



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE CONECTIVIDAD Y
DISEÑO DE RUTA FINAL DE FIBRA ÓPTICA PARA
ENLAZAR LAS ISLAS GALÁPAGOS AL CONTINENTE”**

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

DANIEL MICHEL CAMPOVERDE BOZA

MICHELLE IVETTE YAGER RODRIGUEZ

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

AGRADECIMIENTOS

A Dios sobre todas las cosas, por su bondad, amor y compañía, por levantarme en cada tropiezo y guiar mi camino.

A mis padres Stanley Alberto y María Alexandra, por ser ejemplo de lucha, por brindarme su apoyo y amor incondicional durante cada etapa de mi vida, motivándome a superarme cada día y lograr cumplir todas mis metas.

A mi hermana Alexandra Stephanie, por su comprensión y confianza, quien me ha brindado su sinceridad siempre.

Al Ing. César Yépez, por su paciencia y orientación durante la realización de este trabajo.

Y, por último, mi sincera gratitud a cada una de las personas que creyeron en mí y me apoyaron durante todos estos años de formación académica.

Michelle Yager Rodríguez

Quisiera comenzar agradeciéndole a Dios por estar junto a mí, cuidándome y dándome fuerza a cada paso que doy.

Agradezco profundamente a mis padres Daniel Campoverde y Yadira Boza, quienes me han dado su apoyo, confianza y amor a lo largo de mi vida y me dieron la educación y capacidad de llegar hasta este punto y convertirme en la persona que soy ahora.

A mis hermanos Danny Campoverde y Paola Campoverde que con su apoyo y alegría me ayudaron en momentos difíciles.

Al Ing. César Yépez, por su ayuda constante y guía durante la elaboración de este trabajo.

A Lorena Patiño por aconsejarme e inspirarme a siempre ser mejor persona y enseñarme que hay que esforzarse por lo que uno quiere.

Por último, quiero agradecer a todas las personas que me han ayudado y apoyado a llegar a este momento importante de mi vida.

Daniel Campoverde

DEDICATORIA

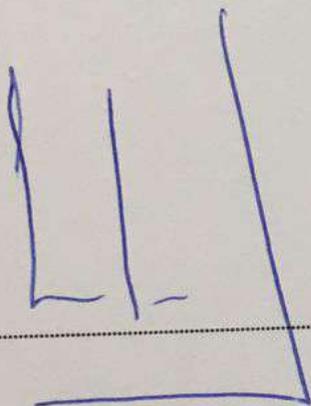
El presente proyecto lo dedico a mis padres, por demostrarme su amor diariamente, por estar presente en cada momento de mi existencia, en mis logros y fracasos, por sus enseñanzas, por su paciencia, por apoyarme siempre y ser el pilar fundamental de nuestra familia.

Michelle Yager Rodríguez

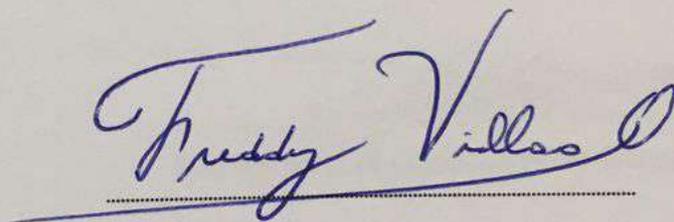
Este proyecto va dedicado a mis padres por todo el esfuerzo, compromiso y trabajo duro que tuvieron que realizar para darme la oportunidad de lograr mis metas y por todo el amor, apoyo y educación que supieron darme para ayudarme a llegar hasta este punto de mi vida.

Daniel Campoverde

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

A stylized handwritten signature in blue ink, consisting of several vertical and horizontal strokes.

Ing. César Yépez
PROFESOR EVALUADOR

A cursive handwritten signature in blue ink that reads "Freddy Villao".

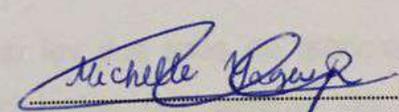
Dr. Freddy Villao PhD.
PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este trabajo de titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



.....
Daniel Michel Campoverde Boza



.....
Michelle Ivette Yager Rodríguez

RESUMEN

El presente documento tiene como finalidad proponer una alternativa que solucione los problemas de conectividad que poseen las islas Galápagos, mediante el previo análisis de los sistemas de conectividad actuales y que son empleados en esta zona geográfica. Se expone la utilización de los sistemas de comunicación óptica mediante el diseño de un enlace óptico por cable submarino que vincule a las Islas Galápagos dentro la red global de cables submarinos de fibra óptica y a su vez unir las comunicaciones de las islas con el territorio continental, mediante la realización de un análisis previo de las rutas de cables submarinos para el acceso internacional y de la capacidad soportada por cada una de estas para satisfacer la demanda actual y a futuro de los servicios de telecomunicaciones.

Se propone dicho proyecto con el propósito de mejorar considerablemente la calidad de los servicios de telecomunicaciones brindados en dicha zona, los mismos que actualmente son soportados por medio de tecnología satelital y que presenta limitación en su capacidad de transmisión y ancho de banda.

El análisis del diseño propuesto permite comparar los dos tipos de tecnología y destacar las ventajas que representaría la instalación del sistema de cable submarino de fibra óptica en el archipiélago para la prestación de servicios, tales como mejorar el ancho de banda y soportar altas tasas de transmisión al igual que reducir la latencia del enlace.

Se realiza un estudio de los posibles puntos de enlace entre la provincia de Galápagos y el continente, así mismo como la selección del más adecuado considerando aspectos técnicos, geográficos y demográficos. Adicionalmente se propone realizar un enlace entre dos de las islas principales del archipiélago. Esto permitirá mejorar las comunicaciones entre ambas islas al igual que optimizar la ruta del cable submarino.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN.....	iv
DECLARACIÓN EXPRESA.....	v
RESUMEN.....	vi
CAPÍTULO 1.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Descripción del problema.....	2
1.3 Justificación del proyecto.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivos generales.....	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 Metodología.....	5
1.6 Resultados esperados.....	6
1.7 Elementos diferenciadores.....	6
CAPÍTULO 2.....	8
2. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES EMPLEADOS EN LAS ISLAS GALÁPAGOS.....	8
2.1 Aspectos generales.....	8
2.1.1 Situación geográfica y demográfica.....	8
2.1.2 Acceso a Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) ...	8
2.2 Sistemas de telecomunicaciones.....	10
2.2.1 Enlaces troncales.....	10
2.3 Sistemas satelitales.....	11
2.3.1 Generalidades.....	11
2.3.2 Clasificación.....	12

2.3.3 Desarrollo cronológico en el Ecuador	12
3. ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE CABLE SUBMARINO DE FIBRA ÓPTICA.....	15
3.1 Fibra óptica	15
3.1.1 Generalidades	15
3.1.2 Fibra óptica multimodo.....	16
3.1.3 Fibra óptica monomodo	17
3.1.4 Ventajas y desventajas	17
3.1.5 Aplicaciones.....	20
3.2 Sistemas de cable submarino	20
3.2.1 Generalidades	21
3.2.2 Equipos de planta seca.....	22
3.2.3 Equipos de planta húmeda	22
3.2.4 Cable submarino.....	23
3.2.5 Red de cables submarinos.....	24
3.3 Comparación entre sistema satelital y sistema de cable submarino de fibra	24
4. ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE CABLE SUBMARINO DE FIBRA ÓPTICA.....	27
4.1 Cables submarinos que aterrizan en el país.....	27
4.1.1 Cable Submarino Panamericano (PAN-AM)	27
4.1.2 Cable Submarino Emergia (SAM-1).....	29
4.1.3 Pacific Caribbean Cable System (PCCS).....	31
4.1.4 Interconexión con cable submarino.....	32
4.2 Factores de diseño del enlace.....	34
4.2.1 Selección del cable submarino para el acceso.....	34
4.2.2 Ruta del cable submarino	38
4.2.3 Parámetros de los elementos del sistema.....	53
4.2.4 Sistema del enlace de cable submarino.....	60
4.3 Presupuesto óptico	62

4.3.1 Cálculos	63
4.3.2 Costos	67
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFÍA.....	72
ANEXOS	75

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Las telecomunicaciones han ido evolucionando de manera acelerada y buscando la forma de transmitir más información a velocidades cada vez más grandes. Para esto se han implementado varios métodos de modulación de señales que permiten transmitir información de una manera más eficiente, sin embargo, el medio por el cual se envía la información siempre ha representado una gran limitante para la velocidad de transmisión.

En la actualidad se utilizan varios medios para transmitir las señales de telecomunicaciones, ya sea por cables de cobre, cables coaxiales o a través del aire como medio inalámbrico, pero uno de los medios que permite transmitir la mayor cantidad de información es la fibra óptica.

Las comunicaciones ópticas ofrecen un mayor ancho de banda con altas tasas de transferencia, permitiendo realizar extensos recorridos mediante su tecnología de transferencia de luz. Debido a que la fibra óptica propaga pulsos luminosos, la información enviada es transmitida a la velocidad de la luz, convirtiéndose en el medio más óptimo para intercambiar grandes cantidades de información en el menor tiempo posible.

La fibra óptica constituye uno de los medios más utilizados en comunicaciones a largas distancias, conectando a los continentes por medio de las diferentes redes mundiales de fibra óptica que vinculan a varios países que son conocidas como enlaces de cables submarinos ya que estas fibras ópticas se encuentran sobre el lecho marino.

Es fundamental señalar que actualmente sólo tres cables submarinos llegan a Ecuador, tal como se muestra en la Tabla 1. El Cable Submarino Panamericano (PAN-AM), instalado en 1998, cuya capacidad no puede ser ampliada; el Cable Submarino Emergia (SAM-1), aterrizado en el 2007, que cuenta con escasa capacidad ya que conecta a toda Latino América; y el cable más reciente, instalado en el 2015, Pacific Caribbean Cable Systems (PCCS) implementado por la empresa TELCONET [1].

Cable Submarino	Punto de Aterrizaje	Año de Aterrizaje	Accionista en el Ecuador
PAN-AM	Punta Carnero	1998	CNT E.P.
SAM-1	Punta Carnero	2007	Telefónica
PCCS	Manta	2015	Telconet TV Cable

Tabla 1: Aterrizaje de cables submarinos en Ecuador [1].

1.2 Descripción del problema

El desarrollo apresurado de las telecomunicaciones ha ocasionado que la demanda de capacidad para acceso a redes internacionales crezca aceleradamente. Tomando en cuenta las condiciones naturales de las Islas Galápagos y su aislamiento geográfico del territorio continental, el mismo que ha representado un limitante para las comunicaciones entre las islas y el continente, los sistemas de conexión inalámbrica implementados para establecer comunicación internacional ya no abastecen la capacidad ni la efectividad de un servicio de comunicación de calidad.

La eficiencia de la tecnología instalada se va quedando atrás al ser comparada con nuevos sistemas que garantizan un mejor desempeño en el enlace, capaz de satisfacer el mercado de servicios de telecomunicaciones que demandan una alta tasa de transmisión de datos. La necesidad de emplear sistemas de comunicación óptica por cable submarino representa

una mejora en los servicios de telecomunicaciones brindados, además de satisfacer la demanda de banda ancha para gozar cómodamente de la conectividad entre las islas, el continente y el mundo.

1.3 Justificación del proyecto

Actualmente en el Ecuador existen 3 puntos de aterrizaje de cables submarinos: El cable Pan American (PAN-AM) cuyo punto de aterrizaje está ubicado en Punta Carnero, el cable Emergia (SAM-1) con aterrizaje también en Punta Carnero y el cable Pacific Caribbean Cable System (PCCS) cuya estación terminal está ubicada en Manta. Estas conexiones se encuentran en las costas del Ecuador pero debido a su gran capacidad se utilizan para brindar los servicios de telecomunicaciones a la mayoría del territorio ecuatoriano, conectando las 23 provincias de Ecuador, y le han permitido al Ecuador crecer en el ámbito de las telecomunicaciones, sin embargo la provincia insular de Galápagos también forma parte del territorio ecuatoriano pero debido a la distancia que existe entre las islas y el continente, se utilizan sistemas inalámbricos para los enlaces con las demás partes del Ecuador y estos sistemas limitan considerablemente la calidad de la comunicación.

Este proyecto promueve la utilización de sistemas de comunicación óptica mediante el diseño de un enlace óptico por cable submarino que conecte a las Islas Galápagos dentro la red potente de cables submarinos, para que, en beneficio de los habitantes de las Islas, se puedan aprovechar los avances en telecomunicaciones que se han venido ejecutando en el Ecuador.

Adicionalmente se reconoce que, para poder atender la demanda creciente de servicios de telecomunicaciones en las islas, se necesita contar con nuevas tecnologías que garanticen servicios de primera calidad, aportando una mayor tasa de transmisión de datos, mayor acceso a banda ancha y mejor conectividad, tal como lo hacen los cables submarinos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivos generales

- Diseñar un enlace de fibra óptica mediante un sistema de cable submarino para conectar las Islas Galápagos con Ecuador continental que brinde servicios de telecomunicaciones y proporcione conectividad con el continente y el mundo.

1.4.2 Objetivos específicos

- Conocer la tecnología que actualmente es empleada para brindar servicios de telecomunicaciones dentro de las Islas Galápagos.
- Describir la situación actual de los servicios de telecomunicaciones prestados en las Islas Galápagos.
- Analizar las ventajas que posee un enlace de fibra óptica y cómo favorecerían el acceso a las comunicaciones con las Islas Galápagos.
- Estudiar las características y entorno de los sistemas de cable submarino de fibra óptica existentes en el Ecuador y seleccionar adecuadamente cuál es el cable submarino más óptimo para establecer el enlace.
- Identificar los parámetros y condiciones pertinentes que deberá poseer el enlace por cable submarino.
- Determinar los puntos de conexión donde se establecerá el enlace óptico para aterrizar el cable en las Islas Galápagos y la solución para la interconexión con los cables submarinos existentes.
- Proponer y diseñar los parámetros principales que tendrá el enlace de fibra óptica.

1.5 Metodología

Es necesario realizar una etapa investigativa para tener claro el tipo de tecnología que está siendo empleada en las telecomunicaciones correspondientes al tráfico entrante y saliente de las Islas Galápagos. También se debe investigar los aspectos técnicos, como la velocidad máxima de transmisión, cantidad de canales permitidos y el costo de instalación y mantenimiento de este enlace.

Posteriormente, se debe plantear el escenario actual de los servicios de telecomunicaciones brindados dentro del territorio de las islas para conocer su calidad y demanda, así mismo, cuáles son los operadores que establecen tráfico saliente y entrante a las Islas Galápagos y el ancho de banda que asignan para esa comunicación.

Una vez establecido qué tipo de sistemas y clase de tecnología son utilizados para las comunicaciones, así como la calidad de sus servicios, se realiza una comparación entre esta tecnología y los sistemas de comunicación óptica por cable submarino para analizar varios parámetros que podrán determinar la necesidad de un enlace de fibra óptica.

Se realiza un breve estudio incluyendo una descripción del entorno y las características principales de cada uno de los cables submarinos que actualmente aterrizan en el Ecuador, de los que se puede realizar un punto de conexión con el archipiélago.

Previo a la etapa de diseño del enlace, se realiza la selección del posible cable submarino existente en las cercanías del territorio y que aterriza en las costas ecuatorianas del cual se derivará la conexión más óptima para anexas a las Islas Galápagos a la red de cables submarinos de fibra óptica.

Se debe observar los diseños de los enlaces de fibra óptica que se han realizado para consecutivamente reconocer todos los factores que se deben tomar en consideración al momento de diseñar un enlace de fibra óptica por cable submarino. También se debe conocer las regulaciones y

requerimientos legales que existen en el Ecuador y se deben cumplir para brindar servicios de telecomunicaciones por medio de cable submarino.

Una vez que se tienen los parámetros y características del enlace, corresponde determinar los puntos de conexión en los cuales se debe establecer el mismo. Se debe fijar en cuál isla del archipiélago de Galápagos conviene realizar el punto de aterrizaje del cable submarino.

Inmediatamente después de que se han identificado los diversos factores concernientes al tópico y que se deben tomar en cuenta para el diseño del enlace, se procede a realizar el diseño del mismo aplicando debidamente estos factores para determinar las características que tendrá el enlace de fibra óptica.

1.6 Resultados esperados

Mejorar considerablemente la calidad de los servicios de telecomunicaciones del archipiélago y que, de igual manera, permita al archipiélago aprovechar los servicios ofrecidos por los cables submarinos instalados en las costas del Ecuador.

Determinar todos los beneficios que este enlace podría brindar a las islas Galápagos.

