA 2. 7: Suma de dos vectores con diferentes ángulos de fase.	16
FIGURA 2. 8: Diagrama del espectro electromagnético, mostrando el tipo, longitud de onda (con ejemplos), frecuencia y la temperatura de emisión de cuerpo negro.	17
FIGURA 2. 9: Propagación de ondas espaciales.....	19
FIGURA 2. 10: Zonas de Fresnel.....	21
FIGURA 3. 1: Huella del satélite Amazonas 1 en banda C.....	27
FIGURA 3. 2: Mantenimiento a transceptor.	28
FIGURA 3. 3: Antena de foco central DPNG-Santa Cruz.	29

FIGURA 3. 4: Sistema de conmutación automático entre LNA y transceptor.	30
FIGURA 3. 5: Transceptores.....	31
FIGURA 3. 6: Consumo transceptor.	32
FIGURA 3. 7: Conversión de 50 watts a dBm.....	33
FIGURA 3. 8: Transceptor de potencia de 10 watts.....	34
FIGURA 3. 9: Consumo transceptor.	35
FIGURA 3. 10: Conversión de 10 watts a dBm.....	35
FIGURA 3. 11: Transceptor de potencia de 5 watts.....	36
FIGURA 3. 12: Consumo transceptor.	37
FIGURA 3. 13: Conversión de 5 watts a dBm.....	38
FIGURA 3. 14: Antena satelital en El Chapin.	39
FIGURA 3. 15: Consumo transceptor de 10 watts.	40
FIGURA 3. 16: Consumo transceptor.	42
FIGURA 3. 17: Mantenimiento a conectores de transceptores.	44
FIGURA 4. 1: Conexión entre SS y BS.....	49
FIGURA 4. 2: Componentes de red, solución PTP Cambium Networks.	56
FIGURA 6. 1: Estructura de red.....	70
FIGURA 6. 2: Espectro electromagnético.	72
FIGURA 6. 3: Cerro Crocker.....	73
FIGURA 6. 4: Presupuesto de enlace.....	80
FIGURA 6. 5: Enlace DPNG Puerto Ayora a Cerro Crocker.....	86

FIGURA 6. 6: Disponibilidad y ancho de banda simulado.	87
FIGURA 6. 7: Enlace Cerro Crocker a Cerro Asilo de La Paz.	88
FIGURA 6. 8: Disponibilidad y ancho de banda simulado.	88
FIGURA 6. 9: Enlace Cerro Asilo de La Paz a DPNG Puerto Velasco Ibarra.	89
FIGURA 6. 10: Disponibilidad y ancho de banda simulado.	90
FIGURA 6. 11: Enlace Cerro Crocker a DPNG Puerto Baquerizo Moreno. ...	90
FIGURA 6. 12: Disponibilidad y ancho de banda simulado.	91
FIGURA 6. 13: Enlace Cerro Crocker a El Chapin.....	92
FIGURA 6. 14: Disponibilidad y ancho de banda simulado.	93
FIGURA 6. 15: Enlace El Chapín a DPNG Puerto Villamil.....	94
FIGURA 6. 16: Disponibilidad y ancho de banda simulado.	94
FIGURA 6. 17: Enlace El Chapín a Cerro Azul.....	95
FIGURA 6. 18: Disponibilidad y ancho de banda simulado.	96
FIGURA 6. 19: Enlace Cerro Azul a Canal Bolívar.	97
FIGURA 6. 20: Disponibilidad y ancho de banda simulado.	97
FIGURA 6. 21: Diagrama de red WAN para la DPNG.	98

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I: Ancho de banda enlaces satelitales.	44
TABLA II: Velocidades de transmisión WIMAX.....	50
TABLA III: Cobertura WIMAX fijo	53
TABLA IV: Velocidad de transmisión PTP 500 y 800.....	57
TABLA V: Rango de cobertura teórico de equipos.	60
TABLA VI: Comparación de parámetros WIMAX y Cambium Networks.	62
TABLA VII: Consumo de ancho de banda pesimista.	68
TABLA VIII: Coordenadas geográficas de sitios.	69
TABLA IX: Distancia entre sitios.	77
TABLA X: Pérdidas en el espacio libre.	79
TABLA XI: Valores de potencia de transmisión y sensibilidad de recepción.	81
TABLA XII: Valores da ganancia de antenas	82
TABLA XIII: Margen de desvanecimiento de enlaces.	82
TABLA XIV: Factor de Rugosidad.....	84
TABLA XV: Confiabilidad de enlaces.....	84
TABLA XVI: Redes de la DPNG.	99
TABLA XVII: Tabla de costos.....	101

INTRODUCCIÓN

La Dirección del Parque Nacional Galápagos (DPNG) es una institución gubernamental del estado ecuatoriano. Su principal función es la protección y el manejo de las áreas protegidas del Archipiélago de Galápagos como son Parque Nacional Galápagos (terrestre) y la Reserva Marina de Galápagos (RMG). La misión de la DPNG es proteger y conservar los ecosistemas del archipiélago y su diversidad biológica para el beneficio de la humanidad, las poblaciones locales, la ciencia y la educación. Para poder llevar a cabo dichas funciones la DPNG cuenta con un punto remoto en Isabela denominado Base Bolívar y Unidades y Oficinas Técnicas en las diferentes islas. Debido al constante aumento de servicios al cual acceden los usuarios de la DPNG, surge la necesidad de diseñar una red WAN con tecnología inalámbrica de banda ancha que permite superar las necesidades actuales y futuras de la institución, descartando para ello la mejora y optimización de la red satelital existente, debido al estado físico y de operación de los equipos.

La DPNG cuenta con varios sitios donde operan repetidoras VHF, los cuales representan puntos estratégicos para el diseño de la red WAN mediante radioenlaces punto a punto, ya que cuentan con línea de vista hacia otros sitios y son viables de acuerdo a los cálculos y simulaciones presentados en el desarrollo del proyecto.

El diseño de la red WAN permitirá mantener conectados las diferentes Unidades, Oficinas y puntos remotos de la institución, para que los usuarios accedan a servicios internos y externos, basados en el concepto de banda ancha sin sobredimensionar la red. Así mismo, se tendrá la administración completa de la red, mejorando la operación y mantenimiento de la misma.

CAPÍTULO 1

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

El presente proyecto tiene como finalidad diseñar la red WAN de la Dirección del Parque Nacional Galápagos mediante radioenlaces punto a punto de banda ancha para mejorar las comunicaciones entre las diferentes Unidades y Oficinas Técnicas de la institución.

1.1 Antecedentes.

La Dirección del Parque Nacional Galápagos tiene como instalaciones principales las Unidades Técnicas Operativas de Isabela y San Cristóbal, la Oficina Técnica de Floreana y un punto remoto en isla Isabela denominado Base Bolívar.

En las Unidades y Oficinas Técnicas se implementan, coordinan, investigan y gestionan los procesos técnicos, de administración y control que tiene a cargo la Dirección del Parque Nacional Galápagos, necesitando para ello documentos, bases de datos, formularios,

transferencia de información, etc.; y otros servicios como es videoconferencia y telefonía.

El 29 de abril del 2003 empezó a funcionar la red WAN satelital de la DPNG de acuerdo al informe *“Red inalámbrica para el Parque Nacional Galápagos que vincula las oficinas Técnicas y puntos remotos de la Reserva Marina de Galápagos, utilizando comunicaciones mediante señales satelitales y de radio para la transmisión de información digital”* [1] presentado al departamento de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). La red WAN está constituida por 5 estaciones terrenas, las cuales describiremos en el capítulo 3, y mantienen una topología física tipo estrella donde el punto central es la estación terrena de Puerto Ayora en isla Santa Cruz.

El 16 de Julio de 2006 se suscribe un contrato con EMITELCO SOLUCIONES para el mantenimiento preventivo y correctivo de la red WAN, los cuales presentaron un Plan de Optimización para la red WAN al departamento TIC, debido al estado físico y de operación de las estaciones terrenas.

Los mantenimientos preventivos y correctivos se han estado realizando desde entonces para mantener la red operativa, pero por

diferentes empresas que ganan el concurso presentado cada año en el portal de compras públicas.

En el 2012 la demanda de servicios por parte de los usuarios aumento considerablemente, por ello algunos equipos satelitales llegaron a su punto máximo de operación, limitando de esta manera el ancho de banda requerido por los usuarios haciendo que sus conexiones sean lentas. Además, todos los equipos de respaldo ya habían sido utilizados, por lo que al presentarse algún daño en un equipo, el mismo debería ser reparado para que la Unidad Técnica Operativa, Oficina Técnica o punto remoto no quedara aislado.

1.2 Justificación.

El sistema satelital presenta interrupciones en su servicio debido a varios factores, que muchas veces son recurrentes por fallas en los equipos satelitales debido a su antigüedad y deterioro. Mientras que en otras ocasiones se suscitan por tormentas solares o cósmicas, eclipses, clima, entre otros factores de orden natural. Asimismo los tiempos de transmisión de ida y vuelta son extensos, alrededor de los 520ms por enlace, algo relevante también es el elevado costo por el servicio satelital en la región.

El aumento de nuevos servicios de red en la DPNG y el acceso a más servicios web gubernamentales (tales como QUIPUX, SRI, Sistema de Compras Públicas, ESIGEF, ESIPREN, etc.) por parte de sus usuarios, impulsa a proponer técnicamente una tecnología de acceso inalámbrica que permita brindar el acceso de banda ancha a los usuarios, tomando en cuenta sus características tecnológicas para establecer enlaces de larga distancia favorables en la zona, considerando las características ambientales y situación demográfica de la región.

La Dirección del Parque Nacional Galápagos cuenta con varios sitios en las diferentes islas donde se encuentran instalados repetidoras de comunicación VHF analógica para los guarda parques, que para el diseño de la red representan un lugar estratégico donde ubicar las estaciones base y estaciones terminales debido a que cuentan con torres, energía, línea de vista, y espacio dónde ubicar los equipos a utilizar en el esquema de la red, lo cual hace que el proyecto sea favorable.

1.3 Objetivos.

A continuación se describe el objetivo general y los objetivos específicos a desarrollarse en el proyecto.

1.3.1 Objetivo General.

Realizar el análisis y diseño de la red WAN para la Dirección del Parque Nacional Galápagos mediante radioenlaces punto a punto, para dimensionar el ancho de banda y velocidad de transmisión entre las Unidades y Oficinas Técnicas de la institución.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Realizar un análisis situacional de la red WAN con tecnología satelital de la Dirección del Parque Nacional Galápagos
- Determinar la tecnología de acceso inalámbrico más viable que permita satisfacer las demandas tecnológicas y operativas de la nueva reestructura organizacional de la Dirección del Parque Nacional Galápagos.
- Establecer los fundamentos teóricos para el desarrollo del presente Proyecto de Tesis.
- Diseñar la red WAN mediante enlaces punto a punto de banda ancha para que cumpla con los requerimientos de la nueva reestructura de la Dirección del Parque Nacional Galápagos.
- Proponer y elaborar un análisis económico que permita determinar el valor actual del proyecto, y los beneficios funcionales del mismo.

1.4 Alcance.

El presente proyecto pretende analizar la red WAN satelital de la DPNG y los sitios donde se pueden ubicar nuevas estaciones para el diseño de una red WAN mediante radioenlaces punto a punto, de modo que se pueda desarrollar enlaces que reflejen y cubran las necesidades actuales y futuras de la nueva reestructuración de la DPNG.

En el proyecto se analizará la tecnología inalámbrica WIMAX y la Solución PTP de Cambium Networks y no discutirá otras tecnologías existentes.

Para el dimensionamiento de la red, se tomarán los datos proporcionados por el departamento TIC, en cuanto al consumo de servicios (Kbps) y el número de usuarios que acceden al mismo.

Para el diseño de la red, se escogerán aquellos sitios que permitan establecer un buen enlace acorde a las necesidades, y en lo posible aquellos donde ya exista infraestructura, debido a políticas ambientales, dicha información será tomada de los informes de los sistemas AIS y VHF entregados al Departamento Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC).

Además se tomará como referencia, estudios realizados anteriormente sobre la implementación, optimización, planes de mantenimientos de la red WAN realizados y presentados al Departamento TIC.

Cabe mencionar que previo al uso y análisis de la información, se pidió autorización al departamento TIC obteniendo una respuesta favorable. En el Anexo F y G se pueden observar los documentos mencionados.

1.5 Limitaciones.

El proyecto se realizará en base a los requerimientos de la DPNG y se enfocará en el diseño de la red WAN de la DPNG mediante enlaces punto a punto, mas no en la mejora u optimización de la red WAN satelital, debido a que por parte del personal técnico de la DPNG a cargo del monitoreo de las redes LAN y WAN no es su visión continuar con el sistema satelital en vista de que la instalación de la red satelital se realizó en el 2003, por ello prefieren continuar con una nueva tecnología que brinde más y mejores beneficios para la institución.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO.

Este capítulo contiene los conceptos básicos de radiofrecuencia RF, una introducción a los radioenlaces, como funcionan, que fenómenos afectan o interfieren en la comunicación; además, se mencionará el comportamiento de las ondas electromagnéticas y la forma de propagación de las mismas.

2.1 Radioenlace.

Un radioenlace es la interconexión entre dos terminales de comunicaciones, el cual puede ser fijo si ambos terminales son fijos y móvil si alguno de ellos lo es. [2]

Un radioenlace se establece básicamente entre puntos visibles y sin obstáculos en su recorrido, para que la propagación de la señal no se vea afectada por factores como la reflexión y difracción, por ello es recomendable que los puntos terminales se encuentren en lugares

altos y que su recorrido topográfico no presente grandes obstáculos que impidan o deterioren el rendimiento del enlace.

Un radioenlace utiliza una comunicación del tipo dúplex, lo que implica utilizar dos portadoras, una para la transmisión y otra para la recepción, siendo el par de frecuencias utilizadas en la transmisión y recepción de las señales, el radio canal. [2].

Los radio enlaces pueden clasificarse de acuerdo a la interconexión de los terminales, pudiendo ser enlaces Punto a Punto, Punto a Multipunto y Multipunto a Multipunto; los mismos que describiremos a continuación.

2.1.1 Enlace Punto a Punto.

Cuando un enlace de radio se compone de dos puntos, los cuales se apuntan entre sí para poder establecer la comunicación se denomina enlace punto a punto. Los enlaces punto a punto se utilizan generalmente para enlazar sitios u oficinas distantes, los cuales no cuentan con acceso a internet o algún servicio que sea necesario para que los usuarios puedan laborar, como el acceso al servidor de base de datos. Uno de los puntos del enlace tendrá el acceso a Internet, a base de datos, etc., mientras que el otro punto utiliza el enlace para acceder a esos servicios. Un enlace punto a punto no

necesariamente se utiliza para acceder a internet, también puede ser utilizado para monitorear o capturar datos de algún lugar de difícil acceso como una montaña o isla. [3].

Los enlaces punto a punto permiten comunicar sitios ubicados a grandes distancias, siempre y cuando cuenten con la línea de vista, el espacio libre de obstáculos y las antenas que favorezcan la operación y funcionamiento del enlace. Pudiendo de esta manera utilizar la conexión central a internet entre varios sitios que no cuenten con el servicio, o incluso complementar o reemplazar enlaces dedicados existentes [3].

Ver figura 2.1.

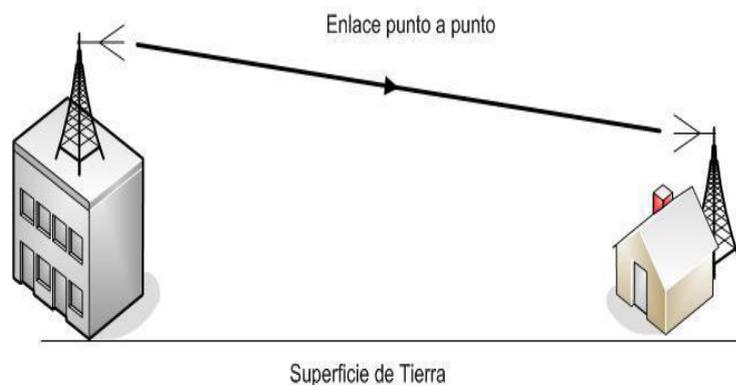


Figura 2. 1: Enlace punto a punto. [3]

2.1.2 Enlace Punto a Multipunto.

Un enlace punto a multipunto se compone de un punto de acceso central, al cual se encuentran conectadas varias

estaciones. Ver Figura 2.2. Una red punto a multipunto es útil para los ISP, ya que su misión es brindar internet a varios usuarios ubicados en diferentes sitios desde su estación central.

Otro ejemplo es el uso de un punto de acceso inalámbrico que permite la conexión a internet a varias computadoras portátiles. [3].

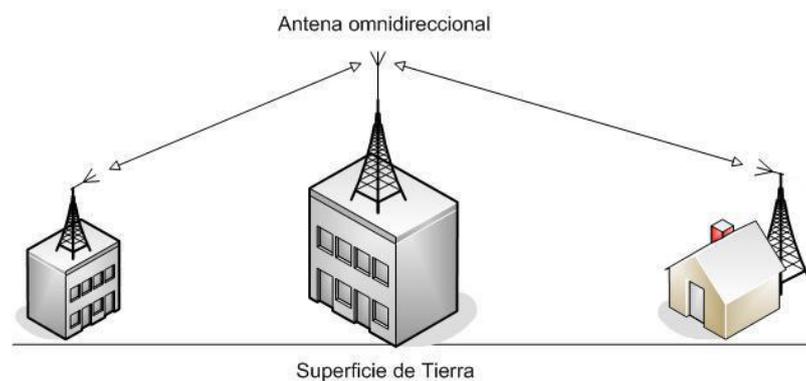


Figura 2. 2: Enlace punto a multipunto. [3]

2.1.3 Enlace Multipunto a Multipunto.

El enlace multipunto a multipunto, también denominado malla (mesh), es una red en la que todos los nodos se encuentran comunicados entre sí. Ver Figura 2.3. Este tipo de redes es altamente redundante y a pesar de perder la comunicación con un nodo los demás permanecen comunicados. Si uno de los

nodos tiene acceso a internet, todos los usuarios podrán acceder al servicio [3].

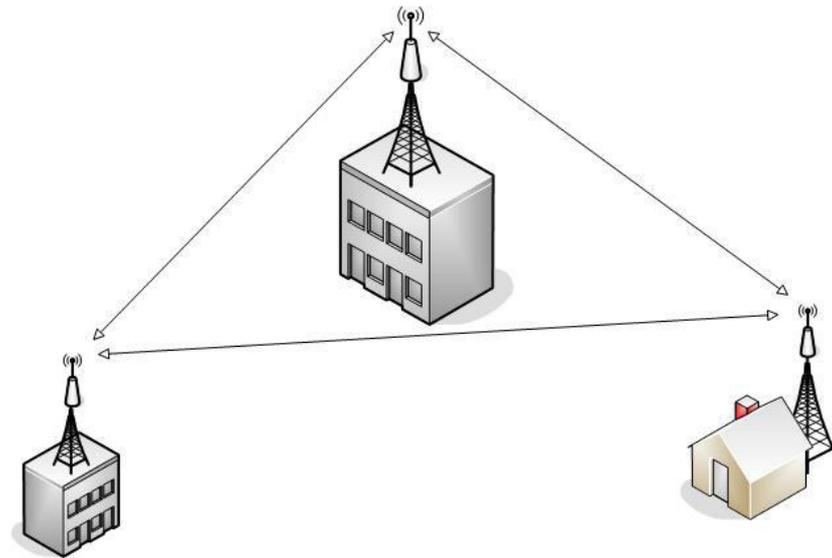


Figura 2. 3: Enlace multipunto a multipunto.

2.2 Ondas Electromagnéticas.

Una onda electromagnética se produce por el movimiento de una carga eléctrica, y están constituidas por campos eléctricos y magnéticos que oscilan ortogonalmente y en la dirección de propagación de la onda. Una onda electromagnética se repite a una distancia determinada, llamada longitud de onda y se propaga libremente por el aire a velocidades de 300.000km/s. Las ondas electromagnéticas ejercen presión sobre una superficie, debido a que transportan energía y cantidad de movimiento. [4].

Las ondas de radio presentan varias propiedades que afectan su trayectoria y alcance. Debido a que la mayor parte de los radioenlaces del proyecto se encuentran sobre el océano, las propiedades de reflexión y refracción están presentes permanentemente. Otras propiedades son la difracción y la interferencia.

Reflexión: Esta propiedad cumple con que, el ángulo de incidencia de una onda sobre una superficie es igual al ángulo de reflexión, como se observa en la Figura 2.4. El agua y los metales son excelentes reflectores para las ondas de radio, y en la provincia de Galápagos el océano rodea las islas. Las mareas y olas crean un efecto de reflexión difícil de calcular o predecir, pero debe tomarse en cuenta.

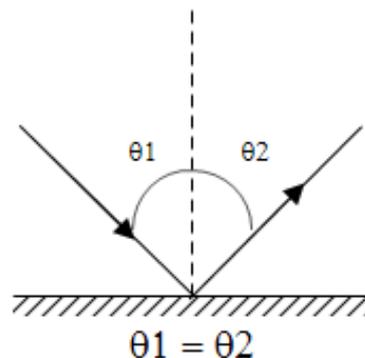


Figura 2. 4: Reflexión de una onda de radio. [4].

Refracción: Cuando una onda viaja de un medio a otro, cambia su velocidad y dirección. El ángulo de incidencia se forma con la normal y

el rayo incidente, el ángulo de refracción está formado por la normal y el rayo refractado. Ver Figura 2.5. [4].

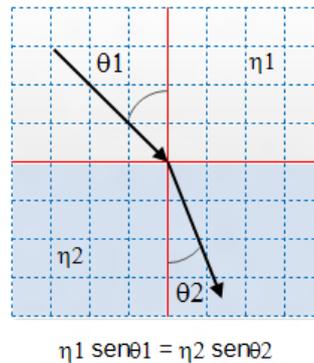


Figura 2. 5: Refracción de una onda. [4].

Cuando la onda viaja de un medio a otro dónde la onda viaja más rápido, la onda refractada se acerca a la normal, mientras que si viaja a un medio donde la velocidad es menor, la onda se aleja de la normal.

El aire y el agua son dos medios donde la onda puede refractarse, y debido a la ubicación geográfica de las islas esta propiedad de las ondas está presente.

Difracción: La difracción es el efecto de las ondas electromagnéticas que le permiten rodear obstáculos, y que dan la impresión de que las ondas se doblan, aunque debido al pequeño tamaño de la longitud de onda de luz visible, este efecto no puede ser observado por personas. [3].

Gracias al efecto de la difracción se pueden alcanzar lugares sin línea de vista directa, pero la desventaja es que la potencia de la onda refractada es mucho menor que el frente de onda que la provoca. Este efecto se lo puede utilizar en circunstancias específicas, como rodear obstáculos. [3], [4].

Las microondas revelan los efectos de difracción cuando chocan con muros, cerros y otros obstáculos. Ver Figura 2.6.

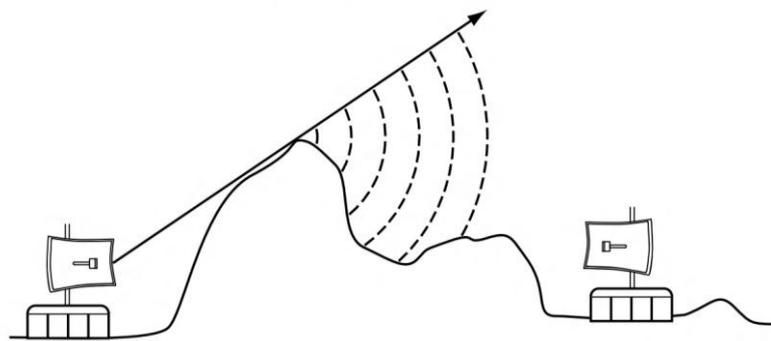


Figura 2. 6: Difracción en la cima de una montaña. [3].

Interferencia: En redes inalámbricas la interferencia puede ser provocada por redes adyacentes operando en el mismo rango de frecuencias haciendo que el espectro se sature, u otras fuentes microondas. La interferencia se produce cuando dos o más ondas electromagnéticas se combinan afectando al funcionamiento del sistema, si las crestas de las ondas coinciden se suman, produciendo una interferencia constructiva. Mientras que una interferencia

destruktiva se da cuando la cresta de una onda coincide con el valle de otra anulándose entre sí.

En el espacio libre, las ondas que se propagan pueden tener diferente polarización electromagnética y ángulos de fase, que al encontrarse pueden producir una suma o resta de vectores. Ver Figura 2.7.

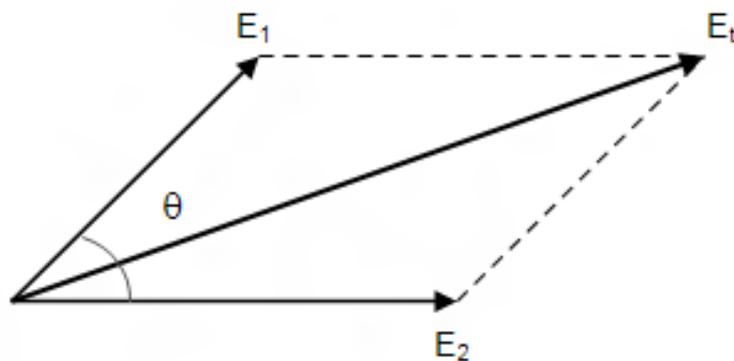


Figura 2. 7: Suma de dos vectores con diferentes ángulos de fase.

2.3 Espectro Electromagnético.

Las ondas electromagnéticas cubren un amplio rango de frecuencias, que van desde las ondas de radio hasta los rayos gamma. La parte más familiar del espectro electromagnético para los seres humanos es la porción visible del espectro, la luz. Para los radioenlaces se utilizan las microondas. [5]. Ver Figura 2.8.

