

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR



FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIÓN

**INVESTIGACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAESTRÍA**

**“DISEÑO, SIMULACIÓN Y ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO Y TÉCNICO
PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN ENLACE ÓPTICO SUBMARINO
ENTRE EL ECUADOR CONTINENTAL Y EL ARCHIPIÉLAGO DE
GALÁPAGOS”.**

OSCAR XAVIER JAYA SÁNCHEZ

Quito – Ecuador

2017

AGRADECIMIENTO

Al creador de la perfecta armonía del universo por no dejar que se apague la llama que motiva todas las acciones que en el camino emprendo.

A mi madre Aída Jaya, por ser el pilar emocional, espiritual y mi guía durante mi vida, que a base de ejemplo y tenacidad me ha inculcado los valores de humildad, responsabilidad y espíritu de superación, a mi familia por el apoyo incondicional, a todos mis amigos y maestros que han sido parte de mi desarrollo profesional con sus enseñanzas.

Un agradecimiento infinito a la Superintendencia de Telecomunicaciones y a la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, instituciones que gracias a su auspicio, me han permitido realizar y culminar este plan de estudios.

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mi madre, familia y amigos que me han apoyado desde sus respectivas trincheras, que día a día han inyectado su entusiasmo y sobre todo han sabido encaminarme por un buen sendero, con una felicitación, un consejo o una crítica constructiva cuando lo amerita.

ÍNDICE

<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i>	i
<i>ÍNDICE DE TABLAS</i>	vii
<i>RESUMEN</i>	ix
<i>PRESENTACIÓN</i>	x
Capítulo 1	1
1.1 Análisis de percepción del servicio de internet	1
1.2 Situación actual de los servicios de telecomunicaciones	3
1.3 Distribución del mercado servicio de internet fijo	8
1.4 Análisis de usuarios que disponen de banda ancha	10
1.5 Análisis de costos	12
1.6. Comparación de costos	15
1.7 Análisis de escalabilidad a nuevas tecnologías	19
Capítulo 2	29
2.1 Datos históricos enlaces submarinos	29
2.2 Características básicas y componentes de un enlace submarino de fibra óptica	33
2.3 Fibra óptica	35
2.3.1 Tipos de fibras	37
2.3.2 Tipos de cables	38
2.3.2.1 Cable ligero de aguas profundas	39
2.3.2.2 Cables con protección a abrasiones	40
2.3.2.3 Cable blindado de aguas profundas	41
2.3.2.4 Cable ligero con blindaje simple	41
2.3.2.5 Cable pesado con blindaje simple	41
2.3.2.6 Cable ligero de doble blindaje	42
2.3.2.7 Cable pesado de doble blindaje	42
2.3.2.8 Cable de propósitos especiales de bajas profundidades	42
2.4 Repetidores	43
2.5 Amplificadores ópticos	43

2.5.1	Amplificadores de fibra dopados de erbio (EDFA)	44
2.5.2	Amplificadores Raman	46
2.5.3	Amplificación híbrida Raman + EDFA	46
2.6	Fuentes	47
2.7	Detector óptico	48
2.8	Multiplexación por división de longitud de onda (WDM)	49
2.9	Multiplexores y Demultiplexores	50
2.9.1	Multiplexores ópticos de inserción/extracción (OADM)	50
2.9.1.1	F-OADM (Multiplexores ópticos de inserción/extracción fijos)	50
2.9.1.2	R-OADM (Multiplexores ópticos reconfigurables)	51
2.10	Bandas de comunicación ópticas	51
2.11	DWDM	52
2.12	Efectos físicos en la propagación	53
2.12.1	Atenuación	52
2.12.1.1	Factores propios	54
2.12.1.2	Factores externos	54
2.12.2	Dispersión cromática	55
2.12.2.1	Dispersión cromática del material	56
2.12.2.2	Dispersión cromática de guía de onda	56
2.12.3	Dispersión por modo de polarización (PMD)	58
2.12.4	Factores no lineales	58
2.12.4.1	Dispersión de Brillouin estimulada	59
2.12.4.2	Dispersión de Raman estimulada (SRS)	59
2.12.4.3	Automodulación de fase (SPM)	60
2.12.4.4	Mezclado de cuatro ondas (FWM)	61
2.12.4.5	Inestabilidad de modulación (MI)	62
2.12.4.6	Formación de solitones	63
2.12.4.7	Modulación de fase cruzada (CPM)	63
	Capítulo 3	64

3.1 Proyección de acceso a internet en Galápagos	64
3.2 Proyección de necesidad de capacidad de datos	70
3.3 Descripción general del proyecto	74
3.4 Ubicación	74
3.5 Selección de la ruta	77
3.5.1 Riesgos naturales	78
3.5.2 Profundidad del lecho marino	80
3.6 Planta seca y planta húmeda.	88
3.6.1 Planta seca	88
3.6.2 Planta húmeda	91
3.7 Cálculo del enlace	95
3.7.1 Cálculo de atenuación	95
3.7.2 Pérdidas por empalmes	99
3.7.3 Pérdidas en conectores	99
3.7.4 Pérdidas por inserción	100
3.7.5 Pérdidas en filtros	100
3.7.6 Margen de pérdidas	100
3.7.7 Pérdidas penalización por dispersión	101
3.7.8 Pérdidas por envejecimiento	101
3.7.9 Pérdidas totales	101
3.8 Cálculo de potencia del enlace	102
3.9 Segmento de repetidores	103
3.10 Potencia de recepción	106
Capítulo 4	108
4.1 Selección del software	108
4.2 Simulación	108
4.3 Parámetros de simulación total del enlace	114
4.4 Resultados	117
4.5 Análisis de costos	122
Capítulo 5	129

5.1 Conclusiones	129
------------------	-----

5.2 Recomendaciones	130
---------------------	-----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.1 Resultados pregunta 1	1
Figura 1.1.2 Resultados pregunta 2	2
Figura 1.1.3 Resultados pregunta 3	2
Figura 1.1.4 Resultados pregunta 4	2
Figura 1.2.1 Mapa provincia de Galápagos	4
Figura 1.3.1 Distribución del mercado en la provincia de Galápagos	9
Figura 1.6.1 Comparación de tarifas CNT EP	16
Figura 1.7.1 Comparación de resultados, pruebas FTP Claro	21
Figura 1.7.2 Comparación de resultados, pruebas FTP CNT EP	22
Figura 1.7.3 Comparación de resultados pruebas Octubre 2015	22
Figura 1.7.4 Comparación de resultados, pruebas FTP Claro	25
Figura 1.7.5 Comparación de resultados, pruebas FTP Movistar	25
Figura 1.7.6 Comparación de resultados, pruebas FTP CNT EP	26
Figura 1.7.7 Comparación de resultados	26
Figura 2.1.1 Mapa referencial de cable de fibra submarino	33
Figura 2.2.1 Esquema general de un enlace óptico submarino	33
Figura 2.3.1.1 Comparación fibras monomodo y multimodo	38
Figura 2.3.2.1.1 Estructura del cable submarino	40
Figura 2.5.1 Repetidor óptico submarino marca Padtec	43
Figura 2.5.3.1 Curva de ganancia amplificación híbrida	47
Figura 2.9.1. Esquema general multiplexores y demultiplexores ópticos	49
Figura 2.9.1.1 Operación de un OADM	50
Figura 2.12.2.1 Efecto de la dispersión cromática	55
Figura 2.12.2.2.1 Dispersión cromática de material y de guía de onda	57
Figura 2.12.4.5.1 Espectro de pulso después de propagarse	62
Figura 3.1.1 Ecuación polinomial	65
Figura 3.1.2 Proyección número de habitantes en la provincia de Galápagos al año 2030	65
Figura 3.1.3 Ecuación lineal	66
Figura 3.1.4 Proyección número de cuentas de internet fijo en la provincia de Galápagos	67

Figura 3.1.5 Ingreso anual de turistas a Galápagos	68
Figura 3.4.1 Ubicación Puerto Chino	75
Figura 3.4.2 Tramo marino entre Punta Carnero y Puerto Chino	75
Figura 3.4.3 Tramo terrestre entre Puerto Chino y la Estación Terrena de la CNT EP	76
Figura 3.4.4 Ubicación Puerto Baquerizo Moreno	76
Figura 3.4.5 Tramo terrestre en entre la Playa de la Segunda Zonal Naval y la estación Terrena de la CNT EP	77
Figura 3.5.1.1 Ubicación punto caliente	79
Figura 3.5.2.1 Carta batimétrica segmento de Punta Carnero	81
Figura 3.5.2.2 Carta batimétrica, segmento del archipiélago de Galápagos	81
Figura 3.5.2.3 Ruta del recorrido del cable de fibra	83
Figura 3.5.2.4 Puntos de derivación	84
Figura 3.5.2.5 Ruta terrestre 1	86
Figura 3.5.2.6 Ruta terrestre 2	88
Figura 3.6.1.1 Esquema general enlace óptico submarino	89
Figura 4.2.1 Esquema de simulación	109
Figura 4.2.2 Diagrama del ojo resultado obtenido Corning Vascade LEAF EP	111
Figura 4.2.3 Diagrama de simulación	112
Figura 4.2.4 Diagrama de ojo resultante separación entre repetidores 50Km	113
Figura 4.2.5 Diagrama de ojo resultante separación entre repetidores 75Km	114
Figura 4.3.1 Esquema de simulación enlace óptico	114
Figura 4.4.1 Diagrama del ojo (193.1THz)	118
Figura 4.4.2 Diagrama del ojo (193.2THz)	118
Figura 4.4.3 Diagrama del ojo (193.3THz)	118
Figura 4.4.4 Diagrama del ojo (193.4THz)	118
Figura 4.4.5 Diagrama del ojo (193.5THz)	118
Figura 4.4.6 Diagrama del ojo (193.6THz)	118
Figura 4.4.7 Diagrama del ojo (193.7THz)	119
Figura 4.4.8 Diagrama del ojo (193.8THz)	119
Figura 4.4.9 Diagrama del ojo (193.9THz)	119
Figura 4.4.10 Diagrama del ojo (194THz)	119

Figura 4.4.11 Diagrama del ojo (194.1THz)	119
Figura 4.4.12 Diagrama del ojo (194.2THz)	119
Figura 4.4.13 Diagrama del ojo (194.3THz)	120
Figura 4.4.14 Diagrama del ojo (194.4THz)	120
Figura 4.4.15 Diagrama del ojo (194.5THz)	120
Figura 4.4.16 Diagrama del ojo (194.6THz)	120
Figura 4.4.17 Diagrama del ojo simulación para un enlace WDA de 16 canales de 10Gb/s	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.2.1 Distribución territorial provincia de Galápagos	4
Tabla 1.2.2 Usuarios de Servicios de Telecomunicaciones en Galápagos	5
Tabla 1.2.3 Estaciones de Radiodifusión Sonora y Televisión Abierta	5
Tabla 1.2.4 Parámetros de Cobertura	7
Tabla 1.3.1 Distribución del mercado en la provincia de Galápagos diciembre de 2015	9
Tabla 1.4.1 Cuentas activas de la CNT EP con corte septiembre de 2015	10
Tabla 1.4.2 Cuentas activas de la CNT EP con corte septiembre de 2016	12
Tabla 1.4.3 Cuentas activas de IFOTONCORP S.A. con corte septiembre de 2016	12
Tabla 1.5.1 Tarifas registradas a enero de 2016, IFOTONCORP S.A.	13
Tabla 1.5.2 Punto Net tarifas registradas a enero de 2016 para Galápagos	14
Tabla 1.5.3 CNT EP, tarifas registradas agosto de 2016	14
Tabla 1.6.1 Comparación de tarifas CNT EP	15
Tabla 1.6.2 Comparación de tarifas	17
Tabla 1.6.3 Comparación de tarifas residenciales	18
Tabla 1.7.1 Comparación de resultados Tasa de Datos Media – Claro	20
Tabla 1.7.2 Comparación de resultados Tasa de Datos Media – CNT EP	21
Tabla 1.7.3 Comparación de resultados Tasa de Datos Media, operadora Claro	23
Tabla 1.7.4 Comparación de resultados Tasa de Datos Media, operadora Movistar	24
Tabla 1.7.5 Comparación de resultados Tasa de Datos Media, operadora CNT EP	24
Tabla 3.1.1 Proyección de número de habitantes en la provincia de Galápagos	66
Tabla 3.1.2 Proyección de número de habitantes y cuentas de Internet	67
Tabla 3.1.3.- Oferta turística – provincia de Galápagos	69
Tabla 3.2.1 Capacidad de datos por cuentas de internet fijo	71
Tabla 3.2.2 Estaciones base en la provincia de Galápagos	72
Tabla 3.2.3 Capacidad requerida servicio móvil avanzado	72
Tabla 3.2.4 Capacidad de datos proyectada año 2030	73
Tabla 3.5.2.1 Ruta estimada del cable submarino	82
Tabla 3.5.2.2 Sección terrestre 1	85
Tabla 3.5.2.3 Ruta terrestre 1	86

Tabla 3.5.2.4 Sección terrestre 2	87
Tabla 3.5.2.5 Ruta terrestre 2	87
Tabla 3.6.2.1 Comparación característica de fibras según recomendaciones UIT	93
Tabla 3.7.1.1 Ruta terrestre y submarina del enlace óptico	95
Tabla 3.7.1.2 Relación tiempo de bit con respecto a la dispersión acumulada	97
Tabla 4.7.9.1 Pérdidas totales del enlace	101
Tabla 3.8.1 Parámetros de transmisión y recepción	102
Tabla 3.9.1 Presupuesto de potencias de los amplificadores	105
Tabla 4.2.1 Cuadro comparativo entre diferentes tipos de fibra	109
Tabla 4.2.2 Comparación de resultados de la simulación para cada tipo de fibra	110
Tabla 4.4.1 Resultados de la simulación	117
Tabla 4.5.1 Proyección de ingresos	125
Tabla 4.5.2 Proyección de ingresos considerando segundo escenario	126

RESUMEN

Este trabajo de investigación propone un estudio de la situación actual relacionada a la conectividad de los servicios de telecomunicaciones en la Región Insular Galápagos; presentando un análisis social, técnico y económico, de la factibilidad para la implementación de un enlace óptico submarino entre el Ecuador Continental y el Archipiélago de Galápagos. Los factores geográficos y ambientales en los que se encuentra inmersa la provincia, limitan considerablemente el despliegue de tecnologías alámbricas e inalámbricas para el acceso a las tecnologías de la información y la comunicación. El documento presenta un enfoque orientado a determinar necesidades actuales, conocer la percepción de los habitantes respecto al tema de conectividad y plantear un escenario bajo un análisis netamente técnico que permita suplir los requerimientos de acceso a servicios de telecomunicaciones presentes y futuros en la provincia de Galápagos.

Con respecto al análisis técnico, se describe las características, arquitectura, demanda, tipos de tecnologías, componentes de red, equipos de transmisión y diseño del enlace óptico submarino.

En la actualidad, los servicios de telecomunicaciones que se prestan en Galápagos se los realiza mediante enlaces satelitales, no existe un pronunciamiento gubernamental al respecto de la ejecución de un proyecto de conectividad para la provincia de Galápagos de la escala que propone este documento, por lo que la información recabada de la necesidad social y aspectos técnicos será de gran aporte para que entidades afines al sector de las telecomunicaciones puedan tomar decisiones que permitan dar un salto considerable en temas de conectividad en la Región Insular.

PRESENTACIÓN

El crecimiento exponencial en la demanda de recursos de red debido al auge tecnológico, cambios de comportamiento social y nuevos modelos de negocios, genera cada vez más la necesidad de conectividad a grandes velocidades; la penetración en el mercado de teléfonos inteligentes y otros dispositivos que permiten a los usuarios llevar un ordenador en sus bolsillos y poder acceder a una gran variedad de contenidos y aplicativos, ya sean de tipo social, mensajería instantánea, comercio, banca, VoIP, Mobile TV Channels, Mobile Video Clips, Mobile Games, y todas las bondades como facilidades que ofrece la web, exige un mayor despliegue e inversión en redes de proveedores de Internet fijo y móvil para satisfacer la necesidad presente de los usuarios.

Si analizamos las actuales tecnologías móviles que se están implementando a nivel mundial 4G (LTE advance), y las tecnologías en desarrollo a través del 5G, para esta última se prevé velocidades en el orden de Gb/s, todo indica que el futuro tecnológico es garantizar acceso a redes con una infraestructura que soporte una gran capacidad de ancho de banda y altas velocidades de transmisión.

El archipiélago de Galápagos es uno de los sitios referentes del Ecuador a nivel mundial, sus reconocimientos internacionales como Patrimonio Natural de la Humanidad declarado por la UNESCO en 1978, Reserva de Biósfera declarada por la UNESCO en 1984, los Humedales del sur de Isabela declarados como sitio Ramsar en el 2002 (Ministerio del Ambiente), ubican a Galápagos como un sitio privilegiado, por lo que debe tener un tratamiento especial en todos los sectores incluido el de telecomunicaciones. A diciembre de 2015 la Agencia de Regulación y

Control de las Telecomunicaciones registra ocho permisionarios del Servicio de Valor Agrado que brindan Internet fijo en las islas, de los cuales la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP, posee un 89,73% del mercado, la empresa IFOTONCOR S.A., tiene un 8,74%, dejado el restante entre los otros seis proveedores.

La infraestructura satelital que usa la telefonía fija, telefonía móvil e internet, para la conectividad en las islas Galápagos, está expuesta a problemas propios de la tecnología, manchas solares, interferencias radioeléctricas, retardos, son algunas desventajas que se puede citar, sumadas a los altos costos por contratación y limitada capacidad satelital, se considera necesario cambiar el panorama de conectividad para mejorar las condiciones de los servicios de telecomunicaciones sobre todo el acceso a Internet.

En el aspecto ambiental, la tecnología y conectividad, en la actualidad juega un papel muy importante, en el presente la tendencia considera aspectos de tecnología verdes (IT Green); que con correctas aplicaciones de políticas públicas pueden ayudar a reducir la huella ecológica e impacto ambiental. Por ejemplo, la política “Cero Papel” se lograría implementando sistemas de gestión documental, firma electrónica, y plataformas web para trámites burocráticos, esto generaría un gran ahorro de papel. Sin embargo, para ello se requiere tener conectividad. El concepto de Cloud Computing (computación en la nube) hace innecesario montar centros de datos con servidores y sistemas de climatización que operan 365 días al año 24 horas al día, ya que dichos servicios se los puede almacenar y gestionar en la nube, lo que significa por ejemplo, un ahorro de energía considerable si se lo aplica a gran escala. Análogo

a lo anterior, para este tipo de conceptos es necesario disponer de altos niveles de conectividad.

El punto focal a considerar, es que si se desea mejorar la calidad, continuidad, y acceso de la población Insular a servicios internet fijo y móvil; necesariamente hay que dar el siguiente paso en temas de acceso a redes de comunicación. Las redes de fibra óptica proporcionan un enorme potencial de ancho de banda, logrando tasas de transferencia de información muy altas y a grandes distancias. El disponer de un enlace submarino óptico hacia el archipiélago de Galápagos marcaría un hito histórico social y tecnológico en nuestro país, que acarrearía notables beneficios en el ámbito de educación, turismo y negocios.

Es preciso recalcar la importancia del acceso a las tecnologías de la información y comunicación como algo elemental, el no invertir e impulsar temas de conectividad conllevaría a un ensanchamiento de la brecha digital ya existente, generando desventajas competitivas con otras regiones. En temas de acceso a redes de comunicación no solo hay que pensar en el presente, si no en soluciones escalables que prevea la avalancha tecnológica de la era digital que está en constante desarrollo e innovación.

Actualmente en el Ecuador, el tráfico internacional que cursa mediante fibra óptica se lo realiza mediante el cable submarino Pan American (PAN-AM) de una longitud aproximada total de 7.050 Km, cuyo propietarios corresponde a las empresas: AT&T, Telefónica del Perú, Softbank Telecom, Telecom Italia Sparkle, Sprint, CANTV, Tata Communications, Telefónica de Argentina (Speedy), Telstra, Verizon, Entel Chile, Telecom Argentina, Telconet, Instituto Costarricense de Electricidad,

Corporación Nacional de Telecomunicaciones, C&W Networks y la empresa Embratel. Siendo el punto de aterrizaje en Ecuador en Punta Carnero. El cable submarino South America-1 (SAM-1) se interconecta también en Punta Carnero, con una longitud total de 25.000 Km, cuya empresa propietaria es Telefónica. El otro cable submarino corresponde al Pacific Caribbean Cable System (PCCS), con una longitud total de 6.000 Km, cable que aterriza en la ciudad de Manta, cuyos propietarios corresponde a las empresas: C&W Networks, Telconet, Telefónica, Setar y United Telecommunication Services (UTS) (Submarine Cable Map, 2015).

Al analizar el mapa de cables submarinos de fibra óptica a nivel mundial, el cable más próximo al archipiélago de Galápagos corresponde al South America Pacific Link (SAPL), con una longitud total de 17.600 Km, cuyo propietario corresponde a la compañía Ocean Networks, los puntos de aterrizaje en el continente Americano es en Panamá en las ciudades de Balboa y Colón; Estados Unidos en Jacksonville, Makaha, Hawaii y en Chile en la ciudad de Santiago (Submarine Cable Map, 2015).

La implementación de cables submarinos implica inversiones grandes de dinero, el último cable submarino que entró en operación en Ecuador en agosto de 2015, corresponde al Pacific Caribbean Cable System (PCCS), proyecto de una inversión aproximada de 300 millones de dólares, este cable de fibra posee una longitud total de 6.000 Km y conecta los países de Panamá, Colombia, Aruba, La Florida en Estados Unidos, Curacao, Virgin Islands y Ecuador en Manta (Submarine Cable Map, 2015). Si hacemos una relación breve entre la inversión y la longitud que recorre el PCCS, para una distancia como la que existe entre el Ecuador Continental y el archipiélago de Galápagos (1.000 Km aproximadamente) se podría decir que un

proyecto similar podría bordear los 50 millones de dólares, cifra que por el momento no tiene ningún sustento técnico o económico, solo se ha tomado como referencia costos del proyecto antes indicado.

El panorama de conectividad en el archipiélago de Galápagos respecto a la implementación de un cable submarino de fibra óptica no es muy favorable ya que no existe algún proyecto de este tipo en marcha, el gobierno ecuatoriano está más interesado en invertir y mejorar la conectividad en la parte continental; los planes para la Región Insular Galápagos de la empresa Pública Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP, siguen orientados a enlaces satelitales; proyectos para mejorar la capacidad y calidad del servicio de Internet con la empresa O3B (The Other 3 Billion), que básicamente consiste en una constelación de satélites ubicados en la órbita MEO (Orbita Media Terrestre) a una altura de 8.062 kilómetros que operan en banda KA, que al estar en una órbita más baja reduce los tiempos de latencia mejorando la experiencia del usuario en los servicios prestados. La página oficial de O3B indican velocidades de 1,6 Gb/s por haz ($800\text{Mb/s} \times 2$) y un ancho de banda del transpondedor satelital de 216MHz ($2 \times 216\text{MHz}$) por haz. O3B “Los Otros Tres Billones” es un proyecto que hace referencia a los tres mil millones de habitantes del planeta que por situaciones económicas o geográficas no tienen acceso a Internet, O3B está orientado a brindar Internet de banda ancha en lugares desatendidos. Actualmente la Corporación Nacional de Telecomunicaciones tiene instalada tres antenas satelitales con O3B en la Región Insular con el objetivo de mejorar la capacidad y demanda existe en la provincia (o3bnetworks, 2015).

Si hablamos de telefonía móvil y datos móviles, las únicas opciones para mejorar su prestación es ampliando su capacidad satelital, las opciones son escasas y la demanda del servicio aumenta, el flujo turístico existente en las islas hace que haya una población flotante, en el año 2014 se registraron 215.691 turistas aproximadamente que visitaron las islas (Ministerio de Turismo, 2015), obviamente la mayor parte de ese flujo turístico recae en hoteles y es necesario proveer de servicios básicos para esta demanda y también de servicios de telecomunicaciones, por lo que es fundamental entender este comportamiento que se da en las islas como una variable adicional, para prever una necesidad que no únicamente recae en los ciudadanos residentes de las islas.

CAPÍTULO 1

ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO

1.1 ANÁLISIS DE PERCEPCIÓN DEL SERVICIO DE INTERNET

Para tener una apreciación de cómo perciben el servicio de Internet los habitantes de la provincia de Galápagos, en el mes de abril de 2016 se realizó una encuesta dirigida a la población del cantón Santa Cruz que es el que posee la mayor parte de habitantes del archipiélago, en la cual se obtuvo los siguientes resultados para las presentes preguntas:

- ✓ Pregunta 1: ¿Cómo considera el servicio datos móviles (Internet)?
- ✓ Pregunta 2: ¿Cómo considera la velocidad de acceso a Internet de su plan de datos móviles (Internet)?
- ✓ Pregunta 3: ¿Cómo considera el servicio de su cuenta de Internet fijo?
- ✓ Pregunta 4: ¿Cómo considera la velocidad de acceso a Internet Fijo?

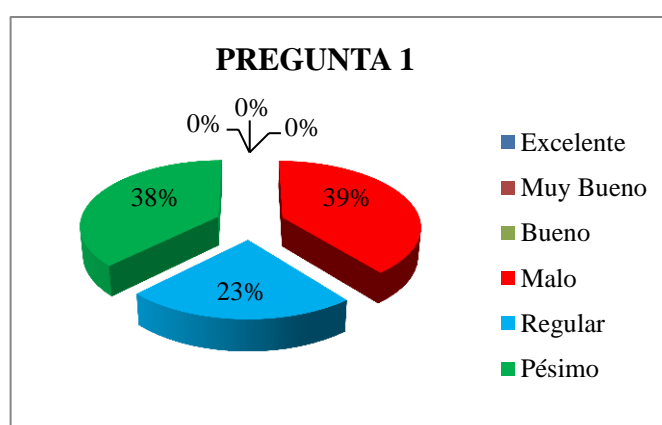


Figura 1.1.1. Resultados pregunta 1. Fuente: Autor.

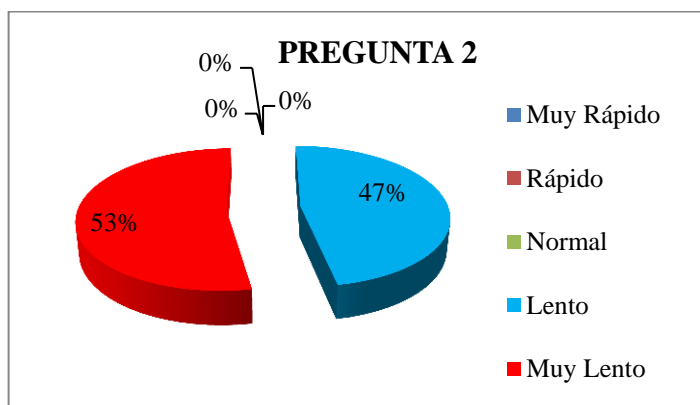


Figura 1.1.2. Resultados pregunta 2. Fuente: Autor

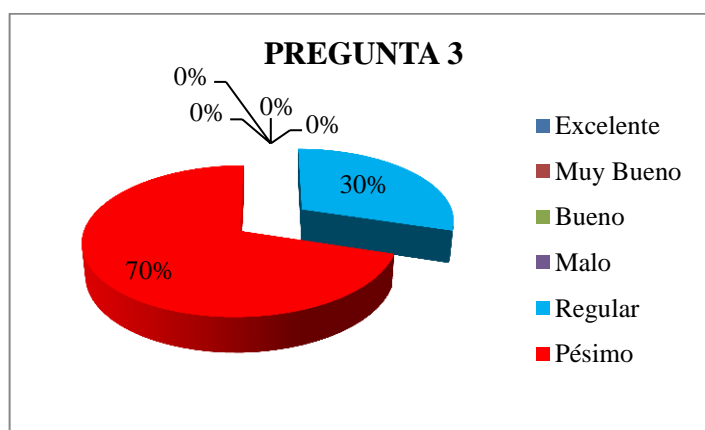


Figura 1.1.3.- Resultados pregunta 3. Fuente: Autor

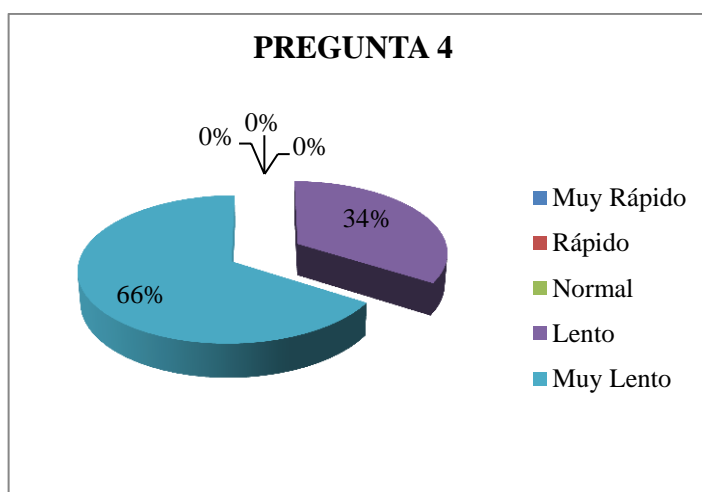


Figura 1.1.4. Resultados pregunta 4. Fuente: Autor

La figura 1.1.1 hasta la 1.1.4, reflejan los resultados obtenidos en la encuesta realizada a una muestra de 100 personas de una población estimada por el Instituto

Nacional de Estadísticas y Censos para el año 2016 de 30.172 habitantes en Galápagos. El tamaño de la muestra garantiza un nivel de confianza del 95% con un margen de error del 10%. La fórmula utilizada para el cálculo es la siguiente:

$$n = \frac{z^2(p * q)}{e^2 + \frac{z^2 + (p * q)}{N}}$$

De donde:

n = Tamaño de muestra

z = Nivel de confianza deseado

p = Proporción de la población con la característica deseada (éxito)

q = Proporción de la población sin la característica deseada (fracaso)

e = Nivel de error

Z = Tamaño de la población

Los resultados indican una percepción negativa del servicio de Internet en las islas, calificándolo con las estimaciones más bajas consultadas, (malo, regular, pésimo, lento y muy lento). Más adelante se analizará las velocidades y condiciones de acceso que reciben los usuarios en Galápagos.

1.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES

En el último censo realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) en el año 2010, la población en la provincia de Galápagos era de 25.884

habitantes, la proyección que realiza el mismo INEC para el año 2016, considera una población en la Región Insular de 30.172 habitantes y para el año 2020 se proyecta una población de 33.042 habitantes (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2016).

El archipiélago de Galápagos está constituido por cinco islas pobladas, que corresponden a los cantones San Cristóbal, Santa Cruz e Isabela, según la siguiente distribución territorial.

Tabla 1.2.1

Distribución territorial provincia de Galápagos

Provincia	Cantón	Parroquia Urbana	Parroquia Rural
Galápagos	San Cristóbal	Puerto Baquerizo Moreno	El Progreso, Puerto Velazco Ibarra en la isla Floreana
	Isabela	Puerto Villamil	Tomas de Berlanga
	Santa Cruz	Puerto Ayora	Bellavista, Santa Rosa (Incluye la Isla Baltra)

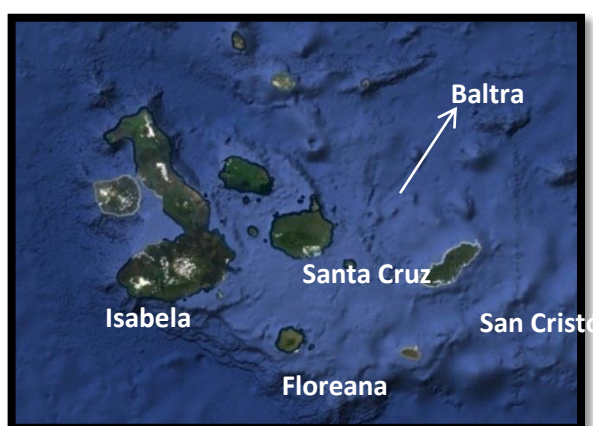


Figura 1.2.1. Mapa provincia de Galápagos. Fuente: Google Earth versión 7.1.5.1557

Al tercer trimestre del año 2016 la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones – ARCOTEL, registró 7.904 abonados de telefonía fija en la región Insular, y un total de 3.909 cuentas de internet fijo activas; con relación al servicio de radiodifusión sonora existen operando seis estaciones matrices en frecuencia modulada (FM) y seis estaciones repetidoras FM; con respecto al servicio de televisión abierta existen dos estaciones matrices y 26 repetidoras en toda la región; mientras que el servicio de televisión pagada registra 4.640 suscripciones en toda la provincia (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2016).

Tabla 1.2.2

Usuarios de Servicios de Telecomunicaciones en Galápagos

PROVINCIA	TIPO DE SERVICIO	ABONADOS/CUENTAS/SUSCRIPCIONES (septiembre de 2016)
Galápagos	Telefonía fija	7.904
	Internet fijo	3.909 cuentas
	Sistemas de Audio y Video por suscripción Televisión pagada	4.640 suscripciones

Nota Fuente: (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2016).

Tabla 1.2.3

Estaciones de Radiodifusión Sonora y Televisión Abierta

PROVINCIA	TIPO DE SERVICIO	NÚMERO DE ESTACIONES
Galápagos	Radiodifusión Sonora FM (Matrices)	6
	Radiodifusión Sonora FM (Repetidoras)	6
	Televisión de señal abierta (Matrices)	2
	Televisión de señal abierta (Repetidoras)	21

Nota Fuente: (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2016)

Con respecto al Servicio de Acceso a Internet (SAI), los proveedores que tienen presencia en la Región Insular son: CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP, IFOTONCORP S.A, LEVEL 3, PUNTO NET, TELCONET, CONSORCIO ECUATORIANO DE TELECOMUNICACIONES S.A., CORPORACIÓN POWERFAST (EX GPF CORPORACION CIA.LTDA.) y la empresa NEW ACCESS S.A; en donde la Corporación Nacional de Telecomunicaciones posee la gran parte del mercado. (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2016).

Las estadísticas que presenta la ARCOTEL al tercer trimestre del año 2016, muestran que para el servicio de Internet fijo, el porcentaje de habitantes de la provincia Galápagos que acceden a este, corresponde al 61,10%; valor que supera por ejemplo a provincias como Cotopaxi (53,41%), Cañar (45,94%) y Carchi (52,94%). (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2016). Sin embargo el análisis no recae únicamente en la penetración existente del servicio, sino también en el nivel de calidad, satisfacción y percepción del usuario.

Para el servicio móvil avanzado los niveles mínimos de cobertura por zonas que rigen a nivel nacional corresponden a los valores contemplados en la RESOLUCIÓN-TEL-042-01-CONATEL-2014, emitida por el ex Consejo Nacional de Telecomunicaciones, que establece lo siguiente:

Cobertura: Es el nivel mínimo de señal que permite la prestación del servicio en la zona de medición y/o carretera, establecida por la ARCOTEL, dentro de la

cobertura ofertada por el prestador del servicio e informada al abonado/cliente-usuario sobre la disponibilidad del mismo, de conformidad con los valores objetivos establecidos. (Resolución TEL-042-01-CONATEL-2014, 2014, p.27)

Los niveles mínimos de acuerdo a la tecnología que constan en la RESOLUCIÓN-TEL-042-01-CONATEL-2014 a son:

Tabla 1.2.4

Parámetros de Cobertura

Servicio	2G	3G	
	RxLevel	RSCP	Ec/Io
Datos	$\geq -80\text{dBm}$	$\geq -80\text{dBm}$	$\geq -12\text{dB}$
Voz	$\geq -85\text{dBm}$	$\geq -85\text{dBm}$	$\geq -14\text{dB}$

Nota Fuente: (Resolución TEL-042-01-CONATEL-2014, 2014, p28)

De donde:

RxLevel: Nivel de recepción sobre el canal de control en modo Idle.

RSCP: (Received Signal Code Power) Potencia recibida con el terminal en espera.

Ec/Io: Energía chip / Interferencia.

Lo que significa, que para cada zona que defina la ARCOTEL en Galápagos, las operadoras del servicio móvil avanzado deben cumplir con un porcentaje de cobertura medido de su señal mayor o igual al 95% de los valores que se presenta en la tabla 1.2.4.

Bajo este esquema, la operadora CLARO en su portal web publica las localidades que poseen cobertura conforme el indicador Nivel Mínimo de Señal en Cobertura (Zona de Cobertura) tipificado en la Resolución No. TEL-042-01-CONATEL-2014; portal que no registra ninguna localidad que pertenezca a la provincia de Galápagos tanto en GSM como UMTS.

La operadora CLARO actualmente dispone de una red GSM en los tres cantones de la provincia de Galápagos, una red UMTS en Puerto Ayora y Puerto Baquerizo Moreno; sin embargo no lo publicita como zona de cobertura que cumpla los valores mínimos que establece la Resolución No. TEL-042-01-CONATEL-2014. (CLARO, 2016).

La operadora Movistar, para la provincia de Galápagos en su sitio web solo publicita a Galápagos con cobertura GSM. (MOVISTAR, 2016). Mientras que la CNT EP, en su sitio web establece cobertura 3G en los tres puertos principales de la región Insular. (Corporación Nacional de Telecomunicaciones, 2016).

1.3 DISTRIBUCIÓN DEL MERCADO SERVICIO DE INTERNET FIJO

La distribución del mercado con respecto a proveedores de servicio de Internet en la provincia de Galápagos está bien definida, la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP, con corte a diciembre de 2015 registró ante la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones 3.266 cuentas de Internet activas, lo que corresponde al 89,73% del mercado. La empresa INFOTONCORP S.A., en el mismo periodo registra 318 cuentas de Internet, lo que representa el

8,74% del mercado; dejando el 1,53% para el resto de proveedores. (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2016).

Tabla 1.3.1

Distribución del mercado en la provincia de Galápagos diciembre de 2015

PROVEEDOR	NÚMERO DE CUENTAS REGISTRADAS
CONSORCIO ECUATORIANO DE TELECOMUNICACIONES S.A. CONECEL	1
CORPORACION NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT EP	3.266
CORPORACIÓN POWERFAST (EX GPF CORPORACION CIA.LTDA.)	1
IFOTONCORP S.A.	318
LEVEL 3 ECUADOR LVLTA S.A. (GLOBAL CROSSING)	8
NEW ACCESS S.A.	7
PUNTO NET S.A.	22
TELCONET S.A.	17
CUENTAS TOTALES	3.640

Nota Fuente: (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2016).

