

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Electrónica



Instituto Costarricense de Electricidad – Telecomunicaciones

ICE



**Estudio de aplicabilidad técnica y estratégica del uso de cable
óptico submarino en la costa de Costa Rica**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de
Ingeniero en Electrónica con el Grado Académico de Licenciatura**

Gustavo Adolfo Jiménez Torres

Cartago, Junio de 2003

**INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA EN ELECTRONICA
PROYECTO DE GRADUACION
TRIBUNAL EVALUADOR**

Ing. Julio Stradi Granados
Profesor Asesor

Firma: _____

Escuela de Ingeniería en Electrónica
I.T.C.R.

Ing. Rodolfo Sequeira Toruño
Asesor por la empresa

Firma: _____

Instituto Costarricense de Electricidad
Sector Telecomunicaciones

Los miembros de este tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por las Instituciones involucradas en la ejecución de este proyecto.

Sala de reuniones, UEN-GRM, ICE - Telecomunicaciones,
edificio San Pedro, 2 de junio del 2003

Resumen

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), en su sección de Telecomunicaciones, es el encargado de brindar y mantener los servicios de infotelecomunicaciones a todo lo ancho y largo del país, esto lo realiza a través del Sistema Nacional de Telecomunicaciones (SNT), que se encuentra conformado de enlaces de cobre, radio y fibra óptica, el cual es altamente vulnerable a accidentes, incidentes y catástrofe natural. Por tal razón, el subproceso de Operaciones y Mantenimiento ha tomado la iniciativa de plantear un proyecto de cable submarino de fibra óptica a lo largo de la costa del Pacífico, como primer etapa. De esta manera, se pretende incrementar la estabilidad, disminuir la vulnerabilidad del SNT y brindar una vía alternativa para el tráfico, que presente un alto grado de seguridad y una baja vulnerabilidad ante una eventual catástrofe natural. Dadas estas circunstancias se realizó, como primer paso una investigación para recopilar información de estándares, compañías, proyectos similares; también, se establecieron los puntos de interés de llegada y se contactó a compañías que se dedican a la implementación de proyectos de esta naturaleza. El desarrollo de primer paso se basó en la búsqueda y la recolección de información, así como reuniones con especialistas en determinadas áreas. De esta forma, se va generando la base de conocimiento requerida por la Institución.

Palabras claves: ICE, WDM, DWDM, Cable Submarino, Fibra Óptica

Abstract

The telecommunication section in the Costa Rican Electricity Institute (Instituto Costarricense de Electricidad, ICE) is in charge of providing and giving support to the info-telecommunication services nationwide. This is done through the Telecommunication National System (Sistema Nacional de Telecomunicaciones, SNT), which consists of copper, radio and fiber optic links. This system is highly vulnerable to accidents and natural catastrophes, for this reason the Operation and Maintenance sub process has taken the initiative of introducing a project based on fiber optic underwater cable along the Pacific coast. The aim of this first stage is to increase the stability, reduce the SNT vulnerability and to provide an alternative flow route highly secure and less prone to possible natural catastrophes. As a result, an investigation was first conducted in order to compile standards, companies and similar projects. Among others, shore ends were established and project implementation companies in this area were contacted. The first step was to search and gather information, as well as to meet with specialists in specific areas, which generated the foundations of the knowledge the institution was requiring.

Keywords: ICE, WDM, DWDM, Submarine Cable, Optical fiber

Dedicatoria

A mi familia, novia, compañeros y amigos, que durante este tiempo me han apoyado e impulsado a seguir adelante hasta concluir esta meta que hace algunos años me propuse y que hoy concluye, tras múltiples experiencias momento amenos, amargos y demás, a todos ellos muchas gracias. Pero en especial a mi madre y a mi padre que fueron quienes me brindaron los medios que me permitieron avanzar.

Agradecimiento

Agradezco al Ing. Julio Stradi, por permitirme realizar el proyecto de graduación en la dependencia a su cargo, y mostrarme la diferencia entre la teoría y la aplicación de la ingeniería.

Al Ing. Rodolfo Sequeira Toruño, por brindarme su ayuda y su apoyo en todo lo que le fue posible durante mi estadía en el ICE.

A todos mis profesores de la Escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica, gracias a los cuales he podido culminar exitosamente los objetivos propuestos.

INDICE GENERAL

Capitulo 1	Introducción	1-13
1.1.	Descripción de la empresa	1-13
1.2.	Organización de la empresa.....	1-15
1.2.1.	Sector Telecomunicaciones	1-16
1.2.2.	Misión del sector Telecomunicaciones.....	1-17
1.2.3.	Visión del sector Telecomunicaciones	1-17
1.2.4.	Organización del sector Telecomunicaciones	1-18
1.2.5.	UEN Gestión de Red y Mantenimiento	1-19
1.3.	Definición del problema y su importancia	1-20
1.4.	Objetivos	1-20
Capitulo 2	Antecedentes	2-22
2.1.	Estudio del problema por resolver.....	2-22
2.2.	Requerimientos de la empresa.....	2-23
2.3.	Solución propuesta.....	2-23
Capitulo 3	Procedimiento metodológico.....	3-25
Capitulo 4	Fibra Óptica	4-27
4.1.	Orígenes e Historia	4-27
4.2.	Definición	4-28
4.3.	Tipos de fibras ópticas	4-32
4.3.1.	Fibra monomodo	4-32
4.3.2.	Fibra multimodo de índice gradiente gradual	4-33
4.3.3.	Características técnicas	4-34
4.3.4.	Proceso de fabricación de la fibra monomodo	4-35
4.4.	Normalización aplicable a la fibra óptica	4-38
4.4.1.	La Norma ISO 8802.3(IEEE 802.3).....	4-38
4.4.2.	Normas Utilizadas en el Área de Telecomunicaciones ...	4-39
Capitulo 5	Topologías físicas para cable submarino	5-42
5.1.	Festoon	5-42
5.2.	Ring	5-43
5.3.	Collapset Ring	5-44
5.4.	Mesh	5-46
Capitulo 6	Sistemas de cable submarino.....	6-47
6.1.	Sistemas con repetidores.....	6-51

6.2.	Sistema sin repetidores	6-52
Capitulo 7	Tecnologías de transmisión utilizadas en fibra óptica.....	7-53
7.1.	Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM).....	7-55
Capitulo 8	Proceso de desarrollo de un proyecto de cable óptico submarino.....	8-58
8.1.	Estudio Detallado de escritorio “DESK-TOP”	8-58
8.2.	Organización del proyecto.....	8-59
8.3.	Licencias & Medio-ambiente	8-60
8.4.	Levantamiento Hidrográfico.....	8-60
8.5.	Selección de Ruta y Planificación de Cables	8-63
8.6.	Producción y Test de Cables.....	8-64
8.7.	Transporte	8-66
8.8.	Instalación del Cable Submarino.....	8-67
8.9.	Mantenimiento.....	8-69
8.10.	Proyectos de cable óptico submarino alrededor del mundo .	8-70
8.10.1.	Maya-1	8-74
8.10.2.	Arcos-1.....	8-75
Capitulo 9	Diseño preliminar.....	9-76
9.1.	Topología	9-76
9.2.	Puntos de llegada a la costa (shore end).....	9-77
9.3.	Sistema de transmisión	9-83
Capitulo 10	Conclusiones y recomendaciones.....	10-85
10.1	Conclusiones.....	10-85
10.2	Recomendaciones.....	10-87
Referencias.....		88
Bibliografía		88
Electrografía.....		88
Apéndices		89
Apéndice A.1	Abreviaturas y glosario.....	89
Anexos.....		91
Anexo B.1	Recomendación ITU-T G.652. Características de un cable de fibra óptica monomodo	91

Anexo B.2	Recomendación IUT-T G.972. Definición de términos pertinentes a los sistemas de cable submarino de fibra óptica.....	91
Anexo B.3	Recomendación IUT-T G.976. Métodos de prueba aplicables a los sistemas de cable submarino de fibra óptica.....	91

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Estructura Organizacional del ICE	1-16
Figura 1.2 Estructura Organizacional Sector de Telecomunicaciones	1-19
Figura 4.1 Fibra óptica componentes y composiciones.....	4-30
Figura 4.2 Diferentes tipos de cables ópticos submarinos	4-31
Figura 4.3 Fibra Monomodo	4-33
Figura 4.4 Fibra multimodo de índice escalonado.....	4-33
Figura 4.5 Barra y tubo concéntricos.....	4-36
Figura 4.6 Proceso de fabricación.....	4-37
Figura 4.7 Proceso de revestimiento de protección	4-37
Figura 4.8 Relación entre las Recomendaciones relativas a los sistemas de cable submarino de fibra óptica	4-41
Figura 5.1 Topología de tipo Festoon (Guirnalda).....	5-43
Figura 5.2 Proyecto Arcos-1.....	5-43
Figura 5.3 Topología de tipo Ring (anillo)	5-44
Figura 5.4 Topología de tipo Collapset Ring (anillo colapsado)	5-45
Figura 5.5 Proyecto de Maya-1	5-45
Figura 5.6 Topología de tipo Mesh (Maya).....	5-46
Figura 6.1 Ejemplo de sistema de cable submarino de fibra óptica	6-50
Figura 6.2 Esquema general de un sistemas sin repetidores.....	6-52
Figura 7.1 Esquema tradicional de transporte de información a través de fibra óptica.....	7-53
Figura 7.2 Crecimiento del ancho de banda.....	7-54
Figura 7.3 Transporte de diferentes λ 's a través de una misma fibra	7-54
Figura 7.4 Espectro en la segunda ventana, de una fibra monomodo que transporta información sobre DWDM	7-55
Figura 8.1 Esquema de organización de un proyecto de cable submarino	8-59
Figura 8.2 Grafico final del levantamiento hidrográfico, segmento 19 del proyecto Arcos-1, Trujillo – Puerto Cortes.....	8-61
Figura 8.3 Resumen de información para la elaboración e instalación del cable.....	8-62
Figura 8.4 Capacidad de exploración de un los equipos de inspección del fondo marino	8-63
Figura 8.5 Ruta preliminar seccionada para el trazo del cable submarino .	8-64

Figura 8.6	Métodos de transporte y almacenamiento típicos de cable submarino	8-66
Figura 8.7	Navíos de instalación	8-67
Figura 8.8	Arado a punto de iniciar el enterrado del cable	8-68
Figura 8.9	Equipos para excavar y enterrar el cable	8-68
Figura 8.10	Mapa global de cables submarinos	8-70
Figura 8.11	Ruta del cable submarino Maya-1	8-75
Figura 9.1	Tendido del cable submarino “Festoon del Pacífico”	9-77
Figura 9.2	Diagrama de la ubicación del punto de llegada a la playa y la estación en Cuajiniquil	9-78
Figura 9.3	Diagrama de la ubicación del punto de llegada a la playa y la estación en Samara	9-79
Figura 9.4	Diagrama de la ubicación del punto de llegada a la playa y la estación en Puntarenas.....	9-80
Figura 9.5	Diagrama de la ubicación del punto de llegada a la playa y la estación en el Roble Puntarenas	9-81
Figura 9.6	Diagrama de la ubicación del punto de llegada a la playa y la estación en Esterillos	9-82
Figura 9.7	Diagrama de la ubicación del punto de llegada a la playa y la estación en Golfito	9-83

INDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Comparación de las fibras ópticas.....	4-34
Tabla 8.1 Pruebas típicas en cables submarinos de fibra óptica.....	8-65
Tabla 8.2 Sistemas de cable submarino en Asia.....	8-72
Tabla 8.3 Sistemas de cable submarino en el Caribe	8-73
Tabla 9.1 Longitud de los segmentos de fibra entre Beach Manhole.....	9-83

Capítulo 1 Introducción

1.1. Descripción de la empresa

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) fue creado por el Decreto de Ley No.449 del 8 de abril de 1949 como una institución autónoma, con personalidad jurídica y patrimonio propio. Está dotado de plena autonomía e independencia administrativa, técnica y financiera. Al ICE le corresponde, por medio de sus empresas, desarrollar, ejecutar, producir y comercializar todo tipo de servicios públicos de electricidad y telecomunicaciones, así como actividades o servicios complementarios a estos.

Como objetivos primarios, el ICE debe desarrollar, de manera sostenible, las fuentes productoras de energía existentes en el país y prestar el servicio de electricidad. A su vez, se encarga de desarrollar y prestar los servicios de telecomunicaciones, con el fin de promover el mayor bienestar de los habitantes del país y fortalecer la economía nacional.

Su creación fue el resultado de una larga lucha de varias generaciones de costarricenses que procuraron solucionar, definitivamente, los problemas de la escasez de energía eléctrica presentada en los años 40 y en apego de la soberanía nacional, en el campo de la explotación de los recursos hidroeléctricos del país.

Como Institución encargada del desarrollo de fuentes productoras de energía eléctrica del país, le fueron encomendadas las siguientes funciones:

- Solucionar el problema de la escasez de energía eléctrica del país, mediante la construcción y puesta en servicio de más plantas de energía hidroeléctrica, con sus correspondientes redes de distribución.
- Promover el desarrollo del país mediante el uso de la energía eléctrica como fuente de fuerza motriz.
- Procurar la utilización racional de los recursos naturales y terminar con la explotación destructiva e indiscriminada de estos.

- Conservar y defender los recursos hidráulicos del país, mediante la protección de las cuencas, fuentes, cauces de los ríos y corrientes de agua.
- Hacer de sus procedimientos técnicos, administrativos y financieros modelos de eficiencia capaces de garantizar el buen funcionamiento del Instituto y que sirvan de norma a otras actividades costarricenses.

Posteriormente, en 1963 y por medio de la Ley No. 3226, la Asamblea Legislativa le confirió al ICE un nuevo objetivo: el establecimiento, mejoramiento, extensión y operación de los servicios de comunicaciones telefónicas, radiotelegráficas y radiotelefónicas en el territorio nacional. Tres años más tarde, instaló las primeras centrales telefónicas automáticas y, a partir de entonces, las telecomunicaciones iniciaron su desarrollo.

El ICE no absorbió a la empresa extranjera desde un principio; ambos sistemas coexistieron hasta 1967. Pero es claro que a partir de su creación, el país pudo dirigir su desarrollo eléctrico de acuerdo con sus propias necesidades sociales y económicas.

Con el devenir del tiempo, ha evolucionado como un grupo corporativo de empresas estatales, integrado por el propio ICE (Sectores Electricidad y Telecomunicaciones) y sus empresas: Radiográfica Costarricense S.A. (RACSA) y la Compañía Nacional de Fuerza y Luz S.A. (CNFL), las cuales han trazado su trayectoria, mediante diversos proyectos de modernización desarrollados en las últimas décadas.

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) es una institución autónoma del Estado, con personería jurídica propia, que se financia con fondos propios y externos a través de la venta de servicios de energía y telecomunicaciones.

El ICE, constituido por los sectores ICE – Electricidad e ICE – Telecomunicaciones y sus empresas, la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL) y Radiográfica Costarricense S.A. (RACSA) es un Grupo que se ha caracterizado por una gestión de desarrollo de clase internacional tendiente a satisfacer las necesidades evolutivas que plantean los clientes y un entorno altamente competitivo.

La globalización de los mercados y la revolución tecnológica llevan a las empresas del Grupo ICE a redoblar esfuerzos con una clara orientación hacia el cliente, con los mejores y más innovadores productos y servicios, con menos recursos y en el menor tiempo posible.

Es así como, con más de medio siglo de existencia, el ICE ha logrado la construcción de numerosas obras hidroeléctricas, térmicas y geotérmicas; la instalación de paneles solares en comunidades alejadas y la producción de energía eólica, Como resultado de estos logros la generación eléctrica logró dar cobertura eléctrica al 96.8% del territorio nacional.

1.2. Organización de la empresa

La principal herramienta de la organización es el personal, que con esfuerzo y dedicación se ha convertido en uno de los mejores recursos técnicos y profesionales de América Latina. La baja rotación de los trabajadores, la especialización de las áreas técnicas del ICE y su preparación académica son muestra de que el recurso humano es uno de los mayores baluartes.

La administración superior del ICE está integrada por el consejo directivo, la presidencia ejecutiva y la gerencia general. En la Figura 1.1, se muestra la estructura organizacional del ICE.

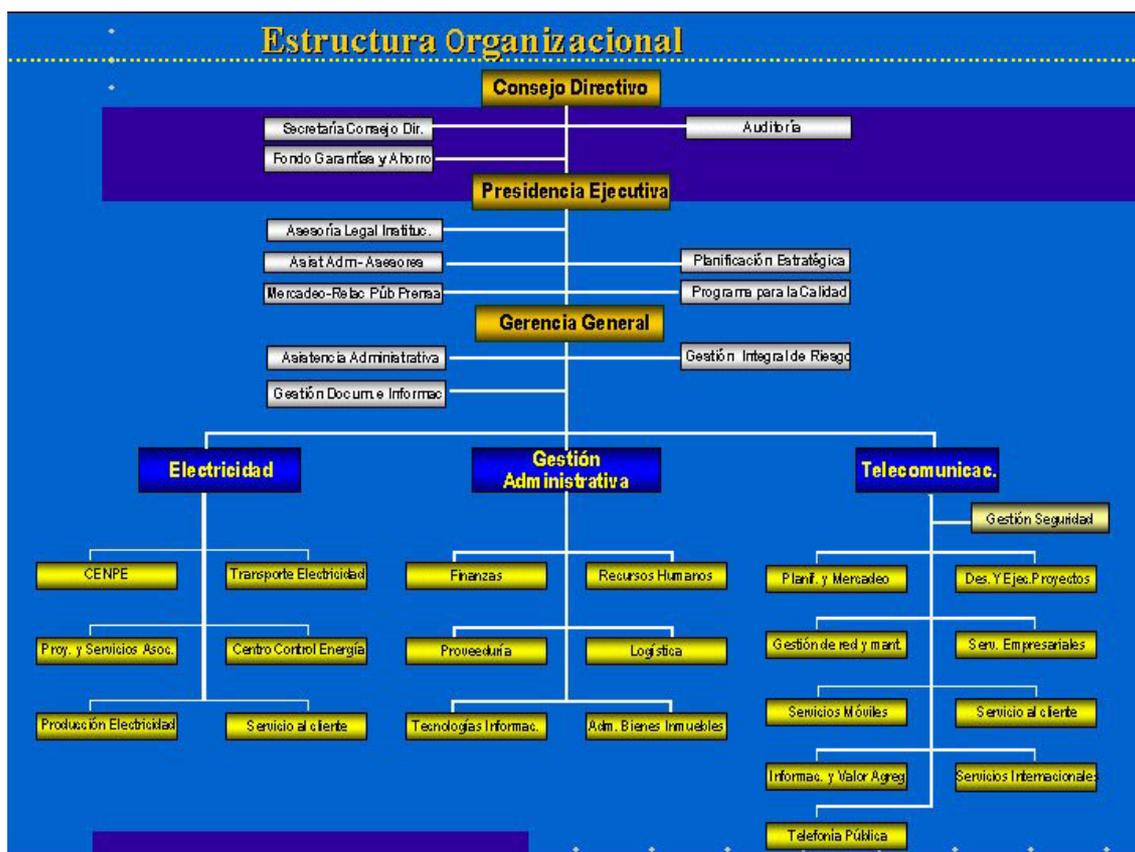


Figura 1.1 Estructura Organizacional del ICE

Son empresas del ICE las siguientes:

- Compañía Nacional de Fuerza y Luz S.A. (CNFL), en su condición de accionista mayoritaria.
- Radiográfica Costarricense S.A. (RACSA).
- Compañía Radiográfica Internacional de Costa Rica S.A. (CRICRSA)
- ICE (Sector Electricidad, Sector Telecomunicaciones y Sector Gestión Administrativa)

Para efectos de organización, se habla del Sector Electricidad, formado por CNFL y Electricidad del ICE y del Sector Telecomunicaciones, constituido por Telecomunicaciones del ICE y RACSA.

1.2.1. Sector Telecomunicaciones

El sector de Telecomunicaciones del ICE es el responsable del desarrollo y la operación del Sistema Nacional de Telecomunicaciones.