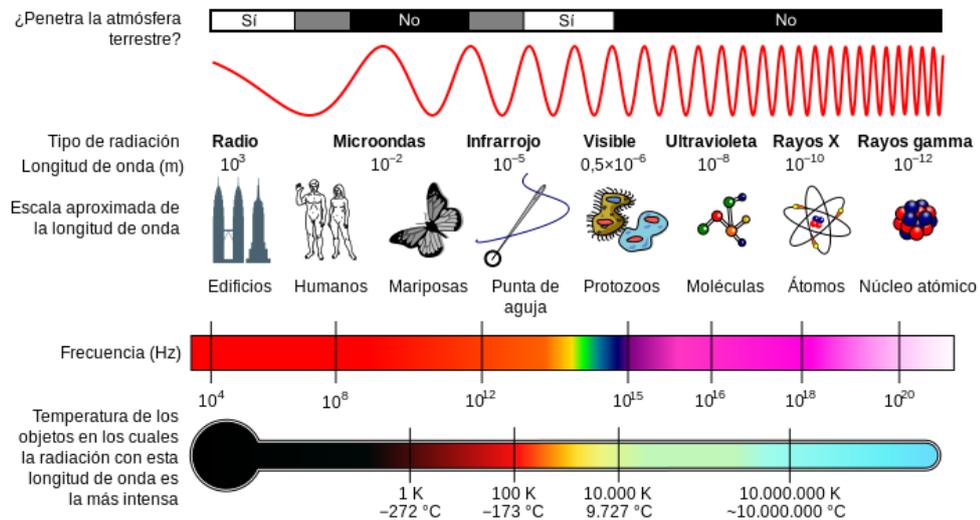


Figura 2. 8: Diagrama del espectro electromagnético, mostrando el tipo, longitud de onda (con ejemplos), frecuencia y la temperatura de emisión de cuerpo negro [6].

2.4 Propagación.

Las ondas electromagnéticas se propagan por la atmósfera terrestre, la cual introduce pérdidas en la transmisión de la señal. Una onda electromagnética en su propagación, al igual que la luz, viaja en línea recta y con una velocidad de 300000000 m/s, por ello para que una onda de radio se propague por la atmósfera se necesita que la energía se irradie de una fuente, que generalmente son las antenas. [7].

Las ondas electromagnéticas transversales se propagan por materiales dieléctricos, como el aire, pero al atravesar conductores como el agua de mar, que está presente en las islas Galápagos, sufre

pérdidas, debido al desvanecimiento de la energía de la onda en el mar.

La propagación de una onda por la atmósfera también se conoce como propagación por el espacio libre, a pesar de que el espacio libre incluye al vacío [7].

Propagación de Ondas Espaciales: Las ondas espaciales son aquellas ondas directas y reflejadas de tierra que viajan varios kilómetros en la parte inferior de la atmósfera. Cuando una onda espacial se propaga en línea recta entre las antenas de transmisión y recepción se denomina transmisión con línea de vista. La curvatura de la tierra afecta la propagación de las ondas espaciales, debido a reflexiones en la superficie de la Tierra, además presenta un horizonte en la propagación de las ondas espaciales, también conocido como *radio horizonte*, el cual puede alargarse colocando las antenas en sitios elevados como montañas o edificios y en la altura máxima de una torre. El radio horizonte se extiende más allá del horizonte óptico, debido a las refracciones y reflexiones de la atmósfera. [7].

Las ondas espaciales se muestran en la Figura 2.9.

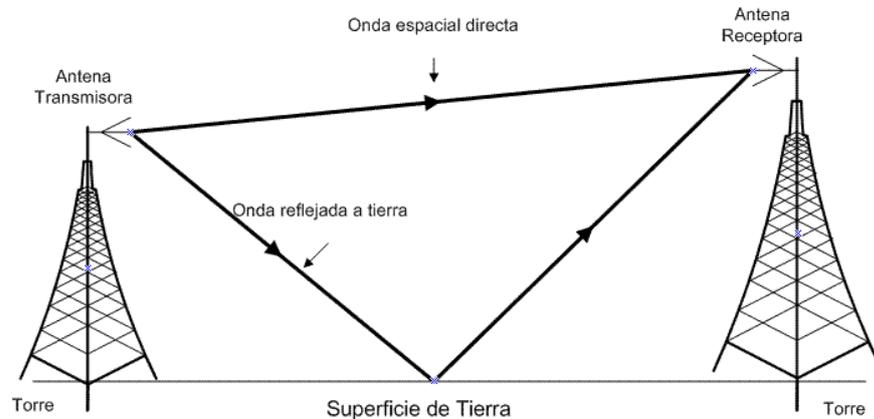


Figura 2. 9: Propagación de ondas espaciales [7].

2.5 Zona de Fresnel.

La zona de Fresnel es un concepto fundamental que debe tomarse en cuenta al diseñar radioenlaces, debido a que este factor es determinante para un buen funcionamiento y rendimiento del radioenlace que se desee implementar. El cálculo de la zona de Fresnel toma en consideración los obstáculos presentes entre el emisor y receptor de las señales de radio. Para que un radioenlace sea factible debe tener despejado al menos el 60% de la zona de Fresnel en distancias cortas, pero mientras mayor sea la longitud del radioenlace esta zona debe estar despejada casi el 100% ya que debe considerarse la curvatura de la tierra. [8] [9].

Las ondas de radio al pasar cerca de un objeto, pueden cambiar su forma y dirección dependiendo cuán cerca estuvo el objeto. Incluso si

el objeto no está en la ruta punto a punto con línea de vista, el objeto puede afectar la calidad y nivel de señal recibida.

Se define como zona de Fresnel al área alrededor de un enlace con línea de vista que debe estar libre de obstrucciones, que puedan causar reflexiones con cambio de fase que degraden significativamente la calidad de la señal, como se puede observar en la Figura 2.10.

Para establecer las zonas de Fresnel, primero debemos determinar la línea de vista de RF (Radio Frecuencia), esta es la línea recta que une los focos de las antenas transmisora y receptora. [8]

La fórmula genérica de cálculo de las zonas de Fresnel es:

$$r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (2.1)$$

Donde:

r_n = radio de la enésima zona de Fresnel. (n=1, 2,3...).

d_1 = distancia desde el transmisor al objeto en km.

d_2 = distancia desde el objeto al receptor en km.

λ = Longitud de onda de la señal transmitida en metros.

D = distancia entre desde el transmisor al receptor.

P = perfil del terreno.

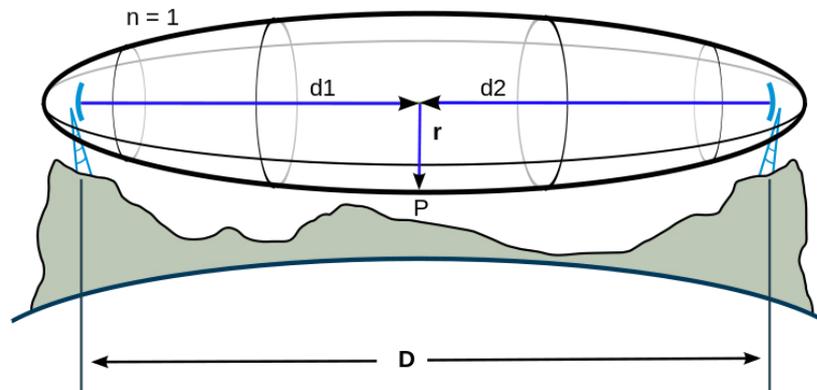


Figura 2. 10: Zonas de Fresnel [10].

2.6 Principales fenómenos que afectan a un Radioenlace.

En la radiocomunicación existen varios fenómenos que interfieren e interrumpen la comunicación entre las estaciones involucradas, por ello mencionaremos los fenómenos más relevantes que debemos tomar en cuenta en la realización del proyecto.

2.6.1 Interferencia.

Existen varios tipos de interferencia. La interferencia constructiva se da cuando los dos crestas de dos ondas coinciden, por lo tanto se suman. La interferencia destructiva se da cuando una cresta de una onda coincide con un valle de otra onda y se anulan entre sí. En redes inalámbricas la interferencia

es considerada como alteraciones provocadas por otras redes o fuentes de microondas. Las técnicas de modulación y el uso de canales múltiples ayudan a disminuir la interferencia.

2.6.2 Atenuación.

Es la reducción de densidad de potencia con la distancia, que equivale a una pérdida de potencia. Se expresa en general en función del logaritmo común de la relación de densidades de potencia (Pérdida en dB). Se produce básicamente por la presencia de obstáculos en la ruta por lo que se reduce la fuerza de la señal transmitida [11].

2.6.3 Desvanecimiento.

Se refiere a las variaciones de la intensidad de la señal recibida, provocadas por cambios en el medio (cambios atmosféricos como lluvia) o por las diferentes trayectorias tomadas por las señales (multitrayectoria) que causan interferencia. El receptor recibirá varias señales con diferentes fases que pueden sumarse, restarse o anularse, estos cambios provocarán que la amplitud de la señal se incremente o se desvanezca.

El término desvanecimiento se refiere a que dicha señal es atenuada debido a la pérdida en el espacio, los obstáculos y resistencia que debe traspasar durante toda su trayectoria hasta su destino. También lo podemos definir como una variación temporal de la amplitud, fase y polarización de la señal recibida con relación a la señal nominal debido al trayecto de Propagación: multitrayecto, conductos, reflexión, difracción y dispersión [12].

2.6.4 Reflexión.

Como se mencionó en las propiedades ópticas de las ondas electromagnéticas, la reflexión afecta al rendimiento de un radioenlace. En la provincia de Galápagos la mayoría de radioenlaces atraviesan el océano, por lo que este factor debe ser mitigado utilizando diversidad espacial en los equipos de comunicación.

2.6.5 Difracción.

Así mismo la difracción es una propiedad óptica de las ondas electromagnéticas que ya se analizó.

La difracción es un fenómeno que permite enlazar lugares con línea de vista y en algunos casos sin ella. Debido a este

fenómeno algunos radioenlaces pueden ser factibles para su implementación, mientras que otros no debido a que la potencia de la señal recibida es muy baja.

2.6.6 Cambio de Polarización.

Se producen cuando la señal rebota en objetos u obstáculos presentes en la ruta. La señal que está siendo transmitida por polarización vertical podría terminar en un punto entre la polarización vertical y horizontal en la antena receptora. La polarización describe la dirección del vector del campo eléctrico en la onda que se propaga.

Se dice que una onda está polarizada verticalmente cuando estas líneas tienen dirección vertical, y cuando son perpendiculares a ella tiene polarización horizontal; en variados casos y particularmente con las ondas de VHF, UHF y SHF sucede que la polarización no sigue siempre el mismo plano, pudiendo variar su sentido cuando a lo largo de su desplazamiento se producen reflexiones intencionadas o casuales [13].

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE LA RED WAN DE LA DPNG.

La DPNG cuenta con una red WAN satelital que fue instalada y entró en funcionamiento en el año 2003. La red mantiene su topología física tipo estrella teniendo como estación central la estación terrena maestra de Puerto Ayora en la isla Santa Cruz, las otras estaciones se encuentran ubicadas en las islas San Cristóbal, Floreana e Isabela.

El presente capítulo analizará el estado físico y de operación de los equipos en las diferentes estaciones terrenas, para tener un precedente de cómo es el funcionamiento de los equipos en ambientes adversos como el que existe en la provincia de Galápagos, y para tener un registro del ancho de banda que se tiene en los enlaces satelitales, necesario para tener una base en el diseño de la red WAN con radioenlaces punto a punto.

También forma parte del sistema satelital, el satélite, por ende se describirá el satélite que permite comunicar las diferentes estaciones terrenas, destacando sus características principales.

3.1 Satélite Operativo.

El satélite permite la transmisión y distribución de la información entre diversos puntos de la Tierra separados por largas distancias y la característica principal que se toma de un satélite es su huella o PIRE. El satélite que permite comunicar las diferentes estaciones terrenas para la DPNG es el satélite Amazonas 1.

El Amazonas 1 es un satélite que da cobertura con capacidad transatlántica y panamericana a todo el continente americano. HISPAMAR SATELITES, compañía brasileña filial de HISPASAT, es la encargada de la explotación comercial del satélite. En la Figura 3.1 se observan las huellas del satélite, que indican la intensidad de señal captada por la antena receptora. La intensidad de señal recibida en las islas bordea los 33 dB. [12].



Figura 3. 1: Huella del satélite Amazonas 1 en banda C [14].

3.2 Descripción y Estado de Operación de las Estaciones Terrenas.

La red WAN satelital cuenta con 5 estaciones terrenas configuradas en una topología física tipo estrella, teniendo como punto central la estación terrena maestra de Puerto Ayora en la Isla Santa Cruz.

Las estaciones terrenas deben soportar los climas salados y húmedos a los que se encuentran expuestos en la provincia, lo cual genera que las partes expuestas de los equipos se sulfaten, oxiden y dañen. Los costos de reparación de los equipos en fábrica son elevados, toman

varios días incluso semanas en retornar, por ello con el tiempo se ha procedido a realizar mantenimientos y reemplazar partes entre equipos, como se observa en la Figura 3.2, para permitir la operación de al menos uno de ellos. Cabe mencionar que, al tiempo de reparación debe añadirse el tiempo de movilización entre islas, que dependiendo la disponibilidad de lanchas de la DPNG puede tomar varias horas o días, haciendo que el operador de la red WAN se traslade en embarcaciones de uso público para solventar el problema.



Figura 3. 2: Mantenimiento a transceptor.

La disponibilidad de los enlaces se ve afectado por diferentes factores, uno de ellos son las manchas solares que interrumpen la comunicación por varios minutos, tal efecto no se lo puede mitigar por lo que siempre está presente, por lo general dos veces al año en Marzo y Septiembre.

A continuación describiremos cada una de las estaciones terrenas que conforman la red WAN localizadas en las diferentes islas y puntos estratégicos que le permiten a la DPNG llevar a cabo el control y manejo del Parque Nacional y la Reserva Marina de Galápagos.

3.2.1 Isla Santa Cruz.

En esta isla se encuentra la estación terrena maestra, ubicada en las instalaciones de la DPNG en Puerto Ayora, a continuación describiremos las partes que conforman esta estación:

- Antena de foco central de 5,4 m de diámetro, que se aprecia en la Figura 3.3.

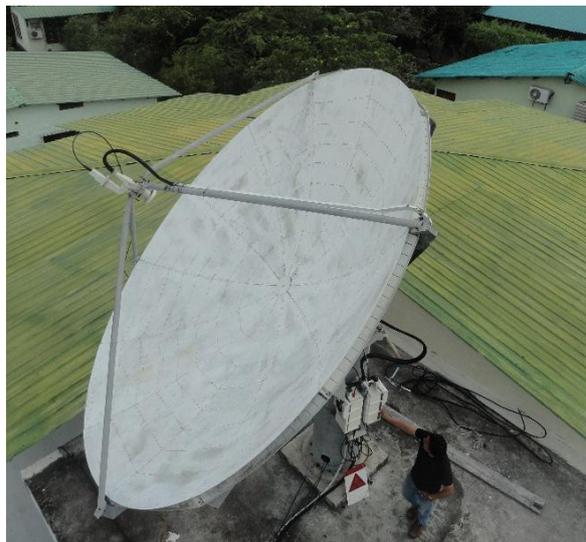


Figura 3. 3: Antena de foco central DPNG-Santa Cruz.

- Un alimentador satelital, para transmisión y recepción de señales electromagnéticas.
- Un sistema de conmutación automático para dos dispositivos en la conexión entre el LNA y el transceptor (transceiver), que se aprecia en la Figura 3.4.



Figura 3. 4: Sistema de conmutación automático entre LNA y transceptor.

- Dos LNA en banda C.
- Líneas de transmisión para el rango de frecuencia de operación (Banda C). Se utiliza cable coaxial Heliax LDF4-50A.
- Guía de onda rectangular con dimensión WR137.
- Dos transceptores modelo CSAT-5060 de 50 watts de potencia para transmitir varias portadoras. Ver Figura 3.5.



Figura 3. 5: Transceptores.

- Sistema de conmutación automático para encaminar la onda electromagnética del transceptor que opera, pero actualmente está dañado.
- Líneas de transmisión para la banda de operación IF, cable coaxial RG-8.
- Un divisor (Splitter) de 8 vías modelo ZFSC-8375, para enviar todas las señales IF al transceptor.
- Modem satelital.
- Cables de interfaz V35 a serial.
- Enrutador de comunicaciones con interfaces WIC, VIC y Ethernet.
- Cable UTP categoría 5e para la conexión con conmutador (switch) principal.

Luego de describir las partes y equipos con las que cuenta esta estación analizaremos el estado de funcionamiento de algunos equipos, los cuales a inicios del 2012 se encontraban operando en su máxima capacidad, lo cual representa un problema para los usuarios y para el personal técnico que se encarga del mantenimiento de las redes de la DPNG.

En la Figura 3.6, se aprecia que el transceptor principal se encuentra operando a su máxima capacidad de acuerdo a la conversión de watts a dBm mostrada en la Figura 3.7.

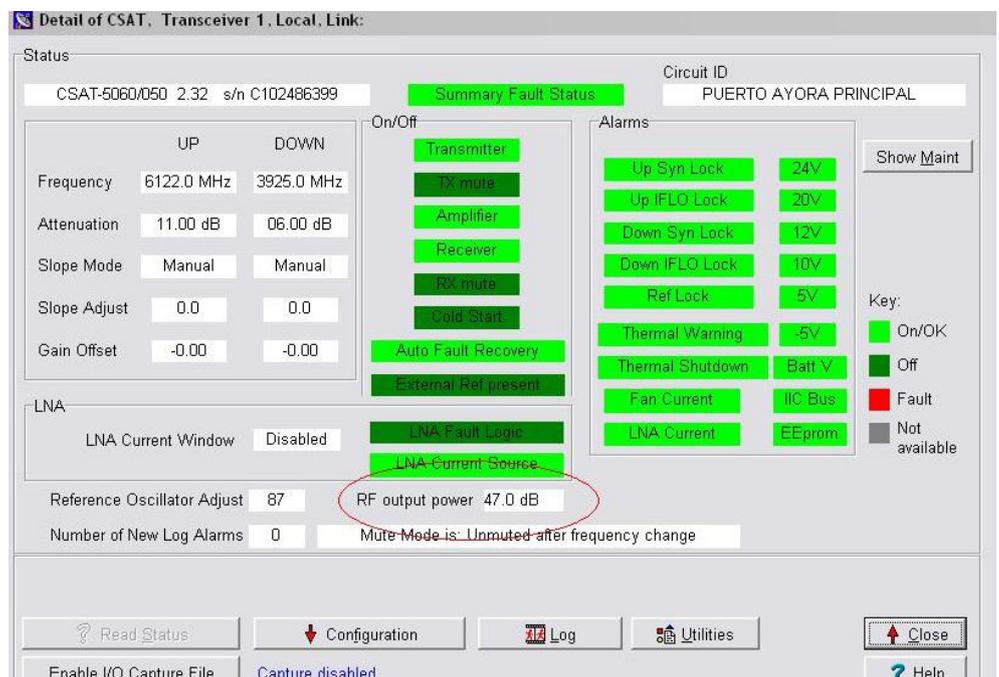
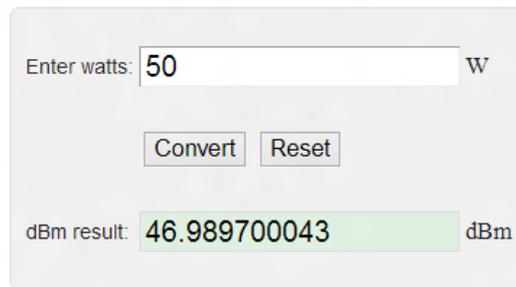


Figura 3. 6: Consumo transceptor.



The image shows a web-based interface for converting power from Watts to dBm. At the top, there is a text input field labeled "Enter watts:" containing the value "50" and a unit selector "W". Below this are two buttons: "Convert" and "Reset". At the bottom, there is a text output field labeled "dBm result:" containing the value "46.989700043" and a unit selector "dBm".

Figura 3. 7: Conversión de 50 watts a dBm. [15]

El sistema de conmutación automático para encaminar la onda electromagnética del transceptor que opera se encuentra dañado, por lo que la conmutación debe hacerse manualmente.

3.2.2 Isla San Cristóbal.

La estación terrena de San Cristóbal se encuentra ubicada en las instalaciones de la DPNG en Puerto Baquerizo Moreno, las partes que la conforman son las siguientes:

- Antena de foco desplazado de 3,8m de diámetro
- Un alimentador satelital, para transmisión y recepción de señales RF.
- LNA en Banda C.
- Líneas de transmisión para el rango de frecuencia de operación en Banda C.

- Transceptor (transceiver) de potencia de 10 watts para transmitir una portadora. Ver Figura 3.8.



Figura 3. 8: Transceptor de potencia de 10 watts.

- Líneas de transmisión para la frecuencia de operación IF.
- Cable de consola para monitorear el transceptor.
- Módem satelital para Banda C.
- Cables de interfaz V35 a serial, entre el módem y el enrutador (router).
- Enrutador con interfaz WAN y Ethernet.
- Cable UTP para conexión entre el conmutador (switch) y la red interna.

El estado de operación de los equipos en esta estación terrena se muestra en las Figuras 3.9 y 3.10, en las cuales se observa que el transceptor se acerca a su punto máximo de operación.

Y de acuerdo a las necesidades futuras de la DPNG, este equipo no podrá satisfacer las demandas de servicio requeridas:

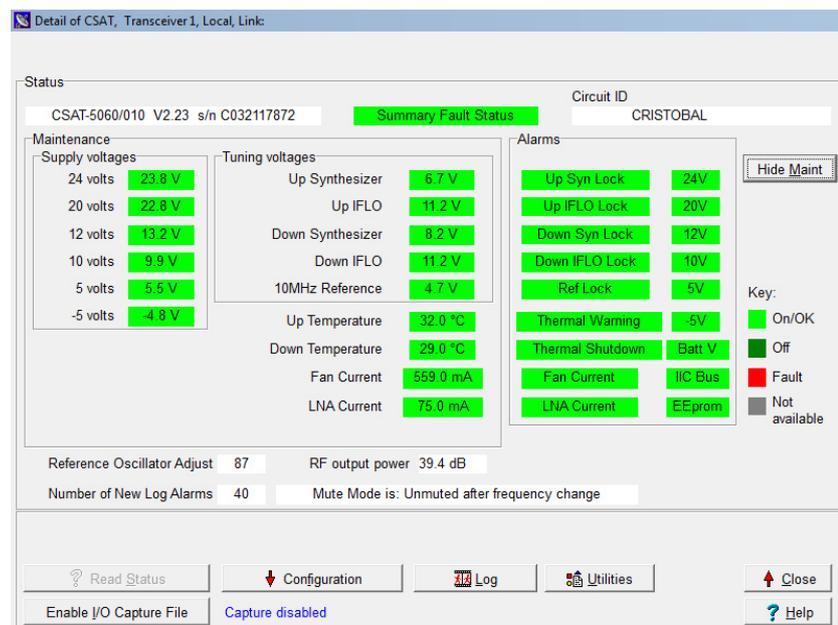


Figura 3. 9: Consumo transceptor.

Enter watts: W

dBm result: dBm

Figura 3. 10: Conversión de 10 watts a dBm. [15].

3.2.3 Isla Floreana.

La oficina de la DPNG en Floreana se encuentra ubicada en Puerto Velasco Ibarra y la estación terrena se encuentra en las

instalaciones de esta Oficina Técnica. Los equipos con los que cuenta se detallan a continuación:

- Una antena de foco desplazado de 3,8m de diámetro.
- Un alimentador satelital.
- LNA en Banda C.
- Líneas de transmisión para el rango de frecuencia de operación en Banda C.
- Transceptor de potencia de 5 Watts para transmitir una portadora, que se aprecia en la Figura 3.11.



Figura 3. 11: Transceptor de potencia de 5 watts.

- Líneas de transmisión para la frecuencia de operación IF.
- Módem satelital para Banda C.
- Cables de interfaz V35 a serial, entre el módem y el enrutador.
- Enrutador con interfaz WAN y Ethernet.

- Cable UTP para la conexión entre el conmutador y la red interna.

El estado de operación del transceptor de esta estación terrena se muestra a en la Figura 3.12 y 3.13, en las cuales se observa que el transceptor está próximo a su punto máximo de operación. Además el módem satelital presenta fallas en la transmisión de acuerdo al análisis IF y RF realizado al equipo.

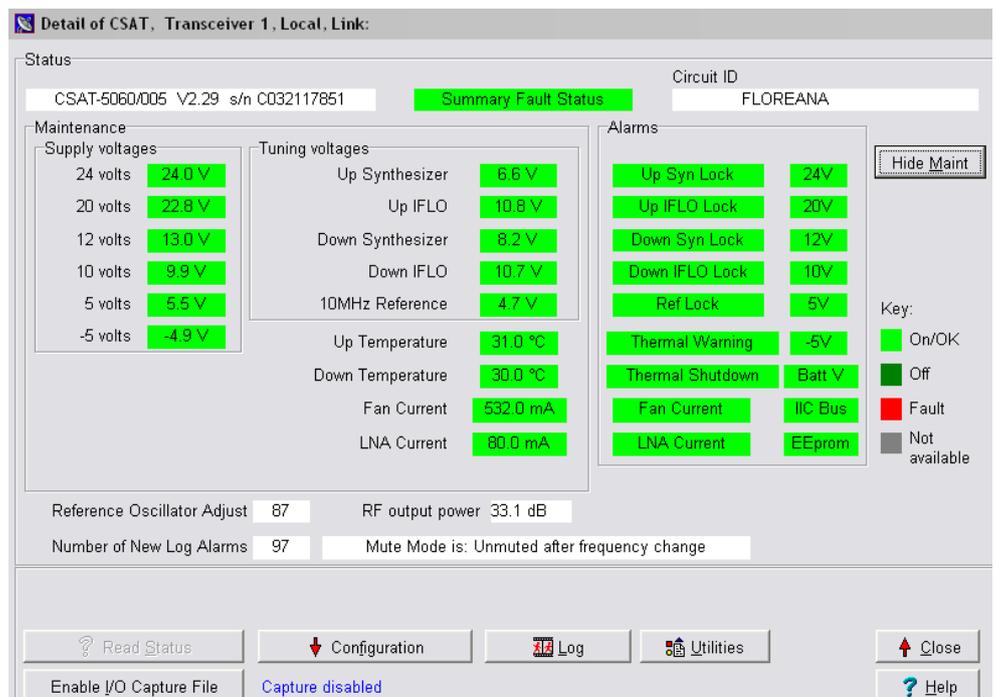


Figura 3. 12: Consumo transceptor.



The image shows a web-based conversion tool. At the top, there is a text input field labeled "Enter watts:" containing the number "5", followed by a unit indicator "W". Below this are two buttons: "Convert" and "Reset". At the bottom, there is a text output field labeled "dBm result:" containing the value "36.989700043", followed by a unit indicator "dBm". The output field has a light green background.

Figura 3. 13: Conversión de 5 watts a dBm. [15].

3.2.4 Isla Isabela.

En Isabela se encuentran dos Estaciones Terrenas, una de ellas se encuentra en Puerto Villamil, y la otra en un punto remoto al norte de la isla denominado Base Bolívar.