1.7 Elementos diferenciadores

El archipiélago de Galápagos fue declarado un patrimonio natural de la humanidad en el año 1979 y Reserva de la Biosfera en el año 1985 por la Unesco. Estas islas son conocidas por su gran cantidad de especies endémicas y por los estudios realizados por Charles Darwin que le llevaron a establecer su teoría de la evolución y gracias a esto las actividades principales que se llevan a cabo en estas islas son el turismo y la investigación. Debido a esto consideramos que es importante que se debería brindar un servicio de telecomunicaciones de calidad que permita a los turistas tener una mejor experiencia al visitar las islas Galápagos y que ayude al desarrollo de las investigaciones que se están llevando a cabo en

las islas Galápagos ya sea con la transmisión de datos o con las comunicaciones entre islas y con el continente.

El presente proyecto se destaca por el hecho de que brinda una solución viable para mejorar los sistemas de comunicación del país, en este caso específico en Galápagos, archipiélago conocido a nivel mundial por su gran atractivo turístico internacional y biodiversidad, por lo que es de considerar la relevancia que tiene brindar acceso a servicios de telecomunicaciones de calidad y rapidez, con altas tasas de transmisión y ancho de banda, contando con lo último en tecnología como lo es la fibra óptica para beneficiar tanto a los habitantes de las islas como a sus visitantes, permitiendo a los turistas tener una mejor experiencia al visitar las islas y que ayude al desarrollo de las investigaciones que se están llevando a cabo en las mismas.

CAPÍTULO 2

2. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES EMPLEADOS EN LAS ISLAS GALÁPAGOS

2.1 Aspectos generales

2.1.1 Situación geográfica y demográfica

Las islas Galápagos constituyen una de las 24 provincias que conforman la República del Ecuador, denominada también la provincia de Galápagos. Se encuentra ubicada a 972 km de la costa del Ecuador continental, como se puede apreciar en la Figura 2.1. El archipiélago está conformado por 22 islas y 107 islotes ocupando un territorio de aproximadamente 8101 km². De acuerdo con el censo nacional realizado en el 2015, el número de habitantes de las islas asciende a 25244 personas [2].



Figura 2.1: Ubicación geográfica de las Islas Galápagos [3].

2.1.2 Acceso a Tecnologías de Información y Comunicación (TIC)

En base a los datos obtenidos por los censos realizados en el Ecuador, se establece que aproximadamente el 70,2% de la población de Galápagos cuenta con teléfono celular activado, convirtiéndose en la provincia con mayor cantidad de celulares

activos en el Ecuador, siendo la provincia de Pichincha quien ocupa el segundo lugar con el 64,6% de los habitantes con teléfonos celulares activos [4].

Entre otras cifras, también se determinó que el 68,4% de los habitantes utilizan computadora, siendo la provincia con mayor uso de computadoras. Adicionalmente el porcentaje de personas que habitan en las islas Galápagos que utilizan internet, según la encuesta realizada en el año 2016, es del 78,7% siendo la provincia con mayor uso de internet del Ecuador [4].

En el año 2016 se establece que el porcentaje de personas que habitan las islas y que tienen acceso a las TIC dentro de Galápagos es del 79,5%, sin embargo, el porcentaje de hogares que cuenta con acceso a internet es de apenas 38,4% [4].

La cobertura de los servicios de telecomunicaciones en las islas Galápagos es una de las mejores del Ecuador, sin embargo, la capacidad de los servicios de Internet es reducida por lo que la calidad de estos servicios se ve afectada. La distancia entre el archipiélago y el territorio continental hace que se vuelva costoso introducir un enlace troncal para acceder a las otras redes de telecomunicaciones y la distancia existente entre cada una de las islas dificultan la implementación de una red local de telecomunicaciones principalmente para los servicios de internet y televisión por cable.

Una solución que se implementó para sobrepasar las dificultades de las grandes distancias que existe en esta red fue utilizar sistemas de telecomunicaciones inalámbricos por medio de satélites.

2.2 Sistemas de telecomunicaciones

Actualmente existen zonas que no pueden ser cubiertas por infraestructura cableada de telecomunicaciones, por lo tanto, utilizan la tecnología satelital para el acceso a servicios de telecomunicaciones. Los satélites de comunicación se han utilizado para proveer servicios tales como televisión, telefonía, internet y radiodifusión dentro de extensas zonas geográficas donde no es factible la presencia de otras tecnologías para comunicación.

2.2.1 Enlaces troncales

Para brindar servicios de telecomunicaciones a una zona es necesario utilizar un enlace troncal. Un enlace troncal se define según la UIT (UIT-T Rec.G769) como una conexión bidireccional que consta de un canal hacia adelante y un canal hacia atrás entre las centrales de conmutación (centros de conmutación internacionales) [5], es decir que un enlace troncal, representado por la Figura 2.2, permite interconectar dos redes entre sí y es por medio de estos enlaces troncales que los proveedores de servicios de telecomunicaciones pueden brindar uno o varios servicios a diferentes zonas o incluso conectar dos redes de diferentes proveedores y hasta de diferentes países.

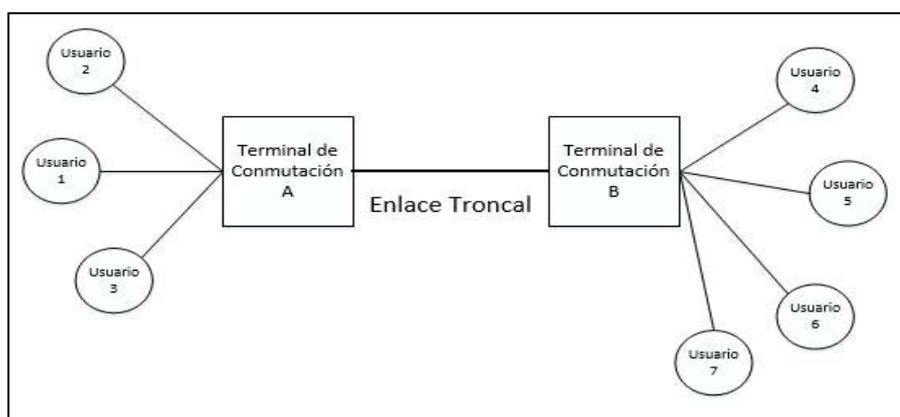


Figura 2.2: Diagrama de enlace troncal.

Uno de los problemas principales que existe al momento de diseñar un enlace troncal para brindar servicios de telecomunicaciones a una zona es la distancia que existe entre ambos puntos del enlace. Esto presenta un gran problema al momento de realizar un enlace troncal con Galápagos ya que la distancia es sumamente grande y la separación entre ambos puntos es una parte del Océano Pacífico por lo que resultaba extremadamente costoso realizar un enlace físico. Debido a esto se optó a utilizar un enlace inalámbrico como enlace troncal y así resolver el problema de distancia y las dificultades del ambiente entre ambos puntos.

2.3 Sistemas satelitales

2.3.1 Generalidades

De acuerdo con el Plan Nacional de Frecuencias del Ecuador, se define a un satélite como un cuerpo de masa preponderante y cuyo movimiento está principalmente determinado, de modo permanente, por la fuerza de atracción de este último [6]. En el ámbito de las telecomunicaciones, se han desarrollados satélites que permiten transmitir o retransmitir señales de radiocomunicación y abre paso a la capacidad de establecer enlaces de telecomunicaciones a largas distancias por medio de los satélites, apreciado en la Figura 2.3. Un enlace por satélite es un enlace radioeléctrico efectuado entre una estación terrena transmisora y una estación terrena receptora por medio de un satélite [7].

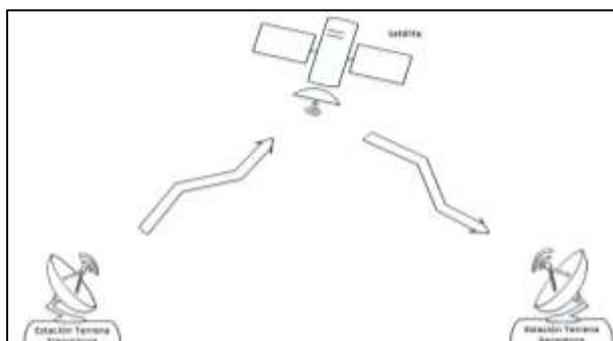


Figura 2.3: Diagrama de enlace satelital.

2.3.2 Clasificación

Los satélites que se utilizan para las comunicaciones se pueden clasificar según su órbita. Existen los satélites de órbita baja (LEO) que orbitan la Tierra a una distancia de entre 160 a 2000 km de altura desde la superficie. Luego están los satélites de órbita media (MEO) que orbitan la Tierra a una distancia de entre 10000 km desde la superficie [8]. También están los satélites de órbita altamente elíptica que como su nombre lo indica, su órbita no es circular, sino que sigue una forma elíptica y por último están los satélites geosincrónicos cuya velocidad de traslación alrededor de la Tierra es igual a la velocidad de rotación de la Tierra. Si la órbita de estos satélites geosincrónicos es alrededor de la línea ecuatorial de la Tierra se los conoce como satélites geoestacionarios ya que siempre se encuentran suspendidos sobre el mismo punto del globo terrestre. Estos satélites usualmente están a 36000 km de altura desde la superficie de la Tierra.

2.3.3 Desarrollo cronológico en el Ecuador

Aproximadamente en el año 1992, se lanzó a órbita el satélite geoestacionario INTELSAT VI. Este satélite contaba con una capacidad de 24000 canales que se podía aumentar hasta 120000 canales por medio del Equipo de Multiplexación de Canales o DCME [9]. En el año 1992 se instaló una estación terrena en la isla de San Cristóbal en Galápagos y la otra en Guayaquil y de esta manera existía una conexión entre las islas Galápagos y el territorio continental del Ecuador por medio de un enlace satelital.

La estación terrena de Guayaquil tenía operación multidespacho en donde uno de estos era la estación terrena en Galápagos. Inicialmente se utilizaban enlaces con tecnologías IDR-DCME que permitía una velocidad de 8.448 Mbps. Al enlace con Galápagos se le asignó 24 canales analógicos, pero para el año 2000 la capacidad que se asignó al enlace con Galápagos en la estación terrena de Guayaquil era de 120 canales con 2 Mbps cada uno [9]. Este enlace

satelital permitía a las islas Galápagos tener una comunicación con las demás partes del territorio ecuatoriano y con el mundo.

Para las nuevas generaciones de servicios son necesarios satelitales con características mejoradas respecto a los satélites tradicionales. A estos satélites se los conoce como satélites de alto rendimiento o High Throughput Satellite (HTS). Los sistemas HTS ofrecen altas capacidades de transmisión aprovechando los recursos espectrales de las bandas altas debido a que su cobertura es de zonas más pequeñas que la de los satélites geoestacionarios y la reutilización de las frecuencias permite que el ancho de banda sea 20 veces mayor al de los satélites tradicionales [10].

En el 2015, la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT) lanzó un servicio troncal de telecomunicaciones utilizando sistemas HTS por medio de las redes satelitales O3b. Algunos sistemas HTS, como el sistema O3b, utilizan la tecnología de múltiples haces en la banda Ka con el fin de ofrecer acceso de banda ancha en un área geográfica más extensa a los diferentes terminales que forman el sistema [10]. Debido a que las soluciones de banda ancha terrestre no cubren grandes territorios, una de las alternativas es la banda ancha vía satélite.

La red de satélites O3b es una red comercial conformada por 12 satélites de comunicación del tipo HTS de órbita media (MEO) localizados en el plano ecuatorial que permite una cobertura geográfica más extensa. Los satélites están ubicados a 8062 km de altura desde la superficie de la Tierra. Los haces de los satélites trabajan en la banda Ka (frecuencias desde 26.5 hasta 40 GHz) y ofrecen coberturas óptimas a latitudes de 45° al norte y al sur. La red de 12 satélites de O3b ofrece un total de 70 haces de cobertura en donde cada haz ofrece una cobertura de 700 km de diámetro y una velocidad de comunicación de hasta 2 Gbps [10].

CNT provee servicios móviles, de telefonía, televisión satelital y de internet a las islas Galápagos por medio de los satélites de órbita media de O3b. Durante aproximadamente 20 años se utilizaban los satélites geoestacionarios para establecer la conectividad con las islas, pero con los satélites de órbita media se logró tener una conexión con menor latencia, mayor velocidad y mejor calidad. La velocidad de la comunicación con los satélites de O3b es comparable con la de la fibra óptica y la latencia de los enlaces con los satélites de O3b es aproximadamente la mitad que la de los satélites geoestacionarios, la cual está alrededor de los 150 milisegundos [11].

Cabe mencionar que en la visita efectuada a las islas de Santa Cruz y San Cristóbal en la provincia de Galápagos se pudo apreciar las limitaciones en la capacidad de los servicios de internet fijo y servicio móvil avanzado. En el caso de internet fijo, en ninguna red se lograba tener velocidades mayores a 1 Mbps y en redes de acceso público solo se llegaba a una velocidad máxima de 100 Kbps. Para el servicio móvil avanzado, se lograba obtener una conexión de tecnología 3G mientras que en otras partes del Ecuador se logra tener conectividad de 4G para los servicios móviles avanzados. Estas velocidades de transmisión no son suficientes para ser consideradas banda ancha por lo que los enlaces satelitales no son suficiente para proveer un servicio de telecomunicaciones de calidad en las islas Galápagos.

CAPÍTULO 3

3. ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE CABLE SUBMARINO DE FIBRA ÓPTICA.

3.1 Fibra óptica

La fibra óptica es una guía de onda muy delgada y transparente, hecho de vidrio, el cual es utilizado como medio físico para la transmisión de datos mediante la conducción de pulsos luminosos.

3.1.1 Generalidades

Como se puede observar en la Figura 3.1, cada hilo está compuesto por un elemento central de alto índice de refracción denominado núcleo, envuelto por una capa de material con índice de refracción menor llamada recubrimiento, características físicas que permiten que la luz viaje a través del núcleo de la fibra, sin atravesar el recubrimiento, fundamentándose en el principio de reflexión total interna y las leyes de la óptica geométrica. Adicionalmente cuenta con una capa de protección primaria, conocida como revestimiento, que la resguarda contra daños físicos al momento de manipular el hilo.

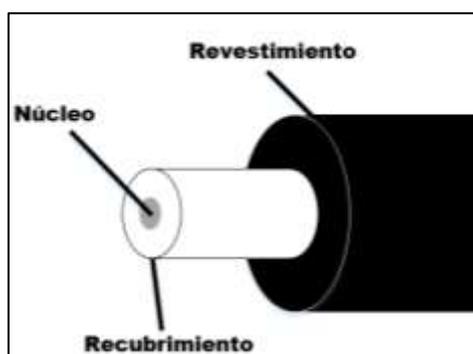


Figura 3.12: Elementos de la fibra óptica.

Debido a la forma en que se propagan los haces de luz dentro del núcleo, los dos tipos básicos de fibra son multimodo y monomodo.

3.1.2 Fibra óptica multimodo

Es aquella que permite la propagación de las señales luminosas en más de un modo. Los haces de luz que viajan por el núcleo recorren diferentes trayectorias o modos, lo que implica una posible dispersión, ocasionando una reducción del ancho de banda.

Son generalmente utilizadas con fuentes LED que trabajan entre la primera y segunda ventana óptica, con longitudes de onda de 850nm y 1310nm. Preferentemente empleadas para cortas distancias, que no superen los 2 km [12].

Existen dos tipos básicos de perfiles de índice de refracción para las fibras ópticas multimodo mostrados en la Figura 3.2, escalonado y gradual.

- Multimodo Perfil Escalonado: El núcleo tiene un índice de refracción constante. Poseen mayor atenuación y una alta dispersión modal, ofreciendo un menor ancho de banda. La relación de diámetros núcleo/recubrimiento es de 50/125 ó 62,5/125 micrómetros [12].
- Multimodo Perfil Gradual: Caracterizado por tener un índice de refracción variable en función al radio del núcleo. Presenta baja dispersión modal y ofrece un ancho de banda mayor. La relación de diámetros núcleo/recubrimiento es de 100/140 micrómetros [12].

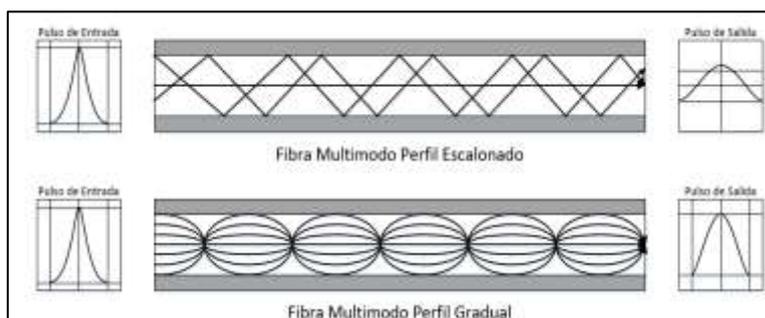


Figura 3.2: Propagación de la luz en fibra multimodo.

