

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

Jarol Paul Alulima Fuentes
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación.
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
jalulima@espol.edu.ec

Efrén Herrera Muentes, Director de Proyecto de Grado, Ingeniero en Electricidad especialización Electrónica de la ESPOL; Magister en Ingeniería de Control Industrial, Universidad de Ibagué, Ibagué, Colombia.
eherrera@espol.edu.ec, eherrera@fiec.espol.edu.ec

Resumen

La Dirección del Parque Nacional Galápagos (DPNG) es una institución gubernamental del estado ecuatoriano cuya función es la protección y el manejo de las áreas protegidas del Archipiélago de Galápagos como son Parque Nacional Galápagos y la Reserva Marina de Galápagos. 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 y debido al constante aumento de servicios al cual acceden los usuarios de la DPNG, surge la necesidad de diseñar una red WAN mediante radioenlaces punto a punto con tecnología inalámbrica de banda ancha, que permita 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. 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 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. Así mismo, se tendrá la administración completa de la red, mejorando la operación y mantenimiento de la misma.

Palabras Claves: WAN, WIMAX, OFDM, PTP, presupuesto del enlace.

Abstract

The Galapagos National Park Direction (DPNG) is an Ecuadorian governmental institution whose role is the protection and management of protected areas of the Galapagos Islands such as Galapagos National Park and Galapagos Marine Reserve. The Galapagos National Park mission is to protect and conserve the archipelago ecosystems and biological diversity for the benefit of mankind, local people, science and education. To carry out these functions and due to the steady increase in services to which DPNG's users access, the necessity of designing a WAN using point to point radio links with wireless broadband technology emerges, the design will overcome the current and future institution needs, discarding the improvement and optimization of the satellite network, due to the physical and operational condition of the equipment. Technical processes for Galapagos National Park management and control are implemented by Technical Units and Technical Offices that also coordinate and manage them; for these tasks, those units and offices need documents, databases, forms, information transferring, and other services such as video conferencing and telephony. The WAN design will maintain the different Units, Offices and remote points of the institution connected, so that, the users could access the internal and external services, based on the broadband network concept. Likewise, technical staff will have full network management, facilitating the operation and maintenance of the network.

Keywords: WAN, WIMAX, OFDM, PTP, link budget.

1. Introducción

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.

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 las diferentes Unidades 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.

2. Objetivos del Proyecto

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

2.1. 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.

2.2. Objetivos Específicos

Realizar el análisis y diseño de la red WAN para la Dirección del Parque Nacional Galápagos

- 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.

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 y dos estaciones terrenas en la isla Isabela.

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 1, 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 1. Mantenimiento a transceptor.

El consumo del transceptor de la estación terrena maestra de Santa Cruz se muestra en la Figura 2, y en la Tabla 1, se muestra el detalle de consumo de los transceptores de las 4 estaciones terrenas restantes.

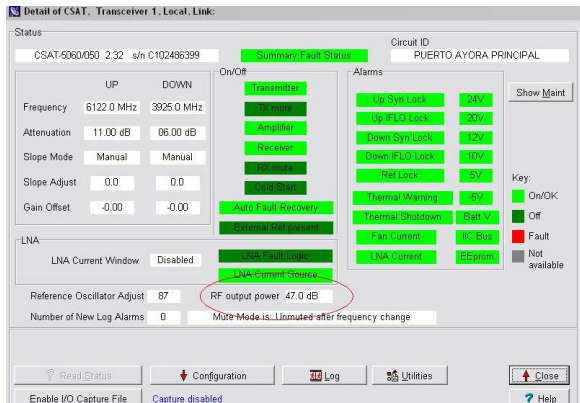


Figura 2. Mantenimiento a transceptor.

Tabla 1. Potencia consumida y potencia máxima de transceptores.