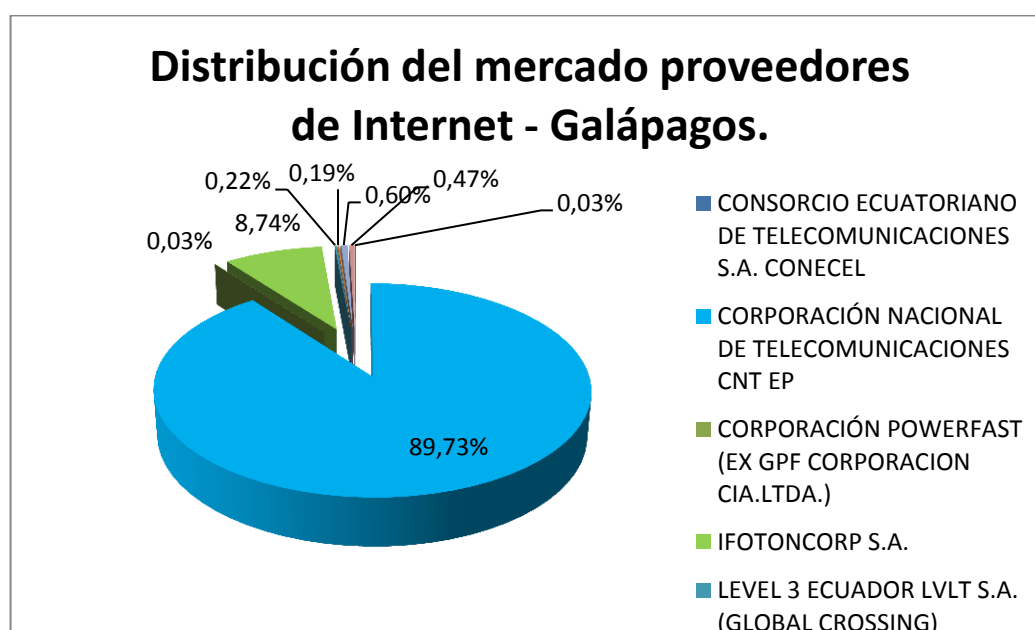


Figura 1.3.1. Distribución del mercado en la provincia de Galápagos.

1.4 ANÁLISIS DE USUARIOS QUE DISPONEN DE BANDA ANCHA

Para el análisis de usuarios que perciben banda ancha en la provincia de Galápagos nos basaremos en el concepto que establece la resolución TEL-431-13-CONATEL-2014, emitida por el ex Consejo Nacional de Telecomunicaciones para el Ecuador.

Banda Ancha: Ancho de banda entregado a un usuario mediante una velocidad de transmisión de bajada (proveedor hacia el usuario) mínima efectiva o superior a 1024 Kb/s, en conexión permanente, que permita el suministro combinado de servicios de transmisión de voz datos y video de manera simultánea. (Resolución TEL-431-13-CONATEL-2014, 2014).

Con base a este concepto tomaremos como referencia los dos proveedores de acceso a Internet que mayor número de usuarios poseen en Galápagos. Se ha tomado como datos referenciales los usuarios registrados ante la ARCOTEL con corte a septiembre de 2015. (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2016).

Tabla 1.4.1

Cuentas activas de la CNT EP con corte septiembre de 2015

CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNP EP (SEPTIEMBRE DE 2015)		
Número de Cuentas Corporativas	Número de Cuentas residenciales	Compartición
39		1:1
161		4:1
	53	4:1
	2.947	8:1
TOTAL: 3.200 cuentas activas		

Nota Fuente: (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2016).

Del total de cuentas registradas por la CNT EP en septiembre de 2015, 2.574 corresponden a cuentas residenciales con velocidades de acceso en Uplink de 250 Kb/s y en Downlink de 1000 Kb/s en compartición 8:1, es decir el 80.4% de los usuarios de la CNT EP en Galápagos perciben estas velocidades. El usuario que mayor velocidad registra corresponde a una cuenta tipo corporativa de 6Mb/s simétrico en compartición 1:1.

Bajo la definición de banda ancha en el Ecuador, para que un usuario esté catalogado bajo este parámetro, a modo de ejemplo debería percibir una velocidad de 4Mb/s (downlink) en compartición 4:1, para cumplir con lo estipulado en la Resolución TEL-431-13-CONATEL-2014; queda claro que en la Región Insular si tomamos como referencia al proveedor que tiene la mayor parte del mercado que registra un 80.4% de usuarios con velocidades de acceso en Uplink de 250 Kb/s y en Downlink de 1000 Kb/s en compartición 8:1, el gran porcentaje de usuarios no tiene acceso a un servicio de banda ancha en la provincia de Galápagos.

La empresa IFOTONCORP S.A., que es la segunda empresa con mayor número de usuarios en Galápagos a septiembre de 2015 registra lo siguiente:

Tabla 1.4.2.

Cuentas activas de IFOTONCORP S.A. con corte septiembre de 2015

IFOTONCORP S.A. (SEPTIEMBRE DE 2015)		
Número de Cuentas Corporativas	Número de Cuentas residenciales	Compartición
52		8:1
6		2:1
	260	8:1
TOTAL: 318 cuentas activas		

Nota Fuente: (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2016)

Tabla 1.4.3

Cuentas activas de IFOTONCORP S.A. con corte septiembre de 2015

IFOTONCORP S.A. (SEPTIEMBRE DE 2015)			
Número de Cuentas Corporativas velocidades mayores a 1024Kb/s	Número de Cuentas Corporativas velocidades menores a 1024Kb/s	Número de Cuentas residenciales velocidades mayores a 1024Kb/s	Número de Cuentas Corporativas velocidades menores a 1024Kb/s
0	58	0	260

Nota Fuente: (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2016)

La empresa IFOTONCORP S.A. bajo los datos presentados en las tablas 1.4.2 y 1.4.3, igual que el análisis anterior el servicio que oferta no recae en el concepto de banda ancha.

1.5.- ANÁLISIS DE COSTOS

Al igual que todos los servicios de telecomunicaciones, el servicio de Internet que prestan los proveedores en la provincia de Galápagos necesariamente se lo realiza mediante enlaces satelitales. Los costos para la provincia de Galápagos que se registran por la provisión del servicio de internet fijo se los detalla a continuación:

Tabla 1.5.1*Tarifas registradas a enero de 2016, IFOTONCORP S.A.*

EMPRESA	PLAN	VELOCIDAD	COMPARTICIÓN	COSTO INCLUIDO IVA
IFOTONCORP S.A.	PLAN IFOTON HOUSE SILVER (RESIDENCIAL)	200Kb/s	8:1	\$80,00
	PLAN IFOTON HOUSE GOLD (RESIDENCIAL)	200Kb/s	8:1	\$150,00
	PLAN IFOTON PYMES GOLD	512Kb/s	2:1	\$700,00
	PLAN IFOTON PYMES PLATINIUM	1024Kb/s	2:1	\$1400,00
	PLAN IFOTON BUSINESS GOID	512Kb/s	1:1	\$952,00
	PLAN IFOTON BUSINESS PLATINIUM	1024Kb/s	1:1	\$1848,00

Tabla 1.5.2*Punto Net tarifas registradas a enero de 2016 para Galápagos*

Empresa	Tipo	Velocidad		Costo 4:1	Costo 2:1	Costo 1:1
		Downlink	Uplink			
PUNTO NET	CORPORATIVO	128	64	\$ 283,33	\$ 300,00	\$ 497,78
		256	128	\$ 506,67	\$ 910,00	\$ 1.590,00
		512	256	\$ 746,67	\$ 1.370,00	\$ 2.500,00
		1024	256	\$ 1.250,00	No oferta este plan	No oferta este plan
		1024	512	\$ 1.440,00	\$ 2.700,00	No oferta este plan
		1024	1024	\$ 1.425,00	\$ 2.650,00	\$ 3.790,00
		2048	1024	\$ 1.920,00	No oferta este plan	
		4000	2000	\$ 3.800,00	\$ 5.400,00	\$ 10.000,00
		1536	1536	\$ 1.770,00	\$ 3.210,00	\$ 5.500,00
		2048	2048	\$ 2.215,00	\$ 3.770,00	\$ 7.000,00
		3000	3000	\$ 3.200,00	\$ 5.400,00	\$ 9.900,00
		4000	4000	\$ 4.300,00	\$ 7.200,00	\$ 12.800,00
		5000	5000	\$ 5.400,00	\$ 9.100,00	No oferta este plan

Tabla 1.5.3*CNT EP, tarifas registradas agosto de 2016*

Empresa	Tipo	Nombre del plan	Velocidad		Costo 4:1	Costo 1:1
			Downlink (Kb/s)	Uplink (Kb/s)		
CNT EP	CORPORATIVO	Internet Pymes Galápagos	512	256	\$ 294,12	No oferta
			1000	512	\$ 449,16	No oferta
			2000	1000	\$ 759,24	No oferta
			3000	1000	\$ 1.068,18	No oferta
			4000	2000	\$ 1.378,26	No oferta
		Internet Corporativo Galápagos	128	128	No oferta	\$ 229,43
			256	256	No oferta	\$ 445,27
			1000	1000	No oferta	\$ 1.544,70
			2000	2000	No oferta	\$ 3.000,48
			3000	3000	No oferta	\$ 4.479,30
			4000	4000	No oferta	\$ 5.996,40

Nota Fuente: (Corporación Nacional de Telecomunicaciones, 2016)

De los costos obtenidos se puede determinar que en la provincia de Galápagos el valor promedio por un plan tipo corporativo de 1Mb/s simétrico compartición 1:1,

corresponde a un valor de \$2.394,23; siendo el plan con mayor velocidad ofertado para tipo corporativos de 5Mb/s compartición 2:1, cuyo valor asciende a \$9.100,00.

1.6 COMPARACIÓN DE COSTOS

Una vez analizado los costos por acceso al servicio de Internet en las islas, es preciso determinar la diferencia de estos en comparación con el Ecuador Continental, para lo cual se contrastó las cuentas de tipo corporativas de la empresa CNT EP, que es la que posee mayor números de usuarios en las islas y además es la empresa que menor precio oferta por el servicio.

Tabla 1.6.1

Comparación de tarifas CNT EP

Empresa	Tipo	Nombre del Plan	Velocidad		Costo 4:1	Costo 2:1
			Downlink (Kb/s)	Uplink (Kb/s)		
CNT EP	CORPORATIVO	Internet Pymes Galápagos	1000	512	\$ 449,16	Plan no disponible
			4000	2000	\$ 1.378,26	Plan no disponible
		Internet Pymes Ecuador Continental	1000	512	Plan no disponible	\$50,40
			4000	2000	Plan no disponible	\$102.49

Nota Fuente: (Corporación Nacional de Telecomunicaciones, 2016)

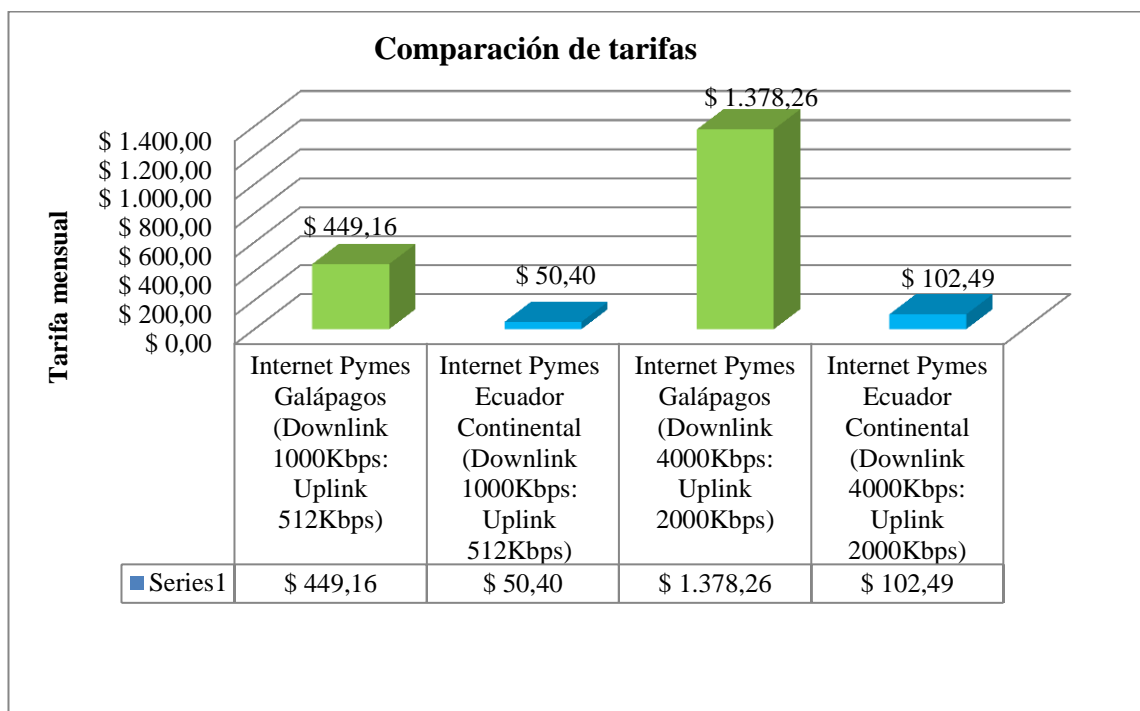


Figura 1.6.1. Comparación de tarifas CNT EP

La tabla 1.6.1 muestra la comparación de tarifas mensuales por un servicio de similares características, constatando que para una cuenta de tipo corporativo el precio en Galápagos en el primer plan es de 8,9 veces mayor y en el segundo caso 13,4 veces más que en el Ecuador continental. Se analizó los planes que se presentan en la tabla 1.6.1, ya que son las velocidades más comunes para planes corporativos en Galápagos.

A continuación se muestra valores de planes que ofertan la empresa Tv Cable en el Ecuador continental (Grupo TvCable, 2016) y la empresa Punto Net en la provincia de Galápagos, para un plan de 5Mb/s.

Tabla 1.6.2*Comparación de tarifas*

Empresa	Tipo	Nombre del plan	Velocidad		Costo 2:1
			Downlink (Kb/s)	Uplink (Kb/s)	
PUNTO NET	CORPORATIVO	Corporativo para Galápagos	5000	5000	\$ 9.100,00
GRUPO TV CABLE		PROFESION ALEXTREM O PLUS Ecuador Continental	5000	5000	\$67,15

Nota Fuente: (Grupo TvCable, 2016)

Para el caso particular que se muestra en la tabla 1.6.2, la diferencia en precios es considerable, más de 100 veces el valor en la provincia de Galápagos.

El análisis de cuentas tipo residencial lo vamos a realizar con la empresa pública Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP y con proveedores privados. La CNT EP, al ser una empresa estatal, vende planes residenciales en Galápagos casi a costos del Ecuador continental, en diciembre de 2015, 2.658 cuentas residenciales corresponden a un plan de \$18,00 con velocidades de acceso en Uplink de 250 Kb/s y en Downlink de 1000 Kb/s en compartición 8:1. La misma CNT EP, por el valor de \$18,00 en el Ecuador continental vende velocidades en Uplink de 1Mb/s y en Downlink de 3Mb/s (no especifica compartición). Para este caso no existe una diferencia de costos pero si una diferencia de velocidad de acceso. (CNT E.P, 2016)

La única empresa privada que vende cuentas de internet tipo residenciales en la provincia de Galápagos es IFOTONCORP S.A., la misma que opera únicamente en las isla Santa Cruz, a continuación se hará una comparación de precios entre ésta

empresa y la empresa PUNTO NET que prestan el servicio en otras provincias del Ecuador.

Tabla 1.6.3

Comparación de tarifas residenciales

Empresa	Tipo	Nombre del plan	Velocidad		Costo 8:1	Costo 4:1	Costo 1:1
			Downlink (Kb/s)	Uplink (Kb/s)			
IFOTONCORP S.A	RESIDENCIAL	PLAN IFOTON HOUSE SILVER (RESIDENCIAL)	200 Kb/s	200 Kb/s	\$80,00	Plan disponible no	Plan disponible no
		PLAN IFOTON HOUSE GOLD (RESIDENCIAL)	400 Kb/s	400 Kb/s	\$150,00	Plan disponible no	Plan no disponible
PUNTO NET	RESIDENCIAL	Banda ancha inalámbrica	2,2Mb/s	*****	Plan no disponible	\$22,8	Plan no disponible
			3Mb/s	*****	Plan no disponible	27,36	Plan no disponible
			5Mb/s	****	Plan no disponible	\$31,92	Plan no disponible
		Banda ancha fibra óptica	10Mb/s	****	Plan no disponible	Plan disponible no	\$34,20
			20Mb/s	****	Plan no disponible	Plan disponible no	\$45,6
			75Mb/s	****	Plan no disponible	Plan disponible no	\$91,2
			100Mb/s	****	Plan no disponible	Plan disponible no	\$125,4

Nota Fuente: (Punto Net, 2016)

La tabla 1.6.3 muestra las tarifas residenciales de empresas privadas para Galápagos y el Ecuador Continental, en donde se evidencia la diferencia existente en las velocidades ofertadas y los precios para estos planes.

1.7 ANÁLISIS DE ESCALABILIDAD A NUEVAS TECNOLOGÍAS

La ubicación geográfica de la Región Insular no ha permitido un desarrollo y penetración de servicios de telecomunicaciones de forma igualitaria en relación al Ecuador Continental, con respecto al servicio de telefonía móvil celular, a octubre de 2016 no se registra un despliegue total de tecnología 3G (WCDM/UMTS) en la provincia de Galápagos, con la particularidad que en los sitios en donde las operadoras han desplegado tecnología 3G, el rendimiento propio de la red no alcanza los niveles de prestación en comparación con otras ciudades del Ecuador.

Para la siguiente comparación, se ha tomado valores de mediciones de transmisión de datos en redes móviles que dispone la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones ARCOTEL, recabadas mediante el Sistema Autónomo de Mediciones de Redes Móviles (SAMM), que es utilizado por esta entidad gubernamental para medir la calidad del servicio móvil avanzado a nivel de todo el territorio ecuatoriano.

El sistema SAMM, es una herramienta que está compuesta por equipos autónomos de medición (EAM/RTU) distribuidas en diferentes ciudades del Ecuador, que permiten realizar mediciones en forma permanente (7X24) de parámetros de calidad de redes móviles.

En la provincia de Galápagos se encuentran instalados dos equipos de medición, los mismos que están ubicados en puntos fijos en las ciudades de Puerto Ayora y Puerto Baquerizo Moreno. Los resultados presentados a continuación corresponden a la Tasa de Datos Media (throughput), es decir al rendimiento promedio de la red en

mediciones FTP (Protocolo de Transferencia de Archivos) en downlink (recepción) y uplink (transmisión). Las pruebas realizadas corresponden a mediciones en tecnología 3G (WCDMA/UMTS). Se ha tomado como referencia dos periodos de tiempo octubre de 2015 y enero de 2016 en diferentes sitios del Ecuador continental para compararlos con resultados obtenidos en ciudades de la provincia de Galápagos.

Tabla 1.7.1

Comparación de resultados Tasa de Datos Media - Claro

PERIODO DE MEDICIÓN: 01 – 31 DE OCTUBRE DE 2015			
Operadora	Sitio de medición	Throughput Downlink (Kb/s)	Throughput Uplink (Kb/s)
CLARO	Coca	1091,15	108,92
	Otavalo	1498,48	81,36
	Loreto	1677,75	358,22
	Quidindé	1121,13	179,47
	Puerto Ayora	260,66	32,66

Nota Fuente: (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2016)

Tabla 1.7.2*Comparación de resultados Tasa de Datos Media – CNT EP*

PERIODO DE MEDICIÓN: 01 – 31 DE OCTUBRE DE 2015			
Operadora	Sitio de medición	Throughput Downlink (Kb/s)	Throughput Uplink (Kb/s)
CNT EP	Coca	335,06	133,96
	Otavalo	279,84	102,73
	Loreto	3189,84	793,42
	Quidindé	355,13	148,24
	Puerto Ayora	251,96	50,38

Nota Fuente: (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2016)

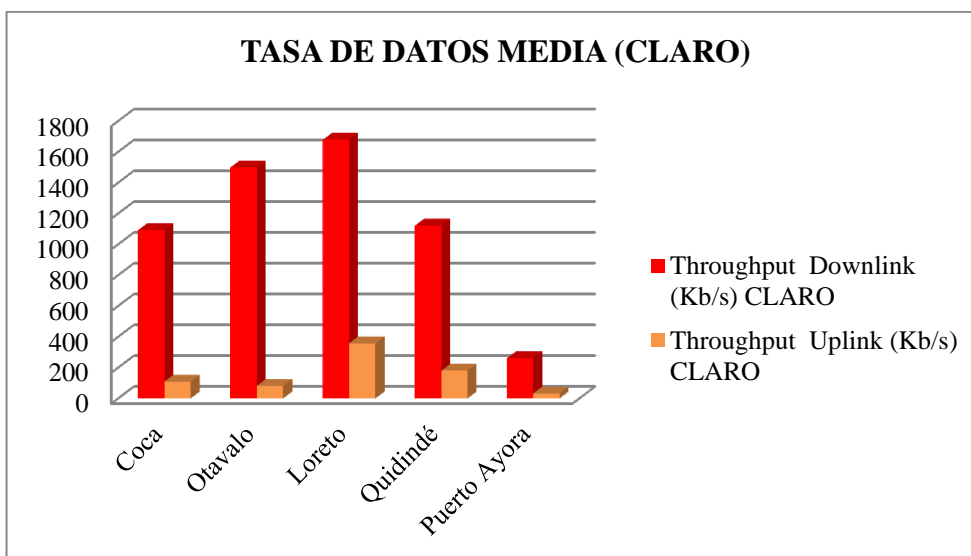


Figura 1.7.1. Comparación de resultados, pruebas FTP Claro.

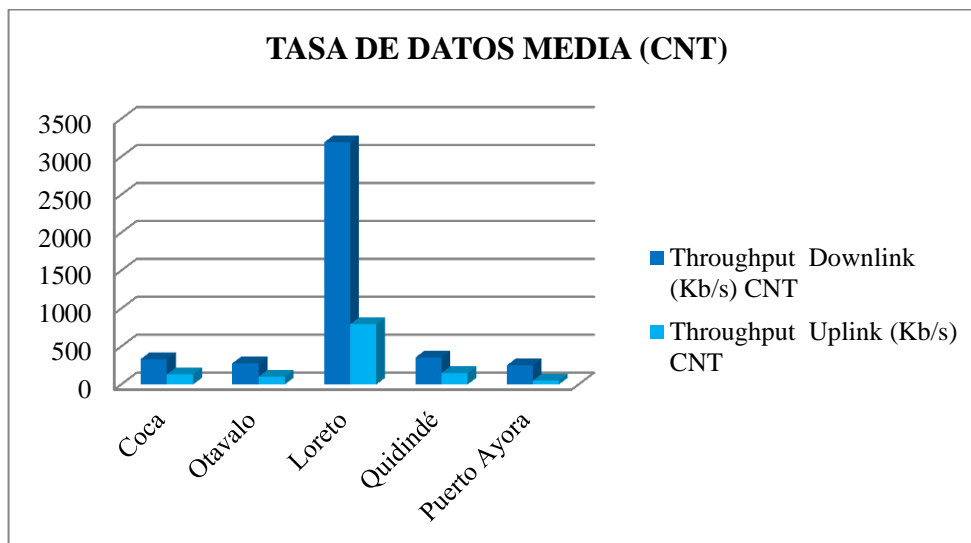


Figura 1.7.2. Comparación de resultados, pruebas FTP CNT EP.

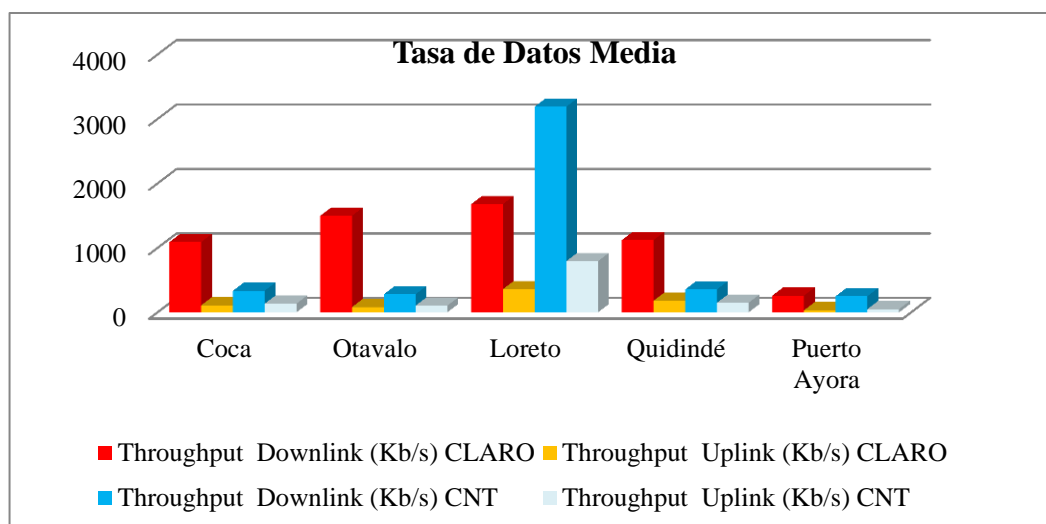


Figura 1.7.3. Comparación de resultados pruebas Octubre 2015.

Los valores presentados en las tablas 1.7.1 y 1.7.2, corresponden a resultados de mediciones para validar la tasa media de datos en redes 3G mediante pruebas FTP, únicamente se comparó entre las operadoras Claro y CNT EP, ya que la empresa Movistar a octubre de 2015 no disponía de una red 3G en Galápagos. De los resultados presentados para la operadora Claro, al comparar la cifra obtenido en la ciudad de Puerto Ayora que corresponde a la provincia de Galápagos, con la ciudad

del Coca, que es la que obtuvo el menor rendimiento (downlink) de los cuatro sitios de referencia, se constató que el rendimiento de la red registrado en las mediciones hechas en Galápagos corresponde al 23,9% del rendimiento registrado en la ciudad del Coca, porcentaje referencial que se puede tomar como un indicador de la diferencia existente en la prestación de servicio.

Con respecto a la operadora CNT EP, la tasa media de datos (downlink) registrado en las mediciones hechas en Galápagos corresponde al 90.0% del rendimiento registrado en la ciudad del Ecuador continental que menos valores registró.

Las mediciones de enero de 2016 arrojaron los siguientes resultados:

Tabla 1.7.3

Comparación de resultados Tasa de Datos Media, operadora Claro

PERIODO DE MEDICIÓN: ENERO DE 2016			
Operadora	Sitio de medición	Throughput Downlink (Kb/s)	Throughput Uplink (Kb/s)
CLARO	Otavaló	1089,5	46,4
	Quinindé	656	310,7
	Tulcán	1958,7	230,8
	Quito (Granados)	1085,9	548,3
	Puerto Baquerizo Moreno	182,3	21,0

Nota Fuente: (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2016)

Tabla 1.7.4*Comparación de resultados Tasa de Datos Media, operadora Movistar*

PERIODO DE MEDICIÓN: ENERO DE 2016			
Operadora	Sitio de medición	Throughput Downlink (Kb/s)	Throughput Uplink (Kb/s)
Movistar	Otavalo	3270,5	1000,7
	Quinindé	2040,0	381,16
	Tulcán	2784,1	1071,7
	Quito (Granados)	4879,7	1456,7
	Puerto Baquerizo Moreno	425,3	117,4

Nota Fuente: (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2016)

Tabla 1.7.5*Comparación de resultados Tasa de Datos Media, operadora CNT EP*

PERIODO DE MEDICIÓN: ENERO DE 2016			
Operadora	Sitio de medición	Throughput Downlink (Kb/s)	Throughput Uplink (Kb/s)
CNT	Otavalo	211,8	119,2
	Quinindé	252,5	230,8
	Tulcán	252,8	272,7
	Quito (Granados)	241,6	268,0
	Puerto Baquerizo Moreno	420,7	86,1

Nota Fuente: (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2016)

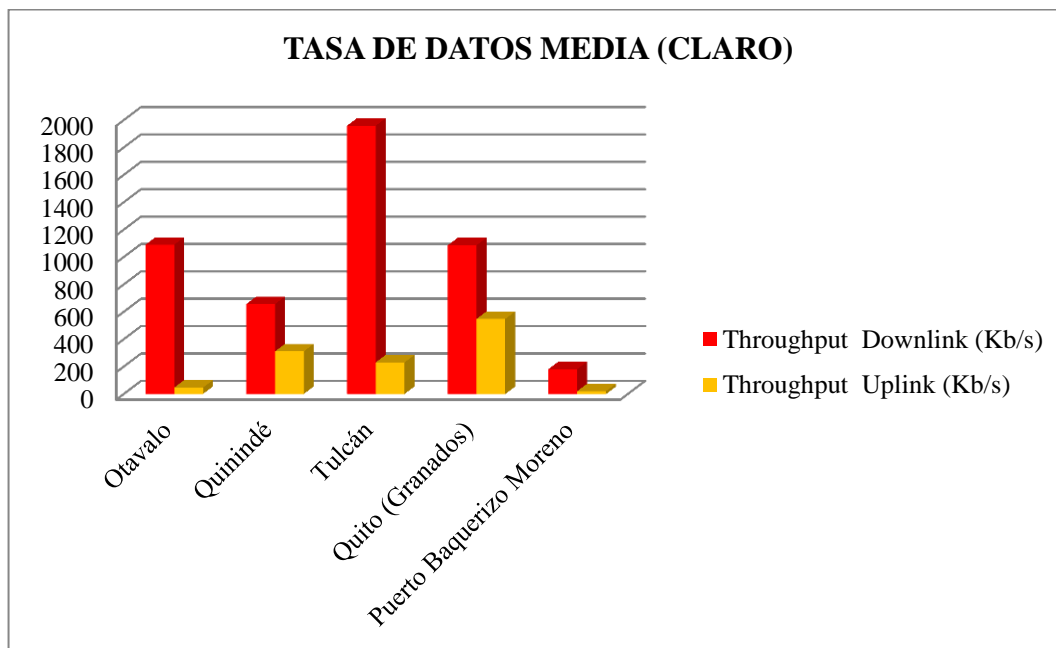


Figura 1.7.4. Comparación de resultados, pruebas FTP Claro.

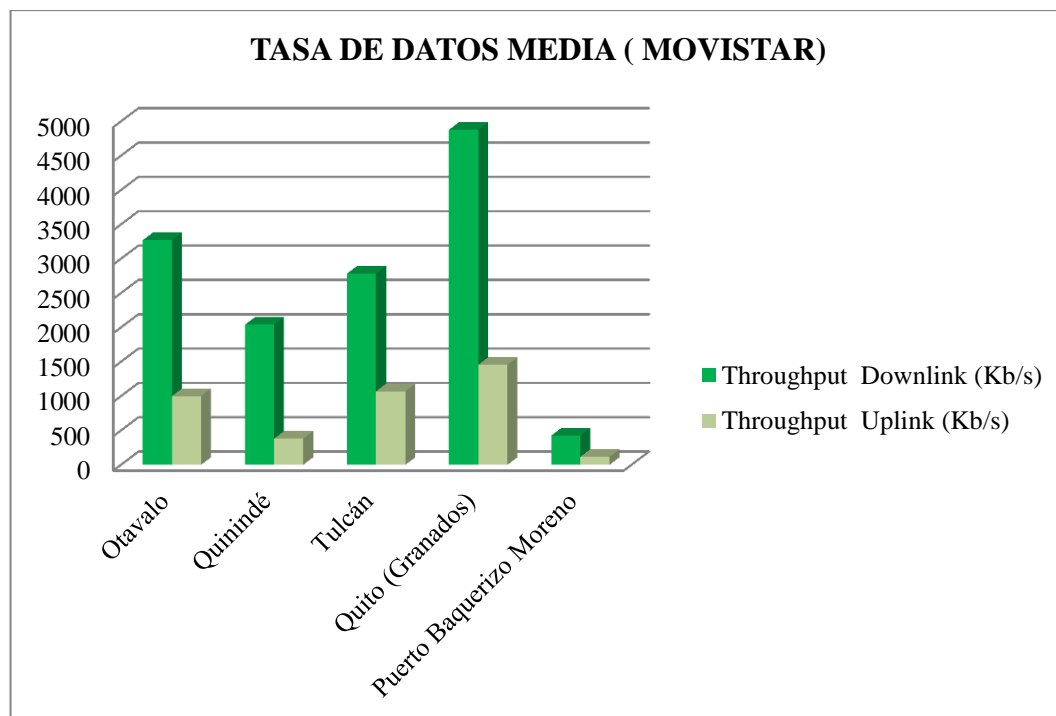


Figura 1.7.5. Comparación de resultados, pruebas FTP Movistar.

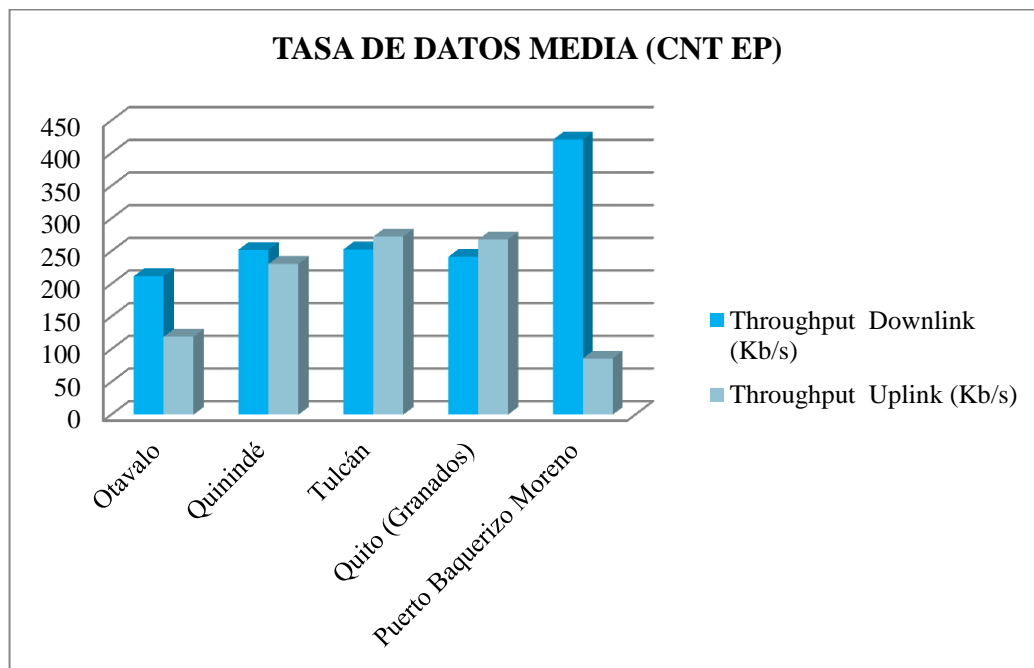


Figura 1.7.6. Comparación de resultados, pruebas FTP CNT EP.

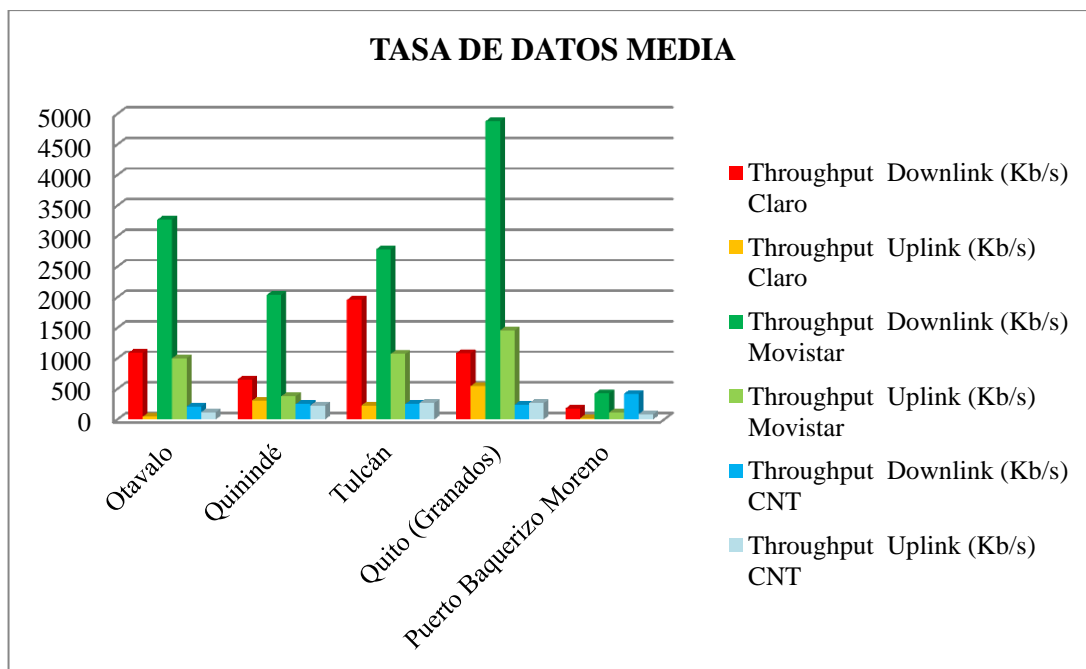


Figura 1.7.7. Comparación de resultados.

Los resultados obtenidos en el mes de enero de 2016, muestran la tasa media de datos (downlink) registrado en las mediciones hechas en Galápagos, las mismas que

corresponden al 27,8% y 20,8%, del rendimiento registrado en las ciudades del Ecuador continental que menor producto obtuvieron de las operadoras Claro y Movistar respectivamente.

La operadora CNT EP, para este periodo de medición particular registró una mejor tasa media de datos (Downlink) en comparación de los resultados obtenidos en otros sitios, sin embargo el rendimiento en (Uplink) solo alcanzó el 72,2% en comparación de la ciudad que menos valores registró para este parámetro.

Los valores presentados de la tasa media de datos en pruebas FTP sobre redes 3G, genera un indicador de cómo está el internet móvil en la provincia de Galápagos en comparación con otras ciudades del Ecuador, el problema crece a medida que la tecnología evoluciona, las tres operadoras móviles del Ecuador ya han desplegado redes 4G en la parte continental y el panorama no se muestra favorable para la región Insular, por ejemplo, la operadora Movistar recién en diciembre de 2015 desplegó 3G (WCDMA/UMTS) en dos islas del archipiélago.

Considerando costos y capacidad, los enlaces satelitales no permiten una escalabilidad inmediata a tecnologías superiores. Si analizamos redes de cuarta generación, LTE versión de lanzamiento (release) 8 y 9, el 3GPP define una tasa de transferencia de datos en downlink entre 73 -150 Mb/s y uplink de 36 -75 Mb/s y el LTE Advance release 10 considera un aumento de las tasas de datos de hasta 1 Gb/s en el enlace descendente y 500 Mb/s en el enlace ascendente habilitadas a través del uso de ancho de banda o asignaciones escalables y flexibles de hasta 1000 MHz; estos valores de transferencia de datos en redes móviles amerita una reflexión

orientada a mejorar la conectividad hacia la provincia de Galápagos que ofrezca una mejor escalabilidad tecnológica.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 DATOS HISTÓRICOS ENLACES SUBMARINOS

Inicialmente, las comunicaciones se realizaban únicamente a través de cobre o cable coaxial mediante el envío de señales eléctricas que viajan a lo largo del cable. En 1850, se tendió el primer cable submarino fabricado en cobre, que conectaba a los países de Francia e Inglaterra a través del mar por el Paso de Calais; sin embargo, las señales sufrían retardos que sumados a los rebotes y la ausencia de blindaje en el cable, daban como resultado una señal irreconocible. Con la avería de este primer cable, Werner Von Siemens desarrolló un recubrimiento para los cables denominado gutapercha, lo que permitió conectar Francia e Inglaterra con una mejor solución técnica y expandir el telégrafo en Europa y África. En 1958, se logró la comunicación de América con Europa por medio de un cable submarino eléctrico y de datos que cruzó el Océano Atlántico lo que tuvo un gran impacto en la sociedad; pero al poco tiempo de su entrada en funcionamiento el cable se dañó, debido a su incorrecta manipulación y una mala operación con el voltaje de las señales; remitiendo únicamente 732 telegramas. Pasaron seis años para que se tienda un nuevo cable submarino que atravesase el Atlántico; dicho cable contaba con un blindaje más robusto y una mayor resistencia a la torsión. Fue en 1866 que el nuevo cable transatlántico entró en servicio, a finales del XIX ya se contaba con 15 cables submarinos para la comunicación entre Europa y América. La tecnología fue evolucionando, mejorando las cubiertas aislantes de los cables e introduciendo amplificadores de señal para solucionar los problemas de atenuación. Con la

evolución de la tecnología, los datos cursados internacionalmente crecían de forma exponencial y para la década de los 60 ya se contaba con cables submarinos que permitían transportar de 120 a 1.800 canales telefónicos analógicos. Con los años se introduce un nuevo medio de comunicación denominado fibra óptica, el cual reemplazó las señales eléctricas por señales de luz. Las comunicaciones ópticas tienen su inicio en 1870, cuando John Tyndall descubrió que la luz podía viajar dentro de un material y salvar la curvatura de la línea de transmisión, debido a la reflexión interna en las paredes del material. Sin embargo, con la tecnología de esa época no era posible desarrollar materiales que transmitan la luz con un rendimiento aceptable y pérdidas de señal mínimas. (Blogthinkbig, 2016).

