

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO
DE UNA RED DE CABLE
SUBMARINO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO
DE
INGENIERO DE LAS
TELECOMUNICACIONES**

PRESENTADO POR

Santiago Hernán Zevallos León

LIMA – PERÚ

2008

RESUMEN

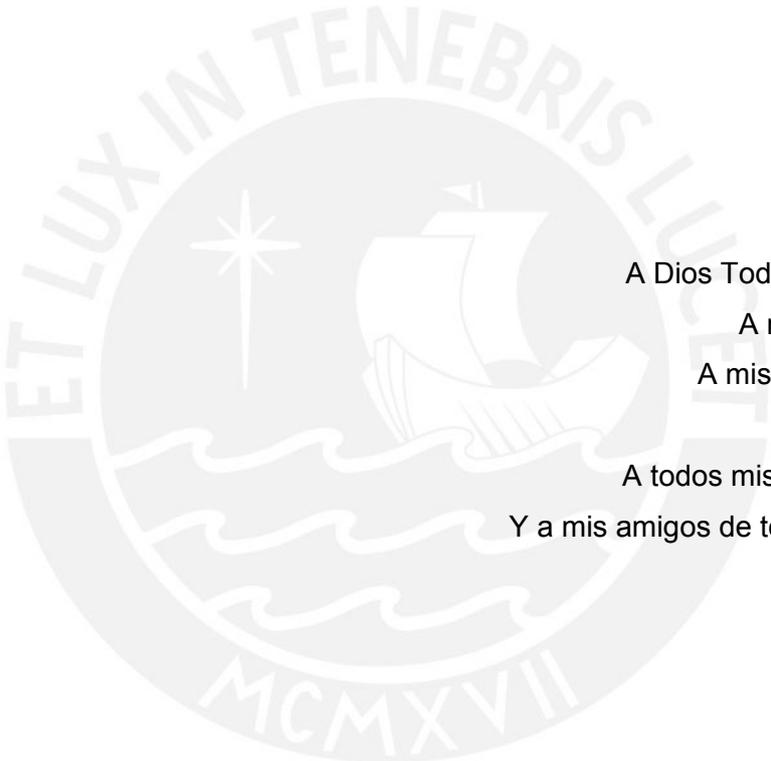
Pasados los 80's el incremento en la demanda del ancho de banda por el uso de Internet, así como las comunicaciones internacionales privadas de la industria de las Telecomunicaciones, han ocasionado que las redes basados en Satélites colapsen, ya que esta tecnología no podía brindar la tecnología (ancho de banda) que se necesitaba y otro, su costo es significativamente mayor. Razón por el cual, se inicio el uso de las redes por cable submarino aumentando considerablemente su demanda, hasta que el día la mayoría de las comunicaciones internacionales se hacen a través de este medio.

Los grandes cables submarinos en las telecomunicaciones, tiene la misión de unir los continentes entre si a través de los océanos y soportan el 90% del tráfico de la red, trasmitiendo hasta más de 7 Terabits por segundo (Tbps); es decir, más de siete billones de bits cada segundo.

El uso de este medio de transmisión tiende a ser vulnerable por el medio ambiente, los daños y el uso inadecuado que se le brinde; es por eso que, la Operación y Mantenimiento de una Red de Cable Submarino es de suma importancia para prevenir y actuar al momento que se presente algún deterioro o rotura, esto es un problema que conlleva perdida económica, por cuanto la rotura de sólo un cable afectaría a millones de usuarios,

Para fines de mantenimiento preventivo y correctivo es necesario realizar mediciones y enviar órdenes a los repetidores que están bajo el mar. Esto se realiza variando levemente (sobre-modulando) la señal luminosa de acuerdo a la señal de datos de baja velocidad que contiene los mensajes enviados o recibidos hacia o desde los repetidores.

DEDICATORIA



A Dios Todopoderoso,
A mis padres,
A mis hermanos,
A mi novia,
A todos mis familiares,
Y a mis amigos de toda la vida.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradecer a Dios por darme las fuerzas, el coraje, la confianza y haber puesto en mi camino a aquellas personas que me ayudaron de alguna manera al desarrollo de la presente tesis.

A mis padres y mis hermanos, por darme la mejor educación que haya podido tener y el apoyo incondicional en todo momento.

Al ingeniero Percy Fernandez Picoy, por confiar en mí al ser mi asesor y apoyarme en todas las correcciones de la Tesis y el planteamiento de la misma.

A los ingenieros Carlos Dasi y Marina Camarasa, por brindarme la información necesaria para el desarrollo y culminación de la Tesis; además de brindarme su confianza.

A todos los integrantes de las empresas operadoras de Cable Submarino existentes en el Perú, ya que me brindaron tanto la información teórica como técnica.

A mis compañeros de la Universidad, sin su ayuda y consejos no hubiera podido terminar lo antes posible la Tesis.

Por último, agradecer a todas aquellas personas que sin querer olvido, ¡muchas gracias de todo corazón!

INDICE

DEDICTORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.. ..	II
ÍNDICE.....	III
LISTA DE FIGURAS.....	V
LISTA DE TABLAS	VII
GLOSARIO.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo I: ASPECTOS TECNOLÓGICOS.....	3
1.1. Definición de Red Submarina de fibra óptica.....	3
1.2. Confiabilidad de Red Submarina de fibra óptica.....	3
1.3. Importancia de la Red submarina de fibra óptica.....	4
1.4. Redes por Cable Submarino.....	5
1.5. Tecnología SDH.....	7
1.6. Tecnología DWDM.....	12
Capítulo II: SISTEMA DE CABLE SUBMARINO EN EL PERÚ.....	17
2.1. Topología de la Red Regional	17
2.2. Estación Terminal	19
2.2.1. Estación Terminal (LTE) en una Red de Cable Submarino.	19
2.2.2. Características del LTE.....	21
2.2.3. Módulos en el LTE	22
2.2.4. Generadores de Densidad Óptica	23
2.3. Cables Submarinos en Actual Operación	25
2.3.1. Cable Submarino Panamericano PANAM	26
2.3.2. Cable Submarino Sam-1.....	28
2.3.3. Cable Submarino SAC.....	31
Capítulo III: OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA RED DE CABLE SUBMARINO	34
3.1. Mantenimiento Preventivo	34

3.1.1. Equipos Terrestres.....	34
3.1.2. Limpieza del Conector de Fibra	35
3.1.3. Pruebas de Rutina de Mantenimiento.....	43
3.1.4. Mantenimiento de Equipos Submarinos	45
3.2. Localización de Fallas.....	46
3.2.1. Análisis de Fallas en el Sistema	46
3.2.2. Localización de Fallas.....	48
3.2.3. Localización de Fallas desde la Estación Terminal	61
3.3. Reparación de Fallas	63
3.3.1. Responsabilidades de las Autoridades de Mantenimiento (MA)....	63
3.3.2. Responsabilidades del buque cablero	63
3.3.3. Estrategias de reparación	64
3.3.4. Participación de la estación terminal en la reparación de Cables Submarinos.....	78
3.3.5. Participación de la estación terminal en la reparación de Cables Terrestres.....	80
3.4. Procedimientos y Equipos de unión.....	80
3.4.1. Unión de cables	80
3.4.2. Tipos de uniones.....	80
3.4.3. Unión de Cables Submarinos	81
3.4.4. Unión de Cables Terrestres	83
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	83
BIBLIOGRAFÍA.....	87
RELACIÓN DE ANEXOS	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1 Elementos del Cable Submarino	5
Figura 1-2 Consolidación y Clasificación	9
Figura 1-3 Aplicaciones de redes SDH.....	10
Figura 1-4 Enrutamiento en un ADM	11
Figura 1-5 Estructura de la multiplexación ITU-TS	12
Figura 1-6 Capacidad incrementada de la red - WDM.....	14
Figura 2-1 Segmento de Protección (Span Switching)	19
Figura 2-2 Topología anillo doble y Conmutación.....	19
Figura 2-3 Componentes de una red de cable submarino.....	20
Figura 2-4 Componentes con generadores de densidad óptica	23
Figura 2-5 Ubicación de los componentes con generadores de densidad óptica.....	23
Figura 2-6 Flujos de las señales que pasan a través del LTE	24
Figura 2-7 Mapa del sistema de Cable Submarino PANAM.....	27
Figura 2-8 Configuración del Sistema de Cable Submarino SAm-1..	29
Figura 2-9 Segmentos del Sistema de Cable Submarino SAC.....	32
Figura 3-1 Conector FC	35
Figura 3-2 Ferrule	36
Figura 3-3 Adaptadores FC/PC o FC/APC	37
Figura 3-4 Adaptador LC/APC	37
Figura 3-5 Inspección del Conector de fibra	40
Figura 3-6 Conector Limpio.....	41
Figura 3-7 Conector Limpio – requiere limpieza adicional	41
Figura 3-8 Conector Sucio	42
Figura 3-9 Conector sucio por aplicación de los solventes incorrectamente	42
Figura 3-10 Acopladores ópticos y Elementos de reflexión Selectiva	50
Figura 3-11 Pantalla del OTDR mostrando una pérdida pequeña.....	52
Figura 3-12 Pantalla del OTDR mostrando un corte de fibra.....	52
Figura 3-13 Señal tipo FSK enviada por un COTDR	53
Figura 3-14 Reflectograma obtenido en un COTDR.....	54
Figura 3-15 Modo de alimentación doble en enlace submarino	55

Figura 3-16 Variaciones de los voltajes de los generadores frente a un corte total del cable	57
Figura 3-17 Variaciones de los voltajes de los generadores en caso de una falla tipo shunt	59
Figura 3-18 Corte inicial de Reparación en aguas profundas.....	66
Figura 3-19 Reparación en aguas profundas.....	67
Figura 3-20 Reparación en aguas profundas.....	67
Figura 3-21 Reparación en aguas profundas.....	68
Figura 3-22 Reparación en aguas profundas.....	68
Figura 3-23 Span Budget	70
Figura 3-24 Reparación de los cables en los ductos	71
Figura 3-25 Reparación del cable enterrado.....	72
Figura 3-26 Reparación normal de un extremo de cable corto.....	75
Figura 3-27 Unión de un extremo de cable corto	76
Figura 3-28 Unión Millennia (MJ)	81

LISTA DE TABLAS

Tabla 2-1 Segmentos del Sistema de Cable Submarino PANAM	27
Tabla 2-2 Segmentos del Sistema de Cable Submarino Sam-1	30
Tabla 2-3 Segmentos del Sistema de Cable Submarino SAc	33
Tabla 3-2 Región visual de inspección de un conector de fibra.....	39
Tabla 3-3 Inspección visual de los Conectores de Fibra	40



GLOSARIO

ADM	Add/Drop Multiplexers
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AU	Administrative Unit
BU	Branching Unit
CTE	Cable Terminating Equipment
CRZ	Chirped Return to Zero
CIT	Craft Interface Terminal
CSR	Carrier-to-sideband Ratio
COTDR	Coherent OTDR
CMA	Cable Maintenance Agreement
DXC	Digital Cross Connect
DPSK	Differential Phase Shift Keying
DLS	Digital Line Section
DA	Double Armored
DWDM	Dense wavelength division multiplexing
EIC	Engineer in Charge
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FEC	Forward Error Correction
FOSC	Fiber Optic Splice Closure
HERS	Hed-End Ring Switching
HPOE	High Performance Optical Equipment
ICG	Idler Channel Generator
ILE	Initial Loading Equipment
IDLC	Integrated digital Loop Carrier
IP	Internet Protocol
IPA	Isopropyl Alcohol
ITU-TS	International Telecommunications Union – TeleServices
LME	Line Monitoring Equipment
LTE	Line Terminal Equipment
LW	Lightweight
LWA	Lightweight Armored
MA	Maintenance Authority

MDF	Main Distribuion Frame
MJ	Millennia Joint
MST LME	Multi-sidetone Line Monitoring Equipment
NE	Network Element
ODF	Optical Distribution Frame
OGPP	Ocean Ground Protection Panel
OTDR	Optical Time-Domain Reflectometry
P2P	Point to Point
PCM	Pulse Code Modulation
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
PFE	Power Feed Equipment
PSBU	Power Switched Branching Unit
SA	Single Armored
SAm - 1	South America - 1
SAC	South America Crossing
SDH	Synchronous digital hierarchy
SONET	Synchronous optical networking
SPA	Special Application
SNL	Simple Noiser Loader
STM - n	Synchronous Transport Module – n
TAC	Trans-Andean Crossing
TDM	Time Division Multiplexing
TEC	Thermoelectric Coolant Current
TEMS	TE Management System
TLA	Terminal Line Amplifier
TTE	Terminal Transmission Equipment
UJ	Universal Jointing
UQJ	Universal Quick Joint
WTE	Wavelength Termination Equipment

INTRODUCCIÓN

El problema general planteado en la presente tesis, se sustenta en el incremento constante a partir de la década de los 80 del siglo pasado, de la demanda del ancho de banda por el uso de Internet, así como, las informaciones y comunicaciones internacionales privadas de la industria de las Telecomunicaciones, acorde con los avances de las Tecnologías de información y comunicación (TICs).

El incremento de la demanda del índice de banda, ha ocasionado que las redes basadas en Satélites colapsen, debido a que esta tecnología no podía brindar la tecnología (ancho de banda) que se necesitaba, razón por el cual, se inicio el uso cada vez con mayor auge de las redes por cable submarino aumentando considerablemente, hasta que el día de hoy la gran mayoría de las comunicaciones internacionales se hacen a través de este medio y las restantes mediante satélite.

Los cables submarinos en las telecomunicaciones, tienen la misión de unir los continentes entre sí a través de los océanos. Todo mensaje por correo electrónico llega al instante, porque el correo ha cruzado los océanos a gran velocidad por las fibras de cable de fibra óptica que conectan los continentes.

Sin embargo, el uso de este medio de transmisión tiende a ser vulnerable por el medio ambiente, los daños físicos y el uso inadecuado que se le brinde. Los cables son el punto frágil de la cadena de transmisión de datos y suelen romperse con más frecuencia de la deseada. En la mayoría de casos, un ancla que se arrastra por el lecho marino o un simple barco pesquero puede romperlo y dejar muy limitados los servicios de internet y teléfono a varios países de la zona; esto amerita establecer procedimientos y recomendaciones efectivos para una correcta Operación y Mantenimiento de una red de Cable Submarino, sean preventivos y correctivos, con la finalidad de garantizar su normal funcionamiento.

La presente Tesis tiene como objetivo establecer procedimientos y recomendaciones para la Operación de una red de Cable Submarino orientado principalmente a la optimización de la provisión de los servicios que ofrece la red a los clientes; así mismo, implantar sugerencias para el mantenimiento preventivo y correctivo de este tipo de redes, que por sus características requieren de un alto rendimiento y eficiencia en los servicios prestados.

En el contenido de la tesis, el primer capítulo comprende los aspectos tecnológicos de la red de cable submarino, indicando la definición de las Redes Submarinas de Fibra Óptica y, su confiabilidad e importancia; así como también explicando las redes submarinas y las tecnologías que se encuentran implementadas sobre esta red, como en un principio SDH y la migración actual a DWDM. El segundo capítulo contiene el Sistema de Cable Submarino en el Perú; donde se hace una explicación de los elementos del sistema como la topología de la red regional, la estación terminal y los cables submarinos en actual operación. El tercer capítulo presenta la operación y mantenimiento de la red de cable submarino, donde se desarrolla las recomendaciones de mantenimiento preventivo y correctivo que se debe realizar; así como la operación de la red para prevenir y detectar daños en el sistema de manera rápida y eficiente. Por último, se considera las conclusiones, recomendaciones, bibliografías y anexos.

CAPÍTULO I

ASPECTOS TECNOLÓGICOS

1.1. Definición de la Red submarina de fibra óptica

Una red submarina de fibra óptica está compuesta de enlaces realizados con cables de fibra óptica, formando anillos que permiten unir ciudades dentro de un continente y con otras ubicadas en otros continentes. Normalmente la conectividad global mundial se consigue a través de la interconexión de anillos de menor envergadura.

Un enlace submarino de fibra óptica se compone de dos grandes partes:

La Planta húmeda está compuesta por elementos ubicados bajo el mar, que son principalmente el cable que transporta las señales luminosas de información de una estación a otra, los repetidores que permiten amplificar la señal luminosa a medida que se desgasta y las unidades de derivación, que posibilitan integrar estaciones secundarias a la troncal sin arriesgar la confiabilidad del sistema.

La Planta Seca esta compuesta por los componentes que permiten transmitir, recibir y controlar las comunicaciones que se envían a través de los segmentos de enlaces submarinos. Estos componentes son el Equipo terminal de línea para transmitir y recibir la información, el equipo de generador de potencia para alimentar con corriente eléctrica a los repetidores, el cable terrestre para unir la Estación de tierra con el Cable submarino y el Cable de tierra que permite cerrar el circuito eléctrico a través del mar.

1.2. Confiabilidad de las redes submarinas de fibra óptica

En la actualidad existe una gran conectividad mundial a través de cables submarinos formando anillos, las redes submarinas de fibra óptica cuentan normalmente con protecciones en caso de falla de equipos o corte de un cable; sin embargo debido a la gran cantidad de información que transportan

se hace vital restablecer lo antes posible el equipo o cable dañado, dado que mientras no haya sido solucionada la falla el sistema permanecerá sin respaldo, produciéndose una crisis de proporciones en caso de producirse una nueva falla en otro lugar del anillo.

Para cumplir con el propósito anterior las estaciones de cable submarino se conectan utilizando un anillo de principal y uno de respaldo. En caso normal, sin falla, el tráfico prioritario es llevado por el anillo de trabajo, mientras que por el anillo de protección se lleva tráfico de baja prioridad. En caso de falla, existirá una conmutación de segmento (sólo entre dos estaciones y por falla de equipos), o conmutación de anillo, que implica una re-configuración total del anillo en. Cuando se realiza una conmutación que utiliza el anillo de protección, el tráfico no prioritario se pierde.

Gracias a la cantidad de anillos disponibles, la flexibilidad y confiabilidad del sistema crece enormemente, facilitando además el mantenimiento preventivo y correctivo.

Es interesante destacar que para fines de mantenimiento preventivo y correctivo es necesario realizar mediciones y enviar órdenes a los repetidores que están bajo el mar. Dentro de los métodos que existen para la localización de fallas (cortes de fibra, etc.) están los ópticos y eléctricos; donde los ópticos son más exactos. Ambos serán descritos más adelante.

1.3. Importancia de las redes submarinas de fibra óptica

Según diversos expertos en la materia, la mayor importancia de las redes de cable submarino de fibras ópticas es la reducción del costo de las comunicaciones de larga distancia, que se deriva de las siguientes causas principales:

- La extraordinaria capacidad que presenta la tecnología permite abaratar los costos por circuito.

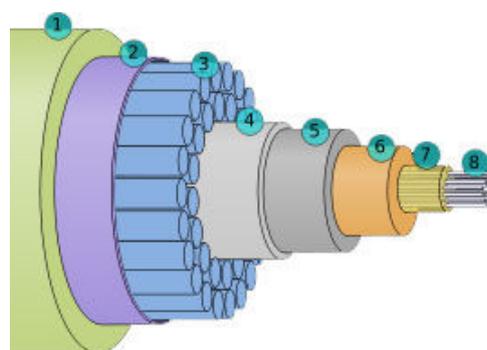
- La gran oferta de capacidad ofrecida en la actualidad debido a las cuantiosas inversiones realizadas.
- La existencia de alta competencia entre las empresas explotadoras de las redes de cable submarino.

La importancia global de las redes submarinas de fibra óptica es que permiten crear, junto a las redes terrestres de fibra óptica una poderosa columna vertebral que enruta las señales de telecomunicación, sin que se produzcan cuellos de botella ni degradación de la calidad de la transmisión. En este sentido cabe destacar:

- Todas las señales de larga distancia intercontinentales desembocan ineludiblemente en la columna vertebral que forman las redes submarinas y terrestres de fibra óptica.
- Dada la estructura en base de anillos auto-reestructurales de las redes submarinas de fibra óptica, siempre existirá un camino para que la información llegue a su destino y con alta calidad.

1.4. Cable submarino

Un cable submarino está dividido en varias capas pensadas especialmente para dotarlo de flexibilidad y resistencia. Estas capas son, de fuera hacia dentro:



- | | |
|--|--|
| 1. Polietileno. | 5. Policarbonato. |
| 2. Cinta 'Mylar'. | 6. Tubo de cobre o de aluminio. |
| 3. Viales de acero flexible. | 7. Vaselina. |
| 4. Aluminio para aislar del agua salada. | 8. Fibras ópticas, que transmiten los datos. |

Figura 1-1: Elementos del cable submarino
Fuente: [Tyco Telecommunications]

Los cables son el punto frágil de la cadena de transmisión de datos y suelen romperse con más frecuencia de la deseada. Muchas veces, un ancla que se arrastra por el lecho marino o un simple barco pesquero puede romperlo y dejar muy limitados los servicios de Internet y teléfono a varios países de la zona.

Por otro lado, se debe indicar que los grandes cables submarino en las telecomunicaciones, tienen la misión de unir los continentes entre si a través de los océanos. Se calcula que aproximadamente el 90 % del tráfico de internet se transporta a través de los cables submarinos y el 10 % restante mediante satélite. El problema de los satélites frente al cable es que la latencia es más alta, además de tener una capacidad de transmitir datos menores a un costo significativamente mayor. Aún así, las comunicaciones por satélite son la mejor solución para algunos países en vías de desarrollo, donde apenas existe infraestructura terrestre.

Si se quiere realizar un diseño de una red de Cable Submarino, las consideraciones técnicas y normativas a tomarse en cuenta son: la estabilidad bajo carga y presión, protección de efectos del medio ambiente como el hidrógeno, escoger un tipo adecuado de fibra óptica (la forma estructural) y que la armadura sea la más adecuada para una ruta específica de la instalación. El cable debe soportar tanto la rigurosidad de la instalación como las condiciones ambientales en el fondo del mar. La instalación en mediana o gran profundidad ocasiona tensión y torsión en la estructura del cable.

Los tipos de fibra usados para la transmisión submarina, son optimizados para tener una mínima atenuación sobre la banda C (1530 – 1570 nm) con dispersiones características que dependan de la aplicación.

Es conocido que las fibras ópticas basadas en silicona son sensibles ante la presencia del hidrogeno. El hidrogeno puede entrar dentro de la fibra, filtrando la estructura de la fibra o formando grupos de hidróxidos y ocasionando defectos. Todo esto incrementa considerablemente la atenuación en la fibra y requiere que el cable sea reemplazado. La corrosión Galvánica de la armadura externa, la degradación del polímero, degradación de la estructura

interna y la actividad biológica, pueden todos jugar en ser parte de las condiciones adversas que están expuestos los cables submarinos. Todos los cables submarinos de telecomunicaciones, son diseñados empleando métodos de protección frente a las diferentes presiones que se tiene en el medio. La técnica empleada en las diferentes implementaciones exitosas, es la provisión de una barrera hermética fabricada por la formación y la soldadura autógena de una cinta metálica, dentro un tubo que rodea al paquete de la fibra.