Puerto Villamil:

La estación terrena en Puerto Villamil se encuentra instalada en un sitio denominado El Chapín, desde éste lugar existen radio enlaces para conectar el Centro de Crianza y la Oficina Técnica. Los equipos con los que cuenta la estación terrena se detallan a continuación:

- Un alimentador satelital.
- LNA en Banda C.
- Líneas de transmisión para el rango de frecuencia de operación en Banda C

- Transceptor de potencia de 10 Watts para transmitir una portadora.
- Líneas de transmisión para la frecuencia de operación IF.
- Módem satelital para Banda C.
- Cables de interfaz V35 a serial, entre el módem y el enrutador.
- Una antena de foco desplazado de 3,8m de diámetro, que se aprecia en la Figura 3.14.



Figura 3. 14: Antena satelital en el Chapin.

- Enrutador con interfaz WAN y Ethernet.
- Cable UTP para la conexión entre el conmutador y la red interna.

El ancho de banda debe aumentar para cubrir la demanda requerida por los usuarios de esta Unidad Técnica. En la Figura 3.15 se observa que el transceptor se encuentra operando en su máxima capacidad.

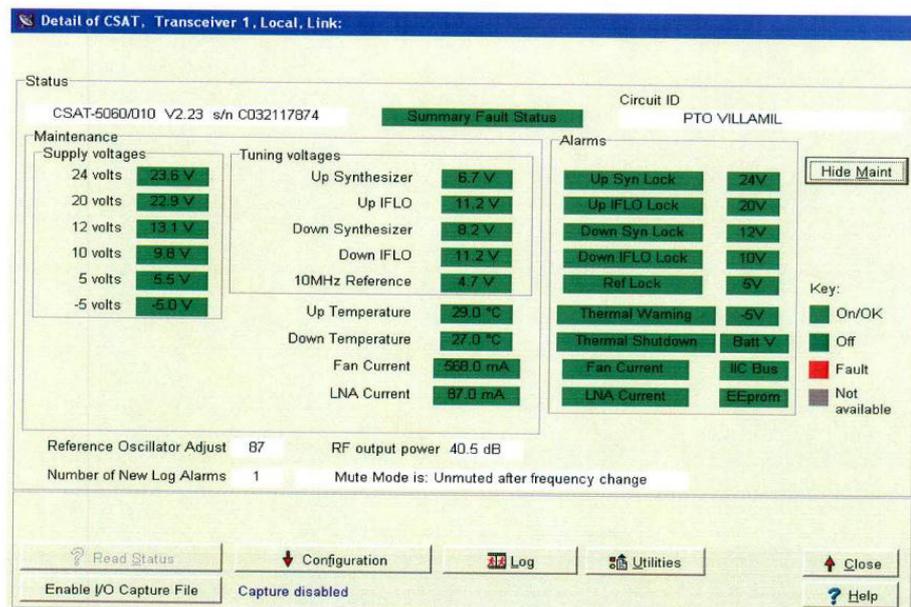


Figura 3. 15: Consumo transceptor de 10 watts.

Canal Bolívar.

Canal Bolívar es un sitio estratégico para llevar a cargo el control de la Reserva Marina de Galápagos. En este lugar la DPNG cuenta con una caseta donde residen los guardaparques encargados de monitorear la parte norte de Isabela, y reportan las novedades e informes a la Unidad Técnica de Santa Cruz.

La estación terrena de Canal Bolívar cuenta con los siguientes equipos:

- Una antena de foco desplazado de 3,8m de diámetro.
- Un alimentador satelital.
- LNA en Banda C.
- Líneas de transmisión para el rango de frecuencia de operación en Banda C
- Transceptor de potencia de 5 Watts para transmitir una portadora.
- Líneas de transmisión para la frecuencia de operación IF.
- Módem satelital para Banda C.
- Cables de interfaz V35 a serial, entre el módem y el enrutador.
- Enrutador con interfaz WAN y Ethernet.
- Cable UTP para la conexión entre el conmutador y la red interna.

El estado de operación del transceptor se muestra en la Figura 3.16, cabe recalcar que el ancho de banda asignado a este sitio debe aumentar de acuerdo a los requerimientos de la DPNG.

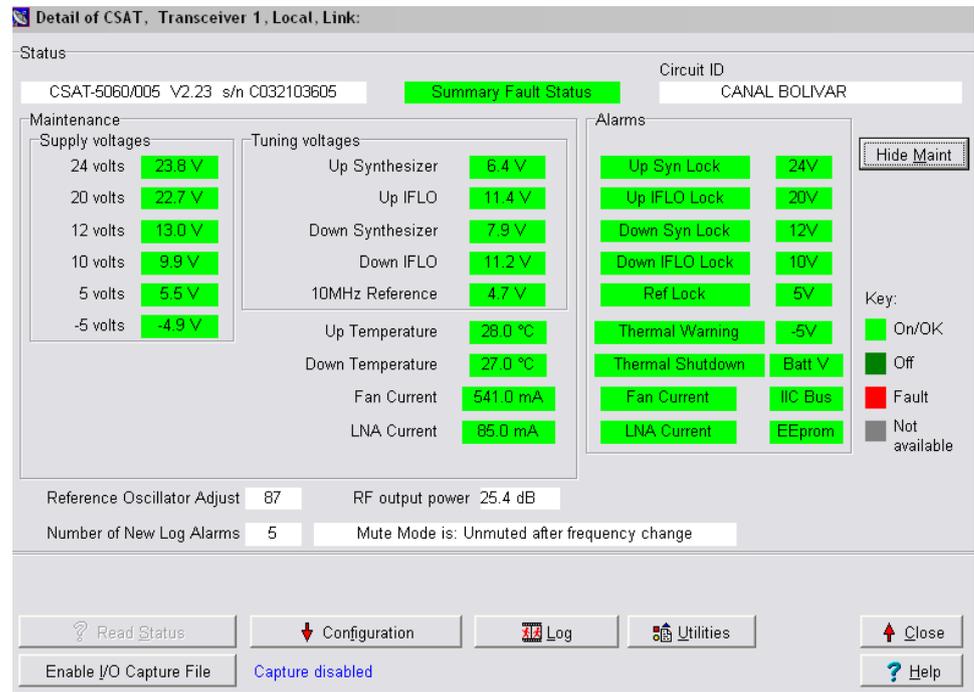


Figura 3. 16: Consumo transceptor.

La DPNG no cuenta con transceptores ni módem satelitales de respaldo, debido a que los mismos ya han sido utilizados. Los conectores de las líneas de transmisión se encuentran sulfatados en la mayoría de estaciones terrenas, las antenas satelitales presentan óxido en varias partes. Estos factores también ocasionan fallas en la disponibilidad de los enlaces.

3.3 Condiciones Ambientales.

El clima en la región insular de Galápagos comprende dos estaciones, que son determinadas por la presencia variable de la corriente de Humboldt, que es una corriente marina que trae agua fresca desde el

sur. Esta corriente enfría y deseca el clima de las islas Galápagos. Esta tendencia constituye la primera estación, que dura de julio hasta octubre.

Cuando esas corrientes se debilitan, las aguas más calientes, típicas de los climas tropicales, llegan del norte y marcan el comienzo de la estación calurosa y lluviosa, durante el resto del año.

Las estaciones terrenas se encuentran ubicadas en la cercanía del océano, donde las condiciones de humedad y salinidad son altas, causando la acumulación de partículas que bloquean los puertos de conexión, sulfatan los bornes de las baterías y las líneas de transmisión haciendo que el rendimiento y la disponibilidad del enlace disminuya. La temperatura también juega un rol importante en la transmisión de las estaciones terrenas.

Debido a las condiciones climáticas se realizan mantenimientos preventivos a los equipos, como se observa en la Figura 3.17, para evitar que los contactos se sulfaten y puedan ocasionar interrupciones o fallas en los enlaces.



Figura 3. 17: Mantenimiento a conectores de transceptores.

3.4 Ancho de Banda.

Los enlaces satelitales que conforman la red WAN de la DPNG cuentan con diferentes anchos de banda, los cuales se detallan en la Tabla I:

Tabla I: Ancho de banda enlaces satelitales. [16]

ENLACE	ANCHO DE BANDA (Kbps)
PUERTO AYORA - PUERTO VILLAMIL	512/128
PUERTO AYORA - PUERTO BAQUERIZO MORENO	512/256
PUERTO AYORA - PUERTO VELASCO IBARRA	192/64
PUERTO AYORA - BASE BOLIVAR	64/64
CONEXIÓN A INTERNET	2500/1200

De acuerdo al análisis del estado físico y de operación de las estaciones terrenas, para principios de 2012 estos anchos de banda no satisfacían las

necesidades de la DPNG, por lo que se contrató enlaces de respaldo con la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT) para satisfacer las necesidades, además el costo por el servicio satelital de cada enlace es elevado en la región.

CAPÍTULO 4

4. TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN.

Las comunicaciones a nivel mundial se han ido desarrollando y mejorando rápidamente, y las empresas e instituciones gubernamentales y no gubernamentales deben estar al margen de la misma. Las tecnologías de banda ancha inalámbrica se han constituido hoy en día para mejorar los sistemas de comunicaciones en regiones donde el uso de tecnologías alámbricas no es favorable.

Con el análisis realizado a la red WAN de la DPNG en el capítulo anterior, se determina, que la DPNG necesita de una solución de banda ancha que permita comunicar las diferentes oficinas técnicas para satisfacer las demandas actuales y futuras.

Existen diversas tecnologías de banda ancha que permiten establecer y dar solución a proyectos de comunicación, las cuáles han revolucionado esta

área como es el caso de la fibra óptica, cable módem, DSL, los satélites; pero que, para la provincia de Galápagos no representa una solución efectiva cuando de conectar varias islas se trata, pero una de las tecnologías que se está convirtiendo en una solución estratégica, es la tecnología inalámbrica de banda ancha punto a punto debido a los costos del servicio satelital en la región, y descartando el tendido de fibra óptica en el océano.

Para la realización del proyecto se analizaron las tecnologías inalámbricas de banda ancha WIMAX fijo y la solución PTP de Cambium Networks, las cuales se están utilizando en empresas e instituciones en la provincia.

4.1 WIMAX.

WIMAX, Interoperabilidad Mundial para el Acceso por Microondas (por sus siglas en inglés, Worldwide Interoperability for Microwave Access), es una tecnología inalámbrica de banda ancha robusta y confiable basada en el estándar IEEE802.16, nace en 1999 como solución para redes metropolitanas; lo que supone alcances de decenas de kilómetros y tasas de transmisión de varios Mbps [17], [18].

La versión fija del estándar WIMAX fue aprobada en junio de 2004 y es una tecnología de acceso inalámbrico fijo, lo que significa que está diseñada para servir como una tecnología de reemplazo del DSL inalámbrico, para competir con los proveedores de cable de banda

ancha o DSL, o para proveer un acceso básico de voz y banda ancha en áreas donde no existe ninguna otra tecnología de acceso. [18], [19].

El 802.16-2004 también es una solución viable para las conexiones inalámbricas para puntos de acceso Wi-Fi o potencialmente para redes celulares, en particular si se usa el espectro que requiere licencia [18].

4.1.1 Aplicaciones en Galápagos.

En la provincia de Galápagos existen varias Empresas e Instituciones gubernamentales y no gubernamentales, las cuales requieren y utilizan una red de telecomunicaciones para comunicarse entre sus diferentes oficinas. La tecnología WIMAX está siendo utilizada por varias Instituciones, como es el caso de la DPNG que cambió su red Spread Spectrum que conecta a la Isla Baltra con la oficina técnica en Puerto Ayora a una red WIMAX, la cual está funcionando y brinda mejores servicios a los usuarios en dicha isla.

Además una empresa proveedora de Internet, utiliza esta tecnología para brindar el servicio a sus abonados. Otras entidades como el Consejo de Gobierno de Galápagos también utilizan enlaces WIMAX para conectar sus diferentes oficinas.

4.1.2 Componentes de Red.

Una red con tecnología WIMAX fijo se compone de dos tipos de equipos, como se observa en la Figura 4.1.

Estación base (BS): se encarga de la transmisión mediante el estándar IEEE802.16d, además le proporciona a las estaciones suscriptoras o cliente conectividad y mecanismos de control y gestión. [19].

Estación Suscriptor o cliente (SS): es la que incorpora las funciones del receptor identificadas en el estándar IEEE802.16d de forma que proporciona conectividad con la BS. [19].

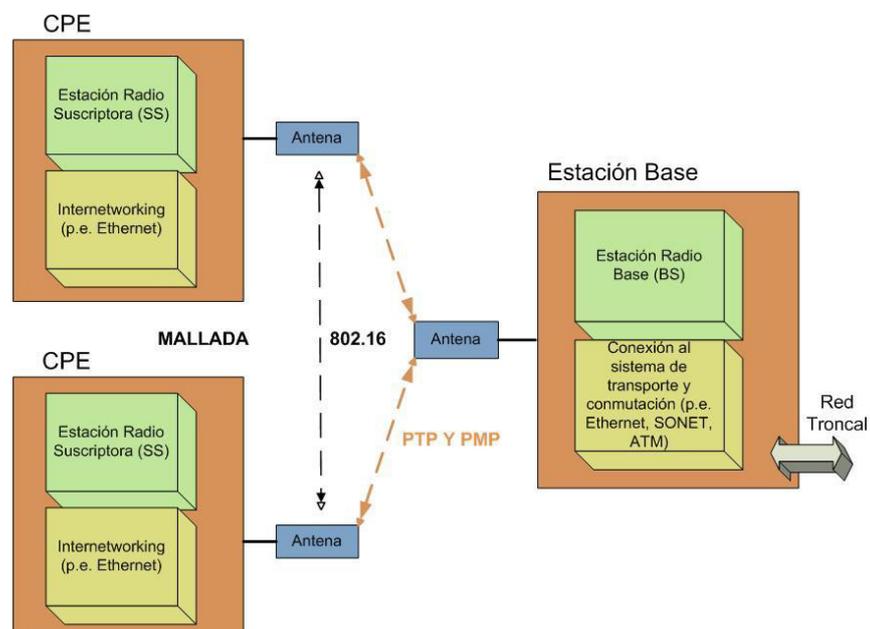


Figura 4. 1: Conexión entre SS y BS [19].

4.1.3 Características.

Dentro de las características de WIMAX vamos a destacar aquellas que son relevantes con respecto a la demografía y clima de la provincia de Galápagos, y que deben ser tomadas en cuenta para el diseño de una red.

Tasa de Transmisión:

La tasa o velocidad de transmisión es la tasa de datos digitales que es transmitida de un lugar a otro en un tiempo dado, cuya unidad de medida es en bits por segundo.

La tasa de transmisión para el sistema WIMAX se observa en la Tabla II.

Tabla II: Velocidades de transmisión WIMAX. [20].

VELOCIDAD DE TRANSMISION		Mbps
WIMAX	802.16d	hasta 75

Se observa que para el sistema WIMAX fijo la velocidad de transmisión alcanza hasta 75 Mbps teóricos.

Banda de Frecuencia:

La tecnología WIMAX puede operar tanto en bandas de frecuencia licenciada como no licenciada.

Entre las frecuencias licenciadas se encuentra la frecuencia de 2.5GHz que tiene 200MHz de espectro de radios, entre 2.5-5.7GHz destinados por la FCC para el Servicio de Distribución Multipunto Multicanal (Multichannel Multipoint Distribution Service, MMDS). La frecuencia de 3.5GHz también para uso de MMDS que cubre las bandas de 3.4 a 3.7GHz.

Las frecuencias libres que la FCC ha abierto para el servicio de localización fija inalámbrica cubren la banda de 3.65 a 3.70GHz. Para la frecuencia de 5GHz se tienen asignados 555MHz para las bandas 5.150-5.350GHz y 5.470-5.825GHz, este espectro es conocido como la banda de Infraestructura de Información Nacional sin Licencia (Unlicensed National Information Infrastructure, U-NII) [20].

Técnicas de Transmisión:

Las técnicas de transmisión que emplea WIMAX para los enlaces punto a punto son OFDM y OFDMA, los cuales serán descritos a continuación:

Multiplexación por División Ortogonal De Frecuencia (OFDM).

OFDM es un esquema eficiente para transmisiones de

altas tasas de datos en escenarios con radioenlaces sin línea de vista o con múltiples enlaces.

Con OFDM se mejora la eficiencia espectral y se evita el uso de bandas de guarda (guard band), ya que, las portadoras, es decir los canales de banda estrecha que transportan los símbolos de información están a distintas frecuencias y son ortogonales entre sí.

OFDM consiste en 256 portadoras de las cuales 8 son utilizadas como piloto (-84, -60, -36, -12, 12, 36, 60, 84), 56 son usadas como guardas, quedando 192 portadoras para el transporte de datos. Para demodular la señal se usa la Transformada Discreta de Fourier (DFT).

Acceso Múltiple por División Ortogonal De Frecuencia (OFDMA).

OFDMA es una técnica de transmisión que asigna diferentes portadoras a varios clientes. En esencia es un híbrido de FDMA y TDMA, a los usuarios se les asigna dinámicamente subportadoras (FDMA) en diferentes intervalos de tiempo (TDMA) [20].

Cobertura:

El rango de cobertura o la distancia que un enlace WIMAX fijo puede alcanzar depende de varios factores, como los que se analizaron en el capítulo 2. Otros factores que limitan el rango de cobertura de un enlace es si cuenta con línea de vista directa o no, tener línea de vista también implica tener despejada la primera zona de Fresnel, el 60% para distancias no mayores a 10Km y el 100% para largas distancias, debido a que a mayores distancias mayor zona de Fresnel. Si la zona de Fresnel se encuentra obstruida, la potencia de la señal de radio disminuye limitando el alcance del radioenlace. En la Tabla III, se describe el alcance de WIMAX fijo en los escenarios con línea de vista y sin ella. [8], [9].

Tabla III: Cobertura WIMAX fijo [20]

		LOS	NLOS
WIMAX	802.16d	hasta 48.3 km	4.83 a 8.05 km

Seguridad:

Los enlaces inalámbricos deben brindar seguridad para la información que se transporta en ella, por ello y para evitar el uso clandestino de la conexión, WIMAX utiliza un protocolo

que es capaz de soportar el Estándar de Cifrado Avanzado (AES) de 192 bits. En este protocolo la Estación Base (BS), actúa como servidor y controla la distribución de la clave a la Estación de Usuario (SS), la misma que es el cliente. También utiliza los protocolos 3DES de 128 bits, RSA de 1024 bits.

La subcapa de privacidad cuenta con varios componentes para llevar a cabo la seguridad, el primero es un protocolo que cifra los paquetes de datos a través de la red. El otro componente es el Protocolo de Administración de Clave Primaria (Protocol Key Management, PKM), usado para distribuir claves entre la Estación Base y estaciones Usuario, de manera segura. PKM le permite a la Estación Base controlar el acceso a los servicios de red [20].

4.2 Solución PTP de Cambium Networks.

La solución PTP de Cambium Networks, antes conocido como Canopy de Motorola, es un sistema propietario que permite establecer enlaces de larga distancia con alta disponibilidad y calidad de servicio, y sus equipos son resistentes a climas adversos fuertes. Estos equipos permiten establecer enlaces con amplia disponibilidad y mejoras frente a problemas de desvanecimiento de la señal. [20], [21].

La solución PTP de Cambium Networks cuenta con una variedad de equipos que trabajan tanto en la banda de frecuencias libres como propietarias, y que pueden establecer enlaces con amplio ancho de banda. [21].

4.2.1 Aplicaciones en Galápagos.

En la provincia de Galápagos se han implementado varios enlaces con estos equipos para conectar las oficinas de distintas empresas e instituciones, entre ellas está la SUPERTEL, la cual cuenta con un enlace para conectar su oficina de Puerto Ayora en isla Santa Cruz con la oficina de Puerto Baquerizo Moreno en isla San Cristóbal, el enlace trabaja con una banda de frecuencia licenciada. Otra institución es el Consejo de Gobierno de Galápagos que también cuenta con enlaces pero en la banda de frecuencia libre cuyos equipos están en el cerro Crocker dentro de la caseta de la DPNG. El Parque Nacional Galápagos con un sistema de AIS (sistema de monitoreo de barcos), el cual cuenta con enlaces de radio que permiten transferir los datos hacia el servidor central.

4.2.2 Componentes de Red.

Los componentes de una solución PTP de Cambium Networks varían de acuerdo al modelo. En la Figura 4.2 se muestra el esquema con los componentes de red listados a continuación.

- ODU
- LPU
- Equipo de Red
- CMU
- PIDU

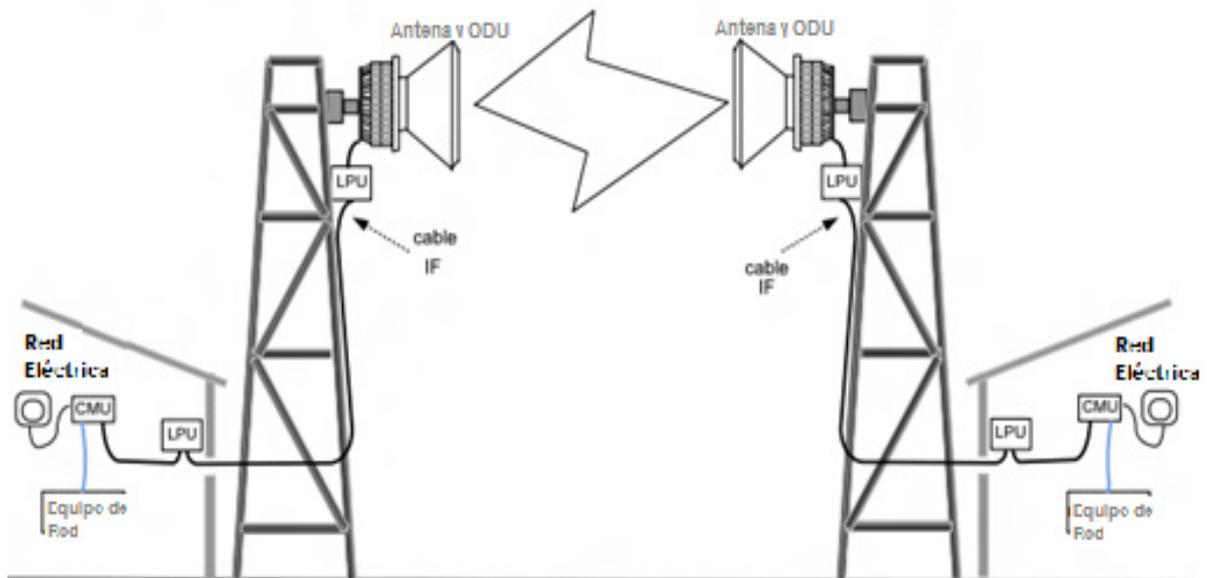


Figura 4. 2: Componentes de red, solución PTP Cambium Networks. [21].

4.2.3 Características.

Debido a la demografía y clima de Galápagos, vamos a considerar para la solución PTP de Cambium Networks, las mismas características analizadas en la tecnología anterior.

Tasa de Transmisión:

La solución PTP de Cambium Networks se caracteriza por brindar conexiones de banda ancha inalámbrica con velocidades de 10 a 368 Mbps [23].

La tasa de datos varía de acuerdo a las características de cada equipo, siendo los equipos que operan con frecuencias licenciadas aquellos que alcanzan las tasas de transmisión más altas. En la Tabla IV se detallan las velocidades de transmisión de los equipos PTP 500 en banda libre y PTP 800 para banda licenciada.

Tabla IV: Velocidad de transmisión PTP 500 y 800. [23], [22].

VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	Mbps
PTP 500	Hasta 105
PTP 800	10 a 368

La tasa de transmisión depende del ancho de canal que se vaya utilizar, a mayor ancho de canal mayor velocidad de transmisión.

Cuando se implementa un radioenlace las velocidades de transmisión son fijadas, y un factor que es tomado en cuenta es la disponibilidad del mismo. Al hablar que la disponibilidad de un radioenlace ha disminuido no quiere decir que el radioenlace dejó de estar operativo, sino que la tasa de transmisión efectiva (throughput), disminuye debido a problemas adversos, como el clima, vientos fuertes, reflexiones, etc.

Banda de Frecuencia:

La solución PTP de Cambium Networks opera en la banda de frecuencia libre y licenciada.

Los equipos PTP 500 operan en la frecuencia de 5 GHz, mientras que los equipos PTP 800 pueden operar a frecuencias de 7, 8, 11, 13, 15, 18, 23, 26, 28, 32, 38 GHz, y el tamaño del canal es configurable entre 7 y 56MHz; cabe mencionar que para que los equipos puedan funcionar deben estar al margen de las regulaciones permitidas por la CONATEL. [23].

Técnicas de Transmisión:

La técnica de transmisión utilizada por Cambium Networks es Intelligent-OFDM (i-OFDM). En condiciones extremas con radioenlaces, las señales recibidas provienen de otros enlaces debido a la dispersión, este tipo de interferencia se conoce como interferencia inter-símbolo (ISI). Radios comunes utilizan un ecualizador (equalizer) ISI para resolver este problema, mientras que sistema NLOS usan alguna forma de OFDM para solucionarlo. Cambium Network añadió su solución i-OFDM a sus equipos para brindar alta confiabilidad en la transmisión.

Intelligent-OFDM (i-OFDM).

A diferencia de OFDM que separa los datos en canales que se superponen en frecuencia y son ortogonales entre sí sin interferirse, mejorando la eficiencia espectral y aumentando la tasa de transmisión. Con i-OFDM Cambium Networks, mejora la dispersión de canales, aumenta la eficiencia espectral y ofrece alta resistencia a la selectividad de frecuencia por desvanecimiento (frequency-selective fading). Pero sólo ofrece las siguientes mejoras con respecto a otros productos con OFDM:

- Aumento significativo en tonos piloto y sub-portadoras.
- Recuperación instantánea al desvanecimiento.

Cobertura:

El rango de cobertura de los equipos Cambium Networks varía de acuerdo a los fenómenos descritos en el capítulo 2, Principales fenómenos que afectan a un radio enlace, y otros factores descritos en la sección 4.1.3.4, además de la potencia del radio que puede variar de acuerdo a las regulaciones de cada país. El alcance de los equipos PTP lo describimos a continuación:

Tabla V: Rango de cobertura teórico de equipos. [22].

RANGO DE COBERTURA (LOS)	Km
Equipos PTP	250

Seguridad:

La seguridad de los equipos de Cambium Network se basa en el cifrado de 128 y 256 bits usando AES que cumple con FIPS-197. El cifrado AES protege todo el tráfico sobre el radioenlace. Además tienen su interfaz inalámbrica patentada. [22], [23].