En los próximos años se desarrollan teorías que permitieron el avance de las comunicaciones mediante el uso de la luz.

John William Strutt, el tercer Barón de Rayleigh, dentro de sus trabajos, desarrolló la teoría que explicaba el color azul del cielo, como resultado de la dispersión de la luz del sol por pequeñas partículas de la atmósfera, que fue denominada: La Ley de la Dispersión de Rayleigh, que se convirtió en base para el estudio de todo tipo de propagación de ondas; y, en 1897 el Barón de Rayleigh formuló leyes básicas que rigen la propagación de la luz. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008).

En 1900 Max Planck formuló que la energía se radia en unidades pequeñas separadas llamamos cuantos, desarrollando la teoría de radiación electromagnética y la constante de Planck h . (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008).

Los descubrimientos de Planck, fueron verificados posteriormente por otros científicos; y, en 1908 Einstein, desarrolló su teoría del protón sobre el fenómeno conocido como efecto fotoeléctrico, demostrando que las partículas cargadas absorbían y emitían energías en cuantos finitos que eran proporcionales a la frecuencia de la luz o radiación. (Astromia, 2016).

Tuvieron que pasar varias décadas para que en los años 50 del siglo XX, Narinder Singh Kapany trabajando en el equipo de investigación del profesor Harold Hopkins, desarrolle una teoría basada en los estudios de John Tydall, para la elaboración de un material por el que la luz pudiese viajar y en el caso de presentar alguna curvatura el haz de luz supiese adaptarse por las reflexiones de los rayos de luz sobre el material. En 1953 Narinder Singh Kapany logró mejorar las características de transmisión de la luz mediante el desarrollo de las fibras con recubrimiento. Fue entonces cuando los científicos y técnicos especializados en óptica dirigieron sus esfuerzos a la producción de un ducto o canal, conocido hoy como la fibra óptica. En 1960 Theodore Maiman construyó el primer láser eficiente, lo que intensificó el interés en las comunicaciones por medio de la luz. Sin embargo, la utilización del láser era limitada a cortas distancias debido a que no existían los conductos y canales adecuados para hacer viajar las ondas electromagnéticas provocadas por la lluvia de fotones originados por láser; las impurezas presentes en el vidrio causaba pérdidas de luz. (Blogthinkbig, 2016).

En 1975 se tiende el primer cable de fibra óptica en la comisaría de policía de Dorset (Reino Unido); y, en 1976 Bell Labs, anunció que las pruebas de fibra que había realizado en Atlanta funcionaron mejor de los esperado. Era claro que la fibra óptica

sería la solución tecnológica elegida para el incremento en la capacidad de la transmisión de información por lo que los siguientes cables submarinos a desplegar se realizarían con fibra óptica y, de hecho, en 1983 se instaló el último cable coaxial submarino trasatlántico, que ofrecía 4200 canales de voz simultáneos. El mismo año, Telefónica decidió usar fibra óptica en un proyecto experimental llamado OPTICAN-1 que fue el primer cable submarino de fibra óptica que se desplegó en España cuyo objetivo era probar la nueva tecnología y perfeccionar las técnicas de despliegue, operación y la reparación; la ubicación elegida fueron las Islas Canarias, concretamente, unió las Islas de Tenerife y Gran Canaria, además, al finalizar el proyecto se explotaría el cable con fines comerciales. (Gualda Manzano).

El primer cable óptico trasatlántico se instaló entre 1988 y 1989, conectando Europa con Estados Unidos (TAT-8), contenía tres pares de fibras con una capacidad de 280 Mb/s por segundo en cada uno. En 1996 se instaló un enlace óptico trasatlántico capaz de transmitir hasta 10 Gb/s por segundo (TAT 12/13) dicho enlace utiliza amplificadores ópticos (EDFA), lo que es considerado un desarrollo importante en comunicaciones por fibra óptica. En la década de los 90s, se colocaron unos 350.000 kilómetros de cable óptico submarino en todo el mundo. (Gualda Manzano).

Actualmente, la mayoría de las comunicaciones internacionales se realizan a través de las redes de cables ópticos submarinos; debido a que permiten la transmisión de grandes cantidades de información entre ciudades, países y continentes.

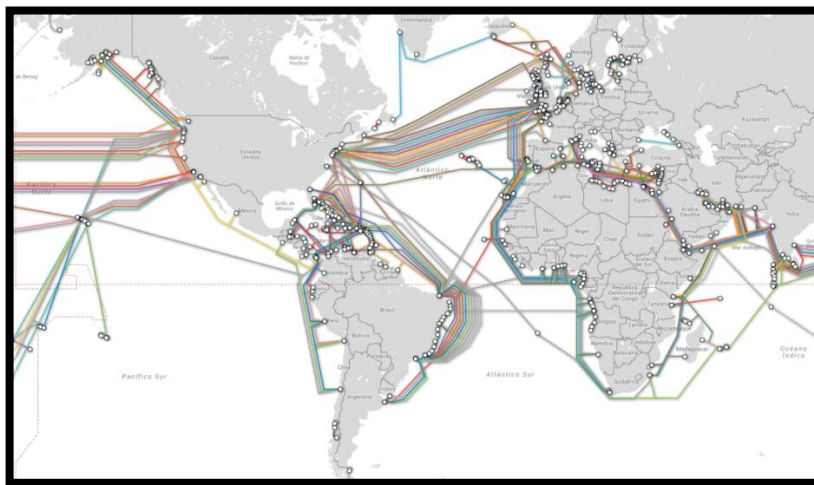


Figura 2.1.1. Mapa referencial de cable de fibra submarino. Fuente: (Submarinecablemap, 2015)

2.2 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS Y COMPONENTES DE UN ENLACE SUBMARINO DE FIBRA ÓPTICA

Con el pasar de los años, los sistemas de enlaces de fibra óptica submarina han presentado cambios en busca de una comunicación de calidad. En la figura 2.2.1 se visualiza algunos de los elementos que actualmente conforman un enlace submarino de fibra óptica.

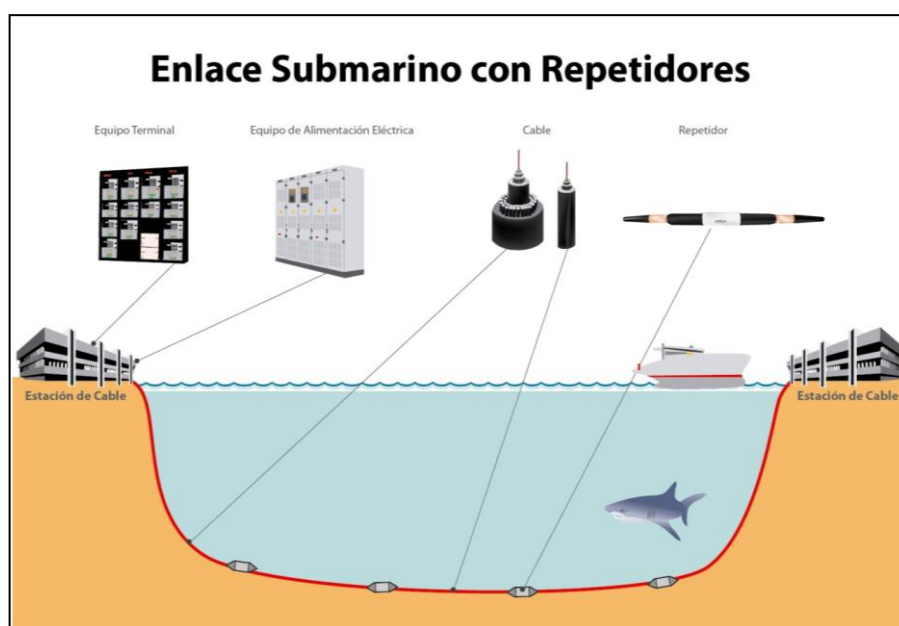


Figura 2.2.1. Esquema general de un enlace óptico submarino. Fuente: (OZEROS, 2016)

Todos los elementos del enlace submarino que sean sumergidos son diseñados para soportar las condiciones extremas de las profundidades (800 atmósferas de presión) y resistencia a la corrosión; de forma que proporcionen una calidad que garantice un tiempo de vida aproximado de 25 años. El cable está compuesto de un núcleo óptico que protege a las fibras, rodeado por un conductor de cobre para alimentar al equipo sumergido desde la orilla y un aislante para protegerlo del mar y de posibles amenazas externas como las anclas u otros elementos. La amplificación óptica permite generar más ancho de banda, ya que al tener más amplificadores por repetidor se puede dar soporte a un gran número de fibras. Las unidades de derivación (o de ramificación) son equipos que están sumergidos que permiten conexiones entre más de dos puntos, esto es, doble aterrizaje a diferentes lugares de la costa o la distribución de parte del tráfico en un punto secundario. Las unidades de derivación son piezas complejas de equipo no sólo de nivel óptico, sino también a nivel eléctrico. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008).

Generalmente, el sistema de comunicación de fibra óptica submarina llega a la playa a una estación con los siguientes elementos: (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008).

- ✓ Fuente de alimentación, proporciona energía eléctrica a los equipos activos submarinos, especialmente a los repetidores.
- ✓ Equipo terminal de transmisión, emite luz láser modulada por la señal de comunicación. Remite información mediante luz óptica que es modulada encendiendo y apagando para constituir los bits de información. Los bits de información recibidos son reconstruidos y alimentan el soporte de la comunicación terrestre.

- ✓ Un sistema de administración de red permite al operador configurar y monitorear los sistemas; lo que le permite obtener información de su estado y activar alarmas en caso de fallas.

2.3 FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica es un filamento de vidrio o polímero acrílico, capaz de conducir y transmitir impulsos luminosos de un extremo a otro; es empleado generalmente en las redes de datos, ya que permite enviar gran cantidad de información a una gran distancia, con velocidades similares a las de radio y superiores a las de cable convencional. Cada filamento está constituido por un núcleo central de plástico o cristal por el cual se efectúa la propagación con un alto índice de refracción, y una capa de un material similar con un índice de refracción ligeramente menor que se denomina envoltura o revestimiento. Cuando la luz llega a una superficie que limita con un índice de refracción menor, se refleja en gran parte, cuanto mayor sea la diferencia de índices y mayor el ángulo de incidencia, se habla entonces de reflexión interna total. En el interior de una fibra óptica, la luz se va reflejando contra las paredes en ángulos muy abiertos, de tal forma que prácticamente avanza por su centro. De este modo, se pueden guiar las señales luminosas sin pérdidas por largas distancias. A lo largo de toda la creación y desarrollo de la fibra óptica, algunas de sus características han ido cambiando para mejorarla. Las características más destacables de la fibra óptica en la actualidad son: (Ecured, 2016).

- ✓ Cobertura más resistente: La cubierta contiene un 25% más material que las cubiertas convencionales.

- ✓ Uso dual (interior y exterior): La resistencia al agua y emisiones ultravioleta, la cubierta resistente y el funcionamiento ambiental extendido de la fibra óptica contribuyen a una mayor confiabilidad durante el tiempo de vida de la fibra.
- ✓ Mayor protección en lugares húmedos: Se combate la intrusión de la humedad en el interior de la fibra con múltiples capas de protección alrededor de ésta, lo que proporciona a la fibra, una mayor vida útil y confiabilidad en lugares húmedos.
- ✓ Empaquetado de alta densidad: Con el máximo número de fibras en el menor diámetro posible se consigue una más rápida y más fácil instalación, donde el cable debe enfrentar dobleces agudos y espacios estrechos. Se ha llegado a conseguir un cable con 72 fibras de construcción súper densa cuyo diámetro es un 50% menor al de los cables convencionales.
- ✓ La capacidad de transmisión de información que tiene una fibra óptica depende de las siguientes características:
 1. Del diseño geométrico de la fibra.
 2. De las propiedades de los materiales empleados en su elaboración.
 3. De la anchura espectral de la fuente de luz utilizada. Cuanto mayor sea esta anchura, menor será la capacidad de transmisión de información de esa fibra.

Los sistemas de transmisión por fibra óptica pueden afectar su capacidad de transmisión por la presencia de micro curvaturas. Para evitar la formación de micro

curvaturas y tensiones se debe considerar los siguientes factores: (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008).

- ✓ Tensión: Cuando se estira o contrae el cable se pueden causar fuerzas que rebasen el porcentaje de elasticidad de la fibra óptica y hacer que se rompa o se formen microcurvaturas.
- ✓ Compresión: Es el esfuerzo transversal.
- ✓ Enrollamiento: Se debe considerar que existe siempre un límite para el ángulo de curvatura de la fibra óptica, la existencia del forro puede impedir que se sobrepase.
- ✓ Torsión: Es el esfuerzo lateral y de tracción de la fibra óptica.

Otro aspecto a considerar en los sistemas de fibra óptica son las limitaciones térmicas, estas dependen del material de fabricación de las fibras (vidrio o materiales sintéticos), debido a que cada material responde diferente a las diversas temperaturas que se presenten, los materiales sintéticos presentan mayores limitaciones, puesto que son más susceptibles a los cambios en la temperatura. Se pueden realizar pruebas con el objetivo de minimizar las pérdidas y las variaciones de la atenuación con la temperatura. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008).

2.3.1 TIPOS DE FIBRAS

En el interior de una fibra óptica un haz de luz puede seguir diferentes trayectorias a esto se denomina modos de propagación. Las fibras ópticas, pueden clasificarse según el modo de propagación en multimodo y monomodo. Las Fibras multimodo pueden ser guiados muchos modos o rayos luminosos, cada uno de los cuales sigue

un camino diferente dentro de la fibra óptica. Este efecto hace que su ancho de banda sea inferior al de las fibras monomodo y su uso es preferido para comunicaciones en distancias de hasta 10 Km. El núcleo de una fibra multimodo tiene un índice de refracción superior, pero del mismo orden de magnitud, que el revestimiento. Debido al gran tamaño del núcleo de una fibra multimodo, es más fácil de conectar y tiene una mayor tolerancia a componentes de menor precisión. Fibras monomodo se caracteriza por tener el diámetro del núcleo de la fibra muy pequeño, lo que permite la propagación de un único modo o rayo, su transmisión es paralela al eje de la fibra y se propaga directamente sin reflexión, lo que provoca que su ancho de banda sea muy elevado. Este tipo de fibra es utilizada para comunicaciones de distancias superiores a 10 Km. (Radiocomunicaciones, 2016).

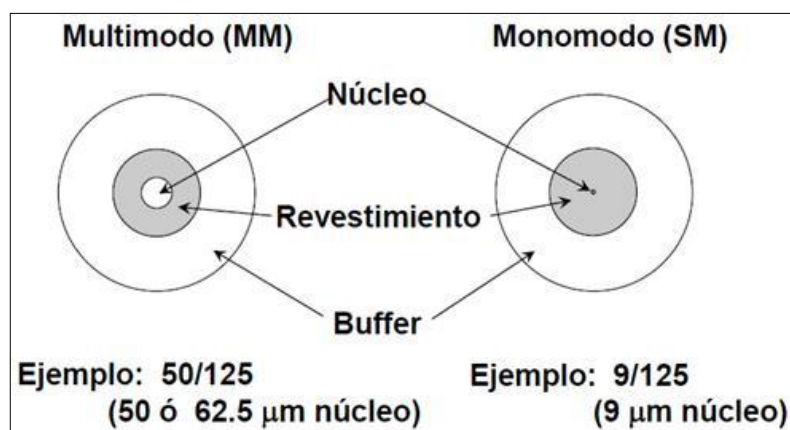


Figura 2.3.1.1. Comparación fibras monomodo y multimodo. Fuente: (Fibraoptica, 2015)

2.3.2 TIPOS DE CABLES

Debido a las condiciones a las que se someterán los cables transoceánicos se requieren varios niveles de protección, al respecto, existen ocho tipos básicos de protección; sin embargo, no a todos los cables se les asignan los tipos de protección

dentro de su rango, algunos de estos tipos de protección son raramente requeridos, un nivel más alto de protección a menudo puede sustituir a un nivel más bajo de protección. Es común el uso de varios tipos de cable para un solo sistema, por lo que las transiciones o uniones entre éstos son requeridas, permitiendo que el cable más débil sea capaz de convivir con el cable del tipo más pesado. El tipo del cable garantizará la protección de las fibras ópticas contra la presión del agua, la propagación longitudinal del agua, los daños provocados por agentes químicos y físicos; y, los efectos de la contaminación causados por el hidrógeno. Así mismo, garantiza que no se producirán degradaciones de calidad de funcionamiento de la fibra cuando el cable se tiende, se entierra, se recupera y se manipula. (Gil M. , 2014)

2.3.2.1 CABLE LIGERO DE AGUAS PROFUNDAS

El cable ligero de aguas profundas es el diseño más básico de la familia de cables y se emplea para operaciones a profundidades del mar de 8.500m; esta profundidad se presenta en trincheras o zanjas oceánicas entre placas tectónicas. Este cable está constituido por un núcleo óptico que contiene las fibras y las protege contra presiones con un ensamble de alambre en una bóveda, asegurando la resistencia mecánica longitudinal. Este cable también incluye un conductor de corriente usualmente de cobre que protege su alto voltaje mediante un aislador alrededor de su estructura. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008)

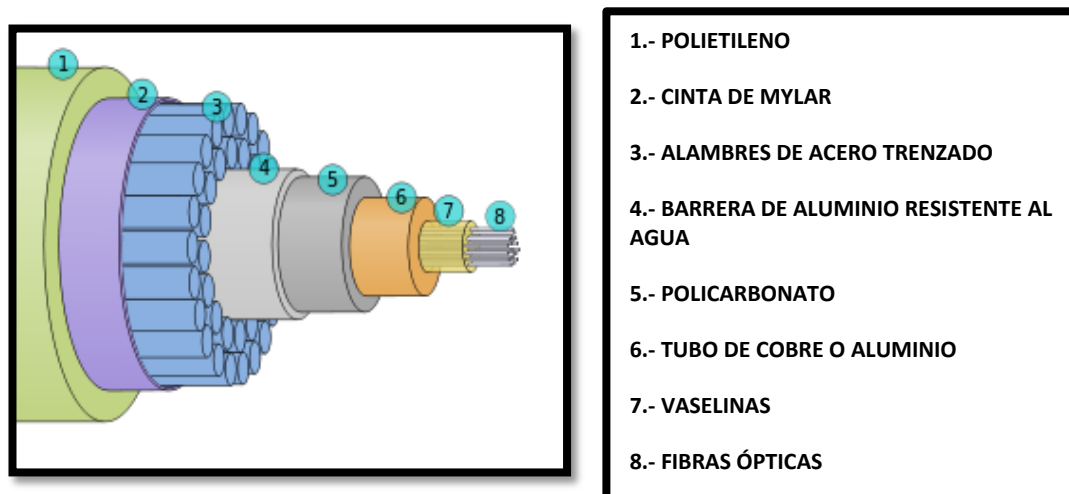


Figura 2.3.2.1.1. Estructura del cable submarino. Fuente: (Wikipedia, 2016)

2.3.2.2 CABLES CON PROTECCIÓN A ABRASIONES

Previamente al tendido del cable se realiza una inspección marina para seleccionar la mejor ruta, pero en ocasiones es inevitable que en la ruta existan vertientes, zanjas y corrientes marinas, las cuales pueden causar que el cable esté rozando constantemente con el fondo del mar, por lo que se puede requerir que el cable tenga una protección adicional. En los primeros cables telefónicos se incorporaba una protección externa de cobre o aluminio para controlar abrasiones o rozamientos. En varias aplicaciones ópticas en zanjas del Pacífico hacia el Noreste de Australia, la resistencia adicional contra abrasiones fue suministrada usando una capa externa de polietileno. Cuando se requiere protección en los cables ópticos submarinos ligeros de aguas profundas se usa cinta metálica exterior (generalmente acero) y una capa externa de polietileno. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008).

2.3.2.3 CABLE BLINDADO DE AGUAS PROFUNDAS

El cable de aguas profundas blindado está conformado, con una capa externa de alambre de acero de 2 a 3 mm de diámetro, puede ser recuperado y reusado en mar profundo a más de 6.000 m. Este tipo de cable blindado provee 1000 veces más resistencia a las abrasiones que el cable ligero. Se utiliza en áreas con laderas muy empinadas y regiones con fuertes corrientes en el fondo del mar, con rozamientos del cable contra el áspero fondo del mar que requieren de mayor protección de la que puede ofrecer una cinta metálica. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008).

2.3.2.4 CABLE LIGERO CON BLINDAJE SIMPLE

El cable ligero con blindaje simple (SAL), o ligero blindado con alambre (LWA), tiene una capa externa de alambres de 3 a 3.5 mm de diámetro y generalmente es enterrado por chorro o arado.

Este cable es utilizado en aguas no muy profundas de 2000 m, la cual es la máxima profundidad en donde la mayoría de los peces comestibles pueden ser encontrados, al estar enterrado está protegido de otros habitantes del fondo marino por lo que solo una protección ligera es requerida. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008).

2.3.2.5 CABLE PESADO CON BLINDAJE SIMPLE

Utilizado en aguas no muy profundas de 1.000 a 1.500 m, el cable pesado con blindaje simple tiene una capa simple de alambres más gruesos y largos, de entre 4,5 y 7 mm de diámetro que permite proteger al cable de las amenazas del mar cuando no es muy práctico enterrar algunas secciones de este a la máxima profundidad requerida. Este tipo de cables se conocen como cable con blindaje simple (SA),

cable con blindaje simple medio (SAM) y cable con blindaje simple pesado (SAH). (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008).

2.3.2.6 CABLE LIGERO DE DOBLE BLINDAJE

Existen zonas en las cuales no se puede enterrar el cable ligero de blindaje simple, debido a zonas rocosas, conductos u otros cables submarinos por lo que el cable frecuentemente es reforzado agregándole una segunda capa de alambre de 4,5 a 7 mm de diámetro. Este tipo de cable es normalmente colocado hasta unos 500 m. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008).

2.3.2.7 CABLE PESADO DE DOBLE BLINDAJE

En áreas poco profundas (menores a 50 a 80 m) con alto riesgo por la pesca o el dragado, donde el cable no puede ser enterrado, se requiere mayor protección que la ofrecida por un cable ligero de doble blindaje es por eso que el cable pesado es reforzado con una capa externa de alambres de 4,5 a 7 mm de diámetro. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008).

2.3.2.8 CABLE DE PROPÓSITOS ESPECIALES DE BAJAS PROFUNDIDADES

Son cables diseñados para resistir los niveles más altos de maltrato, es usado en regiones en donde la pesca es intensa con redes de arrastre y no es posible enterrar el cable; por ejemplo, en áreas próximas al occidente europeo, donde el afloramiento de granito descarta el entierro, o en el Mar del Norte, donde el movimiento constante de

la arena expone a la vista cables previamente enterrados. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008).

2.4 REPETIDORES

Son unidades que regeneran las señales ópticas que se han atenuado por la propagación a lo largo de un segmento; es por eso que se ubican en posiciones regulares a lo largo del cable.

2.5 AMPLIFICADORES ÓPTICOS

Son dispositivos que amplifican una señal óptica, generando una réplica de la señal de entrada pero con mayor potencia, un amplificador óptico no requiere convertir una señal óptica en eléctrica y viceversa para su transmisión, todo el proceso es óptico. En la actualidad los amplificadores ópticos se fundamentan en un proceso de emisión estimulada al igual que un láser, salvo que no posee una realimentación para evitar que el dispositivo oscile, por lo que únicamente eleva el nivel de potencia. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008). Una ventaja de los amplificadores ópticos es que pueden ser usados con diferentes tipos de modulaciones, un solo dispositivo puede amplificar diferentes señales de distintas longitudes de onda y velocidades de transmisión distintas.



Figura 2.5.1. Amplificador óptico submarino marca Padtec. Fuente: (Padtec, 2016)

2.5.1 AMPLIFICADORES DE FIBRA DOPADOS DE ERBIO (EDFA)

Los EDFA, han permitido el desarrollo de los sistemas de comunicaciones multiplexados, por su capacidad de amplificar las señales en muchas longitudes de onda diferentes simultáneamente. Los EDFA son muy utilizados por sus características, opera en la zona cercana a $1,55 \mu\text{m}$, región en la cual la fibra monomodo es utilizada por que posee mínimas pérdidas. Posee una elevada ganancia y bajo ruido, con un amplio ancho de banda, transparencia a las longitudes de onda e independencia a la polarización. (Mena Soliz & Mendoza Pantoja, 2009). En los amplificadores ópticos (EDFA) se aumenta el nivel de potencia de la luz incidente al estimular la fibra dopada con erbio, mediante una señal de bombeo que causa que los átomos absorban fotones, quedando éstos en estado excitado durando un intervalo de tiempo definido por el tiempo de vida de los átomos. Al volver a su estado original, liberan la energía almacenada, fenómeno que es conocido como emisión. La emisión puede presentarse en dos formas distintas: (Mena Soliz & Mendoza Pantoja, 2009).

- ✓ Emisión espontánea, en esta emisión no existe una relación de fase entre los fotones emitidos y los fotones incidentes.
- ✓ Emisión estimulada, es producto de la incidencia de un fotón, por lo que coinciden los fotones emitidos con los fotones incidentes, tanto en fase como dirección, lo que produce una interferencia constructiva que amplifica las señales de luz incidente.

Los amplificadores están diseñados considerando como base un par de fibras para operaciones bidireccionales, y pares de amplificadores por lo que generalmente hay

un EDFA por fibra (por dirección), pero el bombeo del diodo láser (LD), el control y la supervisión de estos circuitos se comparten entre los EDFAs del par de amplificadores. Un repetidor simple puede ser usado para amplificar señales de hasta 12 pares de fibras; sin embargo, una red típica incluye 4 ó 6 pares de fibras. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008).

Generalmente los repetidores son colocados cada 50Km aproximadamente (dependiendo de la calidad de la fibra óptica) para regenerar la señal que va disminuyendo con la distancia, ya que la luz va perdiendo intensidad, debido a impurezas de la fibra. Los EDFA introducen nuevos efectos que deben ser tenidos en cuenta a la hora de diseñar un enlace. Los principales inconvenientes que presenta un amplificador EDFA son que introduce ruido en la propagación de la señal, la ganancia depende de la potencia total de entrada y la ganancia no presenta una figura plana, lo que significa que los diferentes canales de un sistema WDM sufren ganancias distintas. Estos problemas se agravan cuando cierto número de amplificadores se encadenan. (Gualda Manzano).

Existen tres tipos de EDFAs, amplificadores de potencia, amplificadores de línea y preamplificadores.

Los amplificadores de potencia son los que se colocan a la salida del transmisor después de la etapa de multiplexación.

Los amplificadores de línea trabajan con señales bajas y amplifican la señal al máximo de dB posibles, mientras que los preamplificadores poseen bajo ruido y niveles de ganancia considerables ya que muchas en ocasiones no requieren una señal de alta potencia la salida.

2.5.2 AMPLIFICADORES RAMAN

Los amplificadores Raman usan tecnología basada en sistemas ópticos puros, en el cual la dispersión Raman de la luz entrante en el medio de ganancia produce fotones de la luz que contiene la señal de transmisión. Este tipo de amplificadores junto con el uso de láseres de bombeo permiten convertir la fibra óptica en un medio de transmisión de banda ancha y ganancia distribuida, de esta manera la fibra actúa como un amplificador óptico, entregando una ganancia sobre las señales que se propagan por su interior cuando se bombea con un láser de alta potencia desplazada aproximadamente 100 nm por debajo de la señal que se desea amplificar. Un amplificador Raman usa el efecto Raman SRS (Stimulated Raman Scattering), que permite fabricar amplificadores en cualquier longitud de onda óptica. (Sangucho Morocho , 2009).

Los sistemas de amplificación Raman reducen el efecto del ruido con relación a los EDFA, mejorando la relación señal a ruido óptica (OSNR). Este tipo de amplificación depende de la polarización por lo que las señales polarizadas ortogonalmente no experimentan ganancias.

2.5.3 AMPLIFICACIÓN HÍBRIDA RAMAN + EDFA

Este tipo de amplificación permite tener un ancho de banda de 80 nm combinando la ganancia de estos dos tipos de amplificadores, la curva de ganancia que presenta al usar esta combinación es plana en el rango comprendido entre los 1530 y los 1600 nm. Mediante esta técnica se obtiene un bajo nivel de ruido y una buena amplificación. (Sangucho Morocho , 2009).

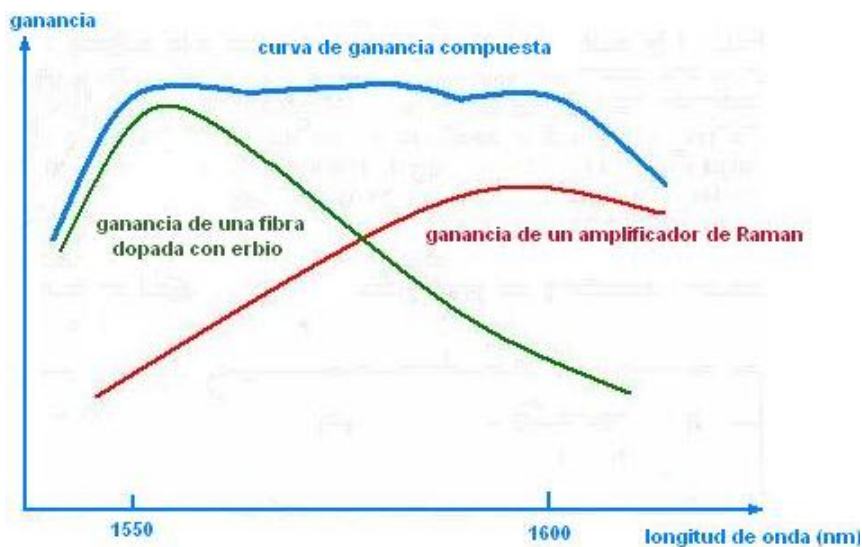


Figura 2.5.3.1. Curva de ganancia amplificación híbrida. Fuente: (Nemesis, 2006)

2.6.- FUENTES

Las fuentes ópticas son transductores que generan señales ópticas a partir de las señales eléctricas, en los sistemas se ubican en los extremos de la transmisión o de los enlaces de fibra. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008). La luz se emite a una longitud de onda concordante en una de las ventanas en la fibra. Las fuentes deben cumplir con lo siguiente: (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008).

- ✓ Bajo consumo
- ✓ Alta fiabilidad con los cambios de temperatura
- ✓ Pequeño tamaño
- ✓ Alta potencia de salida y pureza espectral suficiente en los casos de largas secciones de fibra.
- ✓ La fuente debe admitir en su interior la modulación a la velocidad de transmisión del sistema, aunque últimamente puede obviarse esta condición acudiendo a moduladores exteriores a la propia fuente.

- ✓ Capaces de ser moduladas a altas velocidades
- ✓ Las fuentes más utilizadas son el LED y el LÁSER.

El LED (Diodo emisor de luz) es una fuente óptica de baja potencia, su precio es relativamente económico, se utiliza para comunicaciones ópticas cortas y de mediana distancia. En general, se utiliza en primera ventana (850 nm) y segunda ventana (1300 nm) en fibras multimodo. El LÁSER es un dispositivo de alta potencia, su precio es más elevado que el LED y se utiliza para grandes distancias, Su aplicación se centra en la segunda ventana (1.300 nm) en fibras monomodo y en tercera ventana (1.550 nm). (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008).

2.7 DETECTOR ÓPTICO

Es un transductor óptico-eléctrico que convierte la señal óptica en eléctrica para ello absorbe los fotones (luz) procedentes de la fibra óptica y generan una corriente eléctrica sobre un circuito exterior. Existen básicamente dos tipos de detectores el fotodiodo positivo-intrínseco-negativo (PIN) y el fotodiodo de Avalancha (APD). El PIN se trata de una versión mejorada de una unión p-n elemental que trabaja con polarización inversa, son utilizados de forma general en 1.300 y 1.500nm, con independencia del tipo de fibra óptica una de sus características es su bajo costo y fiabilidad. Los fotodiodos de avalancha operan de manera similar a los PIN, pero proporcionan ganancia a través de un proceso de amplificación, los APDs poseen mejores características de sensibilidad y exactitud pero el coste es más elevado en relación a los PINs. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008).

2.8 MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA (WDM)

En el ámbito de las telecomunicaciones corresponde a una tecnología que multiplexa varias señales sobre una sola fibra óptica, mediante portadoras ópticas de diferente longitud de onda, usando luz procedente de un láser o un led. Los primeros sistemas WDM aparecieron en el año 1985 y combinaban tan solo 2 señales, actualmente esta tecnología puede soportar hasta más de 100 señales. A los dispositivos que unen las señales se los conoce como multiplexores, mientras al equipo que las separa se los conoce como demultiplexores. (Ambrosio barrueto, 2012).

2.9 MULTIPLEXORES Y DEMULTIPLEXORES ÓPTICOS

Multiplexión es la combinación de diversas señales de baja velocidad en una única señal de alta velocidad, que viajan en el mismo canal optimizando el uso la infraestructura física. Los sistemas de transmisión asíncronos emplean Multiplexión por División en el Tiempo (TDM). (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008). En lo que se refiere en la transmisión óptica, un multiplexor óptico es un dispositivo que permite introducir en un solo hilo de fibra óptica varias longitudes de onda y transmitir las, un demultiplexor en cambio extrae y separa estas longitudes de onda para que tome diferente trayectoria.

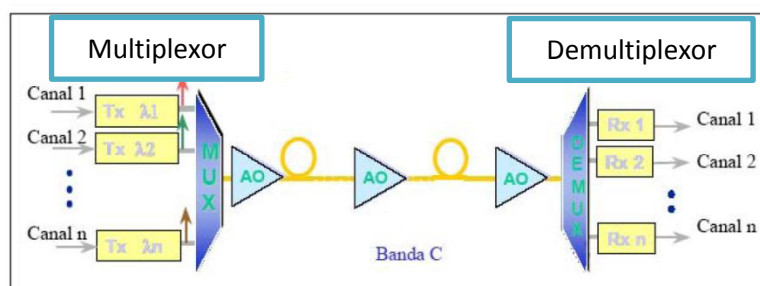


Figura 2.9.1. Esquema general multiplexores y demultiplexores ópticos. Fuente: (García Barría, 2006, p. 52)

2.9.1 MULTIPLEXORES ÓPTICOS DE INSERCIÓN/EXTRACCIÓN (OADM)

Estos multiplexores son utilizados en las redes ópticas permiten introducir y sacar un canal de una red sin afectar al resto. Operan directamente con señales DWDM, extrayendo en un punto medio de una ruta un determinado canal caracterizado por su longitud de onda (puerto drop) e insertando en su lugar otra señal de información en la misma longitud de onda (puerto “add”), dejando inalterados todos los demás canales de la señal DWDM, es decir, para longitudes de onda o bandas que no son de interés en ese nodo, el OADM es transparente. Los canales denominados through, son los que pasan de largo por el OADM y los canales “add-drop”, son los que entran o salen en el OADM. (Sangucho Morocho , 2009).

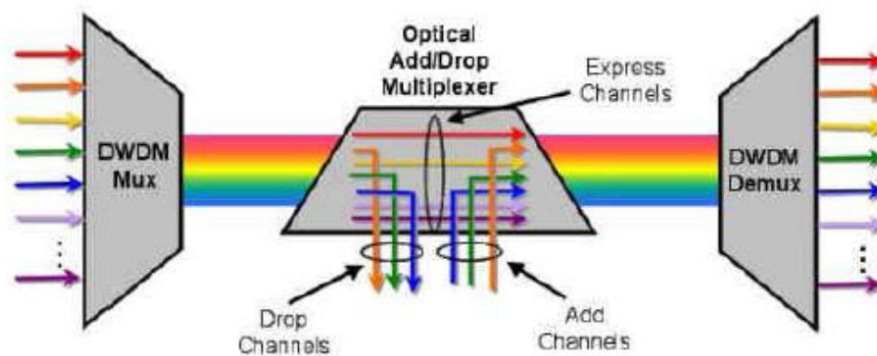


Figura 2.9.1.1. Operación de un OADM. Fuente: (Astudillo Rivera & Ramírez Obando, 2014)

2.9.1.1 F-OADM (MULTIPLEXORES ÓPTICOS DE INSERCIÓN/EXTRACCIÓN FIJOS)

En los OADM de longitud de onda fija, los canales que se añaden/retiran están preasignados y no podrán variar durante el funcionamiento del dispositivo. (Sangucho Morocho , 2009).

2.9.1.2 R-OADM (MULTIPLEXORES ÓPTICOS DE INSERCIÓN/EXTRACCIÓN RECONFIGURABLES)

Son elementos de red en los que cualquier longitud de onda puede extraerse, insertarse o encaminarse de forma flexible, sin afectar el tráfico de la red existente.

Entre las características y beneficios de estos elementos se destaca lo siguiente:

(Sangucho Morocho , 2009).

- ✓ Operación de manera remota.
- ✓ Gestión del ancho de banda flexible, permite conmutar diferentes canales DWDM e función de las necesidades de tráfico.
- ✓ Funcionalidades de monitoreo extremo a extremo.
- ✓ Conmuta tráfico a nivel óptico.

2.10 BANDAS DE COMUNICACIÓN ÓPTICAS

La Unión internacional Telecomunicaciones define las siguientes bandas ópticas de transmisión:

Banda Original (O - Band): 1230 a 1360nm

Banda Extendida (E – Band): 1360 a 1460nm

Banda Corta (S – Band): 1460 a 1530nm

Banda Convencional (C – Band): 1530 a 1565nm

Banda Larga (L – Band): 1565 a 1625nm

Banda Ultra Larga (U – Band): 1625 a 1675nm

2.11 DWDM

DWDM (Multiplexación por división de onda densa), con la creciente demanda de servicios de alta velocidad está provocando cambios sustanciales en las arquitecturas de las redes ópticas. Así, la tecnología DWDM se está expandiendo progresivamente desde el núcleo de las redes ópticas de alta velocidad hacia las redes metropolitanas y de acceso, todo ello provocado por el éxito alcanzado por las soluciones DWDM de largo alcance que han permitido un aumento espectacular en la capacidad de las redes ópticas de transporte. DWDM es una técnica de multiplexación que permite aumentar la capacidad de un canal de fibra óptica, actualmente existen equipos que permiten hasta 200 canales de 100Gb/s, logrando una capacidad de 20Tb/s en un solo hilo de fibra óptica. La introducción de tecnología DWDM en las redes ópticas metropolitanas produce grandes beneficios en cuanto a coste, flexibilidad y eficiencia. La tecnología DWDM permite combinar múltiples longitudes de onda, de manera que puedan ser transmitidas, amplificadas y propagadas por una misma fibra, aumentando así su capacidad. Los sistemas con más de cuatro longitudes de onda (λ) y con una separación entre ellas de menos 1 [nm] aproximadamente, son considerados "densos" y son denominados sistemas DWDM. La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), ha estandarizado la separación de los canales. Los sistemas DWDM usan generalmente una separación de frecuencias (canales) de 50GHz y 100GHz la canalización óptica de las bandas constan recomendación UIT G.694.1 (García Barría C. A., 2006).