Existen diferentes tipos de cables para la implementación de una red de cable submarino, los cuales son definidos en el anexo “Tipo de Cables para la Implementación de una Red de Cable Submarino”.

En la actualidad hay más de 130 redes de cables submarinos en todo el mundo, de los cuales en nuestra región existen tres cables submarinos que rodean al continente (operan en nuestro país), esto son:

- Cable Submarino Panamericano.
- Cable Submarino SAm-1.
- Cable submarino SAC.

1.5. Tecnología SDH

Estándar SDH

El estándar SDH original definido para el transporte de 1.5/2/6/34/45/140 Mbps con una tasa de transmisión de 155.52 Mbps, es desarrollado para llevar otros tipos de tráfico, como ATM (Asynchronous Transfer Mode), MPLS y protocolo Internet (IP) con tasas que son múltiples enteros de 155.52 Mbps. La unidad básica de transmisión en SONET es de 51.84 Mbps, con la finalidad de llevar 140 Mbps. A través de una apropiada elección de opciones, un subconjunto de SDH es compatible con un subconjunto de SONET; por lo tanto, el tráfico entre ambos estándares es posible. Aunque SONET y SDH fueron concebidos originalmente para transmisión de por fibra óptica, los

sistemas de radio SDH existen a tasas compatibles con los de SONET y SDH.

Características y gestión de SDH

- Interfaces de tráfico

SDH define interfaces de tráfico que son independientes de los operadores. A 155 Mbps son definidos tanto para interfaces ópticas como para interfaces de cobre, siendo mayores tasas solo para las interfaces ópticas. Estas tasas altas son definidas como múltiplos enteros de 155.52 Mbps en una secuencia de $nx4$, por ejemplo 622.08 Mbps y 2488.32 Mbps (2.5 Gbps). Pudiendo a llegar a multiplexar tasas de hasta 10 Gbps.

- Capas SDH

En el proceso de multiplexación, las cargas útiles son puestas en orden ascendente en la trama, incluyendo un rango de las funciones de la cabecera para la gestión y monitoreo de errores.

- Función de gestión

Soporta un rango de operaciones, SDH incluye una capa de gestión cuya comunicación es transportada en canales (time slots) de comunicación de datos dedicada (DCC, Data Communications Channel) dentro de las interfaces de tasa de bits.

Aplicaciones en redes genéricas

- Evolución

La necesidad de reducir los costos de operación de las redes y el incremento de ingresos, fueron ejes para la aparición de SDH. Mejorando la gestión de operación de las redes y añadiendo equipos fiables.

- Operaciones

Gestionando la capacidad de las redes implica la operación de los siguientes puntos:

- a. Protección, para la recuperación de los circuitos en milisegundos.
- b. Restauración, para la recuperación de los circuitos en segundos o minutos.
- c. Provisión, para la localización de capacidades para rutas preferidas.
- d. Consolidación o canalización de tráfico de portadores sin cubrir en pequeños portadores, con la finalidad de reducir la capacidad de tráfico desperdiciado. (Ver figura 1-2)
- e. Clasificación de los diferentes tipos de tráfico de las cargas útiles en destinos separados para cada tipo de tráfico. (Ver figura 1-2)

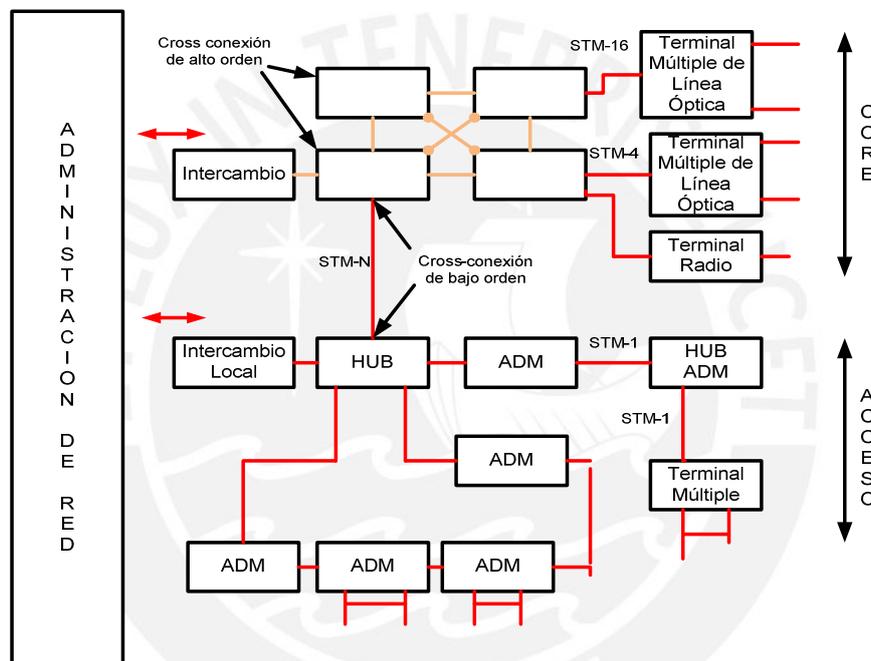


Figura 1-2: Consolidación y Clasificación de tráfico de portadores
 Fuente: [Elaboración propia]

Todas estas funciones fueron disponibles en las redes conmutadas a través del uso de conmutadores flexibles, para los circuitos privados y servicios basados en teléfonos públicos, más de tres veces 64Kbps (tasa para la voz). Dentro de la transmisión en redes de banda ancha, sin embargo algunos niveles fueron instalados totalmente por cables en MDF (Main Distribuion Frame) a través de la red. Esto no es satisfactorio para cambios frecuentes en una red.

Aplicaciones en redes genéricas: Equipos y usos

SDH fue diseñado para permitir flexibilidad en la creación de productos para el enrutamiento del tráfico. Los productos ventajosos son:

- Sistemas óptico lineal
- Sistemas radio-relay
- Terminales multiplexores
- ADM (Add/Drop Multiplexers)
- Concentradores Multiplexores
- Cross-conexiones digitales conmutadas

Una red genérica utiliza los productos mencionados. Esto, se puede apreciar en la figura 1-3:

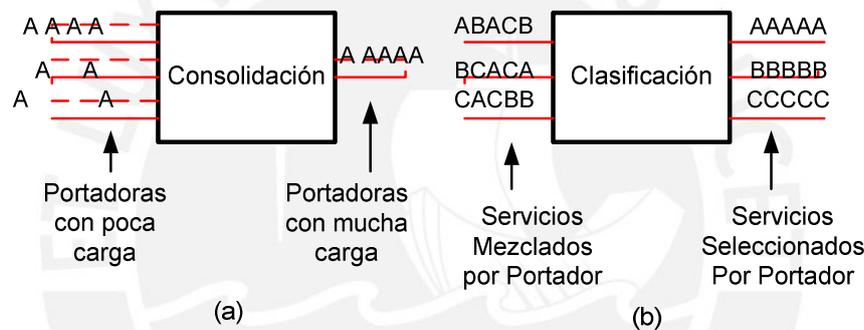


Figura 1-3: Aplicaciones de redes SDH
Fuente: [Elaboración propia]

Los sistemas óptico lineales y los sistemas radio-relay de menor medida proporcionan la transmisión (backbone portador para la red SDH) de datos. Terminales multiplexores proporcionan acceso a la red SDH para varios tipos de tráfico, usando interfaces comunes como 2 Mbps G.703 o formas orientadas a datos como FDDI (Fiber Distributed Data Interface) dirigidas a un router o bridge apropiado.

ADM ofrece las mismas facilidades que los terminales multiplexores, pero también pueden dar acceso a una porción de tráfico pasando a lo largo de un portador. La mayoría de diseños de ADM son adecuados para incorporarse a topologías tipo anillo, proporcionando mayor flexibilidad en áreas rurales y urbanas (la distancia entre ADMs es típicamente 60 Km). Los ADMs en las

topologías tipo anillo, emplean enrutamiento alternativo para maximizar la disponibilidad al superar los cortes de fibra y problemas de los equipos. Un grupo de ADMs como en una topología tipo anillo, puede ser gestionado como una entidad para la gestión de ancho de banda distribuida. La función de enrutamiento de un ADM es mostrado en la figura 1-4.

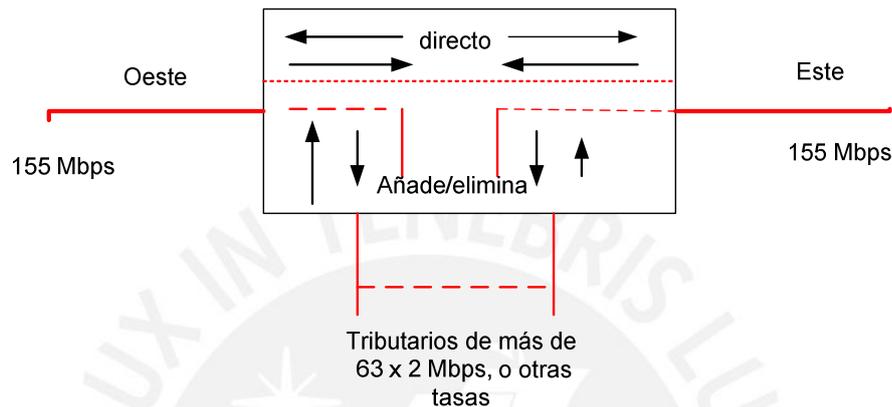


Figura 1-4: Enrutamiento en un ADM
Fuente: [Elaboración propia]

Diseño de redes

- Topología de la red

La flexibilidad del sistema SDH puede ser usado como la mejor ventaja introduciendo una nueva topología. Tradicionalmente las redes hacen uso de mesh y concentradores (por ejemplo estrella); sin embargo, SDH con la ayuda de los DXCs y los Concentradores Multiplexores permiten ser usados en elecciones mucho más entendibles. SDH también permite ser combinado con topologías anillo y cadenas de ADMs, para mejorar la flexibilidad y fiabilidad del núcleo y, las áreas de acceso de una red.

Soporte en diferentes tasas de velocidad

Altos niveles de jerarquía sincronizada son formados por la intercalación de bytes en la carga útil de un número N de señales STM-1, así añadiendo una cabecera de transporte de tamaño N veces un STM-1 y llenándolo con nueva data administrativa y punteros de valor.

Los STMs son creados desde un STM-1 a 155.52 Mbps multiplicado por un entero múltiplo de cuatro; los cuales nos brindan altas velocidades de transmisión. Por ejemplo el STM-16 a 2,488.32 Mbps puede llevar 16 x AU-4. Por lo tanto, STM-N es el término genérico para altas tasas de transmisión.

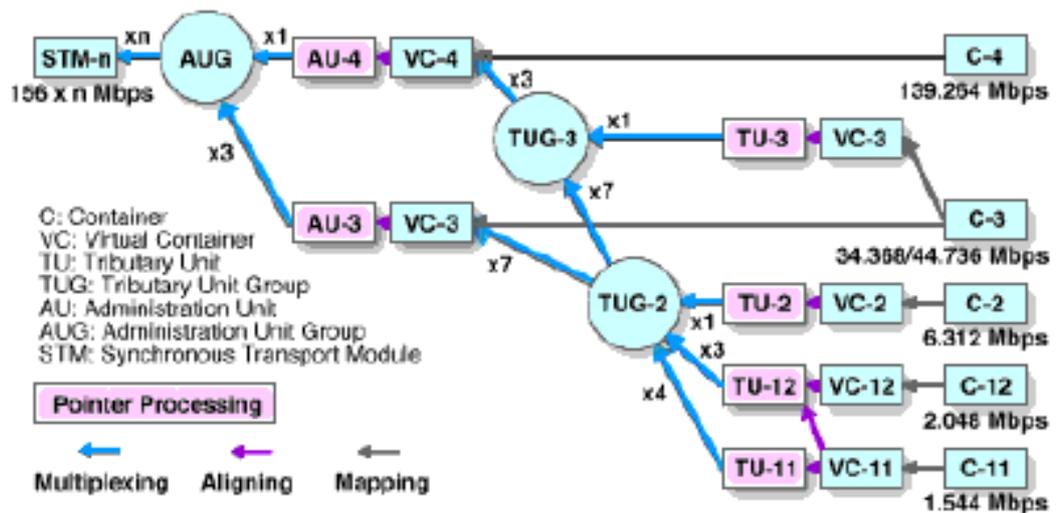


Figura 1-5: Estructura de la multiplexación ITU-TS
Fuente: [The International Engineering Consortium]

Antes de la transmisión la señal STM-N tiene que ser codificada seleccionando aleatoriamente la secuencia de bits para mejorar el rendimiento de la transmisión. (Ver figura 1-5).

1.6. Tecnología DWDM

DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) es una técnica de transmisión por fibra óptica empleado para transmitir datos de manera eficiente. Además, es necesario mencionar la importancia del sistema escalable DWDM, por cuanto permite brindar el servicio dependiendo de las necesidades de uso de ancho de banda del cliente. DWDM es un componente crucial en las redes ópticas que permiten la transmisión de video, correo, multimedia, datos y voz.

El uso de DWDM permite brindar diferentes servicios como correo, video y video sobre IP (Internet Protocol) datos sobre ATM (Asynchronous Transfer Mode) y portadoras de voz sobre SONET/SDH. A pesar de que estos formatos (IP, ATM y SONET/SDH) proporcionan una única gestión de ancho de banda, estos tres formatos pueden ser transportados sobre la capa óptica usando DWDM. Esta única capacidad permite proporcionar un servicio flexible en respuesta a las demandas de ancho de banda por los clientes.

En las soluciones a este problema se tienen las siguientes propuestas, que son:

- Instalación de nuevas fibras

Una primera elección para dar solución a la saturación de la fibra es instalar más fibras y las redes, donde los costos de instalación de nuevas fibras serían mínimos, la solución sería la más económica. Sin embargo, la instalación de nuevas fibras no necesariamente dispondrá al proveedor brindar nuevos servicios o utilizar el ancho de banda de manera eficiente.

- Incremento de bits usando TDM

La segunda elección es aumentar la tasa de bits usando TDM (Time Division Multiplexing), donde TDM aumentará la capacidad de una fibra en pequeños intervalos de tiempo, entonces más bits (datos) pueden ser transmitidos por segundo. Tradicionalmente, este ha sido el método más usado (DS-1, DS-2, DS-3, etc.). Pero, se tiene que comprar más capacidad que sus necesidades iniciales. Basado en jerarquía SONET/SDH, el siguiente paso de incremento de 10 Gbps a 40 Gbps, es un salto que muchos creen no sería posible para la tecnología TDM en un futuro cercano.

- Incremento de la capacidad de extensión y flexibilidad

La tercera elección para proporcionar el servicio es DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), que incrementa la capacidad de la fibra existente porque las señales que llegan no son terminadas en la capa óptica; con lo cual la interface puede tener tasa de bits y formatos independientes, permitiendo al proveedor del servicio la integración de la tecnología DWDM fácilmente con los equipos existentes en una red.

DWDM combina múltiples señales ópticas que pueden ser amplificadas como un grupo o transportadas sobre una fibra única para incrementar la capacidad (Ver figura 1-6). Cada señal portada puede tener diferentes tasas de velocidad (OC-3, 12, 24, etc.) y en un formato diferente (SONET, ATM, MPLS, datos, etc.). Un sistema con una infraestructura DWDM puede lograr todo esto gratamente mientras el mantenimiento del sistema mantiene el rendimiento, confiabilidad, y robustez como el actual sistema de transporte o incluso superarlo.

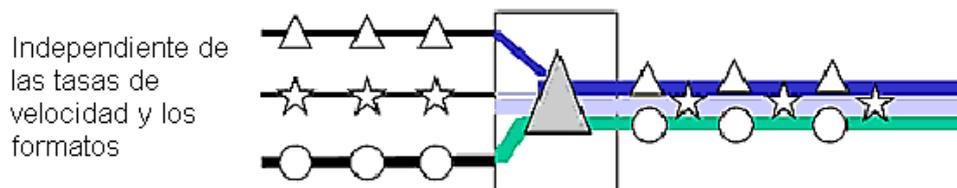


Figura 1-6: Capacidad incrementada de la red – WDM
 Fuente: [The International Engineering Consortium]

La tecnología que permite esta alta velocidad es el amplificador óptico. El amplificador óptico opera en una banda de frecuencia específica y son optimizados para operar con la actual fibra existente, haciendo posible enviar señales de onda de luz y así extender sus llegadas sin convertirlas de nuevo en forma eléctrica. Una red usando varios amplificadores podría fácilmente enviar un terabit de información o más.

Se considera que una fibra puede ser una autopista con múltiples vías, porque tradicionalmente los sistemas TDM usan una línea de esta autopista y aumentan la capacidad para el movimiento rápido en los carriles. En las redes ópticas, utilizando DWDM es análogo para acceder a los carriles no usadas en la autopista (incrementando el número de las longitudes de onda en la fibra existentes) para ganar el acceso a una cantidad increíble de capacidad sin explotar en la fibra (carriles libres). Un beneficio adicional de la red óptica es que la autopista es indiferente a los tipos de tráfico que viajan. En consecuencia, los vehículos en la autopista pueden llevar paquetes ATM, MPLS, SONET, SDH e IP.

Potencia en la capacidad de expansión

Con DWDM, los proveedores de servicios pueden establecer una infraestructura adecuada, para crecer a medida que se requiera y, que les permita añadir la actual y futura generación de sistemas TDM, a fin de que virtualmente no deje de terminar la capacidad de expansión. Los sistemas DWDM también proporcionan a los proveedores de servicios, flexibilidad para expandir la capacidad en cualquier porción de la red, constituyéndose en una ventaja que no ofrece otras tecnologías. Los operadores pueden encontrar los problemas, en específicas áreas que son congestionadas por la alta demanda de capacidad. Esto es especialmente útil en una red que tenga múltiples anillos intersecados entre dos nodos, resultados de una fibra colapsada.

Comparado con las aplicaciones basadas en repetidores, una infraestructura DWDM también aumenta la distancia entre los elementos de red y es un gran beneficio para largas distancias, reduciendo la inversión inicial significativamente. El amplificador de fibra óptica de un sistema DWDM, permite al proveedor del servicio ahorrar costos, amplificando las señales ópticas sin convertirlas en señales eléctricas. Además, DWDM permite al proveedor de servicios amplificar el rango de longitudes de onda pertenecientes a la región 1.55um. Por ejemplo, con un sistema DWDM multiplexado para más de 16 longitudes de onda en una fibra, las portadoras pueden disminuir el número de amplificadores por un factor de 16 en cada lugar del regenerador. Usando menos regeneradores en largas distancias, los resultados son menos interrupciones y mejor eficiencia.

Capa óptica como la capa unificadora

Dentro de la enorme capacidad conseguida a través de las redes ópticas, la capa óptica proporciona un único significado, para la integración de portadoras de las diversas tecnologías existentes en las redes en una sola infraestructura física. Los sistemas DWDM pueden aceptar cualquier combinación de tasas (síncrono, asíncrono, OC-3, -12, -48 o -192) en la misma fibra en el mismo instante, así como los formatos.

Considerar que si un operador opera redes ATM y SDH, las señales ATM no tienen que estar mucho más multiplexadas que la tasa SONET que se tiene para ser portados en la red DWDM. Porque las señales en la capa óptica son portadas sin ninguna multiplexación adicional, así las portadoras pueden añadir rápidamente ATM o IP. Un beneficio importante de las redes ópticas es que permite cualquier tipo de carga para ser llevado en la autopista (fibra).

Ventajas del sistema DWDM

- El sistema hace re-uso del equipamiento existente y del sistema de fibra existente.

Los sistemas a 2.5 Gbps deben usar su capacidad total en los equipos existentes sin alterar su funcionalidad correcta.

- El sistema es robusto y confiable.

Los sistemas DWDM bien diseñados ofrecen componentes confiables, sistemas disponibles.

- No requiere de la intervención manual cuando se añade o retira canales.
- El sistema hace uso de fluoruro – o sílice – en los amplificadores de fibra.

En el rango de 1530 nm a 1565 nm, la sílice en los amplificadores ópticos produce un buen rendimiento.

- El número de sistemas de longitudes de onda y la tasa de bits pueden ser aumentados.
- El sistema ofrece estándares compatibles con el mantenimiento de las interfaces.

La interpretación de los diferentes estándares, es decir compatibles son permitidos en los sistemas DWDM. Las interfaces deben adaptarse fácilmente dentro del esquema de mantenimiento de un proveedor de servicios típico.

CAPÍTULO II

SISTEMA DE CABLE SUBMARINO EN EL PERÚ

2.1. Topología de la red regional

La topología es el método que se usa para comunicarse con los demás nodos; es decir, la ruta que toman los datos de la red entre los diferentes nodos. Para esto en los sistemas de telecomunicaciones basados en cables submarinos, existen diversas topologías tanto a nivel físico como a nivel lógico y pese a que la topología lógica dependa de una infraestructura física organizada, la organización lógica no está definida por la topología física, por el contrario, esta 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 de anillo o anillo colapsado puede brindar lo mismo que hace una red en topología de maya.

Topologías comunes

- Festoon

Consiste en un tendido de cable con múltiples puntos de llegada a lo largo de la costa formando una guirnalda. 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.

El sistema de cables submarinos que hace uso de este cable en nuestra región (Sudamérica) es el Cable Submarino Panamericano, ya que forma una guirnalda a lo largo de las costas del Pacífico y del Atlántico; estos a su vez mediante ADMs se extienden cables a los países como el caso de Colombia. Además, se agregan los cables ópticos terrestres para una mejor eficiencia.

- Anillo

Cada nodo cuenta con dos conexiones, que lo comunican con sus análogos inmediatos más cercanos a ambos lados, pretende un sistema que brinde redundancia a cada nodo, de esta manera si por alguna razón se presenta alguna falla física, el tráfico podrá ser dirigido a través del segmento que se encuentre operando y es entonces, casi imposible que se presente una ruptura en el flujo de información.

Sin embargo la red al no presentar respaldo, en un enlace backup, se crea una topología alternativa que corrige estos problemas; siendo la topología de anillo doble, el cual consta de dos anillos concéntricos, donde cada nodo de la red esta conectado a ambos anillos, aunque los dos anillos no están conectados directamente entre sí. La diferencia con la topología de anillo es que para incrementar su confiabilidad y flexibilidad de la red, hay un segundo anillo redundante que conecta los mismos dispositivos. La topología de anillo doble actúa como si fueran dos anillos independientes, de los cuales se usa solo uno por vez quedando el segundo como respaldo.