	POTENCIA SALIDA RF (dB)	POTENCIA SALIDA MÁXIMA RF (dB)
PUERTO VILLAMIL	40	40
PUERTO BAQUERIZO MORENO	39.4	40
PUERTO VELASCO IBARRA	33.1	36.98
BASE BOLÍVAR	25.4	36.98

Como se observa en Figura 1, el transceptor de 50 watts se encuentra operando a su máxima capacidad, cabe recalcar que 50 watts equivale a 47 dB. En la Tabla 1 se muestran los valores obtenidos de los transceptores por estación terrena, en la cual se observa que los equipos se acercan a su punto máximo de operación.

4. Tecnologías de Comunicación

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

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. [1], [2].

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. [2], [3].

Los componentes de red de una solución WIMAX se muestran en la Figura 3.

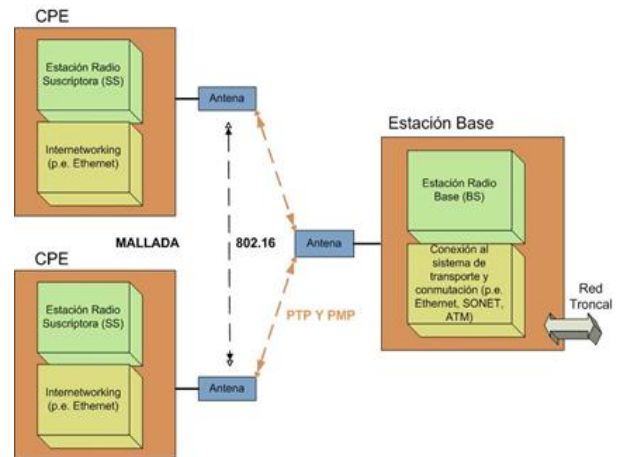


Figura 3. Conexión entre estación base y estación suscriptor. [3].

4.2. Solución PTP de Cambium Network

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. [4], [5].

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. [5].

Los componentes de red de una solución PTP de Cambium Network se muestran en la Figura 4.

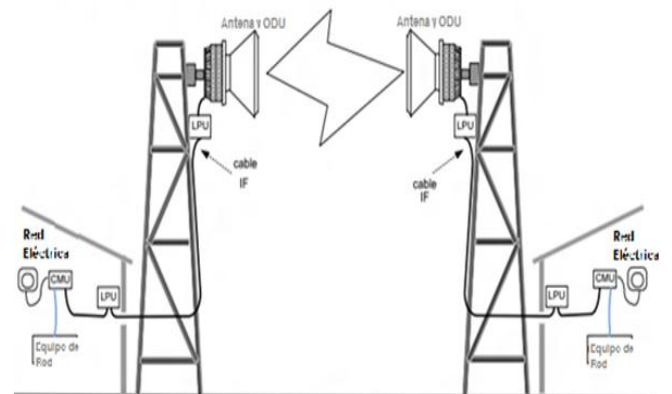


Figura 4. Componentes de red, solución PTP Cambium Networks. [5].

5. Análisis Comparativo

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. En la Tabla 2 se muestra la comparación de parámetros.

Tabla 2. Comparación de parámetros.

COMPARACIÓN TÉCNICA	WIMAX	CAMIUM NETWORKS
FRECUENCIA	Libre y Licenciada	Libre y Licenciada
MODULACIÓN	BPSK,QPSK,16 QAM, 64 QAM	QPSK a 256 QAM
COBERTURA	50 km	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

6. 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. [6].

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.

6.1. 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. Ver Figura 5. [7].

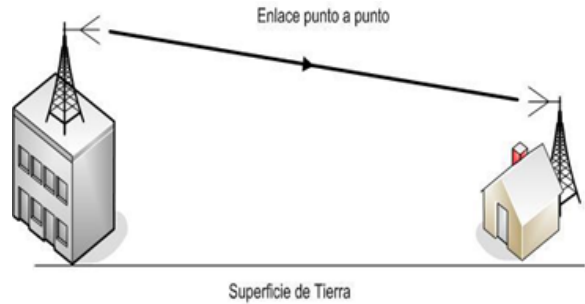


Figura 5. Enlace punto a punto.