2.12 EFECTOS FÍSICOS EN LA PROPAGACIÓN

El desempeño de las redes es limitado debido a que en la fibra óptica se presentan efectos físicos que afectan la transmisión de las señales, degradando su calidad. Estos efectos se clasifican, de forma general, como lineales o no lineales. Los dos efectos lineales que determinan de manera importante las características de la propagación de la señal en una fibra óptica monomodo son la atenuación y la dispersión, la magnitud de ambos efectos depende de la longitud de onda de la señal. (Gualda Manzano).

2.12.1 ATENUACIÓN

Es la pérdida de intensidad de una señal, debido a que las señales a través de largas distancias pierden su fuerza o amplitud; y, para que la señal llegue con la suficiente energía es necesario el uso de amplificadores o repetidores situados a lo largo de un sistema de transmisión. La atenuación o pérdidas de transmisión han determinado la aceptación de un sistema como medio de transmisión en telecomunicaciones. La distancia entre repetidores (amplificadores de señal), depende de la atenuación del canal; por lo que la fibra óptica es un medio muy utilizado por su atenuación por debajo de los 5dB/Km que es la atenuación típica de un conductor metálico. (Proaño Lozada, 2009) .

Los factores que influyen en la atenuación de la fibra óptica se han agrupado en factores propios y factores externos.

2.12.1.1.- FACTORES PROPIOS

Entre los factores propios se destaca, las pérdidas por absorción y las pérdidas por dispersión. La atenuación por absorción del material de la fibra se produce por la presencia de impurezas en la fibra durante el proceso de fabricación, tales como iones metálicos, níquel variado, entre otros, que absorben la luz y la convierten en calor. Incluso las fibras ópticas fabricadas con vidrio ultra puro (aprox. 99.9999% puro), presentan pérdidas por absorción entre 1 y 1000 dB/Km. La absorción puede ser intrínseca causada por los componentes del vidrio o extrínseca causada por impurezas no deseadas. Las pérdidas por dispersión (esparcimiento) se manifiestan como reflexiones del material, debido a las irregularidades microscópicas ocasionadas durante el proceso de fabricación y cuando un rayo de luz se está propagando choca contra estas impurezas y se dispersa y refleja. (Proaño Lozada, 2009).

2.12.1.2 FACTORES EXTERNOS

Los principales factores externos que producen atenuación son las deformaciones mecánicas, esto incluye a las curvaturas, que producen la pérdida de luz porque algunos rayos no sufren la reflexión total y se escapan del núcleo.

La fibra óptica puede ser sometida a macro curvaturas (radio del orden de 1cm o más) y a micro curvaturas (el eje de la fibra se desplaza unas decenas de micra sobre una longitud de unos pocos milímetros).

2.12.2 DISPERSIÓN CROMÁTICA

En una fibra se distinguen dos tipos de dispersión intermodal e intramodal o cromática. La dispersión intermodal se da en fibras multimodo mientras que el tipo monomodo desaparece, las fibras monomodo en cambio están diseñadas para permitir la propagación en un modo, por lo que la dispersión intermodal desaparece, existiendo presencia únicamente de dispersión intramodal o cromática. La dispersión cromática corresponde al ensanchamiento del pulso a la salida del sistema de transmisión óptica con respecto a la entrada, se produce por las características que constituyen la fibra (Gualda Manzano). La dispersión cromática, se debe a que cada longitud de onda que compone la señal óptica que viaja en la fibra se propaga con una velocidad de fase diferente.

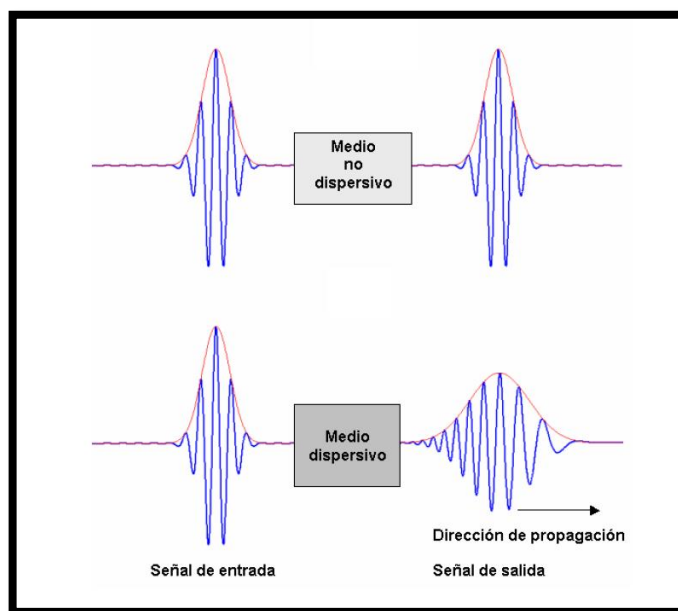


Figura 2.12.2.1 Efecto de la dispersión cromática. Fuente: (Gualda Manzano)

La dispersión cromática depende de dos factores, la dispersión del material y la dispersión de la guía de onda, es decir la suma de estos dos componentes da como resultado el coeficiente de dispersión cromática total que se expresa en ps/Km.nm.

2.12.2.1 DISPERSIÓN CROMÁTICA DEL MATERIAL

Guarda relación con el efecto que produce el índice de refracción del núcleo de la fibra con la frecuencia, debido a que la velocidad de fase es función del índice de refracción cada componente espectral se desplazará a una velocidad diferente dentro de un mismo modo, originando la dispersión del material a causa del ensanchamiento del pulso. Se entiende como velocidad de grupo a la velocidad a la que se propaga una envolvente y consecuentemente el valor de la velocidad con que se trasmite la información. Hay que considerar que la dispersión por material aumenta con la longitud de la fibra. (Sangucho Morocho , 2009).

2.12.2.2 DISPERSIÓN CROMÁTICA DE GUÍA DE ONDA

Surge en el mismo medio, es decir en las fibras monomodo, la potencia de un modo se propaga una parte por el núcleo y parcialmente por el revestimiento. El índice efectivo de un modo se sitúa entre el índice de refracción del núcleo y del revestimiento, acercándose más a uno u otro dependiendo de cuál sea el porcentaje de la potencia que se propaga por ellos, si la mayor parte de la potencia está contenida en el núcleo, el índice efectivo estará más cerca del índice de refracción del núcleo. Como la distribución de la potencia de un modo entre el núcleo y el revestimiento depende de la longitud de onda, si la longitud de onda cambia, la distribución de potencia también cambia, provocando un cambio en el índice efectivo

o constante de propagación del modo. Por lo tanto, aún en ausencia de dispersión material, es decir, aunque los índices de refracción del núcleo y del revestimiento sean independientes de la longitud de onda, si la longitud de onda varía, seguiría produciéndose el fenómeno de la dispersión debido a la dispersión por guiado de onda. (NEMESIS TUTORIAL DEL COMUNICACIONES ÓPTICAS, 2006).

Este tipo de dispersión posee el signo contrario a la dispersión del material, por lo que es factible anularse entre sí para lograr niveles de dispersión mínima. En las fibras de dispersión desplazada (Dispersion Shifted Fibers, DSF) se modifica el perfil del índice de refracción de la fibra para desplazar el punto de dispersión cero a la longitud de 1.550 nm, con la ventaja de combinar al mismo tiempo la menor atenuación en esa banda con una dispersión mínima.

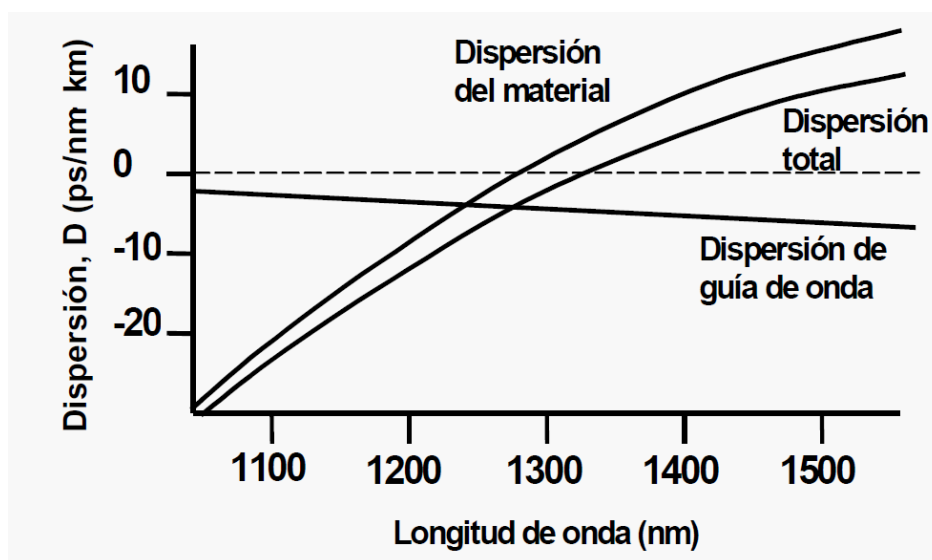


Figura 2.12.2.2.1. Dispersión cromática de material y de guía de onda. Fuente: (Gualda Manzano)

2.12.3.- DISPERSIÓN POR MODO DE POLARIZACIÓN (PMD)

Puede ensanchar la señal óptica lo suficiente provocando que la calidad del enlace disminuya, este tipo de dispersión se da por la existencia de asimetrías en la construcción de la fibra o por tensiones en ella, produciendo retardo de grupo entre las polarizaciones ortogonales. Este tipo de dispersión aumenta con la velocidad de transmisión por lo que representa un gran problema para enlaces de alta velocidad 40Gb/s y 100Gb/s. (Gualda Manzano).

2.12.4 FACTORES NO LINEALES

La búsqueda del incremento en la capacidad de transmisión de los sistemas de comunicación óptica ha desarrollado técnicas de multiplexación, como WDM y DWDM que han demostrado ser eficientes en la transmisión de grandes cantidades de información, sin embargo, al sobrepasar velocidades de transmisión de 10 Gb/s y trabajar con altas potencias, el canal de comunicación ya no puede ser considerado un medio lineal, y se presentan efectos no lineales. Los efectos no lineales se pueden clasificar en dos categorías. Efectos de scattering se producen por la presencia de inhomogeneidades en la trayectoria óptica. Efectos relacionados al efecto Kerr: Cambio en el índice de refracción de un material debido a la influencia del campo eléctrico. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008).

Las no linealidades provocan los siguientes efectos en las transmisiones ópticas: (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008).

- ✓ Dispersión de Brillouin estimulada (SBS).
- ✓ Dispersión de Raman estimulada (SRS).

- ✓ Automodulación de Fase (SPM).
- ✓ Mezclado de Cuatro Ondas (FWM).
- ✓ Inestabilidad de Modulación (MI).
- ✓ Formación de Solitones.
- ✓ Modulación de Fase Cruzada (CPM).

2.12.4.1 DISPERSIÓN DE BRILLOUIN ESTIMULADA

Este efecto es el desplazamiento de la luz a longitudes de onda mayores que surge cuando una onda incidente es dispersada. Se presenta con niveles bajos de potencia y varía según el tipo de fibra. El umbral de dispersión de Brillouin es sensible al ancho de la fuente y al nivel de potencia transmitida por la misma. Este efecto limita la cantidad de luz que se puede transmitir en una ruta provocando que el nivel de información transmitida sea menor a la esperada, para evitarlo se debe considerar que el nivel de potencia no rebase el umbral. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008).

2.12.4.2 DISPERSIÓN DE RAMAN ESTIMULADA (SRS)

Este efecto es el desplazamiento de la luz a frecuencias menores (entre 10 y 15 THz para 1.550nm), afecta a los sistemas de comunicaciones cuando los niveles de transmisión de luz son altos. En sistemas WDM se observa que este efecto provoca, lo siguiente: (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008).

- ✓ Transfiere potencia de los canales en las longitudes más cortas a los de las más largas, esto quiere decir que se comporta como un amplificador de Raman.

- ✓ Los canales con λ grande son amplificados por los de λ menor (bajo ciertas condiciones), esto depende del patrón de bits ya que sólo amplifica cuando hay “unos” en ambos canales simultáneamente, tal amplificación dependiente de la señal lleva a mayores fluctuaciones de potencia, lo cual junto con el ruido, degrada el desempeño del receptor.
- ✓ El canal con el λ más corto es el que presenta más los efectos de este tipo de dispersión.

Este efecto puede evitarse disminuyendo las potencias de transmisión de la señal o señales, es un efecto que está siempre presente cuando existen amplificadores, es decir afecta los enlaces ópticos de gran distancia.

2.12.4.3 AUTOMODULACIÓN DE FASE (SPM)

El efecto SPM surge debido a que el índice de refracción de la fibra tiene una componente dependiente de la intensidad. Este índice de refracción no lineal induce un desplazamiento de fase que es proporcional a la intensidad del pulso. SPM aumenta con la potencia transmitida, además de ser más destructivo para tasas de bits altas (tiempos de subida del pulso más cortos). También aumenta con la dispersión cromática negativa. Sus niveles de afectación aumentan cuando se presenta en sistemas con alta dispersión acumulativa y de grandes distancias. Si se presenta en sistemas WDM afecta cuando estos tienen espaciados muy pequeños entre canales además de crear interferencias entre canales adyacentes. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008). Este efecto se puede mitigar, tomando en cuenta lo siguiente:

- ✓ Disminuye cuando la dispersión cromática es cero o pequeña, incrementando el área efectiva de la fibra, esto hace que sus efectos no sean de importancia.
- ✓ En distancias de hasta 1000 km se puede controlar con dispositivos de compensación de dispersión a ciertos intervalos.
- ✓ Reduciendo la potencia de la señal.

2.12.4.4 MEZCLADO DE CUATRO ONDAS (FWM)

Son señales fantasmas de las cuales algunas caen justo en los canales a transmitir, lo que puede generar interferencia constructiva o destructiva, se produce cuando la intensidad del láser alcanza un nivel crítico de potencia. Generalmente se presenta en sistemas WDM y DWDM. Este efecto aparece a partir de dos ondas, pero sus efectos se aprecian en mayor intensidad cuando existen tres o más, su nombre se debe a que son más común y más fuertes en el caso de tres ondas a tal grado que genera una cuarta. Es un efecto de importancia en fibras de dispersión desplazada, debido a que la colocación de un canal óptico en o cerca de la zona de dispersión cero da lugar a una significativa generación de productos de FWM en distancias cortas. (Gualda Manzano).

Para solucionar los inconvenientes que puede causar este efecto se debe considerar lo siguiente:

- ✓ Tener espaciamientos de canales no uniformes, aunque la energía sigue perdiéndose, puede mitigar este efecto.
- ✓ Reduciendo potencia de entrada

2.12.4.5 INESTABILIDAD DE MODULACIÓN (MI)

Este efecto es la ruptura de una señal o pulso en una estructura modulada, una señal cuasi- monocromática empieza a generar dos bandas espectrales laterales simétricas, como podemos visualizar en la siguiente figura:

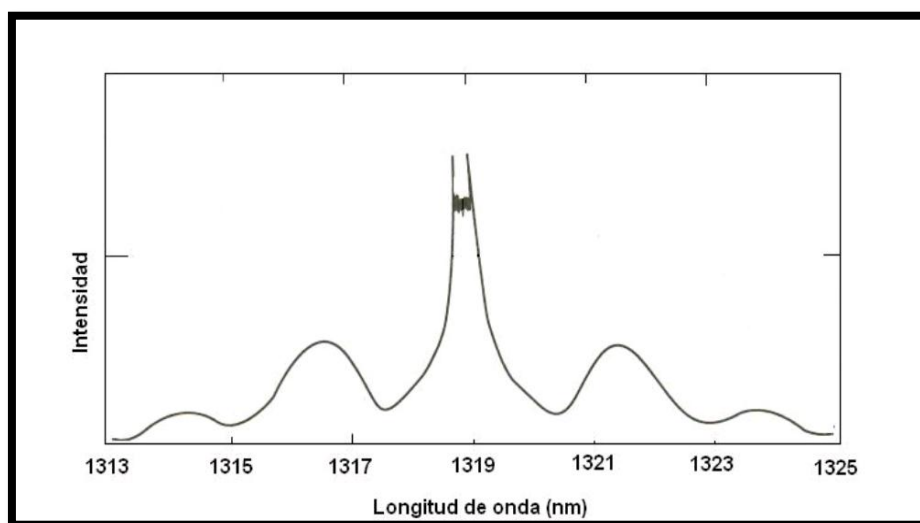


Figura 2.12.4.5.1. Espectro de pulso después de propagarse. Fuente: (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008)

Puede verse como un caso particular donde dos fotones de la intensa señal de entrada se convierten en dos fotones con distintas frecuencias. Puede afectar la transmisión al disminuir la señal por la generación de las bandas laterales, por lo que debe tener muy presente dicho efecto cuando se usan amplificadores muy potentes en enlaces con fibras de dispersión desplazada con láser modulados directamente. En sistemas de larga distancia sin repetidores, a potencias más bajas, puede amplificar el ruido y hace que se pierda energía. Para evitar éstas alteraciones se debe disminuir la potencia de la señal del enlace y filtrando el. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008).

2.12.4.6 FORMACIÓN DE SOLITONES

Un solitón es un pulso que no cambia de forma conforme viaja por una fibra ya sea monomodo o multimodo. Representa un balance o punto medio entre no linealidad y dispersión, o la dispersión de velocidad de grupo y la modulación de autofase. Por separado, ambos degradan el desempeño de la transmisión, pero juntos, permiten la generación de solitones. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008).

2.12.4.7 MODULACIÓN DE FASE CRUZADA (CPM)

Surge de la dependencia del índice de refracción con la intensidad que presenta la señal y ocurre para transmisiones multicanal ya que el desplazamiento de fase no lineal de un canal no sólo depende de su potencia, sino de la potencia del otro canal. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008).

CAPÍTULO 3

DISEÑO DEL ENLACE ÓPTICO SUBMARINO

3.1 PROYECCIÓN DE ACCESO A INTERNET EN GALÁPAGOS

Para el análisis de las necesidades de acceso a Internet en la provincia de Galápagos se tomará en consideración los siguientes puntos:

- ✓ Proyección de la población en la provincia de Galápagos al año 2030.
- ✓ Ingreso anual de turistas al archipiélago.
- ✓ Número de cuentas de Internet fijo proyectadas al año 2030.

Como se mencionó en capítulos anteriores, una de las variables a considerar para el tema de conectividad es la población flotante de turistas que ingresan anualmente al archipiélago, también se ha considerado el indicador del porcentaje de habitantes en la provincia que acceden a Internet, en el sentido de proyectarse a ser una de las provincias con mayor acceso a dicho servicio y se ha tomado en cuenta el concepto de banda ancha, mediante el cual se garantice al usuario percibir velocidades de acceso que estén dentro de las condiciones que define este parámetro. El Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), realiza una proyección de la población en la provincia de Galápagos hasta el año 2020; bajo los datos presentados por el INEC, (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2016) se realizó una regresión polinómica para obtener los valores proyectados al año 2030. La línea de tendencia que mejor se ajustó está dada por la siguiente ecuación $y = 0.5012x^2 + 711.62x + 25157$.

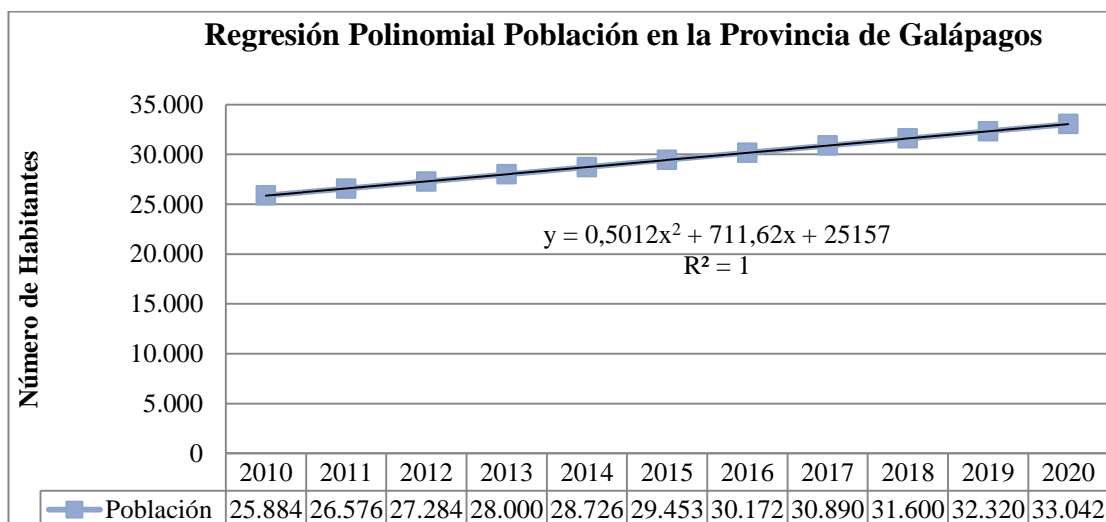


Figura 3.1.1. Ecuación polinomial. Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2016)

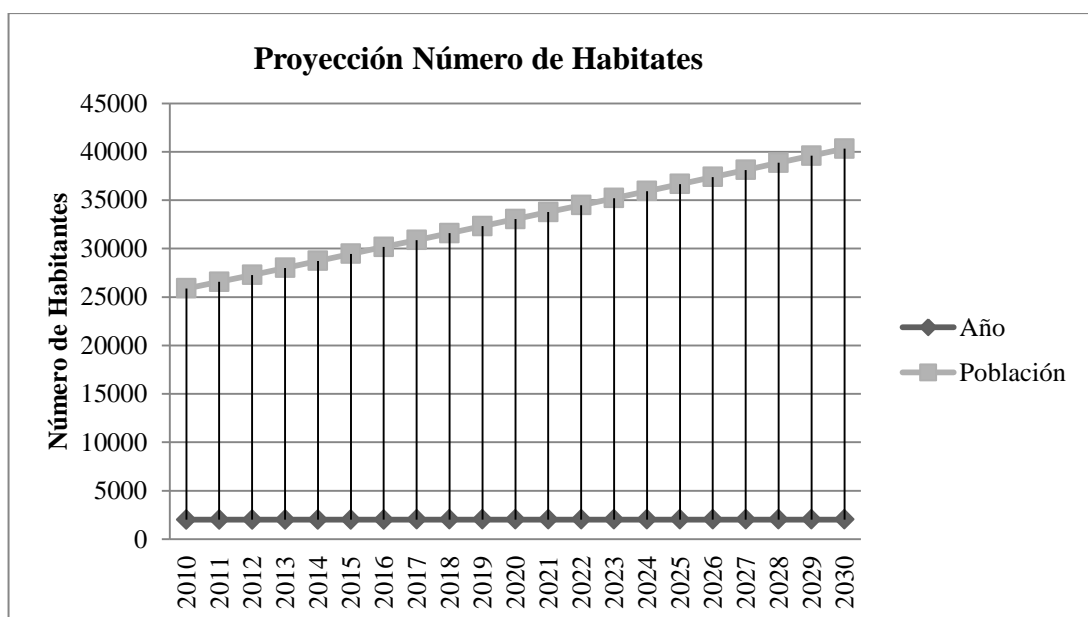


Figura 3.1.2. Proyección número de habitantes en la provincia de Galápagos al año 2030.

La población proyectada al año 2030 en Galápagos es de 40.322 habitantes, se realizó la estimación a ese año considerando dicho tiempo como un hito que permita recuperar la inversión del proyecto.

Tabla 3.1.1

Proyección de número de habitantes en la provincia de Galápagos

Año	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Población	33.769	34.493	35.218	35.944	36.671	37.399	38.129	38.859	39.590	40.322

Con la información estimada de la población en Galápagos al año 2030, se procede al análisis del número de cuentas de Internet, que se lo ha hecho en base a datos estadísticos que dispone la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, del número de cuentas por año registradas en Galápagos. (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2016). Con la información estadística se realizó una regresión lineal para la estimación del número de cuentas requeridas al año 2030.

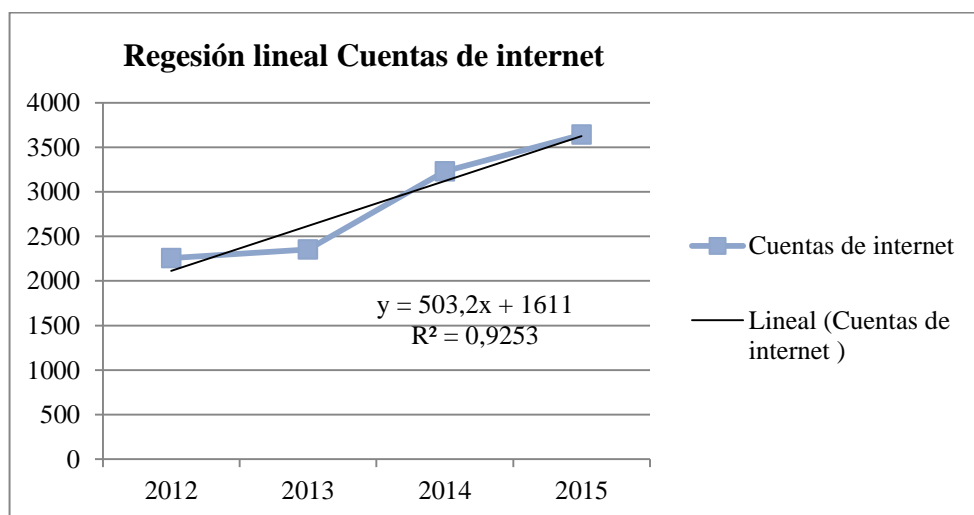


Figura 3.1.3. Regresión lineal.

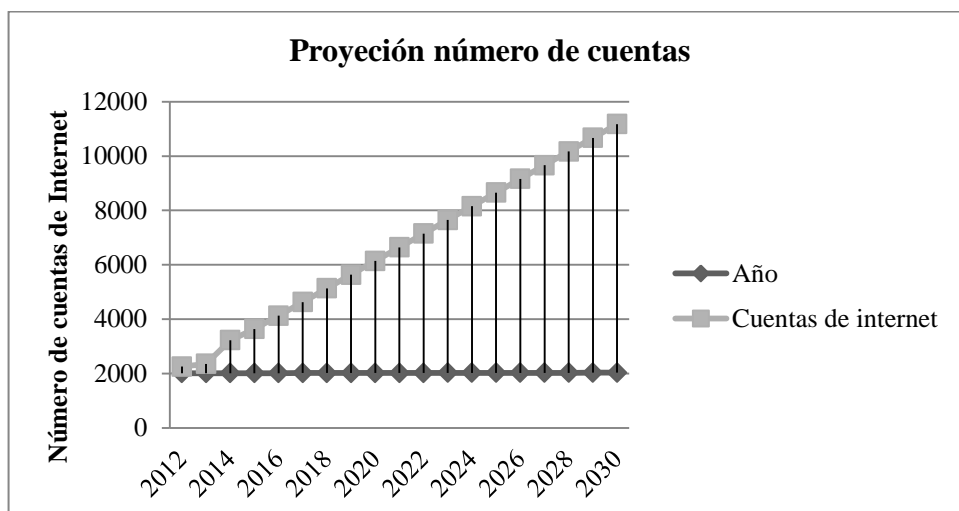


Figura 3.1.4. Proyección número de cuentas de internet fijo en la provincia de Galápagos al año 2030.

Tabla 3.1.2

Proyección de número de habitantes y cuentas de Internet

Item	Año	Población	Número de cuentas de Internet fijo.
1	2010	25.884	Sin datos
2	2011	26.576	Sin datos
3	2012	27.284	2.255
4	2013	28.000	2.352
5	2014	28.726	3.229
6	2015	29.453	3.640
7	2016	30.172	4.127
8	2017	30.890	4.630
9	2018	31.600	5.133
10	2019	32.320	5.637
11	2020	33.042	6.140
12	2021	33.769	6.643
13	2022	34.493	7.146
14	2023	35.218	7.649
15	2024	35.944	8.153
16	2025	36.671	8.656
17	2026	37.399	9.159
18	2027	38.129	9.662
19	2028	38.859	10.165
20	2029	39.590	10.669
21	2030	40.322	11.172

Como se muestra en la tabla 3.1.2, al año 2030 se estima un crecimiento a 11.172 cuentas de Internet entre residenciales y corporativas, de las cuales tomando como referencia el porcentaje actual de número de cuentas corporativas con respecto a las totales existentes en Galápagos que corresponde a un 9,040%, se proyecta que 10.164 cuentas serán residenciales y 1.010 de tipo corporativas.

Si consideramos únicamente las cuentas de tipo residenciales proyectadas al año 2030 (10.164) y con base en el Censo de Población y Vivienda del año 2010 realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, el cual considera el promedio de personas por hogar a nivel nacional que corresponde a 3,78, se proyecta que en el año 2030 el 95,3% de la población en la provincia accederán a Internet.

En relación al tipo de cuentas corporativas analizaremos el flujo de turistas que ingresan a las islas de manera anual, las cifras que presenta el Ministerio de Turismo correspondiente a la entrada de turistas nacionales y extranjeros desde el año 2007 es la siguiente:

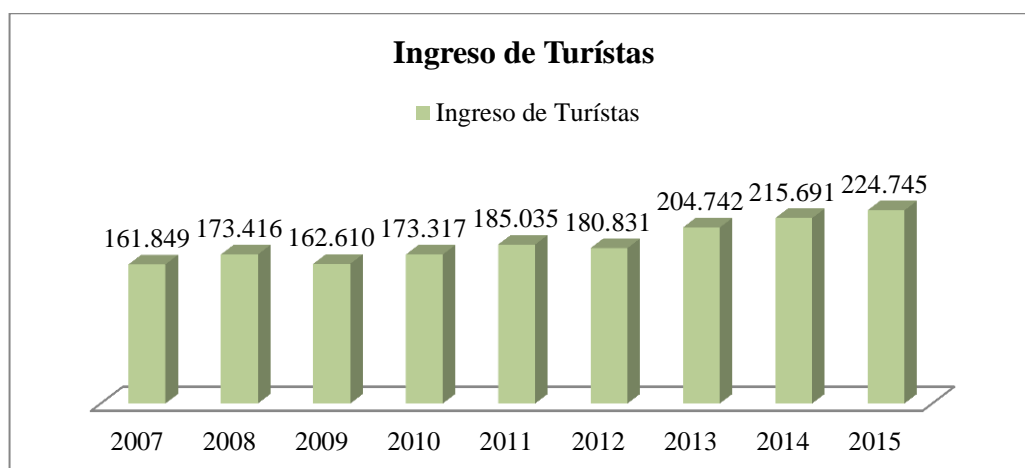


Figura 3.1.5. Ingreso anual de turistas a Galápagos. Fuente: (Ministerio de Turismo, 2016)

Como se aprecia en la figura anterior en el año 2015, se registra un ingreso de 224.754 turistas al archipiélago. Para la estimación de la demanda de conectividad de este flujo turístico, consideraremos el número de establecimientos que prestan el servicio de alojamiento, agencias de viajes existentes, y locales de expendio de alimentos. Según los datos que presenta el Ministerio de Turismo la demanda (datos a diciembre de 2015) corresponde a la siguiente:

Tabla 3.1.3

Oferta turística provincia de Galápagos

Centro de alojamiento (desde cinco habitaciones en adelante)	Centros d Expendio de alimento (Primera y Segunda categoría)	Agencias de Viajes	Total
223	84	132	439

Nota Fuente: (Ministerio de Turismo, 2016)

Como se aprecia en la tabla 3.1.3, para atender la demanda de flujo turístico a las islas se necesitaría un aproximado de 439 cuentas de tipo comerciales; a diciembre de 2015, el número de cuentas corporativas en Galápagos es de 329 las mismas que están distribuidas entre instituciones públicas y empresas privadas, es decir se podría estimar una demanda actual de 110 cuentas de tipo corporativo.

La proyección al año 2030, del número de cuentas corporativas es de 1.010, considerando que la demanda actual estimada solo del sector turístico es de 439 cuentas de Internet, la cifra proyectada es coherente y garantizaría un acceso total de los sectores públicos y privados a este servicio.

3.2 PROYECCIÓN DE NECESIDAD DE CAPACIDAD DE DATOS

Una vez proyectado el número de cuentas de Internet al año 2030, realizaremos una estimación de la capacidad de datos que se requerirá para suplir dicha demanda, para ello consideraremos como un valor mínimo para cuentas de tipo residencial el concepto de Banda Ancha de 1Mb/s en compartición 1:1 que establece la Resolución TEL-431-13-CONATEL-2014, emitida por el Ex Consejo Nacional de Telecomunicaciones, esto en concordancia con el plan mínimo que comercializa la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP en el Ecuador continental para tipo residenciales que ha junio de 2016 es de 3Mb/s en compartición 2:1 (CNT E.P, 2016), se ha estimado un valor de 1.5Mb/s (1:1) para cuentas de tipo residencial en el cálculo plateado. Con respecto a cuentas de tipo corporativo, en base a los planes comerciales que presenta la CNT EP, se ha tomado en cuenta un plan de 10 Mb/s en compartición 1:1 para tipo de cuentas corporativas. (Corporación Nacional de Telecomunicaciones, 2016). El análisis de velocidad de acceso se lo ha hecho con base a los planes que presenta la Corporación Nacional de Telecomunicaciones siendo la empresa que abarca el mayor porcentaje de acceso a Internet en el Ecuador.

Tabla 3.2.1*Capacidad de datos por cuentas de internet fijo*

Año	Población	Total número de cuentas de internet fijo.	Número de Cuentas corporativas	Número de cuentas tipo residenciales	Capacidad requerida cuentas corporativas (Mb/s)	Capacidad requerida cuentas residenciales (Mb/s)	Capacidad total requerida (Mb/s)
2015	29.453	3.640	329	3.311	3290	4966.5	8256,5
2016	30.172	4.127	373	3.754	3730	5631	9361
2017	30.89	4.630	419	4.211	4190	6316.5	10506,5
2018	31.6	5.133	464	4.669	4640	7003.5	11643,5
2019	32.32	5.637	510	5.127	5100	7690.5	12790,5
2020	33.042	6.140	555	5.585	5550	8377.5	13927,5
2021	33.769	6.643	601	6.042	6010	9063	15073
2022	34.493	7.146	646	6.500	6460	9750	16210
2023	35.218	7.649	691	6.958	6910	10437	17347
2024	35.944	8.153	737	7.416	7370	11124	18494
2025	36.671	8.656	783	7.873	7830	11809.5	19639,5
2026	37.399	9.159	828	8.331	8280	12496.5	20776,5
2027	38.129	9.662	873	8.789	8730	13183.5	21913,5
2028	38.859	10.165	919	9.246	9190	13869	23059
2029	39.59	10.669	964	9.705	9640	14557.5	24197,5
2030	40.322	11.172	1.010	10.162	10100	15243	25343

Como se muestra en la tabla 3.2.1, la capacidad requerida únicamente tomando en consideración el servicio de internet fijo al año 2030 es 2.5343 Mb/s, a esta cifra agregaremos un 5% adicional de parámetros no considerados como por ejemplo los avances tecnológicos exigen cada vez mayores velocidades de acceso ya que el concepto de banda ancha es relativo y cambia constantemente conforme evoluciona la tecnología, por lo que se asume un 5% adicional para suplir este crecimiento en la demanda de acceso a mayores velocidades. Bajo esta consideración para el servicio

de Internet fijo como capacidad requerida mínima a al año 2030 es de 26.611,15 Mb/s (26.6 Gb/s).

Para el caso del servicio móvil avanzado, se consideró un despliegue total de tecnología 4G en la provincia de Galápagos en todas las estaciones que las operadoras han implementado.

Tabla 3.2.2

Estaciones base en la provincia de Galápagos

Operadora	Provincia	Cantón	Número de estaciones
CLARO	Galápagos	Santa Cruz	5
		San Cristóbal	3
		Isabela	2
MOVISTAR	Galápagos	Santa Cruz	3
		San Cristóbal	2
		Isabela	1
CNT	Galápagos	Santa Cruz	4
		San Cristóbal	3
		Isabela	1
Total Estaciones (julio de 2016)			24

Tabla 3.2.3

Capacidad requerida servicio móvil avanzado

Operadora	Número de estaciones (RBS)	Capacidad por cada NodoB	Capacidad por cada eNodoB	Capacidad requerida
CLARO	10	40Mb/s	200Mb/s	2400Mb/s
MOVISTAR	6	40Mb/s	200Mb/s	1440Mb/s
CNT	8	40Mb/s	200Mb/s	1920Mb/s
TOTAL	20	****	****	5760Mb/s

Para la estimación de capacidad en las estaciones (NodoB, eNodoB) del servicio móvil avanzado, se ha considerado valores usados por las operadoras que inyectan en los sitios, ya que este valor depende mucho de la densidad de usuarios y localización de la estación, los valores estimados se obtuvieron mediante entrevistas realizadas a

técnicos de diferentes operadoras especialistas en la parte de transmisiones de la red; se ha estimado un valor de 40Mb/s por nodo B y 200Mb/s por eNodoB correspondiente a LTE como valores en cada estación. Bajo este análisis se obtiene una capacidad requerida de 5.760 Mb/s como se aprecia en la tabla 3.2.3.

El valor presentado corresponde a un escenario en donde todas las estaciones de las tres operadoras instaladas en Galápagos, dispongan de tecnología UTMS y LTE.

Del análisis de capacidad de datos proyectado al año 2030, se obtiene los siguientes datos:

Tabla 3.2.4

Capacidad de datos proyectada al año 2030

Servicio	Capacidad proyectada al año 2030 (Mb/s)
Internet fijo	26.611,15
Servicio Móvil Avanzado	5.760,00
Subtotal	32.371,15
Servicios (no contemplados) 5%	1.618,6
Total	33.989,75

De conformidad a los valores registrados en la tabla anterior, el valor proyectado al año 2030 de la necesidad de capacidad de datos para la región Insular es de 33.989,75 Mb/s (34 Gb/s aproximado), garantizando que los servicios se presten de manera homogénea con relación al Ecuador continental, con un alto porcentaje de acceso a las tecnologías de información y comunicación, es decir se requiere un Backbone de esa capacidad para suplir la necesidad de conectividad en la Región Insular al año 2030.

3.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El proyecto consiste en el diseño técnico y análisis socio económico, para la instalación de un cable de fibra óptica submarina, utilizando tecnología WDM en banda C (tercera ventana) como una red Backbone para comunicar el Ecuador Continental con el Archipiélago de Galápagos.