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS COMPARATIVO.

Luego de mencionar las tecnologías inalámbricas utilizadas para dar solución de comunicación en la provincia de Galápagos, procedimos a comparar sus características y considerar los problemas de implementación de cada una de ellas, para elegir la tecnología adecuada que nos permita brindar la mejor solución al diseño de red que se propondrá.

5.1 Comparación de Parámetros.

En la Tabla VI, se observa la comparación de parámetros entre WIMAX y Cambium Networks.

Tabla VI: Comparación de Parámetros WIMAX Y Cambium Networks.

COMPARACIÓN TÉCNICA	WIMAX	CAMBIUM NETWORKS
FRECUENCIA	Libre y Licenciada	Libre y Licenciada
MODULACIÓN	BPSK,QPSK,16 QAM, 64 QAM	QPSK a 256 QAM
COBERTURA	50 km	De acuerdo a las características de los equipos hasta 250 km
DUPLEXACIÓN	TDD, FDD	PTP 800 – FDD PTP 500 – TDD
TÉCNICAS DE TRANSMISIÓN	OFDM	Propietaria i-OFDM
VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN	75 Mbps LOS	10 a 368 Mbps
SEGURIDAD	3 DES de 128 bits, AES DE 192 bits, RSA de 1024 bits.	AES de 128 Y 256 bits

Analizando los datos presentados en la tabla anterior, los valores de los parámetros que difieren y que son importantes para el desarrollo

del proyecto son: la cobertura, la técnica de transmisión, la velocidad de transmisión y la seguridad.

La solución PTP de Cambium Networks presentó mayor rango de cobertura para los radioenlaces punto a punto, la técnica de transmisión que utiliza es una versión propietaria que mejora el funcionamiento de OFDM, mejorando las interferencias por desvanecimiento y multitrayectoria de las señales, así mismo la velocidad de transmisión supera los 75Mbps teóricos de WIMAX para enlaces a largas distancias. Además Cambium Networks permite aumentar las velocidades de transmisión simplemente con la adquisición de una licencia, sin necesidad de adquirir o cambiar los equipos. En cuanto a la seguridad, el cifrado AES es muy seguro en implementaciones inalámbricas.

Ambas tecnologías utilizan modulación adaptativa, mejorando de esta manera el rendimiento del enlace frente al desvanecimiento de la señal.

5.2 Problemas de Implementación.

Los problemas de implementación son comunes al realizar cualquier proyecto de comunicaciones. Entre ellos está la instalación de las

antenas, el tendido de cable, el ponchado de los conectores, la alineación de las antenas, probar que el enlace se levante, etc.

Por ello se mencionará los problemas que han surgido y de los cuales se ha tenido experiencia en la implementación de las tecnologías mencionadas.

Con respecto a WIMAX, en la DPNG se ha realizado la implementación de enlaces no mayores a 50Km en la isla Santa Cruz para conectar la oficina central de Puerto Ayora con la oficina ubicada en el aeropuerto en isla Baltra. Por otro lado se realizó la prueba para conectar las oficinas de Puerto Ayora y Puerto Baquerizo Moreno en las islas Santa Cruz y San Cristóbal respectivamente, luego de realizar todas las conexiones, alineaciones de antenas, etc.; no se logró levantar el enlace, las pruebas se realizaron con equipos Alvarion.

Mientras que para la SUPERTEL, se realizó el levantamiento de un enlace con el sistema PTP de Cambium Networks para conectar las oficinas de Santa Cruz y San Cristóbal, pasando por el cerro Crocker en Santa Cruz, el cual quedó operativo y con los resultados planificados.

En la provincia de Galápagos las condiciones climatológicas y ambientales varían mucho, siendo muy salino en los sitios cercanos al

océano, y entre lluvioso y seco en los sitios altos y lejanos. Cambium Networks cuenta con equipos que se acoplan a climas extremos, hecho que se evidencia en las implementaciones observadas en las islas, que comparado con implementaciones WIMAX demuestran mayor eficiencia.

CAPÍTULO 6

6. DISEÑO DE LA RED WAN DE LA DPNG.

Este capítulo abarca el diseño de la red WAN para la DPNG utilizando la solución PTP de Cambium Networks con equipos que permitan satisfacer y mejorar las necesidades de la DPNG.

Para el diseño de la red se realizó la planificación previa que incluiría: la estimación de la demanda de servicio, la selección de sitios para la ubicación de las estaciones en las diferentes islas, la elección de la banda de frecuencia y equipos para el proyecto, y finalmente realizar los cálculos y simulaciones de cada uno de los enlaces y presentar el diseño final de red.

6.1 Demanda de Servicio.

La DPNG cuenta con Unidades y Oficinas Técnicas en la isla San Cristóbal, Isabela y Floreana y un punto remoto en Isabela llamado Canal Bolívar. En las distintas Unidades y Oficinas técnicas se

manejan y dirigen los procesos para llevar a cabo el control de la Reserva Marina y el Parque Nacional Galápagos.

Para realizar el diseño de la red es primordial definir los requisitos iniciales por parte de los administradores de red de la DPNG, para proceder a estimar el crecimiento de los usuarios que van a demandar el servicio y calcular el ancho de banda disponible para cada usuario y prever el crecimiento en el futuro ya que son factores importantes para poder dimensionar la red.

En los diversos departamentos de la DPNG, los usuarios acceden a diferentes servicios internos y externos para desempeñar sus funciones laborales, entre los servicios que se usan con mayor frecuencia se encuentra el acceso al correo electrónico, el portal de compras públicas, el sistema financiero ESIGEF, el sistema de gestión documental QUIPUX, videoconferencia, transferencia de archivos ftp, telefonía. Además debe tomarse en cuenta que el servicio de radiocomunicación VHF de uso de los guarda-parques debe ser incorporado a la red.

La estimación de ancho de banda disponible para cada usuario varía de acuerdo a las funciones que desempeñe y el departamento donde labore, pero debido a que la red interna no se encuentra segmentada, es decir, cada oficina técnica cuenta con una red interna para todos

los departamentos, el cálculo de ancho de banda se realizará de forma general. Los cálculos se pueden revisar en el Anexo A, en la Tabla VII se presentan los resultados obtenidos.

Tabla VII: Consumo de ancho de banda pesimista.

SERVICIO	ANCHO DE BANDA (Kbps)
Internet	5760
Correo electrónico	177.8
Videoconferencia	1024
Telefonía y Radiocomunicación	1392
Otro Servicio	896
TOTAL	9249.8

Para el diseño de la red se consideraran enlaces de 10 Mbps, de acuerdo al dimensionamiento de red realizado.

6.2 Ubicación de las Estaciones.

Los sitios seleccionados para ubicar las estaciones se escogieron de acuerdo a varios factores, principalmente aquellos donde la DPNG cuenta con infraestructura, con la capacidad de energía requerida para el proyecto o pueda aumentarse su autonomía, el acceso, línea de

vista, entre otros. El Anexo B cuenta con la información de los sitios escogidos.

En la Tabla VIII se detallan los nombres y las coordenadas GPS de los sitios que posee la DPNG y que se han sido escogidos para la realización del proyecto:

Tabla VIII: Coordenadas Geográficas de sitios.

ISLA	SITIO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
		LATITUD	LONGITUD
SANTA CRUZ	Oficina Central DPNG	0°44'25.32"S	90°18'21.92"O
	Cerro Crocker	0°38'32.69"S	90°19'32.34"O
SAN CRISTÓBAL	Oficina DPNG	0°53'44.66"S	89°36'29.77"O
FLOREANA	Oficina DPNG	1°16'24.58"S	90°29'17.16"O
	Asilo de la Paz	1°19'0.516"S	90°27'6.588"O
ISABELA	El Chapín	0°56'46.53"S	90°58'26.03"O
	Oficina DPNG	0°57'24.45"S	90°58'2.93"O
	Cerro Azul	0°55'12.92"S	91°22'27.35"O
	Base Bolívar	0°17'41.24"S	91°21'22.71"O

6.3 Estructura de la Red.

Una vez seleccionado los sitios para ubicar las estaciones de los equipos de Cambium Network, procederemos a realizar el diseño de la red WAN de acuerdo a la topología física que se muestra en la Figura 6.1.

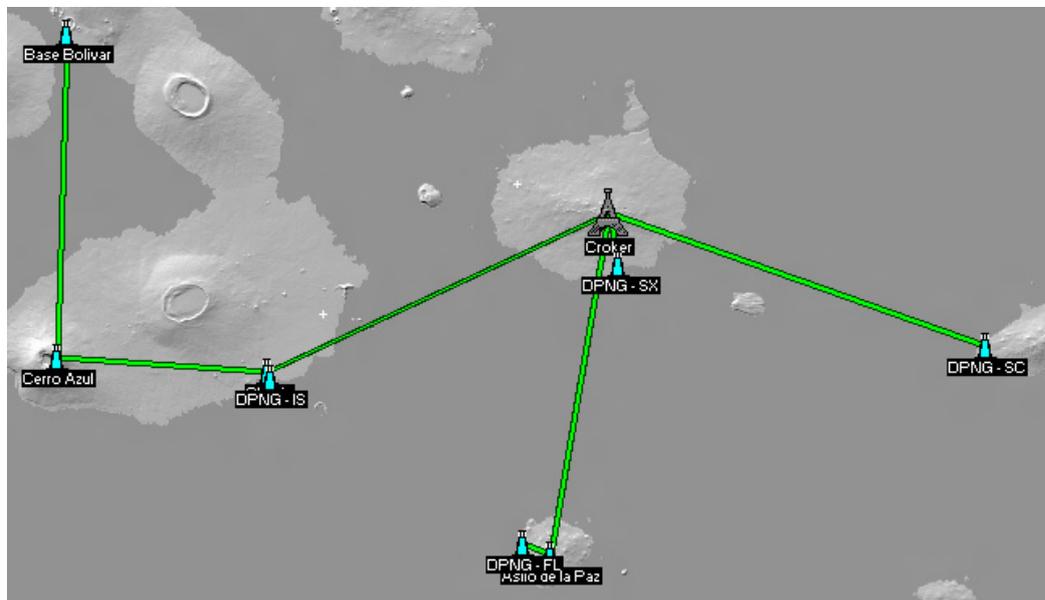


Figura 6. 1: Estructura de red.

Como podemos observar en la figura, el cerro Crocker es el punto central para conectarse con las diferentes islas y actúa como puente entre las conexiones, además la caseta ubicada en Canal Bolívar se podrá conectar a la red mediante los enlaces que llegan hasta el Chapín.

La topología lógica de red es estrella, debido a que toda la información debe pasar por el cortafuego que está ubicado en la oficina técnica de Puerto Ayora en Santa Cruz.

6.4 Banda de Frecuencia.

La solución PTP de Cambium Networks cuenta con equipos que operan tanto en la banda de frecuencia licenciada como no licenciada. Para la selección de la banda de frecuencia del proyecto, se deben tomar en cuenta factores importantes como el impacto causado por frecuencias no ionizantes en los sitios, y el análisis del espectro de frecuencias para determinar la factibilidad de utilizar una banda de frecuencia libre o licenciada.

Las radiaciones NO ionizantes son aquellas que al interactuar con la materia no generan iones, debido a que su contenido energético es relativamente bajo.

Las radiaciones electromagnéticas vienen determinadas por su frecuencia, longitud de onda y energía, la cantidad de energía es proporcional a la frecuencia de la misma. El área de las comunicaciones se encuentra basado en radiaciones que se emiten en Frecuencias (Hertz: repeticiones de un evento en un tiempo de 1 segundo) del orden de Kilo-Hertz (miles 10^3) hasta Giga-Hertz

(millones 10^9), las cuales se encuentran dentro del rango denominado “Frecuencias No Ionizantes”.

Por otro lado, existen otras fuentes de radiación que utilizan frecuencias mucho más altas que las comunicaciones, como por ejemplo los rayos X (10^{17} Hz) o Rayos Gamma (10^{20} en adelante), las cuales se denominan “radiaciones ionizantes”, y que a su vez tienen efectos negativos demostrados sobre organismos biológicos. En la Figura 6.2, se aprecia claramente la barrera entre radiaciones No Ionizantes y radiaciones Ionizantes.

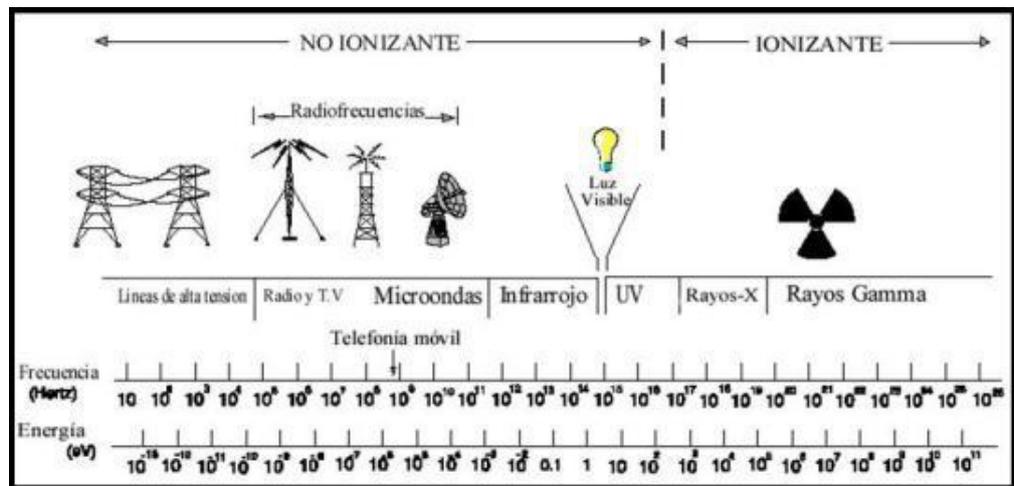


Figura 6. 2: Espectro Electromagnético. [24]

El Cerro Crocker, Figura 6.3, ubicado en la isla Santa Cruz; es el sitio con mayor uso del espectro de frecuencias, siendo éste un punto

estratégico para las comunicaciones interislas en la provincia de Galápagos.



Figura 6. 3: Cerro Crocker.

Para evitar interferencias que puedan degradar la operación de los radioenlaces por el uso de frecuencias libres en este sitio, se diseñarán radioenlaces en la banda de frecuencia licenciada entre: DPNG Puerto Ayora - Crocker, Crocker – El Chapin y Crocker – DPNG Puerto Baquerizo Moreno y para los restantes se usará una frecuencia libre, debido a que su espectro no está saturado. Además la DPNG es una institución gubernamental, y puede solicitar el uso de frecuencias licenciadas para la realización del proyecto.

Los equipos que operan en la banda de frecuencias libres cuentan con un sistema inteligente de selección dinámica de frecuencias (i-DFS por sus siglas en inglés, Intelligent Dynamic Frequency Selection), la cual se encarga de utilizar la banda de frecuencia menos saturada, aunque también puede asignarse una frecuencia fija.

Las frecuencias escogidas serán de 7 GHz en banda licenciada, previa autorización de la CONATEL y 5 GHz en banda libre.

6.5 Elección Técnica de los Equipos.

La solución PTP de Cambium Networks cuenta con una variedad de equipos tanto en la banda de frecuencia licenciada como no licenciada. Los radioenlaces desde Crocker hacia DPNG Puerto Ayora, DPNG Puerto Baquerizo Moreno y El Chapin se diseñarán con frecuencias licenciadas y para los demás radioenlaces se usará la banda libre, con la finalidad de satisfacer las necesidades de ancho de banda, actuales y futuros además de prevenir interrupciones en el servicio, por interferencias causadas por equipos adyacentes. Adicionalmente los equipos no deben influir ni causar ningún tipo de daño o impacto ambiental, inclusive visual al ecosistema de Galápagos.

Partiendo de que todo elemento debe responder a un orden estético al ambiente, en este caso, las antenas sobre torres, por considerarse elementos urbanos de servicio, deben formar parte de esta organización. Tomando en cuenta, que este elemento debe de alguna manera concordar o aportar al paisaje, se deben considerar ciertas recomendaciones para mitigar el impacto visual que estos generan.

Para lograrlo, se implementaron acciones que busquen hacer menos evidente la presencia de la torre en el sector, ya que su presencia es obligada debido a la altura que requieren las antenas para su eficiente desempeño, por ello y de acuerdo a las buenas prácticas para la reducción del impacto visual se recomienda [25] :

1. Pintar la estructura de soporte de antenas en color gris claro en los 20 metros inferiores, para estructuras mayores de 30m. Estructuras hasta 29 metros se pinta en su totalidad. (Previa Autorización DAC).
2. Mantener la coloración original de las antenas (gris claro o blancas).

Tomando en cuenta los factores antes mencionados, la capacidad de ancho de banda analizada en la *sección 6.1 Demanda de Servicio*, y las simulaciones realizadas, las mismas que se analizan en la *sección*

6.7, inclusive el valor referencial de los equipos, se escogen los equipos:

PTP 800 con antenas de 6ft para los radioenlaces: Crocker – DPNG Puerto Baquerizo Moreno y Crocker – El Chapín.

PTP 800 con antenas de 2ft para el radioenlace: Crocker – DPNG Puerto Ayora.

PTP 500 con antenas de 4ft para los radioenlaces: Crocker – Cerro Asilo de la Paz, El Chapín – Volcán Cerro Azul, Volcán Cerro Azul – Base Bolívar.

PTP 500 con antenas de 2ft para los radioenlaces: El Chapín – DPNG Puerto Villamil y Cerro Asilo de la Paz – DPNG Puerto Velasco Ibarra.

6.6 Cálculo de los Enlaces.

Una vez escogidos los sitios, la banda de frecuencia y los equipos. Se realizará los cálculos teóricos para cada uno de los enlaces propuestos para la red.

Los cálculos a considerar para el diseño de los enlaces son:

- Pérdidas en el espacio libre
- Cálculo del presupuesto del enlace
- Cálculo de la confiabilidad del sistema

Para realizar los cálculos es necesario conocer la distancia entre los puntos que conforman el enlace. En la Tabla IX se observan las distancias respectivas.

Tabla IX: Distancia entre sitios.

ENLACE		DISTANCIA (km)
ORIGEN	DESTINO	
DPNG-PUERTO AYORA	CERRO CROCKER	11.10
CERRO CROCKER	DPNG-PUERTO BAQUERIZO MORENO	84.54
CERRO CROCKER	CERRO ASILO DE LA PAZ	73.68
CERRO ASILO DE LA PAZ	DPNG-PUERTO VELASCO IBARRA	6.3
CERRO CROCKER	EL CHAPÍN	79,55
EL CHAPÍN	DPNG-PUERTO VILLAMIL	1.37
EL CHAPÍN	CERRO AZUL	44.75
CERRO AZUL	BASE BOLÍVAR	69.19

6.6.1 Pérdidas en el Espacio Libre.

La energía de una señal de radio disminuye en el aire, la pérdida de trayectoria por el espacio libre FSPL (por sus siglas

en inglés) mide la pérdida de intensidad en el espacio libre sin obstáculos. [26].

La fórmula para el FSPL es la siguiente:

$$FSPL = 92.45 + 20 * \log(D) + 20 * \log(f) \quad (6. 1)$$

Donde:

$FSPL$, está en dB

D , en kilómetros

f , en GHz

El cálculo de las pérdidas en el Espacio Libre se muestra en el Anexo C. En la Tabla X, se muestran los resultados obtenidos.

Tabla X: Pérdidas en el Espacio Libre.

PÉRDIDAS EN EL ESPACIO LIBRE		FSPL
ORIGEN	DESTINO	(dB)
DPNG-PUERTO AYORA	CERRO CROCKER	130.258
CERRO CROCKER	DPNG-PUERTO BAQUERIZO MORENO	147.893
CERRO CROCKER	CERRO ASILO DE LA PAZ	144.914
CERRO ASILO DE LA PAZ	DPNG-PUERTO VELASCO IBARRA	123.554
CERRO CROCKER	EL CHAPÍN	147.365
EL CHAPÍN	DPNG-PUERTO VILLAMIL	110.301
EL CHAPÍN	CERRO AZUL	140.583
CERRO AZUL	BASE BOLÍVAR	144.368

6.6.2 Cálculo del Presupuesto del Enlace.

Es uno de los valores más importantes que debe analizarse antes de la implementación de un radioenlace. Ver Figura 6.4.

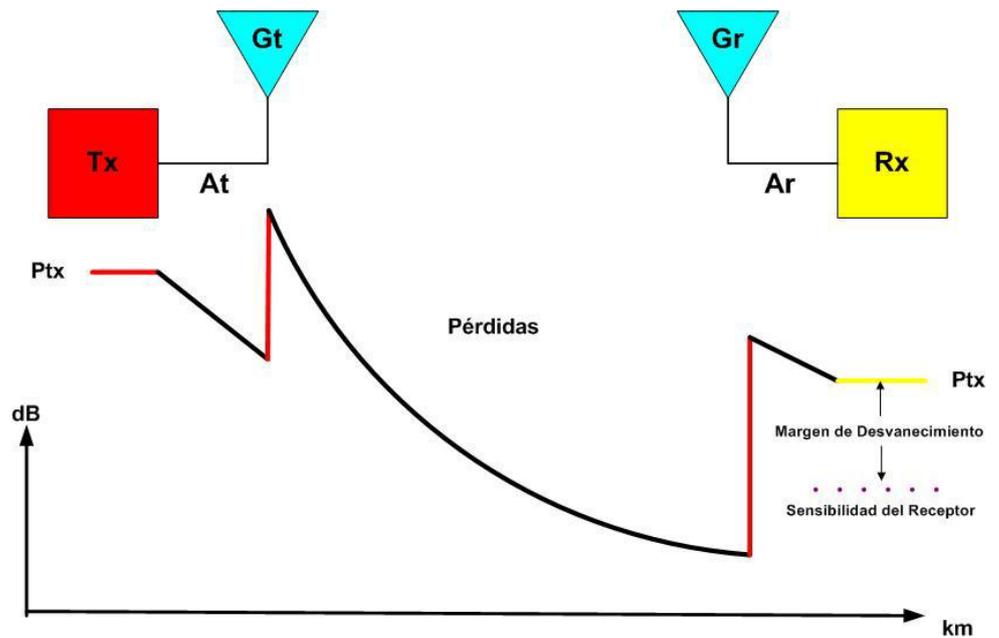


Figura 6. 4: Presupuesto de Enlace.

El valor que nos muestra la fluctuación del nivel recibido en el receptor es el Margen de Desvanecimiento, cuyo valor se obtiene de la substracción entre la Potencia recibida y la sensibilidad de recepción o nivel mínimo señal recibida. De acuerdo al nivel de confiabilidad esperado por un enlace, el valor del margen de desvanecimiento varía, pero un valor referencial está entre 20 y 30 dB. [9]

El margen de un presupuesto de enlace se resume de la siguiente manera:

$$\text{Margen} = \text{Potencia de transmisión [dBm]} - \text{Pérdida de cable Tx [dB]} + \text{ganancia de antena Tx [dBi]} - \text{Perdida en la trayectoria del espacio Libre [dB]} + \text{ganancia de antena Rx [dBi]} - \text{pérdida de cable Rx [dB]} - \text{sensibilidad en el receptor [dBm]}. \quad (6. 2)$$

De acuerdo a los equipos escogidos y las regulaciones, la potencia máxima de transmisión y las ganancias de las antenas así como la sensibilidad máxima de recepción se muestran en las Tablas XI y XII:

Tabla XI: Valores de Potencia de Transmisión y Sensibilidad de Recepción. [22], [23].

	POTENCIA MÁXIMA DE TRANSMISIÓN	SENSIBILIDAD MÁXIMA DE RECEPCIÓN
ENLACES PTP 500	27 dBm	-94 dBm
ENLACES PTP 800	22 dBm	-90.9 dBm

Tabla XII: Valores da Ganancia de antenas. [27]

GANANCIA DE ANTENAS 2ft	GANANCIA DE ANTENAS 4ft	GANANCIA DE ANTENAS 6ft
28.5 dBi	34.8 dBi	37.5 dBi

Las pérdidas en los cables para los enlaces con los PTP 800 es 0, debido a que la radio está acoplada a la antena, mientras que con los PTP 500 se considerará una pérdida de 1dB por los conectores y la guía de onda.

La Tabla XIII, muestra los resultados obtenidos para el Margen de Desvanecimiento, los cálculos pueden revisarse en el Anexo D.

Tabla XIII: Margen de Desvanecimiento de Enlaces.

MARGEN DE DESVANECIMIENTO		FM
ORIGEN	DESTINO	(dB)
DPNG-PUERTO AYORA	CERRO CROCKER	57.375
CERRO CROCKER	DPNG-PUERTO BAQUERIZO MORENO	40.007
CERRO CROCKER	CERRO ASILO DE LA PAZ	40.844
CERRO ASILO DE LA PAZ	DPNG-PUERTO VELASCO IBARRA	62.295
CERRO CROCKER	EL CHAPÍN	40.535
EL CHAPÍN	DPNG-PUERTO VILLAMIL	75.547
EL CHAPÍN	CERRO AZUL	45.266
CERRO AZUL	BASE BOLÍVAR	41.841

6.6.3 Confiabilidad del Enlace (R).

La confiabilidad de un radioenlace determina el porcentaje de tiempo que el mismo estará disponible. [26]

$$P = 6 * 10^{-7} * A * f_{GHZ} * d_{(km)}^3 * 10^{-\frac{FM}{10}} \quad (6.3)$$

$$R = 1 - P \quad (6.4)$$

Donde:

- R: Confiabilidad del sistema.
 P: Porcentaje de indisponibilidad del sistema.
 f: Frecuencia de la portadora en GHz.
 d: Longitud del trayecto en km.
 FM: Margen de desvanecimiento.
 A: Factor de rugosidad. Ver Tabla XIV.

Tabla XIV: Factor de Rugosidad

FACTOR	VALOR	CONDICIONES
A	4	Terreno muy liso inclusive sobre agua.
	3	Sembrados densos, pastizales, arenales.
	2	Bosques (propagación va por encima).
	1	Terreno promedio con alguna rugosidad.
	1/4	Terreno muy rugoso y montañoso.

La confiabilidad de cada enlace se muestra en la Tabla XV. Los cálculos pueden revisarse en el Anexo E.

Tabla XV: Confiabilidad de Enlaces.