Desde su inicio, el ICE ha realizado un gran esfuerzo para proporcionarle al país una gama de servicios acordes con las necesidades de cada época, en este momento Costa Rica posee una cobertura telefónica superior al 94% del territorio nacional y cuenta con una densidad de 23 líneas telefónicas por cada 100 habitantes, ocupando el primer lugar de Centroamérica y el segundo lugar considerando Suramérica; ofreciendo el servicio de telefonía básica, con los precios más bajos de instalación y de tarifa mensual.

ICE TELECOMUNICACIONES redobla esfuerzos para el desarrollo de nuevos servicios y sistemas de gestión que permitan prestar servicios con mayor calidad y variedad, tal que satisfagan las actuales expectativas de información y comunicación de la sociedad costarricense.

Para el desarrollo y la introducción de servicios avanzados de telecomunicaciones, el ICE cuenta con una serie de plataformas especializadas para servicios de valor agregado, entre ellas: Red Inteligente (RI), NAP (Network Application Platform) y ACD (Automatic Call Distribution).

El ICE ha evolucionado hacia una nueva filosofía empresarial, en la cual el cliente es el punto de partida de su negocio, en donde un adecuado conocimiento de sus necesidades y requerimientos, es la base para desarrollar una amplia y oportuna cartera de servicios.

1.2.2. Misión del sector Telecomunicaciones

"Satisfacer las necesidades y expectativas evolutivas de los clientes y la sociedad costarricense, mediante el suministro oportuno de servicios y aplicaciones de telecomunicaciones e información de calidad, a precios y tarifas competitivos, con la tecnología adecuada y el mejor recurso humano."

1.2.3. Visión del sector Telecomunicaciones

"Empresa propiedad del Estado, competitiva de clase mundial, líder en el mercado de las telecomunicaciones e información, con la mejor tecnología y recurso humano al servicio del cliente y de la sociedad costarricense".

1.2.4. Organización del sector Telecomunicaciones

El mercado actual de las infocomunicaciones, en el cual debe desenvolverse el ICE, es muy dinámico y cambiante, por lo tanto debe tener suficiente capacidad de respuesta ante las necesidades del entorno y buscar ventajas competitivas, a través de la gama de servicios que la tecnología permite ofrecer a nuestros clientes, para lograr así diversificar las fuentes de ingresos, y optimizar el potencial de la red.

El Sector de Telecomunicaciones, consciente de los retos que representa hoy día la globalización de los mercados, empezó su transformación para pasar de la funcionalidad típica de las estructuras verticales a una organización estructurada por procesos con relaciones horizontales en donde, las áreas operativas ejecutan sus labores de acuerdo a los servicios específicos para atender el mercado, organizadas por Unidades Estratégicas de Negocios.

El modelo de organización adoptado en ese momento, trata de promover un enfoque pragmático hacia las normas, y trata los procesos desde una perspectiva de extremo a extremo mediante tres áreas clave que son: la entrega del servicio, su aseguramiento y la facturación. Asimismo, dentro del contexto de estos tres procesos, se combinan la atención al cliente, el desarrollo de los servicios y la gestión integral de la red.

En la Figura 1.2, se presenta la estructura organizacional que incluye las Unidades Estratégicas de Negocios, conocidas simplemente como UENs, definidas para ICE TELECOMUNICACIONES.

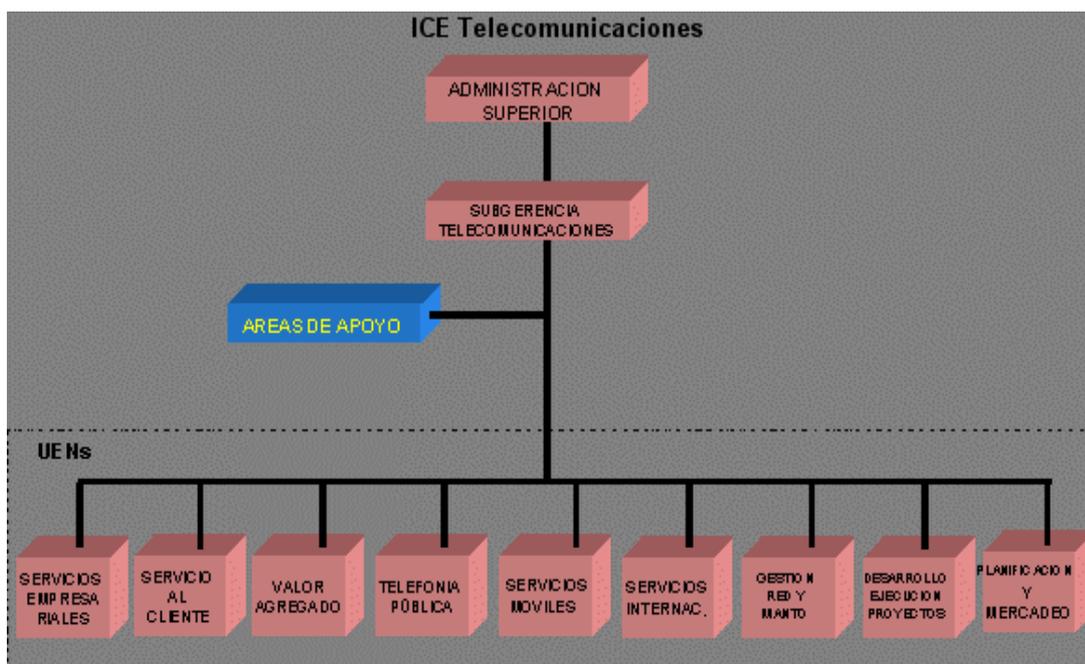


Figura 1.2 Estructura Organizacional Sector de Telecomunicaciones

1.2.5. UEN Gestión de Red y Mantenimiento

Cada Unidad Estratégica de Negocios (UEN) es responsable de ejecutar variados procesos, que integrados dan como resultado los servicios de telecomunicaciones que se ofrecen al cliente.

De esta forma, la Unidad Estratégica de Gestión de Red y Mantenimiento (UEN GRM) es la responsable de gestionar y mantener en óptimas condiciones de funcionamiento la infraestructura del Sistema Nacional de Telecomunicaciones, con el fin de asegurar una red confiable, de calidad mundial y que cuente con la mejor y mayor disponibilidad para los servicios que se brinda a las diferentes Unidades de Negocios.

Esta UEN es la encargada de toda gestión relacionada con los diferentes medios de transferencia de información (voz y datos) utilizada a lo largo del SNT.

Esta UEN tiene estrecho contacto con la Unidad Estratégica de Desarrollo y Ejecución de Proyectos, por cuanto, ésta es la encargada de suministrar la infraestructura de Red para el SNT, desarrollando y ejecutando proyectos de infraestructura básica y especializada. Propone normalización técnica, brinda asesorías, define parámetros para la homologación de equipos, asigna y optimiza el espectro radioeléctrico e introduce mejoras técnicas en la red existente.

1.3. Definición del problema y su importancia

El Sistema Nacional de Telecomunicaciones presenta una gran vulnerabilidad ante accidentes, incidentes y catástrofe natural es por esto que el subproceso de Operaciones y Mantenimiento del proceso de Transmisión, dentro de la Unidad Estratégica de Negocio de Gestión de Red y Mantenimiento del sector de Telecomunicaciones, ha tomado la iniciativa en un ambicioso proyecto que pretende el tiraje de un cable submarino a lo largo de la costa pacífica del país, para esto se ha realizado un estudio que contempla la investigación de los tipos de fibras, cables y estándares internacionales que normalicen los sistemas de cable submarino, los diferentes tipos de tecnologías de transmisión que operan sobre fibra y específicamente los que se explotan en nuestro país, los efectos del fondo marino (batimetría y morfología marinas), así como los factores que han generado algún tipo de problema según dicta la experiencia en proyectos similares que se han desarrollado desde hace más de cien años atrás.

1.4. Objetivos

Determinar los estándares internacionales, para cable óptico submarino(en adelante COS), factibles para transmisión en WDM y DWDM.

Determinar el tipo o tipos de cable(s) por utilizar, cantidad de fibras, recubrimiento, armadura y fabricantes que lo proveen.

Investigar la existencia de proyectos similares, diseñadores, empresas ejecutoras, encargados de operación y mantenimiento, a nivel nacional e internacional.

Contactar a compañías internacionales como [NSW](#) y [Alcatel](#), que hayan desarrollado proyectos similares, para obtener información relativa a instalación, mantenimiento preventivo y correctivo, así como consideraciones o recomendaciones importantes para el diseño.

Determinar el efecto del ambiente marino, el fondo marino y la morfología¹ marina sobre el COS.

Establecer los aspectos importantes en la instalación así como aspectos relevantes en el mantenimiento, como base para el planteamiento de las futuras etapas del proyecto.

Determinar la ubicación y cantidad de puntos, técnica y estratégicamente más adecuados para la futura implementación del sistema.

Comparar la estabilidad, rentabilidad, operación y mantenimiento del COS con las vías aéreas y terrestres de transporte de tráfico actuales del SNT.

Determinar los beneficios que brindaría al país, tanto para el SNT como a nivel del posicionamiento del ICE a nivel centroamericano.

¹ Morfología marina: composición del fondo marino, elementos que constituyen en lecho marino

Capítulo 2 Antecedentes

2.1. Estudio del problema por resolver

El Sistema Nacional de Telecomunicaciones opera sobre un “back bone”² de enlaces basados fibra óptica, aérea y subterránea, y conexiones inalámbricas de microondas que se sitúan en torres elevadas, ambos presentan gran vulnerabilidad ante eventualidades de origen natural, accidental o por obra malintencionada. Todo lo anterior, produce elevados gastos en mantenimiento correctivo; además de serios problemas dentro del sistema, durante el lapso de tiempo necesario para la reparación, que recae finalmente en inconvenientes para los clientes del Sistema Nacional de Telecomunicaciones; esto causa, muchas veces, procesos legales por las pérdidas ocasionadas durante estos lapsos de tiempo, aparte de generar una mala imagen a la Institución.

Por todo lo anterior, el Instituto Costarricense de Electricidad requiere una vía alternativa para el SNT que no utilice vía terrestre ni la vía aérea; es por esto que surge la opción de utilizar el cable óptico submarino. Se eliminarían gran cantidad de los inconvenientes que existen hoy día con los enlaces actuales, disminuirían los gastos en que incurre el ICE a causa de accidentes de tránsito, roedores, sismos, perturbaciones climáticas severas, entre otras. Todo esto hace que el proyecto se vea como una opción altamente rentable a mediano plazo, esto sin tener en cuenta el valor agregado que recibiría el proyecto si se explota como una vía de transmisión de datos para hoteles y cadenas hoteleras, centros de investigación, compañías y otros entes ubicados en las costas del país, e incluso como medio para transporte de tráfico internacional de los países vecinos.

Entre los resultados que la institución espera obtener se puede citar:

- Eliminación de los problemas y/o debilidades que se presentan en los sistemas actuales de fibra terrestre o aérea y en los sistemas inalámbricos analógicos de microondas, como lo son la vulnerabilidad ante desastres climatológicos o sismológicos, roedores o accidentes

² Se refiere a los enlaces de gran capacidad de transporte de información dentro de la red

de tránsito. Ofreciendo una vía alternativa, de alta velocidad y altamente confiable.

- Posicionamiento de Costa Rica, específicamente del Instituto Costarricense de Electricidad a nivel centroamericano, situándose como el único país en el área que cuenta con un sistema de telecomunicaciones tan robusto.

2.2. Requerimientos de la empresa

El ICE requiere de un estudio de aplicabilidad de un cable óptico submarino, tanto a nivel técnico como estratégico, esto con el fin de obtener una vía alterna para las conexiones, terrestres y aéreas con que cuenta el SNT.

Un sistema de cable submarino debe tener una larga vida útil y una elevada fiabilidad; la razón principal es que debido a la dificultad de acceso a la planta sumergida, la construcción y el mantenimiento de un enlace son largos y costosos; además, la mayoría de los enlaces submarinos tienen una importancia estratégica en la red de transmisión y la interrupción de un enlace normalmente provoca pérdidas muy significativas de tráfico y de ingresos.

El resultado esperado son una serie de conclusiones y recomendaciones que apoyen o no el proyecto, en las que se resuman las razones para seguir adelante o no con el planteamiento formal del proyecto ante la subgerencia de telecomunicaciones, a cargo del Ing. Álvaro Retana.

2.3. Solución propuesta

El proyecto supone un desarrollo mucho mayor a las 16 semanas, y deberá llevarse a cabo en varias etapas dentro de las que se puede citar:

- Estudio de aplicabilidad
- Diseño de enlaces, definición de la ubicación, características técnicas y otras
- Elaboración del cartel y publicación de licitación
- Adjudicación
- Ejecución por parte de la compañía a la que se le adjudique

En la primera etapa del proyecto, el estudio de aplicabilidad, el estudiante investigará acerca de la información referente a estándares, materiales,

compañías, y demás información necesaria para el proyecto. Además, se verá la interacción con diversos departamentos a lo interno de la institución, así como con empresas locales e internacionales dentro y fuera del país relacionadas a los fines del proyecto (ejemplo Cable Maya), que dé cómo resultado la determinación de la aplicabilidad o no del cable óptico submarino en nuestras costas, plasmado en un documento que resuma la información recopilada durante la estadía, lo más importante y de mayor interés para la institución es la resolución final que dará paso o no a las demás etapas del proyecto, de darse paso a las próximas etapas, las conclusiones del estudio serán utilizadas para impulsar y justificar la continuidad del mismo.

El diseño de los enlaces, definición de la ubicaciones, características de los equipos que los soporten, serán elaborados por profesionales del ICE altamente especializados, capacitados con conocimiento y criterio sobre los mismos, ésta será una segunda etapa si el estudio determina la aplicabilidad del cable óptico submarino en las costas costarricenses.

En la elaboración del cartel, publicación de la licitación y adjudicación de la ejecución del proyecto se verá involucrado el departamento legal de ICE, quienes de la mano con el criterio técnico y las recomendaciones resultantes del estudio, generan el cartel y evalúan las ofertas basados en un proceso legal establecido.

La ejecución sería la implementación del diseño y seguimiento de una serie de especificaciones técnicas generadas en el estudio y la etapa de diseño, ésta la llevaría a cabo una empresa como por ejemplo Alcatel, NSW o Erickson.

Capítulo 3 Procedimiento metodológico

1. *Determinación de estándares para cable óptico submarino(COS)*, la búsqueda de información bibliográficas y electrónicas acerca de los diferentes estándares y normativas, en los Institutos que regulan las telecomunicaciones a nivel mundial, para el cable óptico submarino en específico. Para tal efecto, se utilizó el Centro de Investigación Tecnológica (CIT) como herramienta de apoyo.
2. *Determinación del tipo de cable por utilizar*, cantidad de fibras y fabricantes que lo proveen. Se identificaron las compañías que ofrecen COS, se solicitaron las especificaciones técnicas u hojas de datos de los cables de interés.
3. *Selección el tipo de cable*, que cubra las necesidades existentes y toleren las proyecciones de incremento de tráfico del SNT de al menos 15 años. Se estableció la cantidad de fibras que ofrezca mayor factibilidad a largo lazo, esta actividad se realizó en conjunto con el Ingeniero especializado.
4. *Investigación de la existencia de proyectos similares*, tanto a nivel local (Centro y Latinoamérica) como a nivel mundial, las empresas ejecutoras, diseñadores, encargados de operación y mantenimiento, así como contactos en las mismas, que puedan ser útiles como elementos de apoyo y/o referencia dada la experiencia con que cuentan, un ejemplo de estas compañías es Cable Maya que actualmente brinda este servicio para la transmisión de datos, voz e Internet al Grupo ICE.
5. *Se contactó a compañías internacionales que han desarrollado proyectos similares*, a través de correo electrónico, para obtener información relativa a instalación, mantenimiento, preventivo y correctivo, y consideraciones o recomendaciones importantes.

6. *Se establecieron las principales razones de fallas en los cables submarinos así como los efectos o influencia que llega a tener el entorno o tráfico de vehículos marinos sobre el cable o las fibras.*
7. *Se establecieron aspectos importantes en la instalación así como aspectos relevantes en el mantenimiento preventivo y correctivo, como base para el planteamiento de las futuras etapas del proyecto.*
8. *Se comparó la estabilidad, rentabilidad, operación y mantenimiento del COS con las vías aéreas y terrestres de transporte de tráfico actuales del SNT mediante el establecimiento de los problemas más comunes que se presentan en el actual SNT, mediante la comunicación con los departamentos internos (procesos y subprocesos dentro de las UEN) del ICE encargados del mantenimiento del mismo. Así como la proyección de los posibles desperfectos que podría sufrir el COS*
9. *Se determinaron los beneficios que brindaría al país, tanto para el SNT como a nivel del posicionamiento del ICE a nivel centroamericano.*

Capítulo 4 Fibra Óptica

4.1. Orígenes e Historia

La Historia de la comunicación por la fibra óptica es relativamente corta. En 1977, se instaló un sistema de prueba en Inglaterra; dos años después, se producían ya cantidades importantes de pedidos de este material. Antes, en 1959, como derivación de los estudios en física enfocados a la óptica, se descubrió una nueva utilización de la luz, a la que se denominó rayo láser, que fue aplicado a las telecomunicaciones con el fin de que los mensajes se transmitieran a velocidades inusitadas y con amplia cobertura. Sin embargo, esta utilización del láser era muy limitada debido a que no existían los conductos y canales adecuados para hacer viajar las ondas electromagnéticas provocadas por la lluvia de fotones originados en la fuente denominada láser.

Fue entonces cuando los científicos y técnicos especializados en óptica dirigieron sus esfuerzos a la producción de un ducto o canal, conocido hoy como la fibra óptica. En 1966, surgió la propuesta de utilizar una guía óptica para la comunicación.

Como portadora de información, en poco más de 10 años, la fibra óptica se ha convertido en una de las tecnologías más avanzadas que se utilizan como medio de transmisión. Este novedoso material vino a revolucionar los procesos de las telecomunicaciones en todos los sentidos, desde lograr una mayor velocidad y disminuir casi en su totalidad los ruidos y las interferencias hasta multiplicar las formas de envío en comunicaciones y recepción por vía telefónica.

Es así como el concepto de las comunicaciones por ondas luminosas ha sido conocido por muchos años; sin embargo, no fue hasta mediados de los años setenta que se publicaron los resultados del trabajo teórico, éstos indicaban que era posible confiar un haz luminoso en una fibra transparente flexible y proveer así un análogo óptico de la señalización por alambres electrónicamente. El problema técnico que se había de resolver para el avance de la fibra óptica, residía en las fibras mismas, que absorbían luz que dificultaba el proceso para la comunicación práctica, la fibra óptica debe transmitir señales luminosas detectables por muchos kilómetros. El vidrio

ordinario tiene un haz luminoso de pocos metros, se han desarrollado nuevos vidrios muy puros con transparencias mucho mayores que la del vidrio ordinario, estos vidrios empezaron a producirse a principios de los setenta. Este gran avance dio ímpetu a la industria de fibras ópticas, se usaron láseres o diodos emisores de luz como fuente luminosa en los cables, ambos han de ser miniaturizados para componentes de sistemas fibra-ópticos, lo que ha exigido considerable labor de investigación y desarrollo.

Los dos constituyentes esenciales de las fibras ópticas son el núcleo y el revestimiento, el núcleo es la parte más interna de la fibra y es la que guía la luz. consiste en una o varias hebras delgadas de vidrio o de plástico con diámetro de 9 a 125 micras³. El revestimiento es la parte que rodea y protege al núcleo, el conjunto de núcleo y revestimiento está a su vez rodeado por un forro o funda de plástico u otros materiales que lo resguardan contra la humedad, el aplastamiento, los roedores, y otros riesgos del entorno.

El tendido tiene en general cuatro tipos de trazado fundamentales: ruta carretera, vía ferroviaria, líneas de alta tensión y líneas sumergidas, estas últimas conocidas como cables ópticos submarinos, que utilizan básicamente los mismos tipos de fibra pero difieren en los recubrimientos que se utilizan dependiendo de la profundidad y morfología del sitio en que se estén tendiendo.