3.1.3 Fibra óptica monomodo

La luz se propaga en un sólo modo dentro del núcleo, como se aprecia en la Figura 3.3, en forma de un rayo que viaja paralelamente al eje de la fibra. Posee un núcleo mucho más pequeño, con un diámetro de aproximadamente 9 micrones.

Comúnmente utilizadas con fuentes láser, con longitudes de onda de 1310nm y 1550nm, permitiendo alcanzar largas distancias ofreciendo un elevado ancho de banda [12].

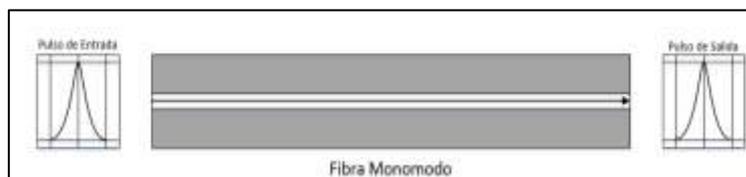


Figura 3.3: Propagación de la luz en fibra monomodo.

3.1.4 Ventajas y desventajas

Dentro del campo de las telecomunicaciones, es ampliamente utilizada como medio de transmisión en los sistemas de comunicación debido a las ventajas que esta presenta frente a los otros tipos de medios físicos, entre estas destacan las siguientes:

- Gran ancho de banda.

La capacidad de transmisión de datos aumenta con el ancho de banda del medio de comunicación y la frecuencia de la portadora. Las fibras ópticas poseen una gran capacidad de transmisión, debido a

que, dentro del espectro radioeléctrico, las frecuencias de la luz son de una magnitud con orden superior a las frecuencias de las ondas de radio. Al incrementar el número de canales con distintas longitudes de onda en bandas de frecuencia elevada permite alcanzar tasas de hasta 10 Gbps.

- Alta velocidad de transmisión.

Las señales enviadas a través de cables de fibra óptica recorren la fibra a velocidades cercanas a la velocidad de la luz, aproximadamente 3×10^8 m/s, por lo que la información viaja rápidamente por el medio.

- Baja atenuación.

Las pérdidas nos indican qué tan lejos puede ser enviada la información. En un cable de fibra óptica la atenuación se mantiene constante para un extenso rango de frecuencias, permitiendo a la señal recorrer largas distancias siendo sutilmente atenuada. Para casos de mayor atenuación será requerido el uso de repetidores en ciertos puntos intermedios de la ruta de transmisión.

- Inmunidad electromagnética.

Las fibras ópticas, a diferencia de los cables de cobre, no emiten radiación electromagnética por lo que no sufren de problemas de interferencia electromagnética (IEM) entre sí. La IEM suele distorsionar la señal, afectando la transmisión digital y ocasionando la presencia de errores. Los cables de fibra pueden ser tendidos junto a líneas de alto voltaje sin ningún problema.

- Cables flexibles, livianos y duraderos.

En comparación con los cables de cobre, las fibras ópticas poseen un peso considerablemente más ligero, haciéndola más livianas y fáciles de transportar. Además de que un cable de fibra óptica es más pequeño que uno de cobre y que una sola fibra puede reemplazar a varios conductores de cobre.

Así mismo, cuenta con algunas desventajas que son consideradas a continuación:

- Manipulación frágil.

La fibra óptica de vidrio debe ser manipulada con gran cuidado, puesto que no puede ser doblado ni tensionado ya que la fibra podría romperse.

- Alto costo de equipos transmisores y receptores.

Los equipos de transmisión óptica suelen alcanzar costos elevados dependiendo de la aplicación o sistema óptico a implementar. El costo de los repetidores ópticos representa una alta inversión por el hecho de que estos deben ser instalados cada cierta distancia dentro de la ruta de transmisión.

- Empalmes y reparaciones de ruptura de fibra suelen ser dificultosos.

La manipulación de la fibra óptica para su instalación suele ser frágil, y más aún cuando se debe realizar una reparación. La fibra debe ser manipulada cuidadosamente, para no comprometer su desempeño. Asimismo, al realizar empalmes estos aportan pérdidas a la señal, por lo que deben ser hechos con cautela.

- Requiere realizar conversiones óptico-eléctricas.

Las señales que viajan a través del medio de fibra óptica son señales de luz, por lo que los equipos terminales deben realizar una conversión de la señal tipo óptico-eléctrica o eléctrico-óptica según sea el caso.

- Limitante al no poder transmitir a elevadas potencias.

Al transmitir señales ópticas a elevados niveles de potencia es común encontrarse con la presencia de los efectos no lineales que afectan la transmisión del rayo de luz.

3.1.5 Aplicaciones

La fibra óptica es empleada como medio de transmisión físico para redes de telecomunicaciones, siendo agrupada en forma de hilos conductores dentro de un cable.

Las fibras ópticas multimodo son utilizadas generalmente en aplicaciones troncales dentro de edificios, debido a su alta capacidad, para redes de abonados cercanas al usuario. Las fibras ópticas monomodo se usan dentro de aplicaciones para cables submarinos, cables interurbanos, entre otros.

Entre las aplicaciones también encontramos:

- Instalación de cables de fibra óptica para comunicaciones en general.
- Instalación de sistemas de comunicación por medio de fibra óptica submarina.
- Instalación de cables de fibra óptica como aplicación de un cable de televisión.
- Instalación de cables de fibra óptica con el fin de realizar pruebas nucleares.
- Uso de fibra óptica para aplicaciones médicas, tales como el uso de láser y haz de fibras ópticas.
- Uso de fibra óptica para mediciones remotas de temperatura y presión, comprendidas en medios radioactivos.
- Uso de fibra óptica para transmisión de imágenes como aplicación de inspección.

3.2 Sistemas de cable submarino

La instalación de cableado submarino para la primera comunicación transoceánica fue de gran importancia a mediados del siglo XIX. A partir de este periodo el progreso de los sistemas de cable submarino fue creciendo

lentamente, ofreciendo su primer gran avance en el desarrollo de las comunicaciones con la introducción de las fibras ópticas en cables submarinos 10 años después. Con la inclusión de la fibra se logró incrementar notablemente la capacidad del cable, haciendo posible la transmisión de más de 100 millones de llamadas telefónicas simultáneas a través del océano.

3.2.1 Generalidades

Los sistemas de cable submarino constituyen un arreglo de equipos conformando enlaces de comunicación que permiten el transporte y la distribución de información entre continentes y países a nivel mundial. Una red de cable submarino interconecta tres o más estaciones a través del mismo sistema de cable submarino de fibra óptica. Las redes que existen en la actualidad permiten lograr la conectividad global en cualquier parte del mundo.

Un sistema de cable submarino de fibra óptica está dividido en dos partes o tramos principales:

- Tramo terrestre: Conocido como planta seca. Porción entre la interfaz del sistema en la estación terminal y el punto de amarre existente. Está constituido por componentes que permiten transmitir, receptar y controlar las comunicaciones, incluyendo el equipo terminal del sistema, la unión a tierra, el generador de potencia y el cable terrestre de fibra óptica.
- Tramo submarino: Conocido como planta húmeda. Porción del sistema tendido sobre el lecho marino, entre el punto de amarre y el equipo submarino. Está constituido por los elementos situados bajo el mar, incluyendo repetidores ópticos, unidades de bifurcación y el cable submarino de fibra óptica.

3.2.2 Equipos de planta seca

➤ Equipo de alimentación del cable

La fuente de alimentación suministra una corriente eléctrica constante y estable a través del conductor del cable submarino de fibra óptica, con el fin de alimentar a los equipos de planta húmeda tales como repetidores y/o las unidades de bifurcación.

➤ Equipo de terminación del cable

Proporciona la interfaz entre la fibra óptica desde el equipo terminal de transmisión y la fibra óptica desde el cable submarino, así como la interfaz entre la línea de alimentación del equipo de alimentación de energía y el conductor del cable de fibra óptica.

El transmisor opera mediante la modulación de un láser semiconductor, la luz óptica es modulada encendiendo y apagando para constituir los bits de información.

El receptor contiene semiconductores detectores para cada longitud de onda posterior a la demultiplexación, los bits de información son reconstruidos.

➤ Controlador de mantenimiento

Permite al operador monitorear y controlar los sistemas de la planta seca con el fin de obtener información de su estado y activar alarmas en caso de fallas. Constituido por un computador con una interfaz para el equipo de supervisión y mantenimiento a distancia.

3.2.3 Equipos de planta húmeda

➤ Repetidor submarino óptico

Equipo que incluye uno o más regeneradores o amplificadores, y dispositivos asociados, en el tramo submarino. Los repetidores contienen amplificadores ópticos basados en amplificación láser, regeneran las señales ópticas después de su atenuación por la

propagación a lo largo de la fibra. Recibe la señal débil, atenuada, y la retransmite a un nivel de potencia más alto para poder cubrir una mayor distancia.

➤ **Unidad de bifurcación**

Equipo que conecta más de dos secciones de cable submarino de fibra óptica. Diverge el cable submarino desde el tramo principal hacia tramos secundarios o ramales. Permiten más conexiones entre puntos de aterrizaje o a la distribución de parte del tráfico a un punto secundario.

3.2.4 Cable submarino

Se denomina cable submarino de fibra óptica al cable que utiliza líneas ópticas para la transmisión de señales y que se encuentra instalado sobre el lecho marino, con el fin de ofrecer servicios de telecomunicaciones [13].

El cable está compuesto de un núcleo óptico con protección a las fibras ópticas, rodeado por un conductor de cobre que es utilizado para alimentar al equipo sumergido desde la orilla y está cubierto por un aislante para protegerlo del mar. La fortaleza mecánica se obtiene por medio de alambres de acero con capas de alambres adicionales que son importantes para la protección de la fibra ante agresiones externas.

Estructuralmente se encuentra dividido en varias capas de diferentes materiales, que son apreciables al hacer un corte transversal, consideradas especialmente para darle flexibilidad, resistencia y principalmente para proteger la fibra óptica del sistema.

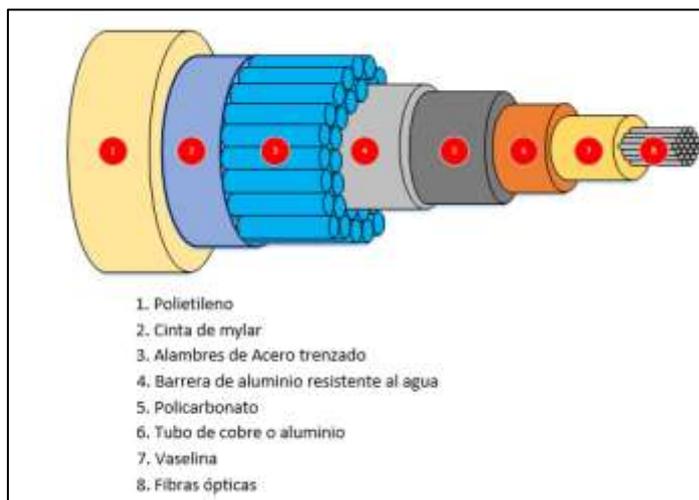


Figura 3.4: Estructura de cable submarino.

3.2.5 Red de cables submarinos

Existen varios sistemas de cableado submarino que conectan el mundo, sumando más de un millón de kilómetros de recorrido, entre ellos 70 constituyen sistemas de cable submarino de fibra óptica con una longitud estimada de 500 mil kilómetros.

Los cables de fibra óptica ofrecen una capacidad de transmisión mucho mejor que los cables de cobre, permitiendo alcanzar 10 Gbps sin multiplexación, y se han convertido en el medio más utilizado para acceder al tráfico internacional.

3.3 Comparación entre sistema satelital y sistema de cable submarino de fibra

Actualmente, el sistema de transmisión empleado en las islas para las comunicaciones internacionales es el satélite, el cual es capaz de brindar un servicio eficaz pero los cables submarinos se adecuan más a las necesidades actuales que tienen los prestadores de servicios de telecomunicaciones.

Características	Cable submarino	Comunicación satelital
Capacidad	De los cables submarinos, el PCCS posee la más alta capacidad, alcanzando un máximo de 200 Gbps con los 2 hilos de fibra óptica que llegan.	Se tiene en órbita una flota de 12 satélites, cada uno con 10 haces de 2 Gbps, sumando una capacidad total de más de 100 Gbps.
Tiempo de vida	Suele tener una vida de 25 años.	Tiene una duración entre 10 a 15 años
Factores externos	Sistema inmune a interferencias electromagnéticas y ruido. Es independiente a las condiciones climáticas.	Sensible al ruido y a las interferencias. Su rendimiento es afectado debido a una alta sensibilidad a factores atmosféricos.
Latencia	No existen retardos considerables por lo que su tiempo de propagación es muy bajo.	Presenta retardos que se deben a la gran distancia de recorrido (72000 km), por lo que tienen una latencia alta. (150 ms)
Costos	Sensibles a la distancia de recorrido del cable, sin embargo, el equipo utilizado es relativamente de bajo costo.	Inversión inicial y costos de mantenimiento muy elevados.

Tabla 2: Comparación de tecnologías satelital con fibra submarina.

En la Tabla 2, las comunicaciones satelitales presentan ventajas al ofrecer una conectividad punto-multipunto, que beneficiaría a la prestación de servicios tales como televisión e internet, cubriendo una parte de la demanda de transmisión, pero los sistemas de cable submarinos de fibra óptica punto-punto siguen siendo la base de la red mundial de telecomunicaciones.

La importancia de los cables de fibra submarinos es enorme. Los cables submarinos concentran la mayor parte de los datos transmitidos en el

mundo, con alrededor del 90% del tráfico. El 10% restante se transmite mediante satélites.

CAPÍTULO 4

4. ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE CABLE SUBMARINO DE FIBRA ÓPTICA

4.1 Cables submarinos que aterrizan en el país

La fibra óptica constituye uno de los medios más utilizados en comunicaciones a largas distancias, conectando a los continentes por medio de las diferentes redes mundiales de fibra óptica que vinculan a varios países que son conocidas como enlaces de cables submarinos ya que estas fibras ópticas se encuentran sobre el lecho marino.

Como se señaló anteriormente, existen 3 cables submarinos que aterrizan en las costas del Ecuador. Estos cables son el Cable Submarino Panamericano, el Cable Submarino Emergia y el cable PCCS, especificados en la Tabla 1. Se hará un análisis de las características de estos cables para decidir cuál de estos es el más adecuado para conectar el enlace con las demás redes mundiales.

4.1.1 Cable Submarino Panamericano (PAN-AM)

El cable Panamericano (PAN-AM), mostrado en la Figura 4.1, es un cable submarino de fibra óptica diseñado para brindar conectividad a Sudamérica y el Caribe. Los países que usan el cable son: Chile, Perú, Ecuador, Colombia, Venezuela, Aruba, Panamá y Estados Unidos. El cable mide 14490 km y consta de 2 pares de fibras, configuradas en 4 anillos, explicados en la Tabla 3, y tiene una vida útil de 25 años.

Anillo	Ciudades conectadas	Capacidad
Anillo de las Islas Vírgenes	Isla de Saint Thomas (Estados Unidos), Isla de Saint Croix (Estados Unidos)	5 lambdas
Anillo del Caribe	Isla de Saint Croix (Estados Unidos), Punto Fijo (Venezuela), Barranquilla (Colombia), Colón (Panamá), Panamá (Panamá), Baby Beach (Aruba)	5 lambdas
Anillo de Panamá	Colón (Panamá), Panamá (Panamá)	5 lambdas
Anillo del Pacífico	Panamá (Panamá), Punta Carnero (Ecuador), Lurín (Perú), Arica (Chile)	4 lambdas

Tabla 3: Anillos del cable submarino PAN-AM [14].



Figura 4.1: Recorrido del cable submarino PAN-AM [15].

Inicialmente el cable submarino Panamericano utilizaba la tecnología Synchronous Digital Hierarchy (SDH) para transmitir los datos y esto le permitía una capacidad de transmisión de 2.5 Gbps por cada lambda. En el año 2010 se amplió la capacidad del cable submarino cambiando la tecnología a Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) que permite una capacidad de transmisión de 10 Gbps por cada lambda [14].