3.4 UBICACIÓN

Para el diseño propuesto de implementación de un cable de fibra óptica submarino, está considerado como puntos de aterrizaje, Punta Carnero en la provincia de Santa Elena y Puerto Baquerizo Moreno, isla San Cristóbal en la provincia de Galápagos; se ha optado para el diseño estos sitios ya que en Punta Carnero existe un nodo de aterrizaje de fibra óptica correspondiente a la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP, por lo que se ha considerado como el sitio más factible. Con respecto al punto de aterrizaje en Galápagos se ha considerado al cantón San Cristóbal ya que es la isla más cercana al Ecuador continental y además en esta isla se encuentra ubicada la estación terrena de la Empresa Pública CNT EP.

En el cantón San Cristóbal existen dos posibilidades para el punto exacto de anclaje del cable de fibra, una opción es la playa denominada Puerto Chino (Latitud: 0°55'32.67"S; Longitud: 89°25'46.96"O) que en sí, es el punto más cercano a Punta Carnero. La distancia aproximada que recorrería el cable únicamente tomando el tramo marino es de 959 Km. Para este trayecto hay que considerar que en Puerto Chino no existe infraestructura que permita anclar el cable; de considerar esta opción habría que realizar toda la infraestructura civil, además hay que considerar un

tramo terrestre a implementar de tendido de fibra desde Puerto Chino hasta Puerto Baquerizo Moreno que serían aproximadamente 25 Km hasta la Estación Terrena que posee la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (Latitud: $0^{\circ}54'35.01''S$; longitud: $89^{\circ}36'35.12''O$), que se ha considerado como un punto estratégico para aterrizar la fibra. Las distancias estimadas entre puntos y la geo referencia se las ha realizado utilizando el software Google Earth.



Figura 3.4.1. Ubicación Puerto Chino. Fuente: Google Earth versión 7.1.5.1557

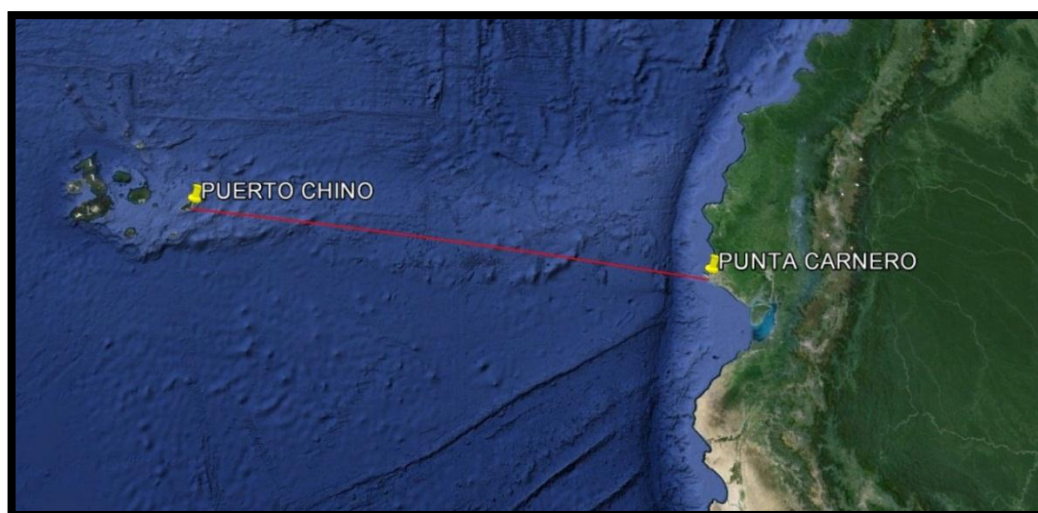


Figura 3.4.2. Tramo marino entre Punta Carnero y Puerto Chino. Fuente: Google Earth versión 7.1.5.1557



Figura 3.4.3. Tramo terrestre entre Puerto Chino y la Estación Terrena de la CNT EP. Fuente: Google Earth versión 7.1.5.1557

La otra opción es llevar el cable de fibra submarino bordeando la isla San Cristóbal directamente a Puerto Baquerizo Moreno, con un trecho corto terrestre hacia la estación terrena de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones. El Punto exacto de anclaje sería la playa de la Segunda Zona Naval de la Armada Ecuatoriana (Latitud: $0^{\circ}54'1.05''S$; Longitud $89^{\circ}37'8.36''O$).

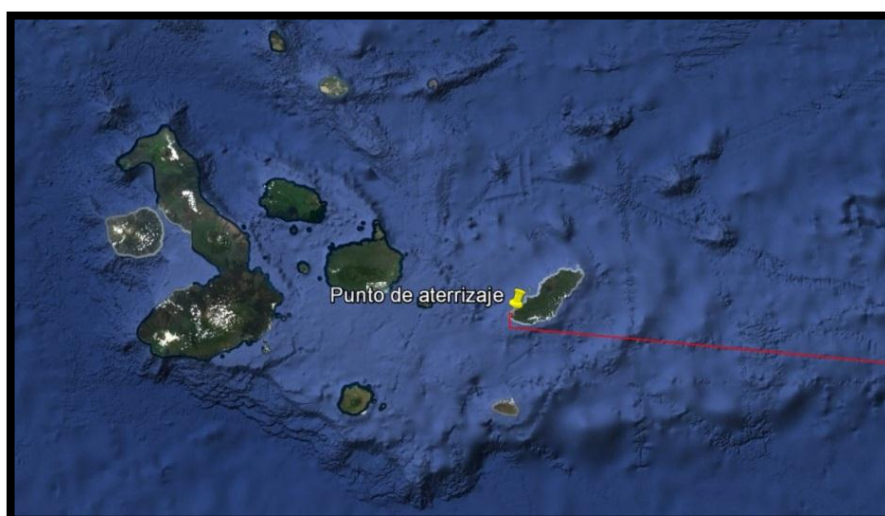


Figura 3.4.4. Ubicación Puerto Baquerizo Moreno. Fuente: Google Earth versión 7.1.5.1557

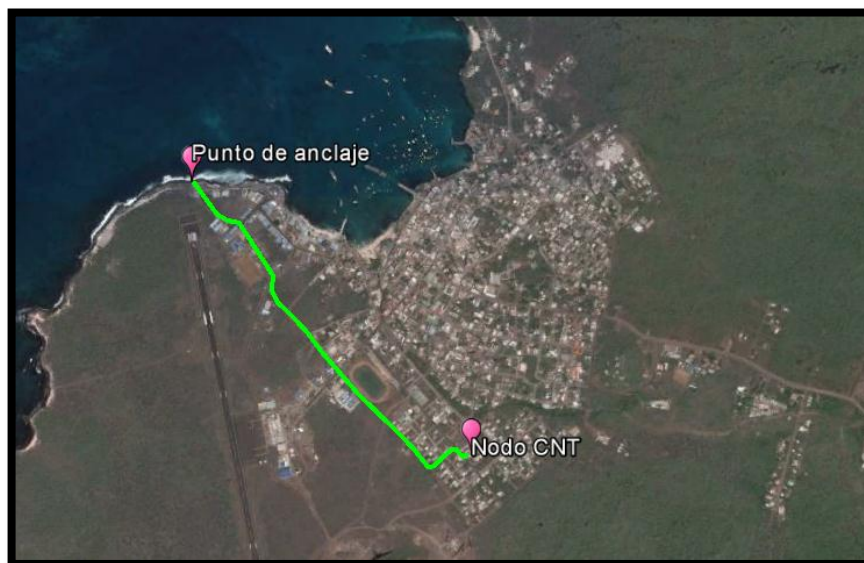


Figura 3.4.5. Tramo terrestre entre la Playa de la Segunda Zonal Naval y la estación Terrena de la CNT EP. Fuente: Google Earth versión 7.1.5.1557

3.5 SELECCIÓN DE LA RUTA

Para la selección de la ruta óptima se ha validado varios factores; considerando que gran parte del archipiélago de Galápagos es área protegida, es pertinente determinar sitios de anclaje del cable que causen el menor impacto, cabe resaltar que un proyecto de esta dimensión de manera obligada debe presentar un estudio de Impacto Ambiental ante el organismo correspondiente y obtener la Licencia Ambiental previo a la ejecución del proyecto.

Es preciso determinar los puntos de anclaje del cable en las costas, que generalmente se lo realiza en playas de composición arenosas que permite el enterrado de este, para el caso del punto en Galápagos se descartó la Playa de Puerto Chino, ya que como se mencionó anteriormente es un sitio no impactado, sin infraestructura civil ni servicios básicos, y actualmente lugar turístico. Los criterios más adecuados para la

selección de un sitio están dados por la facilidad de acceso al mismo (existencia de carreteras accesos entre otros) y que en lo posible tenga cercanía a un nodo de telecomunicaciones (Estaciones terrenas, infraestructuras de redes de telecomunicaciones, Centrales telefónicas). Bajo estos criterios el mejor sitio para el aterrizaje del cable de fibra en Galápagos, es la Playa ubicada en las Instalaciones de la Segunda Zona Naval de la Armada de Ecuador en Puerto Baquerizo Moreno y el otro punto se considerará a Punta Carnero en la provincia de Santa Elena.

Una vez definidos los puntos de anclaje en las costas, corresponde determinar la ruta submarina que llevará el cable de fibra, el tramo marino está constituido por el cable submarino y la línea de amplificadores ópticos, para ello se ha considerado los siguientes aspectos:

- ✓ Riesgos naturales
- ✓ Profundidad del lecho marino en base a batimetría.

3.5.1 RIESGOS NATURALES

El archipiélago de Galápagos está situado en la placa de Nazca entre la Placa de Cocos y la Placa del Pacífico, existiendo una falla o punto caliente volcánico que ha hecho que se formen las islas. Los puntos calientes permiten al magma filtrarse hacia la placa y salir a la superficie del agua. La falla de Galápagos está localizada debajo de la región Nor-occidental del Archipiélago, cerca de la Isla Fernandina y la Isla Isabela. La última erupción registrada fue en el año 2009 en la isla Fernandina. (Galápagos Conservation Trust , 2016).

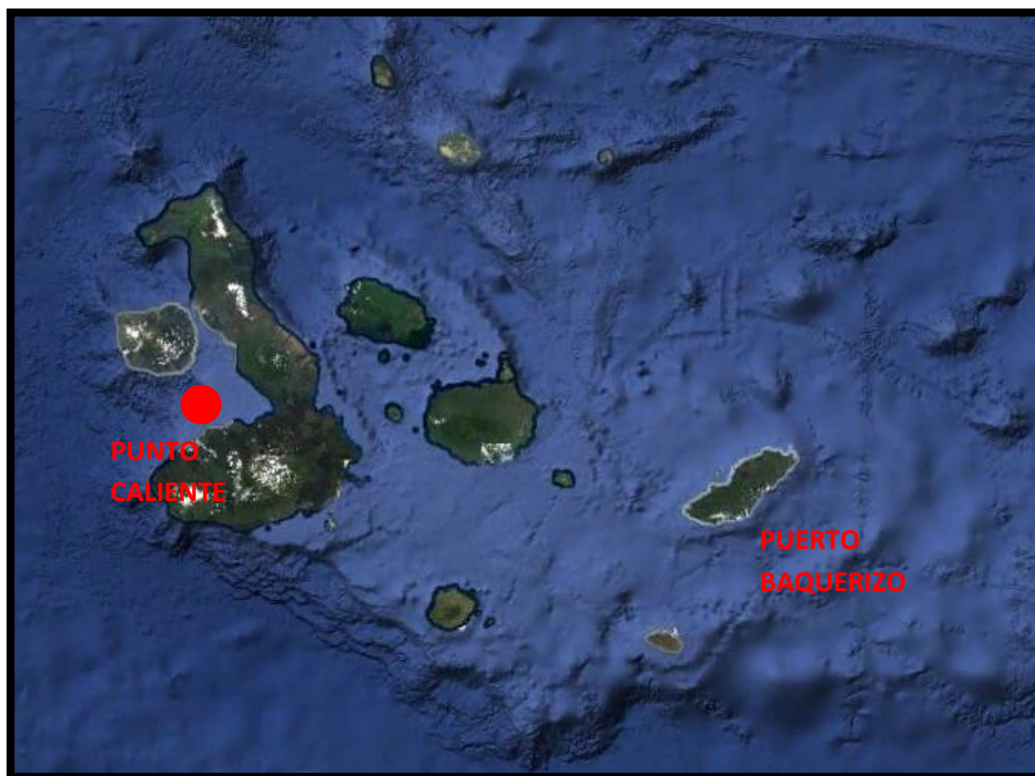


Figura 3.5.1.1. Ubicación punto caliente. Fuente: Google Earth versión 7.1.5.1557

Para determinar la ruta del cable submarino es importante evitar tramos cercanos a los llamados puntos calientes (hotspot), ya que al existir gran concentración de gases, altas temperaturas o a su vez flujos de magna, se corre el riesgo que estos efectos naturales dañen drásticamente la estructura del cable submarino y puedan causar severas averías al mismo.

Del análisis realizado se determinó que el punto de anclaje en Galápagos será Puerto Baquerizo Moreno, por lo que el denominado punto caliente no tendría afectación en la instalación del cable, existiendo una distancia lineal aproximada de 221,20Km entre Puerto Baquerizo Moreno y la zona que se encuentra la falla geográfica.

Otro riesgo a considerar referente a la instalación de cables submarinos de fibra son los tsunamis, ya que al llegar a las costas el cable, siempre existirá probabilidad que este suceso pueda generar una grave afectación; cabe resaltar que han existido dos alertas considerables de tsunami en los últimos años en Galápagos, por el terremoto ocurrido en Chile y Japón en el año 2010 y 2011 respectivamente, sin que hayan causado daños significativos, pero es pertinente tomar en consideración este factor sobre todo al momento de la ejecución de obras civiles en el punto de la costa donde llega el cable.

3.5.2 PROFUNDIDAD DEL LECHO MARINO

Para determinar la ruta que recorrerá el cable, se utilizó cartas batimétricas del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), se trabajó con las cartas I.O.A 10, e I.O.A 2.

Del análisis batimétrico realizado se trazó la ruta submarina por zonas que no superan los 3.000 metros de profundidad, además se evitó atravesar la franja marítima restringida situada frente a las costas de la provincia de Manabí. La zona costera de Punta Carnero (aguas someras) no supera los 50 m de profundidad, mientras que las costas de la Isla San Cristóbal no superan los 100 m de profundidad.

La ruta que recorrerá el cable submarino, se la ha representado tomando puntos cada 50Km aproximadamente del trayecto submarino total, la cual se expone a continuación.

Tabla 3.5.2.1

Ruta estimada del cable submarino

Ítem	Latitud	Longitud
1 (punto Inicial Punta carnero)	2°16'14.46"S	80°55'29.80"O
2	2°16'3.75"S	81° 8'27.75"O
3	2°15'11.11"S	81°21'43.98"O
4	2°13'24.51"S	81°48'37.59"O
5	2°11'38.29"S	82°15'20.56"O
6	2°10'0.00"S	82°40'0.00"O
7	2° 4'48.30"S	83° 5'58.39"O
8	1°59'31.20"S	83°32'26.99"O
9	1°54'0.00"S	84° 0'0.00"O
10	1°49'33.58"S	84°26'22.98"O
11	1°45'4.23"S	84°52'59.59"O
12	1°40'39.29"S	85°19'14.77"O
13	1°33'50.36"S	86° 0'0.00"O
14	1°28'44.85"S	86°26'29.78"O
15	1°23'45.28"S	86°52'48.87"O
16	1°18'43.09"S	87°19'17.68"O
17	1°10'60.00"S	1°10'60.00"S
18	1° 8'2.99"S	88°26'35.79"O
19	1° 5'5.50"S	88°53'24.15"O
20	1° 2'7.70"S	89°20'13.29"O
21	1° 0'0.00"S	89°39'30.00"O
22	0°57'55.57"S	89°40'28.52"O
23	0°55'15.34"S	89°40'20.47"O
24	0°54'13.94"S	89°39'42.34"O
25	0°53'51.55"S	89°39'18.74"O
26	0°53'55.57"S	89°38'15.73"O
27 (Punto Final)	0°54'1.05"S	89°37'8.36"O



Figura 3.5.2.3. Ruta del recorrido del cable de fibra. Fuente: Google Earth versión 7.1.5.1557

La figura 3.5.2.3 muestra la ruta propuesta, la misma que alcanza los 1.000 Km de distancia. En el recorrido que se plantea, al empezar a bordear la isla San Cristóbal, se ha considerado una distancia de 10 Km desde el cable hacia la costa, con el objetivo de evitar zonas muy bajas y minimizar la probabilidad de algún tipo de incidente con embarcaciones de pesca, turismo y carga que bordean las costas.

La ruta seleccionada también prevé no atravesar puntos de fondeo de barcos, el anclaje del cable es en una zona militar de acceso restringido, lo que aumenta la seguridad para evitar algún tipo de incidente en este punto.

Hay que señalar que para un mejor diseño de la ruta submarina es necesario estudios oceanográficos, que determinen la composición del lecho marino y que permitan tener más elementos de juicio para la selección de la ruta y métodos de instalación. Con respecto a esto no se encontró documentación disponible, por lo que el único criterio utilizado es el análisis de batimetría.

Otra opción para conectar mediante cable submarino de fibra el Ecuador continental con las islas Galápagos, es aprovechar la infraestructura ya existente de los cables que aterrizan en Punta Carnero y realizar una conexión en los puntos de derivación (Branch Unit), existiendo dos posibilidades; el punto de derivación del cable Pan American (PAN-AM) o al cable South América -1 (SAM-1) como se muestra en la siguiente figura.

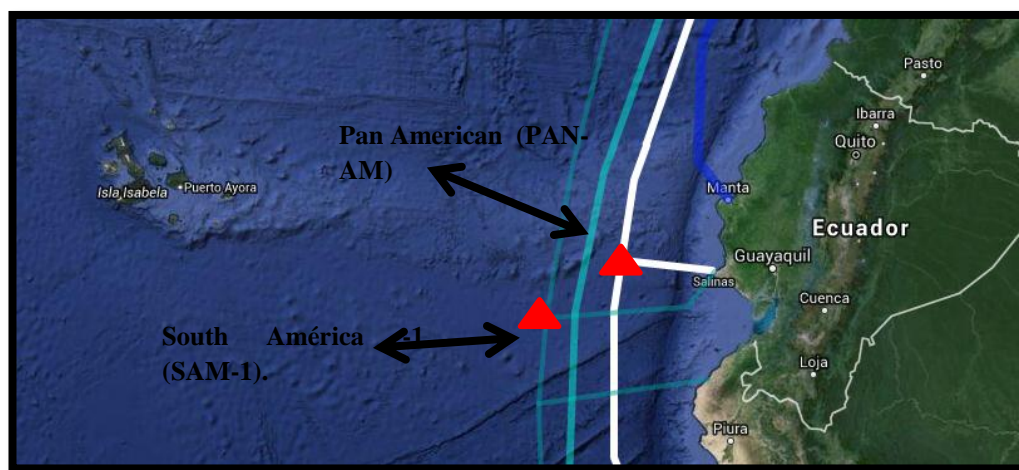


Figura 3.5.2.4. Puntos de derivación. Fuente: Google Earth versión 7.1.5.1557

Esta opción tiene la ventaja que genera un ahorro en el tendido del cable submarino lo que representaría reducción de costos del proyecto, sin embargo para el objeto de este tema de tesis se ha considerado la primera opción, es decir, plantear un enlace total desde Punta Carnero, ya que no se encontró información técnica detallada referente al tipo de cable ya implementado y si existe o no hilos de fibra libres en los mismos.

Es primordial que el cable submarino en los puntos de amarre en las costas (aguas someras), la instalación del mismo sea enterrado en el lecho marino, ya que esta acción disminuye en gran porcentaje la probabilidad de un evento de ruptura del

cable que generalmente se da en zonas costeras por barcos de pesca o actividades marítimas, considerando que el enlace planteado es crítico, ya que no se estima una estructura tipo anillo, siendo este un enlace punto a punto, una ruptura de cable significaría el corte total de los servicios que cursan por dicho enlace, por lo que el método de instalación deben garantizar niveles altos de protección y seguridad en relación a un daño físico.

Definido ya el tramo marítimo se estableció la ruta terrestre del cable desde el sitio de anclaje hasta el nodo de telecomunicaciones. En Punta Carnero se ha propuesto la siguiente ruta, la misma que es recomendable hacerlo por ductos soterrados, en lo posible se ha considerado que el cable tenga un recorrido lineal en casi todo el trayecto.

Tabla 3.5.2.2

Sección terrestre 1

Parámetros	Sección terrestre 1
Distancia	6,54 Km
Punto Inicial	Estación Terrena CNT EP (Santa Elena)
Punto Final	Punto de amare (Punta Carnero)
Coordenada Punto inicial	2°13'37.86"S 80°56'6.41"O
Coordenada Punto final	2°16'14.46"S 80°55'29.80"O

A continuación se presenta los puntos referenciales de la ruta escogida.

Tabla 3.5.2.3*Ruta terrestre 1*

Ítem	Latitud	Longitud
1 Estación Terrena CNT EP	2°13'37.86"S	80°56'6.41"O
2	2°13'41.74"S	80°56'8.09"O
3	2°13'45.41"S	80°55'58.88"O
4	2°13'46.91"S	80°55'47.81"O
5	2°13'40.32"S	80°55'18.44"O
6	2°14'15.82"S	80°55'16.24"O
7	2°15'4.71"S	80°55'14.07"O
8	2°15'19.23"S	80°55'16.28"O
9	2°15'35.72"S	80°55'19.23"O
10	2°16'11.56"S	80°55'26.48"O
11 (Punto de amare (Punta Carnero))	2°16'14.46"S	80°55'29.80"O

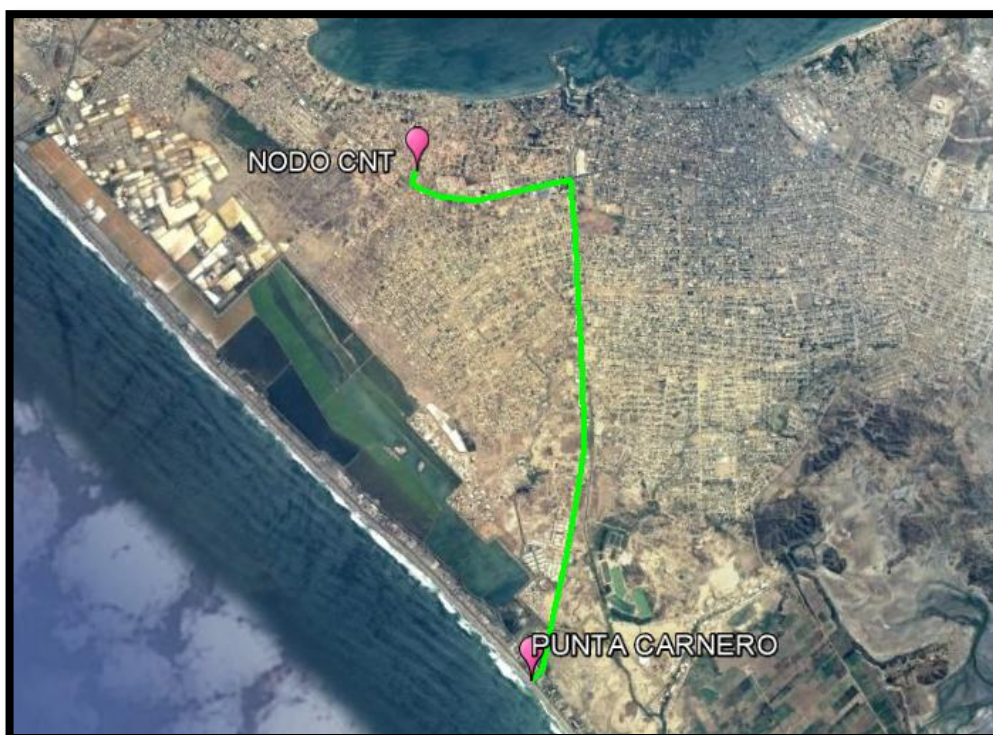


Figura 3.5.2.5. Ruta terrestre 1. Fuente: Google Earth versión 7.1.5.1557

Para el tramo terrestre en las costas de Puerto Baquerizo Moreno se consideró los siguientes puntos:

Tabla 3.5.2.4*Sección terrestre 2*

Parámetros	Sección terrestre 2
Distancia	1.23Km
Punto Inicial	Punto de amare BMH2, Playa de la Segunda Zona Naval
Punto Final	Estación Terrena CNT EP, Puerto Baquerizo Moreno
Coordenada Punto inicial	0°54'1.05"S 89°37'8.36"O
Coordenada Punto final	0°54'34.51"S 89°36'34.82"O

Puntos de referencia:

Tabla 3.5.2.5*Ruta terrestre 2*

Ítem	Latitud	Longitud
1 Punto de amare BMH2, Playa de la Segunda Zona Naval	0°54'1.05"S	89°37'8.36"O
2	0°54'6.09"S	89°37'2.68"O
3	0°54'12.81"S	89°36'58.52"O
4	0°54'14.98"S	89°36'58.61"O
5	0°54'36.10"S	89°36'39.98"O
6	0°54'33.95"S	89°36'36.93"O
7 Estación Terrena CNT EP, Puerto Baquerizo Moreno	0°54'34.51"S	89°36'34.82"O



Figura 3.5.2.6 Ruta terrestre 2. Fuente: Google Earth versión 7.1.5.1557

3.6 PLANTA SECA Y PLANTA HÚMEDA.

3.6.1 PLANTA SECA

En un sistema de cable submarino es el segmento entre la playa y la estación de aterrizaje del cable (nodo de telecomunicaciones); está conformada por:

- ✓ Equipo terminal de Línea submarina SLTE (Submarine Line Terminal Equipment)
- ✓ Equipo de Alimentación de Energía PFE (Power Feed Equipment)
- ✓ Sistema de Gestión SMS (Submarine Management System)
- ✓ Cable de tierra.
- ✓ Cisterna de Playa o Pozo de Amarre BMH (Beach Man Hole)
- ✓ Centro de gestión de red local y de red remota

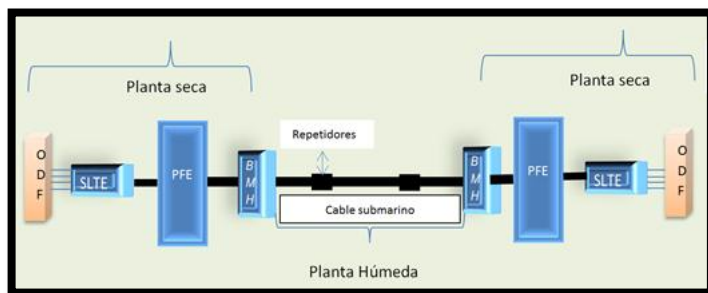


Figura 3.6.1.1. Esquema general enlace óptico submarino.

En la actualidad mediante tecnología DWDM (Multiplexación por división de longitud de onda densa) se puede alcanzar capacidades de canales hasta de 100Gb/s. Los equipos que analizaremos permiten ver el desempeño de la red en tiempo real, detectar errores, señales degradadas y disponen de dos importantes características: detección coherente de la luz y procesamiento digital de señales, lo que permite corregir errores en el orden de 1×10^{-11} , sin utilizar compensadores ópticos de dispersión ya que el procesamiento digital de señales permite corregir y detectar errores ocasionados por efectos de dispersión ya sea cromática o dispersión debido a polarización.

El Equipo SLTE es el componente de procesamiento de señal y el módulo de multiplexación óptica que permite la transmisión a través del sistema submarino. La Compañía PADTEC es un proveedor integrado para Sistemas Submarinos, dentro de su catálogo de productos dispone el “LightPad i6400G Platform for Submarine Network” (Padtec, 2016), equipo terminal de última generación con las siguientes características:

- ✓ Hasta 200 canales de 10/40/100 Gb/s
- ✓ 37,5 GHz Separación entre canales

- ✓ Detección coherente: la tolerancia mejorada contra dispersión cromática, BER
- ✓ Despliegue escalable
- ✓ Técnicas de amplificación Avanzados (EDFA / Raman)
- ✓ Fast Ethernet / 1 GbE / 10 GbE / 100 GbE
- ✓ STM-1 a STM-256
- ✓ Señales de vídeo
- ✓ Señales de OTN

La empresa Alcatel-Lucent dispone del equipo SLTE “1620 Light Manager” que es una plataforma DWDM de largo recorrido con una capacidad de hasta 96 canales (10G y 40G), (Engineerdir, 2016) presenta las siguientes características:

- ✓ Proporciona un transpondedor óptico integrado 40G usando PDM-BPSK con detección coherente.
- ✓ Es de 50 GHz compatible; sintonizable totalmente a través de la banda C
- ✓ Permite el despliegue sobre la planta de fibra existente 10G
- ✓ Proporciona hasta 96 longitudes de onda.

El equipo de alimentación de energía (PFE) es el que proporciona la carga a los repetidores que están sumergidos; de forma general los equipos STLE y PFE son soluciones integrales de manera que garantice su y acoplamiento y desempeño de acuerdo a las especificaciones requeridas.

El Sistema de Gestión (SMS), genera toda la administración del enlace óptico proveyendo un canal de comunicación entre las estaciones y los equipos que son parte del enlace. De manera general el sistema de gestión está basado en uno o varios

software que permite la administración de elementos de red, integrando la información de la parte submarina y de los sistemas SLTE y PFE; así mismo posibilita la administración de la red submarina propiamente dicha, permitiendo la supervisión de la planta húmeda, es decir la administración de equipos como repetidores, combinadores y unidades de ramificación. Todas estas prestaciones se reflejan en un mejor uso de los recursos de la red submarina, mejorando la calidad de servicio bajo una supervisión constante y gestión de fallos que mejoran la disponibilidad y fiabilidad de la red.

La Cisterna de Playa o Pozo de Amarre (BMH) es el punto de transición entre el cable de tierra y el submarino.

El cable de tierra propiamente dicho lo constituyen 3 cables diferentes, el Cable Óptico de Tierra, Cable de Poder de Tierra y Cable de Tierra para crear un adecuado sistema de tierra entre el BMH y la Estación Terrena.

3.6.2 PLANTA HÚMEDA

Lo constituyen todos los elementos que forma parte del trayecto que están sumergidos, el cable de fibra submarino, repetidores, unidades de derivación y cambiadores.

Necesariamente el tipo de fibra a utilizar por estándar para cables ópticos submarinos es de tipo monomodo, ya que se requiere abarcar distancias de más de 100 Km, según el análisis de batimetría se debe elegir el mejor cable con características óptimas para las diferentes profundidades y condiciones geológicas, debido a que se requiere varios niveles de protección dependiendo de las condiciones de instalación

zonas profundas, aguas poco profundas o aspectos naturales como corrientes marinas que pueden desplazar el cable y demanden mayor robustez .

Dentro de los elementos que constituyen la planta húmeda se encuentra el cable de fibra óptica, en la industria existe varias opciones dependiendo de las características requeridas. Para lo referente a enlaces de larga distancia es pertinente analizar tres posibilidades de acuerdo a la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) en sus recomendaciones G.654, G.655 y G.656, correspondientes a características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado, características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula y características de las fibras y cables con dispersión no nula para el transporte óptico de banda ancha, respectivamente. La tabla 3.6.2.1, muestra una comparación entre las características de atenuación y dispersión cromática de tres tipos de fibras según las recomendaciones de la UIT. La recomendación G.655 y G.656 muestran valores de dispersión cromática inferiores a lo que indica las fibras tipo G.654, sin embargo para esta última, el coeficiente de atenuación máximo permitido para tercera ventana es menor.

En el mercado existe una variedad de opciones de cable óptico submarino, estos pueden ser cables blindado para aguas profundas, cable ligero con blindaje simple, o cable pesado con blindaje doble o simple. Las características básicas de un cable submarino viene dado desde la parte interna donde se ubica los hilos de fibra, los cuales están recubiertos por una estructura o tubo y protegidos por una doble capa de alambre de acero, estos a su vez poseen un recubrimiento de cobre y finalmente una

capa de polietileno de alta densidad; a esta composición básica cada fabricante adiciona características especiales según las condiciones a cubrir.

Tabla 3.6.2.1

Comparación característica de fibras según recomendaciones UIT

UIT-T G.654.A		
ATRIBUTO	DATO	VALOR
Coefficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,22 dB/km
Coefficiente de dispersión cromática	D1550máx	20 ps/nm · km
	S1550máx	0,070 ps/nm ² · km
UIT-T G.654.B		
Coefficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,22 dB/km
Coefficiente de dispersión cromática	D1550máx	22 ps/nm · km
	S1550máx	0,070 ps/nm ² · km
UIT-T G.655.A		
Coefficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
Coefficiente de dispersión cromática Gama de longitudes de onda: 1530-1565 nm	$\lambda_{mín}$ y $\lambda_{máx}$	1530 nm y 1565 nm
	Valor mínimo de $D_{mín}$	0,1 ps/nm·km
	Valor máximo de $D_{máx}$	6,0 ps/nm·km
	Signo	Positivo o negativo
UIT-T G.655.B		
Coefficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
Coefficiente de dispersión cromática Gama de longitudes de onda: 1530-1565 nm	$\lambda_{mín}$ y $\lambda_{máx}$	1530 nm y 1565 nm
	Valor mínimo de $D_{mín}$	1,0 ps/nm·km
	Valor máximo de $D_{máx}$	10,0 ps/nm·km
	Signo	Positivo o negativo
UIT-T G.655.C		
Coefficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
Coefficiente de dispersión cromática Gama de longitudes de onda: 1530-1565 nm	$\lambda_{mín}$ y $\lambda_{máx}$	1530 nm y 1565 nm
	Valor mínimo de $D_{mín}$	0,1 ps/nm·km
	Valor máximo de $D_{máx}$	10,0 ps/nm·km
	Signo	Positivo o negativo
UIT-T G.656		
Coefficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
Coefficiente de dispersión cromática (ps/nm · km)	$D_{mín}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{2.60}{90}(\lambda - 1460) + 1.00$
	$D_{mín}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{0.98}{75}(\lambda - 1550) + 3.60$
	$D_{máx}(\lambda)$: 1460-1550 nm	$\frac{4.68}{90}(\lambda - 1460) + 4.60$
	$D_{máx}(\lambda)$: 1550-1625 nm	$\frac{4.72}{75}(\lambda - 1550) + 9.28$

La recomendación G.655, describe una fibra monomodo cuya dispersión cromática (valor absoluto) es mayor que algún valor diferente de cero en toda la gama de longitudes de onda de utilización prevista en la región de 1550 nm. Esta dispersión reduce la aparición de efectos no lineales que puede ser particularmente perjudicial para los sistemas que utilizan multiplexación por división de longitud de onda densa DWDM. (UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES, 2003, p.1).

La recomendación G.656, describe una fibra óptica monomodo cuyo valor positivo del coeficiente de dispersión cromática es mayor que algunos valores no nulos a través de la gama de longitudes de onda de uso anticipado de 1460-1625 nm. Esta dispersión reduce el crecimiento de los efectos no lineales que son particularmente nocivos en sistemas de multiplexación por división en longitud de onda densa. Esta fibra se puede utilizar para los sistemas CWDM y DWDM en todo el intervalo de longitud de onda entre 1460 y 1625 nm. (UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES, 2006, p.1).

Por lo que en relación a enlaces ópticos submarinos de larga distancia, es pertinente optar por cables de fibra que cumplan con la recomendación G.655 o G.656.

El presente diseño no contempla unidades de ramificación ni combinadores, en lo que respecta a la planta húmeda solo se usaran repetidores ópticos para amplificar la señal, los mismos que deben soportar DWDM de bajo ruido basados en tecnología EDFA.

3.7 CÁLCULO DEL ENLACE

3.7.1.- CÁLCULO DE ATENUACIÓN

Para el presente análisis se ha considerado una distancia del enlace de 1.058 Km según el siguiente detalle.

Tabla 3.7.1.1

Ruta terrestre y submarina del enlace óptico

	Sección terrestre 1	Sección submarina	Sección terrestre 2	Total	5% por factores no considerados	Distancia total
Distancia	6,54 Km	1.000 Km	1.23 Km	1.007,8 Km	50,4 Km	1.058 Km
Punto Inicial	Punta Carnero, Estación Terrena CNT EP	Punto de amare BMH1	Punto de amare BMH1, Playa de la Segunda Zona Naval	****	****	****
Punto Final	Punto de amare BMH1	Punto de amare BMH1, Playa de la Segunda Zona Naval	Estación Terrena CNT EP, Puerto Baquerizo Moreno	****	****	****
Coordenada Punto inicial	2°13'37.86" S 80°56'6.41" O	2°16'14.46" S 80°55'29.80" O	0°54'1.05" S 89°37'8.36" O	****	****	****
Coordenada Punto final	2°16'14.46" S 80°55'29.80" O	0°54'1.05" S 89°37'8.36" O	0°54'34.51" S 89°36'34.82" O	****	****	****

Las pérdidas a considerar en el tramo del enlace son de 0,198 dB/Km, operando en banda C (1.550 nm), según las especificaciones de la fibra comercial (Corning

Vascade LEAF EP FIBER) selecciona que corresponde a una fibra monomodo con dispersión desplazada no nula (NZDSF) que cumple la recomendación UIT-T G.655.A. En el siguiente capítulo se explicará y demostrará porque se eligió este tipo de fibra.

$$\text{Pérdidas en la fibra} = D * \alpha$$

De donde:

D = Distancia (km)

α = Atenuación por longitud de fibra óptica (dB/Km)

$$\text{Pérdidas en la fibra} = 1.058\text{Km} * 0,198\text{dB/Km}$$

$$\text{Pérdidas en la fibra} = 209,48\text{dB}$$

De acuerdo a las especificaciones de la fibra seleccionada el coeficiente de dispersión cromática es de -4 ps/nm.Km, si consideramos un valor de ancho espectral de una fuente laser de $0,01\text{nm}$, que es un valor que poseen los emisores para enlaces de larga distancia, podemos hacer la siguiente consideración: la capacidad del canal óptico como tal no se puede determinar con exactitud, ya que siempre se podrán utilizar técnicas modernas de transmisión que lleven a acercarnos incluso al límite espectral de una fibra óptica que es de varios THz, sin embargo considerando la dispersión cromática del enlace podemos realizar el siguiente cálculo:

$$\Delta T = M(\lambda) * \Delta\lambda * L$$

De donde:

ΔT : Dispersión total acumulada en (ps)

$M(\lambda)$: Dispersión cromática en ps/nm.Km

$\Delta\lambda$: Ancho espectral de la fuente

L : longitud de la fibra en Km

$$\Delta T = \left(-4 \frac{ps}{nm * Km}\right) * (0,01nm) * (1.058Km)$$

$$\Delta T = 42,62ps$$

Un referente muy utilizado para considerar la dispersión es la norma exigida por SONET/SDH, que dicta que la dispersión acumulada no debe superar el 10% del tiempo de bit. De este modo, considerando distintas velocidades de transmisión (bit rate “BR”) y sus respectivos tiempos de bit (t_b) tendríamos:

Tabla 3.7.1.2

Relación tiempo de bit con respecto a la dispersión acumulada.