4.2. Definición

Las fibras ópticas son filamentos de vidrio de alta pureza extremadamente compactos, el grosor de una fibra es similar a la de un cabello humano. Fabricadas a alta temperatura con base en arena o sílice, su proceso de elaboración es controlado por medio de computadoras, para permitir que el índice de refracción de su núcleo, que es la guía de la onda luminosa (onda electromagnética de la misma naturaleza que las ondas de radio, con la única diferencia que la longitud de las ondas es del orden de micrómetros en lugar de metros o centímetros), sea uniforme y evite las desviaciones.

³ millonésima parte de un metro

Originalmente, la fibra óptica fue propuesta como medio de transmisión debido a su enorme ancho de banda; sin embargo, con el tiempo se ha planteado para un amplio rango de aplicaciones además de la telefonía, automatización industrial, computación, sistemas de televisión por cable y transmisión de información de imágenes astronómicas de alta resolución, entre otros.

En resumen, se puede decir que este proceso de comunicación, funciona como medio de transportación de la señal luminosa, generado por el transmisor de LED'S (diodos emisores de luz) y láser. Los diodos emisores de luz y los de láser son fuentes adecuadas para la transmisión mediante fibra óptica, debido a que su salida se puede controlar rápidamente por medio de una corriente de polarización. Además, su pequeño tamaño, su luminosidad, longitud de onda y el bajo voltaje necesario para manejarlos son características atractivas.

La fibra óptica está considerada aún como una tecnología relativamente nueva con respecto a los otros soportes. Su utilización se encuentra en plena evolución.

Básicamente, la fibra óptica está compuesta por:

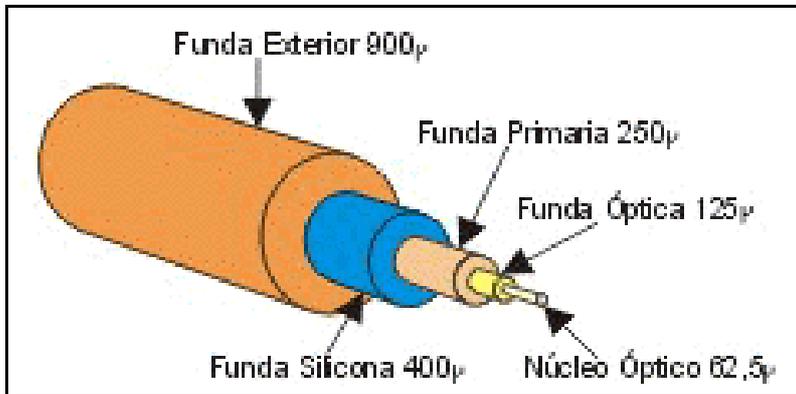
- **El Núcleo** - En sílice, cuarzo fundido o plástico - en el cual se propagan las ondas ópticas (haz de luz), cuyo diámetro oscila entre 50 a 62,5 μm^4 para la fibra multimodo y 9 μm para la fibra monomodo.
- **La Funda Óptica** – aislante que recubre el núcleo, generalmente conformado por los mismos materiales que este último pero con aditivos que confinan las ondas ópticas en el núcleo.
- **El revestimiento de protección** – zona externa al núcleo y coaxial con él, totalmente necesaria para que se produzca el mecanismo de propagación. Por lo general, está fabricado en plástico y asegura la protección mecánica de la fibra. El diámetro exterior varía entre 100 y 500 mm^5 . Para el caso de las fibras que se utilizan sumergidas, son necesarios recubrimientos más robustos que brinden a las fibras la

⁴ micrómetros

⁵ milímetros

resistencia mecánica, durante la instalación y ante cualquier eventualidad en que se requiera alguna clase de mantenimiento en la superficie marina.

En la Figura 4.1, se puede apreciar los componentes y diferentes composiciones de la fibra óptica.



a. Esquema de composición de una fibra multimodo



b. Cable de múltiples fibras con recubrimiento metálico



c. Esquema de composición de un cable multifibra



d. Cable de múltiples fibras con recubrimiento

Figura 4.1 Fibra óptica componentes y composiciones

Para los cables submarinos, existen básicamente tres tipos diferentes de cables:

- cable de doble armadura⁶, es el utilizado para los puntos de llegada a la costa que brinda mayor resistencia y seguridad a las fibras
- cable de armadura simple, es utilizado en el tendido en los tramos de media profundidad, antes de los 1000 metros pero después de aproximadamente los 200 metros
- cable sencillos, es el utilizado luego de alcanzar los 1000 metros de profundidad, zona a partir de la cual se considera segura, pues a esta profundidad no se realizan ni anclajes de barcos ni pesca de arrastre

La Figura 4.2, muestra los diferentes tipos de cables ópticos submarinos, es importante tener en cuenta que cada fabricante tiene su procedimiento para elaborar los cables y no necesariamente las diferentes marcas siguen un estándar respecto a la fabricación de los recubrimientos externos. En cambio, las fibras que se transportan dentro de estos cables sí se encuentran estandarizadas, como se verá más adelante este capítulo.



Figura 4.2 Diferentes tipos de cables ópticos submarinos

⁶ debe entenderse por armadura un recubrimiento, al cable que transporta las fibras, formado de hilos de acero, trenzados alrededor del cable para ofrecer una mayor resistencia mecánica

Las principales características de la fibra óptica se resumen en:

- Alta Velocidad de propagación
- Atenuación débil, transporte a largas distancias.
- Sin problemas de toma de tierra
- Inmunidad contra las perturbaciones electromagnéticas(RFI y EMI)
- Sin diafonía
- Instalación en medio explosivo
- Discreción e inviolabilidad de la conexión
- Resistencia a la corrosión

4.3. Tipos de fibras ópticas

Existen tres tipos de fibras, diferenciándose por el índice de refracción de los materiales que la constituyen y el diámetro de su núcleo, los cuales son:

- Fibra Monomodo
- Fibra multimodo de índice gradiente gradual
- Fibra multimodo de índice escalonado

4.3.1. Fibra monomodo

Potencialmente, ésta es la fibra que ofrece la mayor capacidad de transporte de información. Tiene una banda de paso del orden de los 100 GHz/km. Los mayores flujos se consiguen con esta fibra, pero también es la más compleja de implantar. La Figura 4.3 muestra que sólo pueden ser transmitidos los rayos que tienen una trayectoria que sigue el eje de la fibra, por lo que se ha ganado el nombre de "monomodo" (modo de propagación, o camino del haz luminoso único). Son fibras que tienen el diámetro del núcleo en el mismo orden de magnitud que la longitud de onda de las señales ópticas que transmiten, es decir, de unos 5 a 8 mm. Si el núcleo está constituido de un material cuyo índice de refracción es muy diferente al de la cubierta, entonces se habla de fibras monomodo de índice escalonado. Los elevados flujos que se pueden alcanzar constituyen la principal ventaja de las fibras monomodo, ya que sus pequeñas dimensiones implican un manejo delicado y entrañan dificultades de conexión que aún se dominan mal.

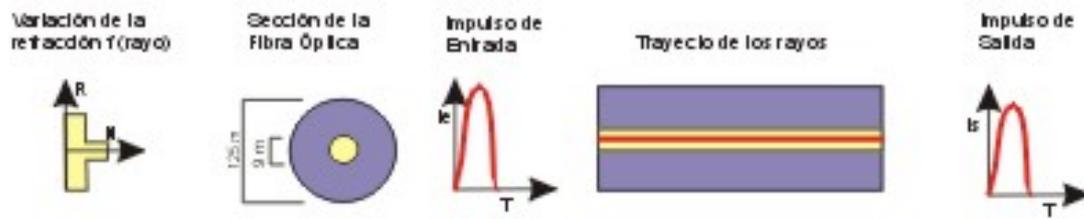


Figura 4.3 Fibra Monomodo

4.3.2. Fibra multimodo de índice gradiente gradual

Las fibras multimodo de índice escalonado están fabricadas a base de vidrio, con una atenuación de 30 dB/km, o plástico, con una atenuación de 100 dB/km. Tienen una banda de paso que llega hasta los 40 MHz/Km. En estas fibras, el núcleo está constituido por un material uniforme cuyo índice de refracción es claramente superior al de la cubierta que lo rodea. El paso desde el núcleo hasta la cubierta conlleva por tanto una variación brutal del índice, de ahí su nombre de índice escalonado. Ver Figura 4.4

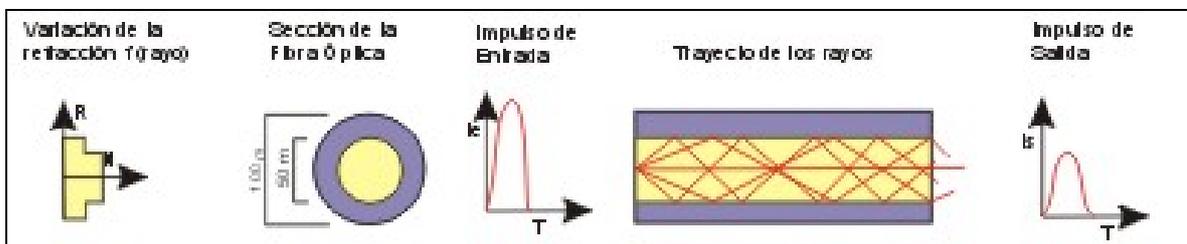


Figura 4.4 Fibra multimodo de índice escalonado

En la Tabla 4.1 se muestra una comparación de las características constructivas, entre los diferentes tipos de fibra óptica.

Tabla 4.1 Comparación de las fibras ópticas

CARACTERÍSTICAS	FIBRAS MULTIMODO		FIBRAS MONOMODO
	índice escalonado	índice de gradiente gradual	
Diámetro del núcleo	100 μm < \emptyset <600 μm	50 μm < \emptyset <100 μm	8 μm < \emptyset <10 μm
Diámetro de cubierta	140 μm < \emptyset <1000 μm	25 μm < \emptyset <150 μm	125 μm
Índice del núcleo	constante	carece del centro a la periferia	creciente o decreciente
Apertura numérica	0.30	0.20 a 0.27	muy pequeña $l=0$
Banda de Paso	20 a 10 Mhz/Km	200 a 1200 Mhz/km	>10Ghz/Km no significativa
Atenuación según las ventanas			
* 0,85 μm	8 a 20 dB/Km		
* 1,3 μm		2,5 a 4 dB/Km	0,3 a 0,5 dB/Km
* 1,55 μm		0,6 a 1,5 dB/Km	0,150 a 0,3dB/KM

4.3.3. Características técnicas

Generalmente, las fibras ópticas se agrupan para formar cables ópticos de 2, 4, 6, 144 o 900 fibras. Se trata de un soporte particularmente eficaz para enlaces digitales punto a punto. Los enlaces multipunto realizados mediante acopladores o estrellas ópticas se puede transmitir en banda base (la información es transmitida por presencia o ausencia de intensidad luminosa) o en analógica (por modulación de la amplitud de la intensidad luminosa). A continuación, se presenta una tabla que resume las características de los diferentes tipos de fibras.

- una banda de paso muy ancha, lo que permite flujos muy elevados (del orden del GHz);
- pequeño tamaño, por tanto ocupa poco espacio;
- gran flexibilidad, el radio de curvatura puede ser inferior a 1 cm, lo que facilita la instalación enormemente;
- gran ligereza, el peso es del orden de algunos gramos por kilómetro, lo que resulta unas nueve veces menos que el de un cable convencional;

- una inmunidad total a las perturbaciones de origen electromagnético, lo que implica una calidad de transmisión muy buena, ya que la señal es inmune a las tormentas, chisporroteo;
- gran seguridad: la intrusión en una fibra óptica es fácilmente detectable por el debilitamiento de la energía luminosa en recepción, además, no radia nada, lo que es particularmente interesante para aplicaciones que requieren alto nivel de confidencialidad;
- no produce interferencias;
- insensibilidad a los parásitos, lo que es una propiedad principalmente utilizada en los medios industriales fuertemente perturbados (por ejemplo, en los túneles del metropolitano). Esta propiedad también permite la coexistencia por los mismos conductos de cables ópticos no metálicos con los cables de energía eléctrica;
- un aislamiento galvánico natural del cable;
- una atenuación lineal no muy pequeña, lo que permite salvar distancias importantes sin elementos activos intermedios;
- una pequeña atenuación e independiente de la frecuencia;
- gran resistencia mecánica (resistencia a la tracción, lo que facilita la instalación);
- resistencia al calor, frío, corrosión;
- no presenta difusión natural (se trata de un soporte unidireccional)

4.3.4. Proceso de fabricación de la fibra monomodo

La primera etapa consiste en el ensamblado de un tubo y de una barra de vidrio cilíndrico montados concéntricamente. Se calienta para asegurar la homogeneidad de la barra de vidrio.

Una barra de vidrio de una longitud de 1 m y de un diámetro de 10 cm permite obtener por estiramiento una fibra monomodo de una longitud de alrededor de 150km. Ver Figura 4.5.

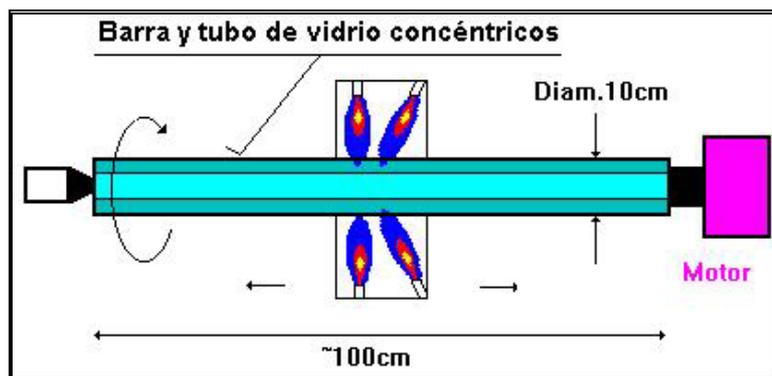


Figura 4.5 Barra y tubo concéntricos

La barra así obtenida será instalada verticalmente en una torre situada en el primer piso y calentada por las rampas a gas.

El vidrio se va a estirar y "colar" en dirección de la raíz para ser enrollado sobre una bobina.

Se mide el espesor de la fibra ($\sim 10\mu\text{m}$) para controlar la velocidad del motor de enrollado, a fin de asegurar un diámetro constante.

Cada bobina de fibra hace el objeto de un control de calidad efectuado al microscopio. Ver Figura 4.6.

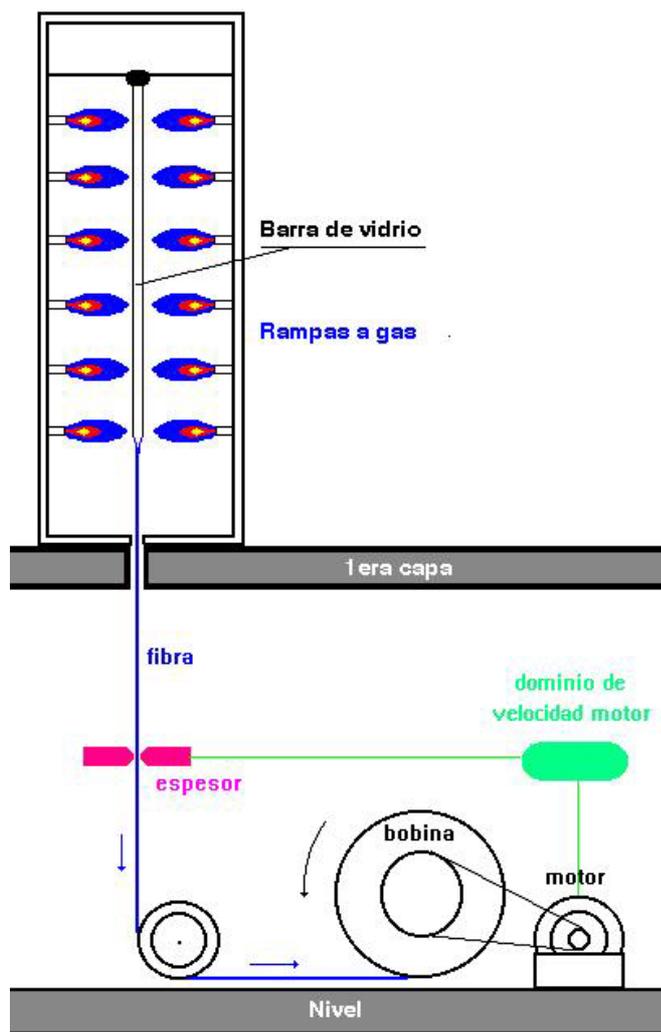


Figura 4.6 Proceso de fabricación

Después, se cubre el vidrio con un revestimiento de protección (~230 μm) y se ensamblan las fibras para obtener el cable final a una o varias hebras. Ver Figura 4.7.

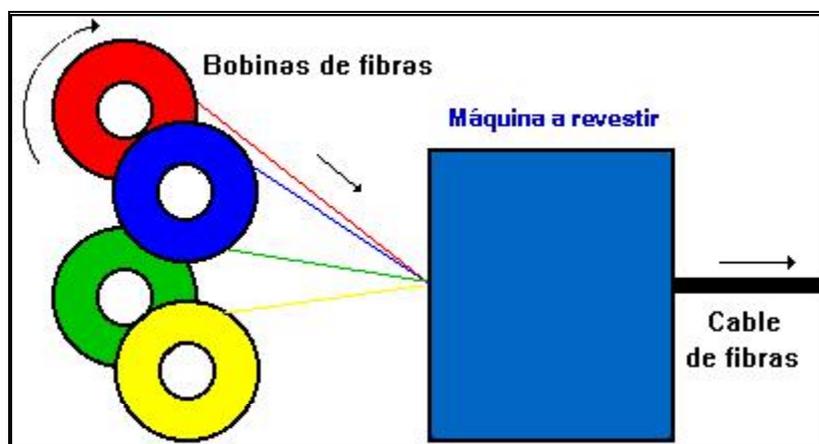


Figura 4.7 Proceso de revestimiento de protección

4.4. Normalización aplicable a la fibra óptica

4.4.1. La Norma ISO 8802.3(IEEE 802.3)

La norma ISO 8802.3, que deriva de la proposición IEEE 802.3, describe una red local en banda base a 1 Mbit/s o 10 Mbit/s, utilizando un método de acceso de tipo CSMA/CD. En ella se definen:

- las características mecánicas y eléctricas de la conexión de un equipo al soporte de comunicación
- la gestión lógica de las tramas
- el control de acceso al soporte de comunicación

En realidad, no hay una norma única, sino seis normas ISO 8802.3. Estas seis normas definen las condiciones de uso de la técnica misma de acceso, el CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection).

Las diferencias entre las seis normas provienen del cableado utilizado y, por tanto, de las velocidades que se pueden alcanzar y las longitudes máximas sin repetidor. Estas seis normas son:

- ISO 8802.3 10 base 5
- ISO 8802.3 10 broad 3
- ISO 8802.3 10 base T
- ISO 8802.3 10 base 2
- ISO 8802.3 1 base
- ISO 8802.3 10 base F

Hay otras dos normas en curso:

- ISO 8802.3 100 base VG
- ISO 8802.3 100 base T

De esta forma, cabría esperar al menos dos normas ANSI relativas a la FDDI sobre pares trenzados: la primera para la utilización del par trenzado blindado (tipo 1 y 2 de IBM); la segunda para el par trenzado sin blindar, previsto para distancias inferiores a 100m.

4.4.2. Normas Utilizadas en el Área de Telecomunicaciones

La [Unión Internacional de Telecomunicaciones](#) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones, y fue creado el 17 de mayo de 1865 como una organización intergubernamental en la cual los Estados Miembros y el sector privado de las telecomunicaciones coordinan el desarrollo y operabilidad de las redes y servicios de telecomunicaciones.

La UIT es responsable de la regulación, normalización y desarrollo de las telecomunicaciones a nivel mundial, al tiempo que vela por la armonización de las políticas nacionales de telecomunicaciones de los Estados Miembros.

Forman parte de la UIT 189 Estados Miembros y varios centenares de Miembros y Asociados de los Sectores.

