

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.977

(12/2006)

SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN,
SISTEMAS Y REDES DIGITALES

Secciones digitales y sistemas digitales de línea –
Sistemas en cables submarinos de fibra óptica

**Características de los sistemas de cable
submarino de fibra óptica con amplificación
óptica**

Recomendación UIT-T G.977

UIT-T



RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE G
SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100–G.199
CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES A TODOS LOS SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORAS	G.200–G.299
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES DE PORTADORAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.300–G.399
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES EN RADIOENLACES O POR SATÉLITE E INTERCONEXIÓN CON LOS SISTEMAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.400–G.449
COORDINACIÓN DE LA RADIOTELEFONÍA Y LA TELEFONÍA EN LÍNEA	G.450–G.499
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN Y DE LOS SISTEMAS ÓPTICOS	G.600–G.699
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.700–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900–G.999
Generalidades	G.900–G.909
Parámetros para sistemas en cables de fibra óptica	G.910–G.919
Secciones digitales a velocidades binarias jerárquicas basadas en una velocidad de 2048 kbit/s	G.920–G.929
Sistemas digitales de transmisión en línea por cable a velocidades binarias no jerárquicas	G.930–G.939
Sistemas de línea digital proporcionados por soportes de transmisión MDF	G.940–G.949
Sistemas de línea digital	G.950–G.959
Sección digital y sistemas de transmisión digital para el acceso del cliente a la RDSI	G.960–G.969
Sistemas en cables submarinos de fibra óptica	G.970–G.979
Sistemas de línea óptica para redes de acceso y redes locales	G.980–G.989
Redes de acceso	G.990–G.999
CALIDAD DE SERVICIO Y DE TRANSMISIÓN – ASPECTOS GENÉRICOS Y ASPECTOS RELACIONADOS AL USUARIO	G.1000–G.1999
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.6000–G.6999
DATOS SOBRE CAPA DE TRANSPORTE – ASPECTOS GENÉRICOS	G.7000–G.7999
ASPECTOS RELATIVOS A LOS PROTOCOLOS EN MODO PAQUETE SOBRE LA CAPA DE TRANSPORTE	G.8000–G.8999
REDES DE ACCESO	G.9000–G.9999

Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.

Recomendación UIT-T G.977

Características de los sistemas de cable submarino de fibra óptica con amplificación óptica

Resumen

La Recomendación UIT-T G.977 trata de la calidad de funcionamiento del sistema y de los requisitos de la interfaz de los sistemas submarinos ópticos con repetidores que utilizan un amplificador de fibra óptica (OFA) como repetidor de línea. Comprende los aspectos relacionados con los sistemas de una sola longitud de onda (SWS), con los sistemas de multiplexación por división en longitud de onda (WDMS) y con los sistemas de multiplexación por división en longitud de onda densa (DWDMS). La implementación física de los sistemas submarinos de fibra con amplificación óptica se considera en el anexo A.

Orígenes

La Recomendación UIT-T G.977 fue aprobada el 14 de diciembre de 2006 por la Comisión de Estudio 15 (2005-2008) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución 1 de la AMNT.

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

NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

La observancia de esta Recomendación es voluntaria. Ahora bien, la Recomendación puede contener ciertas disposiciones obligatorias (para asegurar, por ejemplo, la aplicabilidad o la interoperabilidad), por lo que la observancia se consigue con el cumplimiento exacto y puntual de todas las disposiciones obligatorias. La obligatoriedad de un elemento preceptivo o requisito se expresa mediante las frases "tener que, haber de, hay que + infinitivo" o el verbo principal en tiempo futuro simple de mandato, en modo afirmativo o negativo. El hecho de que se utilice esta formulación no entraña que la observancia se imponga a ninguna de las partes.

PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB en la dirección <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© UIT 2008

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

	Página
1 Alcance	1
2 Referencias	1
3 Términos y definiciones	3
3.1 Términos definidos en otras Recomendaciones	3
3.2 Terminos definidos en esta Recomendación	4
4 Abreviaturas, siglas o acrónimos	7
5 Características y calidad de funcionamiento del sistema	10
5.1 Características y calidad de funcionamiento de las secciones de línea digital (DLS).....	10
5.2 Balance de potencia óptica	11
5.3 Características de fiabilidad del sistema.....	13
5.4 Mejorabilidad de la capacidad del sistema.....	14
6 Características y calidad de funcionamiento del TTE	14
6.1 Generalidades	14
6.2 Calidad de funcionamiento de la transmisión	15
6.3 Acciones como consecuencia de una alarma.....	15
6.4 Conmutación automática	16
7 Características y calidad de funcionamiento de los repetidores submarinos ópticos (OSR, <i>optical submarine repeaters</i>)	16
7.1 Características mecánicas	16
7.2 Características eléctricas	17
7.3 Características ópticas	17
7.4 Mecanismos de supervisión.....	17
7.5 Localización de averías	18
7.6 Fiabilidad.....	19
8 Características y calidad de funcionamiento de la unidad de derivación (BU, <i>branching unit</i>) en línea.....	19
8.1 Generalidades	19
8.2 Características mecánicas	19
8.3 Características eléctricas	20
8.4 Características ópticas	21
8.5 Mecanismos de supervisión.....	21
8.6 Localización de averías	21
8.7 Fiabilidad.....	21
9 Características y calidad de funcionamiento del ecualizador submarino óptico (OSE).....	21
9.1 Características mecánicas.....	22
9.2 Características eléctricas (sólo para OSE ajustables).....	22

	Página
9.3	Características ópticas 23
9.4	Mecanismos de supervisión..... 23
9.5	Fiabilidad..... 23
10	Características y calidad de funcionamiento del cable submarino 23
10.1	Correspondencia de la dispersión..... 23
10.2	Implementación de la gestión de dispersión..... 24
Anexo A	– Implementación de sistemas de cable submarino de fibra óptica con repetidores que utilizan amplificador de fibra óptica 25
A.1	Introducción..... 25
A.2	Configuración del sistema 25
A.3	Calidad de funcionamiento del sistema 29
A.4	Funcionamiento del sistema 31
A.5	Características de los repetidores submarinos ópticos (OSR), de las unidades de derivación (BU) y de los ecualizadores submarinos ópticos (OSE)..... 32
Bibliografía 34

Recomendación UIT-T G.977

Características de los sistemas de cable submarino de fibra óptica con amplificación óptica

1 Alcance

Esta Recomendación trata de la calidad de funcionamiento del sistema y de los requisitos de la interfaz de los sistemas submarinos ópticos con repetidores que utilizan amplificadores de fibra óptica (OFA, *optical fibre amplifier*) como repetidores de línea. Comprende los aspectos relacionados con los sistemas de una sola longitud de onda (SWS, *single wavelength system*), con los sistemas de multiplexación por división en longitud de onda (WDMS, *wavelength division multiplexing system*) y con los sistemas de multiplexación por división en longitud de onda densa (DWDMS, *dense wavelength division multiplexing system*). Según las especificaciones del sistema, tales como el número de terminaciones, la conectividad, la capacidad total, la máxima distancia de extremo a extremo y/o el costo del sistema, uno de estos tres tipos de sistemas puede ser más adecuado para garantizar los requisitos del sistema. Puede cursarse una elevada capacidad de datos por una longitud de onda utilizando una velocidad binaria de datos elevada o por varias longitudes de onda utilizando una velocidad más pequeña.

Desde un punto de vista general, las características, las especificaciones de calidad de funcionamiento y los requisitos del equipo sumergido son en su mayoría idénticos en los SWS, WDMS y DWDMS. Evidentemente, los SWS aparecen como un caso específico de los WDMS que utilizan una sola longitud de onda, y a su vez, los WDMS pueden considerarse un caso específico de los DWDMS, pero con un número más reducido de longitudes de onda. Como consecuencia, las indicaciones generales citadas en esta Recomendación pueden aplicarse a los SWS, WDMS y DWDMS. Sin embargo, cuando sea necesario, Recomendaciones más detalladas resaltarán la especificidad de estos dos tipos de sistemas.