6.2. 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 6. [7]

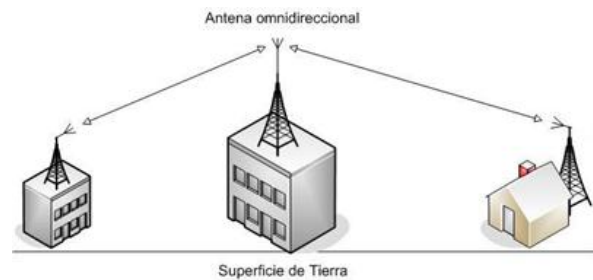


Figura 6. Enlace punto a multipunto.

6.3. 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 7. [7].

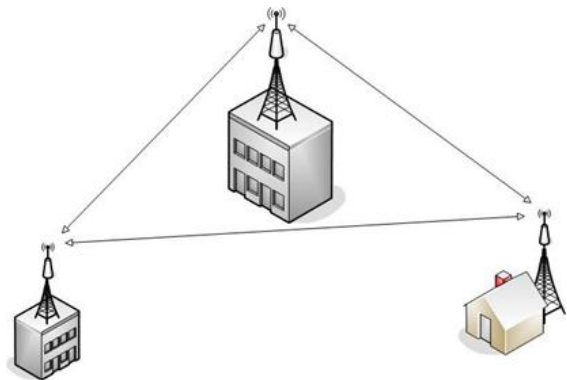


Figura 7. Enlace multipunto a multipunto.

7. Diseño de la red WAN

Para el diseño de la red se realizó la planificación previa que incluye: 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.

7.1. Demanda de servicio

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.

La estimación del ancho de banda pesimista se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. 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

7.2. Estructura de red y selección de sitios

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. En la tabla 4 se detallan los sitios con sus coordenadas geográficas respectivas. Una vez escogidos los sitios se presenta el diseño de red preliminar de acuerdo a la topología física que se observa en la Figura 8. 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.

Tabla 4. 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
	Oficina DPNG	1°16'24.58"S	90°29'17.16"O
FLOREANA	Asilo de la Paz	1°19'0.516"S	90°27'6.588"O
	El Chapín	0°56'46.53"S	90°58'26.03"O
ISABELA	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

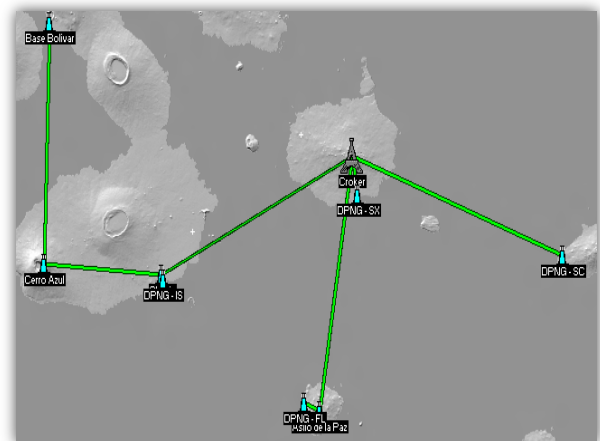


Figura 8. Estructura de red.

7.3. Banda de frecuencia

La solución PTP de Cambium Networks cuenta con equipos que operan tanto en la banda de frecuencia licenciada como no licenciada. Debido a que en el cerro Crocker, Figura 9, existe mayor infraestructura de red y equipos que operan en la banda de frecuencia libre de 5 GHz, se diseñarán radioenlaces en la banda de frecuencia licenciada entre: DPNG Puerto Ayora - Crocker, Crocker - El Chapín y Crocker - DPNG Puerto Baquerizo Moreno, para evitar interferencias que puedan degradar la operación de los radioenlaces por el uso de frecuencias libres en este sitio 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.



Figura 9. Cerro Crocker.

7.4. Equipos a utilizar

La solución PTP de Cambium Networks cuenta con equipos que operan tanto en la banda de frecuencia licenciada como no licenciada.