El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarias y publica "Recomendaciones sobre los mismos", con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

Las Asambleas Mundiales de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT) se celebran cada cuatro años, la última, la AMNT-2000, se realizó en Montreal. Las AMNT se reúnen para definir la política general del Sector de Normalización de la UIT (UIT-T). Entre otras tareas, las AMNT establecen las Comisiones de Estudio en las que se articula el Sector y aprueban sus programas de trabajo para cada período de estudios de cuatro años y también nombra sus Presidentes y Vicepresidentes. A las AMNT, están invitados tanto los Estados Miembros como los Miembros del Sector.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

Las recomendaciones de la UIT-T, con respecto a los cables de fibra óptica, se agrupan en la serie G, dedicada a *Sistemas y Medios de Transmisión, Sistemas y Redes Digitales*, de las cuales el rango entre G.600 y G.699 se encuentra dedicado *Características de los medios de transmisión* en las cuales se sitúan las recomendaciones para *Cables de Fibra Óptica* G.650 a G.659. Las principales recomendaciones al respecto de este tipo de cable son:

- Recomendación UIT-T G.651 (1998), Características de un cable de fibra óptica multimodo de índice gradual de 50/125 μm
- Recomendación UIT-T G.652 (2000), Características de un cable de fibra óptica monomodo.
- Recomendación UIT-T G.653 (2000), Características de los cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada
- Recomendación UIT-T G.654 (2000), Características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado.
- Recomendación UIT-T G.655 (2000), Características de un cable de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada no nula.

Adicionalmente, la UIT-T cuenta con el rango entre G.900 y G.999 que está dedicado *Secciones Digitales y Sistemas Digitales en Línea* en las cuales se sitúan las recomendaciones para *Sistemas en Cables Submarinos de Fibra Óptica* entre las recomendaciones G.670 a G.679.

- Recomendación UIT-T G.971, Características generales de los sistemas de cable submarino de fibra óptica
- Recomendación UIT-T [G.972](#), Definición de términos pertinentes a los sistemas de cable submarino de fibra óptica.
- Recomendación UIT-T G.973, Características de los sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores.
- Recomendación UIT-T [G.976](#), Métodos de prueba aplicables a los sistemas de cable submarino de fibra óptica.

Estas recomendaciones guardan entre si una estrecha relación como se muestra en la Figura 4.8.

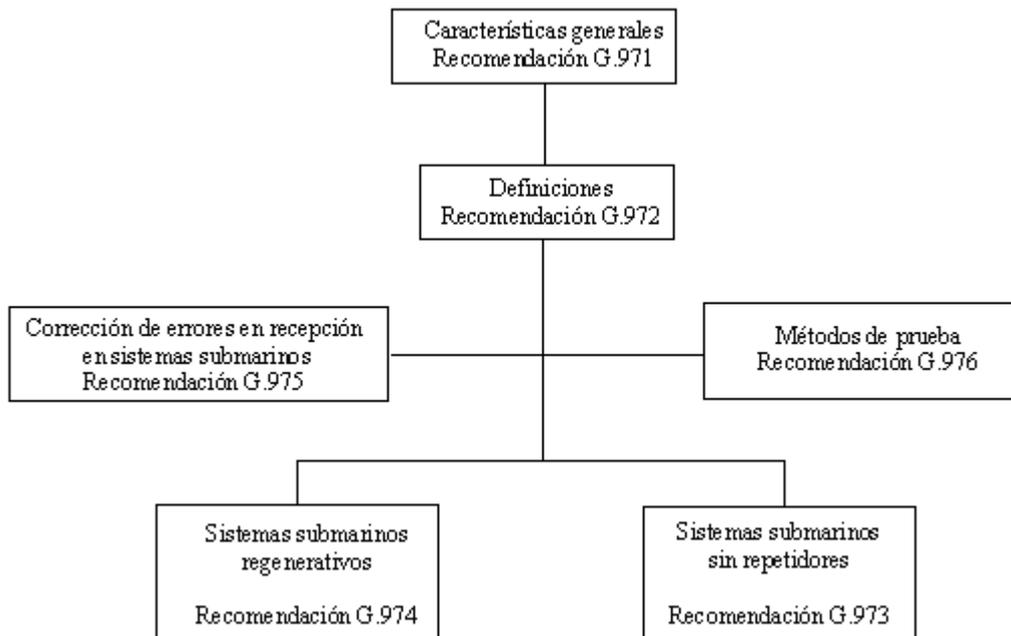


Figura 4.8 Relación entre las Recomendaciones relativas a los sistemas de cable submarino de fibra óptica

Capítulo 5 Topologías físicas para cable submarino

En los sistemas de telecomunicaciones basados en cables submarinos y otros, existen diversas topologías tanto a nivel físico como a nivel lógico y pese a que la topología lógica dependa de una infraestructura física organizada de alguna manera como se muestra a continuación, la organización lógica no está definida por la topología física por el contrario ésta se define con la organización que se dé a la distribución de la información a través de la topología física que se utilice, por ejemplo una topología física de anillo o anillo colapsado puede brindar una topología lógica de maya como lo es el caso del proyecto [Maya-1](#), las distribuciones o topologías físicas más comunes se presentan a continuación:

5.1. Festoon

Consiste en un tendido de cable con múltiples puntos de llegada a lo largo de la costa, como se muestra en la Figura 5.1, que forman una guirnalda, como ejemplo de este tipo de topología se encuentra el proyecto ARCOS-1 como se muestra en la Figura 5.2, en el cual tanto el ICE como RACSA tiene participación. También, el uso de esta topología dentro de los tendidos de cable submarino se encuentra asociado a la conectividad con una topología similar terrestre dando como resultado final uno o varios anillos conformados por tendidos combinados tierra / agua que ofrecen una excelente confiabilidad y alta estabilidad.

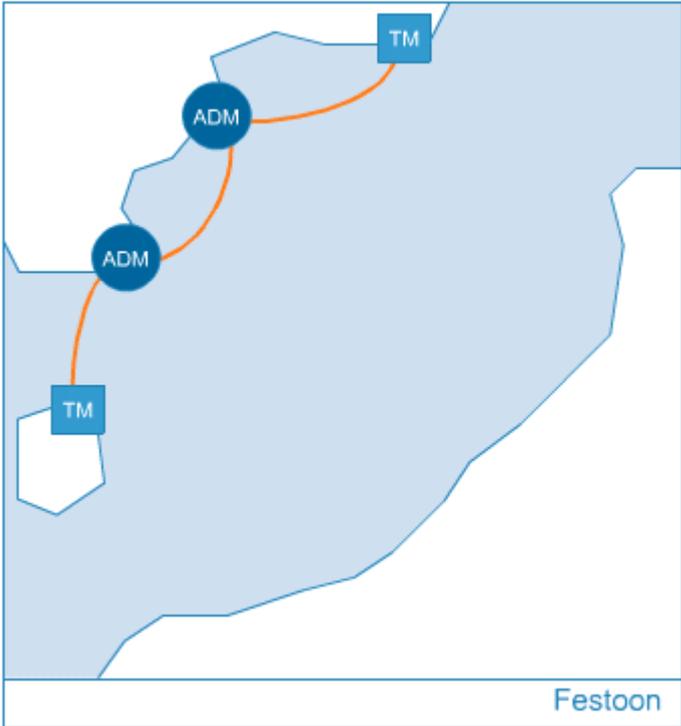


Figura 5.1 Topología de tipo Festoon (Guirnalda)



Figura 5.2 Proyecto Arcos-1

5.2. Ring

Cada nodo cuenta con dos conexiones que lo comunican con sus análogos inmediatos más cercanos a ambos lados, tal como se muestra en la Figura 5.3, pretende un sistema que brinde redundancia a cada nodo, de este

modo si por alguna razón se presenta una falla física, el tráfico podrá ser dirigido a través del segmento que se encuentra operando y es entonces casi imposible que se presente una ruptura en el flujo de información.

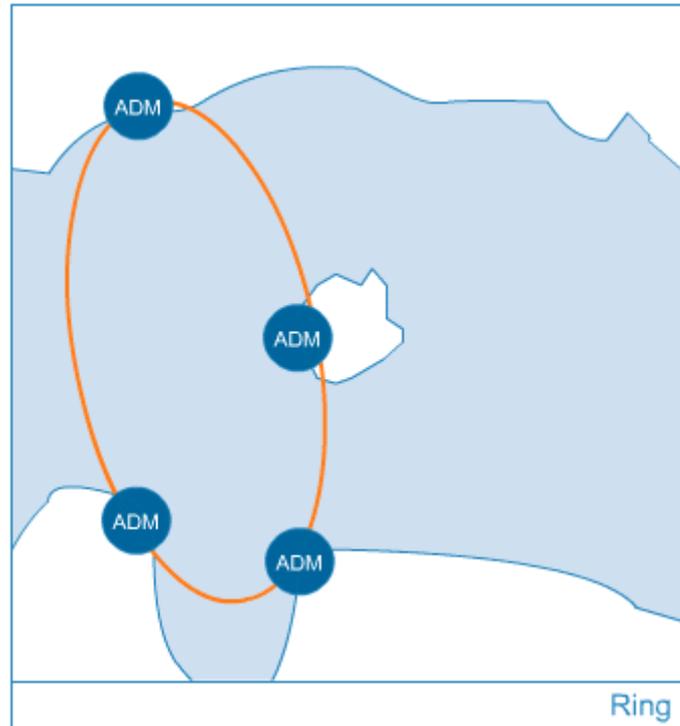


Figura 5.3 Topología de tipo Ring (anillo)

5.3. Collapset Ring

Como recurso para una mejor relación costo beneficio en una topología de anillo, el “collapset ring” (anillo colapsado) mantiene las arquitectura de la red como un anillo físicamente aunque el tendido de cable no lo refleje, pero dado a la cantidad de fibra que se pueden transportar en dentro del cable es posible realizar las conexiones de las fibra en la estaciones terrestres, en la Figura 5.4 se muestra esta topología, que se utilizó en el proyecto Maya-1, como se muestra en la Figura 5.5.

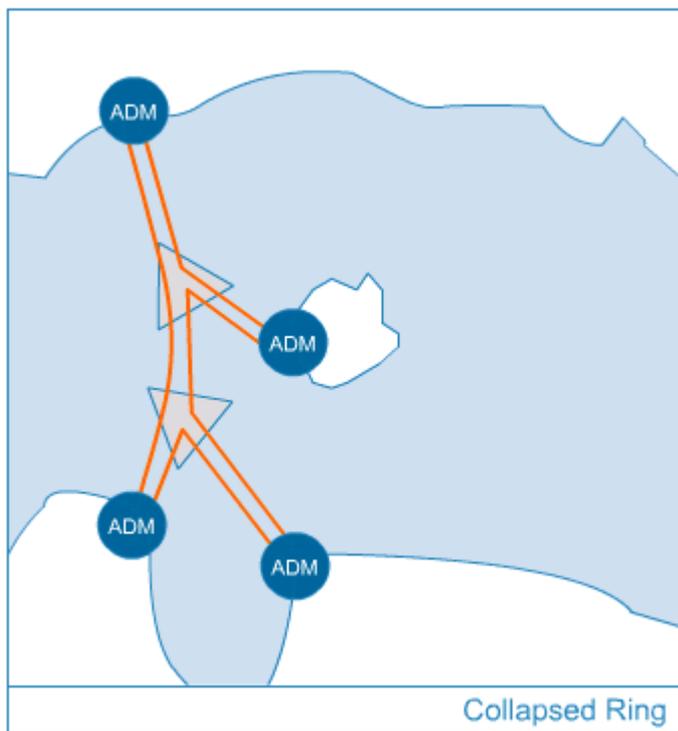


Figura 5.4 Topología de tipo Collapset Ring (anillo colapsado)



Figura 5.5 Proyecto de Maya-1

5.4. Mesh

Esta topología es el reflejo de los desarrollos actuales que pretenden brindar conectividad punto multipunto a cada nodo de los sistemas constituyendo una topología de elevado costo pero de gran confiabilidad, que cuenta con múltiples vías de respaldo y, sobre todo, con grandes anchos de banda en los enlaces que interconectan cada punto, apuntando hacia una infraestructura en la que los anchos de banda no sean problema para la mejora de los servicio.

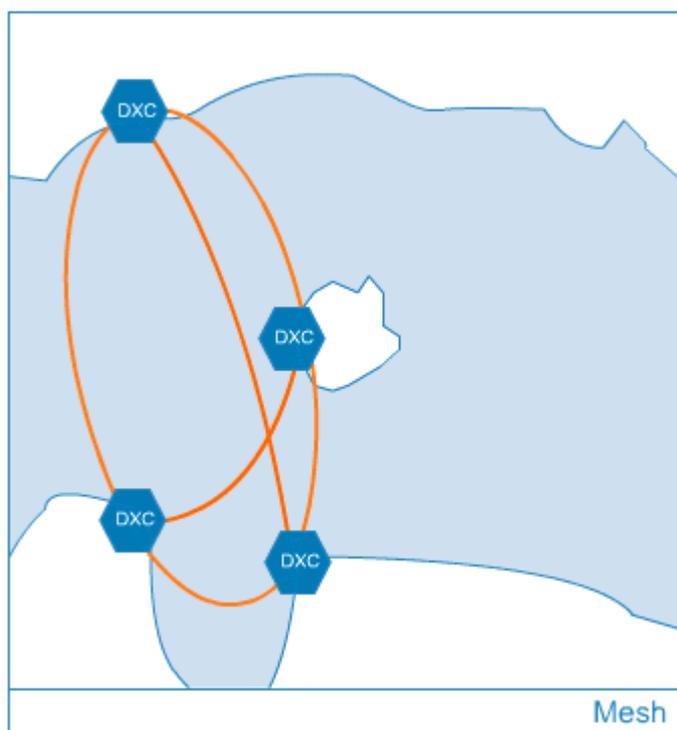


Figura 5.6 Topología de tipo Mesh (Maya)

Capítulo 6 Sistemas de cable submarino

Para cubrir las diferentes necesidades de las compañías a lo largo de historia los cables submarinos, se han utilizado en el aplicaciones de energía y telecomunicaciones, inicialmente se emplearon para:

- el control de unidades remotas submarinas,
- medio de comunicación para las plataformas petroleras instaladas lejos de la costa,
- trafico de telecomunicaciones de tipo local o internacional, dentro de este ultimo se encuentran los cables interoceánicos que se encargan de conectar continentes, así como los cables domésticos que se implementan con fines únicamente de interés para determinado operador como es el caso de futuro proyecto del ICE.

Dentro de los cable ópticos submarinos, existen algunos términos de gran importancia, como son :

- Sistema de cable submarino de fibra óptica. Conjunto de equipos de diseñado para permitir la interconexión de dos o más estaciones terminales. El sistema de cable submarino de fibra óptica está compuesto normalmente por el equipo terminal (equipo terminal de transmisión, equipo de alimentación de energía, controlador de mantenimiento, etc.) y por el equipo sumergible (cable, repetidor(es), unidad(es) de derivación, etc.).
- Enlace de cable submarino de fibra óptica. Enlace que interconecta dos estaciones terminales utilizando un solo sistema de cable submarino de fibra óptica o un sistema integrado en el que se emplean partes de sistemas suministradas por diferentes suministradores.
- Red de cables submarinos de fibra óptica. Red que interconecta tres o más estaciones terminales utilizando un solo sistema de cable submarino de fibra óptica o un sistema integrado o constituido por partes de sistemas suministradas por diferentes suministradores.
- Tramo terrestre. Tramo entre la interfaz del sistema en la estación terminal (A) y el punto de amarre (B) o la unión de playa, si existe.

Incluye el cable terrestre de fibra óptica, las uniones de tierra y el equipo terminal del sistema.

- Tramo submarino. Tramo del sistema tendido sobre el lecho marino, entre uniones de playa o puntos de amarre (B), que incluye el cable submarino de fibra óptica y el equipo submarino (por ejemplo, repetidor o repetidores submarinos ópticos, unidad o unidades de derivación submarinas ópticas y la caja o cajas de unión del cable submarino óptico).
- Unión de playa. Unión del cable efectuada entre el cable submarino de fibra óptica y el cable terrestre de fibra óptica.
- Estación terminal. Estación de telecomunicación situada normalmente en la proximidad del punto de amarre y que alberga el equipo terminal del sistema de cable submarino de fibra óptica y el de los sistemas terrestres asociados.

En el campo de los cables ópticos submarinos, las características mecánicas que se destacan de un sistema, principalmente en el tramo submarino, de este tipo, deben permitir que:

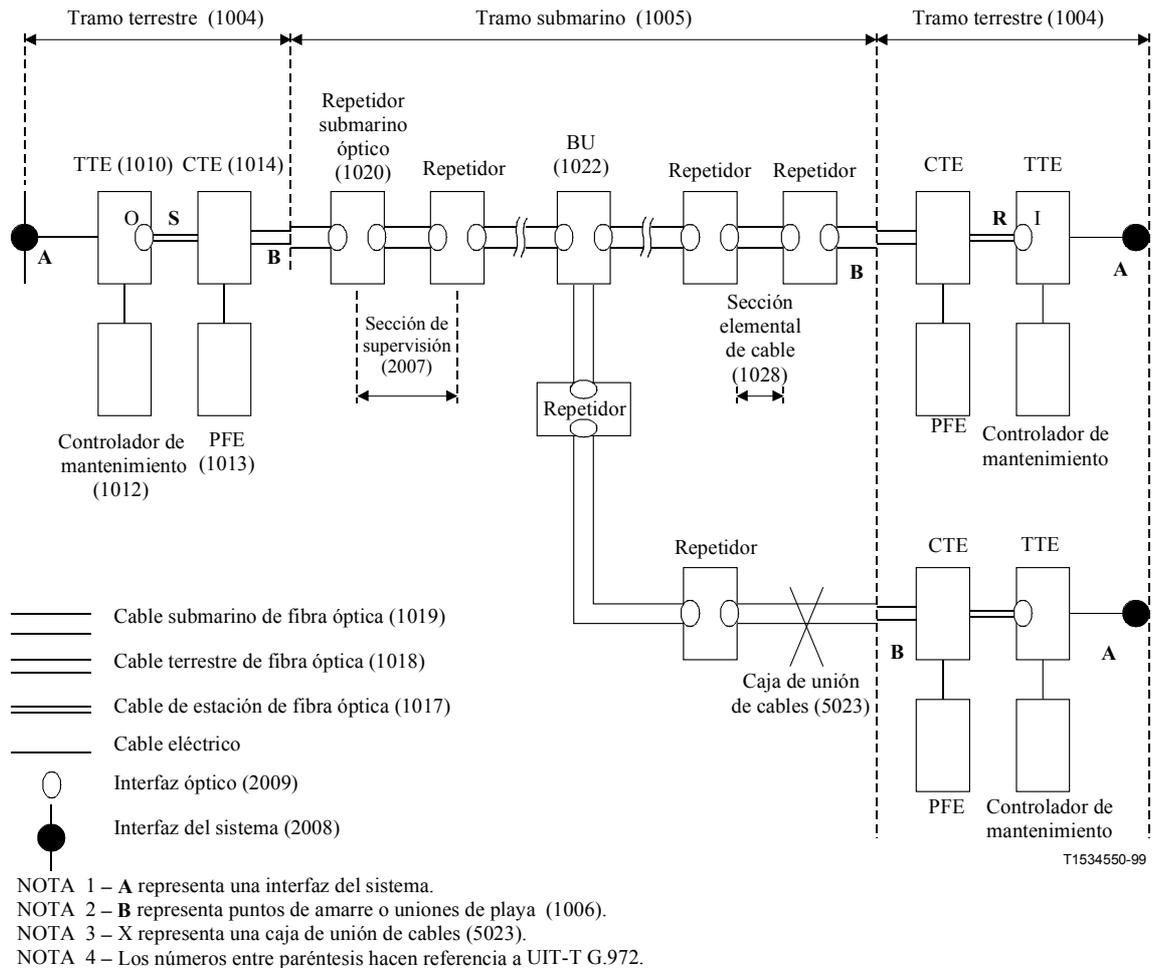
- se instale en el fondo del mar con exactitud, con la holgura correcta y teniendo debidamente en cuenta los aspectos relativos a la seguridad; las instalaciones en aguas profundas pueden alcanzar los 8000 metros. Por regla general, los sistemas de cable submarino deberán ser instalados, enterrados e inspeccionados por buques y equipos sumergidos especialmente diseñados al efecto.
- resista las condiciones ambientales del mundo marino a la profundidad de su instalación y especialmente la presión hidrostática, la temperatura, la abrasión, la corrosión y la vida marina;
- esté protegido adecuadamente (blindándolo o enterrándolo) contra la agresión provocada, por ejemplo, por los palangres o las anclas;
- soporte la recuperación desde esas profundidades, la subsiguiente reparación y el nuevo tendido, con la atención debida a la seguridad.