En nuestra región hay dos cables submarinos que hacen uso de este tipo de topología (anillo doble) que son Sam-1 del Grupo Telefónica y el SAC de Global Crossing; ya que en sus redes existen dos tipos de protección que son: la protección de segmento (Span Switching) que en caso de fallo en un par de fibras conmuta al par de protección por medio del HERS (Hed-End Ring Switching) que proporcionan los ADM (norma ITU G.841) – ver figura 2-1 - y la protección en anillo actúa en caso de corte de cable. Haciendo uso de la protección de anillo estándar MS-Spring (Multiple Section Shared Protection Ring); esto facilita al reducir los tiempos en la conmutación y el riesgo en largos retardos de propagación durante el corte al encaminar el tráfico por el camino más corto posible. (Ver figura 2-2)

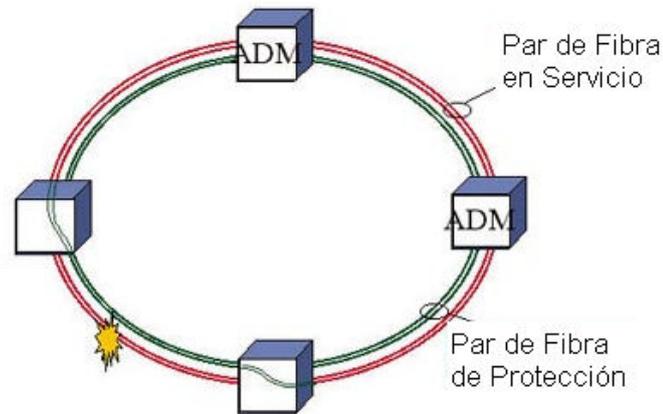


Figura 2-1: Segmento de Protección (Span Switching) – Protección del tráfico ante una falla en el cable.

Fuente: [Cisco System, Academia de Networking de Cisco System]

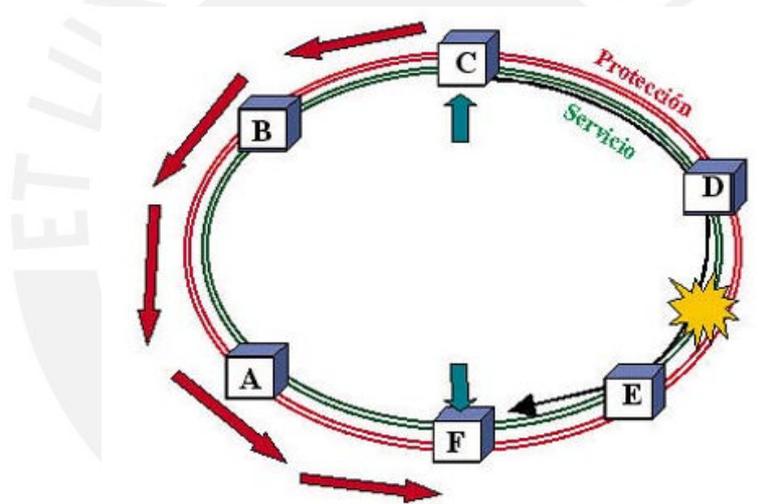


Figura 2-2: Topología anillo doble y Conmutación transoceánica. Protección del tráfico ante una falla en la fibra.

Fuente: [Cisco System, Academia de Networking de Cisco System]

2.2. Estación Terminal

2.2.1. Estación Terminal (LTE) en una de Red Cable Submarino

La función principal de un LTE es controlar el tráfico del cliente de una red de cable submarino.

La siguiente figura es un diagrama de los componentes usados en la mayoría de redes de cables submarinos:

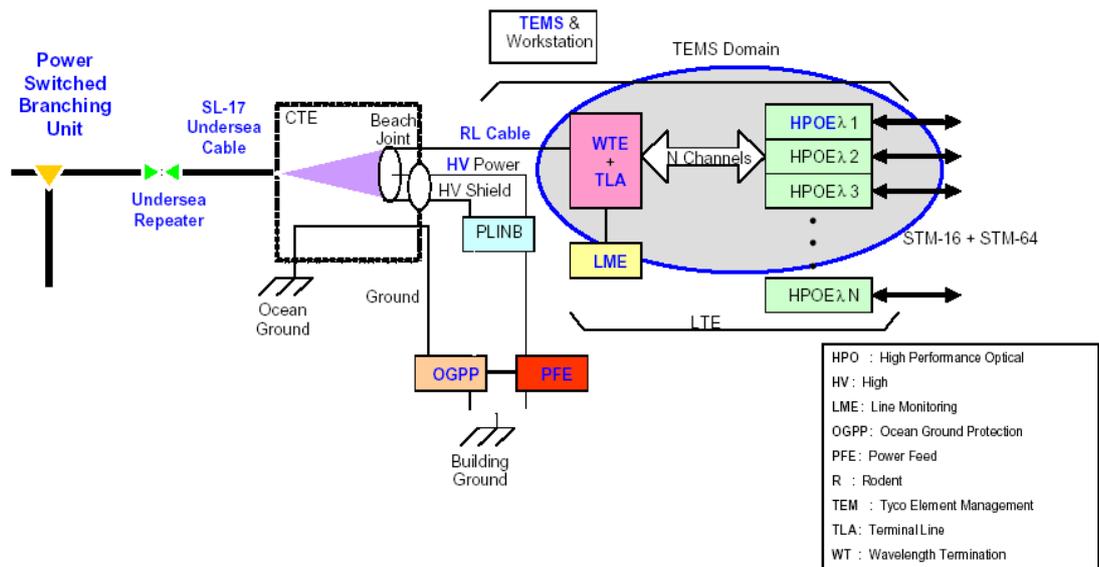


Figura 2-3: Componentes de una red de cable submarino
Fuente: [Tyco Telecommunications]

Otro sistema variante, podría incluir sustituyendo el Panel de Protección de Tierra en el Océano (OGPP, Ocean Ground Protection Panel) con un diferente elemento llamado Equipo de Cable Terminal (CTE, Cable Terminating Equipment). El OGPP es instalado en un sistema usando PFE, que requiere el uso de un Protector de Tierra en el Océano cercano a la playa; mientras el CTE, que es usado solo en un sistema anti-potencia (no hay repetidores submarinos) requiere una Protección de Tierra en la estación para propósitos de pruebas en el cable.

Todo LTE es equipado con pre-énfasis dinámico. Esto es básicamente un ajuste en la potencia óptica donde cada canal individual tiene la mejor calidad de servicio. Es decir, ajusta el nivel de potencia óptica para proporcionar la mejor calidad de transmisión con la menor potencia óptica posible.

Otra función proporcionada por el LTE es la multiplexación y demultiplexación de la línea de onda (proceso llamado también coupling/splitting).

Un importante Elemento de Red (NE) en el LTE es el Amplificador de Línea Terminal (TLA, Terminal Line Amplifier) proporcionando pre y post amplificación según sea el caso.

Todo HPOE siempre incluye transmisión y recepción (Tx/Rx) automático. Esto significa que, el HPOE constantemente será ajustado para proporcionar buen

rendimiento en la transmisión. Estos ajustes son ejecutados automáticamente o pueden ser inicializados manualmente.

Dependiendo en la generación del HPOE, un tipo diferente de modulación de código de línea es usado; la Generación 1 y Generación 2 usan CRZ (Chirped Return to Zero) y la Generación 3 usa DPSK (Differential Phase Shift Keying).

2.2.2. Características del LTE

- Alto rendimiento de los equipos
 - Alto rendimiento, todos los equipos en la red de cable submarino requieren un buen FEC (Forward Error Correction).
 - Alta precisión en la transmisión de la longitud de onda (laser) es necesario en conjunto, con un preciso control de la longitud de onda si los espacios entre los canales son muy pequeños.
 - Es necesario tener alta estabilidad en los transmisores y receptores, para poder brindar un control preciso en la longitud de onda. Uno de los más importantes parámetros es el TEC (Thermoelectric Coolant Current), para poder tener exactitud en el ajuste y control del laser que modula. Esto significa que la temperatura se va a definir por el comportamiento del laser. Los cambios de temperatura pueden afectar la longitud de onda o el color de laser. Para esto el TEC puede estar monitoreado por el Sistema de Gestión (TEMS, TE Management System) y el CIT (Craft Interface Terminal).

- Confiabilidad y mantenimiento del sistema
 - Alta disponibilidad de la arquitectura. Algunos componentes del LTE, como el TLA, son siempre redundantes. Pero el HPOE no siempre es redundante a menos que sea incluido en el diseño del sistema.
 - Ajuste automático para tener una transmisión optimizada.

- Monitoreo de las líneas submarinas (cable submarino y los equipos pasivos y activos submarinos) para los sistemas con amplificadores ópticos terrestres.
- Sobresaturación reducida de la estación
 - Comprimido para reducir el tamaño de los equipos. Esto limita la cantidad de espacio y consumo de potencia. Menor consumo de potencia por canal significa menor cantidad de baterías y menor suministro por parte de los sistemas de potencia; además, menor calor generado en los sistemas. Por lo tanto, el refrigeramiento en la estación del cable será menor.
 - Mejor densidad en los equipos por nodo. Combinando más cantidades de equipos en un nodo se tiene mejor eficiencia en el uso del espacio, que es siempre mejor en criterios de costo por metro cuadrado.

2.2.3. Módulos en el LTE

Los tres componentes básicos en el LTE para la transmisión en una porción de terreno son:

- Equipos ópticos con alto rendimiento (HPOE, High Performance Optical Equipment).
- Equipo de terminación de longitud de onda (WTE).
- Amplificador de línea terminal (TLA).

Estos componentes con generadores de densidad óptica opcionales y su ubicación son representados en la figura 2-4 (no todos los sistemas requieren de todos estos componentes) y figura 2-5.

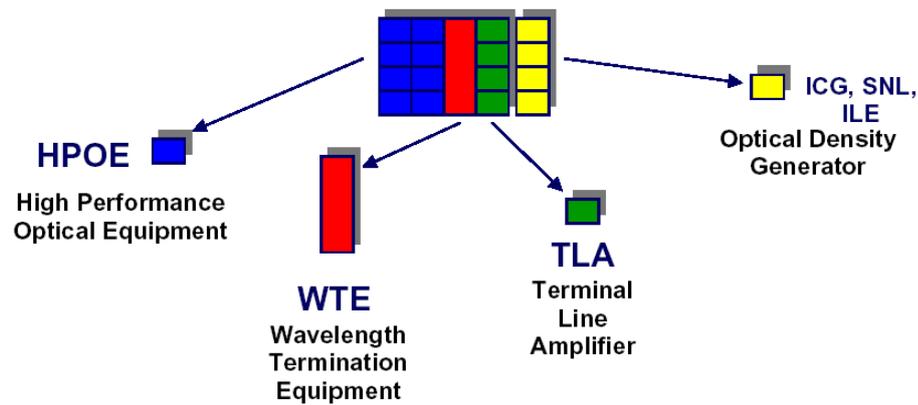


Figura 2-4: Componentes con generadores de densidad óptica.
Fuente: [SAC & Sam-1]

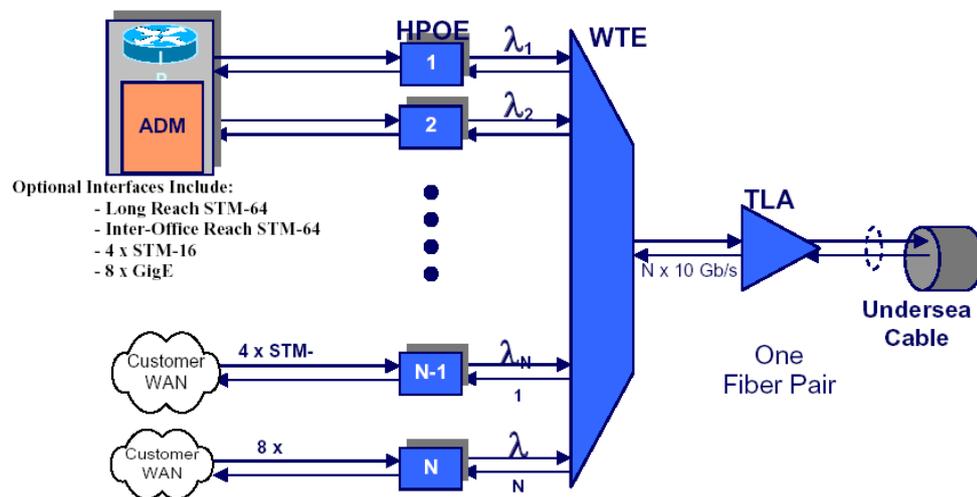


Figura 2-5: Ubicación de los componentes con generadores de densidad óptica
Fuente: [Tyco Telecommunications]

2.2.4. Generadores de Densidad Óptica

En algunos sistemas se inician con un diseño limitado en la cantidad de canales, por lo que no tienen suficiente potencia de densidad óptica. Es necesaria la presencia de un equipo adicional que pueda brindar esta potencia que se requiere, esto es el Generador de Densidad Óptica que es opcional en los sistemas. Este equipo incluye generadores de canales (ICGs, Ider Channel Generators), cargadores simples de ruido (SNLs, Simple Noiser

Loaders) o equipos de cargado inicial (ILE, Initial Loading Equipment). Básicamente, este equipo suma una serie de canales que están vacíos (no transportan ningún tipo de tráfico) con la finalidad de aumentar el espectro óptico y obtener un buen rendimiento en los repetidores submarinos para que aseguren que el sistema óptico es óptimo de extremo a extremo.

Algunos sistemas con una máxima capacidad de 32 canales no pueden necesitar un ILE inclusive si el cargador inicial es de solo 1 o 2 canales (muy poca carga óptica). Un buen rendimiento en la transmisión con muy poca carga óptica puede ser obtenido sin necesidad del uso de un ILE, cuando la distancia es muy pequeña. Por lo que los impedimentos en la transmisión ya no se consideran un asunto importante. Sin embargo, para sistemas con grandes distancias donde es necesario el uso de repetidores submarinos, el uso del ILE es necesario para poder brindar potencia óptica y mantener el rendimiento del sistema.

En la siguiente figura 2-6, se representa los flujos de señales de datos que cursan el LTE:

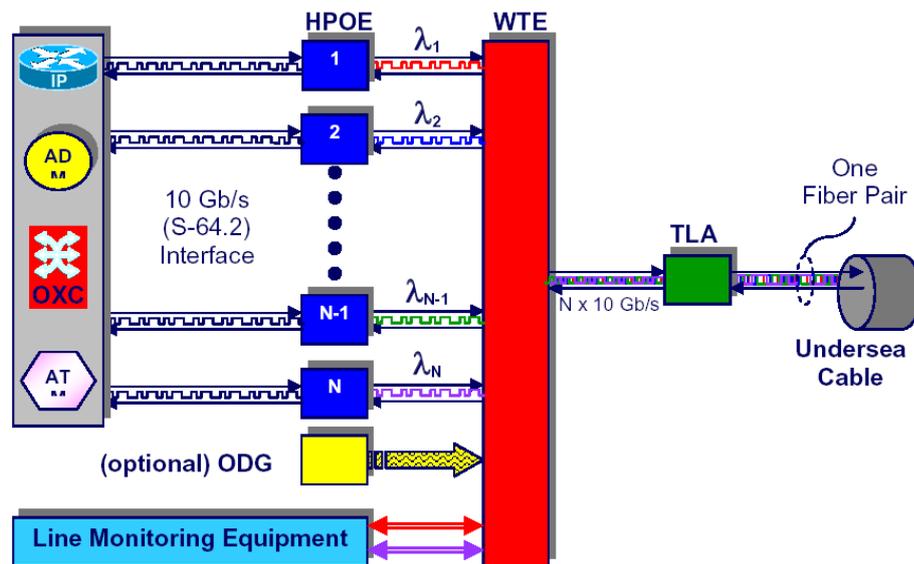


Figura 2-6: Flujos de las señales que pasan a través del LTE.
Fuente: [Tyco Telecommunications]

Los LTE de generación 0, 1 y 2 son diseñados para tener cualquier tipo de tráfico ya sea IP (Internet Protocol), SDH, SONET (Synchronous Optical Network), tráfico proveniente de un multiplexador añade/retira (ADM) o ATM (Asynchronous Transfer Mode).

El LTE de tercera generación no limita las señales STM y soporta diferentes tipos de interfaces. Una vez que la señal este en el HPOE, el transpondedor cambia la longitud de onda de una longitud de onda genérica 1550 nm a una longitud específica requerida por el HPOE.

Las señales generadas por el HPOE son combinadas en el WTE (para la transmisión) o puede ser en un pequeño rack o en todo el nodo, esto dependerá del sistema.

Una vez que todas las longitudes de onda son combinadas en el WTE en un solo par de fibra, la señal compuesta es enviada al TLA para su amplificación. Terminando este proceso es enviado al cable submarino. Dependiendo de la configuración del sistema, no todas las componentes del LTE son necesarias. A medida que la tecnología avanza en las telecomunicaciones aparecen diferentes generaciones de TLE, los cuales son descritos detalladamente en el anexo “Generaciones de los Equipos Terminales (LTE)”.

Así como los LTE evolucionan a través de las generaciones, a la par también la evolución se ve en los Amplificadores de las Estaciones Terminales; los cuales son descritos en el anexo “Amplificadores en las Estaciones Terminales (TLA)”.

2.3. Cables Submarinos en actual Operación

Con la finalidad de proveer soluciones de telecomunicaciones de punta para dar alta calidad en los servicios a los usuarios en el Perú, se crearon diferentes proyectos de Cable Submarino como describiremos cada uno de ellos a continuación.

2.3.1. Cable Submarino Panamericano PANAM

El Proyecto del Cable Submarino “Panamericano” que empezó a operar en noviembre de 1998, consistió en el tendido de un cable submarino de fibra óptica que conecta a 11 puntos que son: Arica en Chile, Lurín en Perú, Punta Carnero en Ecuador, Colón y Panamá en Panamá, Barranquilla en Colombia, Punto Fijo en Venezuela, Baby Beach en Aruba, St.Croix y St.Thomas en las Islas Vírgenes en Estados Unidos. La longitud del cable es de aproximadamente 7.400 kilómetros con una configuración tipo anillo colapsado y utiliza la tecnología SDH (Jerarquía Digital Síncrona), con dos sistemas que brindan una capacidad inicial de 2.5 Gbps y final de 10 Gbps; además una vida útil aproximada de 25 años. Las empresas iniciadoras de este Cable Submarino fueron Telefónica Internacional, Telefónica del Perú, CTC Mundo, MCI, AT&T, Telintar, CANTV, ENTEL Chile, Telecom Colombia, Telecom Italia, Sprint, Setar y ANDINATEL S.A. y PACIFICTEL S.A.

A continuación se puede apreciar un gráfico con los 11 puntos de amarre de este cable en Sudamérica (Figura 2-7) con su respectiva tabla donde figuran los segmentos del cable:



Figura 2-7: Mapa del Sistema de Cable Submarino Panamericano.
Fuente: [OSIPEL]

Segmento	Longitud aproximada (km)	Puntos Extremo 1	Puntos Extremo 2
1	995.92	St. Croix, USA	BU-1
2	224.124	BU-1	Playa Baby, Aruba, Cuba
3	95.386	BU-1	BU-2
4	268.82	BU-2	Playa Baby, Aruba, Cuba
5	422.526	BU-2	BU-3
6	184.972	BU-3	Barranquilla, Colombia
7	585.748	BU-3	Colon, Panamá
8	1483.07	Panamá, Panamá	BU-4
9	138.5	BU-4	Punta Amero, Ecuador
10	1458.241	BU-4	BU-5
11	257.523	BU-5	Lurin, Perú
12	1148.571	BU-5	Arica, Chile

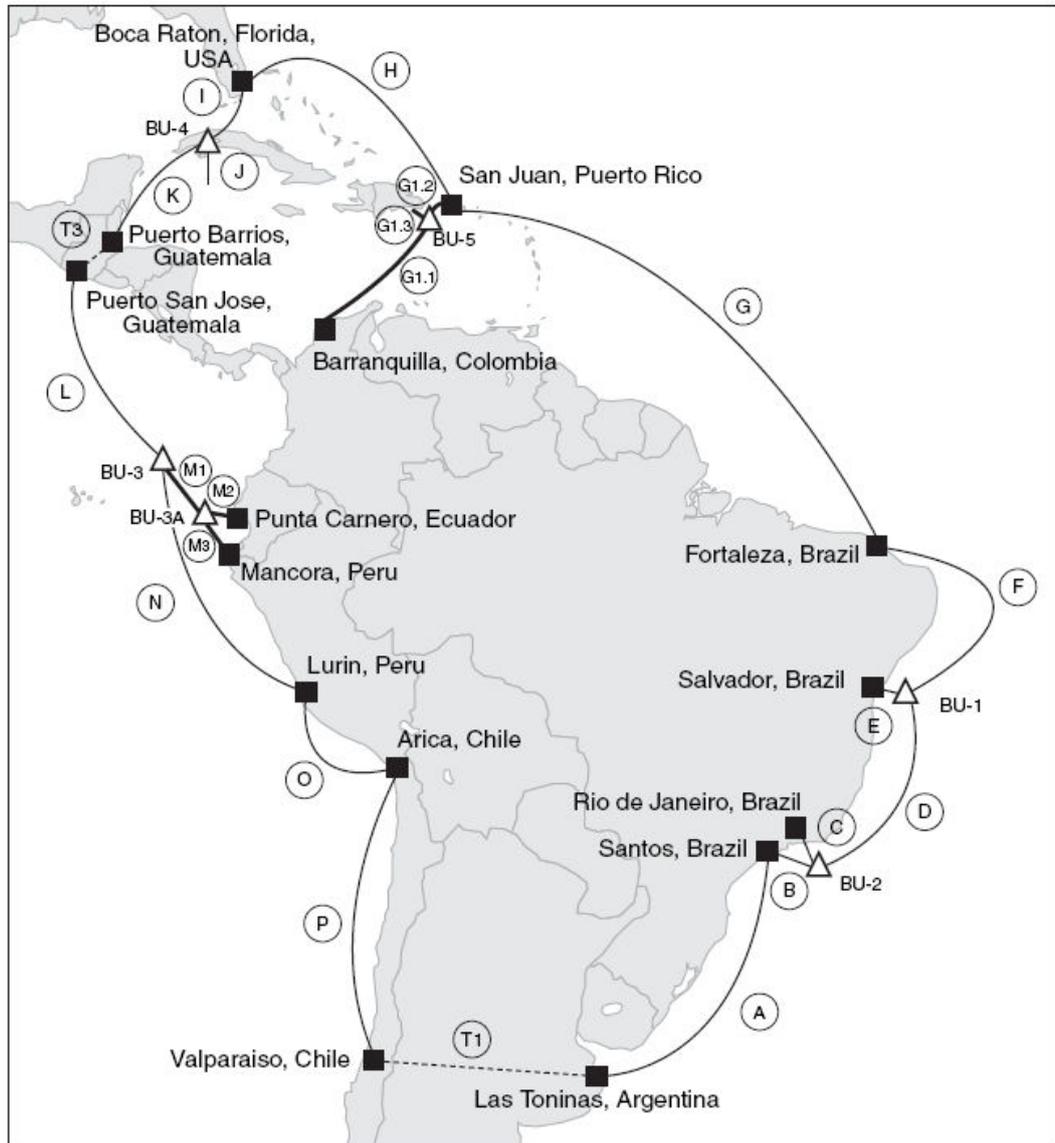
Tabla 2-1: Segmentos del Sistema de Cable Submarino Panamericano
Fuente: [OSIPEL]

2.3.2. Cable Submarino SAm-1

El cable submarino SAm-1 es un sistema de transmisión que conecta América del sur, América Central y Estados Unidos. Este sistema ha sufrido algunas variaciones como la extensión del cable en dos de sus tramos. El cable submarino SAm-1 originalmente tenía 16 segmentos de cable submarinos y 2 terrestres; dos Unidades de Potencia Conmutada de Ramificación (PSBUs, Power Switched Branching Units) instalados en Salvador y Rio de Janeiro (Brasil), además fueron instalados dos PSBUs (BU-3 y BU-4) más para futuro uso. Con una longitud aproximada de 23 000 Km en Sudamérica.