En [UIT-T G.971] se describen los aspectos comunes de la implementación de sistemas de cables submarinos de fibra óptica, relacionados con la fabricación, instalación y mantenimiento. En [UIT-T G.978] también se presentan algunos aspectos comunes de las características de los cables submarinos de fibra óptica.

La implementación física de los sistemas submarinos de fibra con amplificación óptica se considera en el anexo A.

2 Referencias

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes. En esta Recomendación, la referencia a un documento, en tanto que autónomo, no le otorga el rango de una Recomendación.

[UIT-T G.661] Recomendación UIT-T G.661 (2006), *Definición y métodos de prueba de los parámetros genéricos pertinentes de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos*.

[UIT-T G.662] Recomendación UIT-T G.662 (2005), *Características genéricas de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos*.

- [UIT-T G.664] Recomendación UIT-T G.664 (2006), *Procedimientos y requisitos de seguridad óptica para sistemas ópticos de transporte.*
- [UIT-T G.692] Recomendación UIT-T G.692 (1998), *Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos.*
- [UIT-T G.701] Recomendación UIT-T G.701 (1993), *Vocabulario de términos relativos a la transmisión y multiplexación digitales y a la modulación por impulsos codificados.*
- [UIT-T G.702] Recomendación UIT-T G.702 (1988), *Velocidades binarias de la jerarquía digital.*
- [UIT-T G.703] Recomendación UIT-T G.703 (2001), *Características físicas y eléctricas de las interfaces digitales jerárquicas.*
- [UIT-T G.707] Recomendación UIT-T G.707/Y.1322 (2007), *Interfaz de nodo de red para la jerarquía digital síncrona.*
- [UIT-T G.708] Recomendación UIT-T G.708 (1999), *Interfaz de nodo de red sub STM-0 para la jerarquía digital síncrona.*
- [UIT-T G.783] Recomendación UIT-T G.783 (2006), *Características de los bloques funcionales del equipo de la jerarquía digital síncrona.*
- [UIT-T G.821] Recomendación UIT-T G.821 (2002), *Característica de error de una conexión digital internacional que funciona a una velocidad binaria inferior a la velocidad primaria y forma parte de una red digital de servicios integrados.*
- [UIT-T G.823] Recomendación UIT-T G.823 (2000), *Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía de 2048 kbit/s.*
- [UIT-T G.825] Recomendación UIT-T G.825 (2000), *Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía digital síncrona.*
- [UIT-T G.826] Recomendación UIT-T G.826 (2002), *Parámetros y objetivos de las características de error de extremo a extremo para conexiones y trayectos digitales internacionales de velocidad binaria constante.*
- [UIT-T G.828] Recomendación UIT-T G.828 (2000), *Parámetros y objetivos de característica de error para trayectos digitales síncronos internacionales de velocidad binaria constante.*
- [UIT-T G.921] Recomendación UIT-T G.921 (1988), *Secciones digitales basadas en la jerarquía de 2048 kbit/s.*
- [UIT-T G.955] Recomendación UIT-T G.955 (1996), *Sistemas de línea digital basados en las jerarquías de 1544 kbit/s y 2048 kbit/s en cables de fibra óptica.*
- [UIT-T G.957] Recomendación UIT-T G.957 (2006), *Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital síncrona.*
- [UIT-T G.971] Recomendación UIT-T G.971 (2004), *Características generales de los sistemas de cable submarino de fibra óptica.*
- [UIT-T G.972] Recomendación UIT-T G.972 (2004), *Definición de términos pertinentes a los sistemas de cable submarino de fibra óptica.*
- [UIT-T G.975] Recomendación UIT-T G.975 (2000), *Corrección de errores en recepción para sistemas submarinos.*

- [UIT-T G.975.1] Recomendación UIT-T G.975.1 (2004), *Corrección de errores en recepción para sistemas submarinos con multiplexación por división en longitud de onda densa de alta velocidad binaria*.
- [UIT-T G.976] Recomendación UIT-T G.976 (2004), *Métodos de prueba aplicables a los sistemas de cable submarino de fibra óptica*.
- [UIT-T G.978] Recomendación UIT-T G.978 (2006), *Características de los cables submarinos de fibra óptica*.
- [CEI 60825-1] CEI 60825-1 (2007), *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements*.
- [CEI 60825-2] CEI 60825-2 (2007), *Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communications systems (OFCS)*.