Actualmente la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT) tiene el 60% de la capacidad del anillo 4 del cable submarino Panamericano, sin embargo, este cable submarino ya se encuentra saturado y no es posible ampliar la capacidad ni asignarle más tráfico de datos.

4.1.2 Cable Submarino Emergia (SAM-1)

El cable Emergia (SAM-1), mostrado en la Figura 4.2, es un cable submarino de fibra óptica de propiedad de la compañía Telefónica y está diseñado para cubrir la creciente demanda de comunicaciones internacionales a nivel de América Latina. Los países que inicialmente usaban el cable en el año 2000 son: Estados Unidos, Puerto Rico, Guatemala, Brasil, Perú, Argentina y Chile y en el año 2007 se agregó a Ecuador y Colombia. Este cable submarino provee a los países conectados con mayor velocidad, capacidad y una mejor calidad de servicios de telecomunicaciones. Tiene una longitud de 25000 km y consta de 4 pares de fibras ópticas, sin embargo, a Ecuador solo llegan 2 pares de fibras ópticas por medio de una unidad de bifurcación (BU-3A) que a su vez se conecta con otra unidad de bifurcación (BU-3) que se encuentra frente a las Islas Galápagos [16].



Figura 4.2: Recorrido del cable submarino SAM-1 [15]

Ecuador se conecta al sistema mediante de 2 pares de fibras ópticas, 11 repetidores y una unidad de bifurcación (BU-3A) como se aprecia en la Figura 4.3. En el Ecuador, este cable trabaja a una capacidad de 3 lambdas en cada par y utiliza la tecnología DWDM para trabajar a una velocidad de 10 Gbps por cada longitud de onda ofreciendo una capacidad total de 60 Gbps mediante el par de fibras ópticas. [17].

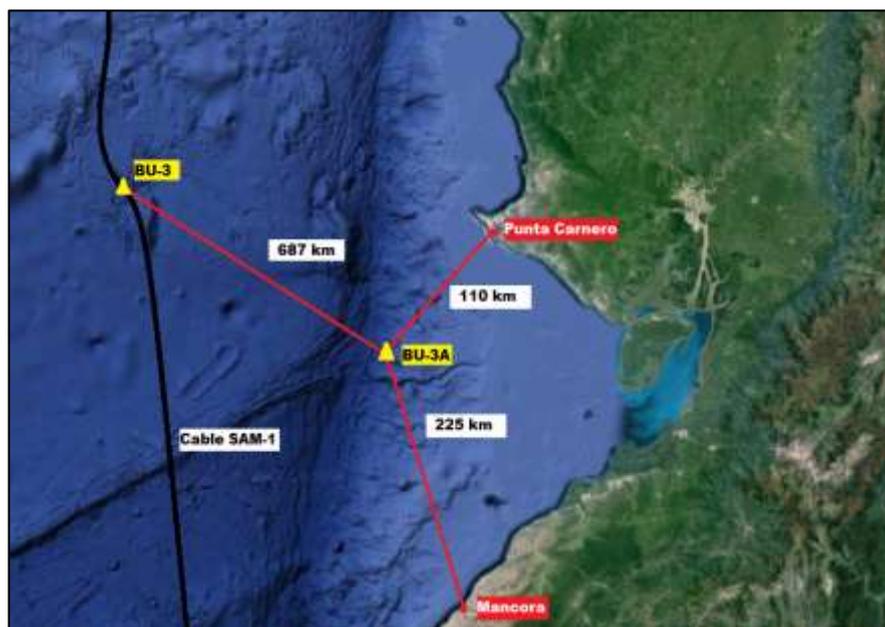


Figura 4.3: Conexión del cable submarino PAN-AM en Ecuador [3].

4.1.3 Pacific Caribbean Cable System (PCCS)

El cable Pacific Caribbean Cable System (PCCS), expuesto en la Figura 4.4, es un cable submarino de última tecnología y constituye la conexión más importante a los contenidos de internet debido a la alta demanda del Caribe y América del Sur. El cable conecta a Ecuador, Panamá, Colombia, Aruba, Curacao, Las islas Vírgenes, Puerto Rico y Estados Unidos. El cable consta de tres segmentos en donde el primer segmento va desde Jacksonville, Florida (Estados Unidos) hasta María Chiquita (Panamá) y está formado por 4 pares de fibras ópticas. El segundo segmento es terrestre que conecta a la ciudad de María Chiquita con Balboa en Panamá y el tercer segmento va desde Balboa (Panamá) hasta Manta (Ecuador) y está formado por solo 2 pares de fibras ópticas.

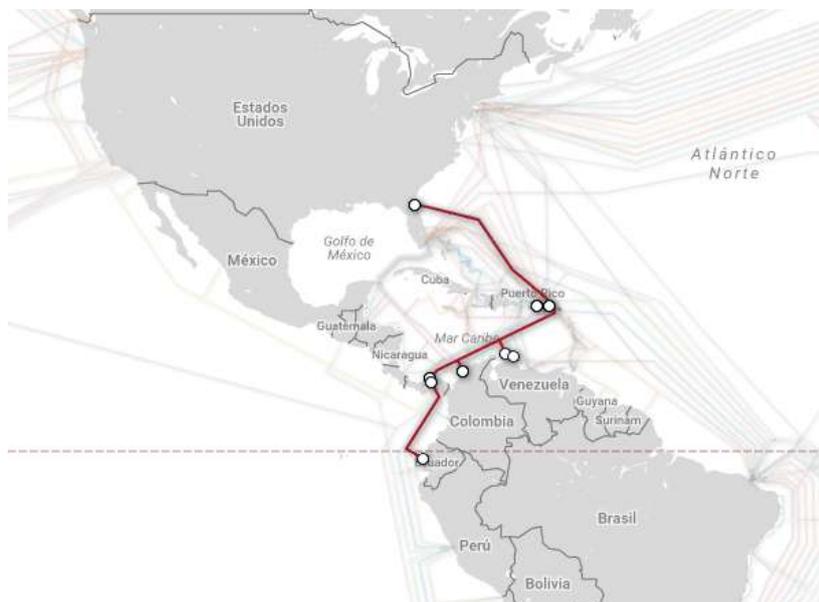


Figura 4.4: Recorrido del cable submarino PCCS [15].

El cable submarino PCCS tiene una capacidad de 100 longitudes de ondas y utiliza la tecnología 1620LM (DWDM) implementada por Alcatel-Lucent que permite una velocidad de transmisión de 10 Gbps para cada longitud de onda. Ya que al Ecuador llegan dos pares de fibras y trabaja con 5 longitudes de onda por cada par y con esto la capacidad máxima de transmisión que tiene el Ecuador es de 100 Gbps. Este cable mejora en 160 veces la capacidad de lo que consume el Ecuador [14].

4.1.4 Interconexión con cable submarino

Es posible usar una unidad de bifurcación como punto de conexión y esto permitiría conectar directamente las islas Galápagos con un cable submarino internacional. Debido a que el cable Panamericano ya se encuentra saturado, los cables submarinos que quedan disponibles para realizar la conexión con el enlace por medio de una unidad de bifurcación son el cable Emergia y el cable PCCS.

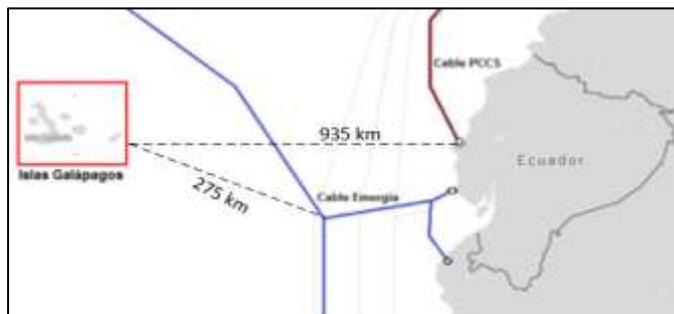


Figura 4.5: Distancias relativas entre Galápagos y los cables submarinos SAM-1 y PCCS [15].

A pesar de que el cable PCCS tiene una capacidad de transmisión total de 100 Gbps que es mayor a la del cable Emergia de 60 Gbps, la distancia mínima desde la isla San Cristóbal al cable PCCS es de 935 km aproximadamente, mientras que el cable Emergia está mucho más cercano a las islas Galápagos como se puede apreciar en la Figura 4.5 y además cuenta con una unidad de bifurcación a unos 275 km de la isla San Cristóbal y ya que se busca establecer un enlace con el menor costo posible, la mejor opción como punto de aterrizaje para el enlace con las islas Galápagos es por medio de una unidad de bifurcación en el cable submarino Emergia (SAM-1) y si es posible, utilizar la misma unidad de bifurcación ya existente como punto de conexión para el cable como se muestra en la Figura 4.6.

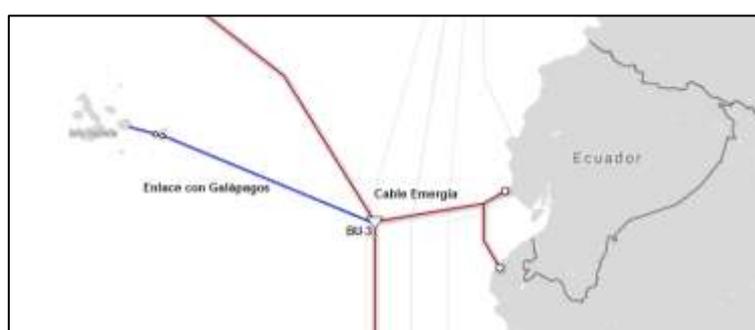


Figura 4.6: Posible ruta para el enlace entre Galápagos y el continente usando BU-3 del cable SAM-1 [15].

4.2 Factores de diseño del enlace

Al momento de diseñar un enlace de fibra óptica submarino, hay que tener en consideración algunos factores para optimizar los recursos disponibles. Se debe definir los parámetros físicos que tendrá el enlace troncal como el tipo de cable que se utiliza, la ruta por la que pasará el cable y la distancia que recorrerá el cable. Otro factor importante es la capacidad que tendrá el enlace, esto incluye, cuantas longitudes de onda se pueden transportar, la tecnología de transmisión utilizada y la velocidad de transmisión total del sistema. El enlace troncal de fibra óptica debe ofrecer una comunicación de mejor calidad que el sistema satelital actual para que sea factible. También es necesario conocer los puntos de aterrizaje que tendrá el enlace y los dispositivos y sistemas que se deben implementar en los puntos de aterrizaje y optimizar el diseño reduciendo los costos del proyecto. En este caso se buscará optimizar los costos del proyecto eligiendo los puntos de aterrizaje con la menor distancia posible para así utilizar menos cable, repetidores, empalmes y dispositivos en general.

4.2.1 Selección del cable submarino para el acceso

Dentro de las fibras monomodo, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ha definido diferentes estándares de cables de fibra óptica y cada una tiene sus propias características. Las especificaciones técnicas de los cables de fibra óptica monomodo de UIT se detallan en los documentos UIT-T G.652, UIT-T G.653, UIT-T G.654, UIT-T G.655, UIT-T G.656 y UIT-T G.657, como muestra la Tabla 4. En cada una de las especificaciones técnicas se detallan los parámetros y las diferentes categorías que tienen cada uno de los cables de fibra óptica monomodo. En este caso es necesario elegir el estándar de cable de fibra óptica que tenga una atenuación por kilómetro baja ya que se realizará un enlace de larga distancia y un cable con una baja atenuación puede ayudar a disminuir los costos del enlace ya que se utilizaría menos repetidores en el diseño. También se debe considerar que el cable de fibra óptica

debe trabajar en el rango que permita multiplexación DWDM (1530 hasta 1640 nm) ya que por medio de la tecnología DWDM se puede alcanzar más canales de transmisión y a mayores velocidades.

Estándar	Descripción	Atenuación (dB/km)	Longitud de onda para operación optimizada (nm)
UIT-T G.652 [18]	Cable de fibra óptica monomodo	0.30 – 0.40	1310
UIT-T G.653 [19]	Cable de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada	0.35	1550
UIT-T G.654 [20]	Cable de fibra óptica monomodo con corte desplazado	0.20 - 0.22	1530 – 1625
UIT-T G.655 [21]	Cable de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada no nula	0.35 – 0.40	1530 – 1565
UIT-T G.656 [22]	Cable de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada no nula para transporte óptico de banda ancha	0.35 – 0.40	1460 – 1625
UIT-T G.657 [23]	Cable de fibra óptica monomodo insensible a las pérdidas por curvatura	0.30 – 0.40	1260 – 1625

Tabla 4: Estándares de fibra óptica establecidos por la UIT.

Al comparar cada uno de los estándares de cables de fibras ópticas monomodo que el estándar UIT-T G.654 es el que tiene la menor atenuación y además su operación óptima está dentro de la región de 1530 hasta 1625 nm lo cual permite multiplexación DWDM. Este estándar define un cable de fibra óptica monomodo con longitud de onda de corte desplazada. La longitud de onda de corte es la longitud

de onda mínima a la cual un modo se puede transportar dentro de la fibra, es decir, que la fibra no podrá transportar longitudes de onda menores a la de corte. Para este cable la longitud de onda de corte está alrededor de los 1550 nm. Sin embargo, este cable de fibra óptica tiene 5 categorías (A, B, C, D y E) y la ITU recomienda los sistemas en los cuales se debe aplicar cada categoría de acuerdo con la Tabla 5.

Categoría	Longitud de onda de corte (nm)	Atenuación (dB/km)	Sistemas recomendados
A	1530	0.22	SDH, Multicanal, cables submarinos con amplificadores ópticos
B	1530	0.22	WDM de larga distancia, cables submarinos con amplificadores ópticos
C	1530	0.22	Aplicaciones de larga distancia con altas velocidades de transmisión
D	1530	0.20	Cables submarinos con altas velocidades de transmisión
E	1530	0.23	Cables terrestres con altas velocidades de transmisión

Tabla 5: Categorías de la fibra estándar UIT-T G.654 [20].

Debido a que los factores más importantes para el diseño del enlace troncal son el costo del proyecto y la capacidad del enlace, se debe elegir la categoría que se recomienda para sistemas de cables submarinos con altas velocidades de transmisión ya que se busca mejorar en enlace satelital actual que ya ofrece comunicación a altas velocidades y también se debe elegir el cable con la menor atenuación ya que esto ayuda a reducir los costos del diseño. Por estas razones el cable que se utilizará para el diseño del enlace

troncal entre las islas Galápagos y el territorio continental del Ecuador es el cable UIT-T G.654.D y en caso de existir una sección terrestre del cable se utilizará el cable UIT-T G.654.E.

Cabe recordar que este es el estándar que se va a utilizar para la fibra óptica, sin embargo, es necesario definir el tipo de protección que tendrá la fibra óptica y en el documento de la UIT-T G.978 se definen los siguientes tipos de protecciones: cable ligero, cable ligero protegido, cable con armadura simple, cable con armadura doble y cable con armadura para roca. Cada una de estas protecciones, detalladas en la Tabla 6, tiene recomendaciones para cuando se las debe aplicar dependiendo de la profundidad a la que estará el cable o las actividades que se llevan a cabo en esa zona.

Nombre	Siglas	Profundidad (m)	Recomendaciones
Cable Ligero	LW	>1000	Es adecuado cuando no se requiere de protección especial y se utiliza en aguas profundas con riesgos mínimos
Cable Ligero Protegido	LWP	>1000	Es utilizado para cuando se requiera de protección especial y se utiliza en aguas profundas con riesgos medios
Cable con armadura simple	SA	20 – 1500	Es utilizado en aguas poco profundas donde los riesgos de abrasión, la actividad de pesca o anclas son muy comunes.
Cable con armadura doble	DA	0- 20	Es utilizado en aguas poco profundas donde la actividad marina es intensa, ya sea pesca o fauna marina.
Cable con armadura para roca	RA	0-20	Es utilizado en aguas poco profundas que se encuentran en lechos marinos rocosos.

Tabla 6: Tipos de protecciones establecidos en la UIT-T G.978 [24].

El enlace troncal pasará por zonas de aguas profundas y otras zonas de aguas poco profundas e incluso zonas cercanas a las islas Galápagos con actividades marinas y de pesca intensas por lo que es necesario establecer que para los segmentos en donde el enlace pase por zonas profundas es recomendable usar el cable protegido ligero (LWP), para las zonas poco profundas se recomienda utilizar el cable con armadura simple (SA) y para las zonas cercanas a las terminales de aterrizaje utilizar cable con armadura doble (DA). En el caso en el que la playa del punto de aterrizaje sea una zona rocosa, será necesario utilizar el cable con armadura para roca (RA).