Como parte de las extensiones en el Sam-1, uno de los PSBUs originales (BU-3) es usado para extender el segmento M en Ecuador, a través de un nuevo PSBU pasivo (BU-3A), el cual permite la conectividad de Punta Carnero (Ecuador) hasta Mancora (Perú). Además, un nuevo segmento fue instalado desde Puerto Rico hasta Colombia. Este segmento incluye un PSBU (BU-5) para lograr futura conectividad con la República Dominicana.

A continuación se muestra en la figura el sistema total del Cable Submarino SAm-1 en la actualidad con todas sus extensiones (Figura 2-8):



Key:
 (A) Undersea segment
 (T1) Terrestrial link
 ◁ Branching unit
 - - - - - Original system segments
 ——— Segments for extensions

Figura 2-8: Configuración del Sistema de Cable Submarino SAM-1
 Fuente: [Tyco Telecommunications]

Y a continuación se muestra una tabla donde figuran los segmentos del SAM-1:

Segmento	Longitud aproximada (km)	Puntos Extremo 1	Puntos Extremo 2
A	2155	Santos, Brasil	Las Toninas, Argentina
B	436	Santos, Brasil	BU-2
C	225	Río de Janeiro, Brasil	BU-2
D	1957	BU-1	BU-2
E	286	Salvador, Brasil	BU-1
F	1681	Fortaleza, Brasil	BU-1
G	4386	San Juan, Puerto Rico, USA	Fortaleza, Brasil
G1.1	1215	BU-5	Barranquilla, Colombia
G1.2	202	San Juan, Puerto Rico, USA	BU-5
G1.3	10	Stub	BU-5(a)
H	1958	Boca Ratón, Florida, USA	San Juan, Puerto Rico, USA
I	512	Boca Ratón, Florida, USA	BU-4
J	10	Stub	BU-4(b)
K	1230	Puerto Barrios, Guatemala	BU-4
L	1569	Puerto San José, Guatemala	BU-3
M1	680	BU-3	BU-3A
M2	112	BU-3A	Punta Carnero, Ecuador
M3	226	BU-3A	Mancora, Perú
N	2238	Lurín, Perú	BU-3
O	1311	Arica, Chile	Lurín, Perú
P	1877	Valparaíso, Chile	Arica, Chile

(a) BU-5 soporta una posible carga futura en República Dominicana

(b) BU-4 soporta una posible carga futura en Habana, Cuba.

Tabla 2-2: Segmentos del Sistema de Cable Submarino Sam-1.
Fuente: [Tyco Telecommunications]

El cable submarino SAM-1, incluyendo los segmentos terrestres, fue configurado originalmente con una configuración tipo anillo autorestablecedora (configuración MS-SPRINGS), con una capacidad de una longitud de onda en cada par de cuatro fibras operando a 10 Gbps. Logrando una capacidad final de 1.92 Tbps.

2.3.3. Cable Submarino SAC

El sistema de red de Global Crossing en Sudamérica tiene una longitud aproximada de 16 000 Km; con una capacidad inicial en tasa de transferencia de 40 Gps (256 STM-1) y, con ampliaciones en su capacidad se tendrá una capacidad final de 1.28 Tbps.

Presenta una configuración tipo anillo autorestableable, donde el enlace presenta las estaciones terminales St Croix (Islas Vírgenes, USA), Fortaleza (Brasil), Río de Janeiro (Brasil), Santos (Brasil) y Las Toninas (Argentina) en la costa este sudamericana. Un enlace terrestre a través de la cordillera de Los Andes (TAC, Trans-Andean Crossing) que conecta Las Toninas (Brasil) y Valparaíso/Algarrobo (Chile); mientras que, en la costa oeste se tiene los enlaces que conecta las siguientes estaciones terminales: Valparaíso/Algarrobo (Chile), Lurín (Perú) y Buenaventura (Colombia). El sistema que presenta topología tipo anillo, se cierra al tener un enlace entre las estaciones terminales de Fort Amador (Panamá) y St. Croix (Islas Vírgenes, USA).

A continuación se muestra el gráfico (Figura 2-9) de la red de cable submarino SAC, con los enlaces y las estaciones terminales (TLE).



Figura 2-9: Segmentos del Sistema de Cable Submarino SAC
Fuente: [Alcatel Lucent Technologies]

A continuación se muestra una tabla donde figuran los segmentos del SAC:

Segmento	Longitud aproximada (km)	Puntos Extremo 1	Puntos Extremo 2
A	4295	St Croix, Islas Vírgenes, USA	Fortaleza, Brasil
B	2250	Fortaleza, Brasil	Río de Janeiro, Brasil
C	610	Río de Janeiro, Brasil	Santos, Brasil
D	1892	Santos, Brasil	BU2*
D1	215	BU2*	Montevideo, Uruguay
D2	230	BU2*	Las Toninas, Argentina
E1	310	Las Toninas, Argentina	Buenos Aires, Argentina
E2	1490	Buenos Aires, Argentina	Santiago, Chile
E3	125	Santiago, Chile	Valparaiso, Chile
F	2962	Valparaiso, Chile	Lurín, Perú
G	2715	Lurín, Perú	BU1
H	295	BU1	Buenaventura, Colombia
I	332	BU1	Fort Amador, Panamá
J	2105	Fort Amador, Panamá	St Croix, Islas Vírgenes, USA

BU2*, punto de extensión del cable hacia Uruguay.

Tabla 2-3: Segmentos del Sistema de Cable Submarino Panamericano

Fuente: [Alcatel Lucent Technologies]

CAPÍTULO III

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA RED DE CABLE

SUBMARINO

A continuación a lo largo del desarrollo de este capítulo, se harán comparaciones de dos métodos (A y B) usados cada uno por un operador diferente, resultando un método único que será el más eficiente en cuanto a rapidez y efectividad del trabajo; de acuerdo a las experiencias obtenidas por cada método.

3.1. Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo se aplica en los equipos ubicados en tierra y en los submarinos.

3.1.1. Equipos terrestres

- Protección del cable terrestre

Lo siguiente es aplicado por ambos métodos, ya que la protección del cable terrestre se tiene muy en claro; por lo que no hay variación en el procedimiento. La administración de mantenimiento local debe otorgar las mediciones de protección del cable, que va desde la estación terminal hasta el empalme en la playa o último punto terrestre. Estas mediciones deben ser específicas. A continuación se dan ejemplos de mediciones de protección de cable:

- Avisos del tendido del cable.

Las señales deben ser visibles desde grandes distancias y estos deben incluir el número de contacto que atiende las 24 horas.

- Postas marcadores de cable.

Las postas pueden ser instaladas junto a la ruta del cable desde la playa hasta la estación terminal, para brindar protección de daños que pueden ser causados por construcciones o excavaciones en la zona.

- Guardianía en la playa.

Rutinas de seguridad pueden alertar al personal de mantenimiento de nuevas construcciones, retiro o daño del canal u otros eventos inapropiados que pueden amenazar la integridad del cable. Las autoridades de mantenimiento (MA, Maintenance Authority) deben notificar inmediatamente cuando la amenaza sea detectada.

3.1.2. Limpieza del conector de fibra óptica

El incremento de complicaciones en la funcionalidad de los componentes del terminal depende de la calidad, manipulación y limpieza de los conectores y terminaciones de fibra. La falta de atención detallada respecto a las partes ópticas, lleva a tener un bajo rendimiento del sistema y al incremento de los costos. Todo esto lleva a la necesidad de tener una buena limpieza en estas partes críticas del sistema.

- Definiciones de los componentes

Las siguientes definiciones y figuras proporcionan información sobre los procesos de limpieza de los conectores:

- Un conector óptico es un componente de los sistemas de fibra óptica que es usado en las terminaciones de la fibra, permitiendo ser acoplado con otro componente óptico. Se tienen diferentes tipos de conectores; se puede apreciar en la siguiente figura 3-1 un Conector FC, el cual es uno de los más usados:

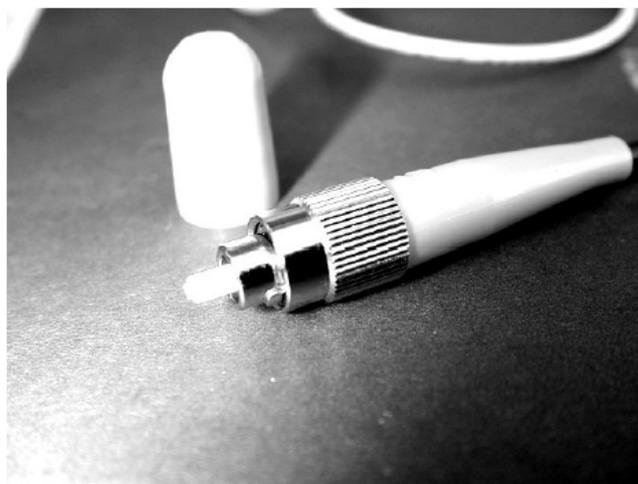


Figura 3-1: Conector FC
Fuente: [Tyco Telecommunications]

- El conector Boot o el limitador de radio Bend proporciona una capa de ayuda para los jumpers de fibra cercanos al conector. El color del Boot es a veces usado para distinguir entre las puntas rectas y las puntas oblicuas en el extremo del Casquillo.
- Casquillo es una parte del conector que sostiene la fibra en una posición y asegura su alineamiento. Tiene una forma cilíndrica con un agujero de ubicación precisa en medio, donde la fibra es colocada y sostenida en esa posición con pegamento especial. Como se puede apreciar en la siguiente figura 3-2:

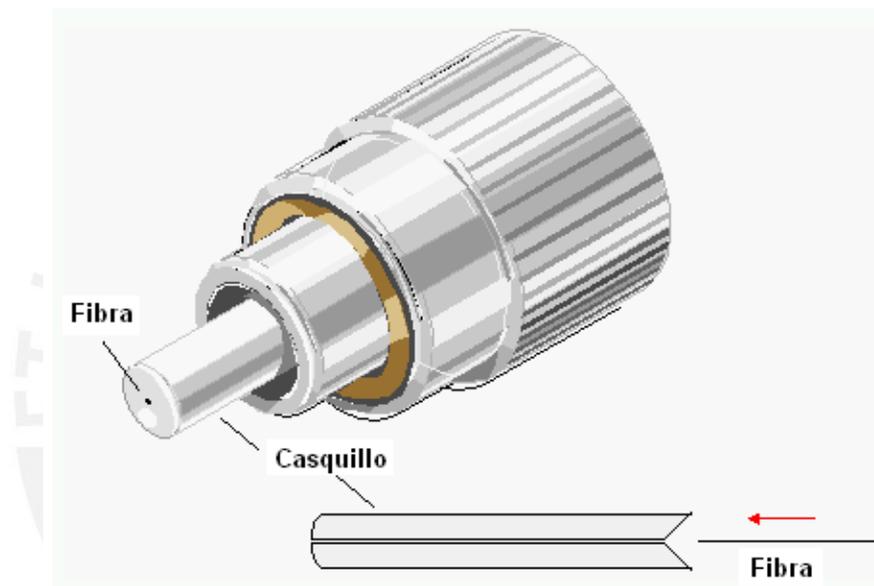


Figura 3-2: Casquillo
Fuente: [Computer Desktop Encyclopedia]

- Los adaptadores FC y LC son componentes del sistema de fibra óptica, que son especie de recipientes usados para aceptar un conector de fibra óptica de un tipo específico, permitiendo que un componente óptico se acople a otro. A continuación se muestran figuras de algunos adaptadores ópticos, como el adaptador FC/PC (figura 3-3) y adaptador LC/APC (figura 3-4):



Figura 3-3: Adaptadores FC/PC o FC/APC
Fuente: [Alcatel Lucent Technologies. SAC Network Cable]

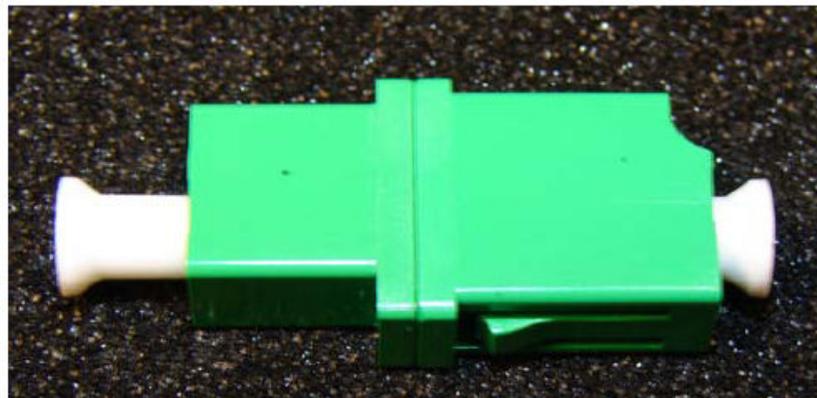


Figura 3-4: Adaptador LC/APC
Fuente: [Alcatel Lucent Technologies. SAC Network Cable]

- Secuencia

Los kits de herramientas que se mencionarán en algunos puntos (someramente) tienen la misma funcionalidad variando solo en el nombre de las empresas fabricantes.

Las siguientes precauciones son importantes por lo que tienen que ser tomados en cuenta mientras se limpia los conectores:

Limpieza:

- Cada Casquillo del conector óptico que esta conectado tiene que ser revisado antes de ser acoplado asegurándose que la suciedad ha sido removido y este limpio. Si un conector no ha sido revisado, considerar que esta sucia y debe ser limpiado.
- La suciedad entre las interfaces de los conectores puede dañar ambos conectores y causar potencialmente conectores quemados.
- Un conector que es retirado de una manga conectada, es encontrada sucia entonces eso indica que el conector también esta sucio.
- No tocar las terminaciones del conector de fibra o limpiar los materiales con las manos o los dedos porque esto puede introducir aceite, polvo o suciedad. Además nunca golpee el extremo del conector, ya que puede introducir vapor de agua, polvo o suciedad.
- El área alrededor del equipo terminal tiene que ser mantenido lo más limpio posible.
- Es necesario la inspección y la limpieza cada vez que la capa es removida.

Herramientas

- Solo usar herramientas y equipos, mencionados en el Anexo “Herramientas y Equipos apropiados para la limpieza de los Conectores”.
- El uso de visores apropiados es importante para la visión al momento de hacer la inspección para localizar la suciedad en los conectores.
- Los materiales tienen que ser usados al momento que un conector es limpiado, para evitar riesgos como ensuciar la interface óptica. Solo Alcohol Isopropil puro (IPA, Isopropyl Alcohol) es requerido.
- Utilizar capas protectoras, cuando las terminaciones de los conectores necesariamente tienen que ser protegidas.

Manipulación de la Fibra

- No sacar o mover los jumpers conector/óptico donde el polvo o suciedad puedan acumularse.

- Evitar acciones indebidas como pinchar y torcer durante la instalación.

- Inspección

La inspección se refiere a hacer lo siguiente:

- Inspección en los conectores FC, SC y LC
- Interpretación de imágenes usando nano visores.

Inspección visual de los conectores FC, SC y LC en sus extremos

La inspección de la interface del conector del casquillo con la fibra tiene que seguir los requerimientos especificados en la tabla 3-1, cuando la inspección tiene una resolución menor de 2.0 μm .

Región	Nombre de la región	Región Área/Tamaño
Zona A	Área restringida	(fiber OD+d)/2 (donde el núcleo d=8 μm)
Zona B	Superficie de fibra	Área A exterior de borde de fibra (125 μm)
Zona C	Superficie del Casquillo	El área del Casquillo aumenta desde 125 μm hasta 251 μm .
Zona D	Pedestal/Casquillo	
Zona E	Chamfer	
Zona F	Superficie Cilíndrica exterior	

Tabla 3-1: Región visual de inspección de un conector de fibra.
Fuente: [Alcatel Lucent Technology]

A continuación en la figura 3-5, se puede apreciar el criterio de la inspección de la interface (extremo final) del conector de fibra óptica; donde se muestra las diferentes zonas que tiene esta interface los cuales son analizados en la tabla 3-2 respecto a las fallas o problemas que pueda tener cada una de estas zonas.

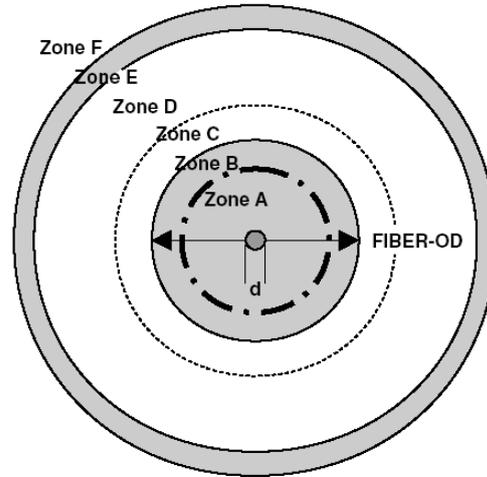


Figura 3-5: Inspección del Conector de fibra
Fuente: [Alcatel Lucent Technology]

Problema	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D-F
Ruptura	No aceptable	No aceptable		No aplicable para pulido final.
Araños	No aceptable	10 o < 5 μm	Defectos múltiples < 10 μm son aceptables (no tocar los bordes de la fibra).	No aplicable para pulido final.
Agujeros/Huecos			Defectos múltiples < 10 μm son aceptables (no tocar los bordes de la fibra).	No aplicable para pulido final.
Rayado	No aceptable	5 o < 2 μm		
Casquillo rayado			Rayados > 2 μm	Aceptable
Anillos de goma especial (Epoxy)		Anillos de goma especial (Epoxy) es aceptable		

		si el ancho es <math>< 2\mu\text{m}</math>		
Suciedad	No aceptable	No aceptable	No aceptable	Aceptable

Tabla 3-2: Inspección visual de los Conectores de Fibra
Fuente: [Alcatel Lucent Technology]

A continuación se muestran figuras de conectores que son lo que se aprecia mediante un visor; donde la figura 3-6 muestra un conector limpio, mientras que la figura 3-7 es un conector sucio que necesita ser limpiado apropiadamente.

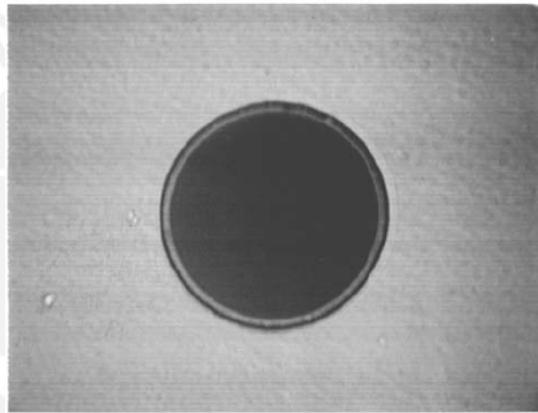


Figura 3-6: Conector Limpio
Fuente: [Alcatel Lucent Technology]

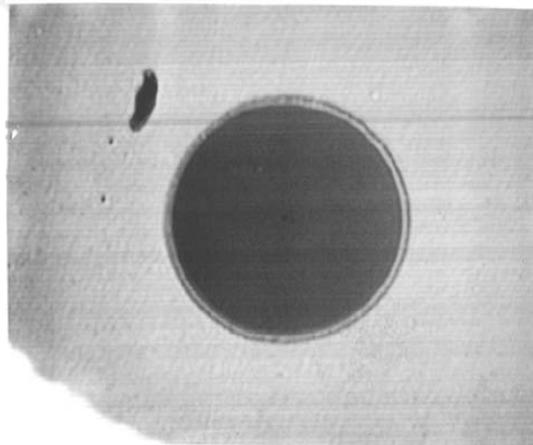


Figura 3-7: Conector casi limpio – requiere limpieza adicional
Fuente: [Alcatel Lucent Technology]

La figura 3-8 muestra un conector con grado de suciedad alto, el cual necesita de un gran cuidado al momento de limpiar. La figura 3-8 es un conector sucio en consecuencia de la mala aplicación de los solventes de limpieza; es por eso que se requiere de gran cuidado al momento de hacer la limpieza porque se puede llegar hasta el grado de dañar completamente y dejarla sin uso el conector.