3 Términos y definiciones

3.1 Términos definidos en otras Recomendaciones

Esta Recomendación utiliza los siguientes términos definidos en otras Recomendaciones:

- 3.1.1 factor de compresión:** véase [UIT-T G.976].
- 3.1.2 sección de línea digital (DLS):** véase [UIT-T G.701].
- 3.1.3 corrección de errores en recepción (FEC):** véanse [UIT-T G.972], [UIT-T G.975] y [UIT-T G.975.1].
- 3.1.4 uniformidad de ganancia:** véase [UIT-T G.976].
- 3.1.5 máxima diferencia de potencia de canal:** véase [UIT-T G.692].
- 3.1.6 tara de sección múltiplex (MSOH):** véase [UIT-T G.783].
- 3.1.7 figura de ruido:** véase [UIT-T G.661].
- 3.1.8 ganancia nominal:** véase [UIT-T G.976].
- 3.1.9 nivel nominal de entrada de señal:** véase [UIT-T G.976].
- 3.1.10 nivel nominal de salida de señal:** véase [UIT-T G.976].
- 3.1.11 amplificador de fibra óptica (OFA):** véase [UIT-T G.661].
- 3.1.12 ganancia dependiente de la polarización:** véase [UIT-T G.661].
- 3.1.13 pérdida dependiente de la polarización:** véase [UIT-T G.661].
- 3.1.14 quemadura de hueco por polarización:** véase [UIT-T G.661].
- 3.1.15 dispersión por modo de polarización:** véase [UIT-T G.661].
- 3.1.16 puntos de referencia S, R:** véanse [UIT-T G.955].
- 3.1.17 puntos de referencia S', R':** véanse [UIT-T G.661] y [UIT-T G.662].
- 3.1.18 ganancia de pequeña señal:** véase [UIT-T G.661].
- 3.1.19 jerarquía digital síncrona (SDH):** véase [UIT-T G.708].
- 3.1.20 módulo de transporte síncrono (STM):** véase [UIT-T G.708].

3.2 Terminos definidos en esta Recomendación

Para los fines de esta Recomendación, se definen los términos siguientes. Las figuras 1, 2, 3 y 4 adjuntas, que ilustran estas definiciones, describen un equipo terminal para WDMS y DWDMS. En caso de un SWS, la interfaz multiplexor/demultiplexor óptico debe suprimirse para que sólo corresponda a una longitud de onda como se indica en las figuras 3 y 4.

3.2.1 unidad de derivación (BU, *branching unit*): Elemento de equipo submarino óptico insertado en la parte submarina de una red de cables submarinos de fibra óptica donde es necesaria la interconexión eléctrica y óptica de tres secciones de cable.

3.2.2 multiplexación por división en longitud de onda densa (DWDM, *dense wavelength division multiplexing*): Combinación de un gran número de LOC que han de transmitirse a través de parte o la totalidad de la línea submarina por la misma fibra de línea.

3.2.3 sistema de multiplexación por división en longitud de onda densa (DWDMS, *dense wavelength division multiplexing system*): Sistema óptico bidireccional que transporta un gran número de LOC.

3.2.4 unidad de derivación de extracción de fibras (FFD-BU, *full fibre drop BU*): BU en la que la interconexión óptica entre los tres cables submarinos se efectúa conectando físicamente pares de fibras entre dos cables cualesquiera.

3.2.5 ecualizador de ganancia: El ecualizador de ganancia es la forma empleada para adaptar las características del perfil de ganancia de la planta sumergida a una forma adecuada para la transmisión.