4.2.2 Ruta del cable submarino

La ruta del cable submarino de fibra óptica es uno de los principales factores que puede decidir el costo final del proyecto ya que para establecer una ruta óptima se debe buscar puntos de aterrizaje adecuados para que la distancia entre ellos sea la menor posible sin sacrificar la calidad de la comunicación ni pasar el cable por zonas de peligro que puedan dañar el enlace.

Los puntos de aterrizaje del cable submarino deben ser seleccionados cuidadosamente teniendo en cuenta que se deben elegir puntos que estén lo más cercano posible para reducir los costos y en zonas donde existan terminales de conmutación o una red existente para ahorrar los costos de interconexión con las demás redes. También se debe considerar que es preferible tener el punto de aterrizaje lo más cercano posible a las zonas que tengan mayor población para que el enlace beneficie principalmente a los lugares que tendrán mayor tráfico posible. Por el lado de las islas Galápagos, de la Figura 4.7, es necesario determinar en qué isla se realizará el punto de aterrizaje del enlace y para esto, en base a la Tabla 7, se analizará la distancia desde el continente y la población de las 5 islas más grandes del archipiélago: isla San Cristóbal, isla Santa Cruz, isla Fernandina, isla Isabela e isla Santiago.



Figura 4.7: Archipiélago Galápagos [3].

Nombre	Distancia aproximada al continente (km)	Superficie (km ²)	Población (personas)
Isla San Cristóbal	960	558	5600
Isla Santa Cruz	1050	986	15000
Isla Isabela	1126	4640	1750
Isla Fernandina	1190	642	200
Isla Santiago	1094	585	0

Tabla 7: Características de las islas del archipiélago Galápagos [2].

Al comparar las principales islas para establecer el enlace de fibra óptica, es necesario elegir la isla que tenga mayor tráfico de datos por lo que esta sería la isla Santa Cruz ya que es la que tiene mayor cantidad de personas por lo que es la que necesitaría mayor ancho de banda para sus servicios de telecomunicaciones. También cabe destacar que la isla Santa Cruz es la isla más económicamente activa y turística del archipiélago, sin embargo, en la isla San Cristóbal se

encuentra la capital de la provincia por lo que los edificios gubernamentales están en esta ciudad. También se encuentra la estación terrestre del enlace satelital con Galápagos por lo que se facilitaría la interconexión con las redes demás redes de Galápagos y es la isla más cercana al continente

Debido a que la población de la isla Santa Cruz es aproximadamente 3 veces mayor que la de San Cristóbal y por el hecho de que en esta isla se encuentra la mayoría de los centros de investigación, atracciones turísticas y actividad económica del archipiélago, es recomendable poner a esta isla como punto de aterrizaje del cable. Sin embargo, se puede reducir la distancia hasta esta isla realizando un aterrizaje en la isla de San Cristóbal y de esta manera permitir la interconexión del enlace troncal con los demás sistemas de telecomunicaciones en la isla San Cristóbal y a su vez tenga otro enlace que aterrice en la isla Santa Cruz, como se observa en la Figura 4.8, donde se debe realizar otra interconexión con las redes de esa isla.



Figura 4.8: Interconexión entre islas Santa Cruz y San Cristóbal [3].

A pesar de que un diseño con una sección terrestre que cruce la isla San Cristóbal ayuda a disminuir la distancia total del enlace, las condiciones terrestres de la isla dificultan la instalación de la sección terrestre debido a que el suelo de la isla es muy rocoso y esto haría

que el soterramiento del cable o cavar los agujeros para postes de tendido aéreo resulte muy costoso. Para reducir los costos del enlace es recomendable que el cable aterrice en la isla San Cristóbal y que desde ese mismo punto salga el enlace hasta la isla Santa Cruz como se muestra en la Figura 4.9.



Figura 4.9: Interconexión entre islas sin sección terrestre [3].

Una vez que ya se ha seleccionado las islas a las cuales se desea que aterrice el cable, es necesario indicar la playa a la cual va a aterrizar el cable para así ajustar la ruta del cable submarino y establecer la ruta de la sección terrestre del cable. Para elegir una playa adecuada para el aterrizaje del cable es necesario realizar un estudio de la arena, la corriente del mar, y el fondo marino de la zona para poder establecer una playa viable como punto de aterrizaje, sin embargo, los factores que tomamos en consideración son factores que se pueden observar fácilmente para determinar si una playa usarse como punto de aterrizaje. Los factores que se tomaron en consideración fueron:

- Fácil acceso a la Playa.
- Textura y Dureza de la Arena de la Playa.
- Movimiento del Mar.

- Rocas en el fondo marino o en la orilla.
- Actividades pesqueras en la zona.
- Actividades de fauna en la zona.
- Existencia de servicios de electricidad y agua potable en la zona.

Primero se busca una playa que sea de fácil acceso para que no exista dificultad en la instalación y mantenimiento del punto de aterrizaje. Se analiza la textura y dureza de la arena ya que en la playa será necesario enterrar el cable submarino hasta que llegue a la estación terminal y si la arena es muy dura puede llegar a dificultar el entierro del cable. El movimiento del mar puede llegar descubrir el cable enterrado en el fondo del mar y esto puede ocasionar que los animales destruyan el cable por lo que es recomendable que el movimiento del mar sea leve para evitar que el cable quede descubierto. Es necesario conocer si existen rocas en el fondo del mar o cerca de la orilla para elegir la protección adecuada para el cable. Las anclas de los barcos pesqueros llegan a dañar los cables submarinos por lo que se recomienda que los cables pasen por zonas en donde la actividad pesquera es mínima y así reducir el riesgo de que un ancla rompa el cable. Por último, es necesario saber si existen servicios de electricidad y agua potable en la zona para poder instalar la estación terminal en esa zona.

En la isla San Cristóbal, es necesario elegir una playa como potencial punto de aterrizaje que servirá como punto de aterrizaje desde la unidad de bifurcación BU-3 del cable SAM-1 y desde ese mismo punto se iniciará el enlace para la comunicación con la isla Santa Cruz. Ya que la isla Santa Cruz se encuentra al oeste de la isla San Cristóbal, es recomendable que la playa para el aterrizaje de la isla San Cristóbal esté ubicada al oeste y la playa para el aterrizaje de la isla Santa Cruz esté ubicada al este de la isla y así disminuir la distancia entre ambos puntos. También es recomendable que la playa se encuentre cercana a la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno, que

es la ciudad principal de la isla San Cristóbal, para poder abastecer de servicios básicos a la terminal del cable submarino.

La ciudad de Puerto Baquerizo Moreno es la capital de la provincia de Galápagos y también es el puerto principal de la provincia de Galápagos por lo que la actividad de barcos pesqueros y comerciales es alta en la zona cercana a la ciudad. Dentro de la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno existen 3 playas que no se tomó en consideración debido a la enorme cantidad de botes que pasan por las costas de la ciudad por lo que es necesario buscar playas en las afueras de la ciudad. De acuerdo con la Figura 4.10, por el lado este de la ciudad, al sur de la isla, está la playa Puerto Chino y La Lobería y por el lado oeste de la ciudad se encuentra la playa Mann y la playa Punta Carola.

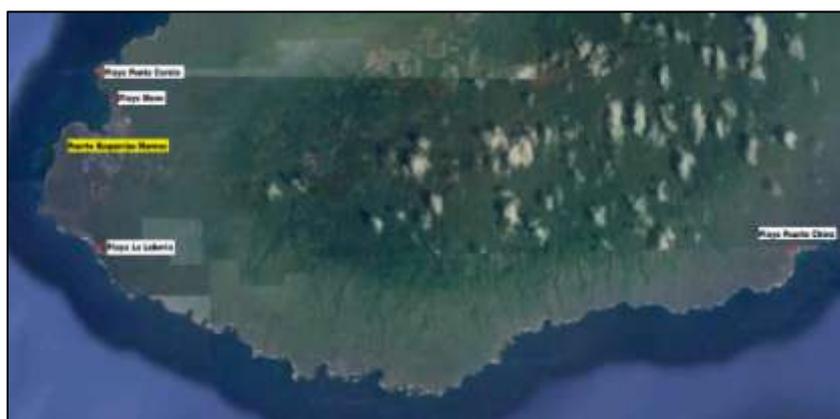


Figura 4.10: Playas de la isla San Cristóbal [3].

Al visitar la Playa Puerto Chino, Figura 4.11, ubicada al sureste de la isla de San Cristóbal y a 20.05 km de la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno se pudo apreciar que la playa es rocosa, sin embargo, existe una sección de la playa que tiene menos cantidad de rocas. La arena de la playa es fina y suave y parece ser facilita la posibilidad de enterrar un cable. El movimiento del mar es medio y el fondo marino se ve suave y libre de rocas. No se aprecia ningún barco a mar abierto, pero existen algunos lobos marinos y tortugas que habitan en

la zona. La zona es remota y por esto no hay servicios básicos por lo que no se puede instalar la estación terminal en esta playa.



Figura 4.11: Playa Puerto Chino.

La otra playa es la playa de La Lobería, Figura 4.12, ubicada al suroeste de la isla y a 1.93 km de la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno. En esta playa se pudo apreciar que la orilla es muy rocosa al igual que el fondo marino. La arena estaba formada por una fina capa de arena granular y suave y luego una capa de arena granular más dura por lo que puede resultar complicado enterrar un cable en esta playa. No se aprecia ningún tipo de barco a mar abierto, sin embargo, se pueden observar varios lobos marinos en la zona. El movimiento del mar es leve cerca de la orilla, pero a mar abierto se puede observar un movimiento del mar alto y la playa está ubicada en una zona remota por lo que no se aprecia la existencia de servicios básicos. Esta playa no es una opción viable como punto de aterrizaje debido a la dureza de la arena y el movimiento del mar que puede llegar a dejar al cable descubierto.

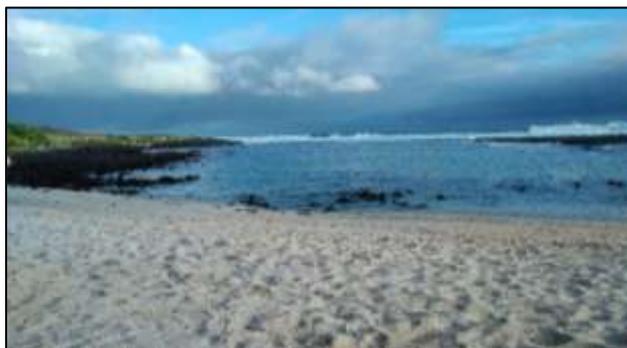


Figura 4.12: Playa La Lobería.

Por otro lado, al lado oeste de la isla y a tan solo 1.52 km de la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno se encuentra la Playa Mann, Figura 4.13. La playa es rocosa a los alrededores, pero existe una sección pequeña de la playa en donde se puede apreciar menos cantidad de rocas. El fondo marino es rocoso al igual que en la orilla y la arena es granosa pero suave lo que facilita el entierro. A mar abierto se pueden apreciar varios barcos de pesca y barcos comerciales y en la orilla se observan varios lobos marinos. El movimiento del mar es leve en la orilla al igual que mar adentro y la zona parece tener servicios básicos ya que se aprecian varias casas alrededor. Esta playa puede utilizarse como punto de aterrizaje siempre y cuando se tomen las protecciones adecuadas para el cable.



Figura 4.13: Playa Mann.

Por último, está la playa Punta Carola, Figura 4.14, ubicada al oeste de la isla San Cristóbal y a 2.12 km de la ciudad de Puerto Baquerizo Moreno. La playa de Punta Carola tiene una orilla muy rocosa al igual que el fondo marino cercanos a la costa. La arena de la playa es granosa pero igual de suave que la de Playa Mann por lo que también sería sencillo el entierro de un cable. A mar abierto no se aprecia ningún barco de ningún tipo, se pueden apreciar muchos lobos marinos alrededor y el movimiento del mar es leve en la orilla al igual que a amar abierto. La playa está en una zona remota por lo que no cuenta con servicios básicos. Esta playa no puede usarse como punto de aterrizaje debido a la falta de energía eléctrica para alimentar la estación terminal.



Figura 4.14: Playa Punta Carola.

Nombre de la playa	Tipo de playa	Tipo de arena	Fondo marino	Presencia de barcos	Movimiento del mar	Servicios básicos
Mann	Semi-rocosa	Granosa y suave	Rocoso	Abundante	Leve	Sí
Punta Carola	Rocosa	Granosa y suave	Semi-rocoso	Ninguno	Leve	No
Puerto Chino	Semi-rocosa	Fina y Suave	Libre de rocas	Ninguno	Medio	No
La Lobería	Rocosa	Granosa y Suave	Semi-rocoso	Ninguno	Leve en la orilla y alto mar adentro	No

Tabla 8: Características de las playas de la isla San Cristóbal.

Entre las playas que se visitaron como potenciales puntos de aterrizaje para el cable submarino y que se encuentran especificadas en la Tabla 8, la opción más viable en la isla San Cristóbal como punto de aterrizaje es Playa Mann ya que es la única de las playas visitadas que cuenta con energía eléctrica en los alrededores que permite la instalación y mantenimiento de la estación terminal. En este punto también se realizará la conexión del enlace con la isla Santa Cruz por lo que los equipos ópticos para ambos enlaces pueden estar dentro de la misma infraestructura.

En la isla Santa Cruz es necesario elegir una playa que se encuentre del lado Este de la isla ya que la isla San Cristóbal está al este de la isla Santa Cruz y de esta forma se disminuye la distancia del cable. La ciudad de Puerto Ayora es la principal ciudad de la isla Santa Cruz y se encuentra en el lado sureste de la isla por lo que es conveniente que la playa se encuentre cercana a la ciudad de Puerto Ayora para poder abastecer de servicios básicos a la terminal del cable submarino.

La isla Santa Cruz es una isla formada por erupciones volcánicas por lo que la isla está formada principalmente por rocas y piedras volcánicas y por esto no cuenta con muchas playas con arenas suaves en donde se pueda realizar el aterrizaje. Cercano a la ciudad de Puerto Ayora, tal como se puede apreciar en la Figura 4.15, existen 3 playas principales en las que se puede realizar el aterrizaje del cable submarino: La playa de la Estación en el Centro de Investigación Charles Darwin, la playa de los alemanes y Playa Brava con una bahía que se conoce como Tortuga Bay (Bahía de la Tortuga).



Figura 4.15: Playas de la isla Santa Cruz [3].

Al visitar la playa de la Estación, Figura 4.16, ubicada a 1.05 km del centro de Puerto Ayora se pudo apreciar que la playa es muy rocosa en la zona de la orilla y la arena era granular y solo había una fina capa de arena que cubría a la piedra volcánica. El movimiento del mar era leve y aparentemente la zona cuenta con servicios de electricidad y agua potable ya que se encuentra alado de la Estación Científica Charles Darwin. Puede resultar complicado utilizar esta playa como punto de aterrizaje debido a que las rocas cubren la mayor parte de la orilla y no será posible enterrar el cable en la arena debido a la capa de roca volcánica que se encuentra debajo de la arena por lo que el cable quedaría expuesto. También se podían apreciar barcos de pesca mar adentro desde la playa por lo que estos

podrían afectar al cable submarino si es que llega a aterrizar en esta playa por lo que no es una como punto de aterrizaje.



Figura 4.16: Playa de la Estación Científica Charles Darwin.

Otra de las playas potenciales como punto de aterrizaje en la isla Santa Cruz es la playa de los alemanes, Figura 4.17, ubicada al oeste de la isla y a 0.94 km de distancia de la ciudad de Puerto Ayora. Esta playa es rocosa a los lados de la playa, pero la parte central de la playa está libre de rocas. La arena es granular, pero suave lo que permite enterrar los cables. Incluso se encontraron varias tuberías enterradas actualmente en la playa lo que podría utilizarse para proteger el cable submarino. El movimiento del mar es casi nulo cercano a la orilla y medio a mar abierto y el suelo marino es rocoso. Se pudo apreciar un barco a mar abierto, sin embargo, era un barco comercial por lo que no representaría peligro para el cable submarino y la presencia de varios hoteles cercanos a la playa indican que existe servicios básicos en la zona. Esta playa es una buena opción como punto de aterrizaje principalmente por las tuberías que ya se enterradas en esta playa, apreciable en la Figura 4.18, lo que indica que se podría enterrar un cable de la misma forma. Es importante que el cable tenga la protección adecuada debido a las rocas que se encuentran en el fondo marino.



Figura 4.17: Playa Los Alemanes



Figura 4.18: Tuberías en la playa Los Alemanes.