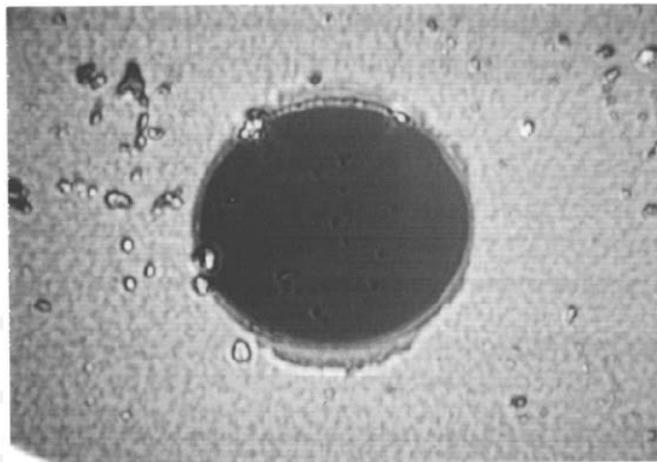


Figura 3-8: Conector sucio
Fuente: [Alcatel Lucent Technology]

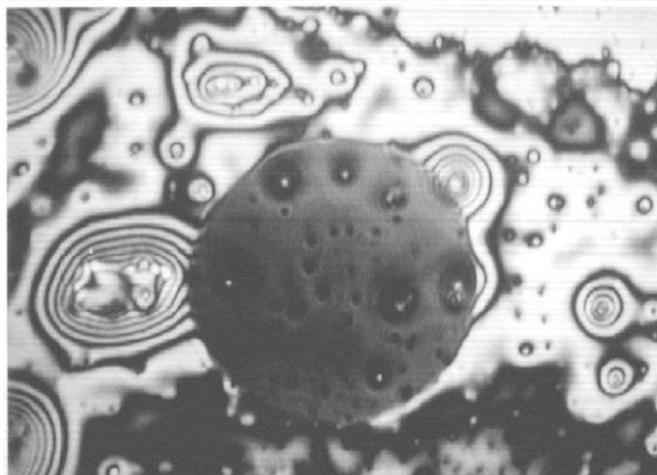


Figura 3-9: Conector sucio por aplicación de solventes incorrectamente.
Fuente: [Alcatel Lucent Technology]

- Métodos de limpieza de protuberancias en los extremos de la fibra
Estos métodos de limpieza son descritos en el anexo “Métodos de limpieza de protuberancias en los extremos de la fibra”. Es importante notar que estos procedimientos siguen una continuidad y requieren de herramientas específicas.

3.1.3. Pruebas de rutina de mantenimiento

Rutina de mantenimiento

La rutina de mantenimiento es realizada para evaluar el rendimiento de los equipos de la estación. El mantenimiento de la estación sirve para:

- Identificar ajustes que deben ser hechos para mantener los equipos operacionales.
- Iniciar apropiadamente las medidas en una etapa temprana para prevenir el deterioro del rendimiento.

La rutina de monitoreo, es uno de los más importantes roles del personal en la estación terminal. A través del monitoreo, el estado del sistema puede ser revisado y los datos recopilados son usados para proporcionar información importante cuando suceda una falla.

A continuación se describe las actividades en la rutina de mantenimiento en los equipos de la estación.

- Equipo Alimentador de Potencia (PFE, Power Feed Equipment)

El PFE requiere una rutina de mantenimiento que se describe a continuación.

Procedimiento:

- Verificar el voltaje de salida.
- Limpiar la carga de prueba del filtro de aire.

- Sistema de Operación (TEMS, TE Management System)

El único mantenimiento para el TEMS es la base de datos, como se describe a continuación.

Procedimiento:

- Procedimientos de mantenimiento del rendimiento de la Base de Datos.
- Rendimiento de la Base de Datos y almacenar los datos de respaldo.

TEMS-NMS

El TEMS integrado a las aplicaciones del Sistema de Gestión de Red (NMS, Network Management System) es añadidos a los servidores TEMS y a las estaciones de trabajo del cliente. Este mantenimiento minimiza reduciendo el número de computadoras activas en la red que requieren administración y mantenimiento. TEMS-NMS no requiere Base de datos de mantenimiento adicional.

- Equipos de Monitoreo de la Línea Multi-Sidetone (MST LME, Multi-Sidetone Line Monitoring Equipment)

El único mantenimiento para el MST LME es una revisión semanal para asegurar que haya espacio suficiente en el disco duro.

- Equipo Terminal de Línea (LTE, Line Terminatin Equipment)

El LTE proporciona un buen rendimiento, sin embargo se recomienda que periódicamente se haga algunos ajustes, tal como se describe a continuación.

Procedimiento:

- Ajustar el CSR del HPOE.
- Ajustar el transmisor de longitud de onda del HPOE
- Ajustar la magnitud de la modulación de fase
- Ajustar el ancho del pulso
- Ajustar el umbral del receptor en el HPOE
- Limitar la referencia del amplificador y ajustar el reloj
- Ajustar la potencia de transmisión (pre-énfasis)

El LTE tiene la opción de tener ajuste automático de sus parámetros. De lo contrario los ajustes deben ser manuales que son indicados en el manual del fabricante.

- Equipos Submarinos (Repetidores y Cables)

Los equipos submarinos no requieren de una rutina de mantenimiento. EL LME hace medidas del estado operativo y rendimiento de los equipos submarinos.

3.1.4. Mantenimiento de Equipos Submarinos

Un programa de protección del cable, puede ser una de las actividades más importantes a realizar por parte del área de mantenimiento, con la finalidad de prevenir causas comunes de fallas, daños exteriores, etc. Las medidas de la protección del cable pueden hacerse de muchas maneras, con el objetivo de prevenir rupturas de cable.

Un programa de protección del cable debe incluir diversas actividades proactivas, algunas que se inicien antes que el sistema este dentro del agua (pre-instalación), continuar en la instalación y la fase post-instalación.

- Actividades en Pre-Instalación

La protección del sistema de Cable Submarino se inicia antes que el sistema sea instalado. El sistema fue diseñado considerando las amenazas por parte de la naturaleza como las que no los son (Por ejemplo hechas por la mano del hombre). Para ello se incluye lo siguiente:

- Profundidad de los fondos marinos
- Composición de la parte inferior del cable
- Sistemas de cable existentes y tuberías
- Actividades de pesca
- Campos de entrenamiento militar
- Obstrucciones naturales
- Obstrucciones no naturales (por ejemplo naufragios de buques, plataformas de petróleo, tuberías de gas/petróleo)

- Actividades en Post-Instalación

Los peligros primarios que ordenan las actividades de protección del cable Post-Instalación son el tráfico marítimo (principalmente daños causado por las anclas de los buques), pesquería, erosión del cable como resultado de eventos naturales impredecibles tales como huracanes y tormentas tropicales y, futuras obstrucciones no naturales.

Las actividades de protección del cable para el período Post-Instalación pueden incluir los siguientes puntos:

- Crear y mantener trabajos relacionados con los usuarios del fondo marino y las agencias que administran el uso del fondo marino, tales como; las compañías pesqueras, industrias marítimas, oficinas locales de pesca y otras autoridades que aseguren el cuidado del cable submarino.
- Consultar e informar a los usuarios del fondo marino, los planes de construcción o reparación del cable submarino para prevenir conflictos con los usuarios (importante en áreas de producción de petróleo).
- Vigilar y cuidar los cables durante y después de su instalación.
- En casos extremos, considerar el cambiar de posición una parte del cable submarino lejos de los lugares que ocasionan grandes daños.

Las obstrucciones no naturales pueden ser resueltas de mejor manera, mediante la educación e información a todos los agentes que comparten el mar.

3.2. Localización de fallas

3.2.1. Análisis de fallas en el sistema

El origen de muchas fallas, es definitivamente identificado a través de la disponibilidad de información de la gestión de los equipos de la red. Cuando se sabe que un elemento de red (NE, Network Element) tiene fallas los procesos contenidos en un troubleshooting detallado en la documentación

específica, el NE fallido puede ser solucionado. Sin embargo, algunas fallas pueden causar una respuesta de los equipos tales que el origen de la falla no es evidente inmediatamente. Por decir, cuando se presenta múltiples alarmas de los equipos en ambos extremos del sistema de Cable submarino. Cuando esto ocurre, es útil considerar las siguientes áreas si son relevantes en el sistema.

- Equipos SDH (Synchronous Digital Hierachy) o equivalentes.
- Interfaces tributarias
- Equipos de sincronización
- Segmento de línea submarino punto a punto (P2P), incluyendo la extensión de camino óptico de la sección digital de línea (DLS, Digital Line Section).

Procedimientos de aislamiento de fallas submarinas

Los siguientes pasos describen como se aísla una falla en un sistema de Cable Submarino:

1. Determinar el estado del equipo ADM para verificar que el tráfico ha sido protegido.
2. Si la arquitectura anillo aún no ha sido implantada y el Sistema de Cable Submarino está operando en modo de configuración punto a punto, identificar la falla inmediatamente – si es posible – y hacer la reparación del caso. Si el origen de la falla no es evidente, usar el enlace backup o instalar un cable rápidamente para devolver el servicio y hacer una inspección para saber la falla del sistema.
3. Si el sistema de Cable Submarino tiene una configuración protegida, acceder al equipo ADM para determinar si se conmuta en la topología anillo para proteger el servicio y se restaure el sistema.
4. Hacer una evaluación en los equipos ADM que presentan mayores alarmas. En este caso, se tiene tres posibles orígenes de falla:

- Equipo ADM deteriorado

Si el origen de la falla es en un equipo ADM deteriorado, ver la documentación del fabricante asociada para el aislamiento y reparación de la falla.

- Sincronización en los equipos ADM

Si el origen de la falla es en la sincronización a la entrada de los equipos ADM, revisar el manual de fabricante del ADM donde figure la sincronización del equipo.

- Baja velocidad en las interfaces de los equipos ADM

Revisar las interfaces tributarias de los equipos ADM y luego, los manuales de fabricante del equipo ADM.

5. Si el análisis de falla hasta el momento no ha revelado cual es el problema, observar las alarmas en los equipos ADM para aislar el origen de la falla.
6. Determinar el estado de los PFE
 - El estado de los equipos ADM determinados en el paso 1 pueden aislar la falla de un segmento de línea. Se debe revisar la potencia del PFE en ese segmento.
 - Súbitos cambios en la lectura del voltaje del PFE indican una posible falla de potencia en el sistema submarino. Dependiendo de la manera de como cancelar la fuga de potencia, el PFE la cancelará automáticamente. Sin embargo muchas fallas submarinas no serán resueltas con una cancelación automática del PFE.
7. Si el estado del PFE indica una falla en los equipos submarinos, analizar las alarmas generados en los equipos ADM y el LTE que están conectados al segmento de línea sospechoso (posible a tener fallas), con la finalidad de confirmar el origen de la falla.

En el anexo “Alarmas y estados de los Equipos en la Estación Terminal, relacionados a un equipo con fallas” se puede apreciar la tabla 3-2 donde se detalla las alarmas y los estados de los equipos en la estación terminal correspondientes a un potencial equipo con fallas.

3.2.2. Localización de fallas

La detección y localización de fallas que pueden ocurrir en los equipos submarinos dependerá del diseño del Sistema de Cable Submarino.

Estas fallas en los cables submarinos son:

- Corte total del cable. En este caso las fibras se cortan y la aislación eléctrica de la cubierta del cable con el agua se pierde, lo que permite

mantener los amplificadores normalmente alimentados. Para localizar el punto de corte se pueden usar métodos ópticos reflecto métricos.

- Falla óptica, se presenta como una degradación o corte en alguna fibra sin alteración del sistema eléctrico del cable. Aquí son aplicables también los métodos ópticos reflecto métricos.
- Falla eléctrica tipo shunt, se produce cuando se pierde la aislación entre la parte metálica del cable y el agua en algún punto; sin que las fibras sufran daño alguno. En este caso solo es posible usar métodos eléctricos para determinar el punto donde se produjo la falla.

Así a continuación se describen los métodos A y B:

El método A menciona lo siguiente:

- Localización de Fallas Ópticas

Las dos principales herramientas para la detección y localización de degradación del trayecto óptico o fallas son:

- MST LME (Multi-sidetone Line Monitoring Equipment)
- Equipos de prueba OTDR (Optical Time-Domain Reflectometry) y COTDR (Coherent OTDR)

El MST LME puede ser usado en servicio o fuera de servicio, para localizar fallas o degradaciones en el trayecto óptico en la sección de un repetidor (dos repetidores adyacentes y el cable entre ellos). Los equipos de prueba OTDR o COTDR son normalmente usados solo para fallas o degradaciones en la sección de un repetidor.

- Monitoreo de la línea

Para proporcionar un sistema de monitoreo eficiente, el MST LME localiza las fallas, en servicio o fuera de servicio, para secciones entre repetidores. Las operaciones del MST LME en servicio o fuera de servicio son similares; pero el tiempo requerido es mucho menor cuando el sistema esta fuera de servicio.

La función del MST LME es de monitorear el rendimiento de los trayectos ópticos en el sistema submarino. Las mediciones son hechas en un par de línea a la vez. Una señal especial de monitoreo es enviado del transmisor

MST LME sobre una fibra seleccionada. La señal de monitoreo es suministrada en dos longitudes de onda, una en la parte superior y la otra en la parte inferior de la banda de transmisión (por ejemplo a 1540.161 nm y 1560.606 nm) del sistema de Cable Submarino. Sin embargo, solo una longitud de onda es medida en un instante. En el par de amplificadores en cada repetidor, los elementos de reflexión selectiva en un acoplador óptico se colocan en una posición (Modulo acoplador loopback, LCM) para retornar una versión atenuada de la señal que se inserto en la fibra, donde es enviado de vuelta al receptor del MST LME. El receptor usa correlaciones digitales y técnicas de filtrado para recuperar y detectar la señal. Las señales de monitoreo de los diferentes repetidores son identificados por la diferencia en el tiempo de ida y vuelta. En este sentido los trayectos de transmisión de ida y vuelta, desde o hacia cada par de amplificadores en cada repetidor (conocidos como bucles de ganancia) son medidos en las longitudes de onda de las señales de monitoreo.

En la figura 3-10, se muestra un diagrama de las longitudes de onda seleccionadas en los trayectos HLLB (High-loss loopback) entre el par de amplificadores en el repetidor.

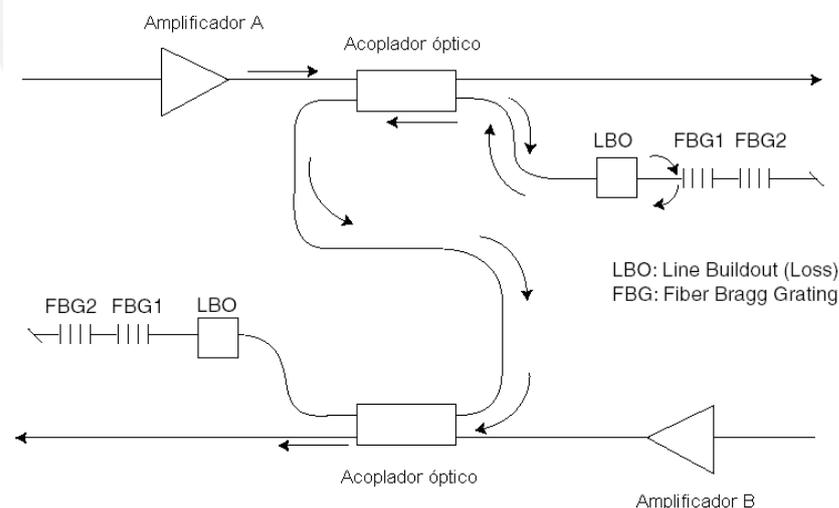


Figura 3-10: Acopladores ópticos y Elementos de reflexión selectiva en el Modulo Acoplador Loopback (LCM, Loopback Coupler Module) en un par de amplificadores.

Fuente: [Tyco Telecommunications South America 1 Cable System]

Cambios de pérdida a ganancia en los trayectos de transmisión son fácilmente detectados y evaluados por el MST LME.

Sin cambios en la transmisión, los resultados de una medida en bucle con ganancia, son los mismos que la línea base con exactitud en la medición del sistema de monitoreo (+/- 0.5 dB). Si un cambio de pérdida a ganancia (o viceversa) ocurriese en la transmisión una posterior medida se lanza, donde ocurrió el cambio.

- **Óptico Reflecto métrico**

Dos herramientas distintas son usadas para detectar y localizar las fallas en el trayecto óptico a lo largo de la fibra: el OTDR convencional y el OTDR coherente (COTDR). Las dos herramientas tienen ventajas, ya que proporcionan gráficos pérdida versus distancia a lo largo de la fibra óptica causadas por la dispersión de Rayleigh en la fibra. Ambos equipos son normalmente usados para medir un trayecto de la fibra que este fuera de servicio.

- **OTDR Convencional**

Un OTDR convencional puesto en prueba lanza pulsos de luz repetitivamente dentro de una fibra. La luz de un pulso es retrodispersada constantemente, viaja a lo largo de la longitud de la fibra y regresa. Los pulsos de luz salientes y la luz retrodispersada son atenuadas constantemente al momento en que recorren la fibra. Considerando la velocidad de la luz constante en la fibra, el tiempo para que cada pulso regrese al OTDR es determinado por la distancia que recorre en la fibra. Por lo tanto, el OTDR puede producir una figura pérdida versus longitud de la fibra en una pantalla. Los gráficos típicos del OTDR son vistos en las figuras 3-11 y 3-12.

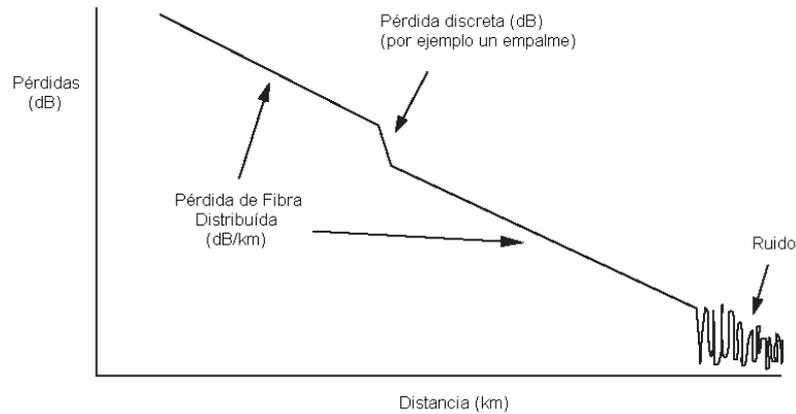


Figura 3-11: Pantalla del OTDR mostrando una pérdida pequeña, no hay corte de fibra

Fuente: [Tyco Telecommunications South America 1 Cable System]

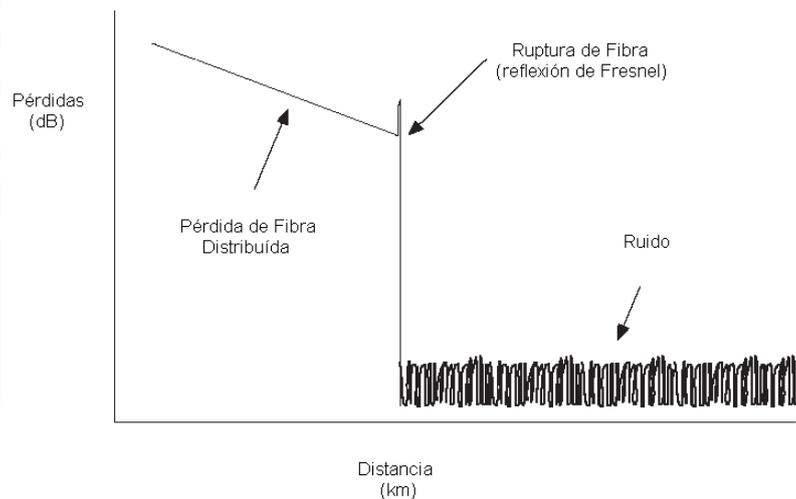


Figura 3-12: Pantalla del OTDR mostrando un corte de fibra

Fuente: [Tyco Telecommunications South America 1 Cable System]

Un corte de fibra puede ser reflejante o absorbente. Una ruptura reflejante produce un punto positivo al final (conocido como reflexión de Fresnel), como se muestra en la figura 3-12. Con una ruptura absorbente el punto es negativo.

- **COTDR (OTDR Coherente)**

El instrumento que permite localizar fallas en los enlaces submarinos de larga distancia se denomina COTDR (Coherent Optical Time Domain

Reflectometer), el cual inyecta la luz láser en una dirección por una de las fibras del par y recibe la luz reflejada a través de la otra fibra en la dirección contraria. La denominación coherente, proviene de la forma de detección sincrónica utilizada en la parte receptora, ya que siendo la relación señal ruido tan baja (menor de -80 dBm) debido a la distancia y al ASE no es posible utilizar la detección directa. En un COTDR la extremadamente pequeña señal óptica de retorno inmersa en ruido ASE se mezcla con la de un oscilador local óptico de onda continua sincronizable, aumentando la sensibilidad y la selectividad mediante el filtraje del ASE. Debido a que los repetidores poseen un sistema realimentado de ajuste de la ganancia que mantiene constante la señal de salida, el COTDR debe enviar a la línea una señal “continua” y no pulsos separados como en el caso del OTDR, ya que en ese caso la ganancia de los amplificadores tendería a cambiar, cada vez que la señal de entrada a ellos cambie de nivel alto a nivel bajo y viceversa, para mantener constante la salida. La señal que el COTDR envía a la línea es entonces una señal tipo FSK óptica, ya que se envía la longitud de onda de “prueba” correspondiente a los pulsos OTDR, mas una señal de “carga” de los amplificadores con una longitud de onda separada suficientemente para no afectar la medición. Dicha señal de carga será naturalmente filtrada en la detección sincrónica en la parte receptora del instrumento. (Ver Figura 3-13)

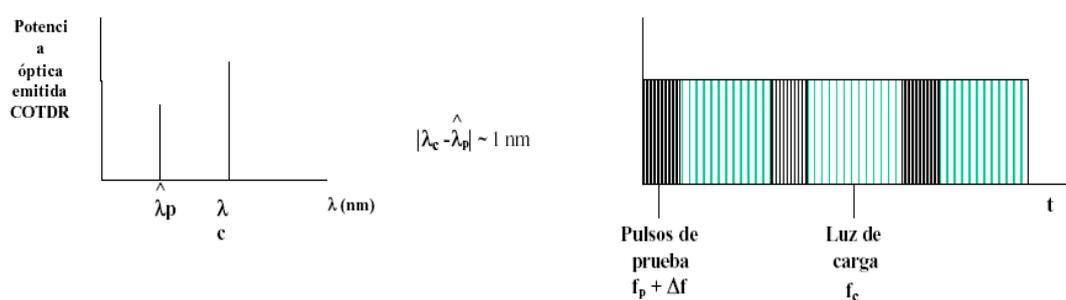


Figura 3-13: Señal tipo FSK enviada por un COTDR
Fuente: [Localización de fallas en cables submarinos]

La figura obtenida en la pantalla del COTDR, consistirá en una secuencia de reflectogramas de cada sección de cable entre repetidores (como se vería en un OTDR). Dado que no es posible colocar un lazo de

realimentación directamente entre la salida y entrada del COTDR, la primera sección, entre el COTDR y el primer repetidor no puede ser vista. Si un corte total del cable se produjese en este primer tramo, es posible usar un OTDR común para determinar el punto exacto del corte. La determinación del punto de corte del cable, será determinada por el instrumento de acuerdo al tiempo de retorno de la señal reflejada en el área transversal de la fibra cortada, presentando en la pantalla un reflectograma teórico como el mostrado a continuación en la figura 3-14.