CONFIABILIDAD		R
ORIGEN	DESTINO	
DPNG-PUERTO AYORA	CERRO CROCKER	0.99999
CERRO CROCKER	DPNG-PUERTO BAQUERIZO MORENO	0.99899
CERRO CROCKER	CERRO ASILO DE LA PAZ	0.99954
CERRO ASILO DE LA PAZ	DPNG-PUERTO VELASCO IBARRA	0.99999
CERRO CROCKER	EL CHAPÍN	0.99925
EL CHAPÍN	DPNG-PUERTO VILLAMIL	0.99999
EL CHAPÍN	CERRO AZUL	0.99997
CERRO AZUL	BASE BOLÍVAR	0.99970

6.7 Simulación y Análisis de los Enlaces con el software PTP LinkPlanner.

En este segmento se realizará el análisis de resultados que nos muestra el software propietario de Cambium Networks, PTP LinkPlanner, el cual cuenta con bases de datos propias que permiten predecir el funcionamiento de un enlace de acuerdo a su ubicación. En el cual se podrán observar datos como la zona de Fresnel, la

disponibilidad calculada, el ancho de banda, perfil topográfico, altura y distancia entre sitios.

Para realizar la simulación de cada enlace se debe escoger los equipos, tipos de antena y frecuencia; datos que fueron escogidos anteriormente. Además se debe ingresar el valor de la altura de la antena en la torre.

6.7.1 Enlace DPNG-Puerto Ayora - Cerro Crocker.

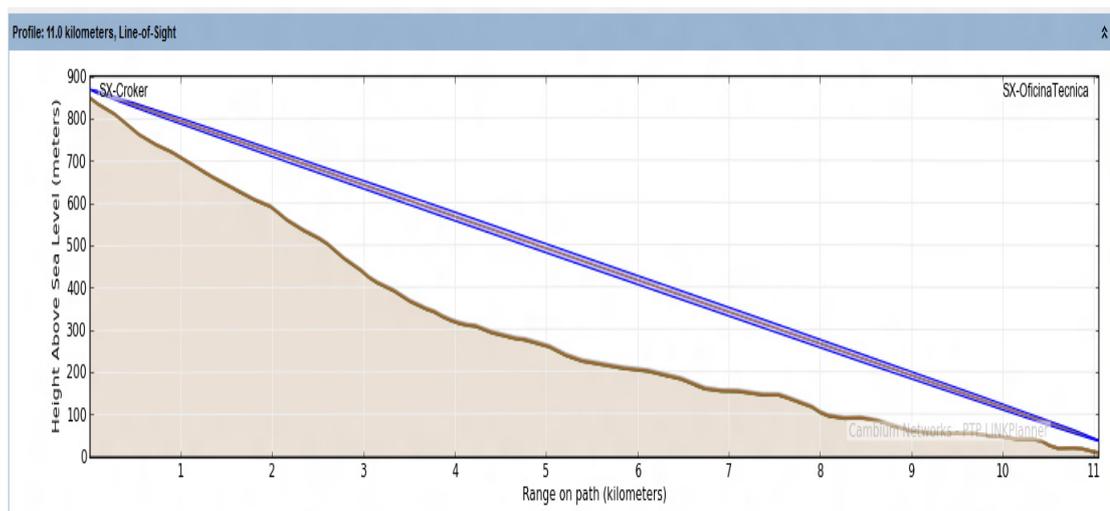


Figura 6. 5: Enlace DPNG Puerto Ayora a Cerro Crocker.

En la simulación de este radioenlace se consideraron los equipos descritos en la sección 6.5, 12m para la altura de la antena en la torre del Cerro Crocker y 12m en la torre de Puerto

Ahora. Los resultados se aprecian en la Figura 6.5, donde se observa que no existe obstáculo en la zona de Fresnel del radioenlace, y de acuerdo al gráfico de disponibilidad (Figura 6.6), este enlace es favorable y se asemeja a los cálculos teóricos, determinando que es viable para su implementación.

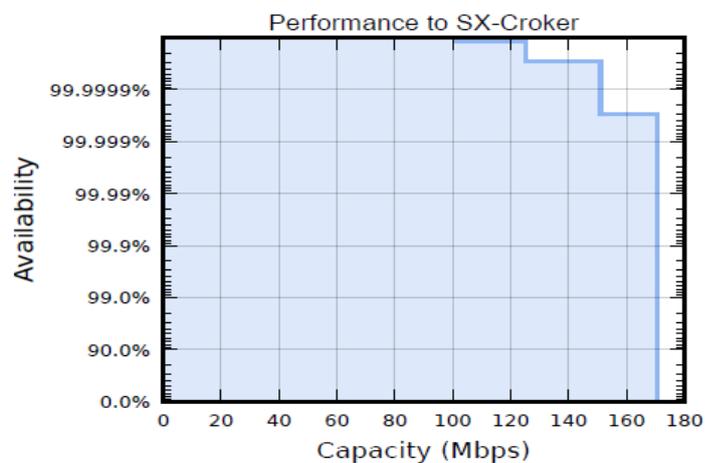


Figura 6. 6: Disponibilidad y ancho de banda simulado.

6.7.2 Enlace Cerro Crocker – Cerro Asilo de la Paz.

En la simulación de este radioenlace se consideraron los equipos descritos en la sección 6.5, 9m para la altura de la antena en la torre del Cerro Crocker y 10m en la torre del Cerro Asilo de la Paz. Los resultados se aprecian en la Figura 6.7, donde se observa que no existe obstáculo en la zona de Fresnel del radioenlace, y de acuerdo al gráfico de disponibilidad (Figura 6.8), este enlace es favorable y se

asemeja a los cálculos teóricos, determinando que es viable para su implementación.

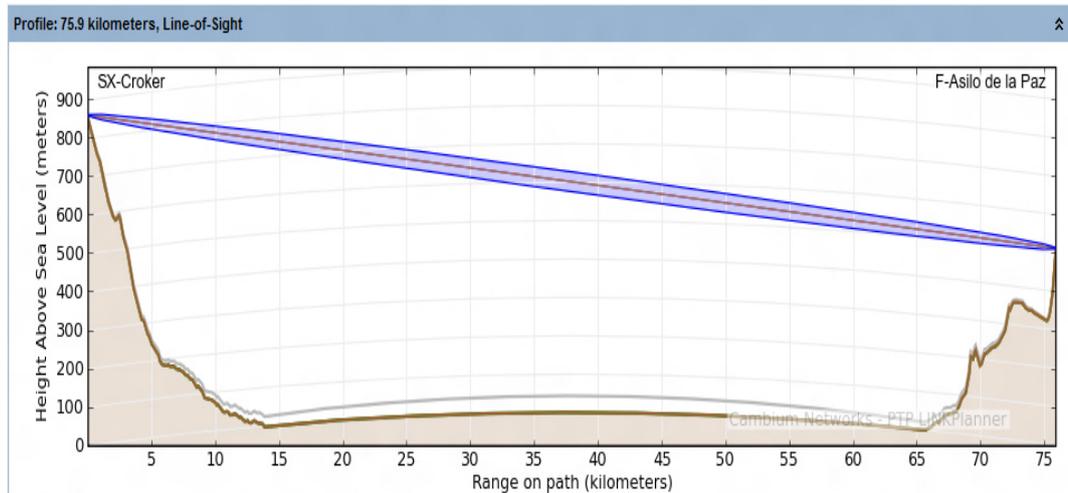


Figura 6. 7: Enlace Cerro Crocker a Cerro Asilo de la Paz.

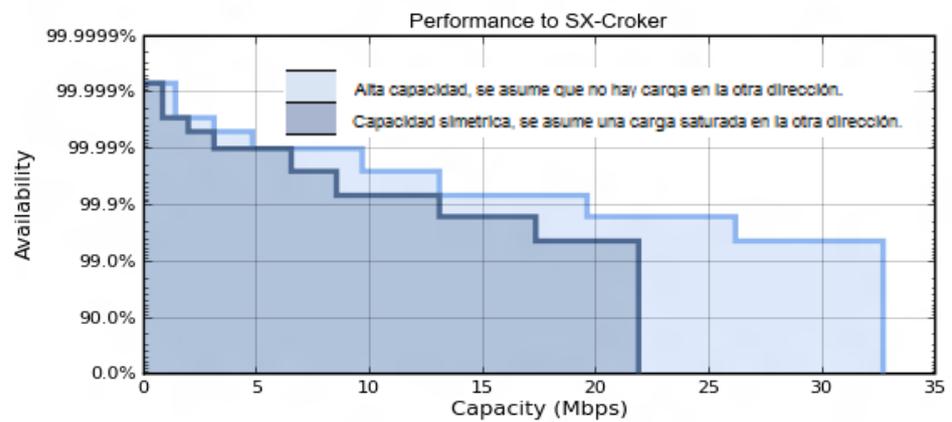


Figura 6. 8: Disponibilidad y ancho de banda simulado.

6.7.3 Enlace Cerro Asilo de la Paz – DPNG Puerto Velasco Ibarra.

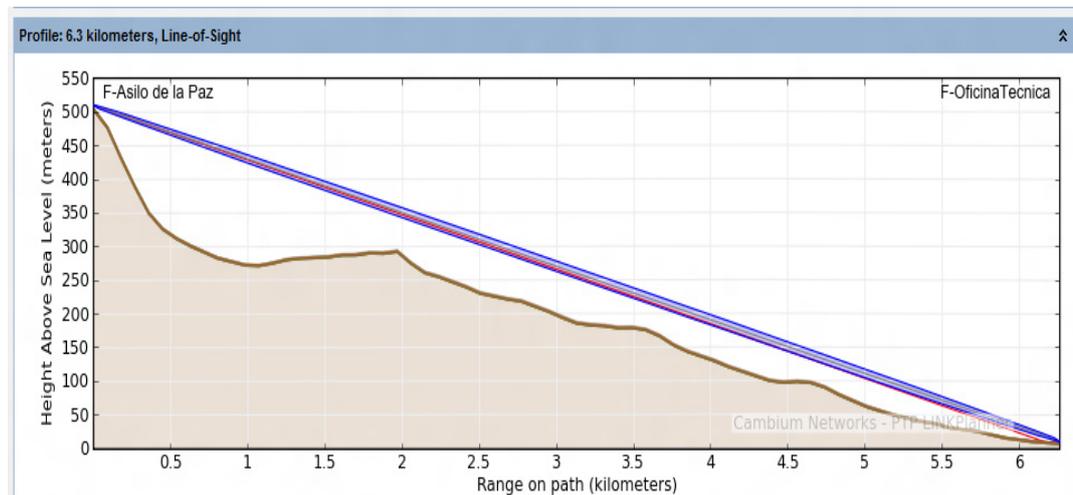


Figura 6. 9: Enlace Cerro Asilo de la Paz a DPNG Puerto Velasco Ibarra.

En la simulación de este radioenlace se consideraron los equipos descritos en la sección 6.5, 8m para la altura de la antena en la torre del Cerro Asilo de la Paz y 5m en la torre de Puerto Velasco Ibarra.

Los resultados se aprecian en la Figura 6.9, donde se observa que no existe obstáculo en la zona de Fresnel del radioenlace, y de acuerdo al gráfico de disponibilidad (Figura 6.10), este

enlace es favorable y se asemeja a los cálculos teóricos, determinando que es viable para su implementación.

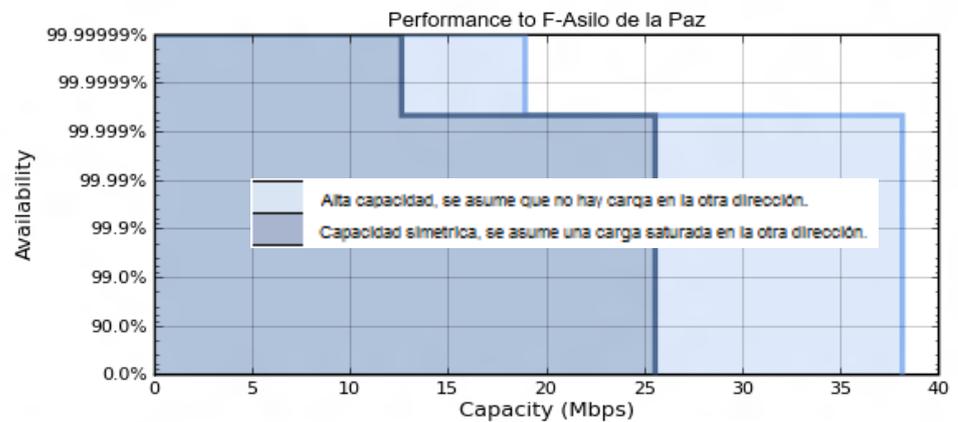


Figura 6. 10: Disponibilidad y ancho de banda simulado.

6.7.4 Enlace Cerro Crocker – DPNG Puerto Baquerizo Moreno.

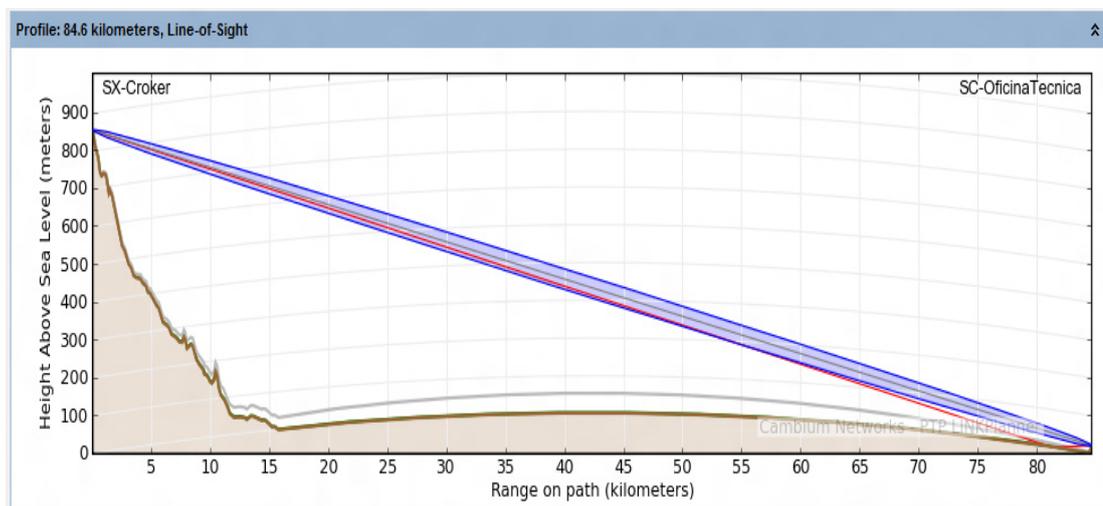


Figura 6. 11: Enlace Cerro Crocker a DPNG Puerto Baquerizo Moreno.

En la simulación de este radioenlace se consideraron los equipos descritos en la sección 6.5, 15m para la altura de la antena en la torre del Cerro Crocker y 20m en la torre de Puerto Baquerizo Moreno. Los resultados se aprecian en la Figura 6.11, donde se observa que no existe obstáculo en la zona de Fresnel del radioenlace, y de acuerdo al gráfico de disponibilidad (Figura 6.12), este enlace es favorable y se asemeja a los cálculos teóricos, determinando que es viable para su implementación.

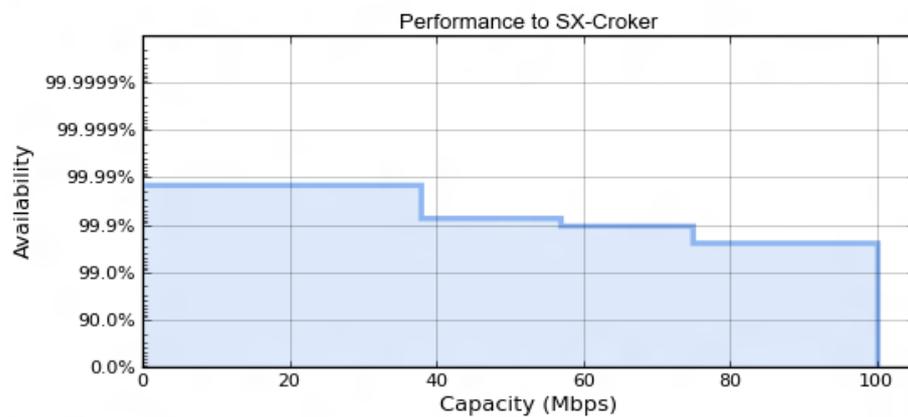


Figura 6. 12: Disponibilidad y ancho de banda simulado.

6.7.5 Enlace Cerro Crocker – El Chapín.

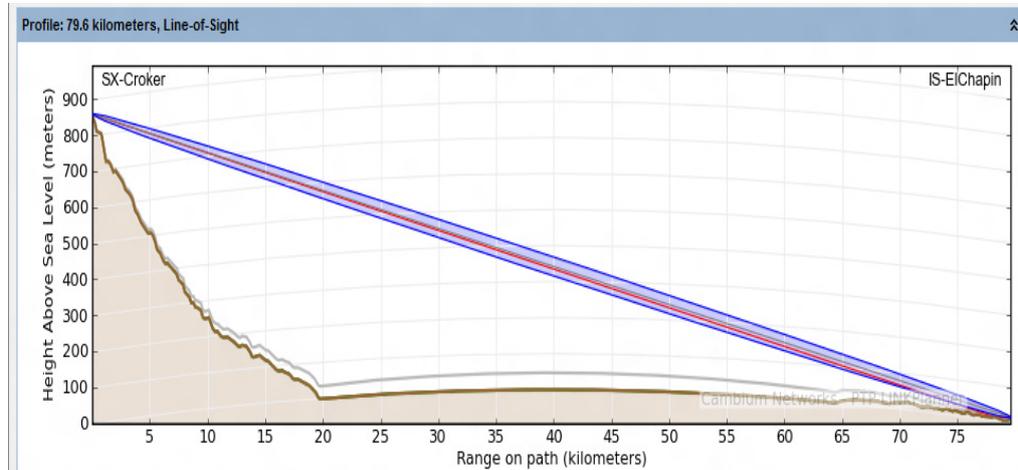


Figura 6. 13: Enlace Cerro Crocker a El Chapín.

En la simulación de este radioenlace se consideraron los equipos descritos en la sección 6.5, 18m para la altura de la antena en la torre del Cerro Crocker y 18m en la torre ubicada en El Chapín. Los resultados se aprecian en la Figura 6.13, donde se observa que no existe obstáculo en la zona de Fresnel del radioenlace, y de acuerdo al gráfico de disponibilidad (Figura 6.14), este enlace es favorable y se asemeja a los cálculos teóricos, determinando que es viable para su implementación.

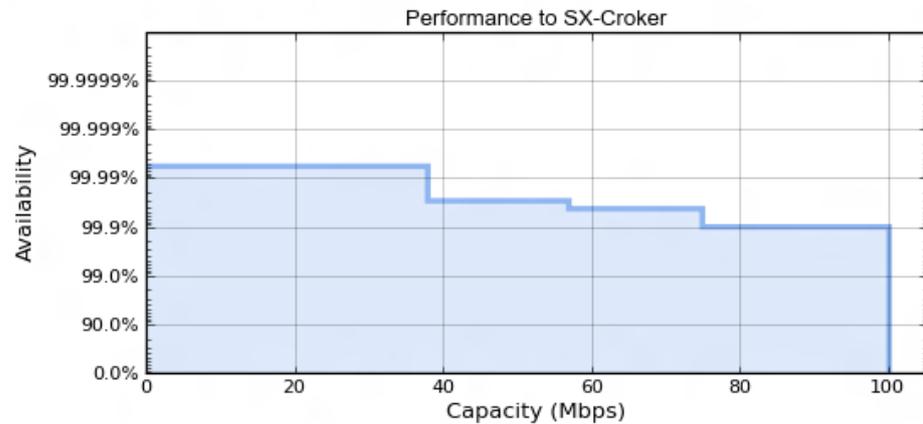


Figura 6. 14: Disponibilidad y ancho de banda simulado.

6.7.6 Enlace el Chapín – DPNG Puerto Villamil.

En la simulación de este radioenlace se consideraron los equipos descritos en la sección 6.5, 15m para la altura de la antena en la torre de El Chapín y 5m en la torre de Puerto Villamil. Los resultados se aprecian en la Figura 6.15, donde se observa que no existe obstáculo en la zona de Fresnel del radioenlace, y de acuerdo al gráfico de disponibilidad (Figura 6.16), este enlace es favorable y se asemeja a los cálculos teóricos, determinando que es viable para su implementación.

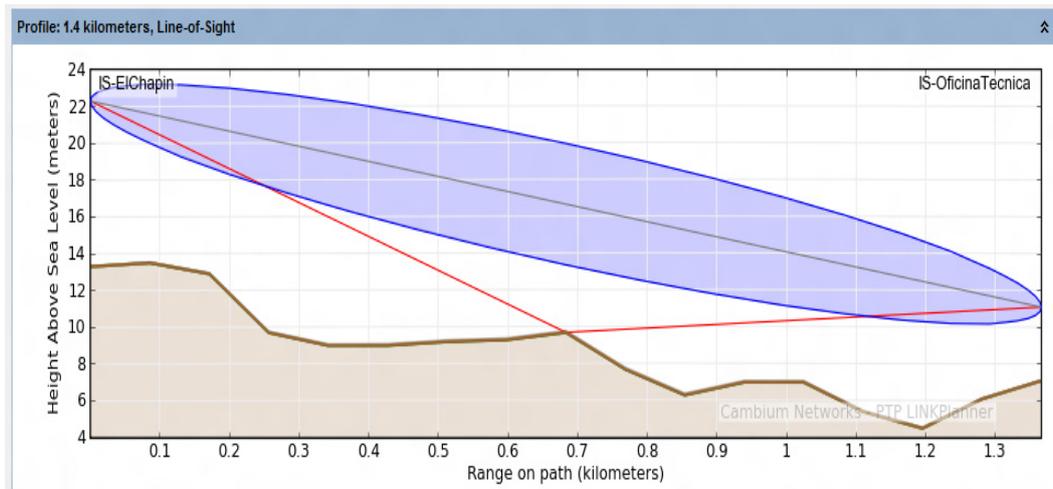


Figura 6. 15: Enlace El Chapín a DPNG Puerto Villamil.

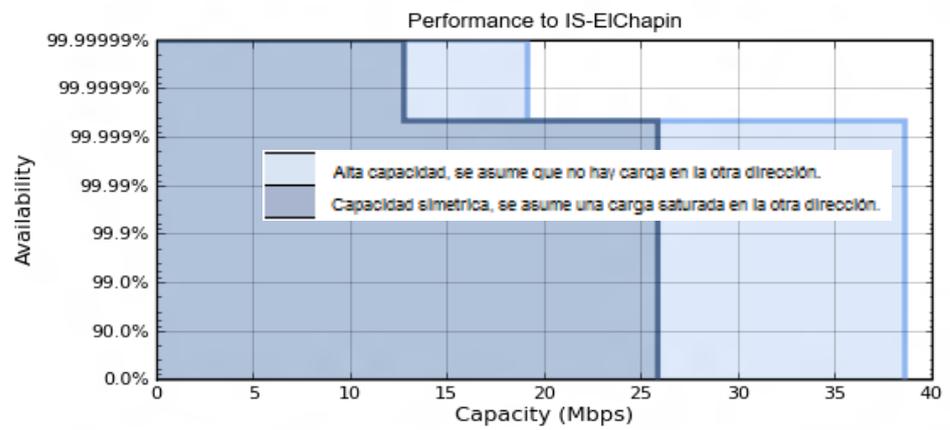


Figura 6. 16: Disponibilidad y ancho de banda simulado.

6.7.7 Enlace El Chapín – Cerro Azul.

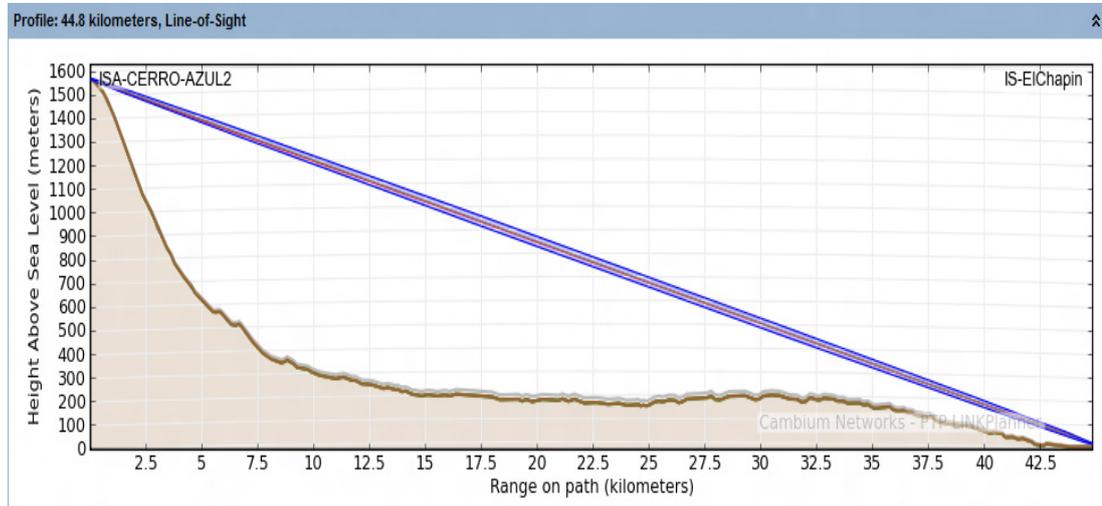


Figura 6. 17: Enlace El Chapín a Cerro Azul.

En la simulación de este radioenlace se consideraron los equipos descritos en la sección 6.5, 21m para la altura de la antena en la torre de El Chapín y 6m en la torre de Cerro Azul.

Los resultados se aprecian en la Figura 6.17, donde se observa que no existe obstáculo en la zona de Fresnel del radioenlace, y de acuerdo al gráfico de disponibilidad (Figura 6.18), este enlace es favorable y se asemeja a los cálculos teóricos, determinando que es viable para su implementación.

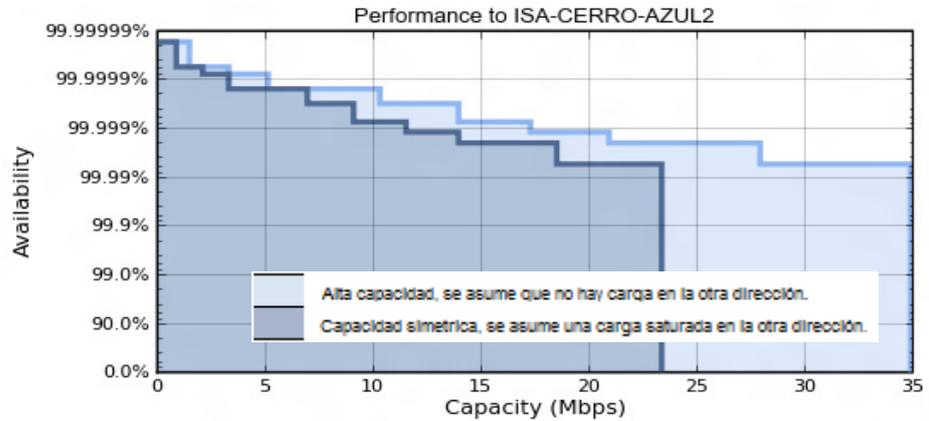


Figura 6. 18: Disponibilidad y ancho de banda simulado.