Las características materiales de un sistema de cable submarino deben permitir a la fibra óptica:

- alcanzar la fiabilidad deseada durante toda su vida nominal;
- tolerar las pérdidas indicadas y los mecanismos de envejecimiento, sobre todo las curvaturas, la deformación, el hidrógeno, la tensión, la corrosión y la radiación.

La Figura 6.1 muestra el concepto básico de los sistemas de cable submarino de fibra óptica y los límites dentro del mismo. Pueden incluirse los repetidores submarinos ópticos o las unidades de derivación submarinas ópticas, dependiendo de los requisitos de cada sistema.

En dicha figura, A representa las interfaces del sistema en la estación terminal (donde el sistema puede interconectarse con enlaces digitales terrenales o con otros sistemas de cable submarino) y B representa uniones en playa o puntos de amarre. Los números de la figura, que aparecen entre paréntesis se refieren a términos definidos en UIT-T [G.972](#) [1].



T1534550-99

Figura 6.1 Ejemplo de sistema de cable submarino de fibra óptica

La implementación de los proyectos de cable submarino involucra, generalmente, condiciones muy diversas desde la costa hasta la mayor profundidad de cada tramo, tramo submarino, para brindar diferentes grados de seguridad, según sea necesario la recomendación [G.972](#) contempla los siguientes tipos de cable:

- Cable ligero. Cable adecuado para tendido, recuperación y funcionamiento donde no se requiere una protección especial.
- Cable ligero protegido. Cable ligero con una capa protectora adicional. Este cable es adecuado para tendido, recuperación y funcionamiento en zonas en las que la erosión del cable es importante o existe un riesgo importante de mordeduras de peces.
- Cable con armadura simple. Cable con una sola capa de hilos de armadura protectora. Este cable es adecuado para tendido, enterramiento, recuperación y funcionamiento y está protegido

convenientemente para una zona específica de aguas poco profundas.

- Cable con armadura doble. Cable ligero con una doble capa de hilos de armadura. Este cable es adecuado para tendido, enterramiento, recuperación y funcionamiento y está protegido convenientemente para una zona específica en aguas poco profundas.
- Cable con armadura para roca. Cable con capa múltiple de armadura protectora (normalmente dos) cuya segunda capa está devanada con un pequeño espaciamiento. Este cable es adecuado para tendido, recuperación y funcionamiento y está protegido convenientemente para un zona específica en aguas poco profundas.
- Cable terrestre. Cable con protección adecuada para instalarlo en canalización o enterrarlo directamente en el suelo.

La integración de los conceptos y características mencionadas anteriormente dan paso a la existencia de dos familias de sistemas, cada una de ellas con características muy propias y para aplicaciones muy diferentes.

- Sistemas con repetidores
- Sistemas sin repetidores

6.1. Sistemas con repetidores

Son sistemas de largo alcance y han sido desarrollados para cubrir largas distancias. Normalmente están asociadas con profundidades de miles de metros (hasta 8000mts de profundidad), como ejemplo de este tipo de sistema se tiene el proyecto [maya-1](#). Estos sistemas se encuentra asociados a equipos de alimentación, pues generalmente los repetidores son dispositivos que requieren de una alimentación continua, normalmente esta alimentación se realiza con un voltaje continuo(VDC) variable y una corriente constante. Para el caso de maya-1, el ICE en su estación terrestre “Bribri” ubicada en cerro Garrón, Limón, se encarga de monitorear y administrar la alimentación del tramo que va desde la estación hasta la unidad de ramificación, ubicada en el caribe, a unos 400km de la costa, en esta sección se encuentran 3 repetidores.

Estos sistemas y todas las partes que los componen, se encuentran contemplados en la recomendación de la [UIT-T G.974](#).

6.2. Sistema sin repetidores

Los sistemas sin repetidores se utilizan en tramos no mayores de 350km a 400km, según sea el fabricante. No por esto un sistema sin repetidores se encuentra suscrito a un área geográficamente limitada por la distancia máxima de los segmentos, por el contrario como se menciona en la sección 8.10.2, el proyecto Arcos-1 es un sistema de gran extensión geográfica, que cuenta con múltiples puntos llegada a la playa entre los cuales, en la mayoría de los casos, los enlaces se realizan sin repetidores.

En la Figura 6.2, se muestra un esquema general para sistemas sin repetidores

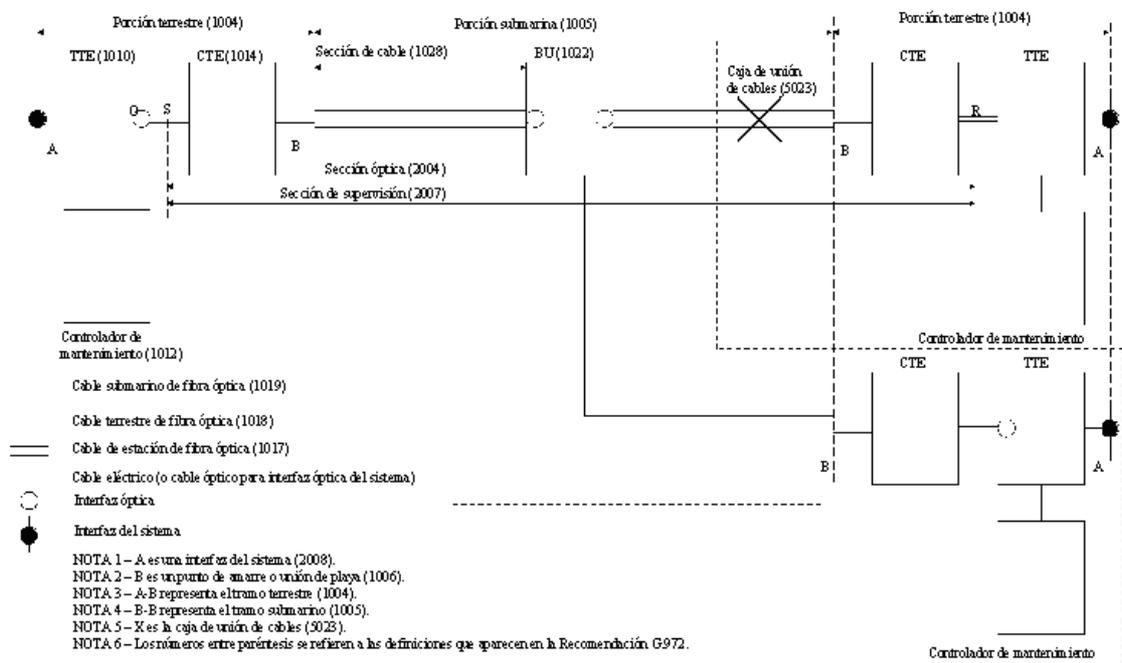


Figura 6.2 Esquema general de un sistemas sin repetidores

Capítulo 7 Tecnologías de transmisión utilizadas en fibra óptica

Hasta hace poco, la transmisión de datos por fibra óptica consistía en transmitir impulsos luminosos (luz / no-luz) a alta velocidad a través de la fibra, como se muestra en la Figura 7.1. Este concepto, que en su momento parecía muy avanzado, ha sido superado por tecnologías actuales como lo son WDM⁷ y DWDM, por sus siglas en inglés "Wavelength Division Multiplexing" y "Dense Wavelength Division Multiplexing" respectivamente.

Se puede pensar en un enlace tradicional punto a punto con fibra óptica: una fuente óptica transmite en un extremo y un fotodetector recibe la señal en el extremo opuesto. Señales con diferentes fuentes de luz requerirían diferentes canales ópticos, es decir, diferentes fibras. Considerando que las fuentes ópticas tienen un espectro estrecho, se puede deducir que únicamente se está aprovechando una pequeña porción de todo el ancho de banda disponible en la fibra óptica.

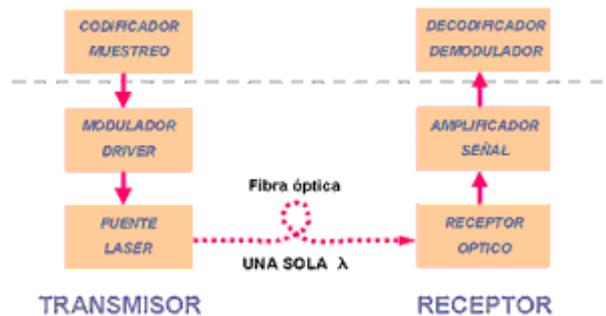


Figura 7.1 Esquema tradicional de transporte de información a través de fibra óptica

Teniendo en cuenta esto, se podría pensar en introducir diferentes fuentes de luz a través de una única fibra con tan solo hacer que cada fuente emita a una longitud de onda diferente.

La tecnología hoy permite transmitir por la misma fibra óptica, impulsos de luz de diferentes colores a la vez como canales independientes, permitiendo multiplicar la capacidad de transmisión del medio físico existente. Esta característica de las redes ópticas las hacen idóneas para cubrir la imparable

⁷ Esta es la tecnología de transmisión que se utilizó en el proyecto de Cable Óptico Submarino Maya-1

demanda de mayores prestaciones de ancho de banda y velocidad de transmisión como se refleja en la siguiente figura:

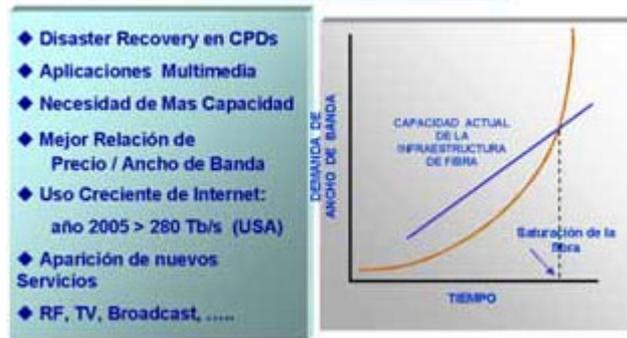


Figura 7.2 Crecimiento del ancho de banda

Sistemas de última generación basado en este tipo de tecnología. Estos sistemas reciben múltiples entradas ópticas estándar de diferente tipo y protocolo. Cada una de ellas la convierte a una λ^8 (color) diferente y las multiplexa por una sola fibra óptica, como se aprecia en la Figura 7.3.

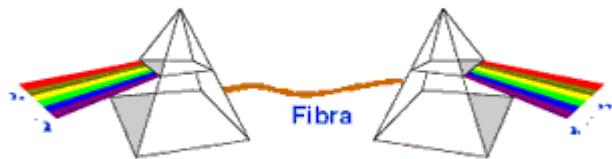


Figura 7.3 Transporte de diferentes λ 's a través de una misma fibra

Si esta información se somete a un análisis con la ayuda de un analizador de espectro óptico, se obtendría un diagrama como el que se presenta en la Figura 7.4, el cual se notan las diferentes frecuencias que presentan flujo de información.

⁸ λ : letra griega (lamba) utilizada normalmente para denotar la propiedad de una señal periódica conocida como longitud de onda. Cada color dentro del espectro luminoso esta asociado a una longitud de onda diferente, es por esto que la letra λ se puede utilizar análogamente a la palabra color.

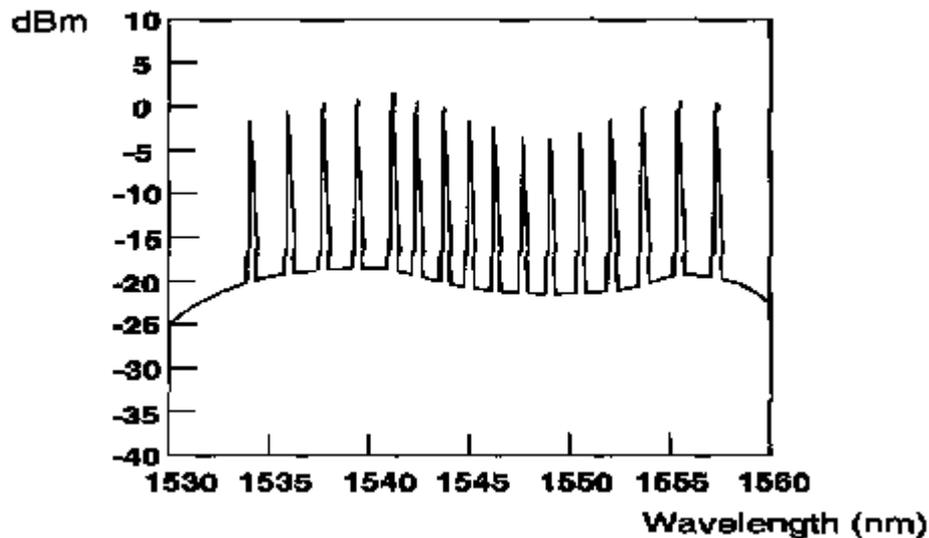


Figura 7.4 Espectro en la segunda ventana, de una fibra monomodo que transporta información sobre DWDM

La tecnología de punta permite transmitir hasta 160 (80 en cada fibra) λ (colores) diferentes por cada pareja de fibras, sobre sistemas que operan en DWDM. Gracias a esto, se multiplica la capacidad de transmisión de datos sin tener que invertir en infraestructura.

7.1. Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)

En una traducción aproximada al castellano significa Multiplexión Densa por Longitud de Onda. Se trata de una tecnología que permite introducir datos de diferentes fuentes en una fibra óptica, en la que la señal de cada fuente viaja en una frecuencia de onda distinta y separada de las demás. Lo más importante de todo ello estriba en que con el sistema DWDM se pueden usar hasta 80 (teóricamente más) canales virtuales que pueden ser multiplexados en rayos de luz que se transmiten por la misma fibra óptica. Por lo tanto, el rendimiento de una sola fibra que contiene un cable ya instalado se puede multiplicar con muy bajo costo económico. Este sistema permite que cada canal transporte 2.5 Gbps (2500 millones de bits por segundo), y se pueden hacer circular por la misma fibra 80 canales diferentes y por tanto la transmisión será de 200 Gb por segundo.

En el extremo opuesto del cable, los canales son demultiplexados hasta adquirir sus características originales, por lo tanto se pueden transmitir simultáneamente diferentes tipos de datos y, además, con diferentes

velocidades, según sea la necesidad de su empleo, ósea Datos (IP) Datos (SONET) Datos (ATM).

Los cinco componentes principales del sistema DWDM son:

1. la fuente que emite la señal en el rango óptico del espectro electromagnético, es decir, una fuente que emite señales luminosas y que consiste normalmente en un diodo láser.
2. el medio físico por donde se propaga y transmite esa señal luminosa, que es el cable de fibra óptica. Como se mencionó en el apartado Fibra Óptica, existen diferentes tipos de cable de fibra óptica, pero, precisamente la tecnología DWDM, una de las cosas que permite es el enviar las señales sin necesidad de amplificadores o repetidores a una distancia 600 Km (mínimo) a 8000 Km (máximo). En caso de que se necesite amplificar y rebotar la señal, se utiliza el siguiente elemento.
3. En DWDM, además de los bloques emisor, de transmisión y de recepción, hay un tercero que adquiere una importancia crucial: el amplificador EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) Las diferentes longitudes de onda que aparecen al final de la fibra se distribuyen mediante un dispositivo que puede ser un acoplador pasivo en estrella.
4. Cada receptor lleva asociado un filtro óptico sintonizable que permite eliminar las señales no deseadas (es decir, seleccionar un solo canal / longitud de onda) y minimizar el ruido generado por el amplificador EDFA encargado de regenerar las señales que han perdido potencia a su paso por la fibra.
5. Un dispositivo fotodetector situado en el extremo final de la fibra que capta la señal emitida por la fuente y que ha viajado a lo largo de la fibra óptica.

Por lo tanto, es evidente que la tecnología DWDM ofrece a los operadores⁹ y usuarios en general la posibilidad de aumentar la capacidad de sus redes en el caso de los primeros, y en la calidad y velocidad de transmisión /

⁹ Empresas de telecomunicaciones como el ICE

recepción de datos, video, sonido y demás en el caso de los segundos. La capacidad que se puede obtener con DWDM es cercana a los terabits en una sola fibra óptica.

Es importante destacar que la mayor parte de las instalaciones de fibra óptica ya existentes y en funcionamiento se pueden reconvertir al sistema DWDM. Para ello y también para un nuevo cable que se instale se deben cambiar e incorporar nuevos sistemas ópticos y optoelectrónicos.

Por la bondades expuestas de este tipo de tecnología y la inminentes tendencia del mundo de las infotelecomunicaciones, en lo que ha mayor ancho de banda se refiere, esta tecnología será la especificada en el diseño preliminar del "Cable óptico submarino en la costa Pacífica de Costa Rica".

Capítulo 8 Proceso de desarrollo de un proyecto de cable óptico submarino

A continuación, se presentan las etapas de un proyecto de cable submarino, de una forma general, pues dependiendo de la compañía el procedimiento puede presentar algunas variaciones, pero, en esencia el procedimiento por lo general tiene el mismo desarrollo.

Es importante mencionar que este desarrollo se llevaría a cabo únicamente luego de que el *cliente* defina claramente los requerimientos que desea cumplir, aspectos como la capacidad las interfaces de comunicación, los puntos de llegada deben ser especificados muy claramente.

8.1. Estudio Detallado de escritorio “DESK-TOP”

Es el primer paso en la elaboración de un proyecto de este tipo, recava información basándose únicamente en datos en papel o en bases de datos. Abarca el ámbito marino y terrestre, entre las actividades más significativas en esta etapa cabe mencionar:

- Condiciones climáticas, actividades sísmicas, cambios en la corrientes marinas a lo largo del año.
- Morfología marina y características de los puntos de conexión
- Existencia de facilidades locales, vías y estaciones existentes, servicios eléctricos y de telecomunicaciones.
- Características de la superficie marina, tipos, arrecifes, corales, flora marina y además.
- Morfología Terrestre
- Áreas de operaciones militares y puntos de peligro (minas, ruinas, etc), para el caso de Costa Rica, afortunadamente no se cuenta con bases militares y el único punto de importancia son las bases de Guardacostas.
- Áreas de pesca, anclaje, navegación y otras actividades humanas, que eventualmente se conviertan en un peligro eminente para el cable.
- Posición de servicios existentes, como cables, ductos y plataformas
- Áreas de protección ambiental.
- Levantamiento de impactos que afectarían la ruta seleccionada
- Selección de una ruta preliminar

Luego de concluir esta etapa, se debe proceder a ratificar los requerimientos de los puntos de llegada del cliente, o exponer los argumentos por lo cuales estos deben ser modificados.

8.2. Organización del proyecto

Una ejecución de este tipo de proyecto, conlleva un gran equipo de trabajo, el cual debe estar debidamente sincronizado, tanto en el ámbito marino como terrestre, por ejemplo las llegadas del buque(s) encargados de la instalación debe estar perfectamente coordinada con la obra civil del “shore end”, adicionalmente la compañía debe mantener una estrecha relación con el cliente.

La Figura 8.1 muestra un esquema de la organización que debe poseer un proyecto de esta naturaleza. Es evidente que la relación con el cliente, que para nuestro caso en particular sería el ICE, debe ser canalizada por un solo medio o por una sola persona, luego de ser establecidos los requerimientos muy claramente en el planteamiento. También se muestran las dos grandes áreas de trabajo (marina - terrestre) y el área de apoyo para ambas, mencionada como Comercial, dentro de la cual se encuentra la sección de contratación, pues generalmente se realizan contrataciones de servicios dentro del país.



Figura 8.1 Esquema de organización de un proyecto de cable submarino

8.3. Licencias & Medio-ambiente

Los proyectos deben ser desarrollados bajo el cumplimiento de la legislación, tanto local como internacional, dada la naturaleza de los mismos no solo el campo de las telecomunicaciones es importante, por el contrario lo referente al medio ambiente tiene un lugar muy importante hoy en día, por lo cual es de sumo interés causar el menor daños posible a los ecosistemas marinos. Para el ICE, su posición de empresa estatal, única en el campo de las telecomunicaciones, lo beneficia, en cuanto a la facilidad de obtención de permisos o licencias de este tipo.