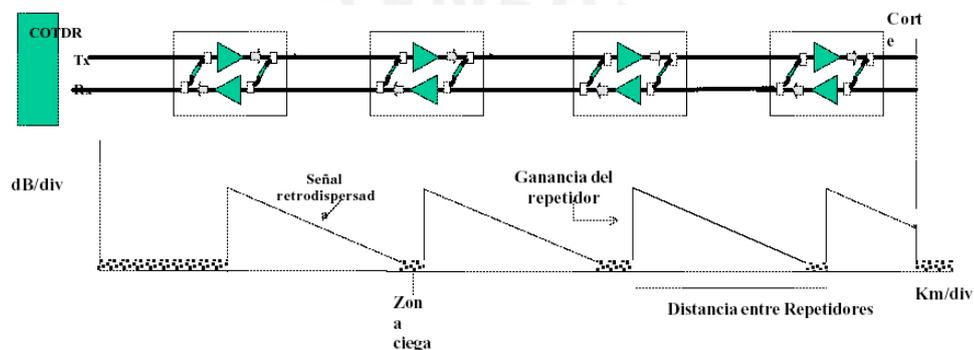


Figura 3-14: Reflectograma obtenido en un COTDR
 Fuente: [Localización de fallas en cables submarinos]

- Localización de Fallas Eléctricas

Las siguientes técnicas para detectar y localizar fallas eléctricas submarinas, como fallas en la trayectoria de la potencia, son descritas a continuación:

- Electricidad a baja frecuencia, usando las capacidades del PFE (Power Feed Equipment) o equipos externos acoplados con equipos especiales de detección.
- Bajo valores de corriente directa y baja frecuencia en las mediciones de resistencia y capacitancia, usando equipos especializados de prueba diseñados para sistemas de Cable Submarino.
- Mediciones voltaje/corriente, usando el PFE.

El método B menciona lo siguiente:

- **Localización de fallas por métodos eléctricos**

La alimentación de los repetidores de un enlace de cable submarino se realiza con el Modo Doble Alimentación, donde en cada extremo del enlace se instalan generadores eléctricos de corriente continua con distinta polaridad, aportando cada uno la mitad del voltaje necesario para mantener la corriente constante requerida por los repetidores. Uno de los generadores trabaja como fuente de corriente y el otro como fuente de voltaje, permitiendo que este último varíe su voltaje para compensar las posibles variaciones de los parámetros eléctricos del enlace y mantener esencialmente constante la corriente que circula por el cable y que alimenta los repetidores.

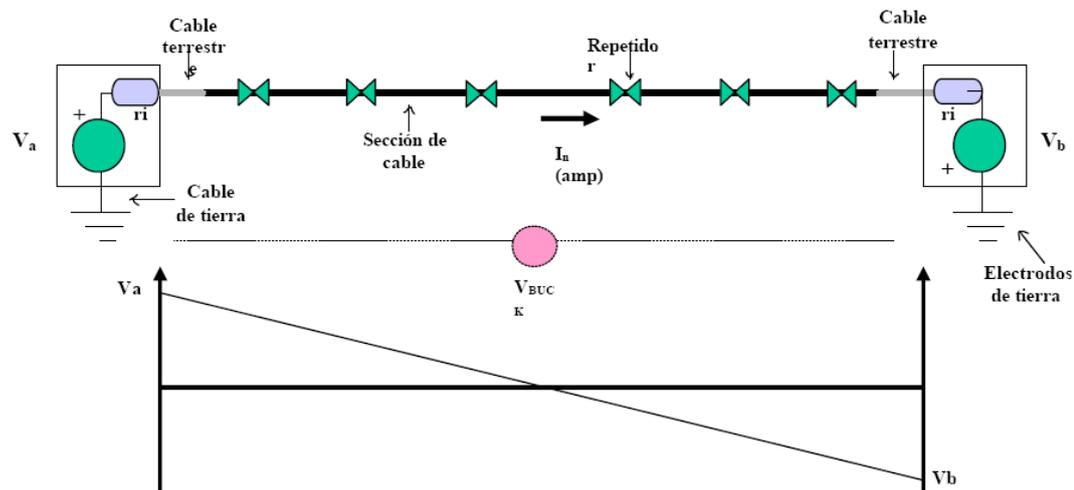


Figura 3-15: Modo de alimentación doble en enlace submarino (No se muestran las caídas de voltaje en cada repetidor).
 Fuente: [Localización de fallas en cables submarinos]

o **Voltaje inducido por el campo magnético terrestre (Bucking voltaje)**

Es sabido que los campos geomagnéticos varían principalmente con la actividad solar. Estos campos inducen voltajes parásitos en los cables de gran longitud y deben ser considerados en la evaluación de voltajes cuando se está determinando en punto de corte o daño del cable. Las variaciones del voltaje "Bucking" son aleatorias y se presentan en serie con el sistema de alimentación normal y dado que los generadores trabajan en modo de

corriente constante, el voltaje de salida de los generadores se ajusta automáticamente para compensar este voltaje parásito y mantener la corriente constante.

El voltaje parásito inducido depende del largo de cable considerado y del voltaje por kilometro que presenta la tierra. Estudios empíricos indican que el voltaje por kilometro es de 0,3 para un enlace con orientación Oeste-Este y 0,03 para uno con orientación Norte-Sur

El conocimiento exacto de los parámetros del sistema y de los elementos terrestres y submarinos permite conocer, en forma aproximada, el punto donde el cable se ha cortado totalmente o cuando ha sufrido una falla tipo shunt, sin daños para las fibras.

La ecuación general que relaciona los parámetros será:

$$\mathbf{Va + Vb +/- VBUCK = Vea + Via + Vta + NsVs + NrVr + Vtb + Vib + Veb} \quad (1)$$

Va : Voltaje del generador a

Vb : Voltaje del generador b

VBUCK : Voltaje inducido por el campo magnético de la tierra

Ve : Caída de voltaje en el cable de tierra

Vi : Caída interna de voltaje en el generador

Ns : Número de secciones del cable

Vs : Caída de voltaje en cada sección del cable submarino

Vt : Caída de voltaje en la parte terrestre del cable

Nr : Numero de repetidores

Vr : Caída de voltaje en cada repetidor

Según lo anterior, los parámetros necesarios de conocer en la forma más exacta posible y específicamente para el enlace dañado, son los siguientes:

Sistema: Corriente nominal, temperatura de fabrica del cable y orientación geográfica del enlace.

Generadores eléctricos: Resistencia por kilometro del cable de tierra, largo del cable de tierra, resistencia de los electrodos del cable de tierra, temperatura del cable de tierra y caída de voltaje interna del generador.

Cable terrestre: Resistencia por kilometro del cable terrestre, largo del cable terrestre, temperatura del cable terrestre.

Cable submarino: Resistencia por kilometro de cada sección del cable submarino, largo de cada sección del cable submarino y temperatura de cada sección del cable submarino.

Repetidores: Número y tipo de repetidores y caída de voltaje en cada uno (puede ser usado un promedio).

La fórmula empírica usada normalmente para transformar la resistencia del cable en la fábrica a resistencia del cable bajo el mar es la siguiente:

$$r_{cm} = r_{cf} [1 + 0.004 (t^{\circ}m - t^{\circ}f)] \quad (2)$$

r_{cm} : Resistencia del cable en el lecho marino
 r_{cf} : Resistencia del cable medido en la fabrica
 $t^{\circ}f$: Temperatura en la fábrica
 $t^{\circ}m$: Temperatura del mar

o **Corte del Cable**

Cuando un cable se corta, normalmente la parte metálica de los extremos cortados hacen contacto con el agua cerrando el circuito eléctrico en cada una de las partes resultantes y permitiendo que los repetidores sigan alimentados. Para mantener la corriente constante en cada parte, cada generador ajusta su voltaje de manera proporcional al largo respectivo. La lectura de los valores de voltaje en cada generador después del corte, más el conocimiento exacto de los parámetros eléctricos de cada uno de los elementos presentes en el sistema (generadores, cable de tierra, cable terrestre, cable submarino y repetidores) permiten determinar aproximadamente el punto de corte.

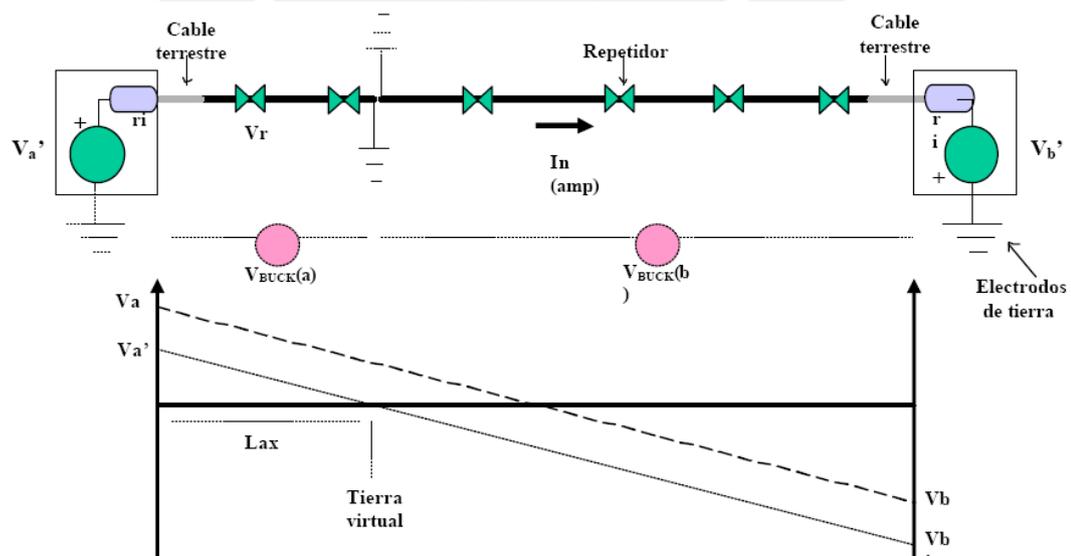


Figura 3-16: Variaciones de los voltajes de los generadores frente a un corte total de cable.

Fuente: [Localización de fallas en cables submarinos]

Si L_t es la distancia total del enlace, la determinación aproximada de la distancia del corte desde uno de los generadores es simplemente:

$$\frac{L_{ax}}{L_t} = \frac{V_{a'} - \sum V_{ra}}{(V_{a'} - \sum V_{ra}) + (V_{b'} - \sum V_{rb})}$$

En este tipo de corte como se dijo, la sección de cable dañada se puede conocer simplemente interrogando los repetidores desde ambos extremos a través del sistema de supervisión. Sin embargo para determinar con más exactitud el punto de corte, deberá hacerse una evaluación detallada de los parámetros eléctricos del enlace específico, incluyendo además el efecto del bucking voltaje a través de cálculo aritmético de la primera ecuación mostrada (1).

Dado que para el cálculo del voltaje bucking solo se conocen coeficientes empíricos, se recomienda determinar previamente dicho voltaje para todo el enlace en condición normal, lo que nos daría el valor del coeficiente volts/km para nuestro enlace. Este valor sería aplicado para las secciones no dañadas desde cada extremo. (Se comete un pequeño error por no considerar el bucking voltaje en la sección dañada, pero será muy bajo).

- **Falla eléctrica tipo Shunt**

En este tipo de falla no hay ruptura del cable o daño en las fibras, esta falla se da en un punto específico (voltaje en dicho punto cero) donde se pierde la aislación entre la parte metálica del cable y el agua, creando dos circuitos de alimentación de corriente constante. A pesar que el tráfico de datos no se ve alterado, es de importancia arreglar este tipo de falla a la brevedad porque si uno de los generadores falla, el circuito respectivo quedaría sin alimentación para los repetidores, logrando interrumpir el tráfico de datos.

Para mantener la corriente en cada circuito se ajustarán los voltajes en cada generador a lo largo del circuito. Por lo tanto, la lectura de los valores de voltaje en cada generador luego de producida la falla, más el conocimiento exacto de los parámetros eléctricos de cada uno de los elementos presentes en el sistema (generadores, cable de tierra, cable terrestre, cable submarino y repetidores) permiten determinar aproximadamente el punto de corte.

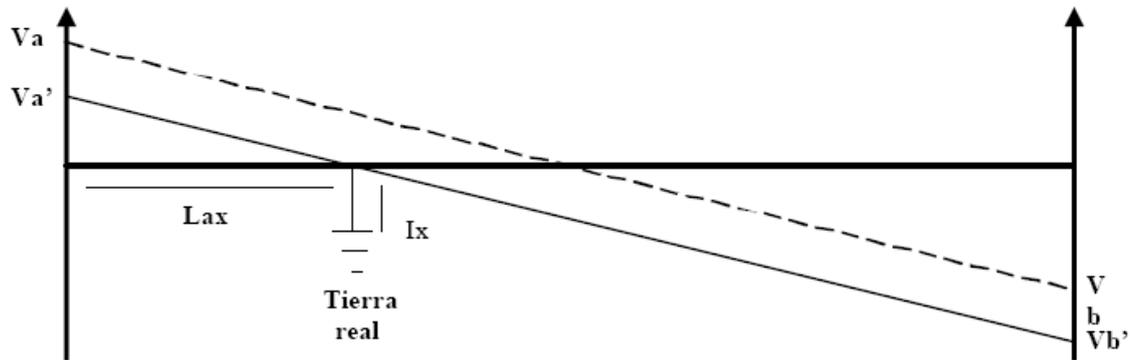


Figura 3-17: Variación de los voltajes de los generadores en caso de una falla tipo Shunt.

Fuente: [Localización de fallas en cables submarinos]

Como lo mencionábamos, la determinación de la ubicación de esta falla tiene mayor aproximación a diferencia de los casos anteriores; ya que los repetidores no entran en análisis para la ubicación de la falla y por lo tanto se desconoce totalmente cual es la sección dañada. Este último hecho impide evaluar las caídas de voltaje en los repetidores y considerar el efecto del bucking voltaje (voltaje inducido por el campo magnético terrestre). Una solución para determinar la sección dañada consiste en graficar a escala previamente el enlace sin falla y luego dibujar sobre dicho gráfico los voltajes cuando se produzca la falla – las medidas de voltaje se deben hacer lo antes posible, ya que la falla tiende a degradarse agregando una resistencia de cable a tierra desconocida haciendo los cálculos inexactos. A partir de allí los cálculos se realizan como en un corte total.

Por otro lado, si las corrientes en cada brazo del cable dañado son diferentes, significará que la corriente en la falla no es cero. Para este caso puede aplicarse un balanceo de corrientes, el cual consiste en igualar las corrientes de cada circuito variando manualmente los voltajes en cada generador. De esta forma se llegará a una condición equivalente a que la impedancia en la falla sea cero.

- **Localización de fallas por métodos ópticos**

Este método requiere acceder al extremo de las fibras para la conexión de un instrumento y los repetidores deben estar normalmente alimentados con energía eléctrica (corriente constante)

El sistema de supervisión de los repetidores permite ubicar el tramo dañado simplemente interrogándolos desde ambos extremos; el problema se reduce entonces a determinar el punto de falla lo más exactamente dentro de una sección dañada, que puede ser entre 40 a 60 Km.

o **OTDR**

Las medidas del OTDR para un cable óptico es equivalente a la medición del pulso de un eco para cable coaxial. La resolución de un OTDR es de 0.5%, que puede lograr medidas de longitudes hasta de 40 Km siendo la exactitud 0.2 Km.

Para posibilitar la localización de fallas en los cables submarinos usando el principio del OTDR, junto al aislador se instala un tap óptico (acoplador óptico pasivo) que junto a una fibra y un atenuador proveen una vía de retorno que permite recoger las señales reflejadas y retrodispersadas y enviarlas de regreso a través de la fibra de la dirección opuesta.

Conclusión de la localización de fallas

Después de saber los procedimientos tanto del método A como del B, se concluye que ninguno de los dos son los mejores sino que la combinación de ambos es la mejor.

Ya que el método A tiene la ventaja en la localización de fallas ópticas, al hacer uso no solo del OTDR o COTDR sino también del MST LME. Mientras el método B posee la ventaja de la localización de fallas por medios eléctricos; el cual es menos exacto que los medios ópticos. Ya que los sistemas eléctricos de localización de fallas dependen de muchos parámetros que son variables y particulares para cada enlace, lo que significa una precisión mucho menor que los medios ópticos, pudiendo llegar a presentar un error tan grande como 1%.

Siendo en conjunto, es decir la combinación de la localización de fallas ópticas del método A y la localización de fallas por medios eléctricos del método B lo mejor.

3.2.3. Localización de fallas submarinas desde la Estación Terminal

Los equipos submarinos comprenden de varios elementos incluyendo los cables (las fibras), unión de cables, repetidores y ecualizadores con ganancia. Un equipo fallido puede manifestarse por si mismo, mediante alarmas en el equipo terminal que es el resultado de la degradación de los servicios o cambios de voltaje/corriente en el PFE. Fallas primarias, como degradación, pueden ser pequeñas inicialmente; pero después afectar significativamente el servicio. Tales degradaciones, puede ser detectadas como resultado de un rutina de supervisión en el monitoreo de línea. A diferencia de una falla que es encontrada inmediatamente, las degradaciones deben ser observadas para ver sus cambios; pero normalmente nunca empiezan siendo lo suficientemente serios para ser clasificados como una falla o que requiera reparación.

- **Determinación de la causa de una falla**

El personal de administración y mantenimiento (NOC) de la red, pueden revisar el grupo de alarmas en los diversos elementos de la red (NE) y verificar el estado de los equipos de la estación terminal, con la finalidad de determinar si la falla esta en los equipos submarinos.

Los resultados de la evaluación preliminar, pueden ser usados para determinar si la restauración es necesaria o no. Por ejemplo, un cable cortado que puede ser re-usado nuevamente; ya que se encuentra en buen estado para seguir funcionando.

- **Clasificación de Cables averiados**

- Falla tipo Shunt, donde ocurre una fuga en la trayectoria entre el conductor de potencia y el océano o la tierra a través de una fisura en

el cable; sin embargo, la potencia en el conductor aún sigue intacto (explicado anteriormente).

- Ruptura del cable, donde el conductor de potencia y las fibras están completamente rotas o separados. Aquí hay dos posibles estados:
 - El conductor de potencia es expuesto al agua. Común.
 - El conductor de potencia es asilado del agua, refiriéndose aislado a un circuito abierto. Poco común.
- Gran incremento de pérdidas en la fibra (incluyendo las fibras rotas); pero la potencia del conductor esta intacto y aislado del agua o la tierra.

- **Respuesta del PFE al cable fallido**

Si el voltaje de salida varía en 10% de su valor nominal, una alarma de voltaje se enciende. Si el PFE no puede mantener la corriente normal, las alarmas de altos voltajes y bajas corrientes son generadas.

En caso en que el conductor de potencia es expuesto al agua, el PFE reacciona de la siguiente manera:

- Si la falla es cerrada en la tierra virtual, una alarma de voltaje es generada; pero el PFE continúa operando y suministrando corriente a la línea.
- Si la falla es cercana a una de las estaciones, el voltaje del PFE a la estación cercana es retirada; causando una alarma de bajo voltaje.

- **Variaciones en la potencia de la Tierra**

Otra causa de las fluctuaciones del voltaje en el PFE que es independiente del sistema de cables, es la potencia (energía) de la tierra, donde el voltaje es inducido entre los puntos en la superficie terrestre como resultado de la fluctuación de los campos magnéticos de la tierra.

3.3. Reparación de fallas

3.3.1. Responsabilidades de las Autoridades de Mantenimiento (MA)

Las responsabilidades de mantenimiento son divididas en funciones dentro del mar y en la tierra en varios segmentos del cable. Para el mantenimiento en el fondo marino, el MA brinda la siguiente ayuda:

- Planificación de gestiones y coordinaciones y, reparaciones de emergencia.
- Coordinaciones de movilización del buque, personal, equipos y herramientas.
- Planes y funciones de reparación.
- Proporciona técnicas necesarias de soporte, orientación, métodos y procedimientos, documentación y más.

Para mantenimiento en la tierra, que se aplica en las estaciones terminales y el cable desde la estación hasta el último punto terrestre en la bahía; las responsabilidades del MA incluyen actividades realizadas en la estación terminal y/o en un Centro de Operaciones de Red (NOC, Network Operation Centers).

3.3.2. Responsabilidades del Buque Cablero

El uso del buque cablero para el mantenimiento de una parte del sistema submarino esta en coordinación con los CMAs (CMAs, Cable Maintenance Agreements) relevantes, u otros acuerdos directos con la empresa dueña del sistema de cable submarino.

Si la opción del CMA es seleccionada, los términos y las condiciones de los acuerdos son contenidos en documentos, que son proporcionados y disponibles a todas las empresas dueñas de sistemas submarinos.

El MA puede elegir ser responsable del planeamiento de la operación de reparación. Si el MA escoge no ser responsable del planeamiento de las operaciones de reparación, entonces el personal operador del buque será responsable del planeamiento de las operaciones.

Cuando un buque de reparación esta trabajando en los sistemas durante las reparaciones, el buque cablero es responsable del control del trabajo con la

cooperación de las estaciones terminales. Todas las actividades relacionadas a la seguridad deben ser en acuerdo con los procedimientos de seguridad establecidos.

3.3.3. Estrategias de reparación

Dentro de las estrategias de reparación, los métodos A y B serán descritos a continuación.

El método A menciona lo siguiente:

El tipo de estrategia de reparación a usarse depende de la ubicación de la falla. Las fallas pueden estar en cualquiera de los siguientes lugares:

- Aguas no profundas (enterrados y no enterrados)
- Aguas profundas
- Cable terrestre

En la mayoría de los casos las reparaciones en el mar son realizados cuando el sistema no esta funcionando. Durante una reparación, cuando los extremos del cable son puestos abordo en el buque, el sistema es a veces potenciado por cortos intervalos con el fin de realizar las pruebas. Cuando un PSBU (Power Switched Branching Unit) es localizado en el segmento a reparar, se hace uso de procedimientos especiales de seguridad.

A continuación se menciona las estrategias para cada ubicación de la falla:

- Reparación en aguas no profundas

Las características típicas de una reparación en aguas no profundas son:

- La ubicación de la falla es generalmente conocida por el uso de electricidad a bajas frecuencias.
- En escasas ocasiones, si se da el caso, se añade cable extra durante la reparación por la profundidad.