BR (Gb/s)	t_b (ps)	% de 42(ps) a respecto del t_b	Requiere compensación de dispersión
1	1000	4%	NO
2,5	400	10%	NO
5	200	21%	SI
10	100	42%	SI
40	25	169%	SI

Con base a los datos presentados en la tabla anterior para canales operantes a 1Gb/s y 2,5 Gb/s, no sería necesario realizar compensación de dispersión, en el siguiente capítulo en base a simulación se ampliará más este enunciado, sin embargo, se podría operar a velocidades mayores como 5, 10 o incluso 40 Gb/s a través de compensación de dispersión en el receptor empleando técnicas de DSP (procesamiento digital de señales), que en esencia aplican la función inversa de la dispersión sobre la señal con el objeto de compensarla. Por su mejor rendimiento, la compensación de dispersión por DSP en el receptor es una técnica muy utilizada en la actualidad que el uso de tramos de fibra con dispersión inversa o el empleo de unidades ópticas de compensación de dispersión.

De manera teórica se puede calcular el ancho de banda de la fibra utilizada de la siguiente forma:

$$AB = \frac{1}{2\Delta T}$$

De donde:

AB= Ancho de banda

ΔT : Dispersión total acumulada en (ps)

$$AB = \frac{1}{2(42.62ps)}$$

$$AB = \frac{1}{2(42.62ps)}$$

$$AB = 11.73GHz$$

Si el transmisor óptico utiliza un código de línea RZ, se tendría de manera teórica una capacidad por canal del enlace de 11.73Gb/s.

3.7.2 PÉRDIDAS POR EMPALMES

Para la estimación de pérdidas por empalmes se ha considerado carretes de cable de fibra de 25 km, la longitud del enlace es de 1058Km por lo que se requieren 44 empalmes incluidos los situados en el pozo de amarre (BMH). La pérdida por cada empalme será el valor típico de 0,02 dB.

$$\alpha_e = N_e * 0,02 \text{ dB}$$

De donde:

$$\alpha_e = \textit{Atenuación de empalmes (dB)}$$

$$N_e = \textit{Número empalmes}$$

$$\alpha_e = 44 * 0,02 \text{ dB}$$

$$\alpha_e = 0,88 \text{ dB}$$

3.7.3 PÉRDIDAS EN CONECTORES

Para este cálculo se estimará un valor típico de 0,4dB, considerando en el diseño utilizar únicamente dos conectores al inicio del enlace y la parte de recepción.

$$\alpha_c = N_c * 0,4dB$$

De donde:

$$\alpha_c = \textit{Atenuación en conectores (dB)}$$

$$N_e = \textit{Número de conectores}$$

$$\alpha_c = 2 * 0,4dB$$

$$\alpha_c = 0,8dB$$

3.7.4 PÉRDIDAS POR INSERCIÓN

Se presentan al añadir WDM al enlace, el valor medio para este tipo de pérdidas es de 9,59 dB en cada etapa de multiplexación y demultiplexación, que genera un total de 19,18 dB. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008)

3.7.5 PÉRDIDAS EN FILTROS

Se ha considerado en el diseño un filtro en la parte de recepción con una pérdida promedio de 1,5 dB. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008)

3.7.6 MÁRGEN DE PÉRDIDAS

Se refiere a los problemas que siempre presentan los sistemas de comunicaciones y que no son tomados en consideración; el margen que utilizaremos en el diseño es de 4,8 dB. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008)

3.7.7 PÉRDIDAS PENALIZACIÓN POR DISPERSIÓN

Se da por efecto de las no linealidades, se considerará un valor referente de 2 dB para representar este parámetro en el cálculo del diseño. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008)

3.7.8 PÉRDIDAS POR ENVEJECIMIENTO

Corresponde a la degradación de los equipos de comunicación especialmente los amplificadores ópticos que sufren a lo largo del tiempo, considerando que los enlaces de fibra tienen un tiempo de vida de 25 años existen dos instancias a considerar, al inicio de operación del enlace y al final; las pérdidas por envejecimiento tienden a determinar esa degradación en el tiempo, que para este caso consideramos un valor de 2,5dB. (Herrera, Arredondo, & Martínez, 2008)

3.7.9 PÉRDIDAS TOTALES

A continuación se presenta un resumen del cálculo de las atenuaciones analizadas en el presente diseño.

Tabla 3.7.9.1

Pérdidas totales del enlace

Parámetro	Valor
Pérdidas en la fibra	209,48dB
Pérdida por empalmes	0,88dB
Pérdida en conectores	0,8dB
Pérdidas por inserción	19,18dB
Pérdida en filtros	1,5dB
Margen	4,8dB
Penalización por dispersión	2dB
Pérdidas por envejecimiento	2,5dB
<i>Pérdidas totales del enlace</i>	<i>241,14dB</i>

3.8 CÁLCULO DE POTENCIA DEL ENLACE

Para la estimación de la potencia en el segmento de transmisión nos basaremos en las características técnicas del equipo SLTE LightPad i6400G, que establece potencias de salida hasta de 24 dBm con pre amplificadores de 14 dBm. El mismo equipo presenta como valor de umbral -28dBm como potencia de recepción. Para el presente análisis se considera los siguientes parámetros en las etapas de transmisión y recepción.

Tabla 3.8.1

Parámetros de transmisión y recepción

Parámetro	Valor
Potencia de salida de transmisor	14dBm
Umbral de recepción	-28dBm

El presupuesto de potencia (Power buget), nos permite determinar el valor de pérdidas máximas que puede soportar un sistema para asegurar una recepción óptima de nivel de potencia, se calcula como la diferencia entre la potencia de la salida del transmisor y la sensibilidad del receptor.

$$\Delta P = P_{tx} - P_{rx \text{ límite}} (dB)$$

De donde:

ΔP : Presupuestó de potencia (Power buget)

P_{tx} : Potencia salida del Transmisor

P_{rx} : Sensibilidad del receptor

$$\Delta P = 14dBm - (-28 dBm)$$

$$\Delta P = 42 dB$$

Esto quiere decir que el sistema óptico planteado solo permite un máximo de 42 dB de pérdidas, sin embargo las pérdidas totales calculadas para este enlace establece un valor de 241,14 dB, por lo que es necesario colocar amplificadores ópticos a lo largo del trayecto.

3.9 SEGMENTO DE REPETIDORES

Considerando la distancia del enlace óptico planteado, y el presupuesto de potencia calculado, necesariamente se requiere la utilización de una línea de amplificadores ópticos a lo largo del trayecto, bajo el análisis presentado en el capítulo dos, se ha optado para este diseño la utilización de amplificadores EDFA de bajo ruido, ya que en comparación con los Raman, estos son más económicos y posee un excelente rendimiento por su fabricación en la banda C, que es en la que está diseñada el enlace; cabe resaltar que los amplificadores Raman pueden operar en cualquier banda óptica, sin embargo este tipo de amplificadores en la mayoría de los casos se los usa en enlaces DWDM muy largos en el orden de miles de kilómetros, cuando la separación de canales es igual o menor de 50 GHz, y se usa de 80 a 160 canales ópticos con velocidades superiores a los 10Gb/s, es decir en enlaces con capacidades totales por hilo de fibra en el orden de los Tb/s. (García Barría C. A., 2006).

Para este diseño hemos considerado utilizar amplificadores tipo EDFA ya que la capacidad total en base a la proyección de datos realizado no supera los 40Gb/s, por lo que se usará canales de 2,5Gb/s separados cada uno a 100GHz como lo veremos en el siguiente capítulo, por lo que no es necesario la utilización de amplificadores Raman. Basados en las características de los equipos OSLA (Línea de amplificadores ópticos submarinos) que dispone empresa PADTEC, y una vez realizado el análisis de las pérdidas totales del enlace, se ha considerado ubicar amplificadores ópticos cada 50 Km con una ganancia de 11dB para cada uno, en el próximo capítulo se ampliará el criterio que se usó para determinar la distancia entre repetidores. Para todo el enlace se utilizará 20 amplificadores que generará una ganancia total de 220 dB. Los amplificadores de la marca analizada permiten ser instalados hasta 8.000 metros de profundidad, considerando que la ruta submarina determinada no supera los 3.000 metros de profundidad, no existe inconveniente en la selección de los amplificadores con respecto a este parámetro.

Un aspecto fundamental a considerar es verificar que los amplificadores no se saturen, para lo cual se ha realizado un presupuesto de potencias por segmento que valida los niveles de señal que ingresan y salen de cada amplificador, esto se lo realizó en base a la potencia transmitida y pérdidas estimadas en el enlace para cada tramo.

Tabla 3.9.1*Presupuesto de potencias de los amplificadores*

	Potencia entrada (dBm)	Potencia entrada (mw)	Potencia de Salida (dBm)	Potencia de Salida (mw)
EDFA 1	-6,69	0,21	4,312	2,70
EDFA 2	-6,79	0,21	4,214	2,64
EDFA 3	-6,88	0,20	4,116	2,58
EDFA 4	-6,98	0,20	4,018	2,52
EDFA 5	-7,08	0,20	3,92	2,47
EDFA 6	-7,18	0,19	3,822	2,41
EDFA 7	-7,28	0,19	3,724	2,36
EDFA 8	-7,37	0,18	3,626	2,30
EDFA 9	-7,47	0,18	3,528	2,25
EDFA 10	-7,57	0,17	3,43	2,20
EDFA 11	-7,67	0,17	3,332	2,15
EDFA 12	-7,77	0,17	3,234	2,11
EDFA 13	-7,86	0,16	3,136	2,06
EDFA 14	-7,96	0,16	3,038	2,01
EDFA 15	-8,06	0,16	2,94	1,97
EDFA 16	-8,16	0,15	2,842	1,92
EDFA 17	-8,26	0,15	2,744	1,88
EDFA 18	-8,35	0,15	2,646	1,84
EDFA 19	-8,45	0,14	2,548	1,80
EDFA 20	-8,55	0,14	2,45	1,76

El amplificador óptico comercial marca Padtec, en que se ha basado para este diseño, permite una salida máxima de 15dBm, como se puede apreciar en la tabla anterior, ningún amplificador usando ganancias de 11dB, supera la capacidad de potencia permitida por el equipo, por lo que no existe niveles de saturación en la línea de amplificadores. Con respecto al nivel de potencia que ingresa a los amplificadores cuando la señal es elevada puede llegar el momento en que la tasa de emisión estimulada iguale e incluso supere a la tasa de bombeo, produciéndose

saturación de la ganancia, lo que produce que no se amplifique la señal o se amplifique de manera parcial. Para evitar este efecto podemos recurrir al aumento de la potencia de bombeo o a la disminución del nivel de potencia de señal inyectada, siendo esta la solución en caso de presentar niveles de saturación por el nivel de señal que ingresa a un amplificador. (Gil I. I., 2014)

3.10 POTENCIA DE RECEPCIÓN

Determinados ya los valores de ganancias, pérdidas y potencia de transmisión del enlace se procede al cálculo de la potencia de recepción.

$$P_{rx} = P_{tx} + G_A * N_A - \alpha_{totales}$$

De donde:

P_{rx} = Potencia de recepción en (dBm)

P_{tx} = Potencia de transmisión en (dBm)

G_A = Ganancia del amplificador óptico (dB)

N_A = Número de amplificadores ópticos

$\alpha_{totales}$ = Pérdidas totales del enlace (dB)

$$P_{rx} = 14dBm + (20)(11dB) - 241,14dB$$

$$P_{rx} = -7,144dBm$$

$$P_{rx} = 0,2mw$$

El umbral de recepción ya se lo estableció con un valor de -28dBm, por lo que el diseño cumple con la relación que indica que la potencia de recepción debe ser mayor que el umbral, garantizando la recepción de la señal transmitida.

$$P_{rx} \geq \text{umbral}$$

$$-7.144dBm \geq -28dBm$$

La implementación de un enlace óptico submarino entre el Ecuador continental y el archipiélago de Galápagos, está orientado a que todos los servicios de telecomunicaciones crucen su tráfico por este enlace con el objetivo de aprovechar al máximo su capacidad, el problema que se presenta bajo esta visión es que al ser un enlace punto a punto, no existe redundancia a nivel de otro enlace de fibra, volviéndose crítico, por lo que necesariamente se debe disponer de un enlace satelital de respaldo que permita mantener los servicios en caso de falla de la fibra, ya sea por caso fortuito o mantenimiento programado. Esto impacta directamente en los costos de contratación sobre todo a cuentas de tipo de corporativo que requieren un porcentaje alto de confiabilidad en sus enlaces.

CAPÍTULO 4

SIMULACIÓN DEL ENLACE

4.1 SELECCIÓN DEL SOFTWARE

El software utilizado para la simulación del enlace óptico, es la herramienta Optisystem 14.1.0.528 versión de prueba, este software permite a los usuarios planificar, probar y simular los enlaces ópticos en la capa de transmisión de redes ópticas. Una de las principales características de la versión usada es que los componentes de procesamiento digital de señales se han actualizado para soportar una gama más amplia de formatos de modulación, incluyendo BPSK, QPSK, 8PSK, 16PSK, 8QAM, 16QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM, 256QAM.

4.2 SIMULACIÓN

A continuación se presenta un análisis comparativo de cinco tipos de fibra óptica de la marca Corning que operan en banda C, cumplen diferentes estándares y recomendaciones, análisis mediante el cual se determinó la mejor opción de fibra para el diseño realizado en el capítulo anterior.

Tabla 4.2.1*Cuadro comparativo entre diferentes tipos de fibra*

Comparación de características - banda C (1550 nm)						
	Corning Vascade EX3000	Corning Vascade EX2000	Corning Vascade EX1000	Corning Vascade LEAF EP FIBER	Corning Vascade L1000	Corning Vascade S1000
Atenuación dB/Km	0.158	0.160	0.167	0.198	0.182	0.231
Área efectiva (μm^2)	150	112	76	65	100	27
Dispersión (ps/nm.Km)	+20.8	+20.2	+18.5	-4.0	+18.5	-38.0
Dispersión slope (ps/nm ² .Km)	+0.06	+0.06	+0.06	+0.12	+0.06	-0.12
PMD ₀ (ps/ $\sqrt{\text{Km}}$)	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05	≤ 0.05
Índice de grupo efectivo de refracción (N_{eff})	1.4623	1.4625	1.4626	1.4690	1.4684	1.4743

Nota Fuente: (Corning, 2016)

Para tener un criterio sólido del tipo de fibra a usar en el diseño, se realizó una simulación de un enlace WDM de longitud 50 km, en la cual, para el elemento de fibra se utilizó características de atenuación y dispersión presentadas en la tabla 4.2.1, lo que permitió determinar cuál de ellas genera una mejor prestación bajo el análisis del parámetro BER (Tasa de bits errados). Se generó el siguiente esquema de enlace.

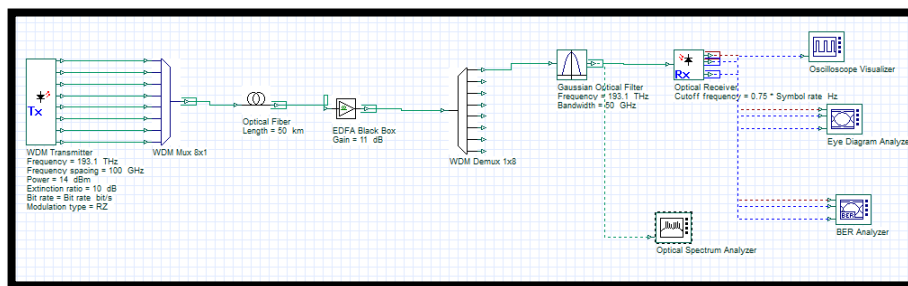


Figura 4.2.1. Esquema de simulación.

En la simulación realizada se utilizó los siguientes elementos:

- ✓ Transmisor WDM (14dBm), modulación RZ.
- ✓ Multiplexor con pérdidas por inserción de 9,59dB
- ✓ Fibra óptica de 50 Km de longitud
- ✓ Amplificador óptico (EDFA) 11dB de ganancia
- ✓ Demultiplexor con pérdidas por inserción de 9,59dB
- ✓ Filtro óptico
- ✓ Receptor óptico
- ✓ Tasa de bits (Bit Rate): 10Gb/s

Los valores de BER obtenidos para las diferentes fibras utilizadas en la simulación son los siguientes:

Tabla 4.2.2

Comparación de resultados de la simulación para cada tipo de fibra

	Corning Vascade EX3000	Corning Vascade EX2000	Corning Vascade EX1000	Corning Vascade LEAF EP FIBER	Corning Vascade L1000	Corning Vascade S1000
Atenuación dB/Km	0.158	0.160	0.167	0.198	0.182	0.231
Dispersión (ps/nm.Km)	+20.8	+20.2	+18.5	-4.0	+18.5	-38.0
Dispersión	+0.06	+0.06	+0.06	+0.12	+0.06	-0.12

slope (ps/nm ² .Km)						
MIN. BER (Obtenido en la simulación del enlace)	2,44*10 ⁻⁷	1.26*10 ⁻¹³	2.87*10 ⁻¹²	2.6*10 ⁻¹⁸	2.62*10 ⁻¹¹	0.0017
Max factor Q	5.02518	7.3348	6.88113	8.66196	6.56076	2.92347

De los datos presentados en la tabla anterior para el enlace planteado, se obtuvo mejor resultado con la fibra tipo Corning Vascade LEAF EP FIBER, con la cual se registró el mejor valor de BER, por lo que para efectos del diseño del capítulo anterior tanto para el tramo submarino como para el terrestre, se utilizaron estos parámetros para dicho elemento. Hay que recalcar que el tipo de fibra seleccionada corresponde a una fibra monomodo con dispersión desplazada no nula (NZDSF) que cumple la recomendación UIT-T G.655.A.

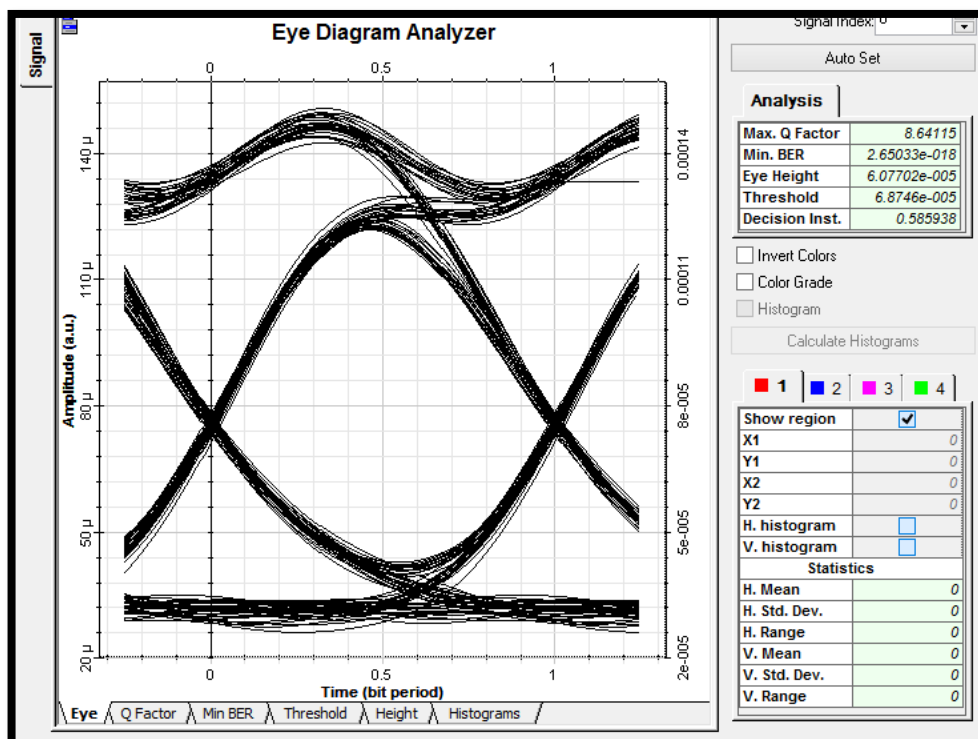


Figura 4.2.2. Diagrama del ojo resultado obtenido con la fibra Corning Vascade LEAF EP

Para determinar la separación entre repetidores ópticos se realizó varias simulaciones y se estableció la distancia y ganancia de los mismos, siendo que por efectos no lineales y de dispersión, no basta con amplificar la señal. A continuación analizaremos un enlace WDM de 200 Km de longitud.

En la simulación realizada se utilizó los siguientes elementos:

- ✓ Transmisor WDM 14 dBm, modulación RZ
- ✓ Multiplexor con pérdidas por inserción de 9,59dB
- ✓ Fibra óptica longitud total 200Km (Atenuación = 0,198 dB/Km; Dispersión=-4ps/nm.Km, Dispersión slope = +0,12ps/nm².Km)
- ✓ Amplificador óptico (EDFA) 11dB de ganancia cada 50 Km
- ✓ Demultiplexor con pérdidas por inserción de 9,59dB
- ✓ Filtro óptico
- ✓ Receptor óptico
- ✓ Tasa de bits (Bit Rate): 10Gb/s

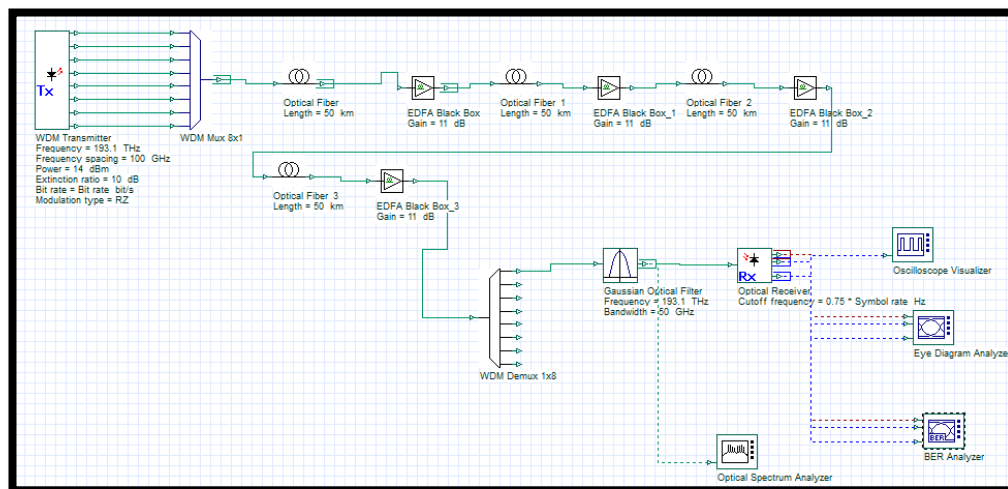


Figura 4.2.3. Diagrama de simulación.

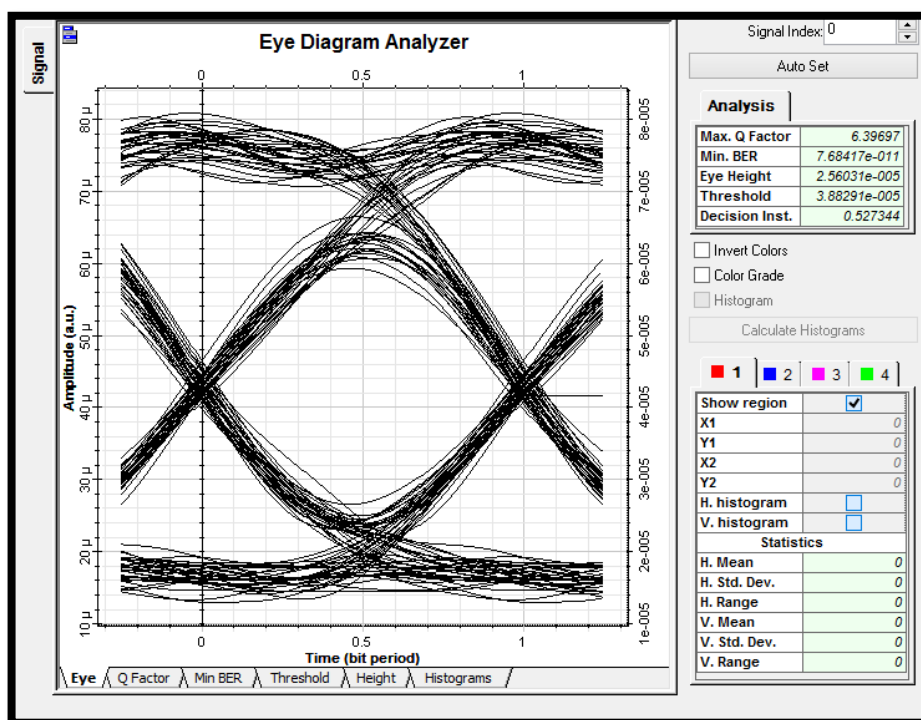


Figura 4.2.4. Diagrama de ojo resultante separación entre repetidores 50 Km.

Como se aprecia en la figura 4.2.4, con los parámetros configurados en la simulación, que son los establecidos para el cálculo general del enlace propuesto, para una distancia de 200 Km, sin utilizar métodos de compensación de dispersión, detección coherente y procesamiento digital de señales, que son los métodos actuales

para enlaces largos de alta velocidad, se obtuvo un valor de BER de $7.68417 \cdot 10^{-11}$, cabe señalar que para este escenario la separación entre amplificadores se contempló 50 Km de distancia y un canal de transmisión de 10Gb/s.

Para el mismo tramo (200 Km) de enlace, se realizó la simulación pero aumentando la distancia entre repetidores a 75Km y aumentando la ganancia de estos a 13dB, el valor de BER que se obtuvo es de $5.311 \cdot 10^{-5}$, ver figura 4.2.5, Por lo que para el diseño propuesto en el capítulo anterior y la simulación total del enlace se trabajará con una línea de amplificadores separados 50 km y 11 dB de ganancia.

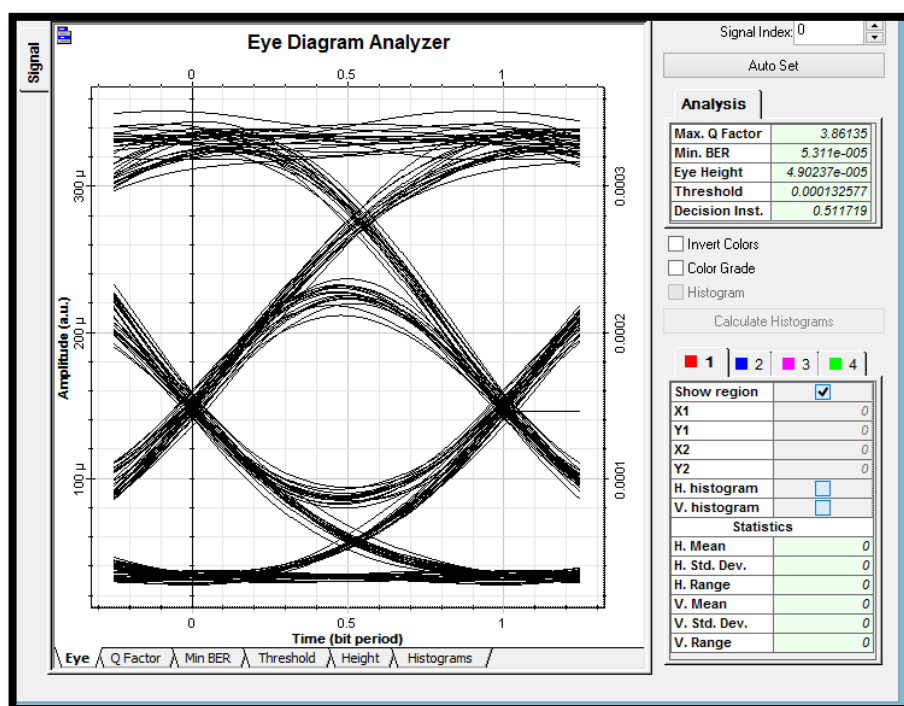


Figura 4.2.5. Diagrama de ojo resultante separación entre repetidores 75Km.

4.3 PARÁMETROS DE LA SIMULACIÓN TOTAL DEL ENLACE

Una vez definidos los parámetros técnicos del enlace se procede con la simulación total bajo el siguiente esquema:

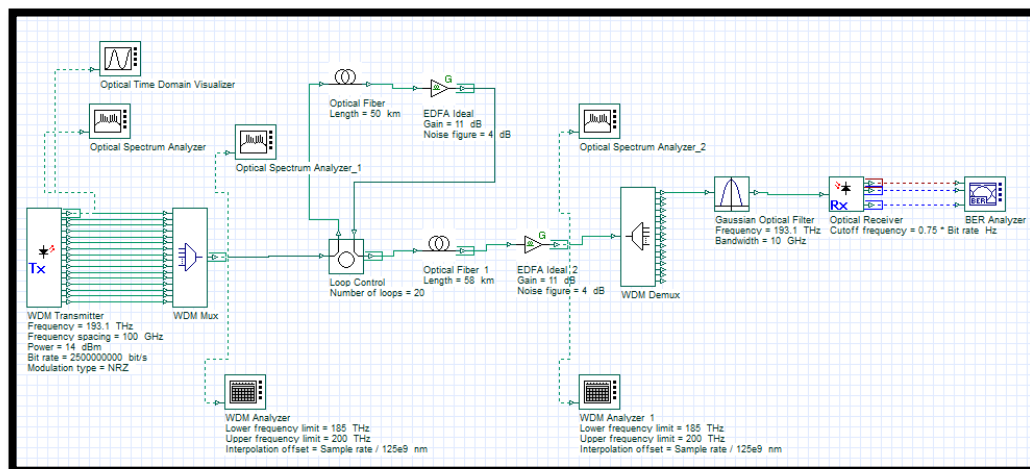


Figura 4.3.1 Esquema de simulación enlace óptico.

El esquema de simulación presentado muestra 16 canales WDM de 2,5Gb/s, que en total genera una capacidad de 40 Gb/s del enlace.

Los elementos que se utilizó en la simulación son los siguientes:

- ✓ Transmisor WDM
- ✓ Multiplexor WDM
- ✓ Control Loop
- ✓ Fibra óptica
- ✓ Amplificador EDFA
- ✓ Demultiplexor WDA
- ✓ Filtro Gaussiano
- ✓ Receptor óptico

A continuación se detalla los parámetros técnicos con que se realizó la simulación en base al diseño del enlace presentado en el capítulo anterior.

Transmisor WDM:

- ✓ Potencia de transmisión: 14dBm
- ✓ Modulación: NRZ.
- ✓ Número de canales: 16
- ✓ Espaciamiento entre frecuencias: 100GHz
- ✓ Frecuencia: 193.1THz – 194.6THz
- ✓ Tasa de bits (Bit Rate): 2,5Gb/s

Multiplexor WDM:

- ✓ Pérdidas por inserción de: 9,59dB
- ✓ Ancho de banda: 10 GHz
- ✓ Número de canales: 16

Fibra Óptica:

- ✓ Longitud: 1.058 Km
- ✓ Atenuación: 0,198dB/Km
- ✓ Dispersión: -4ps/nm.Km
- ✓ Dispersión slope: 0,12 ps/nm².Km

Amplificador Óptico:

- ✓ Tipo: EDFA
- ✓ Ganancia: 11dB

Demultiplexor WDM:

- ✓ Pérdidas por inserción de: 9,59dB

- ✓ Ancho de banda: 10GHz
- ✓ Número de canales: 16

Filtro Óptico:

- ✓ Ancho de banda: 10GHz

Receptor Óptico:

- ✓ Tasa de bits (Bit Rate): 2.5Gb/s

4.4 RESULTADOS

La simulación planteada corresponde a un enlace óptico WDM, de 1.058 Km de distancia, que genera una capacidad total de 40 Gb/s, lo que guarda relación a lo proyectado en el capítulo tres, en donde se determinó que para el año 2030 la capacidad para la provincia de Galápagos requerida sería de 34 Gb/s. En la simulación se analizó el parámetro BER y el factor Q (Relación señal a ruido) para cada canal, determinando que el peor valor de BER corresponde a 4.0×10^{-12} , por lo que se puede concluir que para este esquema de simulación de 16 canales de 2,5 Gb/s, con los parámetros técnicos configurados que constan en el apartado 4.3 de este capítulo, es posible tener un enlace de buenas características garantizando valores de BER de 10^{-18} .

Tabla 4.4.1

Resultados de la simulación.

CANAL	FRECUENCIA	BER	FACTOR Q
1	193.1 THz	4.74×10^{-14}	7.41
2	193.2 THz	5.08×10^{-15}	7.70

3	193.3 THz	2.41×10^{-15}	7.79
4	193.4 THz	6.97×10^{-16}	7.95
5	193.5 THz	3.36×10^{-14}	7.45
6	193.6 THz	1.36×10^{-10}	6.26
7	193.7 THz	4.09×10^{-15}	7.72
8	193.8 THz	8.92×10^{-13}	7.01
9	193.9 THz	1.40×10^{-17}	8.43
10	194.0 THz	8.37×10^{-17}	8.20
11	194.1 THz	2.9×10^{-13}	7.16
12	194.2 THz	7.60×10^{-16}	8.16
13	194.3 THz	4.0×10^{-12}	6.79
14	194.4 THz	8.93×10^{-13}	7.01
15	194.5 THz	2.10×10^{-18}	8.57
16	194.6 THz	1.36×10^{-17}	8.42

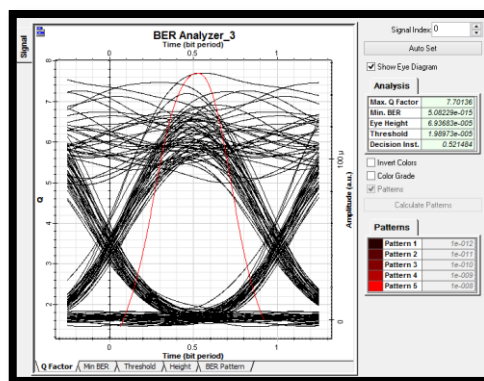
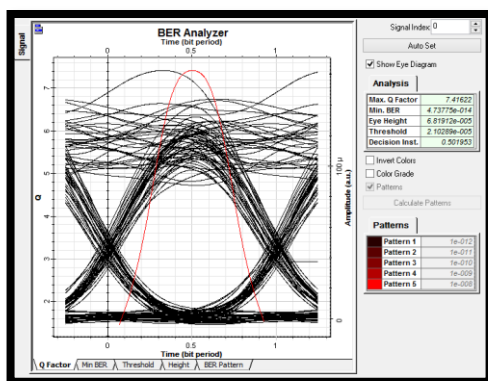


Figura 4.4.1. Diagrama del ojo (193,1THz) Figura 4.4.2. Diagrama del ojo (193,2THz)

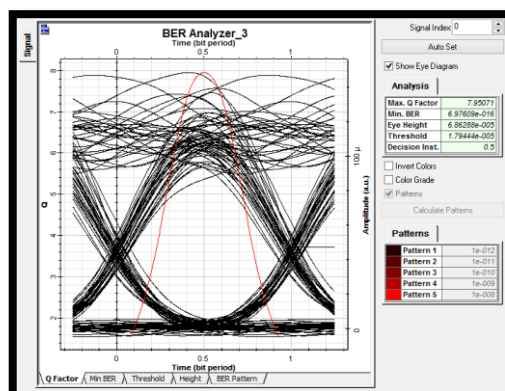
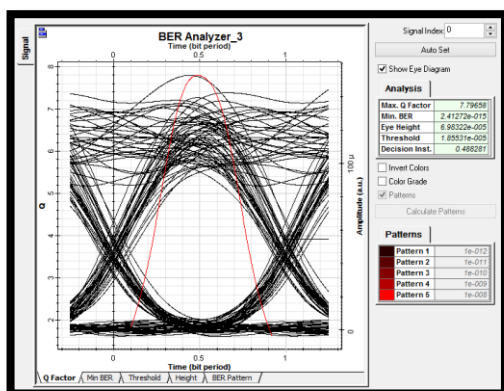


Figura 4.4.3. Diagrama del ojo (193,3THz) Figura 4.4.4. Diagrama del ojo (193,4THz)

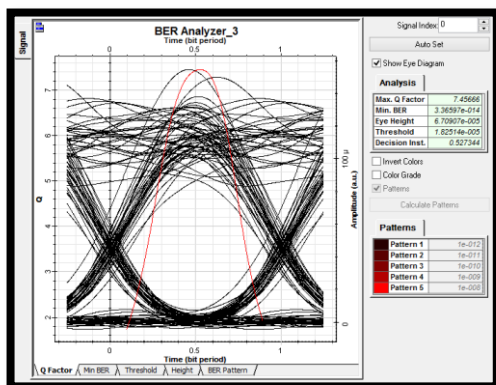


Figura 4.4.5. Diagrama del ojo (193,5THz)

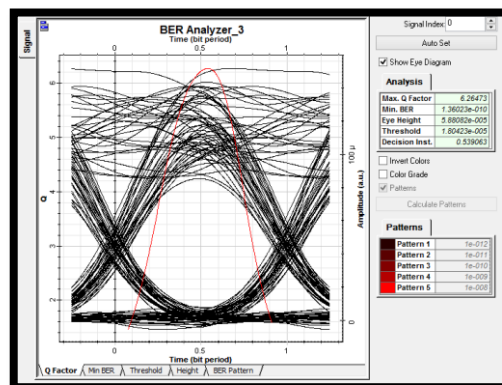


Figura 4.4.6. Diagrama del ojo (193,6THz)

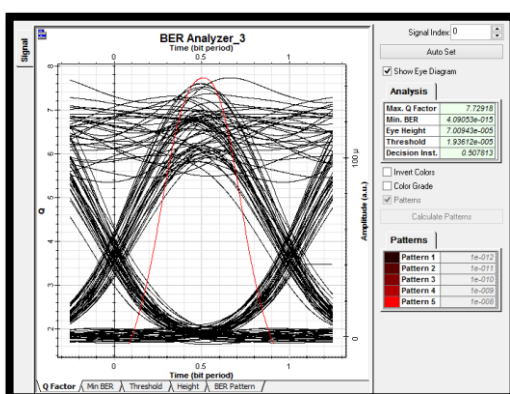


Figura 4.4.7. Diagrama del ojo (193,7THz)

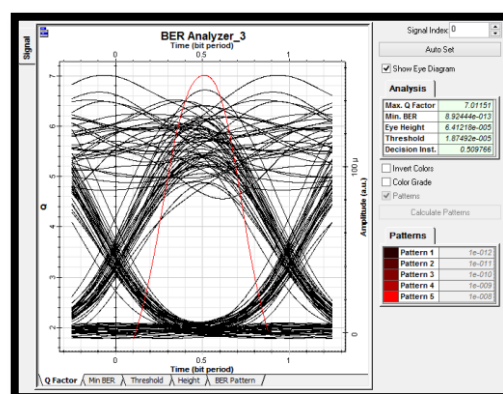


Figura 4.4.8. Diagrama del ojo (193,8THz)

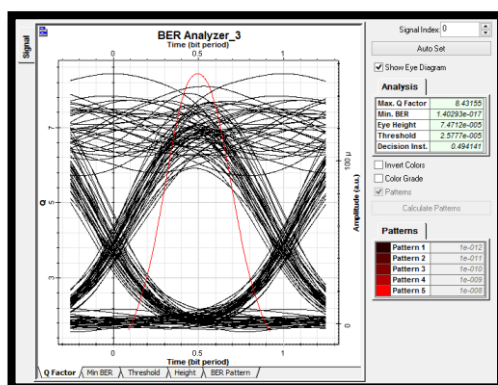


Figura 4.4.9. Diagrama del ojo (193,9THz)

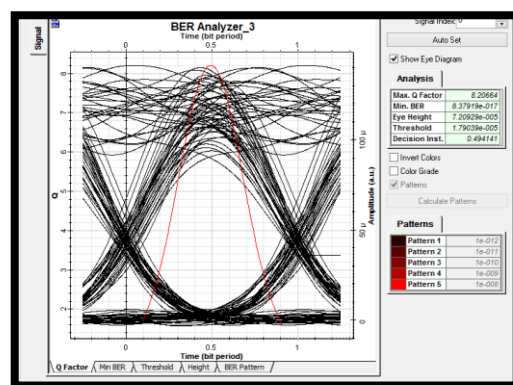


Figura 4.4.10. Diagrama del ojo (194THz)

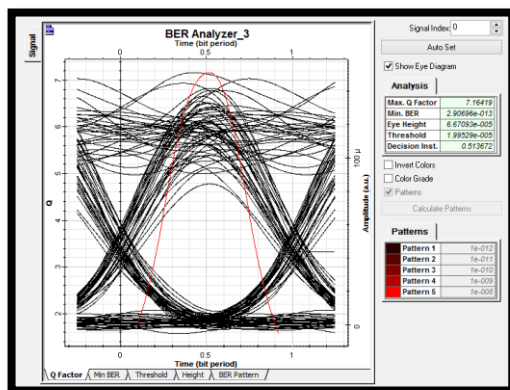


Figura 4.4.11. Diagrama del ojo (194.1THz)

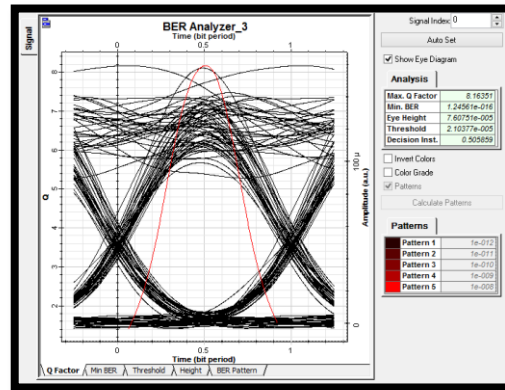


Figura 4.4.12. Diagrama del ojo (194.2THz)

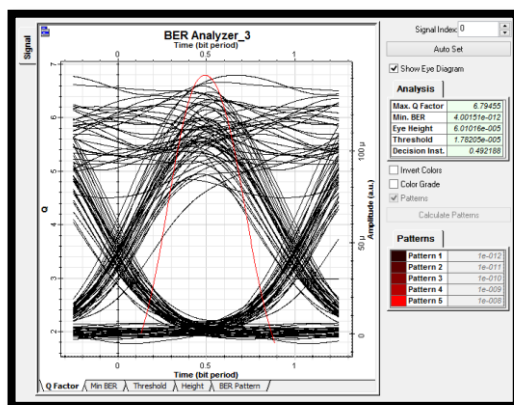


Figura 4.4.13 Diagrama del ojo (194,3THz)

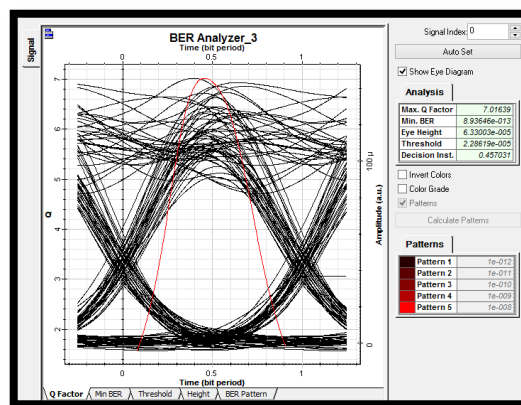


Figura 4.4.14 Diagrama del ojo (194,4THz)

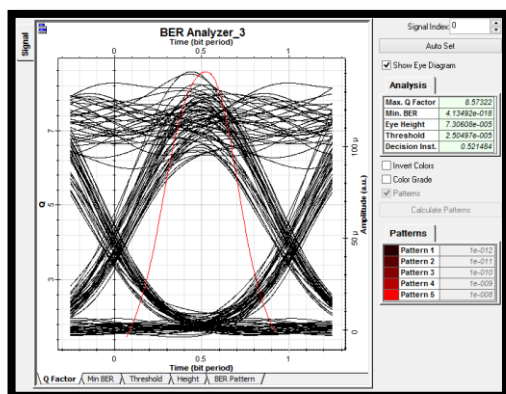


Figura 4.4.15 Diagrama del ojo (194,5THz)

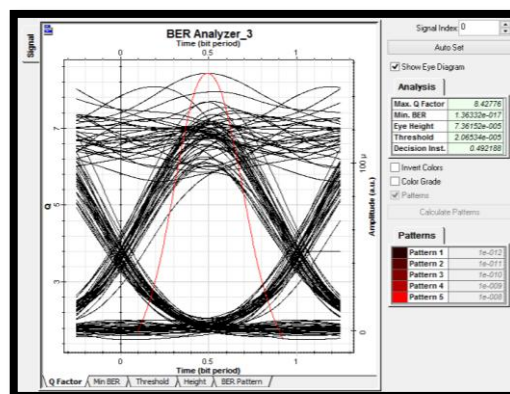


Figura 4.4.16 Diagrama del ojo (194,6THz)

En la simulación realizada no se utilizó compensadores de dispersión, tampoco métodos de procesamiento digital de señales que son las técnicas usadas para enlaces de 10 Gb/s en adelante que implican grandes distancias. Las características de fibra

óptica con un bajo índice de dispersión y atenuación, mejoró notablemente el enlace, lo suficiente para garantizar valores de BER de 10^{-12} . Los resultados de la simulación determinan que es posible tener un enlace de 1.058Km de 40 Gb/s usando 16 canales WDM de 2.5Gb/s.