6.7.8 Enlace Cerro Azul – Canal Bolívar.

En la simulación de este radioenlace se consideraron los equipos descritos en la sección 6.5, 9m para la altura de la antena en la torre de Cerro Azul y 6m en la torre de Base Bolívar.

Los resultados se aprecian en la Figura 6.19, donde se observa que no existe obstáculo en la zona de Fresnel del radioenlace, y de acuerdo al gráfico de disponibilidad (Figura 6.20), este enlace es favorable y se asemeja a los cálculos teóricos, determinando que es viable para su implementación.

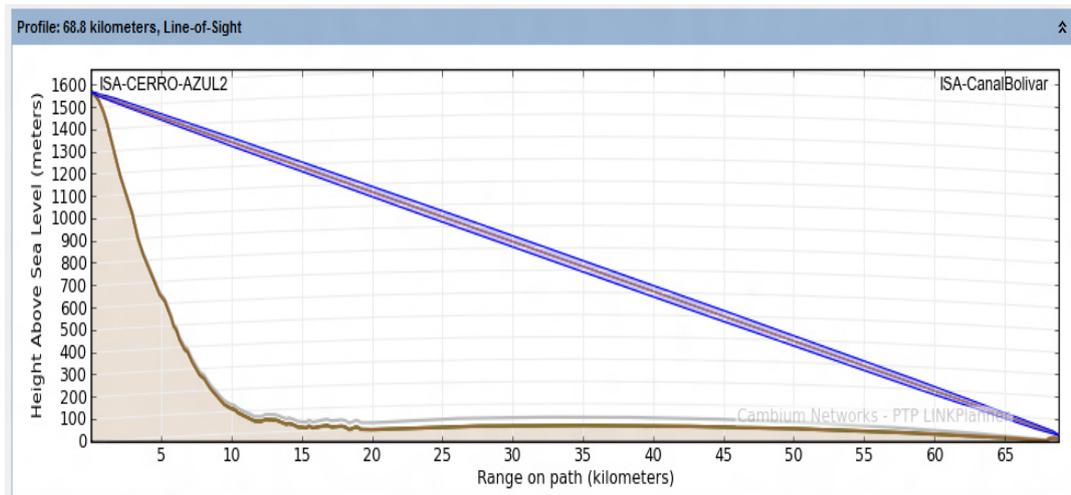


Figura 6. 19: Enlace Cerro Azul a Canal Bolívar.

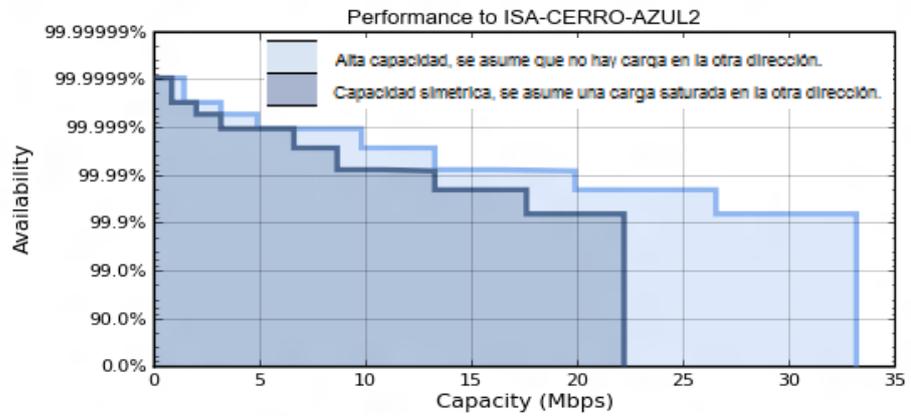


Figura 6. 20: Disponibilidad y ancho de banda simulado.

6.8 Diagrama de Red

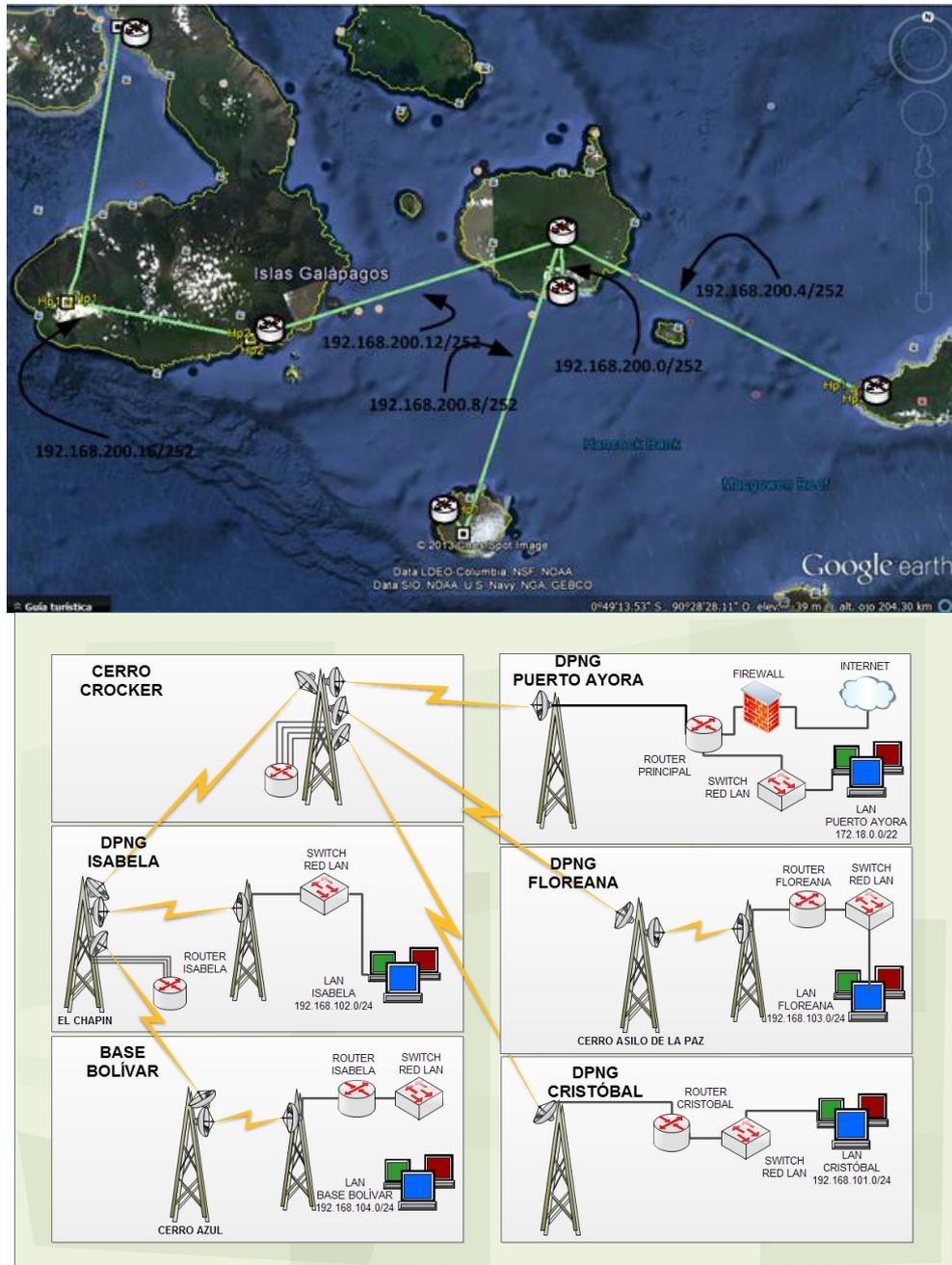


Figura 6. 21: Diagrama de red WAN para la DPNG.

6.9 Manejo de Tráfico IP

El direccionamiento de los paquetes dentro de la red representa un factor importante. Además segmentar las redes ayuda a reducir los dominios de difusión de datos en una red (broadcast). En la tabla XVI, se muestran las redes de la DPNG.

Tabla XVI: Redes de la DPNG.

Santa Cruz	172.18.0.0	255.255.252.0
San Cristóbal	192.168.101.0	255.255.255.0
Isabela – El Chapín	192.168.102.0	255.255.255.0
Isabela – Canal Bolívar	192.168.104.0	255.255.255.0
Floreana	192.168.103.0	255.255.255.0

La DPNG cuenta con enrutadores marca cisco de la serie 800, 1700, 1800, 2600, y 2900 en buen estado, los mismos que se usan en el diseño de la topología lógica de red. En la Fig. 6.21 se observan las direcciones IP recomendadas para los enlaces WAN. Para el enrutamiento se recomienda usar EIGRP, OSPF, RIP o enrutamiento estático, debido a que los enrutadores cisco soportan los protocolos de enrutamiento mencionados.

CAPÍTULO 7

7. ANÁLISIS FINANCIERO.

En este capítulo se detallaron los costos utilizados para el diseño de la red WAN con radioenlaces punto a punto para la DPNG, además se presentó el análisis costo-beneficio que determinara si el proyecto es viable.

7.1 Costo Total del Proyecto.

Teniendo en cuenta los requerimientos de la DPNG de reutilizar, en lo posible, la mayor cantidad de equipos e infraestructura, se decide mantener: los sistemas de respaldo de energía, torres, casetas, enrutadores, conmutadores y racks actuales; ya que están en buenas condiciones como para formar parte del nuevo sistema.

Para establecer el costo total del proyecto se tomó en cuenta el número de total de equipos y el costo de los mismos, en la Tabla XVII se detalla el costo total del proyecto sin incluir el costo de la mano de

obra, los valores presentados se basan en cotizaciones realizadas a Proasetel.

Tabla XVII: Tabla de Costos.

<i>ITEM</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>PRECIO UNITARIO</i>	<i>PRECIO EXTENDIDO</i>
1	PTP57500 25 MBPS(Mediante licencia se alcanza a 52 MBPS / 105 MBPS) - Backhaul Conectorizado Incluye protección para descargas eléctricas LPU	10	\$ 3.950,08	\$ 39.500,80
2	PTP800 licencia 10 MBPS - Backhaul Conectorizado Incluye protección para descargas eléctricas LPU	6	\$ 7.756,00	\$ 46.536,00
3	Antena Parabólica 2 pies con radome, incluye pigtail de baja perdida, acoplador	6	\$ 1.300,00	\$ 7.800,00
4	Antena Parabólica 4 pies con radome, incluye pigtail de baja perdida, acoplador	6	\$ 3.220,00	\$ 19.320,00
5	Antena Parabólica 6 pies con radome, incluye pigtail de baja perdida, acoplador	4	\$ 5.760,00	\$ 23.040,00
	Materiales Varios (cables, conectores, amarras, grasa, etc)	1	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
SON:		Subtotal		\$ 138.196,80
		IVA 12%		\$ 16.583,62
		TOTAL		\$ 154.780,42

7.2 Análisis Costo-Beneficio.

De acuerdo al costo obtenido en la sección anterior, se deduce que el costo no es relativamente alto en comparación a los beneficios que se obtendrán al implementar esta tecnología de acceso inalámbrico en la DPNG.

A continuación se detallan los beneficios funcionales que sustentan el costo del proyecto:

- La DPNG contará con una red privada digital de última generación, que asegura la escalabilidad del sistema y facilita la actualización del mismo a medida que avance la tecnología, contará con tiempos de transmisión cortos comparados con el servicio satelital.
- Se podrá aumentar el ancho de banda de los enlaces simplemente adquiriendo una licencia, además se mejorará la seguridad en el envío de información, y la disponibilidad para el acceso a los servicios requeridos.
- Con la solución PTP de cambium Networks se podrán alcanzar lugares remotos donde una solución alámbrica no es viable, e integrar nuevos servicios IP a la red, como es la radiocomunicación

VHF digital, incluso se mejorará la administración, operación y mantenimiento de la red.

- Permitirá a los usuarios acceder a la información desde cualquier punto de la organización, aumentando su productividad y desempeño, ya que por medio de esta tecnología habrá mejoras en cuanto al ancho de banda y velocidad de datos.

CONCLUSIONES

1. De acuerdo al análisis del estado de operación de las estaciones terrenas y al dimensionamiento de tráfico realizado, se determinó que la red WAN satelital no puede satisfacer las demandas de servicio actuales por parte de los usuarios; además el costo del servicio satelital, es elevado en la región. Originando la importancia de una solución inalámbrica de banda ancha punto a punto para la red WAN de la DPNG.
2. En base a las simulaciones, se demostró que la solución PTP de Cambium Networks permite comunicaciones de más de 50 km y con mayor ancho de banda frente a WIMAX.
3. Se logró dimensionar el ancho de banda de los radioenlaces a 10 Mbps, para cubrir las demandas actuales y futuras de las Unidades y Oficinas Técnicas y puntos remotos de la DPNG, como videoconferencia de alta definición.

4. Se optó por trabajar en la banda de frecuencia licenciada para los radioenlaces desde el Cerro Crocker hacia la DPNG-Puerto Ayora y las islas Isabela y San Cristóbal, debido a que la banda de frecuencia libre puede ocasionar indisponibilidad en el sistema.
5. De acuerdo a las características de los equipos y en base a sus prestaciones y análisis de requerimientos, se determinó que los equipos PTP 57500 para la banda de frecuencia libre y los PTP 800 para banda de frecuencia licenciada, cumplen con los requerimientos de red para la DPNG.
6. Con los cálculos teóricos y simulaciones realizadas se comprueba que la comunicación mediante radioenlaces punto a punto para la red WAN de la DPNG es viable, determinando además que los sitios escogidos son los más óptimos para el diseño propuesto.
7. Se logró diseñar una plataforma inalámbrica de banda ancha, muy fiable y asequible, para la red WAN de la DPNG, con características que superan la red WAN satelital.

RECOMENDACIONES

1. Para aumentar la disponibilidad de la red WAN entre los diferentes Departamentos y Oficinas Técnicas y el punto remoto, debe considerarse enlaces de respaldo que permitan mantener la red operativa a pesar de que un enlace quedara inhabilitado.
2. En un sistema inalámbrico de banda ancha que opere en la banda de frecuencia libre, es crucial que se utilice el mejor diseño posible para combatir los factores que pueden causar inestabilidad en la red.
3. Los sistemas de autonomía eléctrica para aquellos sitios que no cuentan con el fluido eléctrico de la Empresa Eléctrica, deben dimensionarse para asegurar su óptima operación y aumentar la confiabilidad del sistema.

4. Se recomienda utilizar la estación terrena maestra de Santa Cruz, la cual cuenta con 2 transceptores de 50 watts, para recibir un enlace de respaldo del servicio de INTERNET debido a que se han presentado problemas recurrentes que han dejado a la DPNG sin este servicio por varias horas.

ANEXOS

ANEXO A

Dimensionamiento de Tráfico IP.

Para una adecuada planificación de la red, se debe analizar el tipo de tráfico que pasará por ella, puesto que de eso depende el ancho de banda necesario para los enlaces sin sobredimensionar la red. Además con el dimensionamiento calculado se garantiza a los usuarios un buen desempeño de la red al momento de la implementación.

Son varios los servicios que se manejan en los diferentes departamentos de las Unidades y Oficinas Técnicas. Debido a que no se cuenta con un análisis anterior para el tráfico de la red, el análisis se basará de acuerdo al reporte de los servicios y aplicaciones más utilizados en la red de la DPNG que son capturados por el firewall (cortafuegos).

Los servidores principales de la DPNG se encuentran en la Unidad Técnica de Puerto Ayora en isla Santa Cruz, entre ellos está, el servidor de correo electrónico, de telefonía IP, mensajería instantánea, antivirus, base de datos, etc.

Los tipos de tráfico que se transportarán por la red WAN son:

- Correo electrónico.
- Acceso a internet. (QUIPUX, ESIGEF, COMPRAS PÚBLICAS, etc.)

- Videoconferencia y telefonía IP
- Radiocomunicación VHF
- Otros servicios (mensajería, escritorio remoto, bases de datos, transferencia de archivos, etc.)

Correo Electrónico:

El correo electrónico es un servicio que la mayoría de los usuarios utiliza a diario, excepto aquellos guarda parques de campo. Este servicio permite intercambiar información, enviar informes, fotos, etc. El tamaño promedio de un documento de texto es de 50kb, mientras que el tamaño promedio de una imagen depende de su formato, pero el promedio está por los 700kb. El tamaño promedio de un correo electrónico está por los 800kb, para garantizar un buen desempeño de la red frente a este servicio.

Tráfico Promedio por Hora entre todos los usuarios en todas las islas.

time	received	delivered	deferred	bounced	rejected
0000-0100	95	19	10	4	86
0100-0200	101	18	10	0	43
0200-0300	138	50	7	0	38
0300-0400	116	30	11	1	26
0400-0500	98	20	11	0	11

0500-0600	122	42	8	0	17
0600-0700	96	20	9	0	22
0700-0800	145	95	11	0	15
0800-0900	674	665	16	4	157
0900-1000	447	417	18	1	116
1000-1100	514	569	29	9	68
1100-1200	674	747	46	5	58
1200-1300	363	347	52	0	38
1300-1400	176	114	18	0	40
1400-1500	469	621	27	5	40
1500-1600	436	534	35	2	97
1600-1700	438	445	29	0	72
1700-1800	263	225	21	0	68
1800-1900	178	131	15	2	41
1900-2000	181	130	20	2	65
2000-2100	107	32	21	2	12
2100-2200	109	38	19	0	20

2200-2300	105	15	21	2	24
2300-2400	56	14	4	0	1

Las estadísticas presentadas fueron tomadas del servidor de correo, el cual junta el tráfico producido por todos los usuarios en todos los Departamentos y Oficinas Técnicas de la DPNG.

El mayor número de usuarios se encuentran en Santa Cruz, por lo tanto el tráfico producido por ellos no interviene en el dimensionamiento. Mientras que el tráfico producido por los usuarios de las diferentes islas si debe analizarse.

Se estima que un usuario revisa en promedio 5 correos por hora, de acuerdo al departamento TIC. Entonces el throughput para el correo electrónico es:

$$V_{CE} = \frac{800kbyte}{1 correo} \times \frac{8 bits}{1 byte} \times \frac{5 correos}{1 hora} \times \frac{1 hora}{3600 seg}$$

$$V_{CE} = 8.89 kbps$$

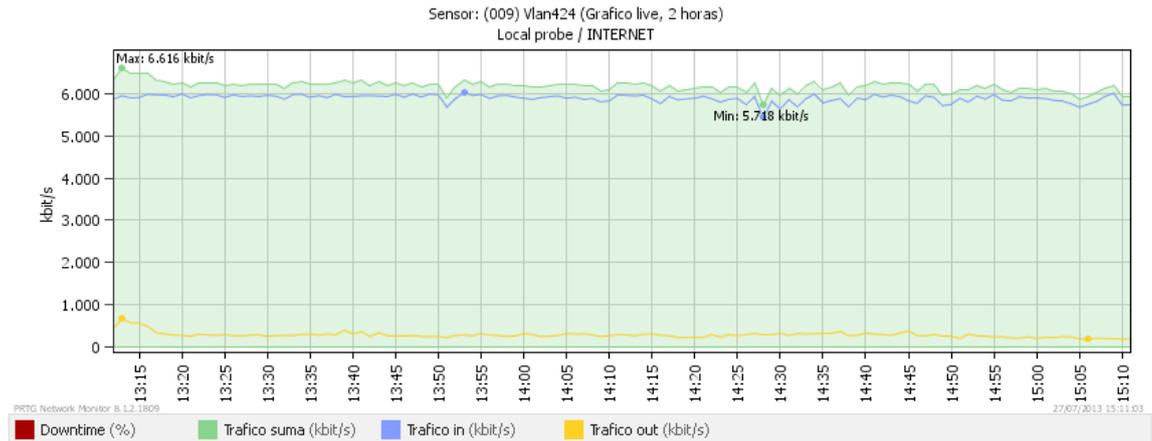
El consumo de correo electrónico es de 8.89 Kbps

Internet:

El servicio de internet lo brinda CNT y actualmente es de 6 Megas de bajada y 3 Megas de subida. El servicio llega por fibra óptica hasta las instalaciones

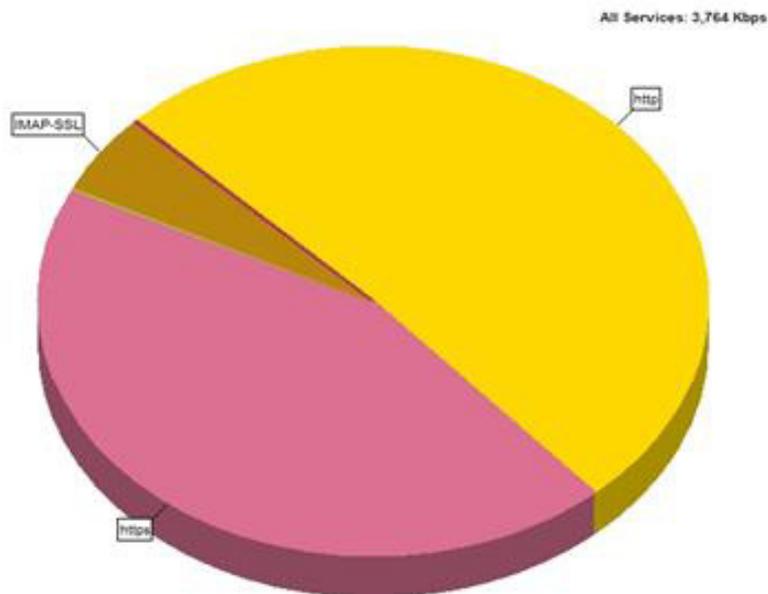
de la DPNG en Puerto Ayora, a partir del cual se distribuye para los demás sitios.

En el Anexo A.1 se muestra la saturación del enlace de internet:



Anexo A.1. Saturación enlace Internet.

Las páginas web tienen diferente peso de acuerdo a su diseño. De acuerdo a un reporte del Firewall los servicios consumidos de HTTP, HTTPS e IMAP-SSL bordean los 4 Megas entre todos los usuarios. Ver Anexo A.2.



Anexo A.2. Servicios más consumidos.

De acuerdo al departamento TIC el consumo de página web promedio es de 128kbps.

Videoconferencia:

La videoconferencia se la realiza mediante Skype y debe ser notificada al departamento TIC, para brindarle la capacidad necesaria y que la videoconferencia se lleve a cabo con normalidad. De acuerdo al administrador del Firewall, para que una videoconferencia se establezca con normalidad se debe asignar 512 Kbps Los cuales son suficientes para una videoconferencia de alta calidad en Skype, de acuerdo al Anexo A.3 que referencia los valores necesarios de velocidad de descarga y carga. [28].

Anexo A.3. Velocidad de carga y descarga SKYPE

Tipo de llamada	Velocidad mínima de descarga /velocidad de carga	Velocidad de descarga /velocidad de carga recomendada
Llamadas	30 Kbps/30 Kbps	100 Kbps/100 Kbps
Video llamadas/ Pantalla compartida	128 Kbps/128 Kbps	300 Kbps/300 Kbps
Videollamadas (alta calidad)	400 Kbps/400 Kbps	500 Kbps/500 Kbps
Videollamadas (HD)	1,2 Mbps/1,2 Mbps	1,5 Mbps/1,5 Mbps
Videollamadas grupales (3 personas)	512 Kbps/128 Kbps	2 Mbps/512 Kbps
Videollamadas grupales (5 personas)	2 Mbps/128 Kbps	4 Mbps/512 Kbps
Videollamadas grupales (más de 7 personas)	4 Mbps/128 Kbps	8 Mbps/512 Kbps

Telefonía:

La DPNG cuenta con una central telefónica híbrida, ver Anexo A.4, es decir permite conectar teléfonos IP y analógicos, las central telefónica es marca Panasonic modelo TDE 200 con un códec G.711.



Anexo A.4. Central Telefónica Panasonic.

El consumo promedio de una llamada IP de acuerdo al calculador de ancho de banda se muestra en el Anexo A.5:


**VoIP Bandwidth
Calculator™**

Parámetros ¹	
<input type="radio"/> Codificador es	G.711 56kbps <input type="button" value="v"/> con ² <input type="text" value="20"/> ms ó <input type="text" value="160"/> tramas ³ por paquete.
<input type="radio"/> RTP es	RTP (RFC 3550) <input type="button" value="v"/>
<input type="radio"/> UDP	
<input checked="" type="radio"/> IP	
<input type="radio"/> Enlace	ethernet 802.3 <input type="button" value="v"/>
<input type="checkbox"/> Supresión de Silencios ⁴	<input type="checkbox"/> RTCP ⁵ <input type="text" value="1"/> canal(es) ⁶

Resultados		
<i>Ancho de banda</i> Promedio ⁷ : <input type="text" value="72"/> kbps Máxima ⁸ : <input type="text" value="72"/> kbps <i>Tasa de paquete¹²</i> Promedio: <input type="text" value="50"/> pps Máxima: <input type="text" value="50"/> pps	<i>Retardo⁹</i> Trama: <input type="text" value="0.125"/> ms Lookahead: <input type="text" value="0"/> ms Algorítmico: <input type="text" value="20"/> ms	<i>Performance</i> DSP MIPS ¹⁰ : <input type="text" value="?"/> MOS ¹¹ : <input type="text" value="?"/>

Anexo A.5. Consumo llamada IP.

De acuerdo al cálculo realizado, cada llamada consume en promedio 72 Kbps [29]

Radiocomunicación VHF:

Las radios VHF se van a conectar en un futuro a la central telefónica, por lo que al igual que una llamada convencional, el consumo de las radios VHF es de 72 Kbps

Otros Servicios:

El ancho de banda consumido por transferencia de archivos, acceso a base de datos, mensajería, etc.; consumen en promedio 128kbps, de acuerdo al departamento TIC.

Estimación de Ancho de Banda

La DPNG cuenta con diferentes Unidades y Oficinas Técnicas en las diferentes islas, el proyecto consiste en brindar a los usuarios de Isabela, San Cristóbal, Floreana y Canal Bolívar acceso a los servicios disponibles en Santa Cruz.

Para la estimación de ancho de banda se analizará las Unidad Técnica con mayor número de usuarios, que en este caso es San Cristóbal con alrededor de 60 usuarios, además para no sobredimensionar la red se harán estimaciones con el administrador de red de la DPNG en cuanto al número de usuarios simultáneos accediendo a cada servicio.