La última playa visitada en la isla de Santa Cruz fue Playa Brava, Figura 4.20, ubicada a 2.72 km de la ciudad de Puerto Ayora, sin embargo, debido a su fuerte movimiento del mar no se la considera como un buen punto de aterrizaje. A pesar de esto, junto a la playa existe una bahía conocida como Tortuga Bay. Esta bahía está rodeada de un manglar, pero en la zona de la playa no se aprecia ninguna roca. La arena de la playa estaba formada por una fina capa de arena suave y debajo arcilla lo que podría dificultar un poco el entierro del cable, pero la arcilla podría servir como protección para el

cable una vez que ya esté enterrado. No se apreció ningún barco a mar abierto y el movimiento del mar era nulo. El suelo marino es suave y con secciones de arcilla al igual que en la orilla. La zona en la que está ubicada la bahía es una zona remota por lo que no existen servicios básicos en los alrededores. Debido a que esta es una bahía, el acceso a la playa desde el mar puede resultar complicado como se puede apreciar en la Figura 4.19. También se conoce que en esta bahía se encuentran tiburones y estos pueden llegar a ser un riesgo para el cable ya que los muerden y pueden llegar a romper el cable por lo que Tortuga Bay no se puede usar como punto de aterrizaje.



Figura 4.19: Ubicación de la playa Tortuga Bay [3].



Figura 4.20: Playa Tortuga Bay.

Nombre de la playa	Tipo de playa	Tipo de arena	Fondo marino	Presencia de barcos	Movimiento del mar	Servicios básicos
La Estación	Rocosa	Granosa y Dura	Rocoso	Medio	Leve	Sí
Alemanes	Semi-rocosa	Granosa y suave	Rocoso	Muy Bajo	Leve en la orilla y medio mar abierto	Sí
Tortuga Bay	Libre de rocas	Fina y con arcilla	Libre de rocas	Ninguno	Medio	No

Tabla 9: Características de las playas de la isla Santa Cruz.

Entre las playas que se visitaron de la isla Santa Cruz como potenciales puntos de aterrizaje para el cable submarino que une a las dos islas, listadas en la Tabla 9, la mejor opción fue la playa de los Alemanes ya que se encontraron varias tuberías enterradas en la playa lo que indica que permitirá el entierro del cable submarino en la playa. El fondo marino rocoso puede resultar un peligro para el cable submarino por lo que es necesario que se utilice armadura para roca en el cable de fibra óptica. Ya que en esta zona existen servicios de luz y agua potable es posible instalar la estación terminal cerca a la playa.

Tomando estas playas como punto de aterrizaje podemos establecer la ruta del enlace teniendo en consideración los puntos de aterrizaje del cable, Figura 4.21, y el enlace entre ambas islas. Este enlace va desde la unidad de bifurcación BU-3 del cable SAM-1 hasta la playa Mann en la isla San Cristóbal y desde este mismo punto sale otro enlace hasta la playa de los Alemanes en la isla Santa Cruz.



Figura 4.21: Puntos de enlace entre la isla Santa Cruz y la isla San Cristóbal [3].

4.2.3 Parámetros de los elementos del sistema

La correcta selección y combinación de equipos transmisores y receptores de señales ópticas brindarán un balance y desempeño optimizado al sistema, por lo que es importante categorizar las interfaces ópticas en función de sus aplicaciones para conocer el rango de valores de sus parámetros.

Existen tres categorías [25]:

- Intracentrales (I): Aplicaciones cuyas distancias de interconexión sean inferiores a 2 km.
- Intercentrales a corta distancia (S): Aplicaciones cuyas distancias de interconexión sean de 15 km aproximadamente.
- Intercentrales a larga distancia (L): Aplicaciones cuyas distancias de interconexión sean de 40 km en la ventana de 1310 nm y de 80 km en la ventana de 1550 nm.

El diseño del enlace propuesto se clasificará como una aplicación intercentral a larga distancia, que opera en la tercera ventana óptica de 1550 nm con el tipo de fibra especificado por la UIT-T como G.654.D y el cable submarino SAM-1 posee una capacidad de transmisión de 10 Gbps por cada lambda, lo que corresponde a un nivel STM-64.

Al referirnos a la aplicación descrita en el diseño, esta recibiría un código de clasificación de interfaz óptica igual a L-64.2 debido a su distancia de interconexión, nivel STM y a la ventana óptica en la que trabaja. Los parámetros especificados de los equipos de operación serán en base a las sugerencias establecidas por la UIT para las interfaces ópticas STM-64.

La T-REC-G.961 establece que el uso de regeneradores ópticos con elevadas potencias ópticas puede resultar en la aparición de efectos no lineales [26]. Para altas velocidades de datos, como es la del sistema a diseñar, se necesita realizar una acomodación de la dispersión para grandes longitudes de fibra superiores a los 50 km. Los sistemas L-64.2a utilizan compensación de dispersión pasiva (PDC) que añade compensadores pasivos en el sistema, mientras que los L-64.2b utilizan modulación por cambio de fase (SPM) exigiendo un nivel de potencia no lineal de la señal [26].

Para utilizar SPM se requiere que el sistema trabaje en régimen no lineal de modo que los niveles de potencia superen los umbrales de linealidad, por lo que es preferible utilizar PDC, donde el compensador se coloca en el receptor, y se utiliza un pre amplificador y un transmisor no amplificado de forma que el sistema funciona en régimen lineal sin superar los umbrales, de modo que la interfaz óptica que se seleccionará como modelo de diseño es la L-64.2a.

➤ **Parámetros del transmisor**

- 1) Intervalo de longitud de onda de funcionamiento del sistema

El intervalo de longitud de onda de funcionamiento para este sistema STM-64 de 10 Gbit/s se encuentran especificado en la recomendación UIT-T G.691, indicado en la Tabla 10 el cual es igual al rango correspondiente entre 1530-1565 nm [27].

2) Tipo de Fuente

El sistema presenta alta dispersión, por lo que se suele utilizar fuentes con modulador. La recomendación ITU-T G.957 propone que para las fuentes SLM, el sistema funciona en el límite de dispersión y su anchura espectral es medida 20 dB por debajo de la amplitud máxima de la cresta, valores mostrados en la Tabla 10.

3) Potencia media de salida

Según la Tabla 10, el valor de potencia media de salida máximo correspondiente a +2 dBm, y un mínimo de -2 dBm, ITU-T G.691 [27].

4) Separación de canal

La separación de canal para los sistemas WDM especificados en la recomendación ITU-T G.671 se divide en CWDM, el cual permite una cantidad mayor de separación de canal es inferior a 50 nm, pero superior a 1000 GHz, y DWDM admitiendo un espaciamiento de canal inferior o igual a 1000 GHz [28].

Los sistemas DWDM son los más óptimos, ya que al tener menor separación permiten una mayor cantidad de portadoras lo cual representa un mayor número de canales.

Interfaz óptica	Tipo de fuente	Rango de longitud de onda (nm)	Rango de potencia media emitida (dBm)	Rango de frecuencia media de desviación (GHz)
L-64.2a	SLM	1530 - 1565	-2 hasta 2	7 hasta 8
L-64.2b	SLM	1530 - 1565	10 hasta 13	7 hasta 8

Tabla 10: Parámetros del transmisor para sistemas L-64.2.

➤ **Parámetros del receptor**

1) Sensibilidad

La sensibilidad del receptor del sistema representa el valor de potencia recibida mínimo en el caso menos favorable al cual puede funcionar el mismo, con un valor de BER de 1×10^{-12} , tomado a consideración al final de la vida útil. Para los sistemas L-64.2a, de la Tabla 11 y de acuerdo a la recomendación UIT-T G.691 [27], su sensibilidad tiene un valor de -26 dBm.

2) Sobrecarga

La sobrecarga del receptor es el valor máximo de potencia media recibida aceptable por el equipo para tener una BER de 1×10^{-12} . Para los sistemas L-64.2a su sobrecarga tiene un valor de -9 dBm como se puede leer de la Tabla 11, establecido por UIT-T G.691 [27].

3) Penalización del trayecto óptico

Consiste en la reducción aparente de la sensibilidad del receptor, ocasionada por la distorsión de la forma de onda de la señal durante su trayecto de propagación. Se manifiesta como un desplazamiento de las curvas BER hacia diferentes niveles de potencia de entrada. En sistemas con alta dispersión, tales como el L-64.2a, se admite una penalización del trayecto máxima de 2 dB según la recomendación UIT-T G.691 [27] y como se muestra en la Tabla 11.

4) Reflectancia

De acuerdo con la Tabla 11 extraída de la recomendación UIT-T G.691, el nivel máximo de recepción del receptor es de -27 dB para posibles reflexiones entre el receptor y la planta de cable [27].

Interfaz óptica	Sensibilidad mínima (dBm)	Sobrecarga máxima (dB)	Penalización del trayecto óptico (dB)	Reflectancia máxima (dB)
L-64.2/1	-26	-9	2	-27
L-64.2/2	-14	-3	2	-27

Tabla 11: Parámetros del receptor para sistemas L-64.2.

➤ **Parámetros del repetidor y/o unidad de derivación**

Las unidades de ramificación o derivación, también conocidas como BU's, son insertadas en un punto del tramo del cable submarino de fibra óptica con la finalidad de interconectar dos o más secciones secundarias (ramas). Este equipo incluye la conexión del cable, la fuente de energía, la unidad de conmutación de fibra y regeneradores o repetidores ópticos. Cuando una BU incluye amplificadores o regeneradores ópticos, se debe aplicar los parámetros ópticos definidos para estos.

Existen dos clases de repetidores:

- Repetidores Electrónicos

Realizan una conversión óptico-eléctrica a la señal, la amplifican y realizan la conversión inversa eléctrico-óptica. Existen tres tipos de amplificadores electrónicos, los que se clasifican según el procesamiento realizado a la señal que se desea amplificar:

1R: Regeneración. Amplifican la señal, pero añaden ruido a la misma.

2R: Regeneración y Recuperación. Amplifican y recuperan la forma de la señal, aptos para señales digitales.

3R: Regeneración, Recuperación y Resincronización. Amplifican la señal, recuperan su forma original y la sincronizan. Cancelan los efectos no lineales.

- Repetidores Ópticos

Realizan regeneración de la señal óptica de entrada, pero con un nivel de potencia mayor, operando en el dominio óptico por lo que son también conocidos como amplificadores ópticos OFA.

Amplificador EDFA: Por sus siglas en inglés, Amplificador de Fibra Dopada con Erblio, permite amplificar señales en la tercera ventana óptica de 1550nm. Son utilizados en sistemas de comunicación óptica de gran capacidad que cubren largas distancias, especialmente sistemas DWDM que trabajan en la banda C (1528 a 1561nm) [29].

Amplificador Raman: Consta de múltiples fuentes de bombeo, utilizados en sistemas ópticos de largas distancias.

Los repetidores que trabajan en el dominio eléctrico no son óptimos para sistemas con varias longitudes de onda y de alta velocidad, por lo que es válido descartarlos como opción de diseño.

Los amplificadores EDFA presentan varias ventajas al generar poco ruido y baja pérdida de inserción, además de trabajar en la tercera ventana óptica por lo que resultan ser los más apropiados para el sistema a diseñar.

Los parámetros ópticos establecidos en la recomendación UIT-T G.661 [29] que se deben considerar son:

- 1) Ganancia de pequeña señal

Los valores típicos de ganancia de pequeña señal para los equipos repetidores con amplificación EDFA suelen ser mayor que 30 dB.

2) Ancho de banda de longitud de onda

Los amplificadores EDFA poseen un ancho de banda de longitud de onda de 35 nm, que pueden utilizarse en la tercera ventana de 1550 nm.

3) Potencia de salida de saturación

Los valores de este parámetro para las unidades EDFA comerciales es de +17/+20 dBm o más.

4) Factor de ruido

El NF presenta valores típicos de 5-6 dB para EDFA bombeados de 980 nm y de 6-7 dB para EDFA bombeados de 1480 nm.

➤ **Parámetros de empalme**

Los empalmes son interconexiones permanentes o semi permanentes que permiten unir dos segmentos de cable con el fin de garantizar la continuidad entre las dos secciones. Existen varios tipos de empalme, entre ellos:

- **Empalme por Fusión:**

La fusión por soldadura mediante arco eléctrico emplea dos electrodos para unir dos extremos de fibra, mediante el uso de máquinas empalmadoras llamadas fusionadoras. Las fibras ópticas son calentadas hasta obtener un punto de fusión durante el cual ambas quedan unidas.

- **Empalmes Mecánicos:**

La unión se realiza con un equipo que alinea los dos extremos de la fibra y los mantiene juntos mediante un gel que iguala el índice de refracción. Las puntas de las fibras quedan unidas por elementos de sujeción mecánicos, permitiendo el paso de la luz entre ambas.

Es importante considerar las características de diseño de los empalmes, para tener una conexión confiable a lo largo del cable. La característica principal de los empalmes que se debe tomar en consideración es la pérdida del empalme. Esto es la pérdida o atenuación que sufre la señal óptica por la unión de dos secciones diferentes de cable. Se establece en la Tabla 12 los valores de pérdida por tipo de empalme de acuerdo con la recomendación ITU-T L.12.

Tipo de empalme	Tipo de fibra	Pérdida de inserción	Pérdida de retorno
Empalme por fusión	Monomodo y Multimodo	< 0,1 dB	> -60 dB
Empalme mecánico	Monomodo	< 0,4 dB	> -40 dB
Empalme mecánico	Multimodo	< 0,4 dB	> -40 dB

Tabla 12: Pérdidas por tipo de empalme [30].

La selección del tipo de empalme se realiza en base a otros factores, tales como el costo, confiabilidad y el rendimiento. Los empalmes por fusión poseen las pérdidas más bajas, por lo que son de alto rendimiento, la fusión brinda mayor seguridad en las instalaciones submarinas lo que los hace altamente confiables.

4.2.4 Sistema del enlace de cable submarino

Una vez que se conocen las características de los elementos que se deben utilizar en el sistema de cable submarino, es necesario conocer las conexiones entre estos equipos. La Figura 4.22 muestra el sistema con los componentes para el sistema de interconexión entre la isla San Cristóbal y la unidad de bifurcación BU-3 del cable SAM-1. Por otro lado, la Figura 4.23 muestra las conexiones entre los

elementos en el enlace entre las islas de San Cristóbal y la isla Santa Cruz.

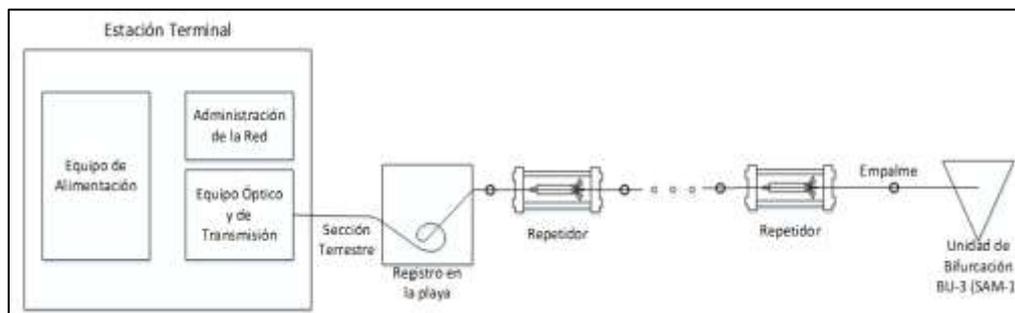


Figura 4.22: Sistema de cable submarino de fibra óptica para el enlace con la unidad de bifurcación BU-3 en el cable SAM-1

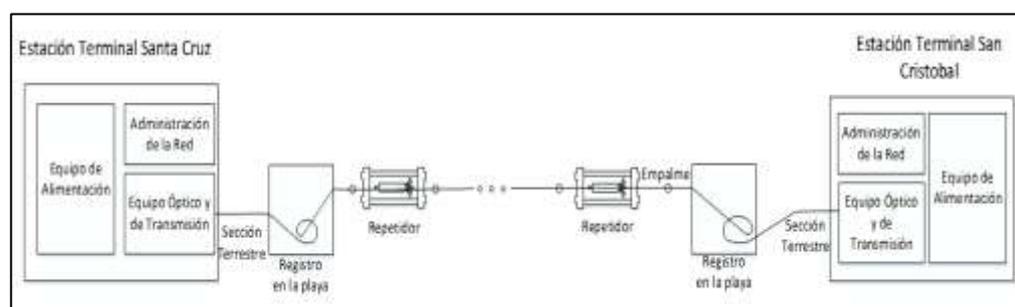


Figura 4.23: Sistema de cable submarino de fibra óptica para el enlace entre ambas islas

En el Ecuador aterriza un par de fibras ópticas del cable Emergia, por lo que para el enlace se usarán el mismo par de fibras que salen de la bifurcación BU-3 del cable Emergia. Los equipos ópticos de este sistema deben ser compatibles con multiplexación DWDM para transmitir la información por varios canales y así aumentar el ancho de banda y la velocidad de transmisión del enlace. La velocidad de transmisión de los transmisores ópticos debe ser igual a la utilizada en los enlaces de cables submarinos, es decir, que deben transmitir a una velocidad de 10 Gbps por cada longitud de onda. También se iniciará el enlace con una capacidad de 5 longitudes de onda y de esta manera el enlace tendrá una capacidad máxima de transmisión

de 100 Gbps, aproximadamente 50 veces la capacidad actual de las islas Galápagos. La Tabla 13 muestra las características en la capacidad del enlace.