3.2.6 interfaz terrenal intermedia (ITI, *intermediate terrestrial interface*): Es de señalar que el TTE puede componerse de dos elementos de equipo distintos que hacen de interfaz entre sí, el primero de los cuales se denomina equipo terminal de transmisión por cable submarino (SCTTE) del lado del cable submarino y el segundo elemento, denominado equipo terminal de transmisión de la red terrenal (TNTTE), del lado de la red terrenal. En este caso se necesita una interfaz intermedia, que enlaza los dos elementos de equipo. Esta interfaz se compone de interfaces de datos bidireccionales y, cuando es aplicable, de un enlace suplementario utilizado para intercambiar información entre los dos elementos de equipo TTE.

3.2.7 canal óptico de línea (LOC, *line optical channel*): Canal de datos óptico bidireccional transmitido en una frecuencia/longitud de onda óptica para cada sentido de transmisión.

3.2.8 equipo terminal de transmisión de canal óptico de línea (LOC-TTE, *line optical channel-terminal transmission equipment*): Un TTE cuya SCOI se compone de sólo un LOC.

3.2.9 múltiplex por división en longitud de onda N (N-WDM, *N-wavelength division multiplex*): Un WDM o DWDM de N LOC (N es un número entero).

3.2.10 ecualizador submarino óptico (OSE, *optical submarine equalizer*): Los ecualizadores submarinos ópticos son el equipo sumergido utilizado para compensar o para controlar el rizado y la variación de ganancia acumulables a lo largo de una SDLS a fin de cumplir con la capacidad de preacentuación del TTE del lado transmisor y con la degradación correspondiente asignados en el cuadro de balance de potencias.

3.2.11 fallo por derivación: Un fallo por derivación es un trayecto de pérdida de corriente existente entre el conductor de alimentación y el agua marina que existe sin que se haya producido ruptura alguna en el conductor de la alimentación.

3.2.12 sistema de una sola longitud de onda (SWS, *single wavelength system*): Sistema óptico bidireccional que transporta sólo un LOC.

3.2.13 ecualizador de variación de ganancia: El ecualizador de variación de ganancia es la forma empleada por el WDMS para la ecualización de la variación residual de ganancia o de

longitud de onda acumulativa como consecuencia de que la señal se transmite a través de una cadena de repetidores sumergidos.

3.2.14 interfaz óptica de cable submarino (SCOI, *submarine cable optical interface*): La interfaz óptica bidireccional entre el cable submarino (incluida la sección de cable terrenal) y el TTE. Esta señal se compone de un LOC o un WDM.

3.2.15 equipo terminal de transmisión por cable submarino (SCTTE, *submarine cable transmission terminal equipment*): Véase la definición en la interfaz terrenal intermedia.

3.2.16 sección de línea digital submarina (SDLS, *submarine digital line section*): Trayecto óptico continuo bidireccional a lo largo del cual un LOC se enlaza con dos TTE a nivel de SEOI.

3.2.17 interfaz electroóptica submarina (SEOI, *submarine electro-optic interface*): La interfaz bidireccional dentro del TTE donde se realiza la conversión electroóptica y una regeneración eléctrica entre un LOC y un canal eléctrico.

3.2.18 equipo terminal de transmisión (TTE, *terminal transmission equipment*): El equipo incluido en la parte terrenal de un sistema de cable submarino de fibra óptica para operaciones de multiplexación y demultiplexación de transmisión terminal, codificación y conversión de los afluentes de llegada en señal de línea óptica, conversión y decodificación de la señal de línea óptica recibida en los afluentes de salida, asegurar la conmutación de protección submarina, supervisión de la planta submarina y ejecución de la terminación óptica de cable.

3.2.19 interfaz terrenal (TI, *terrestrial interface*): La interfaz entre el sistema submarino y la red terrenal.

3.2.20 equipo terminal de transmisión de la red terrenal (TNTTE, *terrestrial network transmission terminal equipment*): Véase la definición en la interfaz terrenal intermedia.