Los cálculos se basarán de acuerdo a un análisis pesimista, es decir cuando la mayor parte de usuarios accede a la mayor cantidad de servicios al mismo tiempo.

Correo Electrónico:

Se estima que en un ambiente pesimista, 20 usuarios utilizarán el correo electrónico. Por lo tanto el consumo de la tasa efectiva de transmisión será:

Correo: 20×8.89

Correo = 177.8 Kbps

Internet:

Se estima que en un ambiente pesimista el número de usuarios que accederán a este servicio será de 45. Por ello la tasa efectiva de transmisión será de:

Internet: 128×45

Internet = 5760 Kbps

Videoconferencia:

Actualmente la DPNG no cuenta con un servidor exclusivo para videoconferencias, por ello, para realizar una videoconferencia se debe planificar y notificar al departamento TIC, para que se les asigne un ancho de banda exclusivo a los usuarios que van a participar de la misma.

La tasa efectiva de transmisión es de 512 Kbps y se estima que como máximo 2 usuarios acceden a este servicio.

Videoconferencia: 1024 Kbps

Telefonía y Radiocomunicación:

Actualmente la DPNG cuenta con mayor cantidad de usuarios con telefonía analógica. Son pocos los usuarios que cuentan con teléfonos IP, por ello se estima que 4 usuarios acceden al servicio de telefonía y 12 usuarios accederían al servicio de radiocomunicación VHF integrado. Por lo tanto el consumo de la tasa efectiva de transmisión será de:

$$\text{Consumo} = 4 \times 72 + 12 \times 72$$

$$\text{Consumo} = 1392 \text{ Kbps}$$

Otros Servicios:

Se estima que 7 usuarios acceden a este tipo de servicio.

$$\text{Otro: } 128 \times 7$$

$$\text{Otro} = 896 \text{ Kbps}$$

El análisis total de consumo lo podemos observar en el Anexo A.6.

Anexo A.6. Consumo de ancho de banda pesimista.

SERVICIO	ANCHO DE BANDA (Kbps)
Internet	5760

Correo electrónico	177.8
Videoconferencia	1024
Telefonía y Radiocomunicación	1392
Otro Servicio	896
TOTAL	9249.8

ANEXO B

Sitios Escogidos

Para el desarrollo del proyecto es necesario escoger los sitios con mejores prestaciones para el diseño de la red. Por ello se han seleccionado varios sitios pertenecientes a la DPNG en las diferentes islas, que cuentan con el espacio, energía, línea de vista, infraestructura para establecer la comunicación punto a punto entre las islas.

El detalle de los sitios se muestra a continuación, se tomará como referencia el formato establecido por la CONATEL para la concesión de frecuencias.

Anexo B.1. Información de Infraestructura de sitios.

	FORMULARIO PARA INFORMACION DE LA INFRAESTRUCTURA DEL SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES		RC – 2A		
			Elab.: DGGER Versión: 02		
			1) Cod. Cont.:		
ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES					
2) ESTRUCTURA 1					
TIPO DE ESTRUCTURA DE SOPORTE: TORRE TRIANGULARSOPORTADA CON VIENTOS			ALTURA DE LA ESTRUCTURA s.n.m. (m): 6		
CODIGO DE REGISTRO DE LA ESTRUCTURA: S1			ALTURA DE LA ESTRUCTURA (BASE-CIMA) (m): 33		
3) UBICACION DE LA ESTRUCTURA:					
PROVINCIA	CIUDAD / CANTON	LOCALIDAD/CALLE y No.	UBICACION GEOGRAFICA (WGS84)		
			LATITUD (S/N) (°) (') (") (S/N)	LONGITUD (W) (°) (') (") (W)	
GALAPAGOS	PUERTO AYORA/SANTA CRUZ	PUERTO AYOTA / Av. Charles Darwin S/N INSTALACIONES DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS	00°44'25.32" S	90°18'21.92" W	
4) PROTECCIONES ELECTRICAS A INSTALAR EN LA ESTRUCTURA:					
PUESTA A TIERRA		SI (x) NO ()	PARARRAYOS		SI (x) NO ()
OTROS (Describe):					

5) TIPO DE FUENTE DE ENERGIA A UTILIZAR:				
LINEA COMERCIAL (X)	GENERADOR ()	BANCO DE BATERIAS ()	EXISTE RESPALDO SI (X) NO ()	
TIPO DE RESPALDO				
GENERADOR (X)	BANCO DE BATERIAS (X)	UPS (X)	OTRO:	
6) PROPIETARIO DE LA ESTRUCTURA: DIRECCION PARQUE NACIONAL GALAPAGOS				
2) ESTRUCTURA 2				
TIPO DE ESTRUCTURA DE SOPORTE: TORRE TRIANGULARSOPORTADA CON VIENTOS		ALTURA DE LA ESTRUCTURA s.n.m. (m): 850		
CODIGO DE REGISTRO DE LA ESTRUCTURA: S2		ALTURA DE LA ESTRUCTURA (BASE-CIMA) (m): 21		
3) UBICACION DE LA ESTRUCTURA:				
PROVINCIA	CIUDAD / CANTON	LOCALIDAD/CALLE y No.	UBICACION GEOGRAFICA (WGS84)	
			LATITUD (S/N) (°) (') (") (S/N)	LONGITUD (W) (°) (') (") (W)
GALAPAGOS	SANTA CRUZ	CERRO CROKER	0°38'32.69" S	90°19'32.34" W
4) PROTECCIONES ELECTRICAS A INSTALAR EN LA ESTRUCTURA:				
PUESTA A TIERRA SI (X) NO ()		PARARRAYOS SI (X) NO ()		
OTROS (Describe):				
5) TIPO DE FUENTE DE ENERGIA A UTILIZAR:				
LINEA COMERCIAL (X)	GENERADOR ()	BANCO DE BATERIAS ()	EXISTE RESPALDO SI (X) NO (X)	
TIPO DE RESPALDO				
GENERADOR ()	BANCO DE BATERIAS (X)	UPS (X)	OTRO:	
6) PROPIETARIO DE LA ESTRUCTURA: DIRECCION PARQUE NACIONAL GALAPAGOS				
2) ESTRUCTURA 3				
TIPO DE ESTRUCTURA DE SOPORTE: TORRE TRIANGULARSOPORTADA CON VIENTOS		ALTURA DE LA ESTRUCTURA s.n.m. (m): 15		
CODIGO DE REGISTRO DE LA ESTRUCTURA: S3		ALTURA DE LA ESTRUCTURA (BASE-CIMA) (m): 30		
3) UBICACION DE LA ESTRUCTURA:				
PROVINCIA	CIUDAD / CANTON	LOCALIDAD/CALLE y No.	UBICACION GEOGRAFICA (WGS84)	
			LATITUD (S/N) (°) (') (") (S/N)	LONGITUD (W) (°) (') (") (W)
GALAPAGOS	PUERTO BAQUERIZO MORENO/SAN CRISTOBAL	INSTALACIONES DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS DETRÁS DE LA EXTENSIÓN DE LA UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO / CALLE S/N VIA PLAYA MAN	00°53'44.66" S	89°36'29.77" W
4) PROTECCIONES ELECTRICAS A INSTALAR EN LA ESTRUCTURA:				
PUESTA A TIERRA SI (x) NO ()		PARARRAYOS SI (x) NO ()		
OTROS (Describe):				
5) TIPO DE FUENTE DE ENERGIA A UTILIZAR:				
LINEA COMERCIAL (X)	GENERADOR ()	BANCO DE BATERIAS ()	EXISTE RESPALDO SI (X) NO ()	
TIPO DE RESPALDO				
GENERADOR ()	BANCO DE BATERIAS (X)	UPS (X)	OTRO:	

6) PROPIETARIO DE LA ESTRUCTURA: DIRECCION PARQUE NACIONAL GALAPAGOS				
2) ESTRUCTURA 4				
TIPO DE ESTRUCTURA DE SOPORTE: TORRE TRIANGULARSOPORTADA CON VIENTOS			ALTURA DE LA ESTRUCTURA s.n.m. (m): 10	
CODIGO DE REGISTRO DE LA ESTRUCTURA: S4			ALTURA DE LA ESTRUCTURA (BASE-CIMA) (m): 21	
3) UBICACION DE LA ESTRUCTURA:				
PROVINCIA	CIUDAD / CANTON	LOCALIDAD/CALLE y No.	UBICACION GEOGRAFICA (WGS84)	
			LATITUD (S/N) (°) (') (") (S/N)	LONGITUD (W) (°) (') (") (W)
GALAPAGOS	PUERTO VILLAMIL/ISABELA	EL CHAPIN / CALLE ANTONIO GIL S/N DETRÁS DEL CENTRO DE CRIANZA DE TORTUGAS GIGANTES DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS.	00°56'46.53" S	90°58'26.03" W
4) PROTECCIONES ELECTRICAS A INSTALAR EN LA ESTRUCTURA:				
PUESTA A TIERRA		SI (<input checked="" type="checkbox"/>) NO (<input type="checkbox"/>)	PARARRAYOS	
			SI (<input type="checkbox"/>) NO (<input type="checkbox"/>)	
OTROS (Describe):				
5) TIPO DE FUENTE DE ENERGIA A UTILIZAR:				
LINEA COMERCIAL (<input checked="" type="checkbox"/>)	GENERADOR (<input type="checkbox"/>)	BANCO DE BATERIAS (<input type="checkbox"/>)	EXISTE RESPALDO SI (<input checked="" type="checkbox"/>) NO (<input type="checkbox"/>)	
TIPO DE RESPALDO				
GENERADOR (<input type="checkbox"/>)	BANCO DE BATERIAS (<input checked="" type="checkbox"/>)	UPS (<input checked="" type="checkbox"/>)	OTRO:	
6) PROPIETARIO DE LA ESTRUCTURA: DIRECCION PARQUE NACIONAL GALAPAGOS				
2) ESTRUCTURA 5				
TIPO DE ESTRUCTURA DE SOPORTE: TORRE TRIANGULARSOPORTADA CON VIENTOS			ALTURA DE LA ESTRUCTURA s.n.m. (m): 8	
CODIGO DE REGISTRO DE LA ESTRUCTURA: S5			ALTURA DE LA ESTRUCTURA (BASE-CIMA) (m): 12	
3) UBICACION DE LA ESTRUCTURA:				
PROVINCIA	CIUDAD / CANTON	LOCALIDAD/CALLE y No.	UBICACION GEOGRAFICA (WGS84)	
			LATITUD (S/N) (°) (') (") (S/N)	LONGITUD (W) (°) (') (") (W)
GALAPAGOS	PUERTO VILLAMIL/ISABELA	INSTALACIONES DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS / CALLE ANTONIO GIL S/N	00°57'24.45" S	90°58'2.93" W
4) PROTECCIONES ELECTRICAS A INSTALAR EN LA ESTRUCTURA:				
PUESTA A TIERRA		SI (<input checked="" type="checkbox"/>) NO (<input type="checkbox"/>)	PARARRAYOS	
			SI (<input type="checkbox"/>) NO (<input type="checkbox"/>)	
OTROS (Describe):				
5) TIPO DE FUENTE DE ENERGIA A UTILIZAR:				
LINEA COMERCIAL (<input checked="" type="checkbox"/>)	GENERADOR (<input type="checkbox"/>)	BANCO DE BATERIAS (<input type="checkbox"/>)	EXISTE RESPALDO SI (<input checked="" type="checkbox"/>) NO (<input type="checkbox"/>)	
TIPO DE RESPALDO				
GENERADOR (<input type="checkbox"/>)	BANCO DE BATERIAS (<input checked="" type="checkbox"/>)	UPS (<input checked="" type="checkbox"/>)	OTRO:	
6) PROPIETARIO DE LA ESTRUCTURA: DIRECCION PARQUE NACIONAL GALAPAGOS				
2) ESTRUCTURA 6				

TIPO DE ESTRUCTURA DE SOPORTE: TORRE TRIANGULARSOPORTADA CON VIENTOS			ALTURA DE LA ESTRUCTURA s.n.m. (m): 1547	
CODIGO DE REGISTRO DE LA ESTRUCTURA: S6			ALTURA DE LA ESTRUCTURA (BASE-CIMA) (m): 12	
3) UBICACION DE LA ESTRUCTURA:				
PROVINCIA	CIUDAD / CANTON	LOCALIDAD/CALLE y No.	UBICACION GEOGRAFICA (WGS84)	
			LATITUD (S/N) (°) (') (") (S/N)	LONGITUD (W) (°) (') (") (W)
GALAPAGOS	ISABELA	VOLCAN CERRO AZUL	00°55'12.92" S	91°22'27.35" W
4) PROTECCIONES ELECTRICAS A INSTALAR EN LA ESTRUCTURA:				
PUESTA A TIERRA		SI (<input checked="" type="checkbox"/>) NO (<input type="checkbox"/>)	PARARRAYOS	
			SI (<input checked="" type="checkbox"/>) NO (<input type="checkbox"/>)	
OTROS (Describa):				
5) TIPO DE FUENTE DE ENERGIA A UTILIZAR:				
LINEA COMERCIAL (<input type="checkbox"/>)	GENERADOR (<input type="checkbox"/>)	BANCO DE BATERIAS (<input checked="" type="checkbox"/>)	EXISTE RESPALDO SI (<input type="checkbox"/>) NO (<input checked="" type="checkbox"/>)	
TIPO DE RESPALDO				
GENERADOR (<input type="checkbox"/>)	BANCO DE BATERIAS (<input type="checkbox"/>)	UPS (<input type="checkbox"/>)	OTRO:	
6) PROPIETARIO DE LA ESTRUCTURA: DIRECCION PARQUE NACIONAL GALAPAGOS				

2) ESTRUCTURA 7				
TIPO DE ESTRUCTURA DE SOPORTE: TORRE TRIANGULARSOPORTADA CON VIENTOS			ALTURA DE LA ESTRUCTURA s.n.m. (m): 27	
CODIGO DE REGISTRO DE LA ESTRUCTURA: S7			ALTURA DE LA ESTRUCTURA (BASE-CIMA) (m): 12	
3) UBICACION DE LA ESTRUCTURA:				
PROVINCIA	CIUDAD / CANTON	LOCALIDAD/CALLE y No.	UBICACION GEOGRAFICA (WGS84)	
			LATITUD (S/N) (°) (') (") (S/N)	LONGITUD (W) (°) (') (") (W)
GALAPAGOS	ISABELA	BASE BOLÍVAR	00°17'41.24" S	91°21'22.71" W
4) PROTECCIONES ELECTRICAS A INSTALAR EN LA ESTRUCTURA:				
PUESTA A TIERRA		SI (<input checked="" type="checkbox"/>) NO (<input type="checkbox"/>)	PARARRAYOS	
			SI (<input checked="" type="checkbox"/>) NO (<input type="checkbox"/>)	
OTROS (Describa):				
5) TIPO DE FUENTE DE ENERGIA A UTILIZAR:				
LINEA COMERCIAL (<input type="checkbox"/>)	GENERADOR (<input type="checkbox"/>)	BANCO DE BATERIAS (<input checked="" type="checkbox"/>)	EXISTE RESPALDO SI (<input type="checkbox"/>) NO (<input checked="" type="checkbox"/>)	
TIPO DE RESPALDO				
GENERADOR (<input type="checkbox"/>)	BANCO DE BATERIAS (<input type="checkbox"/>)	UPS (<input type="checkbox"/>)	OTRO:	

6) PROPIETARIO DE LA ESTRUCTURA: DIRECCION PARQUE NACIONAL GALAPAGOS				
2) ESTRUCTURA 8				
TIPO DE ESTRUCTURA DE SOPORTE: MASTIL			ALTURA DE LA ESTRUCTURA s.n.m. (m):8	
CODIGO DE REGISTRO DE LA ESTRUCTURA: S8			ALTURA DE LA ESTRUCTURA (BASE-CIMA) (m): 12	
3) UBICACION DE LA ESTRUCTURA:				
PROVINCIA	CIUDAD / CANTON	LOCALIDAD/CALLE y No.	UBICACION GEOGRAFICA (WGS84)	
			LATITUD (S/N) (°) (') (") (S/N)	LONGITUD (W) (°) (') (") (W)
GALAPAGOS	PUERTO VELASCO IBARRA/FLOREANA	INSTALACIONES DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS / CALLE S/N	01°16'24.58" S	90°29'17.16" W
4) PROTECCIONES ELECTRICAS A INSTALAR EN LA ESTRUCTURA:				
PUESTA A TIERRA		SI (x) NO ()	PARARRAYOS	
			SI () NO (X)	
OTROS (Describe):				
5) TIPO DE FUENTE DE ENERGIA A UTILIZAR:				
LINEA COMERCIAL (X)	GENERADOR ()	BANCO DE BATERIAS ()	EXISTE RESPALDO SI () NO (X)	
TIPO DE RESPALDO				
GENERADOR ()	BANCO DE BATERIAS ()	UPS ()	OTRO:	
6) PROPIETARIO DE LA ESTRUCTURA: DIRECCION PARQUE NACIONAL GALAPAGOS				
2) ESTRUCTURA 9				
TIPO DE ESTRUCTURA DE SOPORTE: TORRE TRIANGULARSOPORTADA CON VIENTOS			ALTURA DE LA ESTRUCTURA s.n.m. (m): 497	
CODIGO DE REGISTRO DE LA ESTRUCTURA: S9			ALTURA DE LA ESTRUCTURA (BASE-CIMA) (m): 12	
3) UBICACION DE LA ESTRUCTURA:				
PROVINCIA	CIUDAD / CANTON	LOCALIDAD/CALLE y No.	UBICACION GEOGRAFICA (WGS84)	
			LATITUD (S/N) (°) (') (") (S/N)	LONGITUD (W) (°) (') (") (W)
GALAPAGOS	PUERTO VELASCO IBARRA/FLOREANA	CERRO ASILO DE LA PAZ	01°19'0.52" S	90°27'6.59" W
4) PROTECCIONES ELECTRICAS A INSTALAR EN LA ESTRUCTURA:				
PUESTA A TIERRA		SI (x) NO ()	PARARRAYOS	
			SI (X) NO ()	
OTROS (Describe):				
5) TIPO DE FUENTE DE ENERGIA A UTILIZAR:				
LINEA COMERCIAL ()	GENERADOR ()	BANCO DE BATERIAS (X)	EXISTE RESPALDO SI () NO (X)	
TIPO DE RESPALDO				
GENERADOR ()	BANCO DE BATERIAS ()	UPS ()	OTRO:	
6) PROPIETARIO DE LA ESTRUCTURA: DIRECCION PARQUE NACIONAL GALAPAGOS				

ANEXO C

Cálculo de Pérdidas en el Espacio Libre.

Enlace DPNG-Puerto Ayora a Cerro Crocker.

$$FSPL = 92.45 + 20 * \log(D) + 20 * \log(f)$$

$$FSPL = 92.45 + 20 * \log(11.1) + 20 * \log(7)$$

$$FSPL = 130.258$$

Enlace Cerro Crocker a DPNG-Puerto Baquerizo Moreno.

$$FSPL = 92.45 + 20 * \log(D) + 20 * \log(f)$$

$$FSPL = 92.45 + 20 * \log(84.54) + 20 * \log(7)$$

$$FSPL = 147.893$$

Enlace Cerro Crocker a Cerro Asilo de la Paz.

$$FSPL = 92.45 + 20 * \log(D) + 20 * \log(f)$$

$$FSPL = 92.45 + 20 * \log(73.68) + 20 * \log(5.7)$$

$$FSPL = 144.914$$

Enlace Cerro Asilo de la Paz A DPNG-Puerto Velasco Ibarra.

$$FSPL = 92.45 + 20 * \log(D) + 20 * \log(f)$$

$$FSPL = 92.45 + 20 * \log(6.3) + 20 * \log(5.7)$$

$$FSPL = 123.554$$

Enlace Cerro Crocker a El Chapín.

$$FSPL = 92.45 + 20 * \log(D) + 20 * \log(f)$$

$$FSPL = 92.45 + 20 * \log(79.55) + 20 * \log(7)$$

$$FSPL = 147.365$$

Enlace El Chapín a DPNG-Puerto Villamil.

$$FSPL = 92.45 + 20 * \log(D) + 20 * \log(f)$$

$$FSPL = 92.45 + 20 * \log(1.37) + 20 * \log(5.7)$$

$$FSPL = 110.302$$

Enlace El Chapín a Cerro Azul.

$$FSPL = 92.45 + 20 * \log(D) + 20 * \log(f)$$

$$FSPL = 92.45 + 20 * \log(44.75) + 20 * \log(5.7)$$

$$FSPL = 140.583$$

Enlace Cerro Azul a Base Bolívar

$$FSPL = 92.45 + 20 * \log(D) + 20 * \log(f)$$

$$FSPL = 92.45 + 20 * \log(69.19) + 20 * \log(5.7)$$

$$FSPL = 144.368$$

ANEXO D

Cálculo del Margen de Desvanecimiento.

Enlace DPNG-Puerto Ayora a Cerro Crocker.

$$FM = 22 + 28.5 - 130.258 + 28.5 - (-90.9) [dB]$$

$$FM = 39.642 [dB]$$

Enlace Cerro Crocker a DPNG-Puerto Baquerizo Moreno

$$FM = 22 + 37.5 - 147.893 + 37.5 - (-90.9) [dB]$$

$$FM = 40.007 [dB]$$

Enlace Cerro Crocker a Cerro Asilo De La Paz.

$$FM = 27 + 34.8 - 144.914 + 34.8 - (-94) - 1 [dB]$$

$$FM = 44.686 [dB]$$

Enlace Cerro Asilo de La Paz a DPNG-Puerto Velasco Ibarra.

$$FM = 27 + 28.5 - 123.554 + 28.5 - (-94) - 1 [dB]$$

$$FM = 53.446 [dB]$$

Enlace Cerro Crocker a El Chapín.

$$FM = 22 + 37.5 - 147.365 + 37.5 - (-90.9) [dB]$$

$$FM = 40.535 [dB]$$

Enlace El Chapín a DPNG-Puerto Villamil.

$$FM = 27 + 28.5 - 110.301 + 28.5 - (-94) - 1 [dB]$$

$$FM = 66.698 [dB]$$

Enlace El Chapín a Cerro Azul.

$$FM = 27 + 34.8 - 140.583 + 34.8 - (-94) - 1 [dB]$$

$$FM = 49.017 [dB]$$

Enlace Cerro Azul a Base Bolívar.

$$FM = 27 + 34.8 - 144.368 + 34.8 - (-94) - 1 [dB]$$

$$FM = 45.232 [dB]$$

ANEXO E

Cálculo de Confiabilidad.

$$R = 1 - (6 * 10^{-7} * A * f_{GHz} * d_{(km)}^3 * 10^{-\frac{FM}{10}})$$

Factor A.

FACTOR	VALOR	CONDICIONES
A	4	Terreno muy liso inclusive sobre agua.
	3	Sembrados densos, pastizales, arenales.
	2	Bosques (propagación va por encima).
	1	Terreno promedio con alguna rugosidad.
	1/4	Terreno muy rugoso y montañoso.

Enlace DPNG-Puerto Ayora a Cerro Crocker.

$$R = 1 - (6 * 10^{-7} * 1 * 7 * 11.1^3 * 10^{-\frac{39.642}{10}})$$

$$R = 0.99999$$

Enlace Cerro Crocker a DPNG-Puerto Baquerizo Moreno.

$$R = 1 - (6 * 10^{-7} * 4 * 7 * 84.54^3 * 10^{-\frac{40.007}{10}})$$

$$R = 0.99899$$

Enlace Cerro Crocker a Cerro Asilo De La Paz.

$$R = 1 - (6 * 10^{-7} * 4 * 5.7 * 73.68^3 * 10^{-\frac{44.686}{10}})$$

$$R = 0.99981$$

Enlace Cerro Asilo de La Paz a DPNG-Puerto Velasco Ibarra.

$$R = 1 - (6 * 10^{-7} * 1 * 5.7 * 6.3^3 * 10^{-\frac{53.446}{10}})$$

$$R = 0.99999$$

Enlace Cerro Crocker a El Chapín.

$$R = 1 - (6 * 10^{-7} * 4 * 7 * 79.55^3 * 10^{-\frac{40.535}{10}})$$

$$R = 0.99925$$

Enlace El Chapín a DPNG-Puerto Villamil.

$$R = 1 - (6 * 10^{-7} * 1 * 5.7 * 1.37^3 * 10^{-\frac{66.698}{10}})$$

$$R = 0.99999$$

Enlace El Chapín a Cerro Azul.

$$R = 1 - (6 * 10^{-7} * 3 * 5.7 * 44.75^3 * 10^{-\frac{49.017}{10}})$$

$$R = 0.99998$$

Enlace Cerro Azul a Base Bolívar.

$$R = 1 - (6 * 10^{-7} * 4 * 5.7 * 69.19^3 * 10^{-\frac{45.232}{10}})$$

$$R = 0.99986$$

ANEXO F

Documento de solicitud para uso de la Información técnica de la red WAN de la DPNG.

Santa Cruz, 30 de Abril del 2013

Señora:

Janeth Castillo Matailo

Proceso de Tecnología de la Información y Comunicación

DIRECCIÓN PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS

De mi consideración:

Asunto: AUTORIZACIÓN PARA USO Y ANALISIS DE LA INFORMACIÓN DE LA RED WAN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS PARA PROYECTO DE TESIS "**ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA RED WAN PARA LA DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS MEDIANTE RADIOENLACES PUNTO A PUNTO DE BANDA ANCHA**"

Yo, Jarol Alulima, alumno egresado de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, de la ciudad de Guayaquil, solicito a usted la autorización para tener acceso a la información técnica de la red WAN del Proceso de Tecnología de la Información y Comunicación TIC's, de la Dirección del Parque Nacional Galápagos, misma que servirá para elaborar mi proyecto de tesis: "**ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA RED WAN PARA LA DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS MEDIANTE RADIOENLACES PUNTO A PUNTO DE BANDA ANCHA**".

Por la atención favorable que le dé al presente pedido, me suscribo,

Atentamente,



Jarol Alulima Fuentes
C.I. 200007574-3

PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS
GESTIÓN DOCUMENTARIA
RECEPCIÓN DOCUMENTOS EXTERNOS

FECHA: 30-04-2013 HORA: 15:40

Nº TRAMITE: _____

FIRMA: (Suorga)

ANEXOS: _____

ANEXO G

Documento de aprobación para uso de la Información técnica de la red WAN de la DPNG.