Elemento	Valor
Par de fibras	2 par
Ventana óptica	1550 nm
Velocidad de transmisión por longitud de onda	10 Gbps
Longitudes de onda por par	5 lambdas
Capacidad total	100 Gbps

Tabla 13: Características de la capacidad del enlace.

4.3 Presupuesto óptico

Al diseñar un enlace de fibra óptica, es necesario establecer un presupuesto óptico del enlace. El presupuesto óptico nos permite determinar la cantidad de amplificadores ópticos que se necesitarán para el enlace para asegurar que el enlace tenga una comunicación de buena calidad y sin errores. También nos permite determinar la longitud que tendrá cada segmento de cable, es decir, la distancia entre dos dispositivos del sistema ya sea entre dos amplificadores, entre el transmisor y un amplificador o entre el amplificador y el receptor. Para determinar estos parámetros se utilizará el siguiente modelo para el presupuesto óptico:

$$\alpha_R = L\alpha + N\alpha_{sp} + L\alpha_{res} \quad (4.1) [34]$$

En donde:

α_R es la atenuación del enlace

L es la longitud del segmento de cable

α es el coeficiente de atenuación del cable

N es el número de empalmes en el enlace

α_{SP} es la atenuación por cada empalme

α_{res} es la atenuación de reserva del sistema. Se utiliza para considerar una reserva de atenuación para futuros empalmes y la degradación de la fibra en su vida útil.

4.3.1 Cálculos

Una vez que ya se tiene establecido el cable, el tipo de empalme y la potencia de transmisión y sensibilidad de recepción del sistema, se puede determinar la longitud del segmento de cable que existirá entre cada amplificador y con esto podemos calcular la cantidad de amplificadores que se necesitarán para el sistema. Se estableció que el enlace será desde la unidad de bifurcación 3 del cable SAM-1 hasta la isla San Cristóbal y luego desde la isla San Cristóbal hasta la isla Santa Cruz. Este enlace tiene una distancia de 295 km para el primer segmento y unos 100 km para el segundo segmento teniendo así una distancia total de cable submarino de 395 km. Para determinar el número de empalmes que tendrá el enlace solo se necesita dividir la distancia total del enlace para la longitud de fabricación del cable.

$$N = \frac{\text{Longitud del Enlace}}{\text{Longitud de Fabricación del Cable}} - 1 = \frac{L}{l} - 1 \quad (4.2)$$

La UIT recomienda en su documento de suplemento UIT-T G.Sup41 [35] que la longitud de fabricación del cable para cables submarinos sea mayor a 25 km. Para este caso se considerará la mínima longitud de fabricación del cable que debe de ser de 25 km.

$$N = \frac{\text{Longitud del Enlace}}{\text{Longitud de Fabricación del Cable}} - 1 = \frac{395}{25} - 1 = 14.8 \approx 15$$

Con cables de longitud de fabricación de 25 km se obtiene que en el enlace habrá en total 15 empalmes y ya que se decidió que el tipo de empalme debe ser por fusión, la atenuación de cada empalme α_{SP}

será de 0,1 dB y se conoce que la atenuación del cable de fibra óptica G.654 es de 0,20 dB/Km. Es necesario determinar la atenuación máxima permitida (P_m) y para eso se utiliza la potencia del transmisor en dB (P_t) y la sobrecarga del receptor (P_u) en dB y se lo calcula con la siguiente ecuación:

$$P_m = P_t - P_u \quad (4.3)$$

Se determinó dentro de los parámetros de los equipos que se van a utilizar que la potencia de transmisión mínima es de +2 dBm y la sensibilidad del receptor debe de ser de -26 dBm por lo tanto la atenuación máxima permitida es de:

$$P_m = P_t - P_u = 2 - (-26) = 28 \text{ dB}$$

Por último, se debe decidir la atenuación de Reserva que se debe utilizar para los cálculos del enlace. Usualmente se elige un valor entre 0,1 y 0,6 según la importancia del enlace y su escalabilidad y ya que en este presupuesto se ha omitido las pérdidas por conectores debido a que esta puede varias según los equipos que se utilicen, se ha decidido utilizar una atenuación de reserva de 0,2 dB.

Para determinar la longitud del segmento de cable se utilizarán los parámetros descritos en la Tabla 14.

Atenuación máxima permitida (α_R) (dB)	Atenuación de la fibra óptica (α) (dB/Km)	Atenuación de los empalmes (α_{SP}) (dB)	Atenuación de reserva (dB)	Longitud de fabricación del cable (Km)
28	0,20	0,1	0,2	25

Tabla 14: Parámetros para presupuesto óptico.

Con estos parámetros podemos determinar la longitud de un segmento de cable:

$$\alpha_R = L\alpha + N\alpha_{sp} + L\alpha_{res} = L\alpha + \left(\frac{L}{l} - 1\right)\alpha_{sp} + L\alpha_{res}$$

$$\alpha_R = L\alpha + \left(\frac{L}{l}\right)\alpha_{sp} + L\alpha_{res} - \alpha_{sp}$$

$$\alpha_R + \alpha_{sp} = L\left(\alpha + \frac{\alpha_{sp}}{l} + \alpha_{res}\right)$$

$$L = \frac{\alpha_R + \alpha_{sp}}{\alpha + \frac{\alpha_{sp}}{l} + \alpha_{res}} = \frac{28 + 0,1}{0,20 + \frac{0,1}{25} + 0,2} = 69,55 \text{ Km}$$

Esto quiere decir que debe existir un amplificador óptico cada 69 km de cable o menos para mantener la comunicación en el enlace.

Para obtener la cantidad de amplificadores que se necesitan simplemente se divide la distancia total del enlace para la longitud del segmento de cable.

$$\# \text{Repetidores} = \frac{\text{Longitud del Enlace}}{\text{Longitud del segmento de cable}} = \frac{395}{69} = 5,72 \approx 5$$

$$\# \text{Repetidores}(S1) = \frac{\text{Longitud del Enlace}}{\text{Longitud del segmento de cable}} = \frac{295}{69} = 4,27 \approx 4$$

$$\# \text{Repetidores}(S2) = \frac{\text{Longitud del Enlace}}{\text{Longitud del segmento de cable}} = \frac{100}{69} = 1,45 \approx 1$$

Esto nos indica que en el enlace troncal de fibra óptica se van a necesitar en total 5 amplificadores ópticos cada uno a 69 km de distancia. En el primer segmento desde BU-3 hasta la isla San Cristóbal se necesitarán 4 amplificadores ópticos dejando tan solo 19 km de distancia desde el último amplificador hasta el receptor. Para el segundo segmento que va desde la isla San Cristóbal hasta la isla

Santa Cruz se necesitará 1 amplificador ópticos dejando tan solo 31 km desde el último amplificador hasta el receptor.

Elemento o Parámetro	Valor
Ventana óptica	1550 nm
Potencia a la salida del transmisor	2 dBm
Sensibilidad del receptor	-26 dBm
Atenuación asignada al presupuesto del enlace	28 dB
Atenuación por empalme	0,1 dB
Número de empalmes	15
Atenuación de fibra óptica por kilómetro	0,2 dB
Longitud de fabricación del cable	25 km
Longitud de segmento de cable	69 km
Longitud total del enlace	395 km
Atenuación de reserva	0,2 dB
Potencia a la salida del amplificador	17 dBm
Número de repetidores	5

Tabla 15: Presupuesto óptico del enlace.

4.3.2 Costos

Una vez que se tiene el diseño del enlace, es necesario establecer un costo aproximado que tendrá el proyecto. Para esto se establecerá un costo promedio de cada uno de los componentes que se utilizarán en el enlace y las cantidades de cada uno de estos. También se debe tomar en cuenta que, ya que las islas Galápagos están a una gran distancia del continente, los costos de algunos de los elementos van a aumentar ya que deben ser transportados por medio de barcos de carga, por lo que los costos de estos componentes se los multiplicará por un factor dependiendo de la dificultad de transporte para tomar en consideración el costo adicional que conlleva transportarlos hasta la isla.

Otro factor importante para determinar los costos del proyecto es el tiempo que se va a necesitar para instalar el cable submarino de fibra óptica. El elemento principal que se ve afectado por el tiempo de instalación es el alquiler de los buques cableros ya que estos buques se deben alquilar por día y tiene un costo aproximado de \$100,000 por día. En promedio, estos buques pueden instalar hasta 200 km de cable en 30 o 40 días, es decir, se instalan casi 5 km por día. Para el enlace diseñado de longitud de 395 km, el tiempo de instalación será de aproximadamente 80 días.

Cabe destacar que, en el cálculo del costo total del proyecto, no se toma en consideración los costos que conllevan los estudios previos a los de instalación como son los estudios de las playas, del fondo marino y de la ruta del cable. Tampoco se toma en consideración los costos que conlleven la obtención de títulos habilitantes y permisos necesarios para la instalación. La Tabla 16 muestra los elementos que serán necesarios para la instalación del enlace y de la estación terrestre y los costos de cada uno de estos.

Elemento	Costo	Cantidad	Factor Transporte	Total
Rollo de cable de 25 km	\$275,000	16	1	\$4,400,000
Instalación de cable por kilómetro	\$70,000	395	1	\$27,650,000
Alquiler de buque cablero por día	\$100,000	80	1	\$8,000,000
Amplificador óptico	\$250,000	5	1	\$1,250,000
Equipos ópticos, de transmisión, alimentación y control	\$5,000,000	2	1.5	\$15,000,000
Obra civil para infraestructura	\$50,000	1	1	\$50,000
Total				\$56,350,000

Tabla 16: Tabla de costos de los elementos de la Red.

Considerando el costo de los elementos que conforman el sistema de enlace troncal de fibra óptica, el sistema de estación terrestre, el costo de transporte que conlleva algunos de estos elementos, y el costo de instalación del cable submarino, se obtiene que la implementación del proyecto tiene un costo inicial de aproximadamente 56 millones de dólares sin considerar los estudios previos que se deben realizar antes de comenzar la instalación del enlace.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se logró diseñar un enlace troncal mediante un cable submarino de fibra óptica con estándar UIT-T G.654.E que se conecta a la red global por medio de la unidad de bifurcación BU-3 del cable SAM-1 y que aterriza en la isla San Cristóbal y desde ese mismo punto sale otro enlace que aterriza en la isla de Santa Cruz. Los equipos ópticos terminales del enlace utilizan la multiplexación DWDM para mejorar la calidad de los servicios de telecomunicaciones de las islas Galápagos brindando un enlace troncal con una capacidad de transmisión de 10 Gbps en cada canal iniciando con 5 longitudes de onda en cada fibra y una latencia de alrededor de 50 ms.

Se identificó que las islas Galápagos utilizan enlace satelital para establecer un enlace troncal con el continente y poder proporcionar al archipiélago con servicios de telecomunicaciones. El problema con los enlaces satelitales es que no permiten transferencias de altas velocidades debido a su ancho de banda limitado y la latencia del enlace es muy elevada por lo que la calidad del servicio se ve afectado. Aun con el uso de sistema satelitales de órbita media que se están utilizando actualmente, no se logra una capacidad ni latencia comparables con la de la fibra óptica.

Del análisis de las características de los sistemas de cable submarino que aterrizan en el Ecuador y se determinó que el cable SAM-1 es el más óptimo para establecer el enlace debido a que tiene una unidad de bifurcación cercana a las islas Galápagos.

Se optimizó el enlace de fibra óptica utilizando la unidad de bifurcación BU-3 del cable submarino SAM-1 como punto de interconexión con las demás redes globales y se estableció el enlace como una aplicación intercentral de larga distancia que opera en la tercera ventana óptica de 1550 nm y con una capacidad de transmisión de 10 Gbps por cada longitud de onda que corresponde a un nivel de Synchronous Transport Module - 64 (STM-64).

Se utiliza multiplexación DWDM para transmitir a varias longitudes de onda, iniciando el enlace con 5 longitudes de onda en cada fibra.

Se determinó como punto de aterrizaje la playa de los Alemanes en la isla Santa Cruz. Para disminuir la distancia del enlace y para evitar rodear las islas, el enlace que viene de la bifurcación aterrizará en la isla San Cristóbal y en ese mismo punto de aterrizaje saldrá otro enlace con las mismas características hasta la isla Santa Cruz.

Se diseñó el enlace utilizando un cable con longitud de fabricación de 25 km y la distancia total del enlace es de 395 km lo que hace que sean necesario el uso de 15 empalmes para cubrir esta distancia. En este enlace se necesitarán en total de 5 amplificadores ópticos, 4 amplificadores para el enlace desde la isla San Cristóbal hasta la unidad de bifurcación y 1 amplificador para el enlace entre las islas. Con esto, la longitud del segmento de cable entre dos amplificadores será de 69 km.

Se recomienda que todas las islas estén interconectadas por medio de sistemas inalámbricos terrestres de alta capacidad para mejorar la calidad del servicio. Hasta que se pueda implementar esta solución, se seguirá utilizando los enlaces satelitales en las otras islas y los enlaces inalámbricos usados en la red local actualmente.

Para las playas que servirán como puntos de acceso del cable se recomienda que se haga un estudio de la zona para determinar si existe poco tráfico marítimo y así reducir el riesgo de que el cable pueda ser dañado por anclas de barco y las operaciones de arrastre. También se recomienda analizar el fondo marino a través de toda la ruta del cable para evitar zonas que puedan ser peligrosas para el cable y evitar afectar ecosistemas marinos. Asimismo, se debe hacer un análisis de las corrientes que existan en el mar ya que puede llegar a descubrir el cable enterrado o incluso hasta mover el cable.

Por último, se recomienda plantear el presente proyecto a las autoridades del gobierno competentes en la rama de las telecomunicaciones, de manera que se

pueda realizar la implementación del mismo y así mejorar la calidad de conectividad de Galápagos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información. (2016, Septiembre). “Sector de las telecomunicaciones sigue creciendo en el país” [En Línea]. Disponible en: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/sector-de-las-telecomunicaciones-continuan-creciendo-en-el-pais/>
- [2] Instituto Nacional de Estadística y Censos, “Censo de Población y Viviendas de Galápagos 2015 (CPVG)”, INEC. Galápagos, 2015.
- [3] Google Maps, 2017. (2017, Julio). “Islas Galápagos” [En Línea]. Disponible en: <https://www.google.com.ec/maps/place/Islas+Galápagos/>
- [4] Instituto Nacional de Estadística y Censos, “Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo (ENEMDU)”, INEC. Ecuador, 2016.
- [5] Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2004, Junio). “UIT-T G.769/Y.1242”. [En Línea].
Disponible en: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-G.769-200406-!!!PDF-S&type=items
- [6] Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. (2012, Julio). “Plan Nacional de Frecuencias”. [En Línea]. Disponible en: http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/plan_nacional_frecuencias_2012.pdf
- [7] Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2016, Noviembre). “Reglamento de Radiocomunicaciones”. [En Línea]. Disponible en: https://www.itu.int/dms_pub/itu-s/oth/02/02/S02020000244501PDFS.pdf
- [8] D. Hazeldine. (2015, Octubre). “LEO, MEO, GEO, HEO y SSO”, Revista Curioseantes. [En Línea]. Disponible en: <http://curioseantes.blogspot.com/2015/10/leo-meo-geo-heo-y-sso.html>
- [9] M. Toaquiza, P. Milán, A. Torres, “Ampliación de circuitos internacionales de telecomunicación en la estación terrena Guayaquil”, Tesis de Grado, FIEC, ESPOL, Guayaquil, Ecuador, 2000.
- [10] N. Vinuesa, “Descripción de la red satelital O3B y aproximación del comportamiento para uso de un terminal genérico en poblaciones rurales del Ecuador”, Tesis de Maestría, UPM, Madrid, España, 2015.