Si el cable es enterrado en las cercanías de la falla, la polea del buque debe tener una medida de la distancia de profundidad a alcanzar durante la instalación. Típicamente, una polea Flatfish puede ser usado para penetrar y

recoger el cable que esta enterrada a profundidades superiores de 50 cm. Si se encuentra enterrada a mayores profundidades entonces una polea especial, buzos o un vehículo remoto (ROV, Remotely Operated Vehicle) pueden ser usados para remover el cable y llevarlo a la superficie.

Si el cable no se encuentra enterrado en las cercanías de la falla, puede ser posible de recoger y llevar todo el cable a la superficie sin cortarla (el cable puede sufrir alguna fisura en la proa).

De otra manera, la cuchilla de corte de la polea Gifford puede ser ajustada, de manera que se corte la fibra en el punto más cercano a la falla. Las poleas Gifford son usados para sostener cada extremo cortado. Generalmente el extremo que esta bien, es el primero en recoger por lo que las averías en el cable se encuentran en la parte inferior. Sin embargo, ese extremo es preparado para que la fibra sea probada usando un OTDR convencional. Adicionalmente, el trayecto conductor de potencia es usado para verificar la ausencia de una falla por mover el cable. Si existe alguna razón para sospechar que la falla esta en o más allá del repetidor, se puede hacer uso del COTDR también. En algunos casos, los métodos de prueba y las secuencias de pruebas dependen de las características de la falla previamente revisadas desde la estación terminal y de los resultados de las pruebas con sondas que detectan una señal eléctrica en el cable conductor de potencia.

El extremo recogido es entonces sellado e impulsado fuera (sostenida por una boya), de manera que sea fácil recogerlo después. Así, el otro extremo es recogido y probado de la misma manera que el primer extremo, pero con mayor precisión. El buque de mantenimiento recoge el cable hasta que la falla este a bordo. Después que la parte de la falla es removida del sistema, el cable reparado es unido con el extremo y devuelto a su posición original. Si la falla esta en el repetidor se hace cambios en el repetidor hasta que este funcione bien. Cuando la boya es recobrada, los dos extremos del cable son unidos. Antes de dejar el proceso de reparación, el sistema es encendido y se procede a hacer pruebas, desde las estaciones terminales para verificar la adecuada dirección de la corriente (dc, direct current) y el rendimiento de la transmisión.

- Reparación en aguas profundas

Características típicas de la reparación en aguas profundas:

- La ubicación de la falla puede no ser conocida específicamente como sucede con los otros dos casos.
- 2.5 veces de profundidad marina corresponden a varios kilómetros extra de cable que serán añadidos al sistema durante la reparación.

En aguas profundas se espera que el cable necesite ser cortado antes de ser recogido a la superficie, ya que no se dispone de suficiente longitud del cable u holgura en la parte inferior para que el cable pueda ser traído a la superficie. El corte es hecho por la polea Flatfish con palas cortadoras que son instaladas. En todos los casos, la ejecución del corte o el punto inicial a recoger del fondo marino tiene que ser lo más cercano al punto de falla. La figura 3-18 representa el corte inicial de este tipo de reparaciones. Si una o más fibras presentan fallas, la localización más exacta de la falla es obtenida usando el COTDR en la estación terminal.

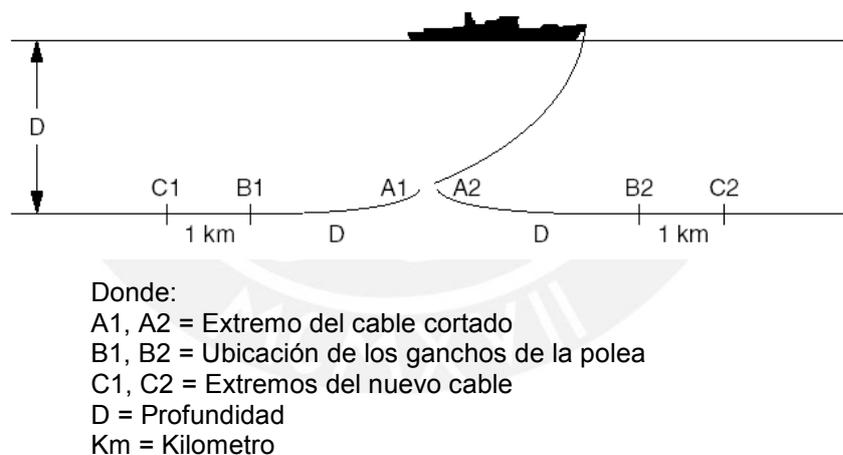


Figura 3-18: Corte inicial de Reparación en aguas profundas
 Fuente: [Tyco Telecommunications South America 1 Cable System]

Después el sujetador con la polea son usados para recoger los extremos cortados y llevarlos a la superficie. Para equilibrar el peso del cable en cualquier lado del gancho de la polea, se ubica el sujetador aproximadamente a una profundidad desde el extremo del cable. Porque el cable puede ser cortado y el posible ingreso de agua en la

fibra B1. El cable recogido mide aproximadamente 1 km. (Ver figura 3-19).

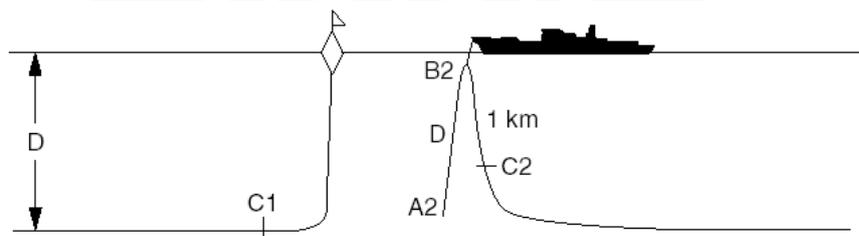


Donde:

- A1, A2 = Extremo del cable cortado
- B1 = Ubicación del gancho de la polea
- C1 = Extremos del nuevo cable
- D = Profundidad
- Km = Kilometro

Figura 3-19: Reparación en aguas profundas – Recuperación inicial
Fuente: [Tyco Telecommunications South America 1 Cable System]

Por lo tanto, la cantidad de cable a ser recogido depende de la profundidad y la exactitud de la localización de la falla inicial. La localización de los repetidores y el punto de cruce o proximidad a los otros cables pueden afectar esta decisión. Después, el extremo libre de fallas es llevado a bordo, haciendo uso del OTDR se procede a hacer las pruebas apropiadas de trayectoria de potencia DC para confirmar que el cable en esta dirección esta libre de fallas antes de sellar el extremo y colocarlo en la boya. El segundo extremo es recogido y examinado en el mismo sentido. (Ver figura 3-20)

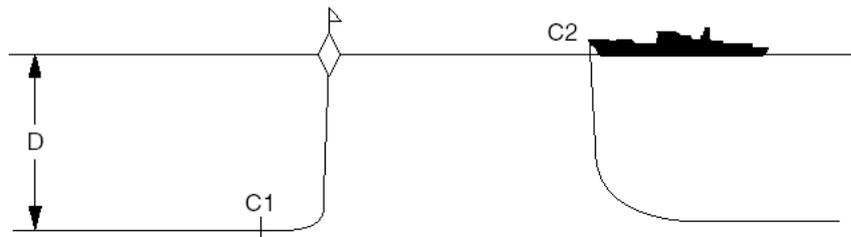


Donde:

- A2 = Extremo del cable cortado
- B2 = Ubicación del gancho de la polea
- C1, C2 = Extremos del nuevo cable
- D = Profundidad
- Km = Kilometro

Figura 3-20: Reparación en aguas profundas. Nuevo extremo del cable en la boya; segundo extremo recuperado.
Fuente: [Tyco Telecommunications South America 1 Cable System]

Se continúa recogiendo hasta que la falla en el cable o repetidor este a bordo. Después de retirar la falla y hacer pruebas para verificar que el cable restante este libre de fallas se procede a instalar una longitud suficiente de cable (si es necesario), un repetidor sustituto es colocado en el sistema para permitir volver a la boya y recuperar el primer extremo. (Ver figura 3-21).

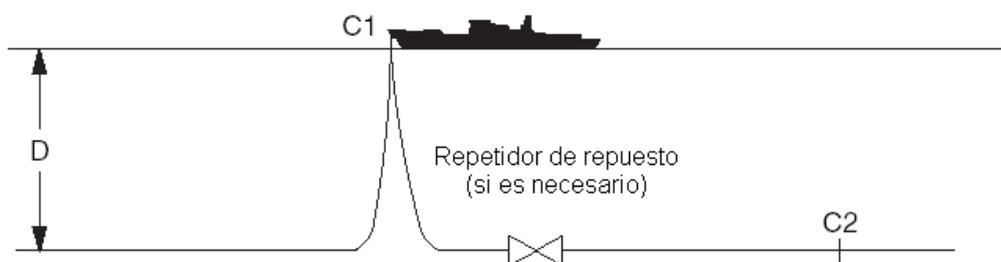


Donde:
C1, C2 = Extremos del nuevo cable
D = Profundidad

Figura 3-21: Reparación en aguas profundas – Segundo extremo a bordo del buque.

Fuente: [Tyco Telecommunications South America 1 Cable System]

Después que ambos extremos estén a bordo y unidos adecuadamente para ser probados, el sistema de cable submarino debe probar mediante mediciones desde las estaciones que estén adyacentes al cable. Así la unión es completada y el cable liberado para ser de vuelta a su posición original. La figura 3-22 representa la instalación de la unión final y la posible ubicación de un repetidor sustituto.



Donde:
C1, C2 = Extremos del nuevo cable
D = Profundidad

Figura 3-22: Reparación en aguas profundas – Unión final e instalación de un repetidor sustituto (si es necesario).

Fuente: [Tyco Telecommunications South America 1 Cable System]

- **Reparación del cable terrestre**

Las características típicas de la reparación en cables terrestres son:

- La ubicación de las fallas son generalmente conocidas, porque la causa de la falla puede ser visualmente obvia o puede ser encontrada por las técnicas de electricidad a baja frecuencia y (si la fibra es dañada) por el OTDR convencional.
- Si se llega a dar el caso, cable extra necesita ser añadido durante la reparación.

En los casos anteriores, las técnicas de unión son los mismos que se aplican bajo del mar. En este último caso, las técnicas de unión son similares a los usados para reparar transmisores ópticos terrestres y cables de potencia.

El método B menciona lo siguiente:

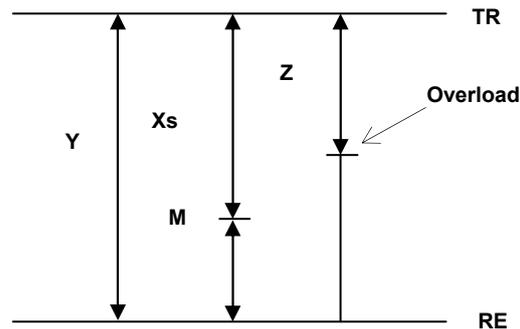
Cuatro diferentes tipos de reparación son clasificados en dos grupos:

- Una para reparaciones terrestres
- Tres para reparaciones submarinas dependiendo de la profundidad de la avería, estas son:
 - Reparaciones pequeñas en los extremos
 - Reparaciones en profundidad moderada
 - Reparación en el fondo marino

Los métodos de reparación no son los mismos, básicamente los diseños de los cables son los mismos por lo que los equipos y procedimientos para las uniones son similares.

Una de las partes más importantes es la de reemplazar una longitud de cable y respetar la potencia eléctrica.

Para la porción terrestre y las de profundidad moderada una longitud extra es siempre provisto para cubrir las futuras reparaciones y deterioro por causa del tiempo de uso. Así, el span budget para todas las secciones puede respetar los aspectos descritos a continuación. Además que el span budget tiene que ser respetado en toda la vida útil del enlace.



$$Z \text{ dB} = X_s \text{ dB} = (Y - M) \text{ dB}$$

Donde:

Y Es la porción entre dos repetidores

M Es el límite a cubrir por el sistema de operaciones y tiempo de vida.

Z Es el menor espacio antes de sobre saturar el sistema (aprox. 15 dB).

X Es la máxima atenuación de la fibra en una sección (acoplamiento más empalmes).

Figura 3-23: Span Budget
 Fuente: [Elaboración propia]

La sección equivalente a la longitud en dB es X_s , que pueden tener un valor en el rango desde Z hasta $Y - M$, pero es casi igual a $Y - M$ en relación a minimizar los números de repetidores en el enlace.

- Reparación en el cable terrestre

En la parte terrestres, se tienen dos tipos de reparación, una para el cable en un ducto y otra para el cable enterrado. En ambos casos los equipos y métodos para las uniones de estos cables son similares. Estos trabajos de reparaciones deben ser hechos por un grupo de personas especializadas. Las reparaciones con urgencia son rápidamente realizadas solo en fibras selectas o en cables rotos. Si la avería esta en un extremo, la caja de unión es generalmente usado para reemplazar la parte dañada, por lo que no es necesario nuevos cables.

o Cable en el conducto

Si el cable se encuentra transmitiendo (a pesar de la falla) entonces la mejor solución es poner un nuevo cable en un conducto libre, antes deben

ser instalados las cajas de uniones, con la finalidad de seguir transmitiendo y el tiempo sin funcionamiento sea el menor posible. En este caso, la longitud entre las cajas de unión es reemplazada por el nuevo cable a instalarse en el conducto libre. Esta solución solo es posible cuando se tiene un ducto disponible para el nuevo cable.

Si el ducto se encuentra roto, una reparación temporal puede ser efectuada mientras se repara el ducto.

En relación a evitar reemplazar toda la sección del cable (1) es posible solo el cambio de la longitud entre una caja de unión y la posición donde una nueva caja de unión puede ser instalado (2, 3). En algún caso, una longitud de cable tiene que ser reemplazado y las dos uniones tienen que ser realizadas. Tal como se puede apreciar en la figura 3-24:

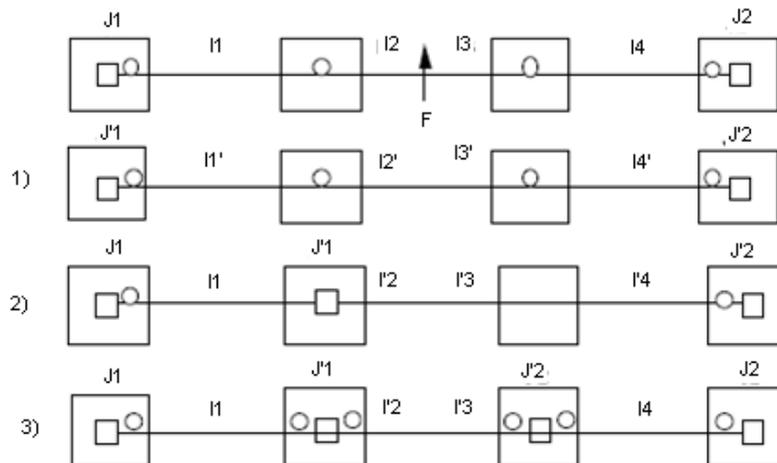


Figura 3-24: Reparación de los cables en los ductos
Fuente: [Elaboración propia]

- Cable enterrado

De la misma manera que el cable en los ductos, si el cable aún es usado para la transmisión (a pesar de la falla), tiene que ser reemplazado uniendo un nuevo cable a lo largo de la posición; ya que la mejor solución es limitar la interrupción del servicio.

Una porción del cable enterrado tiene que ser desenterrado (principalmente donde está la falla), nosotros podemos usar una parte de la longitud del recambio para unirla con la nueva caja de unión. Una caja de unión y protección externa pueden ser instalados en la posición exacta de la falla.

Cuando una nueva caja de unión tiene que ser usada en cualquier otra parte, para reemplazar la parte averiada, un nuevo cable debe ser usado (2). Toda la longitud del cable entre los dos extremos debe ser reemplazados. Se puede apreciar en la siguiente figura 3-25 la reparación del cable enterrado.

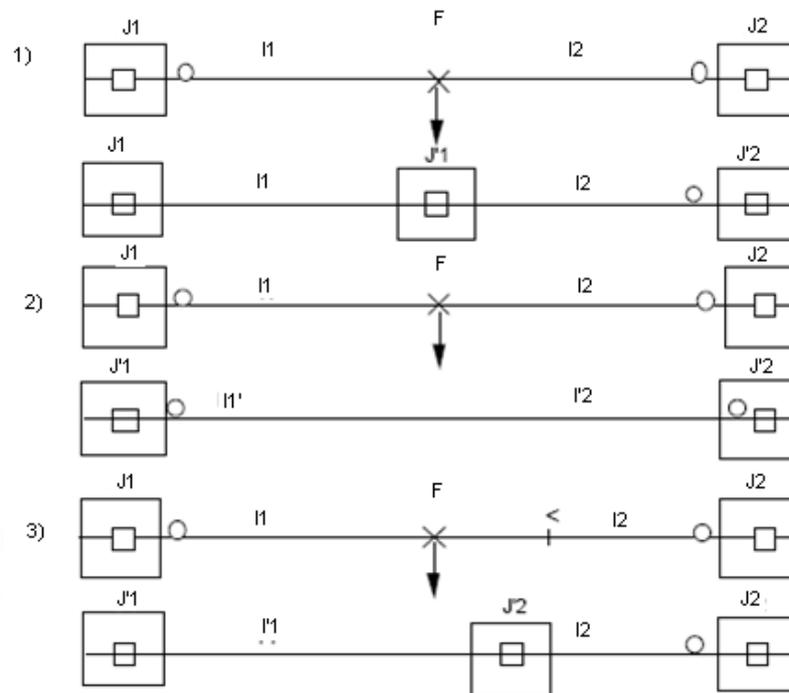


Figura 3-25: Reparación del cable enterrado
Fuente: [Elaboración propia]

- **Reparación en profundidades moderadas**

Las averías reparadas en aguas no profundas son usualmente causadas por acciones externas. La eficacia en la ubicación de la falla es más que en aguas profundas.

Estas reparaciones son hechos en el caso de fallas que se ubiquen como máximo 1000 metros de profundidad; hasta los 30 metros de profundidad es posible el uso de buzos para ubicar la avería, corte de cable y ayudar a recoger el cable a la superficie.

Las secciones de cable en aguas no profundas deben incluir reparaciones marginales (desde las afueras del cable) que permitan diversas

reparaciones a ser realizados en la misma sección de cable sin la necesidad de instalar un repetidor adicional. La cantidad exacta de reparaciones marginales requeridas en cada sección dependen del riesgo local que tenga cada sección.

Las reparaciones marginales cubren una longitud extra del cable requeridos para realizar el empalme final (menor de 0.2 dB).

El cable tendrá que ser bien unido de manera de evitar altas tensiones cuando este sea arrastrado o movido durante la reparación.

Reparación del cable enterrado en profundidades moderadas

Diversas herramientas pueden ser usadas para este fin:

- Un sistema de aire levantado (de uso solo en aguas poco profundas con profundidades no mayores de 50 metros).
- Un sumergible, el cual tiene la capacidad de sumergirse para cortar y recoger el extremo del cable a ser analizado.
- Una grúa capaz de poner el cable a las afueras del agua.

Sin embargo estos dispositivos tienen algunas limitaciones del uso, que son: el sistema de aire levantado solo se puede usar en aguas no muy profundas, el sumergible no es fácil de manejar en condiciones fuertes como tormentas, la grúa marina puede ser usado solo si el cable no está muy enterrado.

Como la ubicación del cable no es muy profunda (profundidad moderada) es posible recoger el cable por los dos extremos, si el cable es roto o cortado será necesario proporcionar dos dragas para recoger el cable. Si la parte profunda del cable no es posible recuperarla, para recoger el cable por ambos extremos, será necesario proporcionar una draga de corte en esa sección.

Así también es posible hacer la unión final en el lado poco profundo para disminuir la longitud del cable extra a ser usado. En algún caso será necesario eliminar parte del cable, para lo cual se tendrá que proporcionar dos cajas de unión (uno en cada extremo) y una nueva longitud de cable.

En el peor de los casos en la ruptura de un cable o la falla de algún componente en un repetidor, la sección de cable debe ser anclada a una draga en la mitad; ya que la localización exacta de la avería entre los dos repetidores no es conocido. En este caso se hace solo dos uniones, se debe hacer uso de un recambio de la longitud del cable de más de la mitad.

Después de la reparación, el cable puede ser enterrado de nuevo usando un sumergible. En algunos eventos, es recomendable unir muy apropiadamente al empalme final evitando la exposición externa. Además se recomienda seleccionar un cable de alta protección.

- **Reparación del cable en la profundidad marina**

Para algunos sistemas, se puede proporcionar la inclusión de una reparación marginal; inclusive en altas profundidades. Este particular caso cuando la cantidad de secciones que se encuentran en aguas profundas no son demasiadas. Esto simplifica la operación de reparación y puede reducir el tiempo de interrupción en el sistema.

- **Reparación en extremos cortos**

Estas reparaciones son realizadas en aguas con profundidades menores a 10 metros

En esta parte del enlace, una margen de reparación es planeada en el presupuesto de potencia para tener en cuenta las pérdidas extras equivalentes a dos empalmes (entre 0.2 y 0.3 dB).

Muchos problemas pueden ocurrir, por ejemplo:

- Áreas rocosas
- Cable enterrado
- Problemas en la ubicación del cable
- Otros cables en la misma área

Hay dos posibilidades de hacer el trabajo de reparación dependiendo de la ubicación de la avería y la disponibilidad del buque.

Si la avería es en la parte profunda, solo una parte del cable debe ser reemplazado; si la avería es muy cercana a la bahía, la única solución es unir un nuevo extremo corto.

- Reparación normal

Si las dos uniones pueden ser proporcionadas a bordo del buque, el cable es puesto en la draga y colocado en el lado profundo de la falla lo más cercano posible a la avería (1).

Debido al ingreso del agua, después de recuperar la draga, parte del cable debe ser eliminado. La longitud a eliminar tiene una regular dimensión, por lo que el primer empalme debe ser hecho inmediatamente, la nueva parte del cable unido y el último empalme tiene que terminar la operación (1B).

Después que la avería ha sido localizada por los buceadores o por los métodos de localización (ópticos o eléctricos), la longitud de cable donde agua hizo su ingreso debe ser reemplazada. Esta longitud es muy pequeña en aguas poco profundas debido a la baja presión.

Si la avería es solo externa con ningún problema en el ingreso de agua, puede ser posible el uso de dispositivos de unión y hacer uso de una sola caja de unión (1A).

En este caso, el margen es reducido a 1 o 2 empalmes (0.1 – 0.3 dB).