La capacidad del canal proyectado es mucho mayor a la capacidad que está propuesta en el diseño, lo cual otorga una escalabilidad muy alta para poder implementar servicios a mayor velocidad a futuro. Empleando este mismo enlace se podría, cuando a futuro la demanda lo justifique, convertirlo en un súper-canal al multiplexar un número mucho mayor de canales y a mayor velocidad de transmisión, cada uno de ellos empleando técnicas de multiplexación ultra densas (UDWDM), transmisión coherente con técnicas de modulación óptica avanzada (como 16 QMA) con canales iguales o mayores a 100 Gb/s cada uno.

Si al mismo esquema del enlace en vez de canales de 2,5 Gb/s, queremos canales de 10 Gb/s, conservando los otros parámetros técnicos, al ejecutar la simulación no es posible realizar el enlace y se evidencia que en altas velocidades el efecto de la dispersión cromática por modo de polarización y efectos no lineales se hacen presentes, lo que se puede corroborar en la siguiente gráfica del diagrama del ojo en donde el valor del BER alcanza una cifra de 0.0076, bajo estos parámetros no existe transmisión de datos. La dispersión cromática por modo de polarización aumenta al incrementar la velocidad de transmisión, provocando el ensanchamiento y distorsionando los pulsos ópticos, lo que provoca interferencias entre símbolos, por ende aumenta la tasa de bits errados, degradando la calidad del enlace.

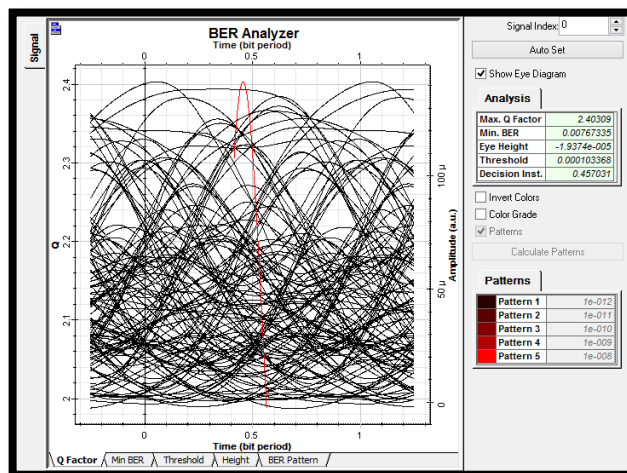


Figura 4.4.17. Diagrama del ojo simulación para un enlace WDA de 16 canales de 10Gb/s.

La dispersión por modo de polarización puede ensanchar la señal lo suficiente de manera que la calidad del enlace óptico se vea reducido, este tipo de dispersión aumenta con la velocidad de transmisión y se nota su efecto con velocidades superiores a 10 Gb/s.

Para este caso particular al utilizar canales de 2,5 Gb/s, en la simulación realizada no se detectó problemas en la calidad de transmisión, logrando un enlace robusto de una capacidad total de 40 Gb/s.

4.5 ANÁLISIS DE COSTOS

La mejor opción desde el punto de vista técnico para mejorar la conectividad hacia la provincia de Galápagos es disponer de un enlace submarino de fibra, sin embargo el limitante siempre a considerar es el aspecto económico, ya que la inversión debe traer a más de beneficios tecnológicos y sociales beneficios financieros. Para tener una estimación del costo real del proyecto planteando, se realizó una cotización con la empresa brasileña PADTEC, la misma que valoriza la implementación total del enlace por una canal de 100 G/bs (Uplink Downlink), que incluye equipos

terminales, equipo PFE, repetidores, cables, y los trabajos previos de ingeniería, por el valor de \$43'300.000,00 más IVA (se adjunta cotización referida). El valor descrito es una cifra real en base al análisis de una empresa dedicada a ejecutar proyectos de instalación de enlaces submarinos; con esta cifra podemos realizar estimaciones de cálculo en que tiempo se puede recuperar dicha inversión y si es económicamente factible. A este valor se le ha añadido un 10% del costo de instalación, ya que un aspecto fundamental a considerar en el análisis económico corresponde los valores por mantenimientos preventivos y correctivos que se debe ejecutar durante la vida útil del enlace de fibra submarino. Al costo de instalación del enlace se sumará el costo correspondiente a mantenimientos preventivos y correctivos que se ejecutará, que en el peor de los casos puede ser un daño por rotura del cable de fibra. Se ha considerado el 10% tomando como referencia que el costo de maniobra aproximado de un barco especializado para solventar problemas en el enlace submarino es de alrededor \$100.000,00 por día, y en el peor de los casos una reparación por rotura de cable podría llevar de 4 a 15 días. Considerando los costos por mantenimientos preventivos y correctivos, el enlace óptico submarino alcanza el valor de \$47'630.000,00 más IVA.

Con base a los datos presentados en capítulos anteriores, se puede estimar que la Empresa Pública Corporación Nacional de Telecomunicaciones, al poseer la gran parte del mercado con respecto a usuarios de Internet fijo en la provincia de Galápagos, sería un candidato para ejecutar un proyecto de estas dimensiones con una inversión gubernamental. Relacionando el número de cuentas de Internet y la

proyección de crecimiento al año 2030, se realizó un cálculo de los ingresos que se podría generar.

Si bien para un modelo de negocios existen muchas variables a considerar, hemos planteado algo muy general orientado a garantizar un acceso total al servicio de Internet a precios accesibles que permitan lograr altos porcentajes de penetración.

El plan residencial más económico que oferta la CNT EP para Galápagos es de \$18.00 (sin IVA), existen planes residenciales más costosos pero con bajo número de usuarios. Para el cálculo de la estimación de ingresos se considerará un costo de 23 dólares (sin IVA) correspondiente a una velocidad de 3Mb/s compartición 2:1, como el plan mínimo a ser vendido para cuentas residenciales; mientras que para cuentas de tipo corporativos con base a los precios publicados en el portal web de la CNT EP, se ubicó un valor similar al costo de un plan de 10Mb/s para la parte continental, asumiendo un valor de \$280 (sin IVA) para la proyección del cálculo como un precio mínimo para cuentas corporativas por una velocidad de 10Mb/.

El cuadro presentado a continuación muestra una proyección de ingresos tomando como línea base el número de cuentas en la provincia de Galápagos hasta diciembre del año 2015, en donde para cada año se ha realizado un cálculo proyectado del ingreso que se percibiría. El año uno corresponde al primer año una vez instalado el enlace óptico y se hace la proyección a quince años.

Año	Población	Total número de cuentas de internet fijo.	Número de Cuentas corporativas	Número de cuentas tipo residenciales	Capacidad requerida cuentas corporativas (Mbps)	Capacidad requerida cuentas residenciales (Mbps)	Capacidad total requerida (Mbps)	Estimación Incremento anual cuentas corporativas	Estimación Incremento anual cuentas residenciales	Estimación Incremento mensual cuentas corporativas	Estimación Incremento mensual cuentas residenciales	Costo mínimo de plan Corporativo (Sin IVA)	Ingresos proyectados por cuentas corporativas	Costo mínimo de un Plan Residencial (Sin IVA)	Ingresos proyectados por cuentas residenciales	Ingresos proyectados totales (USD)
2015	29.453	3640	329	3311	3290	4966,5	8256,5	Línea Base								
Año1	30.172	4127	373	3754	3730	5631	9361	44	443	3,7	36,9	280,0	1183737,389	23	980064,5	2163801,889
Año2	30.89	4630	419	4211	4190	6316,5	10506,5	46	457	3,8	38,1	280,0	1335145,306	23	1104425,5	2439570,806
Año3	31.6	5133	464	4669	4640	7003,5	11643,5	45	458	3,8	38,2	280,0	1487926,25	23	1230707	2718633,25
Año4	32.32	5637	510	5127	5100	7690,5	12790,5	46	458	3,8	38,2	280,0	1640905,944	23	1357115	2998020,944
Año5	33.042	6140	555	5585	5550	8377,5	13927,5	45	458	3,8	38,2	280,0	1793686,25	23	1483523	3277209,25
Año6	33.769	6643	601	6042	6010	9063	15073	46	457	3,8	38,1	280,0	1946665,306	23	1609781,5	3556446,806
Año7	34.493	7146	646	6500	6460	9750	16210	45	458	3,8	38,2	280,0	2099446,25	23	1736063	3835509,25
Año8	35.218	7649	691	6958	6910	10437	17347	45	458	3,8	38,2	280,0	2250646,25	23	1862471	4113117,25
Año9	35.944	8153	737	7416	7370	11124	18494	46	458	3,8	38,2	280,0	2403625,944	23	1988879	4392504,944
Año10	36.671	8656	783	7873	7830	11809,5	19639,5	46	457	3,8	38,1	280,0	2558185,306	23	2115137,5	4673322,806
Año11	37.399	9159	828	8331	8280	12496,5	20776,5	45	458	3,8	38,2	280,0	2710966,25	23	2241419	4952385,25
Año12	38.129	9662	873	8789	8730	13183,5	21913,5	45	458	3,8	38,2	280,0	2862166,25	23	2367827	5229993,25
Año13	38.859	10165	919	9246	9190	13869	23059	46	457	3,8	38,1	280,0	3015145,306	23	2494085,5	5509230,806
Año14	39.59	10669	964	9705	9640	14557,5	24197,5	45	459	3,8	38,3	280,0	3167926,875	23	2620516,5	5788443,375
Año15	40.322	11172	1010	10162	10100	15243	25343	46	457	3,8	38,1	280,0	3320905,306	23	2746901,5	6067806,806

Tabla 4.5.1 Proyección de ingresos.

Año	Población	Total número de cuentas de internet fijo.	Número de Cuentas corporativas	Número de cuentas tipo residenciales	Capacidad requerida cuentas corporativas (Mbps)	Capacidad requerida cuentas residenciales (Mbps)	Capacidad total requerida (Mbps)	Estimación Incremento anual cuentas corporativas	Estimación Incremento anual cuentas residenciales	Estimación Incremento mensual cuentas corporativas	Estimación Incremento mensual cuentas residenciales	Costo mínimo de plan Corporativo (Sin IVA)	Ingresos proyectados por cuentas corporativas	Costo mínimo de un Plan Residencial (Sin IVA)	Ingresos proyectados por cuentas residenciales	Ingresos proyectados totales (USD)
2015	29.453	3640	329	3311	3290	4966,5	8256,5	Línea Base								
Año 1	30.172	4127	373	3754	3730	5631	9361	44	443	3,7	36,9	280,0	1183737,389	23	980064,5	2163801,889
Año 2	30.89	4630	419	4211	4190	6316,5	10506,5	46	457	3,8	38,1	280,0	1335145,306	23	1104425,5	2439570,806
Año 3	31.6	5133	464	4669	4640	7003,5	11643,5	45	458	3,8	38,2	280,0	1487926,25	23	1230707	2718633,25
Año 4	32.32	5637	510	5127	5100	7690,5	12790,5	46	458	3,8	38,2	280,0	1640905,944	23	1357115	2998020,944
Año 5	33.042	6140	555	5585	5550	8377,5	13927,5	45	458	3,8	38,2	280,0	1793686,25	23	1483523	3277209,25
Año 6	33.769	6643	601	6042	6010	9063	15073	46	457	3,8	38,1	280,0	1946665,306	23	1609781,5	3556446,806
Año 7	34.493	7146	646	6500	6460	9750	16210	45	458	3,8	38,2	280,0	2099446,25	23	1736063	3835509,25
Año 8	35.218	7649	691	6958	6910	10437	17347	45	458	3,8	38,2	280,0	2250646,25	23	1862471	4113117,25
Año 9	35.944	7649	691	6958	6910	10437	17347	0	0	0,0	0,0	280,0	2321760	23	1920408	4242168
Año 10	36.671	7649	691	6958	6910	10437	17347	0	0	0,0	0,0	280,0	2321760	23	1920408	4242168
Año 11	37.399	7649	691	6958	6910	10437	17347	0	0	0,0	0,0	280,0	2321760	23	1920408	4242168
Año 12	38.129	7649	691	6958	6910	10437	17347	0	0	0,0	0,0	280,0	2321760	23	1920408	4242168
Año 13	38.859	7649	691	6958	6910	10437	17347	0	0	0,0	0,0	280,0	2321760	23	1920408	4242168
Año 14	39.59	7649	691	6958	6910	10437	17347	0	0	0,0	0,0	280,0	2321760	23	1920408	4242168
Año 15	40.322	7649	691	6958	6910	10437	17347	0	0	0,0	0,0	280,0	2321760	23	1920408	4242168

Tabla 4.5.2 Proyección de ingresos considerando segundo escenario.

Bajo los datos presentados en las tablas anteriores como un modelo de proyección simple en donde se han considerado cuentas residenciales y corporativos tipo Pymes (Empresas medianas), por los precios descritos anteriormente en base a la proyección del crecimiento de usuarios, se ha estimado que al año 13 a partir de la instalación del enlace de fibra, sumando los ingresos de los años anteriores, solo por el servicio de Internet fijo se obtendría \$49'859.746,5, es decir se recuperaría el costo de inversión en este tiempo, ver tabla 4.5.1.

Asumiendo el peor de los escenarios, en el cual no se tenga el crecimiento de usuarios proyectado, que es de 11.172 cuentas al año 2030, y que solo existe un crecimiento del 53.23% de lo esperado, es decir, exista un incremento durante los ocho primeros años, se lograría una penetración de 7.649 cuentas que corresponde a 4.009 cuentas adicionales con respecto a la línea base, lo que significa que en 14 años sumando todos los ingresos de años anteriores, se tendría un ingreso total de \$50'555.317,44; logrando recuperar la inversión del costo de la instalación del enlace submarino de fibra.

Es este apartado solo se ha considerado recuperar los costos de instalación y mantenimiento del enlace de fibra submarino, no se realizó un mayor análisis de los costos de distribución e instalación del servicio hacia el usuario (última milla), debido a que los costos de instalación por la prestación del servicio se considera como valores adicionales a la planilla mensual y corresponde a otro tipo de ingreso; análisis que no se tratará en este documento.

En el análisis general realizado se consideró cuentas residenciales y comerciales Pymes, en donde la inversión se recuperaría en el peor de los casos en 14 años, no se

analizó costos de cuentas corporativas de tipo ISP (Proveedores de servicio de internet) que correspondería a una tarifa mayor que los corporativos Pymes, que pueden ser comercializadas a empresas como CLARO y MOVISTAR que prestan el Servicio Móvil Avanzado en el archipiélago, en donde se focaliza otro nicho de negocio a explotar que reduciría el tiempo de recuperación de la inversión.

Bajo este análisis y considerando que la vida útil de un enlace de fibra en promedio es de 25 años, se considera factible una inversión que puede ser gubernamental para este proyecto, en donde los beneficios sociales que acarrearía van de la mano con la factibilidad económica.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Las condiciones respecto al servicio de Internet en la provincia de Galápagos son limitadas, existiendo una percepción negativa del usuario y una brecha tecnológica notable en la prestación de este servicio.

El punto focal de la problemática y cuello de botella correspondiente al acceso de los servicios de telecomunicaciones en la provincia de Galápagos, recae en la capacidad y costo de los enlaces troncales que actualmente son 100% satelitales.

De las empresas prestadoras del servicio de Internet en la provincia de Galápagos analizadas, se detectó casos en cuentas de tipo comerciales, en las cuales la diferencia de costos con el Ecuador continental para la misma capacidad de acceso es de más de 100 veces, determinado un valor promedio por un plan corporativo de 1Mb/s simétrico compartición 1:1 de \$2.394,23.

El servicio de Internet móvil en la provincia de Galápagos con respecto a las velocidades de acceso, los resultados en pruebas FTP Downlink y Uplink, presenta notables diferencias, reflejando velocidades que llegan al 20% y 30% del rendimiento alcanzado en ciudades del Ecuador continental.

Existe factibilidad técnica para la implementación de un enlace óptico submarino entre el Ecuador continental y el archipiélago de Galápagos.

Bajo el análisis económico planteado, considerando únicamente los costos del servicio de Internet fijo, el valor de la inversión correspondiente a la instalación del enlace óptico submarino que es de \$47'630.000.00, se recuperaría en 14 años a partir de su instalación.

5.1 RECOMENDACIONES

No existe un pronunciamiento público o privado en la provincia de Galápagos que pretenda emprender un proyecto de las dimensiones que describe este documento, por lo que se recomienda poner en consideración el presente trabajo ante el Organismo de Telecomunicaciones y autoridades locales de la provincia de Galápagos, con el objetivo de impulsar una política que permita cambiar el panorama respecto a la conectividad en la región Insular, mediante la implementación de un enlace óptico submarino.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

Bibliografía

- Gil , M. (2014). *SISTEMA DE POSICIONAMIENTO DINÁMICO EN OPERACIONES DE REPARACIÓN DE CABLES SUBMARINOS*. Escuela Técnica Superior de Náutica Universidad de Cantabria. España.
- Proaño Lozada, L. A. (2009). *SISTEMA DE COMUNICACION POR FIBRA OPTICA Y ENLACE*. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.
- Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. (2016). *arcotel.gob.ec*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2016, de <http://www.arcotel.gob.ec/estadisticas-2/>
- Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. (2016). Sistema de Autónomo de Mediciones de Redes Móviles (SAMM). Ecuador.
- Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. (29 de Septiembre de 2016). Sistema de Información y Estadística de los Servicios de Telecomunicaciones. Ecuador.
- Ambrosio barrueto, F. M. (2012). *Comunicaciones Ópticas WDM*.
- Astromia. (2016). *www.astromia.com*. Recuperado el 20 de Julio de 2016, de <http://www.astromia.com/biografias/planck.htm>
- Astudillo Rivera, J. J., & Ramírez Obando, E. Y. (2014). *MANUAL PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA EN DWDM*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Carrera de Ingeniería electrónica .
- Blogthinkbig. (2016). *blogthinkbig.com*. Recuperado el 5 de Julio de 2016, de <http://blogthinkbig.com/cables-submarinos-historia/>
- Blogthinkbig. (2016). *blogthinkbig.com*. Recuperado el 20 de Julio de 2016, de <http://blogthinkbig.com/fibra-optica-origen/>
- Caizaluisa, J. L. (2009). *ESTUDIO PARA INTEGRACIÓN DE LA TÉCNICA WDMA DENTRO DE UN ENLACE QUITO GUAYAQUIL QUE UTILICE SDH COMO TÉCNICA DE TRANSMISIÓN PARA UNA MEDIA EMPRESA PORTADORA*. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador.

- CLARO. (2016). *claro.com.ec*. Recuperado el 20 de Julio de 2016, de http://www.claro.com.ec/portal/ec/sc/personas/movil/cobertura/#info_04
- CNT E.P. (2016). *cnt.gob.ec*. Recuperado el 20 de Julio de 2016, de <https://www.cnt.gob.ec/internet/tipo/fijo/>
- Corning. (2016). *corning.com*. Recuperado el 16 de Agosto de 2016, de https://www.corning.com/media/worldwide/coc/documents/Fiber/PI1445_07_14_English.pdf
- Corporación Nacional de Telecomunicaciones. (2016). *cnt.gob.ec*. Recuperado el 15 de Julio de 2016, de <https://www.cnt.gob.ec/internet/planes-corporativos>
- Corporación Nacional de Telecomunicaciones. (2016). *cnt.gob.ec*. Recuperado el 15 de Julio de 2016, de <https://www.cnt.gob.ec/internet/planes-corporativos>
- Ecured. (2016). *www.ecured.cu*. Recuperado el 10 de Julio de 2016, de https://www.ecured.cu/Fibra_%C3%B3ptica
- Engineerdir. (2016). *engineerdir.com*. Recuperado el 20 de Julio de 2016, de <http://www.engineerdir.com/product/catalog/12138/index1.html>
- Fibraoptica. (2015). *fibraoptica.blog.tartanga.eus*. Recuperado el 25 de Agosto de 2016, de http://fibraoptica.blog.tartanga.eus/files/2012/01/fundamentos-de-fibras-opticas_24.jpg
- Galápagos Conservation Trust . (2016). *descubriendogalapagos.ec*. Recuperado el 5 de Julio de 2016, de <http://descubriendogalapagos.ec/descubre/procesos-geograficos/ubicacion-formacion/puntos-calientes-volcanes/>
- García Barría, C. A. (2006). *Aálisis de la Tecnología IP sobre WDM*. Valdivia: Universidad Austral de Chile, Escuela de Electricidad y Electrónica.
- García Barría, C. A. (2006). *ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA IP SOBRE WDM* . Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Electricidad y Electrónica .
- Gil, I. I. (2014). *DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE NUEVAS TOPOLOGÍAS DE REDES DE SENSORES MULTIPLEXADOS EN LONGITUD DE ONDA MEDIANTE LÁSERES DE FIBRA CON EMISIÓN MULTILÍNEA*. UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA, ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACION.
- Grupo TvCable. (2016). *grupotvcable.com*. Recuperado el 2016 de Julio de 2016, de <https://www.grupotvcable.com/corporativo-internet-quito>

- Gualda Manzano, E. J. (s.f.). *OPTIMIZACIÓN DE LAS PRESTACIONES DE ENLACES ÓPTICOS SUBMARINOS DE GRAN CAPACIDAD Y LARGA DISTANCIA MEDIANTE EL CONTROL DE LA DISPERSIÓN*. Universidad Politécnica de Cataluña. España.
- Herrera, S. Á., Arredondo, L. C., & Martínez, N. M. (2008). *DISEÑO Y OPTIMIZACIÓN DEL ENLACE DE COMUNICACIONES ENTRE LOS CABOS Y PUERTO VALLARTA POR MEDIO FIBRA ÓPTICA SUBMARINA*. Proyecto de titulación de Ingeniería Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Electrónica. México.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2016). *ecuadorencifras.gob.ec*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2016, de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>
- ITU-T. (Julio de 2010). Recommendation ITU-T G.654 . *ITU-T G.654* .
- Martín López, S. (2006). *TESIS DOCTORAL GENERACIÓN DE SUPERCONTINUO EN FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO CON FUENTES DE BOMBEO CONTINUO*. Universidad Complutense de Madrid. España.
- Mena Soliz, E. I., & Mendoza Pantoja, R. E. (2009). *DISEÑO DE UNA RED WDM PARA ANDINATEL S.A. EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA*. Escuela Politécnica Nacional .
- Ministerio de Turismo. (2015). *turismo.gob.ec*. Recuperado el 21 de Noviembre de 2015, de <http://www.observatoriogalapagos.gob.ec/descarga-base-de-datos>
- Ministerio de Turismo. (2016). *observatoriogalapagos.gob.ec*. Recuperado el 10 de Julio de 2016, de <http://www.observatoriogalapagos.gob.ec/descarga-base-de-datos>
- Ministerio del Medio Ambiente. (s.f.). *ambiente.gob.ec*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2015, de 2015: <http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/areas-protegidas/parque-nacional->
- MOVISTAR. (2016). *movistar.com.ec*. Recuperado el 15 de Julio de 2016, de <http://www.movistar.com.ec/productos-y-servicios/cobertura>
- Nemesis. (2006). <http://nemesis.tel.uva.es>. Recuperado el 04 de Febrero de 2017, de http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema2/imagenes_tema2_8/imagen009.jpg
- NEMESIS TUTORIAL DEL COMUNICACIONES ÓPTICAS. (2006). <http://nemesis.tel.uva.es>. Recuperado el 01 de Febrero de 2017, de http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema1/tema1_5_1.htm
- o3bnetworks. (2015). *o3bnetworks.com*. Recuperado el 21 de Noviembre de 2015, de https://www.o3bnetworks.com/wp-content/uploads/2015/02/white-paper_latency-matters.pdf

- o3bnetworks. (s.f.). *o3bnetworks.com*. Recuperado el 21 de Noviembre de 2015, de 2015: https://www.o3bnetworks.com/wp-content/uploads/2015/02/white-paper_latency-matters.pdf
- OZEROS. (2016). *www.ozeros.com*. Recuperado el 25 de Agosto de 2016, de <https://www.ozeros.com/2013/08/ozeros-visita-las-instalaciones-de-level-3-en-chile/>
- Padtec. (2016). *padtec.com.br*. Recuperado el 14 de Junio de 2016, de <http://www.padtec.com.br/es/plataforma/lightpad-i6400g>
- Padtec. (2016). *padtec.com.br*. Recuperado el 25 de Agosto de 2016, de http://www.padtec.com.br/wp-content/uploads/2015/04/OSLA_Padtec.jpg
- Punto Net. (2016). *puntonet.ec*. Recuperado el 7 de Agosto de 2016, de <https://www.puntonet.ec/home/banda-ancha-fibra-optica>, último acceso agosto de 2016
- Radiocomunicaciones. (2016). *www.radiocomunicaciones.net*. Recuperado el 02 de Julio de 2016, de <http://www.radiocomunicaciones.net/content/13-fibra-optica>
- Resolución TEL-042-01-CONATEL-2014. (2014). *arcotel.gob.ec*. Recuperado el 17 de Agosto de 2016, de Resolución TEL-042-01-CONATEL-2014
- Resolución TEL-431-13-CONATEL-2014. (2014). *tvmontufar.com*. Recuperado el 20 de Julio de 2016, de <http://www.tvmontufar.com/wp-content/uploads/2014/06/CONCEPTO-DE-ANCHO-DE-BANDA.pdf>
- Sangucho Morocho , C. E. (2009). *DISEÑO DE UNA RED DE BACKHAUL PARA UNA NUEVA SALIDA DE CABLE SUBMARINO, UTILIZANDO LA FIBRA ÓPTICA DEL OLEODUCTO DE CRUDOS PESADOS A DISPOSICIÓN DEL ESTADO ECUATORIANO*. Quito: Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería eléctrica y Electrónica .
- Santa Cruz, O. (2016). *www.profesores.frc.utn.edu.ar*. Recuperado el 10 de Julio de 2016, de <http://www.profesores.frc.utn.edu.ar/electronica/ElectronicaAplicadaIII/PlantelExterior/IntroduFO3.pdf>
- Submarine Cable Map. (2015). *submarinecablemap.com*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2015, de <http://www.submarinecablemap.com/>
- Submarinecablemap. (2015). Recuperado el 20 de Noviembre de 2015, de [submarinecablemap.com: http://www.submarinecablemap.com/](http://www.submarinecablemap.com/)
- UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES. (2003). *UIT-T G.655*.
- UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES. (2006). *UIT-T G.656*.

Wikipedia. (2016). *es.wikipedia.org*. Recuperado el 23 de Julio de 2016, de https://es.wikipedia.org/wiki/Cable_submarino#/media/File:Submarine_cable_cross-section_3D_plain.svg



Padtec Submarine Portfolio

About us...

- Operations started in August, 2001.
 - Largest Optical Networking Manufacturer in Latin America.
 - Global supplier: equipment and solutions sold in more than 40 countries.
- R&D investment: ~ 15% of revenue.



Shareholders



CPqD is an independent institution which develops the most extensive ICT R&D program in Latin America. The company has produced ICT solutions for both private and public corporations in the communication and multimedia, financial, utilities, industries, and defense and security sectors.



Ideiasnet is engaged in managing venture capital investments in fast-growing technology companies in the areas of E-commerce, Education Tech, Health Tech, Digital Commerce, Digital Media, Software as a Service (SaaS) and Mobility, seeking to share experiences and provide support to accelerate growth.



The Brazilian Development Bank (BNDES) is the main financing agent for development in Brazil. BNDESPAR is a business corporation, which has been established as an integral subsidiary of the BNDES. It carries out capitalization operations of under-takings controlled by private groups, while abiding by the BNDES' plans and policies.

Padtec S/A - Profile

Padtec is a global manufacturer and solutions provider of turnkey optical solutions.

Focus: Optical Layer

Solutions for:

- Telcos/Carriers
- *Carriers of carriers*
- Information Technology
- Utilities
- Integrators and Service Providers
- Research and Education Networks
- Internet Service Providers

Services:

- DWDM network Deployment and Commissioning
- Operation & Maintenance
- Fiber Characterization
- Submarine Systems O&M

Padtec S/A - Major LATAM Clients



- 100G line cards installed in Submarine Festoon more than 3.000 km long, covering all Brazilian Atlantic coast
- DWDM systems deployed along all national territory, including very high capacity rings in metropolitan regions of São Paulo and Rio de Janeiro



- Largest SAN network in Latin America. More than 400 channels to an important financial institution
- 100G Systems and ROADM WSS



- Cable Junior Submarine Project
- 390 km between Rio and Santos
- 13 Tb/s per fiber pair



- 100% of the national Backbone
- Partnership in providing the optical network to Campus Party



- DWDM System qualified across 5000 km between Argentina and Chile, through the more challenging and different geographies such as Patagonia and the Andes

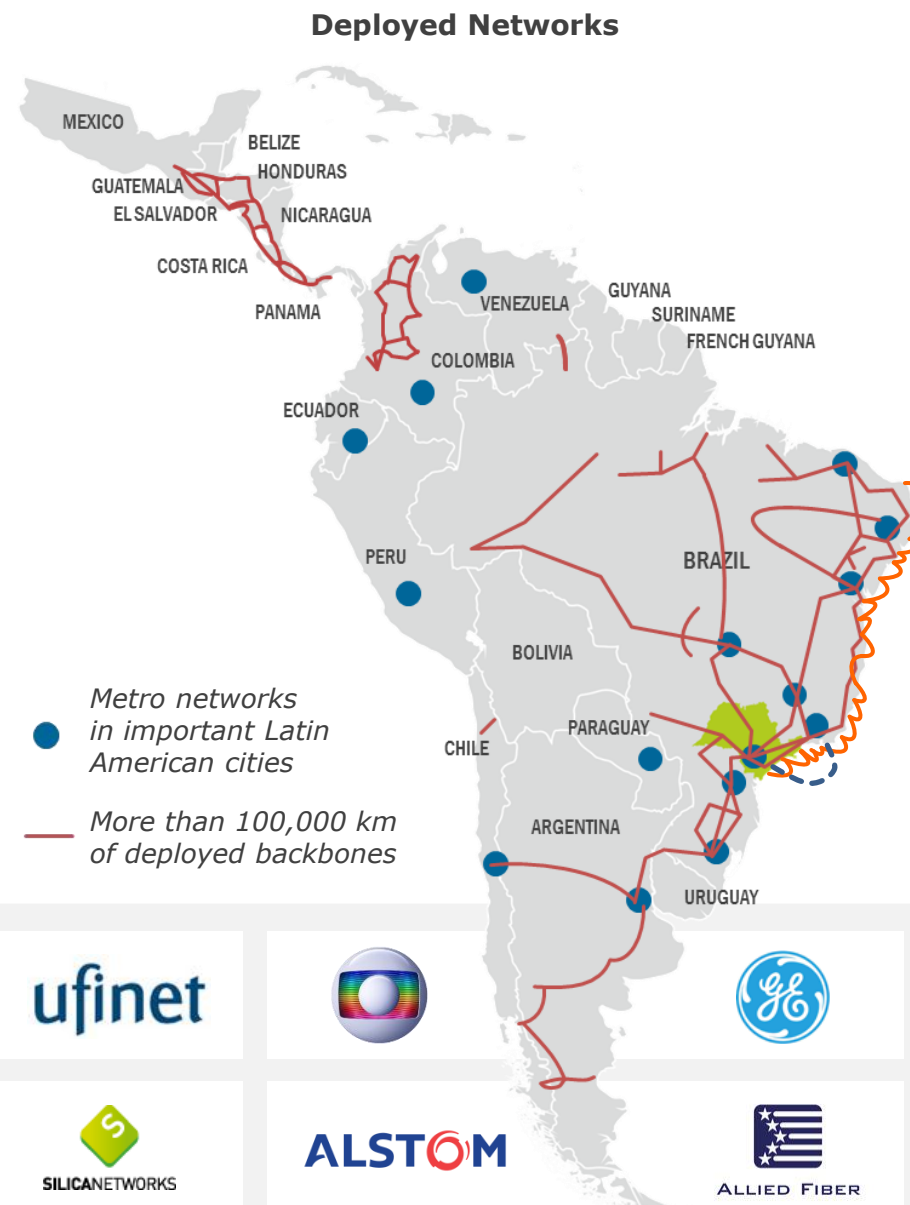


- Backbone to Vivo operation.
- Large portion of all Brazilian DWDM infrastructure
- Strategic partner in Campus-Party
- Sao Paulo's Metro Ethernet network
- National backbone across the entire country (South to Northeast)
- First 100 Gbps systems deployed in Brazil for GVT



- 13 thousand kilometers linking all Colombia and Central America (from southern Mexico to Panama)
- Redundant architecture with ROADM and GMPLS

Padtec S/A - Customers and LATAM Networks



Products and Solutions Portfolio

LightPad Platform

Submarine Systems

- Deployment Project
- Route Survey
- Terminal Equipment
- Sub. Repeater
- Branching Unit -BU
- O&M
- Deployment

Applications

- LH and ULH Submarine Networks with/without BU

LightPad i6400G

- 14U sub-rack and 4U compact sub-rack
- OTN Transponders
- EDFA and Raman amplifiers
- WSS ROADM
- ODU-XC
- Optical Protection

Applications

- Submarine Backbone
- Terrestrial Backbones
- Metro Networks

LightPad OTS

- OTN Switch
- P-OTS transport
- L2/L3 features
- *Line Cards several models*
- 3 form factors of different capacities

Applications

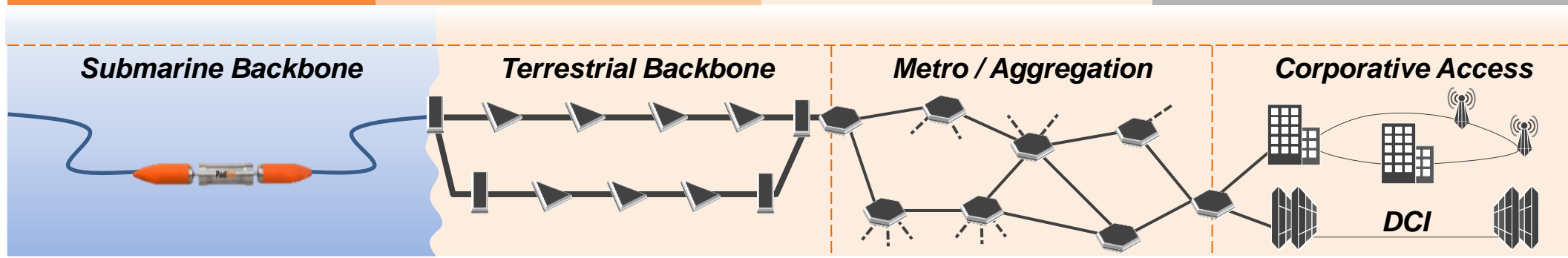
- Terrestrial Backbones
- Metro Networks

MultiPad Platform

- Rate Meter Transponder
- OTN Transponders
- EDFA e Raman amplifiers
- Optical Switch
- Media Converters
- Passive Equipment

Applications

- Point-to-point Single channel Systems



LightPad i6400G Platform

High Capacity Optical Transport

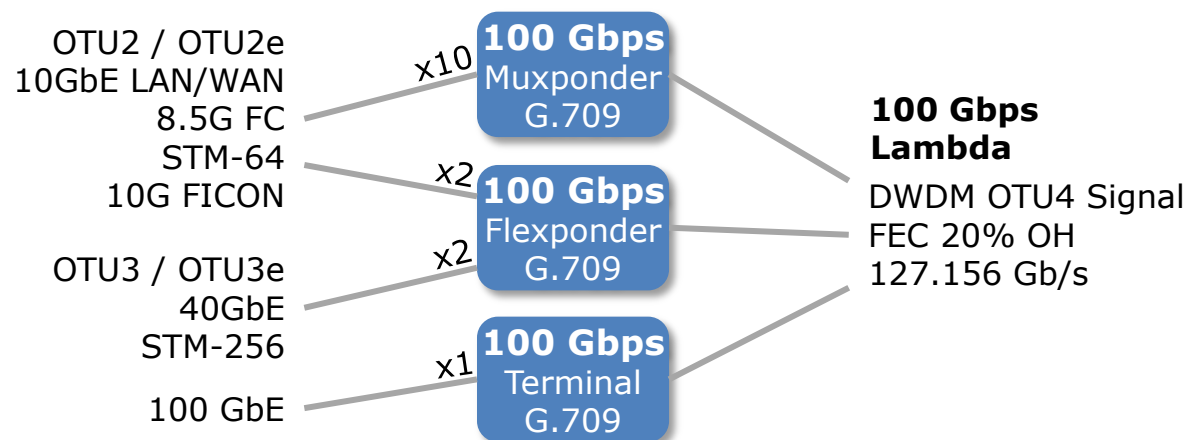
Through the **LightPad i6400G Platform®**, Padtec provides a Carrier-class solution for **multi-service transport** with high capacity in several network architectures, being able to meet the growing changes of traffic profile, with high flexibility and availability.