Oficio Nro. MAE-DPNG/DAF/TIC-2013-0001

Santa Cruz, 06 de mayo de 2013

Asunto: Respuesta a Oficio Ingreso: MAE-DPNG/GA/DA-2013-1385

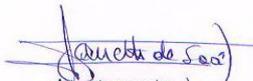
Señor
Jarol Paúl Alulima Fuentes
En su Despacho

Por el presente y como respuesta a su solicitud, para obtener la autorización del uso y análisis de la información de la red WAN de la Dirección del Parque Nacional Galápagos, informo a usted lo siguiente:

Una vez analizado su pedido, se autoriza el uso de la información necesaria para realizar el Proyecto de tesis **"ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA RED WAN PARA LA DIRECCIÓN DEL PARQUE NACIONAL GALÁPAGOS MEDIANTE RADIOENLACES PUNTO A PUNTO DE BANDA ANCHA"**.

Dada la importancia de su actividad, podrá contar además con la colaboración y asesoría del personal del Proceso de Tecnología de la Información y Comunicación de la Institución.

Luego del término de esta actividad deberá remitir una copia del producto del levantamiento de la información al Proceso de Tecnología y Comunicación de la DPNG.


Atentamente,)



Sra. Janeth Marisol Castillo Matailo
RESPONSABLE (E) DEL PROCESO TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN

www.galapagos.gob.ec

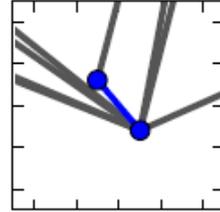
Santa Cruz, Pto. Ayora: (PBX): (593) 052 526 189 | png@galapagos.gob.ec | San Cristóbal, Pto. Baquerizo Moreno: Tel./Fax.: (593) 052 520 138/497/476 | cristobal@galapagos.gob.ec | Isabela, Pto. Villamil: Tel: (593) 052 529 178/268 | isabela@galapagos.gob.ec
Floreana, Pto. Velasco Ibarra: Tel: (593) 052 524 869 | floreana@galapagos.gob.ec | RUC: 206002010001

verado por Quijux

ANEXO H
Simulaciones



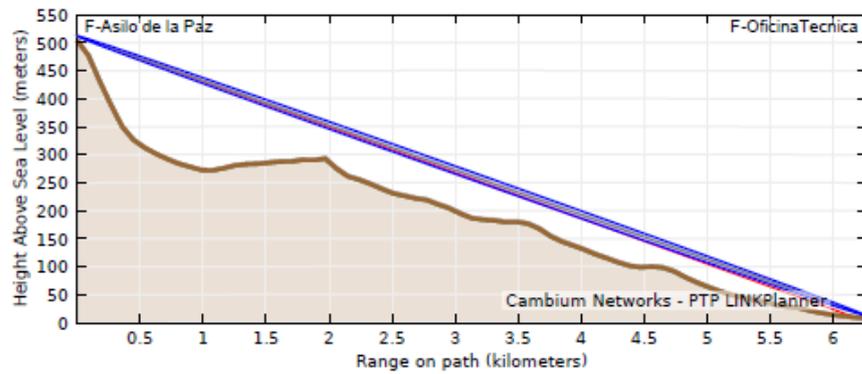
F-Asilo de la Paz to F-OficinaTecnica



Equipment: Cambium Networks PTP58500 52 Mbps Connectorized

Radio Waves 2ft High Performance Dual-Polar
Parabolic HPD2-5.2NS @ 8 m

Radio Waves 2ft High Performance Dual-Polar
Parabolic HPD2-5.2NS @ 5 m

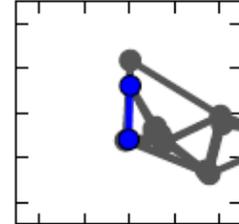


	Performance to F-Asilo de la Paz	Performance to F-OficinaTecnica
Mean IP	25.5 Mbps	25.5 Mbps
IP Availability	100.0000 % for 1.0 Mbps	100.0000 % for 1.0 Mbps

Link Summary			
Link Length	6.261 km	System Gain	165.71 dB
Band	5.8 GHz	System Gain Margin	42.01 dB
Regulation	FCC	Mean Aggregate Data Rate	51.0 Mbps
Modulation	Adaptive	Annual Link Availability	100.0000 %
Bandwidth	15 MHz	Annual Link Unavailability	0 secs/year
Total Path Loss	123.70 dB	Prediction Model	ITU-R



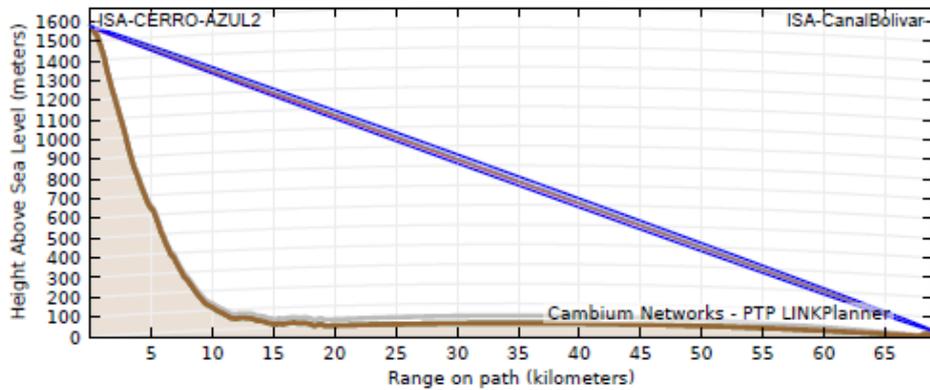
ISA-CERRO-AZUL2 to ISA-CanalBolivar



Equipment: Cambium Networks PTP58500 52 Mbps Connectorized

Radio Waves 4ft High Performance Dual-Polar
Parabolic HPD4-5.2NS @ 9 m

Radio Waves 4ft High Performance Dual-Polar
Parabolic HPD4-5.2NS @ 6 m

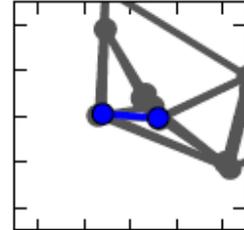


	Performance to ISA-CERRO-AZUL2	Performance to ISA-CanalBolivar
Mean IP	22.2 Mbps	22.2 Mbps
IP Availability	99.9997 % for 1.0 Mbps	99.9997 % for 1.0 Mbps

Link Summary			
Link Length	68.844 km	System Gain	187.21 dB
Band	5.8 GHz	System Gain Margin	42.08 dB
Regulation	FCC	Mean Aggregate Data Rate	44.4 Mbps
Modulation	Adaptive	Annual Link Availability	99.9999 %
Bandwidth	15 MHz	Annual Link Unavailability	29 secs/year
Total Path Loss	145.13 dB	Prediction Model	ITU-R



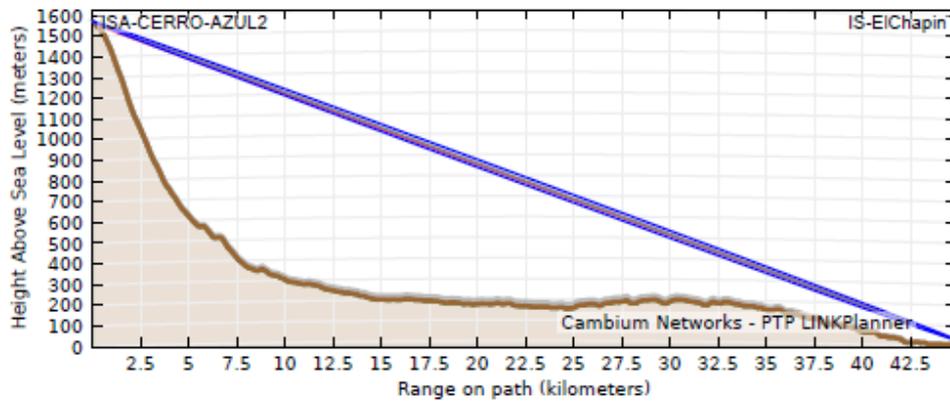
ISA-CERRO-AZUL2 to IS-EIChapin



Equipment: Cambium Networks PTP58500 52 Mbps Connectorized

Radio Waves 4ft High Performance Dual-Polar
Parabolic HPD4-5.2NS @ 6 m

Radio Waves 4ft High Performance Dual-Polar
Parabolic HPD4-5.2NS @ 21 m

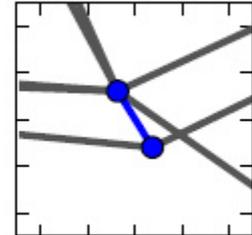


	Performance to ISA-CERRO-AZUL2	Performance to IS-EIChapin
Mean IP	23.4 Mbps	23.4 Mbps
IP Availability	99.9999 % for 1.0 Mbps	99.9999 % for 1.0 Mbps

Link Summary			
Link Length	44.829 km	System Gain	183.21 dB
Band	5.8 GHz	System Gain Margin	42.04 dB
Regulation	FCC	Mean Aggregate Data Rate	46.7 Mbps
Modulation	Adaptive	Annual Link Availability	100.0000 %
Bandwidth	15 MHz	Annual Link Unavailability	5 secs/year
Total Path Loss	141.17 dB	Prediction Model	ITU-R



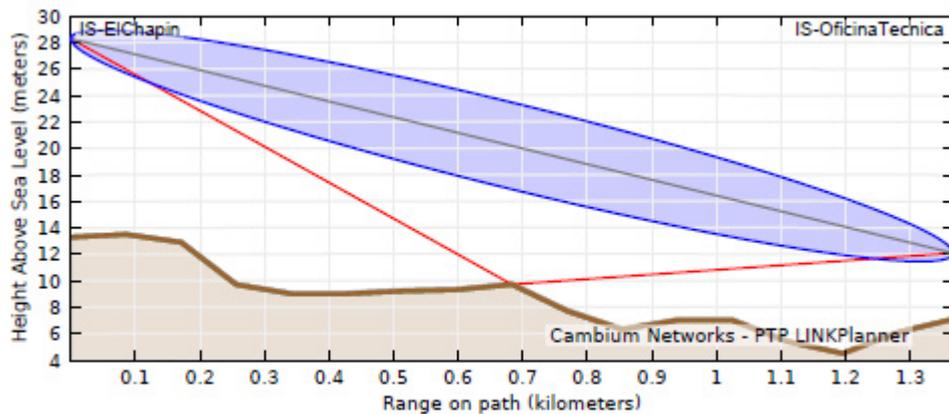
IS-ElChapin to IS-OficinaTecnica



Equipment: Cambium Networks PTP58500 52 Mbps Connectorized

Radio Waves 2ft High Performance Dual-Polar
Parabolic HPD2-5.2NS @ 15 m

Radio Waves 2ft High Performance Dual-Polar
Parabolic HPD2-5.2NS @ 5 m

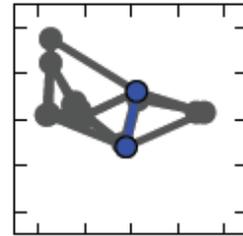


	Performance to IS-ElChapin	Performance to IS-OficinaTecnica
Mean IP	25.8 Mbps	25.8 Mbps
IP Availability	100.0000 % for 1.0 Mbps	100.0000 % for 1.0 Mbps

Link Summary			
Link Length	1.366 km	System Gain	152.71 dB
Band	5.8 GHz	System Gain Margin	42.28 dB
Regulation	FCC	Mean Aggregate Data Rate	51.7 Mbps
Modulation	Adaptive	Annual Link Availability	100.0000 %
Bandwidth	15 MHz	Annual Link Unavailability	0 secs/year
Total Path Loss	110.42 dB	Prediction Model	ITU-R



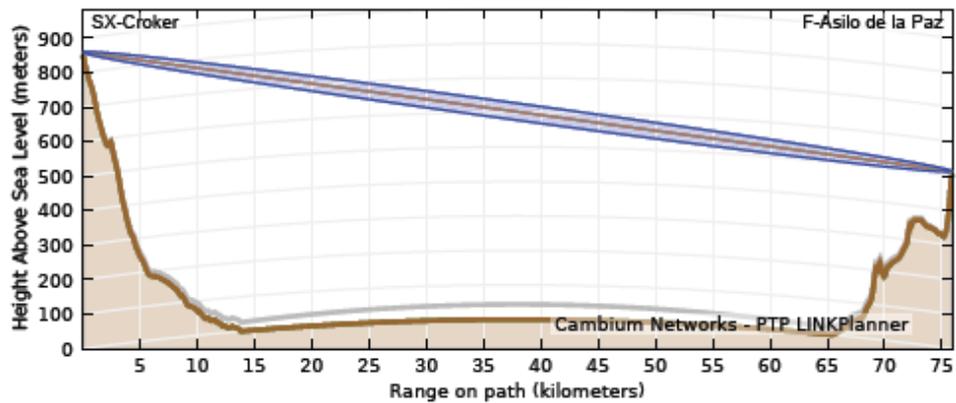
SX-Crocker to F-Asilo de la Paz



Equipment: Cambium Networks PTP58500 52 Mbps Connectorized

Radio Waves 4ft High Performance Dual-Polar
Parabolic HPD4-5.2NS @ 9 m

Radio Waves 4ft High Performance Dual-Polar
Parabolic HPD4-5.2NS @ 10 m

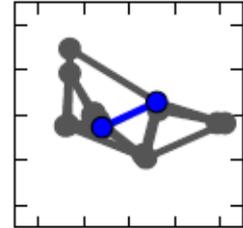


	Performance to SX-Crocker	Performance to F-Asilo de la Paz
Mean IP	21.8 Mbps	21.8 Mbps
IP Availability	99.9971 % for 1.0 Mbps	99.9971 % for 1.0 Mbps

Link Summary			
Link Length	75.882 km	System Gain	188.21 dB
Band	5.8 GHz	System Gain Margin	42.14 dB
Regulation	FCC	Mean Aggregate Data Rate	43.7 Mbps
Modulation	Adaptive	Annual Link Availability	99.9993 %
Bandwidth	15 MHz	Annual Link Unavailability	3.7 mins/year
Total Path Loss	146.07 dB	Prediction Model	ITU-R



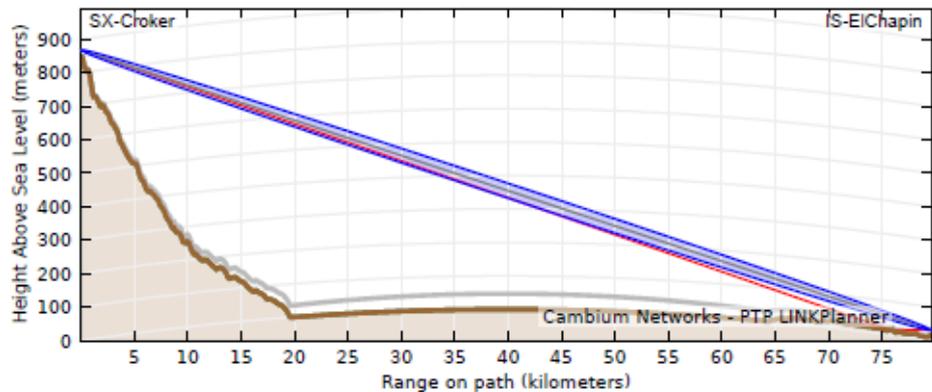
SX-Crocker to IS-EIChapin



Equipment: Cambium Networks PTP07800 with ODU-A - 1+0

Cambium Networks 6ft HP Antenna 85010092025 - Remote @ 18 m

Cambium Networks 6ft HP Antenna 85010092025 - Remote @ 18 m

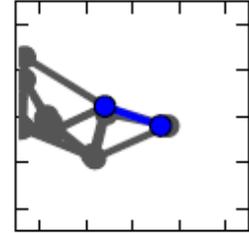


	Performance to SX-Crocker	Performance to IS-EIChapin
Mean IP	100.0 Mbps	100.0 Mbps
IP Availability	99.9985 % for 1.0 Mbps	99.9985 % for 1.0 Mbps

Link Summary			
Link Length	79.594 km	System Gain	188.08 dB
Band	7 GHz	System Gain Margin	38.93 dB
Regulation	ETSI	Mean Aggregate Data Rate	200.0 Mbps
Modulation	Adaptive	Annual Link Availability	99.9971 %
Bandwidth	28 MHz	Annual Link Unavailability	15.4 mins/year
Total Path Loss	149.14 dB	Prediction Model	ITU-R



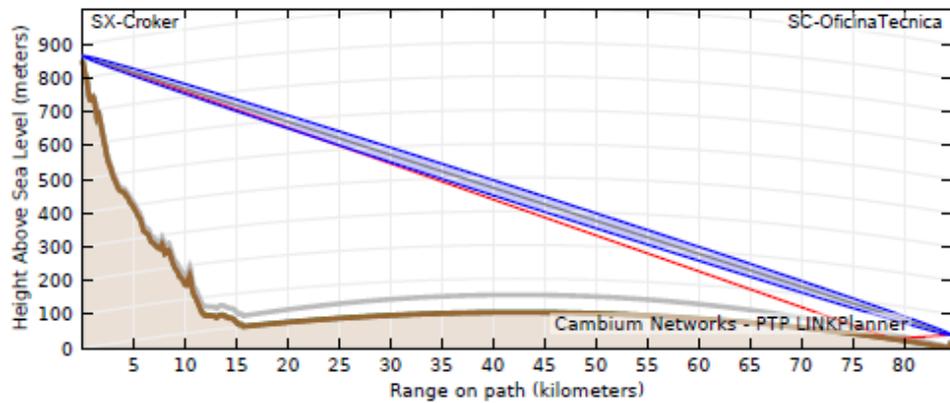
SX-Crocker to SC-OficinaTecnica



Equipment: Cambium Networks PTP07800 with ODU-A - 1+0

Cambium Networks 6ft HP Antenna 85010092025 - Remote @ 15 m

Cambium Networks 6ft HP Antenna 85010092025 - Remote @ 20 m

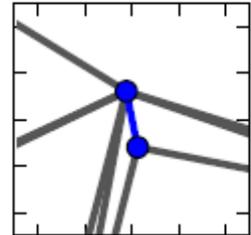


	Performance to SX-Crocker	Performance to SC-OficinaTecnica
Mean IP	100.0 Mbps	100.0 Mbps
IP Availability	99.9963 % for 1.0 Mbps	99.9963 % for 1.0 Mbps

Link Summary			
Link Length	84.622 km	System Gain	188.08 dB
Band	7 GHz	System Gain Margin	38.33 dB
Regulation	ETSI	Mean Aggregate Data Rate	199.9 Mbps
Modulation	Adaptive	Annual Link Availability	99.9925 %
Bandwidth	28 MHz	Annual Link Unavailability	39.2 mins/year
Total Path Loss	149.75 dB	Prediction Model	ITU-R



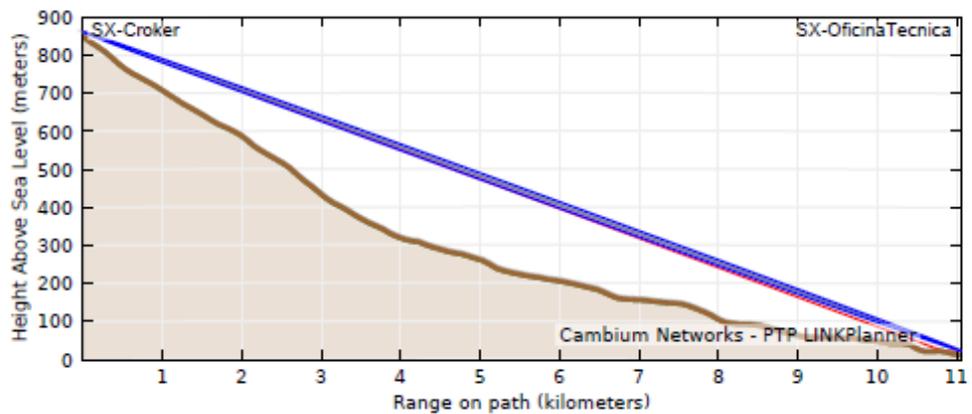
SX-Crocker to SX-OficinaTecnica



Equipment: Cambium Networks PTP07800 with ODU-A - 1+0

Cambium Networks 2ft HP Antenna 85010089045 - Direct @ 12 m

Cambium Networks 2ft HP Antenna 85010089045 - Direct @ 12 m



	Performance to SX-Crocker	Performance to SX-OficinaTecnica
Mean IP	170.5 Mbps	170.5 Mbps
IP Availability	100.0000 % for 10.0 Mbps	100.0000 % for 10.0 Mbps

Link Summary			
Link Length	11.048 km	System Gain	169.16 dB
Band	7 GHz	System Gain Margin	38.18 dB
Regulation	ETSI	Mean Aggregate Data Rate	341.0 Mbps
Modulation	Adaptive	Annual Link Availability	100.0000 %
Bandwidth	28 MHz	Annual Link Unavailability	1 secs/year
Total Path Loss	130.98 dB	Prediction Model	ITU-R

GLOSARIO

ODU: La Unidad exterior (ODU) convierte señales entre una frecuencia IF modulada y frecuencias de la banda de radio. La ODU puede estar acoplada a la antena o fuera de ella, al estar fuera de ella debe usarse una guía de onda para unirla a la antena. [21].

LPU: La Unidad de protección de descargas (LPU), evita que descargas producidas externamente lleguen al equipo, previniendo el daño del mismo. [21], [22].

Equipo de Red: Es el equipo que va permitir la comunicación entre los diferentes sitios. Por ejemplo un conmutador o enrutador.

CMU: La unidad de módem compacta (CMU), convierte las señales de datos entre tramas Ethernet y una portadora modulada en IF, este equipo se usa en enlaces con PTP 800. [21].

PIDU: La unidad de conexión interna (PIDU), contiene la fuente de poder principal, indicadores de estado y el puerto conexión a la red, este equipo se usa en los enlaces con PTP 500. [22].

BIBLIOGRAFÍA

- [1] TIC, «Red inalámbrica para el Parque Nacional Galápagos que vincula las oficinas Técnicas y puntos remotos de la Reserva Marina de Galápagos, utilizando comunicaciones mediante señales satelitales y de radio para la transmisión de información digital,» DPNG, Puerto Ayora, 2003.

- [2] Radiocomunicaciones, Radioenlace,
<http://www.radiocomunicaciones.net/radio-enlaces.html>, fecha de consulta 15 Mayo 2013.

- [3] R. Flickenger, C. Aichele, M. Zennaro, T. Krag, I. Howard, J. Forster y C. Fonda, Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo, Limehouse Book Sprint team, 2007.

- [4] R. A. Serway y J. W. Jewett, Física para ciencias e ingenierías Volumen I., México: International Thomson Editores S.A, 2005.

- [5] P. G. Hewitt, Física Conceptual, México: PEARSON EDUCACIÓN, 2004.

- [6] P. P. Chicaiza Morocho, Re-diseño del arreglo de antenas "back to back" del radioenlace de microonda entre las estaciones de San Juan y Chiriboga, del S.O.T.E en la banda de 7 GHz, Quito: EPN, 2012.
- [7] W. Tomásí, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, México: PEARSON EDUCACIÓN, 2003.
- [8] W. S. Sarango Espinosa, Implementación de enlaces backhaul para backbone de un WISP mediante el uso del sistema operativo Routeros., Quito: EPN, 2011.
- [9] TP-LINK, Calculadora Inalámbrica, <http://www.tp-link.com/ar/support/calculator/>, fecha de consulta 13 julio 2013.
- [10] WIKIPEDIA, Zona de Fresnel, <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:FresnelSVG1.svg>, fecha de consulta 28 Octubre 2013.
- [11] D. A. Mediavilla Morejón y D. C. Talavera Villamarín, Estudio de la migración del sistema VHF analógico a digital de Petrocomercial distrito Norte TOMO I.
- [12] G. Colmenarez, Desvanecimientos Radioenlaces, <http://desvanecimientosradioenlaces.wikispaces.com/Desvanecimientos>, fecha de consulta 25 03 2013.
- [13] L. M. Muñoz Guzmán, Análisis de la implementación de un enlace PTP

acotado por el protocolo 802.11b, Valdivia, 2005.

- [14] HISPASAT, Amazonas 1,
<http://www.hispasat.com/Detail.aspx?SectionsId=69&lang=es>, fecha de consulta 5 mayo 2013.
- [15] Rapidtables, Convertidor watts a dBm,
http://www.rapidtables.com/convert/power/Watt_to_dBm.htm, fecha de consulta 23 Julio 2013.
- [16] Tecnología de Información y Comunicación, Contratos CNT, Puerto Ayora, 2011.
- [17] S. P. Espinoza Ávalos, Estudio de viabilidad técnica y económica para la migración de red WIFI a WIMAX en entornos rurales., Madrid: UPM, 2010.
- [18] E. Ordóñez Bravo, Diseño de una red inalámbrica utilizando la tecnología WIMAX para proveer el servicio de Internet de banda ancha en la ciudad de Manta, Guayaquil: ESPOL, 2008.
- [19] J. A. Ocampo, F. L. Martinez, M. Moreno y J. E. Gonzalez, WIMAX, wikispaces, <http://sx-de-tx.wikispaces.com/WIMAX>, fecha de consulta 13 Julio 2013.
- [20] A. E. Briones Estébanez y N. Y. Gracia Cedeño, Análisi Comparativo de las tecnologíasWI-FI y WIMAX; Aplicaciones y Servicios, Guayaquil,

2006.

- [21] C. Networks, Cambium PTP 800 series User Guide, Cambium Networks, 2012.

- [22] C. Networks, Cambium PTP 500 and PTP 300 series User Guide, Cambium Networks, 2012.

- [23] C. Networks, Hoja de especificaciones de la serie PTP 800 version 05-00, Cambium Networks, 2012.

- [24] BIOAMPEG, Espectro Electromagnético, Documento de la FCC, 2011.

- [25] Sight Comunicaciones y Bioampeg, Informe de la auditoría ambiental para la Estación Santa Cruz la empresa Telefónica Movistar, Telefónica Movistar, Santa Cruz, 2011.

- [26] J. F. Salgado Romero y Yesenia de las Mercedes, Acuña Paredes, Diseño de una red inalámbrica de banda ancha para proveer servicio de Internet a las comunidades del pueblo Kichwa de Rukullakta, Quito: EPN, 2012.

- [27] C. Networks, PTP LINKPLANNER, Cambium Networks, 2013.

- [28] SKYPE, Ancho de banda SKYPE,
<https://support.skype.com/es/faq/fa1417/que-cantidad-de-ancho-de->

banda-necesita-skype, fecha de consulta 23 Agosto 2013.

[29] Packetizer, VoIP Bandwidth Calculator, <http://www.bandcalc.com/>, fecha de consulta 25 Agosto 2013.