Entre las licencias más importante, aunque no apliquen estrictamente para el caso de Costa Rica, cabe mencionar:

- Derecho de uso (estatal)
- Licencias de instalación (estatal)
- Licencias de puntos de conexión (Metropolitano, parques, estatal y municipal)
- Autorización de trabajo (Guardia Costera)
- Regulaciones Locales (Planificación urbana)

Medio Ambiente - Departamento de Protección Ambiental

- Construcción Costera
- Licencias Ambientales

Acuerdos de Cruces

- Propietarios de los sistemas

Regulaciones de telecomunicaciones

- Leyes y licencias de Telecomunicaciones

En lo que a permisos y licencias ambientales se refiere, en Costa Rica se encuentra regulado por el MINAE, los permisos de construcción en los puntos de llegada del cable, es materia de las municipalidades locales.

8.4. Levantamiento Hidrográfico

Es en este punto en el que las laboras marinas inician, se lleva a cabo un recorrido, de una ruta preliminar que se generó en el estudio de escritorio (8.1), con el fin de cumplir con los siguientes objetivos:

- Verificación de datos
- Condiciones del suelo y profundidades
- Características del suelo marino (volcanes, zonas rocosas, ruinas)

Resultados son ilustrados gráficamente, como ejemplo se muestra la Figura 8.2, ésta será la información de mayor validez pues de ella se obtiene los contenidos necesarios para la elaboración del cable

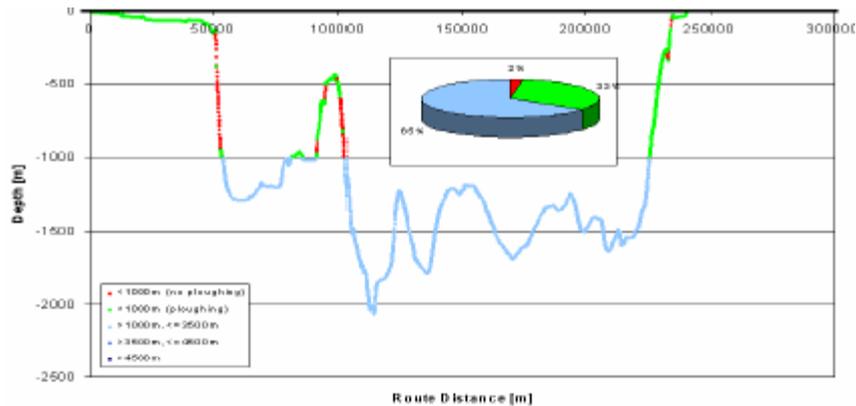


Figura 8.2 Grafico final del levantamiento hidrográfico, segmento 19 del proyecto Arcos-1, Trujillo – Puerto Cortes.

La base para la elaboración del cable y la instalación, se resumen en cuadros como el que muestra la Figura 8.3. Se presenta únicamente con fines ilustrativos, en ella se resume el tipo de cable, el tipo de fibra, las coberturas, las distancias de los diferentes tramos, según las condiciones marinas y de instalación.

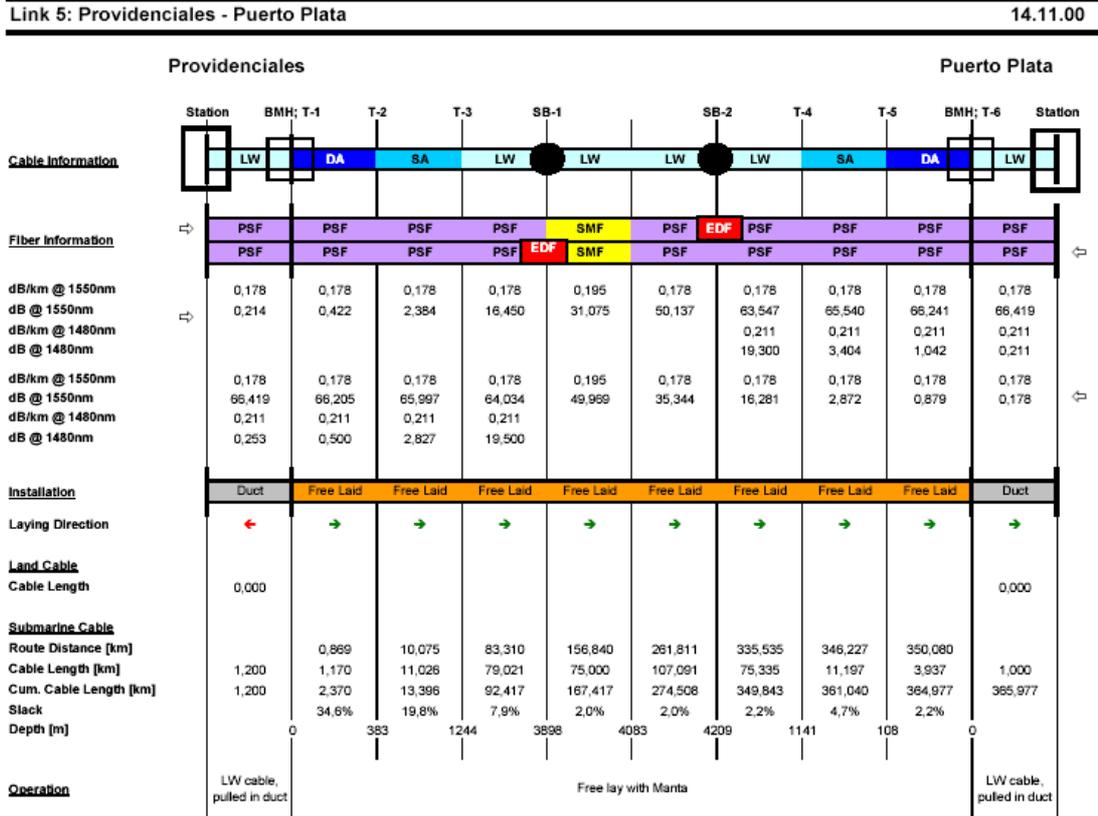


Figura 8.3 Resumen de información para la elaboración e instalación del cable

Esta etapa se lleva a cabo con la ayuda un buque equipado con equipo para la inspección del fondo marino así como para la determinación de la profundidad y demás factores importantes para la definición de la ruta final, como se muestra en la Figura 8.4. Estos equipos generan una banda para la ruta de hasta 30 Kilómetros de ancho y de hasta 11000 metros de profundidad, lo que permite realizar un trazado de una manera flexible en caso de que las condiciones en determinado sector no sean favorable.

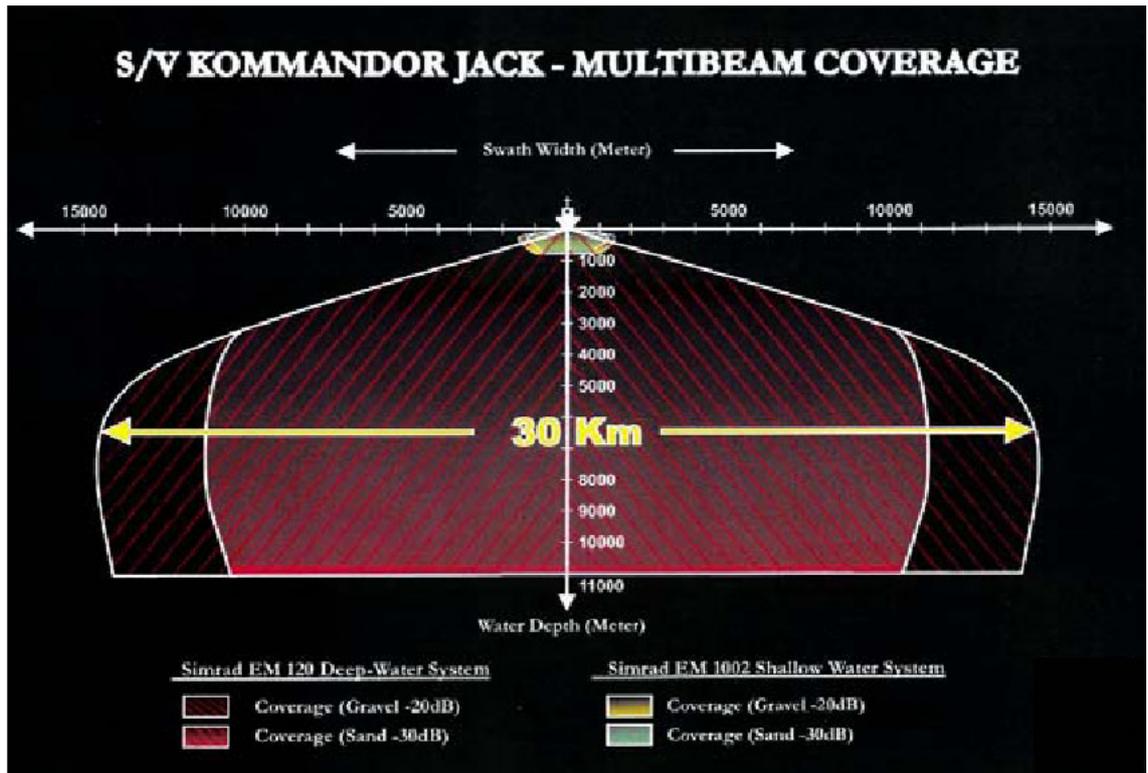


Figura 8.4 Capacidad de exploración de un los equipos de inspección del fondo marino

8.5. Selección de Ruta y Planificación de Cables

Una vez recabada la información tanto de escritorio como la realidad en el campo marino, ésta es confrontada y se determina la ruta definitiva. Una vez conciliada ésta con el cliente, se procede a la especificación para elaborar el cable. Hasta tener la información de campo del las condiciones marinas de la ruta, se puede determinar el tipo de protección que se requiere para el caso en particular.

La especificación de la ruta se conforma de la profundidad, la protección y los puntos exactos dados en coordenadas, latitud y longitud. Ésta será respetada en el momento de realizar la instalación .

Tabla 8.1 Pruebas típicas en cables submarinos de fibra óptica

Referencia	Elemento de prueba	Muestra	Con rep.	Sin rep.
7.2.1	Transmisión			
7.2.1.1	Pérdida de fabricación	C	x	x
7.2.1.2	Deformación de la fibra cableada	C	x	x
7.2.1.3	Temperatura	C, J	x	x
7.2.1.4	Presión	C, J	x	x
7.2.2	Mecánico			
7.2.2.1	Tracción (fija)	C, J	x	x
7.2.2.2	Tracción (libre)	C, J	x	x
7.2.2.3	Tracción (rotura)	C, J	x	x
7.2.2.4	Fatiga	C	x	x
7.2.2.5	Polea	C, J	x	x
7.2.3	Tratamiento			
7.2.3.1	Aplastamiento	C	x	x
7.2.3.2	Impacto	C	x	x
7.2.3.3	Resistencia a la flexión	C	x	x
7.2.4	Fiabilidad			
7.2.4.1	Penetración del agua	C	x	x
7.2.4.2	Corrosión	C, J	x	x
7.2.4.3	Alta tensión	C, J	x	
7.2.4.4	Integridad del aislamiento	C, J	x	x
7.2.5	Operacional			
7.2.5.1	Adherencia	C	x	x
7.2.5.2	Tope	C	x	x
7.2.5.3	Equipo de instalación	C, J	x	x
C	Muestras de cable que han sido previamente enrolladas y desenrolladas.			
J	Muestras de cable que incluyen uniones o terminaciones.			
Con rep.	Aplicable a cables submarinos de fibra óptica con repetidores.			
Sin rep.	Aplicable a cables submarinos de fibra óptica sin repetidores.			
x	Muestra la etapa de calificación que hay que probar.			
NOTA	– Cuando esté justificado, el largo de la muestra de cable agregado a las uniones o terminaciones puede acortarse para facilitar las pruebas.			

Los métodos de prueba, tanto de referencia como métodos alternativos, se encuentran contenidos en la recomendación.

8.7. Transporte

Debido al elevado costo de estos proyectos, de la poca cantidad de compañías dentro de este mercado y así como la localización de los centros de producción de estos, es de suma importancia la forma en que se realice el almacenamiento y transporte del cable hasta su lugar de instalación, debido a los daños que se puede causar en caso de irrespetar tolerancias máximas como por ejemplo los radios de enrollado del cable dentro de las carruchas o tanque de almacenamiento.

Generalmente, el transporte se realiza en buques que cuentan con tanque cilíndricos internos, estos mismos buques se encuentran equipados con los equipos, grúas, brazos hidráulicos, laboratorios, arados, robots y demás, así como el personal capacitado para las labores de instalación.



a.) tanque cilíndrico



b.) carrucha



c.) buque de transporte e instalación

Figura 8.6 Métodos de transporte y almacenamiento típicos de cable submarino

8.8. Instalación del Cable Submarino

Se lleva a cabo desde buques equipados para tal fin, como los mostrados en la Figura 8.7, se encuentra estrechamente relacionado con la obra civil en la playa, las salidas y llegadas a la playa constan en sí de un proceso que se divide en varias etapas¹⁰.



Figura 8.7 Navíos de instalación

Estas se describirán, bajo el entendido de que el proceso de instalación inicia una vez que el cable ha sido transportado hasta el punto de instalación y se encuentra en el buque de instalación, que no necesariamente es el mismo que transportó el cable, dado que la mayoría de fabricas de éste se encuentran en Europa cerca de las costas, para mayor facilidad de transporte. Ahora bien, a partir de este punto se dan las siguientes etapas:

- El cable se lleva hasta la playa y permanece flotando sujetado por boyas, como se muestra en la Figura 8.8.
- Se une en el Beach manhole, especie de arqueta que se construye en la playa y se utiliza como interfase entre la fibra submarina y la fibra terrestre, con la fibra para fines terrestres que es la que finalmente lleva la información hasta las estación.

¹⁰ [Haga clic para desplegar una animación](#)



Figura 8.8 Arado a punto de iniciar el enterrado del cable

- Las boyas son retiradas por un buzo desde la costa hasta el buque
- Se inicia el proceso de enterrado, este depende de la compañía pues algunas utilizan excavadores controlados desde el buque, como las que se muestran en la Figura 8.9, con diferentes capacidades en cuanto a la profundidad y el tipo de superficies que pueden perforar, mientras otras emplean “arados”, que simplemente son movidos por el navío al tiempo que realizan el enterrado y depositan la fibra sobre el lecho marino. Este proceso varía tanto en la profundidad que se entierre el cable, puede ser entre uno y cinco metros, y también dependiendo de la compañía ejecutora este proceso se puede extender hasta alcanzar los mil metros de profundidad. Luego se alcanza la profundidad máxima de enterrado, que es un punto en el cual el cable se considera en una zona segura, libre del peligro de las anclas y de la pesca de arrastre



Figura 8.9 Equipos para excavar y enterrar el cable

Estas etapas del proceso se repetirán en cada punto de llegada a la costa, en promedio y bajo condiciones óptimas para la instalación, el tendido del cable puede avanzar hasta 50km por día y en los puntos de llegada se puede tardar entre dos y hasta tres días.

Una vez concluida la instalación del cable, se proceden a realizar los test para verificar el correcto funcionamiento y cumplimiento con los estándares que regulan el sistema según sea, con o sin repetidores. La instalación de los equipos de transmisión y demás equipo para interfasar, con SDH, por ejemplo, así como las conexión a equipos de alimentación en el caso de ser un sistema con repetidores, se llevan a cabo dentro de la estación terrestre.

8.9. Mantenimiento

Pese a que los cable submarinos son una opción altamente confiable, segura y estable, no se escapan a fallas, generalmente ocasionadas por anclas de barcos o cruceros que irrespetan la normativa en cuanto a las áreas destinadas para anclaje o parqueo de barcos. En algunos casos, la pesca de arrastre alcanza al cable, pero por lo general dadas las características mecánicas del mismo no resulta afectado.

Para los casos en los que el cable resulta afectado, las compañías ofrecen diferentes mecanismos para realizar su [reparación](#), el procedimiento en general consiste de:

- Ubicación exacta de la falla
- Dragado hasta encontrar el primer extremo mismo que es elevado hasta la superficie y se sujeta a una boya
- Dragado del segundo extremo
- Corte y reemplazo de la sección de cable dañado
- Tendido sobre el lecho o enterrado

Cuando se realiza la fabricación del cable, también se elaboran los cables para reparación, esto pues la distancia que debe ser suspendido el cable desde el lecho marino en ambos extremos del daño no permitiría realizar la reparación a menos que se llevara a cabo sobre el lecho mismo. Ahora bien, la reparación se lleva a cabo en aproximadamente 12 horas, una vez que el navío para tal fin se encuentre en el lugar del daño, la diferencia en el tiempo

de respuesta ante una eventualidad está dada por el tipo de contrato que tenga la empresa para tal efecto.

8.10. Proyectos de cable óptico submarino alrededor del mundo

Durantes los últimos 35 años, se han tendido una serie de cables a lo largo de océanos y mares, constituidos por proyectos de tipo domésticos o internacionales, y sistemas con repetidores y sin repetidores. la Figura 8.10 muestra un mapas que da una leve idea de la cantidad de cable submarinos en el área de telecomunicaciones y que se encuentran instalados hoy en día.

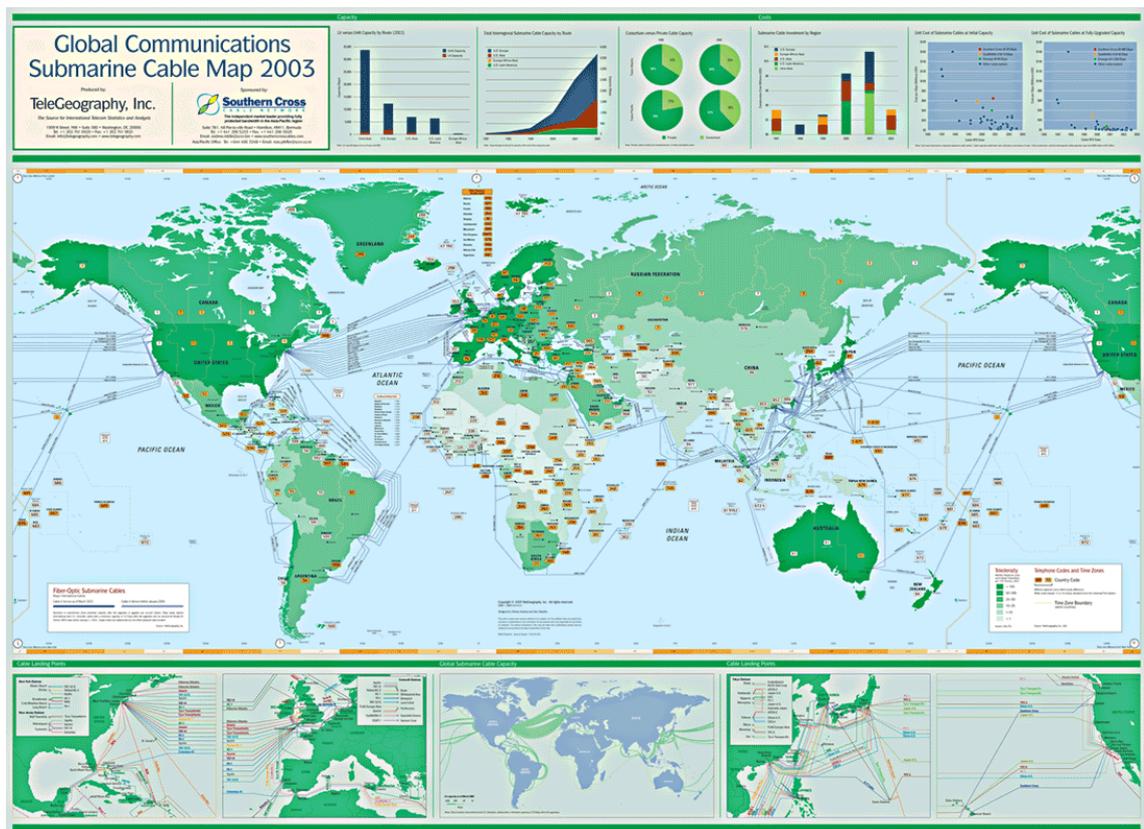


Figura 8.10 Mapa global de cables submarinos

Para poder dar una idea del tipo de sistemas su extensión y el tipo de compañías que se interesan en estos sistemas, se presentan la

Tabla 8.2 y la Tabla 8.3, que mencionan algunos de los proyectos de cable submarino desarrollados en Asia y en el Caribe, respectivamente.