Se escogen los equipos:

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

PTP 500 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.

7.5. Cálculo del presupuesto del enlace

En la Figura 10 se observa el cálculo del presupuesto del enlace.

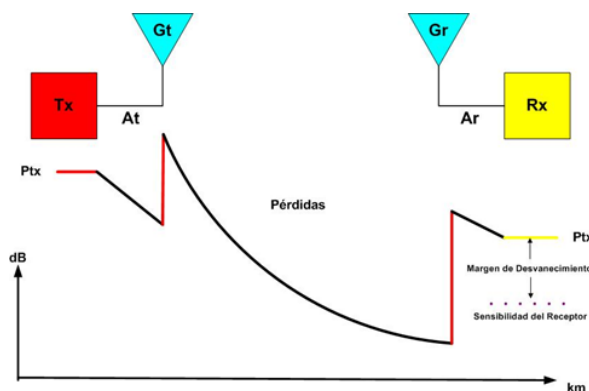


Figura 10. Cálculo de presupuesto de enlace.

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. [8]

En la Tabla 5 se observan los resultados de los cálculos realizados por enlace, determinando que los enlaces son viables para su implementación.

Tabla 5. Margen de desvanecimiento de enlaces.

MARGEN DE DESVANECIMIENTO		FM (dB)
ORIGEN	DESTINO	
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

7.6. Simulación con PTP LINKPlanner

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.

En la Figura 11 y 12 se muestra la simulación de un enlace en banda libre con el equipo PTP 500 y en la Figura 13 y 14 se muestra la simulación de un enlace en banda licenciada con el equipo PTP 800. Cabe resaltar que todas las simulaciones resultan favorables.

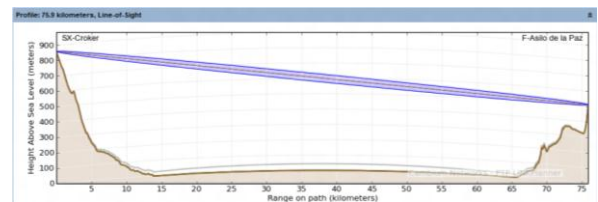


Figura 11. Simulación enlace banda libre.

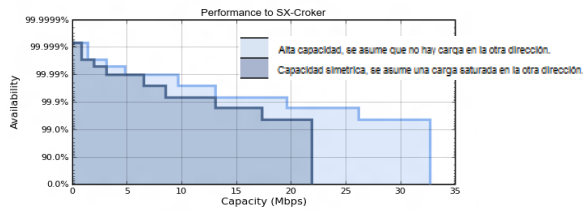


Figura 12. Disponibilidad de enlace.

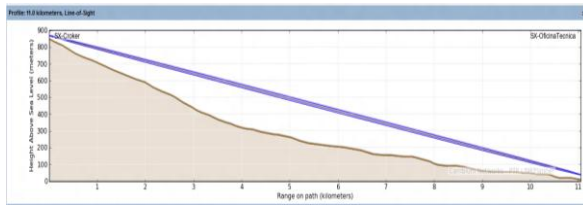


Figura 13. Simulación enlace banda licenciada.

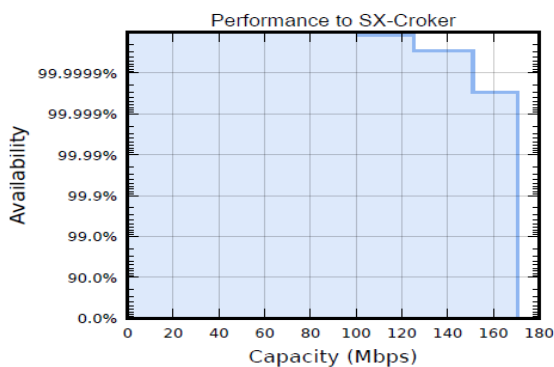


Figura 14. Disponibilidad de enlace.