Lo descrito anteriormente puede ser visto en la siguiente figura 3-26 (1, 1A y 1B):

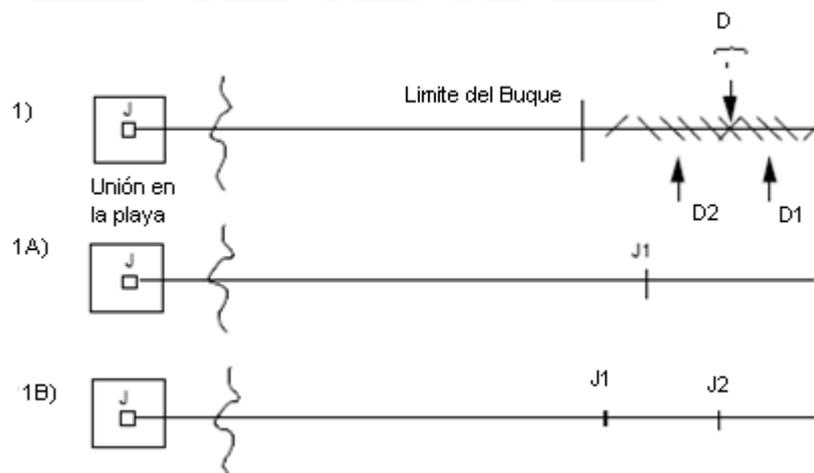


Figura 3-26: Reparación normal de un extremo de cable corto
Fuente: [Elaboración propia]

- Adhesión del nuevo extremo corto

En los casos donde la avería no puede ser reparada a bordo del buque la adhesión de un nuevo extremo tiene que ser efectivo. En este caso, como una reparación normal, la recuperación de la draga será realizada en el lado más profundo de la avería donde el buque pueda anclar. La máxima longitud del cable será recuperada, siendo la longitud desde el punto donde está ubicada la draga hasta la playa. Un nuevo extremo corto será unido (2). En este caso, las personas preparadas y los equipos a usar son requeridos para una unión normal de extremos cortos

Además es necesario tener un equipo trabajando en la parte terrestre para la unión normal de extremos cortos y para las nuevas uniones a realizarse en la playa. También podría ser necesario el uso de un tractor para enterrar el cable en la playa y será necesario tener buena comunicación con el equipo localizado en la parte terrestre (comunicación entre el equipo en la parte terrestre con el equipo del buque).

En el caso de un nuevo extremo corto, el margen de pérdida es reducida por un empalme (0.1 – 0.2 dB).

Tal como se aprecia en la siguiente figura 4-27 (2):

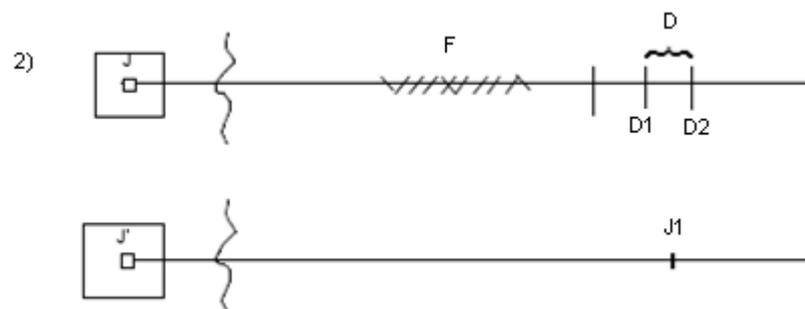


Figura 3-27: Unión de un extremo de cable corto.
Fuente: [Elaboración propia]

Se tiene la siguiente secuencia de Operación general de Reparaciones, donde hace su participación el buque de mantenimiento.

El buque cablero realizará la reparación de acuerdo a lo que sigue:

- Cortar la sección de la falla, lo más cercano posible a la avería.
- Recoger o poner a bordo un extremo del cable.

- c) Limpiar la parte del cable donde el agua dentro del cable es evidente (típicamente un máximo de 1000 metros de la parte rota del cable).
- d) Analizar el cable abordo.
- e) Hacer uso de pruebas de potencia eléctrica en sistema entre el buque y la estación, estas pruebas son hechas por el buque.
- f) Mediciones ópticas y de transmisión con un equipamiento terminal de transmisión, el cual se encuentra equipado dentro de todo buque de mantenimiento.
- g) Analizar los resultados de los puntos d y f sobre la ubicación del cable fallido.
- h) Colocar una boya en el extremo del cable.
- i) Recoger el otro extremo.
- j) Hacer la misma secuencia desde el paso e hasta la g.
- k) Después de haber determinado la parte averiada, una alternativa puede ejecutarse:
 - i. La avería está en la parte del enlace que se encuentra a bordo
 - ii. O no,Es recomendable poner la parte del enlace que no tiene falla en una boya.
- l) El siguiente paso será limpiar la avería.
- m) Calcular la mínima atenuación del nuevo cable con la siguiente información:
 - o Potencia de salida óptica
 - o Atenuación de la fibra óptica
 - o Mínima longitud del cable adicional debido a la profundidad.
- n) Preparación de la primera caja de reparación.
- o) Hacer pruebas de transmisión en el enlace completo (incluyendo el cable añadido) entro el buque y la estación terrestre.
- p) Unión de la parte reparada.
- q) Preparación final de la caja de reparación.
- r) Hacer la prueba final, desde una estación hacia la otra estación.
Ejecutar el último empalme.

Conclusión de reparación de fallas

Tal como se pudo leer lo descrito anteriormente en el método A como en el método B; si ha de elegir uno de ellos como el mejor sería el método A, siempre y cuando las fallas no se presenten tan a menudo en la parte terrestre, para lo cual se tiene que prever posibles fallas (mantenimiento preventivo). Y como la descripción del método A para la parte submarina es mejor en el sentido no solo del fácil entendimiento sino el de su eficiencia, menor uso de tiempo en la reparación, tratar en todo momento de ahorrar cable (genera gastos adicionales al del trabajo de reparación), evitar más daños al cable de los que pueda tener y las recomendaciones de pruebas de comprobación. Sabiendo que la mayor desventaja que tienen estos cables es su fragilidad ante rupturas que pueden ser ocasionados por ejemplo fácilmente por un ancla de barco, a pesar de que estos cables estén cubiertos con blindajes especiales (señalados en los anexos, los tipos de cables).

En este sentido el método A es el mejor. Aunque lo mejor es la combinación de ambos sacando lo mejor de cada método; es decir la parte submarina del método A y la parte terrestre del método B (hace referencia a los cables en ductos y los enterrados) y teniendo en cuenta dentro del método B la reparaciones de extremo cortos. Se tendría un método único.

3.3.4. Participación de la estación terminal en la reparación de Cables Submarinos

El primer paso en la reparación, es apagar o quitar suministro eléctrico en la porción del sistema submarino donde se harán los trabajos de reparación. Con las herramientas a bordo y los procedimientos existentes para hacer la reparación del sistema que contiene los PSBUs (Power Switched Branching Units), que permite que dos de las tres patas del BU (Branching Unit) sean potenciados mientras la pata que contiene la falla se encuentre sin suministro de energía.

- Pasos en planeamiento de reparación en el mar

El plan de reparación usualmente avanza de acuerdo a los siguientes procesos. Las modificaciones en estos pasos, dependen de las circunstancias específicas de la falla.

1. Confirmación estimada de la ubicación de la falla
Recibir una notificación de falla en el sistema y la ubicación de la falla es estimada desde la estación terminal. Toda la información disponible es considerada.
2. Plan de reparación
Dependiendo de la ubicación de la falla y la exactitud esperada de la falla, se hace un plan borrador de reparación o Método de Procedimiento (MOP, Method of Procedure) puede ser elaborado.
3. Selección de equipos a ser cambiados
Cuando el plan de reparación es finalizado, el EIC, o autoridad responsable de reparación, determina las necesidades de los equipos o si se requiere de hacer otras pruebas especializadas para la reparación.
4. Organización del equipo que ejecutara las reparaciones
Un equipo de reparación esta formado por el EIC, personas que trabajan en la unión del cable, ingenieros de transmisión y oficiales de seguridad de la potencia.
5. Seleccionar el buque cablero
El CMA aplicable, en caso de un acuerdo que involucra a varios buques, usualmente determina el buque asignado a hacer la reparación.
6. Carga del buque cablero
Normalmente, después de seleccionar al buque que hará las reparaciones, los equipos de recambio son puestos a bordo.
7. Notificación del equipo que ejecutara las uniones
Dependiendo del buque seleccionado y de las actividades, un grupo de uno a cuatro personas que hacen las uniones del cable son asignados para la reparación.
8. Proporcionar soporte de ingeniería

Apoyo adicional puede ser requerido por parte de los miembros del grupo durante la reparación actual. Esto puede incluir alguna necesidad de información adicional, enlaces de comunicación o algunas otras más, que pueden ser proporcionadas por las estaciones terminales.

9. Proporcionar reportes de reparaciones

3.3.5. Participación de la estación terminal en la reparación de Cables Terrestres

El MA es responsable de la supervisión de la localización de fallas y reparaciones en las secciones terrestre y submarina. Generalmente, el personal de la estación terminal es responsable de reparar la fibra óptica terrestre.

3.4. Procedimientos y Unión de equipos

3.4.1. Unión del cable

La unión de cables se aplica para conectar tipos de cables similares, ya sean cables terrestres o submarinos. La unión proporciona óptica, eléctrica y mecánicamente continuidad entre las secciones de cables contiguos.

Las técnicas de unión son similares en relación a los propósitos de proporcionar fuerza, resistencia a la torsión, llevar potencia y pérdida óptica a través de la conexión.

3.4.2. Tipos de uniones

Dos tipos de uniones de reparación son usados:

- Unión Millennia, usado para reparar cables submarinos.
- Unión terrestre, usada para reparar cables terrestres.

3.4.3. Unión de cables submarinos

Uniones usadas durante la reparación en el mar, son diseñados para ser manipulados por la maquina convencional de cable y para ser enterrados sin degradar o alterar su rendimiento.

La tecnología de unión uniforme usado para reparar en los buques cableros participan el CMA SeaHorse (Cable Maintenance Agreement). Durante la

reparación en el mar, el entrenamiento y las herramientas de unión son extremadamente importantes. Es usualmente responsabilidad de las autoridades de mantenimiento (MA, Maintenance Agreement) o compañías dueñas del sistema quienes aseguran que los buques estén equipados con el correcto tipo y cantidad de herramientas de unión, partes de piezas a usarse y personal entrenado.

- MJ (Millennia Joint)

El MJ fue inicialmente desarrollado usando las principales características de las uniones rápidas universales (UQJ, Universal Quick Joint), particularmente es de fácil ensamblado. También usa equipos de campo desplegados actualmente en los buques, como máquinas de moldeo, equipos de rayos x, prensas y maquinas de empalme. El MJ es esencialmente un UQJ expandido, usado para sistemas con repetidoras, que han sido moldeados con polietileno en una manera similar que los usados en las primeras tecnologías de uniones (tipo 11) o para uniones universales. Las partes principales del MJ son mostradas en la figura 3-28.

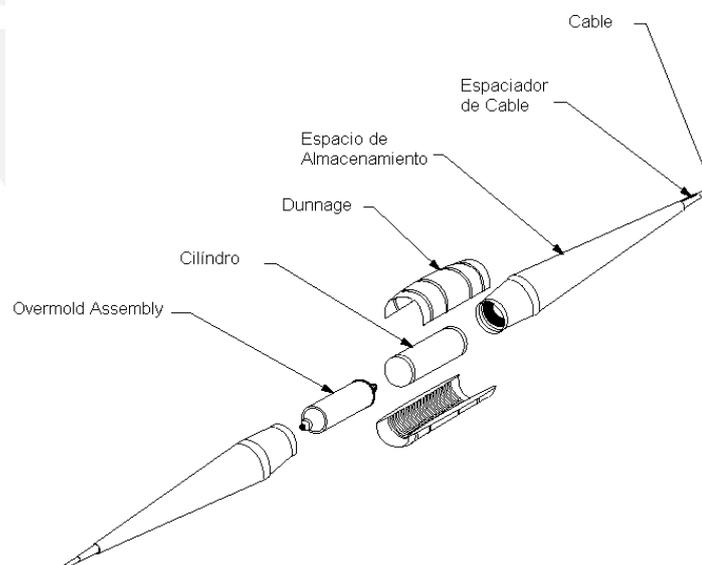


Figura 3-28: Unión Millennia (MJ)
Fuente: [Tyco Telecommunications & Sam-1]

- **Herramientas de unión y equipamiento**

Los buques cableros participantes en el CMA SeaHorse teniendo todas las herramientas y personal entrenado requeridos para la reparación del sistema submarino.

- **Partes de piezas de unión requeridas (kits)**

Además de los equipos y las herramientas, el número y variedades de las partes de las piezas de unión son a veces referidos como “kit”, son necesarios para la unión de cables durante una operación de reparación.

Una combinación de kits son requeridos por cada unión. Para la mayoría de tipos de cables se requieren cuatro, cinco o seis kits; donde los tipos de cables pueden ser LW (lightweight), SPA (Special Application), LWA (Lightweight Armored), SA (Single Armored) y DA (Double Armored).

3.4.4. Unión de cables terrestres

Las uniones de cables terrestres son usadas en las cámaras y empalmes para conectar los cables terrestres con los cables submarinos. Las uniones intermedias son también usadas a lo largo de la ruta terrestre para conectar cables RL con cables RL (trayectoria óptica) o cables terrestres HV con cables terrestres HV (trayectoria de potencia). Las uniones en los cables terrestres son hechas usando la versatilidad y el hardware de las técnicas de empalme terrestres convencionales. Eliminando la necesidad de los equipos de rayos X. Cada unión terrestre y empalme es probado para asegurar su buen rendimiento.

Estas uniones son diseñadas para cumplir con los estándares industriales.

Los cuales consisten en:

- Empalme de fibra óptica de cierre (FOSC, Fiber Optic Splice Closure)
- Bandeja de almacenamiento de fibra
- Caja de aislamiento de alto voltaje (solo en la cámara de la playa)
- Empalmes de fibra
- Unión de separación de potencia (solo en la cámara de la playa)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Desde la década de los 80 del siglo pasado, los cables submarinos no han parado de crecer y de aumentar su capacidad. De los cables coaxiales de cobre instalados en esa época, se ha pasado a las actuales de fibra óptica, que alcanzan una velocidad de transmisión de más de 7 Terabits por segundo (Tbps), que equivale a más de siete billones de bits cada segundo.
- Las redes basadas en satélites han colapsado, debido al incremento sustancial de la demanda y como tal, esta tecnología no podía brindar el ancho de banda que se necesitaba, razón por el cual, hoy se utiliza con mayor auge las redes por cable submarino llegando a ocupar la mayoría de las telecomunicaciones internacionales.
- Los cables submarinos son el punto frágil de la cadena de transmisión de datos y suelen romperse con mucha frecuencia, razón por el cual son vulnerables al medio ambiente, a los daños físicos y al inadecuado uso, entonces para prever la rotura o deficiencias del cable se debe establecer procedimientos y recomendaciones efectivos para una correcta operación y mantenimiento de la red de cable submarino, sean preventivos y correctivos, para garantizar su normal funcionamiento.
- Los procedimientos y recomendaciones para la operación y, mantenimiento preventivo y correctivo de la red de cable submarino, son lineamientos técnicos operativos indispensables para lograr la optimización y eficiencia de los servicios que ofrece la red de cable submarino a los clientes.
- En la actualidad existe una gran conectividad mundial a través de cables submarinos formando anillos, donde estas topologías anillo cuentan con

protección en caso de falla (doble anillo) del equipos o corte de un cable; sin embargo debido a la gran cantidad de información que transportan se debe restablecer lo antes posible el equipo o cable dañado, dado que mientras no haya sido solucionada la falla el sistema permanecerá sin respaldo, produciéndose una crisis de proporciones en caso de producirse una nueva falla en otro lugar del anillo.

- Los cables de fibra óptica deben contar con la mayor protección posible, sea en el blindaje como señalización de su ubicación. Esto con la finalidad de evitar algún tipo daño que pueda producir fallas grandes, no pudiendo operar eficazmente y correctamente.
- Debido a la necesidad de transmitir grandes cantidades de información, y cada vez más, la tecnología a emplearse es la DWDM por las bondades que esta ofrece en comparación a otras tecnologías desarrolladas como SDH. Para lo cual las redes deben estar provistas de los equipos adecuados para la aplicación de esta tecnología.
- Las estaciones terminales (LTE) además de contar con los equipos apropiados, se tiene que contar con personal altamente capacitado para la operación de la red como su mantenimiento (preventivo y correctivo).
- Con la finalidad de no tener fallas (a veces inevitables) en la operación de la red, tener un uso óptimo de la red y evitar gastos económicamente grandes a las empresas operadoras; se deben tener en cuenta todas las recomendaciones (aplicación de métodos) descritas en el mantenimiento preventivo tanto en los equipos submarinos como terrestres. En los que destaca las pruebas de rutina de mantenimiento.
- Se debe tener un historial de información del monitoreo de los estados de operación de la red; los cuales serán de mucha ayuda cuando suceda algún tipo de falla en la red, con la finalidad de localizar lo más rápido posible la falla.

- La exactitud de los sistemas ópticos de localización, cuando pueden ser aplicados, entregan el mejor resultado, con errores que pueden ser tan bajos como un 0,1%.
- Los sistemas eléctricos de localización de fallas, dependen de muchos parámetros que son variables y particulares para cada enlace, lo que significa una precisión mucho menor que los medios ópticos, pudiendo llegar a presentar un error tan grande como 1%.
- Los amplificadores utilizan aisladores ópticos en sus salidas para mantener estable la transmisión evitando el ingreso de señales reflejadas. La colocación de estos aisladores y las grandes distancias, que involucran grandes pérdidas ópticas de los enlaces submarinos hacen imposible el uso del OTDR para la localización de fallas en el cable, tal como se utiliza normalmente en enlaces terrestres. Es por eso que se hace indispensable el uso de ambos métodos (ópticos y eléctricos) para la localización de fallas.
- Antes de proceder a la reparación de la falla, se tiene que tener la mayor certeza de la localización exacta de la falla. Para tener el menor tiempo en la interrupción de la operación de la red y disminuir los costos por la reparación.
- Cuando se tenga un enlace libre de repetidores usar el OTDR para la revisión ante fallas; pero de haber repetidores en el enlace a revisar usar el COTDR (OTDR Coherente).
- Topo tipo de mantenimiento preventivo y correctivo debe ser realizado por personal altamente capacitado, con conocimientos de operación de los equipos.

RECOMENDACIONES

Luego de analizar minuciosamente los diversos métodos aplicados en la Operación y Mantenimiento del Sistema de Cable Submarino, se llegan a dar las siguientes recomendaciones:

- De acuerdo a las evaluaciones efectuadas en la presente tesis sobre la localización de fallas, mediante localización de fallas ópticas, es recomendable el método A que consiste básicamente en el uso de métodos ópticos reflectométricos, que son el OTDR (enlaces sin repetidoras) y el COTDR (enlaces con repetidoras), y de Equipos de Monitoreo de la Línea Multi-Sidetone (MST LME, Multi-Sidetone Line Monitoring Equipment).
- Siguiendo con las evaluaciones efectuadas en la tesis sobre la localización de fallas, mediante localización de falla por métodos eléctricos, es recomendable el método B que consiste básicamente en la localización de fallas como las fallas eléctricas tipo shunt.
- Continuando con las evaluaciones en la presente tesis sobre la reparación de fallas, fallas marítimas, es recomendable el método A que consiste básicamente en las reparaciones que se hacen en aguas no profundas y profundas, haciendo uso de diversos equipos y personal especializado.
- Por último, de acuerdo a las evaluaciones efectuadas en la presente tesis sobre la reparación de fallas, fallas terrestres, se recomienda el método B el cual consiste básicamente en las reparaciones que se hacen en la parte terrestre; diferenciando la reparación cuando el cable se encuentra dentro de un ducto y cuando se encuentra enterrado (sin ducto).

BIBLIOGRAFÍA

1. Telecommunications Industry Association TIA, Commercial building telecommunications Cabling standard, 2001 – 2005.
2. ITU-T, Draft Recommendation G.829, 2001.
3. J. Featherstone, A. Cronin, M. Kordahi and S. Shapiro, Recent trends in cable systems faults, 2005.
4. Derickson, Dennis ed.; Fiber optic test and measurement; Upper Saddle River: Printice – Hall PTR, 1998.
5. Laude Jean-Pierre, DWDM fundamentals, components and applications, Boston: Artech House, 2002.
6. Sexton, Mike, Broadband networking; ATM, SDH and SONET; Boston: Artech House, 1997.
7. The International Engineering Consortium, Synchronous Digital Hierarchy (SDH), 2002.
8. Juniper Networks, SONET/SDH PICs, 2006.
9. Saleh, Adel A. M. Optical WDM technology for networking and switching applications, 1992.
10. Schwartz, Mischa, Redes de telecomunicaciones: protocolos, modelo y análisis; Wilmington, DE: Addison – Wesley, 1994.
11. Alcatel Lucent Technologies, DWDM, 2002
12. Cisco System, Academia de Networking de Cisco System: CCNA 1 y 2, Madrid: Cisco Systems, 2004.
13. Cisco System, Academia de Networking de Cisco System: CCNA 3 y 4, Madrid: Cisco Systems, 2004.
14. Miguel De La Sotta C. UIT, Redes Submarinas de fibras ópticas, Mayo 2004.
15. Miguel De la Sotta Cerbino, Localización de fallas en cables submarinos. USACH, Setiembre 2007.
16. Tyco Telecommunications. O&M South America 1 Cable System, Marzo 2007.
17. Tyco Telecommunications. SAm- 1 Extensions Type A Cable System, Marzo 2007.
18. Alcatel Lucent Technologies. SAC Network Cable Maintance, Agosto 2007.

19. Telefónica International Wholesale Services (TIWS), Cable Submarino Sam-1, 2007.
20. Alcatel Lucent Technologies. SAC Network Cable Description, Agosto 2007.
21. <http://www.coit.es/publicac/publbit/bit131/especial6.htm>
22. <http://magda.elibel.tm.fr/cdc/sdh.html>
23. <http://www.senacitel.cl/downloads/senacitel2002/ID022.pdf>
24. www.nortel.com
25. www.tyco.com
26. www.alcatel-lucent.com
27. www.siemens.es



RELACIÓN DE ANEXOS

- Anexo 1: Tipos de cables para la implementación de una red de cable submarino.
- Anexo 2: Generaciones de los Equipos Terminales (LTE)
- Anexo 3: Amplificador en las Estación Terminal (TLA) – Generación 1 y Generación 2.
- Anexo 4: Herramientas y equipos apropiados para la limpieza de los conectores.
- Anexo 5: Métodos de limpieza de protuberancias en los extremos de la fibra.
- Anexo 6: Alarmas y estados de los Equipos en la Estación Terminal, relacionados a un equipo con fallas.