Tabla 8.2 Sistemas de cable submarino en Asia

Nombre del sistema	Longitud (km)	Fecha	Países de llegada	Compradores
NACS	3650	2001	China, Japan	Level 3
SEA-ME-WE3 Extension (part)	11000	1999	Singapore, Malaysia, Brunei, Taiwan, South Korea, Vietnam, Philippines, China, Japan	Telekom Malaysia Berhad, ONPT, MPT, GTO, PTC, Marconi, MOPTT, SINGTEL, SLT, CAT, Turk Telekom, ETISALAT, BT
MTC (Sistema sin repetidores)	240	1997	Micronesia Inter-Islands	Micronesia Telecommunications Corporation
Telic Phil (Sistema sin repetidores)	1300	1997	Philippines	Telecommunications Infrastructure Corporation of the Philippines
Jakarta-Surabaya (SKKL-JS)	730	1996	Indonesia	PT Indosat
JASURAU	2809	1996	Indonesia, Australia	Optus, Telstra
Thailand West (Sistema sin repetidores)	616	1996	Thailand	JSTC
Malaysia Domestic (Southern Link/Northern Link)	84 / 259	1995/1996	Malaysia	Telekom Malaysia
T-V-H (part)	3400	1995	Thailand, Vietnam, Hong Kong	CAT, HKTI, Telstra, VNPT
Northern Route (Java-Bali) (Sistema sin repetidores)	55 / 3	1995	Indonesia	PT Telkom
SEA-ME-WE 2 (Segment 1)	1040	1993	Singapore, Indonesia	Singtel, Indosat
Korea domestic (Sistema sin repetidores)	165	1993	Korea	KTA

Thailand Domestic (Sistema sin repetidores)	1300	1993	Thailand	Telephone Organization of Thailand
Kwajalein (Sistema sin repetidores)	232	1992	Kwajalein Inter-islands	US DoD
TM-1 (Sistema sin repetidores)	185 / 30 / 15 / 70	1992	Taiwan	LDTA
LF-1 (Sistema sin repetidores)	153 / 9	1991	Taiwan	LDTA
Hong Kong-Taiwan	730	1990	Hong Kong, China	HKTI, ITDC

Tabla 8.3 Sistemas de cable submarino en el Caribe

Nombre del sistema	Longitud (km)	Fecha	Países de llegada	Compradores
Americas II (part)	9000	1999	Brazil, Guyana, Trinidad, Curaçao, Venezuela, US Virgin Islands, Martinique, Puerto Rico, USA	ANTELECOM, AT&T, MCII, Sprint, Embratel, CANTV, Telintar, France Telecom, Telecom Italia, Telefónica, Trescom Int, TSTT, Telesur
Alonso de Ojeda (Unrepeated systems)	120	1999	Aruba, Netherlands Antilles	ANTELECOM, SETAR
Amerigo Vespucci (Unrepeated systems)	85	1999	Netherlands Antilles	Antelecom
Pan-American	2800	1998	St. Croix, Aruba, Venezuela, Colombia, Ecuador, Peru, Chile	Telefónica, Telefónica Peru, CTC Mundo, MCI, AT&T, Telintar, CANTV, ENTEL Chile, Telecom Italia, Sprint, Setar, Emetel
Venezuela Domestic (Unrepeated)	1194	1998	Venezuela	CANTV

systems)				
CJFS (Cayman Jamaica Fibre System) (Unrepeated systems)	226 / 271 / 343 / 14 / 14	1996	Cayman Islands, Jamaica	C&W (Cayman Islands) Limited, Telecommunications of Jamaica
ECFS (Eastern Caribbean Fibre System) (Unrepeated systems)	185 / 29 / 117 / 90 / 80 / 89 / 211 / 21 / 79 / 281 / 192 / 150 / 190	1995	Eastern Caribbean islands	France Telecom, Cable & Wireless, AT&T
Americas 1 (South)	1519	1994	USA, Venezuela, Brazil, Trinidad & Tobago	AT&T, CANTV, Embratel, TSTT
Bermuda-Tortola 2	1690	1990	Bermuda, Tortola	C&W

Para el caso específico de Costa Rica, como se mencionó en el capítulo 5, el ICE se ha involucrado en dos proyectos de cable submarino:

8.10.1. Maya-1

El proyecto de \$150 millones fue firmado en las Islas Caimán el 22 de septiembre de 1998, entre los operadores involucrados se tiene a AT&T, C&W, Hondutel, ICE, MCI, Sprint y Telmex. El proyecto de aproximadamente 4500km, que cuenta con 48 repetidores, se implementó entre Alcatel (75%) y Tyco Submarine Systems Ltd (TSSL), estas compañías fueron las responsables de interconectar USA, México, Las Islas Caimán, Honduras, Costa Rica, Colombia y Panamá.

El sistema de cable, conformado por 2 pares de fibra utiliza “wavelength-division multiplexing” (WDM), tiene una capacidad de 40Gbits, actualmente se encuentran en funcionamiento 3 λ 's, dentro de la segunda ventana, cada canal tiene una capacidad de 2.5 Gbit/s, este sistema transporta voz, datos y video. Maya – 1 fue el primer cable submarino en el que Costa Rica, directamente el

ICE, tuvo incursión en el mundo de los cables submarinos. El recorrido de este cable se muestra en la Figura 8.11.



Figura 8.11 Ruta del cable submarino Maya-1

8.10.2. Arcos-1

Este fue el segundo cable submarino en el que se vio involucrado el ICE, es un sistema sin repetidores, en su mayoría; sin embargo, cuenta con dos tramos que poseen repetidores, debido a que estos segmentos superan las distancias máximas toleradas por los sistemas sin repetiros, cuenta con 24 puntos de llegada a las costa involucra países en centro sur América y el Caribe. Su recorrido a lo largo del Caribe se muestra en la Figura 5.2, el proyecto fue desarrollado por la compañía NSW y puesto en funcionamiento en el 2002.

Capítulo 9 Diseño preliminar

9.1. Topología

Se utilizará, en la implementación de este cable submarino una topología de tipo festoon, como la mostrada en la Figura 5.1, logrando obtener una interconexión con el tendido de fibra terrestre con que hoy en día cuenta en Sistema Nacional de Telecomunicaciones, de esta modo se estaría logrando abarcar la principal necesidad de este proyecto, que como se expuso en la sección *Definición del problema y su importancia*, consiste en brindar redundancia al tendido actual del SNT. De este modo, se crearían anillos de fibra que cuenten con una composición marino-terrestre, mejorando la estabilidad y disminuyendo la vulnerabilidad. Adicionalmente, por la disposición geográfica de los puntos a lo largo de la costa Pacífica, y principalmente de los puntos inicial y final, se brinda la posibilidad a futuro para que el ICE puede extender sus fronteras y ofrecer servicios a los países vecinos Nicaragua y Panamá, ubicados en las fronteras norte y sur respectivamente.

En la Figura 9.1, se muestra el tendido preliminar, este cuenta con 5 puntos de llegada a la costa, el detalles de los mismos se tratará en la siguiente sección.

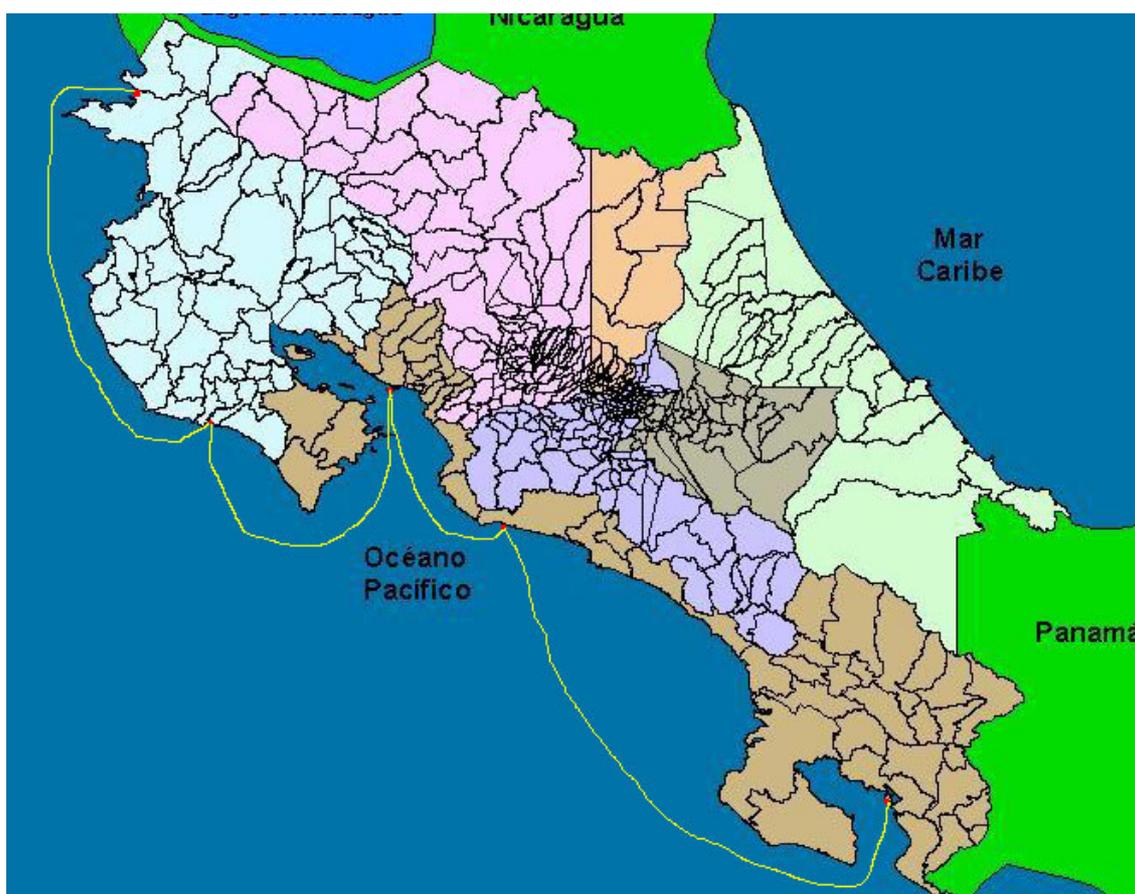


Figura 9.1 Tendido del cable submarino "Festoon del Pacifico"

9.2. Puntos de llegada a la costa (shore end)

Por razones estratégicas, respecto a la ubicación, tanto de la playa sus condiciones, la cercanía a las estaciones del ICE, así como las posibilidades de crecimiento futuro y la conectividad a la red terrestre de fibra óptica se han seleccionado los puntos que se muestran en los siguientes esquemas, que buscan evidenciar la ubicación y los caminos públicos a través de los cuales mediante el uso de canalización subterráneas se unirán las estaciones al cable óptico submarino, las coordenadas fueron obtenidas con el una de GPS, en una gira realizada a lo largo de la costa para tal fin. La llegada a la playa de la fibra se conoce como Beach Manhole, es el punto en el cual se empalma el cable submarino, que normalmente es de doble armadura en su llegada a la playa, con cable terrestre para ser canalizado hasta su llegada a la correspondiente estación.

Cuajiniquil

Punto ubicado bastante cercano a la frontera norte del país, cuenta con un tendido de fibra óptica aérea.

Ubicación por coordenadas del punto de llegada a la playa

Longitud: 85°42'20.0"

Latitud: 10°56'57.1"

Ubicación por coordenadas de la estación

Longitud: 85°40'51.1"

Latitud: 10°56'36.0"

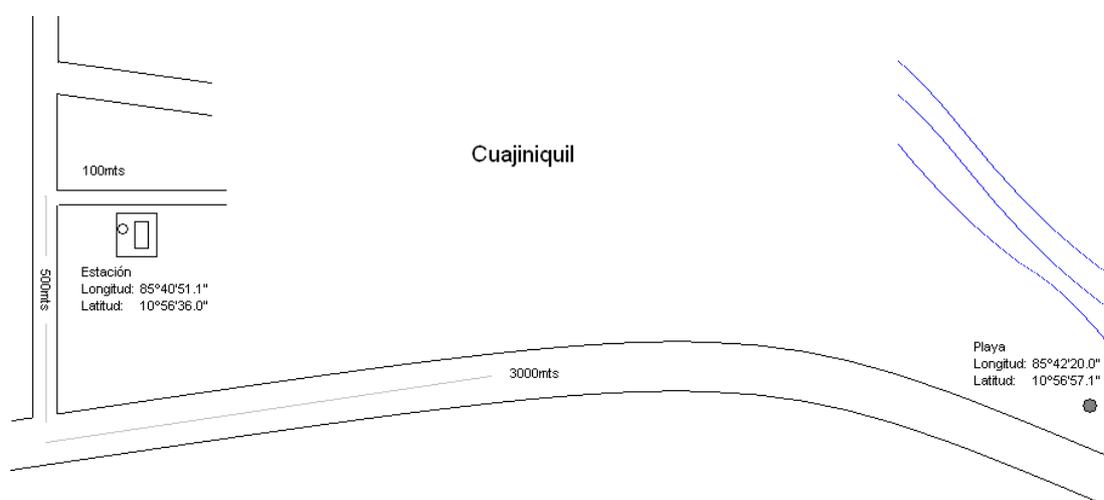


Figura 9.2 Diagrama de la ubicación del punto de llegada a la playa y la estación en Cuajiniquil

Sámara

Punto que permitirá eliminar la actual dependencia que existe en esta zona del tráfico de información vía microondas que genera una limitación de ancho de banda, e inconvenientes causados por los desvanecimientos de la señal, debido a los cambios climáticos a lo largo del año.

Ubicación por coordenadas del punto de llegada a la playa

Longitud: 85°30'25.4"

Latitud: 09°52'07.2"

Ubicación por coordenadas de la estación

Longitud: 85°30'15.2"

Latitud: 09°52'08.0"

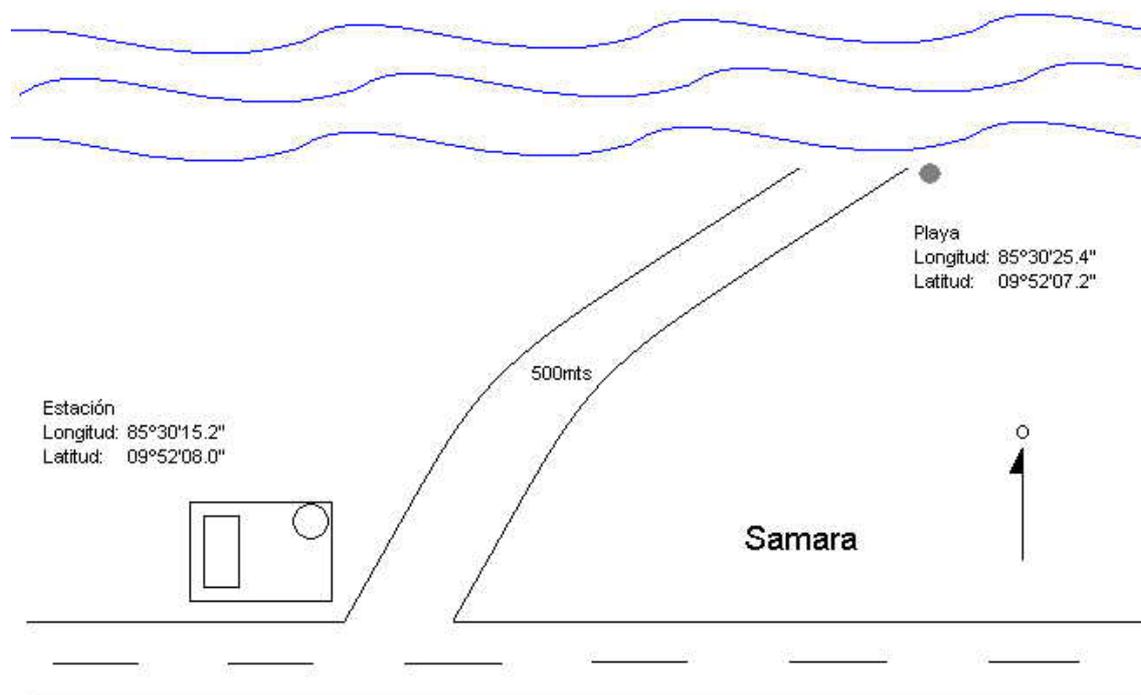


Figura 9.3 Diagrama de la ubicación del punto de llegada a la playa y la estación en Samara

Puntarenas

Debido a su cercanía con el muelle como lo muestra Figura 9.4, y las posibilidades de anclaje de buques, barcos, cruceros y el peligro que estos representan para el cable; este punto podría verse trasladado al Roble, de esta manera se brinda mayor seguridad al cable y se evitan daños futuros.

Ubicación por coordenadas del punto de llegada a la playa

Longitud: 84°49'45.4"

Latitud: 09°58'33.6"

Ubicación por coordenadas de la estación

Longitud: 84°49'48.4"

Latitud: 09°58'40.4"

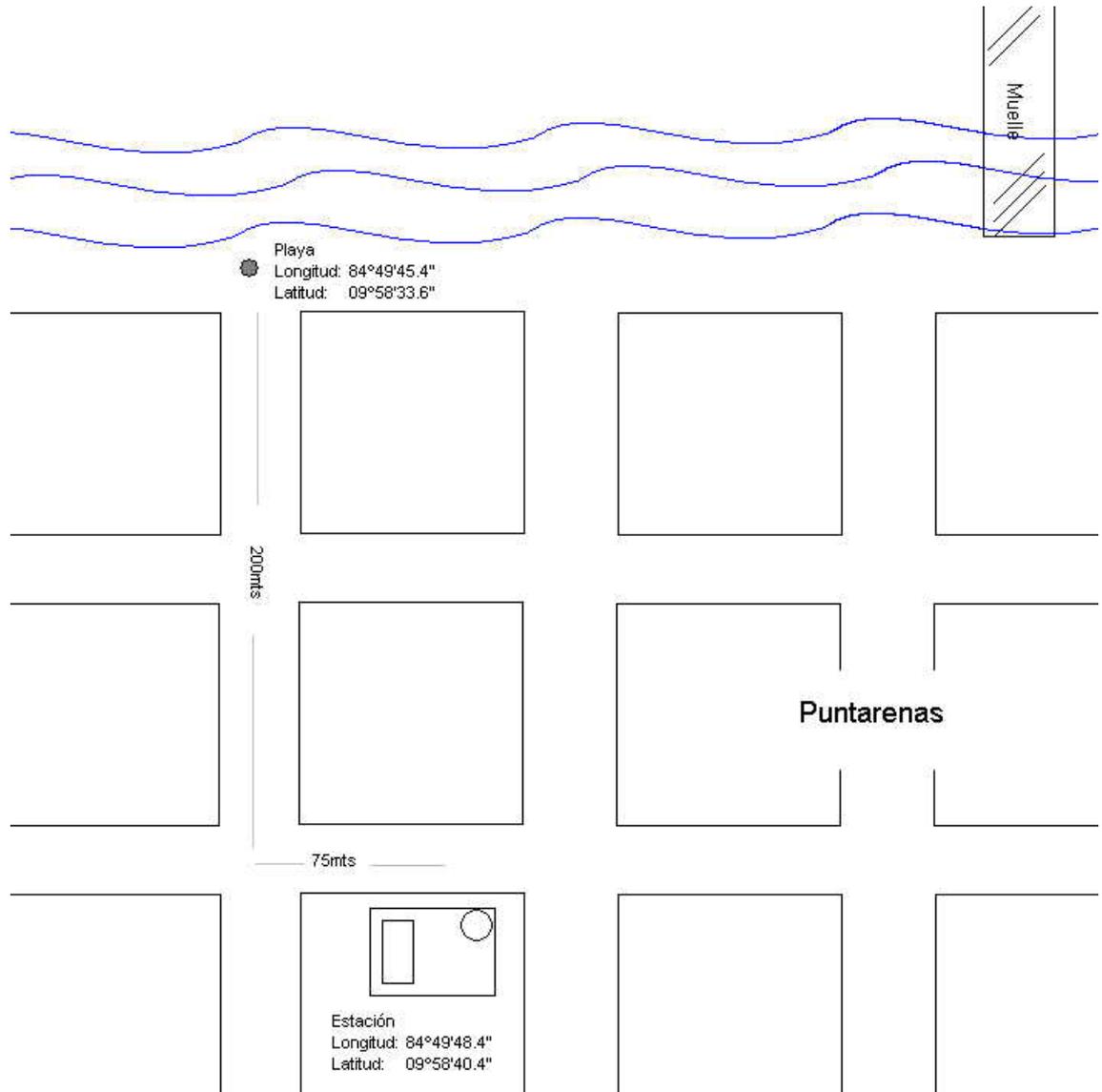


Figura 9.4 Diagrama de la ubicación del punto de llegada a la playa y la estación en Puntarenas