7.7. Diagrama de red y manejo de tráfico IP

En la Figura 15 se observa el diagrama de red propuesto, con las direcciones IP para cada enlace WAN, además se ilustra el manejo de tráfico IP para cada isla, en las cuales se mantiene las subredes para cada Unidad y Oficina Técnica.

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.

Para el enrutamiento se recomienda usar EIGRP, OSPF, RIP o enrutamiento estático, debido a que los enrutadores cisco soportan los protocolos de enrutamiento mencionados.

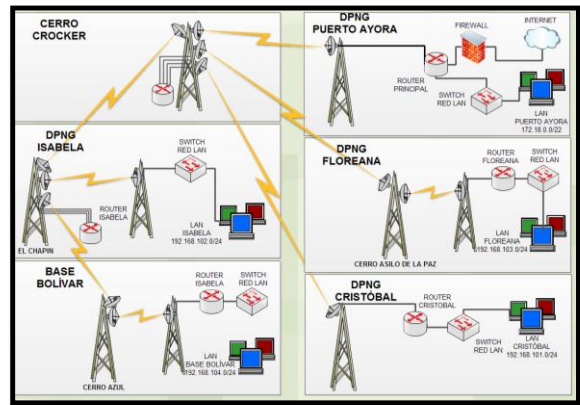


Figura 15. Diagrama de red WAN para la DPNG.

8. Costo total del proyecto

En la Tabla 6 se detalla el costo total del proyecto sin incluir el costo de la mano de obra.

Tabla 5. Tabla de costos.

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO EXTENDIDO
1	PTP57500 25 MBP(S) (Mediante licencia se alcanza a 52 MBP(S) / 105 MBP(S) - Backhaul Conectorizado Incluye protección para descargas eléctricas LPU	10	\$ 3.950,08	\$ 39.500,80
2	PTP800 licencia 10 MBP(S) - 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 pérdida, acoplador	6	\$ 1.300,00	\$ 7.800,00
4	Antena Parabólica 4 pies con radome, incluye pigtail de baja pérdida, acoplador	6	\$ 3.220,00	\$ 19.320,00
5	Antena Parabólica 6 pies con radome, incluye pigtail de baja pérdida, 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

9. Conclusiones y Recomendaciones

A continuación se detallan las conclusiones y las recomendaciones del presente proyecto.

9.1. Conclusiones

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

9.2. Recomendaciones

- Se recomienda utilizar la estación terrena maestra de Santa Cruz, para recibir un enlace de respaldo del servicio de INTERNET.
- 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.
- 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.
- Con la finalidad de mimetizar el impacto visual se recomienda mantener la coloración original de las antenas (gris claro o blancas) y pintar la estructura de soporte de antenas en los 20 metros inferiores, para estructuras mayores de 30m. Estructuras hasta 29 metros se pinta en su totalidad. (Previa Autorización DAC).

13. Agradecimientos

Agradecimientos especiales al Ing. Lenin Franco Vines, por sus conocimientos transmitidos y la colaboración en la realización de este proyecto.

14. Referencias

- [1] S. P. Espinoza Ávalos, Estudio de viabilidad técnica y económica para la migración de red WIFI a WIMAX en entornos rurales., Madrid: UPM, 2010.
- [2] 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.
- [3] J. A. Ocampo, F. L. Martínez, M. Moreno y J. E. Gonzalez, WIMAX, wikispaces, <http://sx-de-tx.wikispaces.com/WIMAX>, fecha de consulta 13 Julio 2013.
- [4] A. E. Briones Estébanez y N. Y. Gracia Cedeño, Análisi Comparativo de las tecnologías WI-FI y WIMAX; Aplicaciones y Servicios, Guayaquil, 2006.
- [5] C. Networks, Cambium PTP 800 series User Guide, Cambium Networks, 2012.
- [6] 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.
- [7] TP-LINK, Calculadora Inalámbrica, <http://www.tp-link.com/ar/support/calculator/>, fecha de consulta 13 julio 2013.