- [11] O3b Networks. (2015). [En Línea]. Disponible en: <https://www.ses.com/es/america-latina/servicios-de-datos>
- [12] FOA, Guide to Fiber Optics & Premises Cabling, Fallbrook, CA 2014
- [13] Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2016, Noviembre). "UIT-T G.972". [En Línea]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.972/recommendation.asp?lang=es&parent=T-REC-G.972-201611-I>
- [14] J. Montenegro, J. Sánchez, "Diseño de una plataforma para la verificación del cumplimiento de los parámetros de calidad por parte de las empresas que aterrizan cables submarinos de fibra óptica en el Ecuador", Tesis de Grado, FIEC, ESPOL, Ecuador, Guayaquil, 2016.
- [15] Submarine Cable Map, 2017. (2017, Julio). [En Línea]. Disponible en: <https://www.submarinecablemap.com/>
- [16] J. Ginatta, 2007. MIPYMES. "Ecuador aumenta su capacidad de conexión al mundo a través de la fibra óptica". [En Línea]. Disponible en: http://www.imaginar.org/docs/A_ecuador_cable.pdf
- [17] A. Nazamues, "Estudio del Impacto de la instalación del cable submarino en Punta Carnero en el mercado de Telecomunicaciones", EPN, Ecuador, Quito, 2009. [En Línea]. Disponible En: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1215/1/CD-2060.pdf>
- [18] Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2016, Noviembre). "UIT-T G.652". [En Línea]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652/recommendation.asp?lang=es&parent=T-REC-G.652-201611-I>
- [19] Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2010, Julio). "UIT-T G.653". [En Línea]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.653/recommendation.asp?lang=es&parent=T-REC-G.653-201007-I>
- [20] Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2016, Noviembre). "UIT-T G.654". [En Línea]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.654/recommendation.asp?lang=es&parent=T-REC-G.654-201611-I>
- [21] Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2009, Noviembre). "UIT-T G.655". [En Línea]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.655/recommendation.asp?lang=es&parent=T-REC-G.655-200911-I>

- [22] Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2010, Julio). "UIT-T G.656". [En Línea]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.656/recommendation.asp?lang=es&parent=T-REC-G.656-201007-I>
- [23] Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2016, Noviembre). "UIT-T G.657". [En Línea]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.657/recommendation.asp?lang=es&parent=T-REC-G.657-201611-I>
- [24] Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2010, Julio). "UIT-T G.978". [En Línea]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.978/recommendation.asp?lang=es&parent=T-REC-G.978-201007-I>
- [25] Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2006, Marzo). "UIT-T G.957". [En Línea]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.957/recommendation.asp?lang=es&parent=T-REC-G.957-200603-I>
- [26] Unión Internacional de Telecomunicaciones. (1993, Marzo). "UIT-T G.961". [En Línea]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.961/recommendation.asp?lang=es&parent=T-REC-G.961-199303-I>
- [27] Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2006, Marzo). "UIT-T G.691". [En Línea]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.691/recommendation.asp?lang=es&parent=T-REC-G.691-200603-I>
- [28] Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2012, Febrero). "UIT-T G.671". [En Línea]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.671/recommendation.asp?lang=es&parent=T-REC-G.671-201202-I>
- [29] Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2007, Julio). "UIT-T G.661". [En Línea]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.661/recommendation.asp?lang=es&parent=T-REC-G.661-200707-I>
- [30] Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2008, Marzo). "UIT-T L.12". [En Línea]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.12/recommendation.asp?lang=es&parent=T-REC-L.12-200803-I>
- [31] R. Freeman, *Fiber-Optic Systems for Telecommunications*, New York, Editorial Wiley- Interscience, 2002.
- [32] Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2010, Junio). "UIT-T G.Sup.41". [En Línea]. Disponible en: <http://handle.itu.int/11.1002/1000/10929-en?locatt=format:pdf>

ANEXOS

ANEXO A: Imágenes



Figura A1: Estación Terrestre de enlace satelital en la isla de San Cristóbal.



Figura A2: Antenas Satelitales en la estación terrestre de Galápagos.



Figura A3: Antenas parabólicas de enlace satelital en la estación terrestre de las islas Galápagos.

ANEXO B: Reglamento para la provisión de capacidad de cable submarino, RESOLUCIÓN 347- 17-CONATEL-2007.

ARTÍCULO 1.- Objeto: El presente reglamento tiene por objeto regular y establecer los requisitos y procedimientos a través de los cuales el Estado otorgará el permiso para la provisión de capacidad de cable submarino para acceso Internacional.

ARTÍCULO 2.- Ámbito de aplicación: Las disposiciones contenidas en el presente reglamento se aplican a la provisión de capacidad de cable submarino para acceso internacional.

ARTÍCULO 3.- Definiciones: Para la aplicación del presente reglamento se utilizarán los términos y definiciones que constan en la ley especial de telecomunicaciones reformada y su reglamento, y en las definiciones establecidas por la UIT.

Cable submarino: Se denomina cable submarino al constituido por conductores de cobre o fibras ópticas, instalado sobre el lecho marino y destinado fundamentalmente a brindar capacidad para los servicios de telecomunicaciones.

Sistemas de cable submarino: Es el conjunto de medios de transmisión y componentes activos y pasivos que proporcionan facilidades de acceso internacional a prestadores de servicios de telecomunicaciones.

Estación Terminal de cable submarino: Es el punto terminal de cable submarino instalado en territorio ecuatoriano en donde se realizan las conexiones continentales, se proveen servicios de colocación.

Proveedor de capacidad de sistemas de cable submarino: Persona natural o jurídica autorizada por parte del Estado Ecuatoriano para la provisión de capacidad de acceso de cable submarino para acceso Internacional.

ARTÍCULO 4.- Del título habilitante: Para la instalación de infraestructura y explotación de sistemas de cable submarino se requiere de un permiso otorgado por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, previa autorización del CONATEL.

El CONATEL aprobará el permiso tipo aplicable a este reglamento, que se suscribirá entre el Permisionario y la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones.

ARTÍCULO 5.- Alcance del permiso: El permiso otorgado por el CONATEL autoriza a su titular la provisión de capacidad de cable submarino para acceso Internacional a poseedores de títulos habilitantes legalmente establecidos en el país.

ARTÍCULO 6.- Limitaciones del permiso: Este permiso no autoriza la instalación, operación y explotación de sistemas y servicios diferentes a los señalados en el presente reglamento.

El único punto de acceso del titular de este permiso estará en la estación terminal de cable submarino y no podrá ser extendido por el titular a otros puntos en el territorio ecuatoriano.

El uso de la capacidad de cable submarino por parte de cualquier red está sujeto al cumplimiento de la ley especial de telecomunicaciones reformada, su reglamento y a los reglamentos y normas expedidas y que expida el CONATEL.

ARTÍCULO 7.- Solicitud: El peticionario de un permiso para la provisión de capacidad de cable submarino deberá encontrarse legalmente domiciliada en el país y presentar ante la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones una solicitud acompañada de los siguientes documentos:

1.- Información legal:

- a. Cuando se trate de una persona natural: nombres y apellidos del solicitante. En caso de personas jurídicas: el nombre de la persona jurídica (razón social) y nombres y apellidos del representante legal;
- b. Copia de la cédula de identidad o ciudadanía de la persona natural;
- c. Copia del Registro Único de Contribuyentes (RUC);
- d. Copia certificada, del nombramiento del representante legal, que se halle vigente, debidamente inscrito en el Registro Mercantil;
- e. Para las personas jurídicas, se deberá presentar el certificado de existencia legal de la compañía, capital social, objeto social, plazo de duración y cumplimiento de obligaciones extendido por la Superintendencia de Compañías;

- f. Copia certificada de la constitución de la compañía;
- g. Certificado emitido por la Contraloría General del Estado, de no hallarse impedido de contratar con el Estado; y,
- h. Informe de la Superintendencia de Telecomunicaciones respecto de la prestación de servicios de telecomunicaciones del solicitante y sus accionistas en el caso de personas jurídicas, incluida la información de imposición de sanciones en caso de haberlas.

2. Información financiera:

- a. Tanto en el caso de que el solicitante sea persona natural como persona jurídica, copia de las declaraciones de impuesto a la renta correspondientes a los dos últimos ejercicios económicos, de ser aplicable; y,
- b. Demostración de la capacidad financiera de la empresa que sustente la instalación y operación del cable submarino.

3. Información técnica:

- a. Proyecto técnico que describa los elementos, equipos, e infraestructura de cable submarino (descripción técnica), así como la demostración de su capacidad técnica para viabilizar el proyecto;
- b. Determinación de la ubicación de la estación terminal de cable submarino;
- c. Cronograma de instalación, pruebas y puesta en operación del sistema;
- d. Capacidad instalada inicial, señalando el plan de crecimiento, en caso de existir;
- e. Parámetros de calidad de servicio aplicables a la provisión de capacidad de cable submarino;
- f. Descripción del centro de gestión de red local y remota de ser el caso; y,
- g. Información detallada sobre el trazado del cable submarino, para efectos de prevención y precaución. Esta información será tratada con carácter de confidencial.

ARTÍCULO 8.- Calidad de la provisión: El permisionario garantizará y responderá ante sus clientes por la calidad de provisión de capacidad del cable submarino, de acuerdo con los parámetros internacionalmente aceptados. En relación al

cumplimiento de los parámetros técnicos de calidad se aplicarán los fijados en la norma UIT/T/G.826 de la UIT, o la que se emitiera y demás normas aplicables a este servicio. La Superintendencia de Telecomunicaciones controlará el cumplimiento de lo señalado en este artículo.

En los contratos del permisionario con sus clientes, se deberá incluir los acuerdos de calidad del servicio.

ARTÍCULO 9.- Plazo: El permiso tendrá una duración de 20 años renovables por el mismo período. Para obtener la renovación del permiso el titular deberá presentar una solicitud por escrito con un año de anticipación a la fecha de vencimiento, dirigida al Secretario Nacional de Telecomunicaciones. El CONATEL autorizará la renovación tomando como referencia los informes que realicen la Superintendencia de Telecomunicaciones y la Secretaria Nacional de Telecomunicaciones en relación al cumplimiento de los parámetros técnicos de calidad fijados en la norma UIT/T/G.826 de la UIT, y demás normas aplicables a este servicio.

ARTÍCULO 10.- Obligaciones del permisionario:

Son obligaciones del permisionario:

- a. Instalar y operar de acuerdo a los términos, condiciones y plazos previstos en el permiso;
- b. Prestar los servicios en forma ininterrumpida y con la calidad mínima establecida en el permiso, para lo cual tomará todas las acciones que considere pertinentes, según los estándares de industria internacionalmente aceptados tales como establecimiento de rutas alternativas, sistemas de reparación de emergencia entre otros, salvo caso fortuito o fuerza mayor el cual deberá ser notificado a la Superintendencia de Telecomunicaciones con el debido respaldo técnico;
- c. Otorgar la capacidad de transmisión y colocación en el menor tiempo posible de forma no discriminatoria atendiendo las solicitudes de servicio en orden cronológico siempre que sea técnicamente factible.
- d. Otorgar trato equitativo a los solicitantes y clientes del servicio de acuerdo con lo establecido en el artículo 15 del presente reglamento;

- e. Permitir la inspección y verificación de sus sistemas a la Superintendencia de Telecomunicaciones en cualquier momento;
- f. Llevar sistemas de contabilidad de costos, separados para el caso de que el permisionario hubiera obtenido una concesión para la prestación de un servicio de telecomunicaciones. Dichos sistemas deberán estar disponibles para su verificación por parte de la Superintendencia de Telecomunicaciones;
- g. El Permisionario hará de conocimiento público por cualquier medio de difusión las condiciones técnicas, económicas y legales generales de los productos ofrecidos.
- h. Indemnizar a sus clientes por interrupción del servicio conforme lo indicado en el contrato con el cliente;
- i. Proporcionar la información que requiera la Superintendencia de Telecomunicaciones para el control de calidad del servicio;
- j. Iniciar sus operaciones una vez comunicada a la Superintendencia de Telecomunicaciones la fecha de puesta en servicio, incluyendo en tal comunicación el soporte de pruebas de calidad certificada por el constructor de la red submarina;
y,
- k. Presentar a la SENATEL a título informativo el contrato tipo a celebrarse con sus clientes.

ARTÍCULO 11.- Registro de proveedores de cable submarino: La Secretaría Nacional de Telecomunicaciones llevará un registro actualizado de los proveedores de capacidad de cable submarino habilitados para operar en el país y de las condiciones en las cuales se otorgó el permiso, documento que será inscrito en el Registro Público de Telecomunicaciones a cargo de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones

ARTÍCULO 12.- Caducidad: El permiso otorgado y la inscripción realizada por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones para un sistema de cable submarino se dará por terminado, previo informe de la Superintendencia de Telecomunicaciones, si dentro de un período de 12 meses prorrogables por 6 meses adicionales por una única vez (previa solicitud y justificación correspondiente), contados a partir de la fecha de suscripción del permiso, no ha iniciado las operaciones del servicio.

ARTÍCULO 13.- Responsabilidad de los permisionarios: Sin perjuicio de las leyes y normas que en la República del Ecuador rigen la materia, las relaciones contractuales entre los proveedores de capacidad de cable submarino y sus clientes se regirán en lo general por el presente reglamento y en lo particular por los contratos que firma el proveedor con dichos clientes, esto es, con las compañías debidamente autorizadas para prestar servicios de telecomunicaciones o para operar redes en el país.

ARTÍCULO 14.- Información para la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones y la Superintendencia de Telecomunicaciones: El proveedor de capacidad de cable submarino debe informar semestralmente a la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones y la Superintendencia de Telecomunicaciones sobre:

- a. Modificación de la capacidad de transporte de señales de telecomunicaciones;
- b. Reporte de clientes a los que presta el servicio y capacidad total activada;
- c. Listado de personas naturales o jurídicas que han solicitado los servicios al permisionario;
- d. Parámetros de calidad ofertados a sus clientes y grado de cumplimiento; y e. Facturación por la provisión de capacidad. Dichos informes serán entregados dentro de los 15 (quince) días siguientes a la terminación del semestre al que corresponde la información.

ARTÍCULO 15.- Trato Equitativo: El proveedor de capacidad de cable submarino otorgará a los operadores de servicios de telecomunicaciones nacionales (incluyendo subsidiarias, asociadas o unidades de negocio): iguales condiciones comerciales, en los casos de iguales condiciones de contratación (tales como volumen de compra, plazos comprometidos, compromisos de crecimiento futuro, condiciones de pago, entre otras).

ARTÍCULO 16.- Pago por el permiso: El permiso que otorgue la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones para actuar como proveedor de capacidad de cable submarino ocasionará el pago de derecho correspondiente al 0.5% anual sobre los ingresos brutos facturados por el proveedor en el Ecuador. El peticionario además debe presentar una propuesta consistente en la entrega de una determinada

capacidad internacional con acceso Internet para uso de desarrollo social y educativo en la estación terminal de cable submarino. Dicha capacidad de acceso será administrada por el FODETEL, según el acuerdo que contendrá las especificaciones técnicas que se firmará a tales efectos entre la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones y el Permisionario.

El CONATEL seleccionará entre la forma de pago y la propuesta de entrega de la capacidad de acceso, la alternativa que más convenga a los intereses sociales y del país.

Se entiende que solo se escogerá una de las dos modalidades como forma de pago por el otorgamiento del permiso.

ARTÍCULO 18.- Terminación del permiso: El CONATEL dará por terminado el permiso por las siguientes causas:

- a. Por término del plazo del permiso si no se hubiere solicitado la renovación en el tiempo establecido;
- b. Por incumplimiento de las obligaciones económicas con la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones por más de noventa días;
- c. Por no instalar el sistema dentro del plazo establecido; y,
- d. Por otras establecidas en la ley especial de telecomunicaciones y reglamentos correspondientes.

ARTÍCULO 19.- Ajuste de tarifas: El permisionario podrá fijar libremente sus tarifas sin embargo el CONATEL para evitar actos contrarios a la libre competencia, podrá determinar las tarifas en los casos siguientes:

- a) Cuando entre Permisionarios de capacidad internacional hubiesen acordado los precios de los servicios con fines contrarios a la libre competencia;
- b) Cuando un permisionario de capacidad de acceso internacional estableciere tarifas por debajo de los costos con motivos o efectos anticompetitivos; y,
- c) Cuando en permisionario se niegue a otorgar capacidad internacional injustificadamente.

DISPOSICIÓN TRANSITORIA

Los proveedores de capacidad de cable submarino que actualmente estén en operación en el país deberán obtener el correspondiente título habilitante en 180 días a partir de la publicación de la presente Resolución en el Registro Oficial.

Derogase la Resolución 559-25-CONATEL-2006 de 10 de octubre de 2006.

El presente reglamento entrará en vigencia a partir de su aprobación sin perjuicio de su publicación en el Registro Oficial.