El Roble

Ubicación por coordenadas del punto de llegada a la playa

Longitud: 84°44'47.5"

Latitud: 09°58'17.2"

Ubicación por coordenadas de la estación

Longitud: 84°44'37.5"

Latitud: 09°58'31.2"

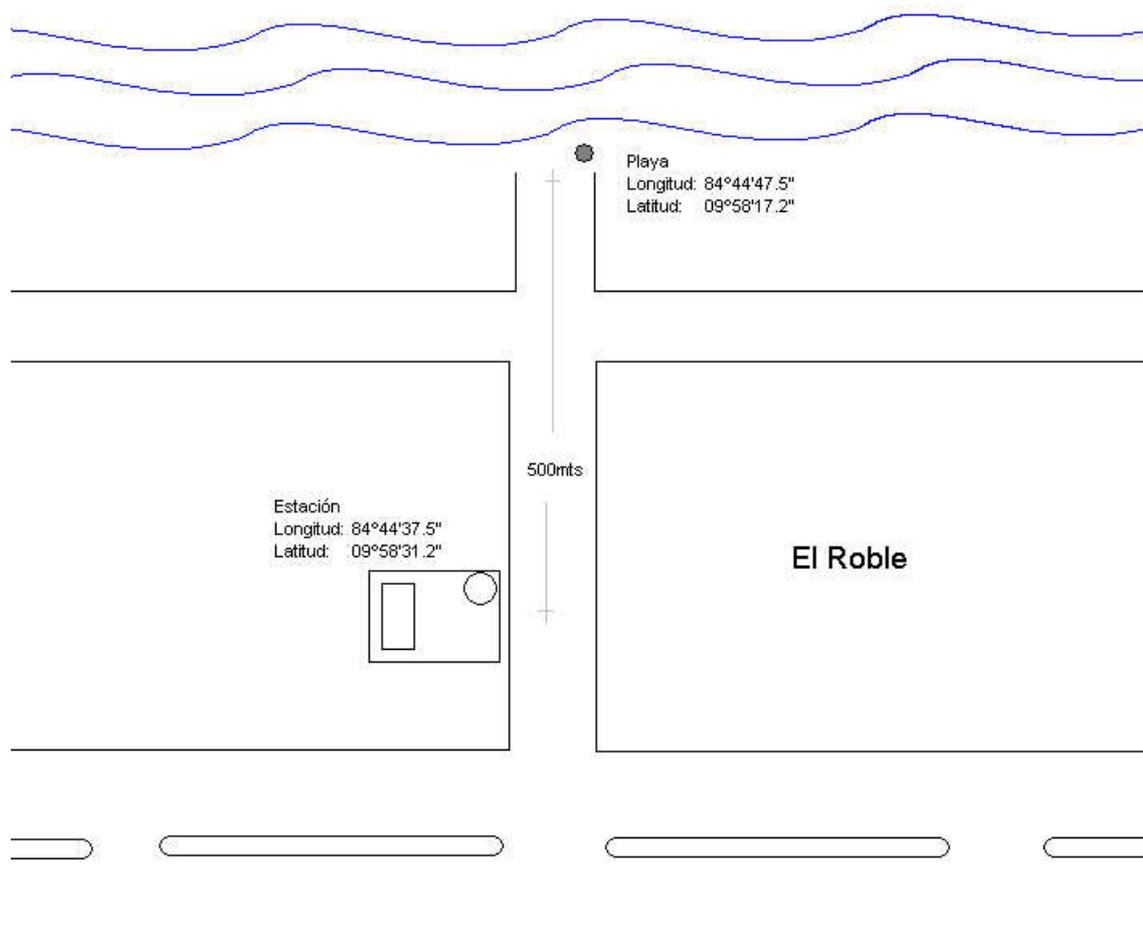


Figura 9.5 Diagrama de la ubicación del punto de llegada a la playa y la estación en el Roble Puntarenas

Esterillos Centro

La importancia de esta estación radica en la interconexión con la estación Bribri, ubicada en cerro Garro Limón que es la estación a la cual se conecta el cable [Maya-1](#), a través de 2 anillos de fibra que se utilizan para interconectar Bribri – San Pedro y San Pedro – Esterillos, creando de esta manera un “canal interoceánico”.

Ubicación por coordenadas del punto de llegada a la playa

Longitud: 84°28'47.4"

Latitud: 09°31'45.8"

Ubicación por coordenadas de la estación

Longitud: 84°28'51.6"

Latitud: 09°32'04.0"

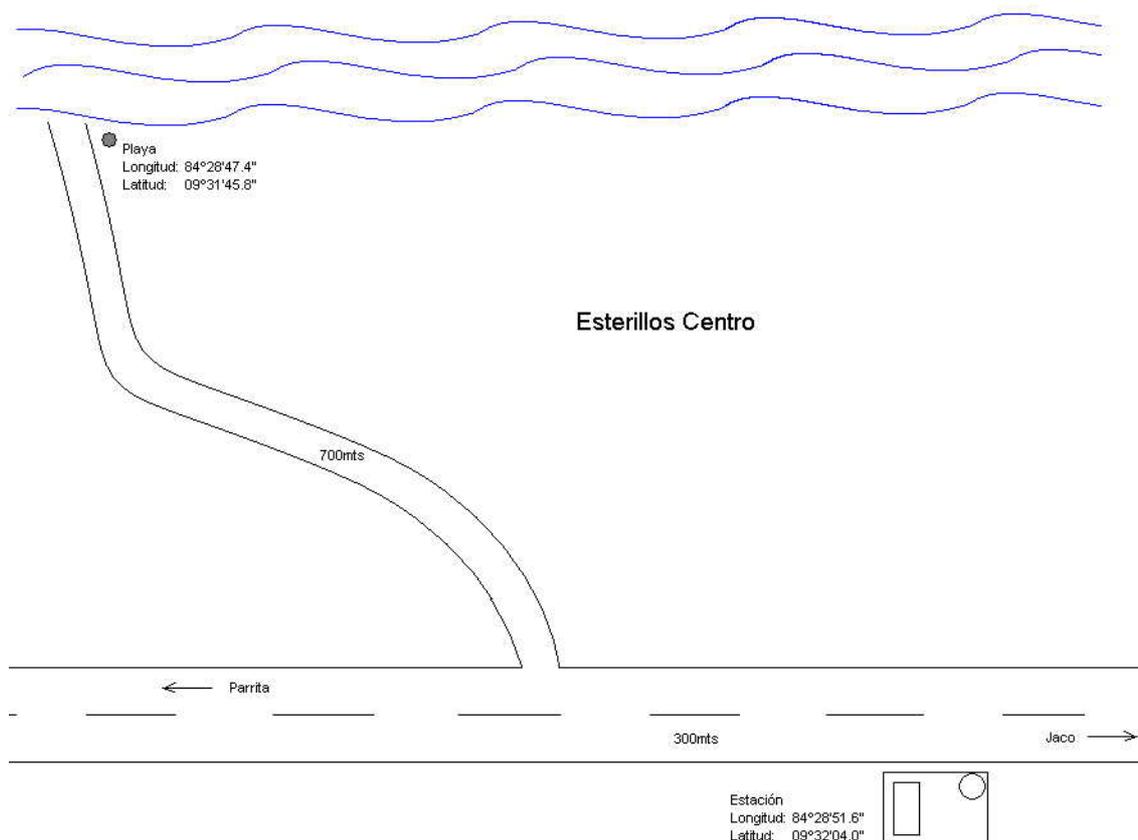


Figura 9.6 Diagrama de la ubicación del punto de llegada a la playa y la estación en Esterillos

Golfito

Brindará conectividad a la franja sur del país, es una zona de aguas muy tranquilas presenta el mismo detalle que las estación de Puntarenas debido a la cercanía con el muelle, por cual en caso de ser necesario podría ser reubicada para evitar inconvenientes futuros y brindar mayor seguridad al cable.

Ubicación por coordenadas del punto de llegada a la playa

Longitud: 83°09'43.6"

Latitud: 08°38'2.2"

Ubicación por coordenadas de la estación

Longitud: 83°09'50.8"

Latitud: 08°38'11.3"

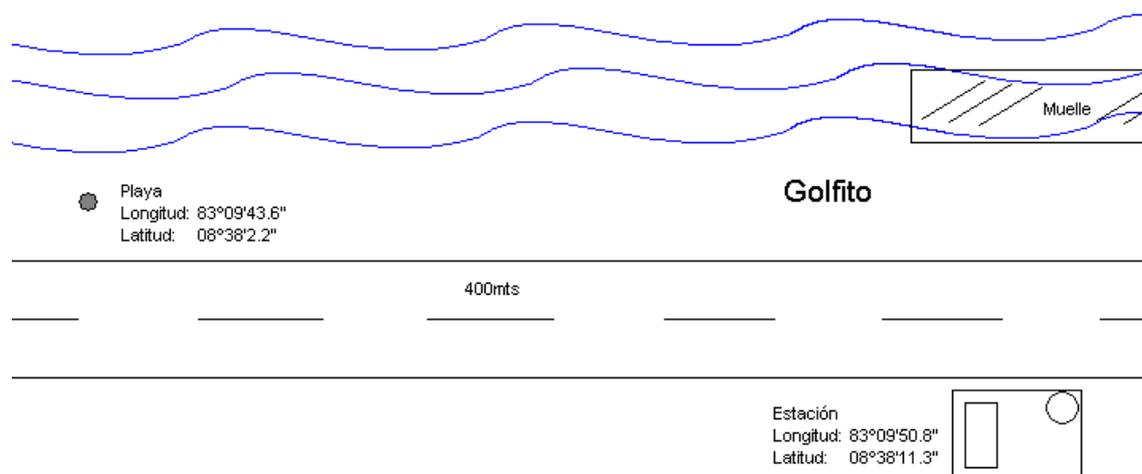


Figura 9.7 Diagrama de la ubicación del punto de llegada a la playa y la estación en Golfito

Distancia aproximadas entre los puntos, se muestran en la Tabla 9.1, éstas deben ser verificadas en el momento que se realiza el *Levantamiento Hidrográfico*, por la empresa ejecutora

Tabla 9.1 Longitud de los segmentos de fibra entre Beach Manhole

Punto inicial	Punto final	Longitud en Km
Cuajiniquil	Samara	259
Samara	Puntarenas	165
Puntarenas	Esterillos centro	83
Esterillos centro	Golfito	269

9.3. Sistema de transmisión

Teniendo en cuenta los beneficios y capacidades expuestas en el capítulo Tecnologías de transmisión utilizadas en fibra óptica, sin dejar de lado la tendencia de las tecnologías más actuales y el camino tomado por empresas análogas al ICE en el campo de las telecomunicaciones así como los proyectos que se desarrollan e implementan en la institución que cada día siguen una tendencia hacia la tecnología DWDM, es evidente que ésta es la mejor opción que se encuentra en los mercados hoy en día y que brindará un mejor soporte para el futuro desarrollo nacional.

El sistema diseñado tendrá una capacidad final de 640 Gbps, se basará en canales de 10 Gbps, por cada λ , con una capacidad de expansión de hasta 32 λ 's por para de fibra, con un mínimo de dos (2) pares de fibra, inicialmente el se explotará una λ , el equipo terminal soportará un ancho de banda de 10 Gbps,

Los equipos de transmisión utilizados deberán tener la capacidad de conectividad con SDH a nivel de STM-16,

Capítulo 10 Conclusiones y recomendaciones

10.1 Conclusiones

Según el ITU-T, los sistemas de cable ópticos submarinos se rigen por las recomendaciones comprendidas en la serie G entre las G.970 y G.979. Para los fines deseados por la empresa, las recomendaciones que aplican son la G.976 “Métodos de prueba aplicables a los sistemas de cable submarino de fibra óptica”, ésta contempla las pruebas de los sistemas desde perspectivas de calidad, instalación, puesta en servicio, mantenimiento y demás, y la recomendación G.973 “Características de los sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores”, contempla los detalles. En lo referente a la(s) fibra(s) óptica(s) que se encuentran contenidas en el cables, la entidad reguladora presenta las recomendaciones [G.652](#) “Características de un cable de fibra óptica monomodo” y G.653 “Características de un cable de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada”. La fibra comúnmente utilizada y de menor costo es la contemplada en la recomendación G.652., sin embargo como se menciona en estas recomendaciones “Será posible considerar la tecnología de multiplexación por división de longitud de onda (WDM, *wavelength division multiplexing*) para aumentar la capacidad de transmisión y la flexibilidad de la red de los sistemas. Los parámetros de los sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores con tecnología WDM deben ser objeto de estudios ulteriores.”, es claro que esta tecnología no está aun contemplada dentro de la recomendación pero no por esto los fabricantes han dejado esta posibilidad de lado. Es importante mencionar que las recomendaciones no son vastas en sí mismas y hacen referencia a otras que se dan en otros apartados. Sin embargo, se puede afirmar que las recomendaciones no son suficientes.

La recomendación [G.972](#) “Definición de términos pertinentes a los sistemas de cable submarino de fibras ópticas”, contempla los diferentes tipos de cables submarinos para estas aplicaciones, como se menciona en el Capítulo 6 , sin embargo esta no restringe el número o tipo de fibras, que se encuentran normadas por las recomendaciones G.651, [G.652](#) y G.653, por esto cada fabricante tiene su propia gama de cables con diferentes recubrimiento

cantidad de fibras y demás características, que se especifican según la necesidad del cliente y son utilizadas en la elaboración de los cables que normalmente son desarrollados a la medida.

A lo largo del mundo, existe una gran cantidad de cables submarinos de fibra óptica, que han sido desarrollados por una gran gama de compañías, muchas veces de ellas se alían para desarrollar determinado proyecto, en otros casos lo realizan solas, en la sección 8.10, se presenta a manera de ejemplo una pequeña cantidad de proyectos en áreas geográficas diferentes, así como los proyectos en los que el ICE se ha visto involucrado, de igual manera que compañías se alían para desarrollar un proyecto se alían operadores para poder financiarlo, operarlo y mantenerlo en funcionamiento.

Gracias al contacto establecido con NSW y Alcatel, hoy en día el ICE cuenta con dos propuestas económicas realizadas por estas compañías basadas en los requerimientos planteados, tanto técnicos como geográficos, contemplados en el Capítulo 9 .

Con la ayuda de expertos en oceanografía, así como la experiencia de compañías, con las que se estableció contacto, se puede asegurar que el ambiente marino en su totalidad no tiene efecto negativo alguno, con excepción de los casos en que se presenta una textura rocosa muy abrupta, en la que además de incrementar el tipo de protección o armadura del cable, se utilizan ductos, esto se realiza en casos extremos.

La instalación del cable submarino la debe realizar un buque diseñado y equipado para tal fin, para tal fin la recomendación G.971 “Características generales de los sistemas de cable submarino de fibra óptica” en el apéndice 1, menciona una gran cantidad de “...buques cableros y equipos sumergibles...”

Los puntos de mejor ajuste al interés del proyecto fueron determinados y están descritos en detalle dentro de la sección 9.2, cabe mencionar que se encuentran contempladas opciones en caso de que luego del levantamiento hidrográfico se determine que algún punto es inadecuado.

El cable submarino representa una opción de gran estabilidad y seguridad en si mismo, pero para las necesidades de la empresa este debe estar interconectado al tendido terrestre y brindarle a este una alternativa de redundancia.

La implementación de este proyecto le permitirá al ICE fortalecer grandemente el Sistema Nacional de Telecomunicaciones, generando una vía alternativa al tráfico de los extremos norte y sur del país, y en el caso de Sámara eliminando la dependencia de los enlaces inalámbricos y las limitaciones de anchos de banda, importante característica para elevar la explotación de servicios en estas áreas de alta incidencia turística. Al tiempo que le coloca entre sus análogos de telecomunicaciones a nivel de latinoamericano como uno de los primeros en poseer un sistema de cable submarino de fibra óptica propio.

10.2 Recomendaciones

Efectuar la contratación para la elaboración del proyecto, dicha contratación se vuelve más efectiva y negociable si se realiza bajo un esquema de contratación internacional y no como un proceso interno bajo el esquema de contratación administrativa nacional.

Presentar la moción de convertir al cable submarino en el medio para transportar el tráfico del proyecto SIEPAC, que pretende la interconexión de toda Centroamérica a través de fibra óptica.

Complementar el proyecto con una segunda etapa, a desarrollarse en el Atlántico, y realizar las secciones terrestres canalizadas necesarias para completar un anillo periférico al país.

Referencias

Bibliografía

Nec Corporation. “**Manuales de SDH y NMS**”. 1ª edición. Marzo 2001, Japón.

Neri Vela, Rodolfo. “**Líneas de transmisión**”. 1ª edición McGraw-Hill. 1999, México.

Unidad Ingeniería de Sistemas. “**Red de Gestión OPMAN**”. 1ª edición. Septiembre 2001, San José, Costa Rica.

Electrografía

www.ice.go.cr

<http://members.tripod.com/~glorsarm/index-4.html>

<http://www.arturosoria.com/fisica/art/fibra.asp>

<http://www.fibraopticahoy.com/>

<http://www.itu.int>

<http://www.optim.com.ar/jobs.php>

<http://www.newlink-usa.com>

<http://www.nsw.com>

<http://www.siemes.com>

<http://www.alcatel.com>

<http://www.pirelli.com>

<http://www.erickson.com>

<http://www.eic.com>

<http://www.iso.org>

<http://www.ansi.org>

<http://www.ieee.org>

Apéndices

Apéndice A.1 Abreviaturas y glosario

ACD:	Automatic Call Distribution
ADM:	Multiplexor de inserción – extracción
AMNT:	Asambleas Mundiales de Normalización de las Telecomunicaciones
CIT:	Centro de Investigación Tecnológica
CNFL :	Compañía Nacional de Fuerza y Luz S.A.
COS:	Cable Óptico Submarino
CRICRSA:	Compañía Radiográfica Internacional de Costa Rica S.A.
CSMA/CD:	Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection
DWDM:	Dense Wavelength Division Multiplexing
DXC:	Dispositivo de conexión cruzada
EDFA:	Erbium Doped Fiber Amplifier
EMI:	Interferencia por campos electromagnéticos
GRM:	Gestión de Red y Mantenimiento
I.T.C.R.:	Instituto Tecnológico de Costa Rica
ICE:	Instituto Costarricense de Electricidad
IE:	Escuela de Ingeniería en Electrónica
IEEE:	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
Ing.:	Ingeniero
ISO:	Organización Internacional para la Estandarización
LED:	diodos emisores de luz
NAP:	Network Application Plataform
RACSA:	Radiográfica Costarricense S.A.

RFI:	Interferencia por Radio frecuencias
RI:	Red Inteligente
SNT:	Sistema Nacional de Telecomunicaciones
TM:	Terminal multiplexora
UEN:	Unidad Estratégica de Negocios
UIT:	Unión Internacional de Telecomunicaciones
VDC:	Voltaje de corriente continua
WDM:	Wavelength Division Multiplexing

Anexos

Anexo B.1 [Recomendación UIT-T G.652. Características de un cable de fibra óptica monomodo](#)

Anexo B.2 [Recomendación UIT-T G.972. Definición de términos pertinentes a los sistemas de cable submarino de fibra óptica](#)

Anexo B.3 [Recomendación UIT-T G.976. Métodos de prueba aplicables a los sistemas de cable submarino de fibra óptica](#)