- DWDM – *Dense Wavelength Division Multiplexing*
- OTN Switching
- ODU-XC – *ODU Cross-connect*
- OTN – *Optical Transport Network*
- ROADM WSS – *Wavelength Selective Switch*

100 Gbps Transponders (OTU-4)

- **Muxponder:** Multiplexes 10x 10G client interfaces
- **Terminal:** 100 GbE Input (CFP)
- **Flexponder:** Multiplexes 2x 10G + 2x 40G
- **Regenerator:** 2x OTU4 DWDM Interfaces
- Modulation: Coherent **DP-[D]QPSK**
- DWDM 100/50 GHz Tunable C or L Band
- DWDM 37.5/33 GHz Tunable at C+ Band (140 Channels)



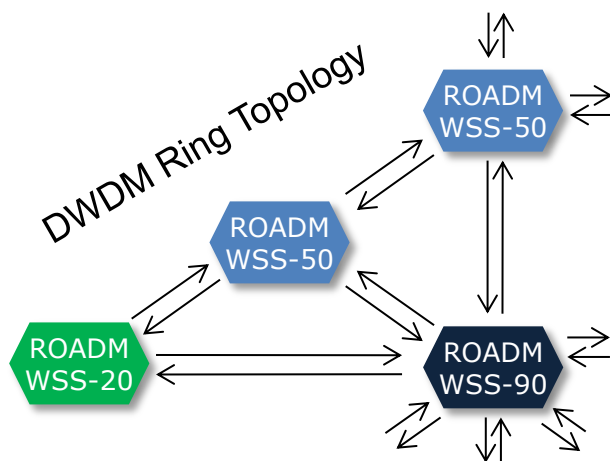
LightPad i6400G Platform

WSS ROADM



Available versions:

- 2-degree (WSS-20)
- 5-degree (WSS-50)
- 9-degree (WSS-90)
- Automatic Equalization
- Colorless and Directionless



Amplifiers

Amplification Techniques:

- EDFA 14/21/24 dBm
- RAMAN 28/30 dBm

Characteristics

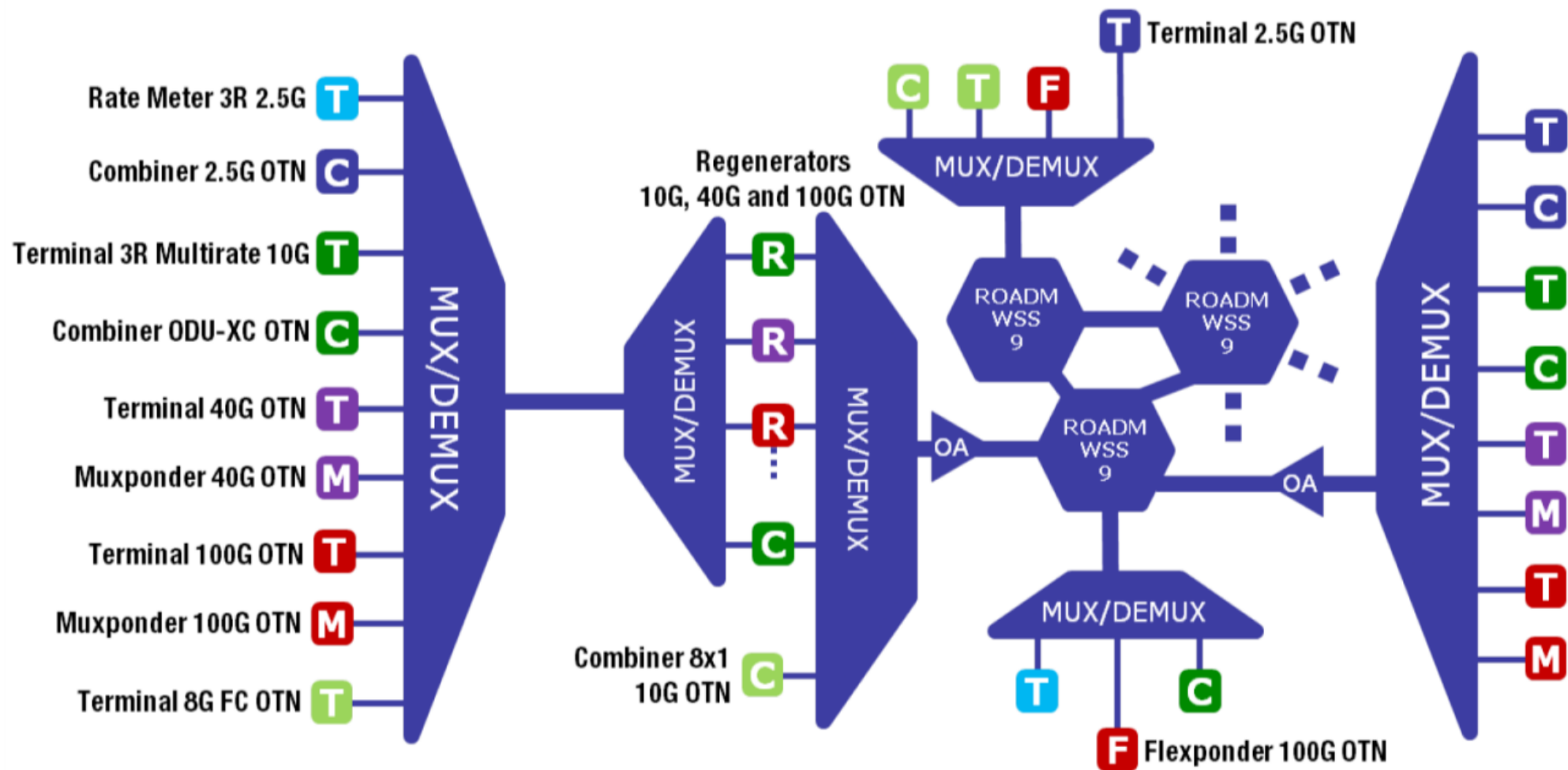
- 4.5 RU
- LC-APC connectors

Features

- Automatic Gain Control
- Gain Flattering Filter
- Auto Laser Shutdown



Complete Line Cards Family



Services Portfolio



NOC – Campinas/SP

Network Management:

- Operation 24x7
- Monitoring and acting on equipment and infrastructure
- Support for activations
- Performance reports
- Risks mitigation

Global operations and distinguished services quality based on engineering and O&M teams comprised of highly qualified professionals.

Network Characterization:

- Complete measurements set
- Critical points precise localization
- Recovery activities

Systems Deployment:

- Site survey and installation project
- Deployment and commissioning
- Full Documentation

On-Site Support:

- Own trained staff
- Last generation instrumental
- Surveys
- Spare parts management

Points of Presence (POPs)

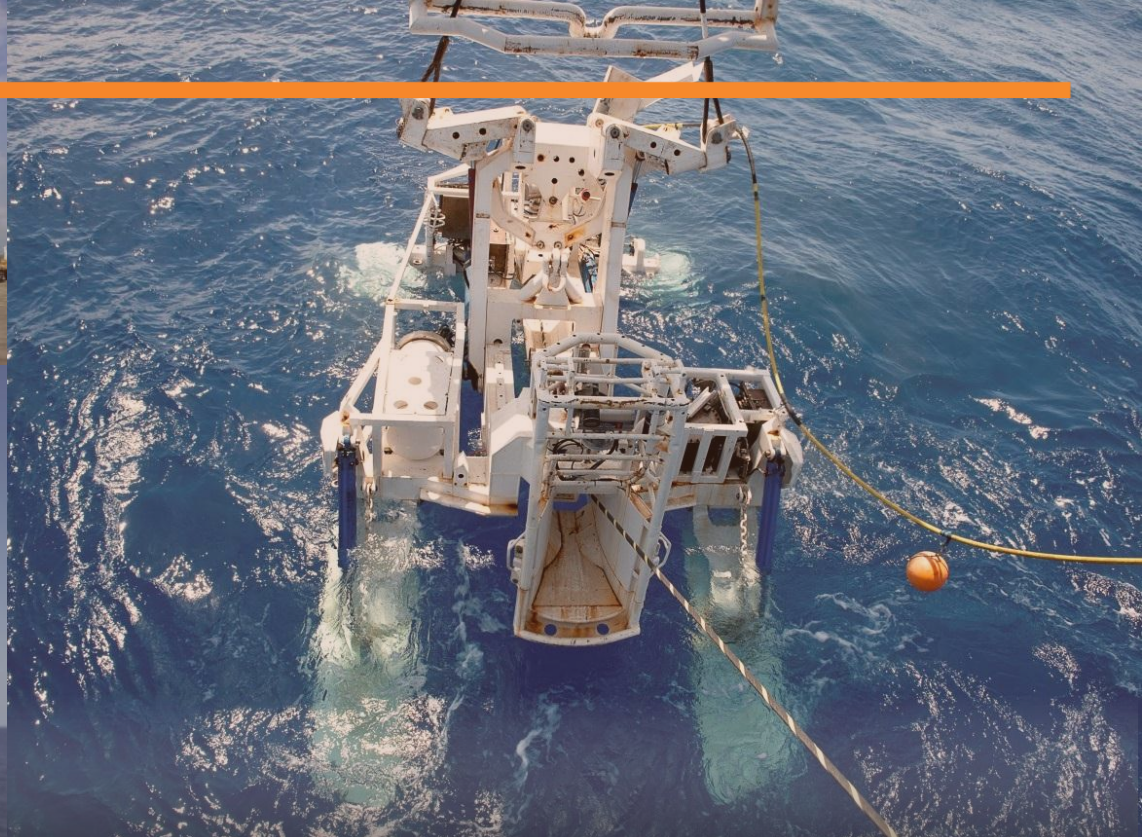
Presence in all Brazilian regions

- 40 POPs all over Brazilian territory
- 4h SLA for starting attendance to any link of the monitored networks
- Qualified Teams

Points of Presence

POP





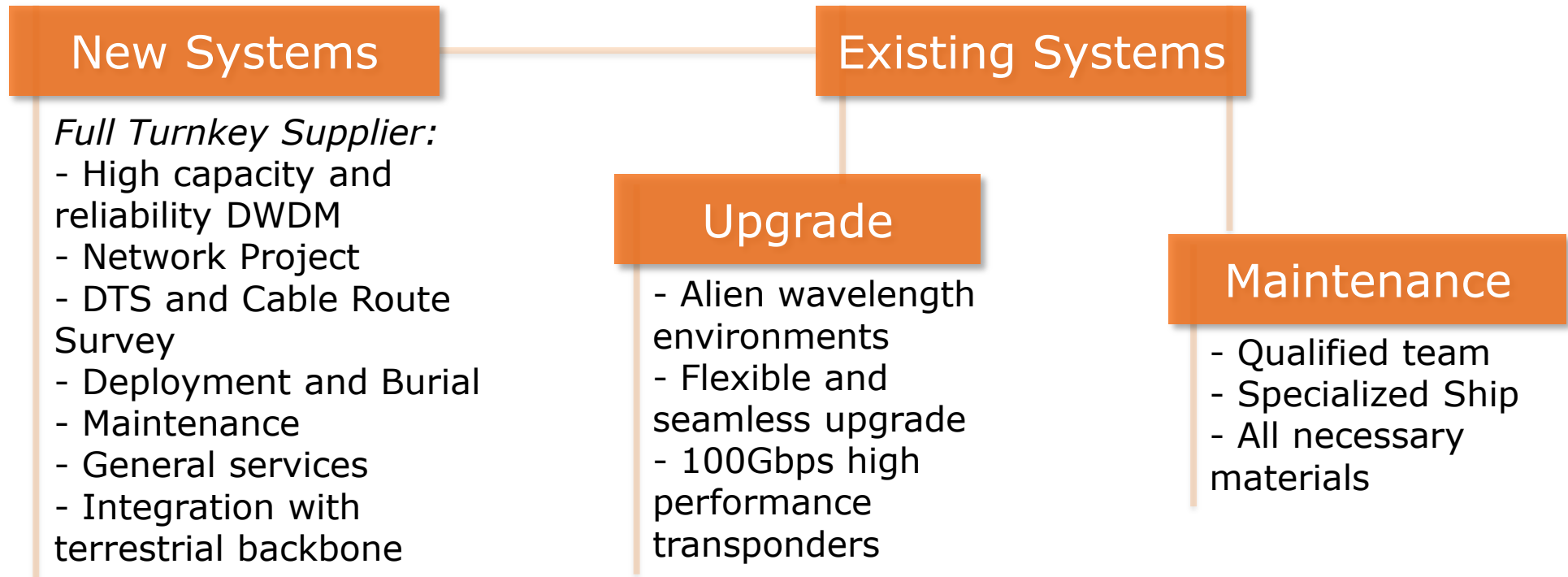
Submarine Turnkey Solution



Padtec

Submarine Systems

Submarine Turnkey Solution



Submarine Turnkey Solution

Dry Plant

SLTE – Entire DWDM Optical Transmission Infrastructure
Cable Termination
Power Supply for repeated submarine system
Complete Management System

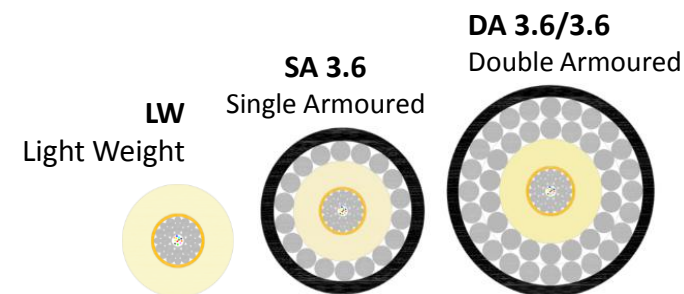
SLTE – LightPad i6400G

- Up to 200 channels per fiber
- Channels up to 100 Gbps
- Coherent detection



Wet Plant

Submarine Optical Cable
Repeater (OSLA)
Branching Unit



Compatible Submarine Optical Cables

Padtec's **OSLA** - Optical Submarine Line Amplifier embeds 12 EDFAs with very low noise figure. Its articulated mechanic was developed to support the most severe environments at very high depth.

Full Turnkey Submarine Solution

Wet Plant: Optical Repeater



Padtec's **OSLA** - Optical Submarine Line Amplifier embeds 12 EDFAs with very low noise figure and its articulated mechanic was developed to support the most severe environments at very high depth.

Characteristics

- Optimal power consumption and thermic dissipation
- Robustness with optical and electrical redundancy
- Optimized mechanic and ease of use
- Friendly management system
- High reliability

Cable type	LW	SA
Weight	520 kg	570 kg
Length	3.65 m	3.90 m

Specifications

- Number of amplifiers: 12
- Depth supported: 8,000 m
- Working lifetime: 25 years
- Output Power: +15 dBm
- Noise figure: 4 dB (Typical)
- Bandwidth: C+ 40 nm

Certification Tests

Submarine Repeater



Tensile and Sheave Tests
TMT Laboratories
Los Angeles, California

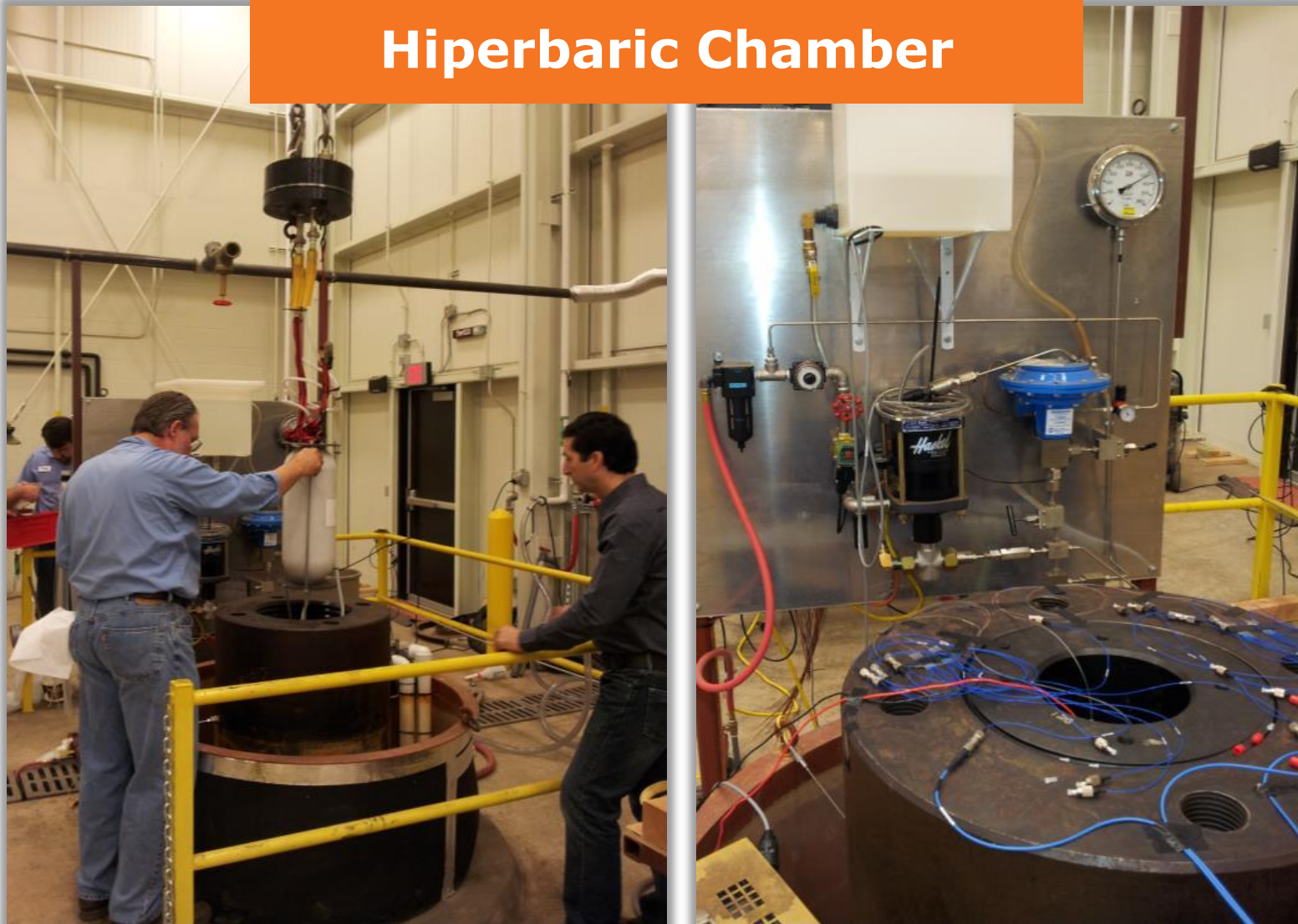


Pressure Tests
Southwest Research Institute
San Antonio, Texas

Certifications & Tests

Pressure Tests

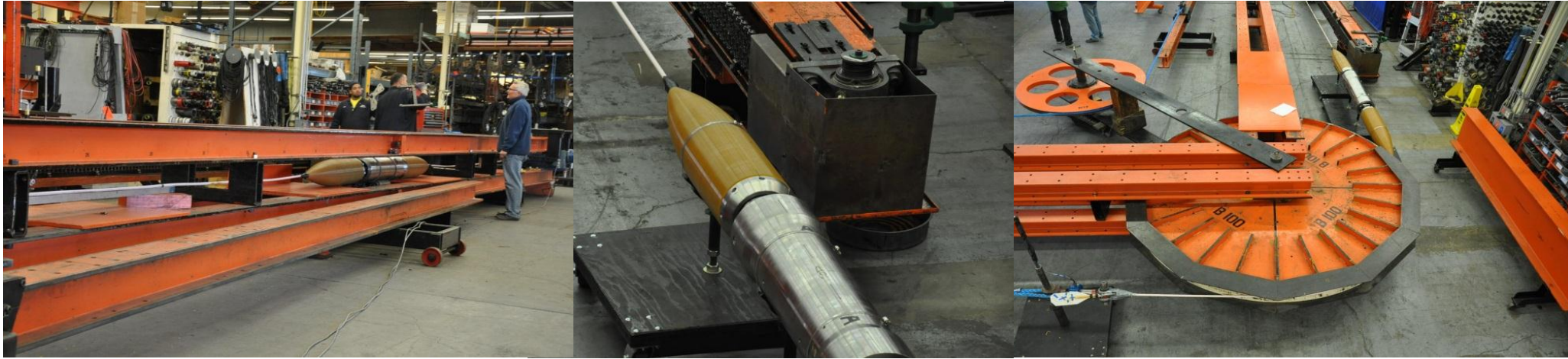
Hiperbaric Chamber



Pressurization	
Pressure [bar]	Time
1	5 min
200	5 min
300	5 min
400	5 min
500	5 min
600	5 min
650	5 min
700	5 min
750	5 min
800	24 h
900	5 min
1000	5 min
Depressurization	
Pressure [bar]	Time
1000	5 min
900	5 min
800	5 min
750	5 min
700	5 min
650	5 min
600	5 min
500	5 min
400	5 min
300	5 min
200	5 min

Tensile and Sheave Tests

LW Cable



Repeater + LW Cable

Result Summary

Tensile test with cable twist restrained

- No permanent attenuation increase up to 55 kN
- Max cable elongation (at 55 kN) = 0,73%
- Max torque (at 55 kN) = 6 N.m

Sheave test

No perm. attenuation increase after 30 cycles at 40kN + 3 cycles at 55kN

Tensile test with torque minimized (cable twist allowed but controlled)

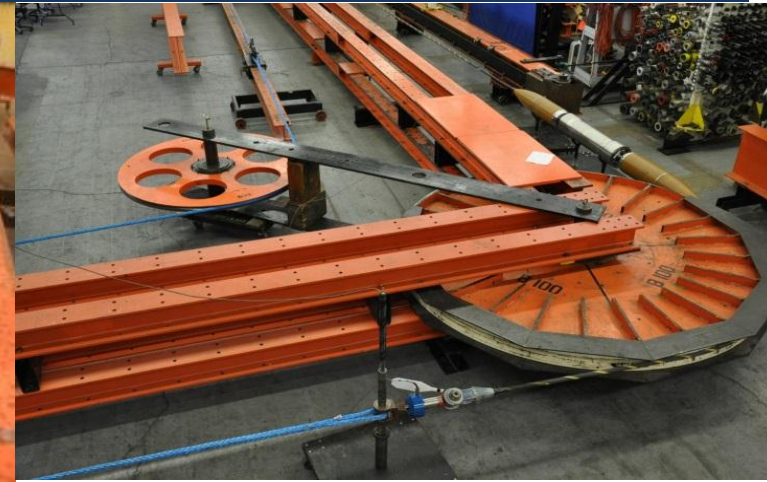
- No permanent attenuation increase up to 40 kN
- Max cable elongation (at 40 kN) = 0,59%
- Max cable rotation (at 40 kN) = 1,2 turns/100m (20)

Tensile test up to the max cable load (with twist restrained)

- No permanent attenuation increase up to 63 kN
- No cable / repeater break
- Max cable elongation (at 63 kN) = 1,03%
- Max torque (at 63 kN) = 26 N.m

Tensile and Sheave Tests

SA Cable



Repeater + SA Cable

Result Summary

Tensile test with cable twist restrained

- No permanent attenuation increase up to 200 kN
- Max cable elongation (at 200 kN) = 0,48%
- Max torque (at 200 kN) = 250 N.m

Sheave test

No perm. attenuation increase after 30 cycles at 130kN + 3 cycles at 200kN

Tensile test with torque minimized (cable twist allowed but controlled)

- No permanent attenuation increase up to 130 kN
- Max cable elongation (at 130 kN) = 0,75%
- Max cable rotation (at 40 kN) = 32,4 turns/100m

Tensile test up to the max cable load (with twist restrained)

- No permanent attenuation increase up to 243 kN
- No cable / repeater break
- Max cable elongation (at 243 kN) = 0,86%
- Max torque (at 243 kN) = 288 N.m



Sea Trial Location and Tests



Deep waters
Cable LW – depth **6300 m**



Shallow waters
Cable SA – depth **100 m**
Cable burial



Tortola
British Virgin Island

▶ Sea Trial

- ✓ **Cables**
- ✓ **Repeaters**
- ✓ **Instruments**
- ✓ **People...**



Specialized boat

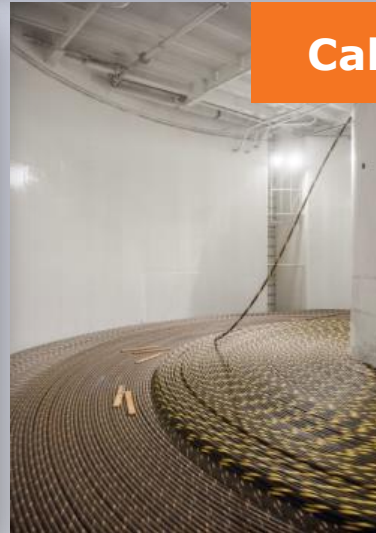


Cable containers

Repeater



Cables





Sea Trial Shallow waters

Launching
equipment



✓ Cable Burial

ROV



Plow (17 ton)



Monitoring of seabed



Repeater's Launch



▶ Sea Trial
Deep waters



**Seabed of
Caribe (depth
6,328m)**

Padtec Expertise



Repairing Operation



Submarine Systems

Cables Maintenance

Submarine Festoon

- DWDM Network between Santos and Natal
- More than 3,000 km of extension
- 17 segments and 18 landings
- Equipped with Padtec 100G
- Based on the Dispersion Shifted Fiber

Specialized Vessel



- Padtec own operational ship

Qualified Team

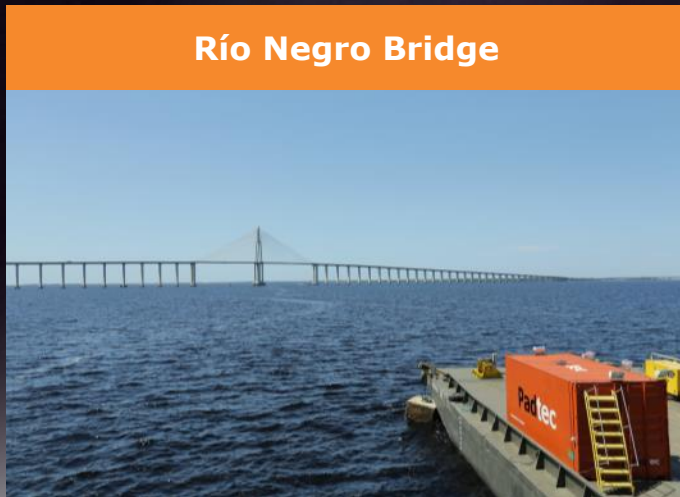


Amazonia Conectada – Pilot Project

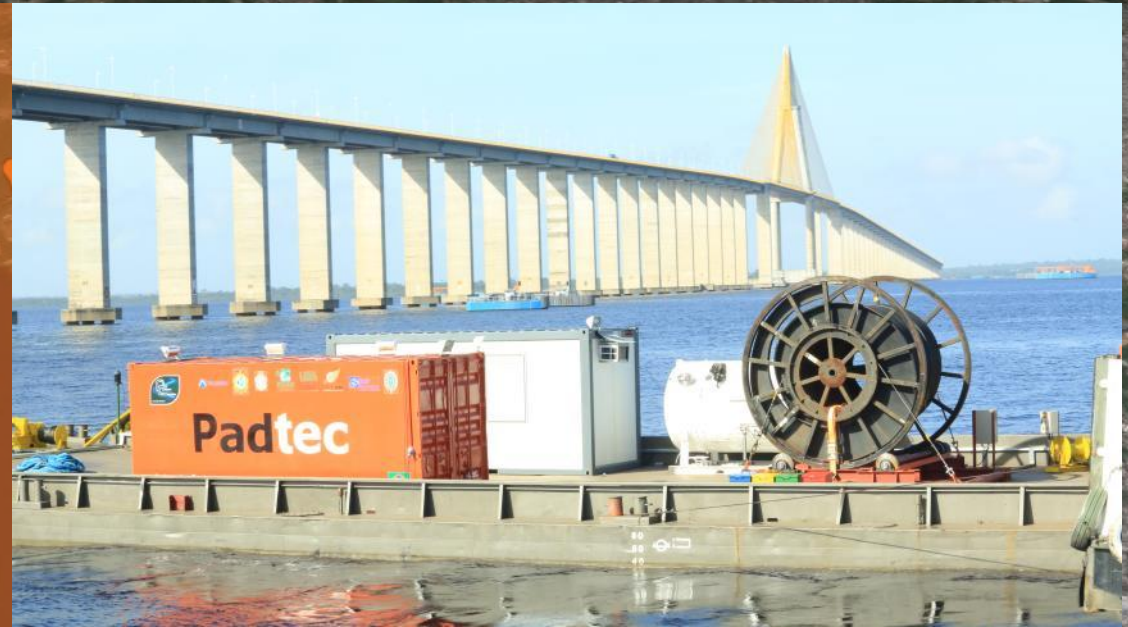
- First step of an extense program
- Thousands of km cable for connecting remote villages in Amazon Region

Pilot Project:

- Deployed in 1Q2015
- Conection of Brazil Army sites
- Padtec DWDM equipment



Amazonia Conectada – Installation



Cable Junior Submarine System (Google)

Turnkey project with Padtec as responsible for all design and implementation. When completed, the cable will be operated by Google.

- 8 fiber pair
- Up to 130 channels per pair
- SLTE: transponders 100G (37,5 GHz)

SP

Santos

Rio de Janeiro

RJ

390 km

CIF March/2016
RFS August/2017

With submarine repeaters

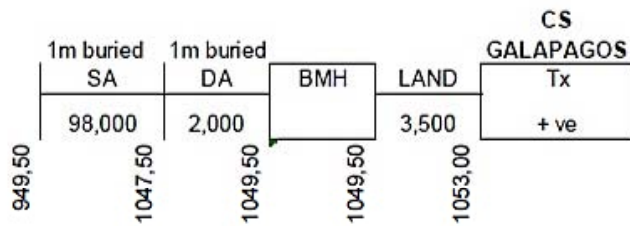
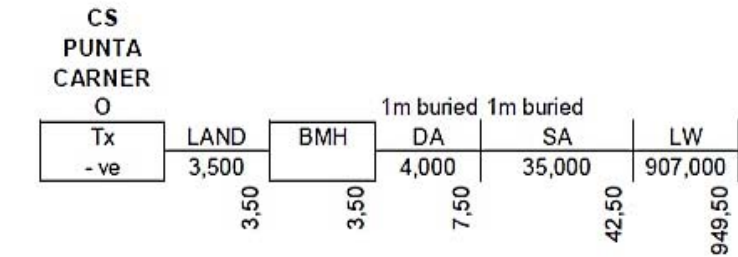


Junior Cable System High Level Summary

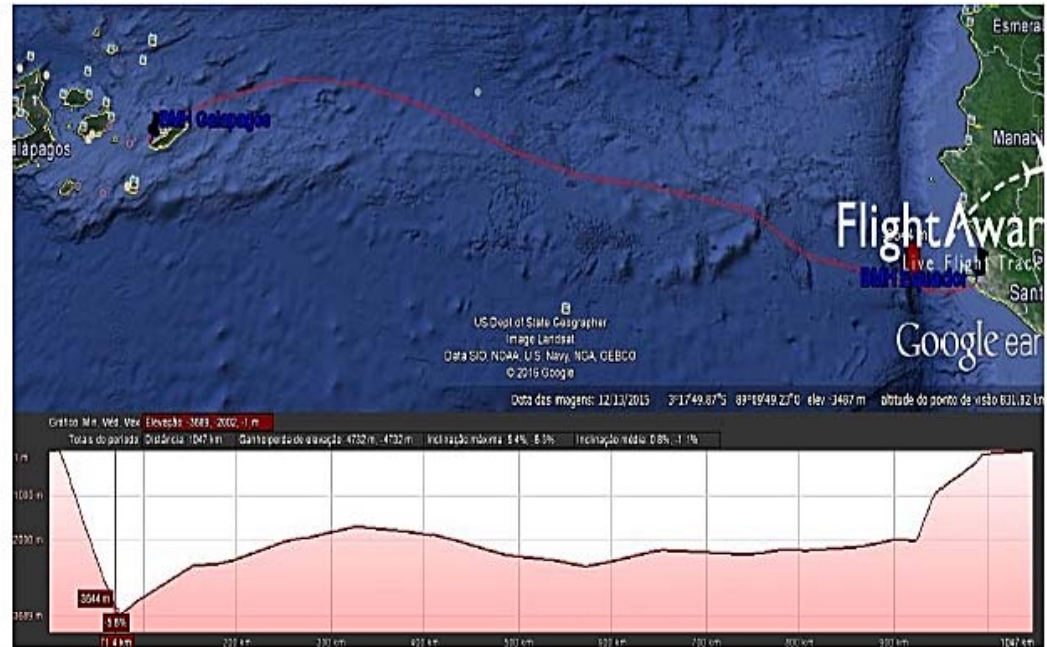
Junior Cable System High Level Summary	
Submarine Optical System Construction Contractor	Padtec contracted for the turn key construction, responsible for the overall technical solution, implementation and commissioning for the wet and dry plants.
Cable Segment & Length - wet plant	Shore ends and landings at: Rio de Janeiro (Praia da Macumba)-Santos (Praia Grande), ~390 Km, Fully buried.
Number of Fiber Pairs	8 Fiber Pairs
Number of Repeaters	3
Maximum capacity per FP (# 100G channels)	130 data channels
EOL Capacity per FP (Tbps)	13,00
Channel spacing	37,5 GHz
OSLA Band	C+ (40 nm)

SUBMARINE CABLE SYSTEM

SUBMARINE CABLE SYSTEM



←
DIRECTION OF LAY



CABLE SUMMARY

CABLE	LAND	DA	SA	LWP	LW	TOTAL	Reps
SYSTEM	7,000	6,000	133,000		907,000	1053,000	20
SLACK		0,1	1,3		9,1	10,460	
SPARE	1,000	5,000	10,000		50,000	66,000	2
TOTAL	8,000	11,060	144,330	0,000	966,070	1129,460	22

Notes 1 - Spare cable lengths and slack as assumed internally.
2 - Land cable lengths estimated

28/jul/16		
APP.	APP.	TITLE
		Equador - Galapagos Submarine System
PADTEC		

ARCOTEL SUBMARINE CABLE SYSTEM– PROPOSAL SCOPE

- Engineering,
 - Project Management,
 - SLTE (one 100G channel)
 - Cable supply,
 - Accessories supply,
 - Desktop Study (DTS),
 - Wet Plant Cable Route Survey,
 - Site surveys
 - Cable Load and Transportation,
 - Wet plant & Direct Shore End Installations,
 - Cable Burial at selected locations,
 - Shore end manholes and OGB construction.
 - Land cable and electroding cable installation,
 - Spare discharge at Ecuador continental port
 - As Laid & As Built Documentation.
-
- Note: Permits not included

SUBMARINE CABLE SYSTEM- PROPOSAL SCOPE

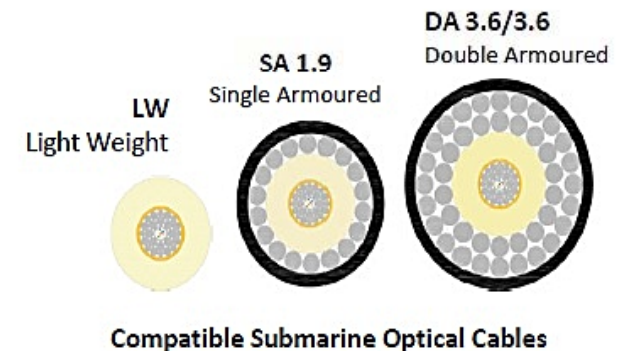


LightPad Platform SLTE

*Gen3 PFE - 5kV, 1.0A
PFE System*



Padtec's **OSLA** - Optical Submarine Line Amplifier embeds 12 EDFAs with very low noise figure. Its articulated mechanic was developed to support the most severe environments at very high depth.



SUBMARINE CABLE SYSTEM – PRICING

- Turnkey Installation Pricing is of **U\$ 43,300,000.00 DAP (Forty Three million, Three hundred thousand American dollars).**

REFERENCE BILLING MILESTONE	% TOTAL	PAYMENT TERMS
AT CONTRACT SIGNATURE	15	30 days from invoice
DESIGN REVIEW MEETING	10	30 days from invoice
END OF SURVEY & START OF CABLE MANUFACTURE	15	30 days from invoice
50% OF CABLE MANUFACTURE	10	30 days from invoice
CABLE FAT	5	30 days from invoice
MARINE MOB	5	
END OF MARINE INSTALLATION	30	30 days from invoice
SYSTEM COMMISSIONING & SPARE DISCHARGE	5	30 days from invoice
AS LAID & FINAL DOCUMENTATION	5	30 days from invoice

Padtec



padtec.com