3.2.21 ecualizador de pendiente: El ecualizador de pendiente es la forma empleada por el WDMS para la ecualización de la pendiente de ganancia o de longitud de onda acumulativa como consecuencia de que la señal se transmite a través de una cadena de repetidores sumergidos.

3.2.22 umbílico: El enlace adicional utilizado en la ITI para intercambiar información entre los dos elementos de TTE, a saber, el SCTTE y el TNTTE.

3.2.23 demultiplexor en longitud de onda (WD, *wavelength demultiplexer*): El equipo necesario para dividir un WDM en varios LOC y/o WDM que han de transportarse por distintas fibras.

3.2.24 multiplexación por división en longitud de onda (WDM, *wavelength division multiplexing*): Combinación de varios LOC que han de transmitirse a través de parte o la totalidad de la línea submarina por la misma fibra de línea.

3.2.25 sistema de multiplexación por división en longitud de onda (WDMS, *wavelength division multiplexing system*): Sistema óptico bidireccional que transporta varios LOC.

3.2.26 multiplexor en longitud de onda (WM, *wavelength multiplexer*): El equipo necesario para combinar varios LOC y/o WDM procedentes de diferentes fibras en un WDM común compuesto de todos los LOC combinados.

3.2.27 unidad de derivación de multiplexación por división en longitud de onda (WDM-BU, *wavelength division multiplex-branching unit*): BU en la que la interconexión entre los tres cables submarinos se efectúa a través de un WM y un WD, que añade o extrae uno o más LOC del N-WDM.

3.2.28 equipo terminal de transmisión de multiplexación por división en longitud de onda (WDM-TTE, *wavelength division multiplex-terminal transmission equipment*): TTE equipado con WM y WD, cuya SCOI es un WDM y DWDM.

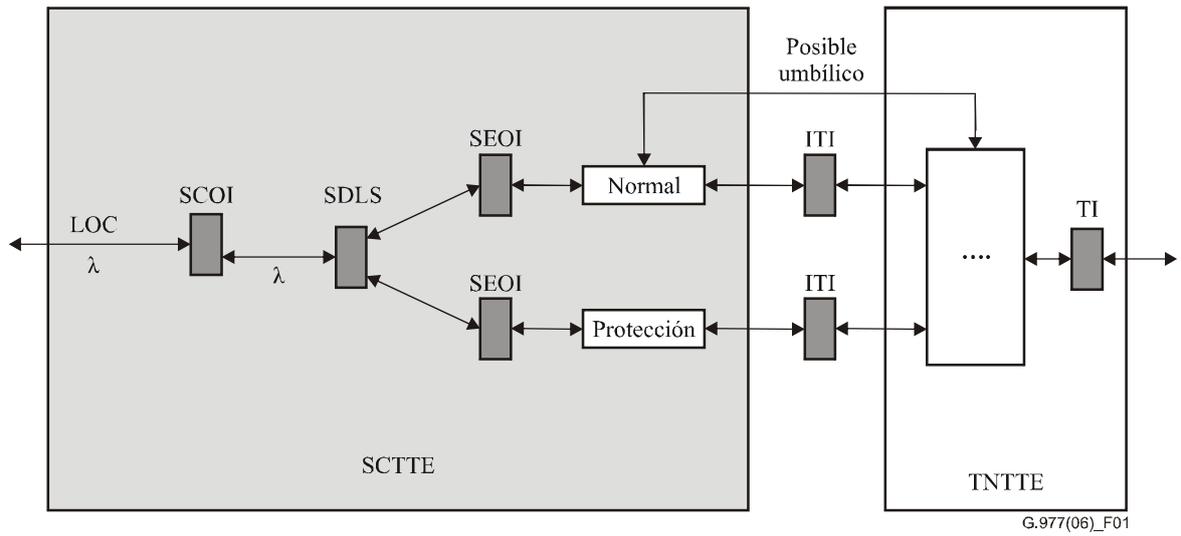


Figura 1 – Términos y definiciones para SWS

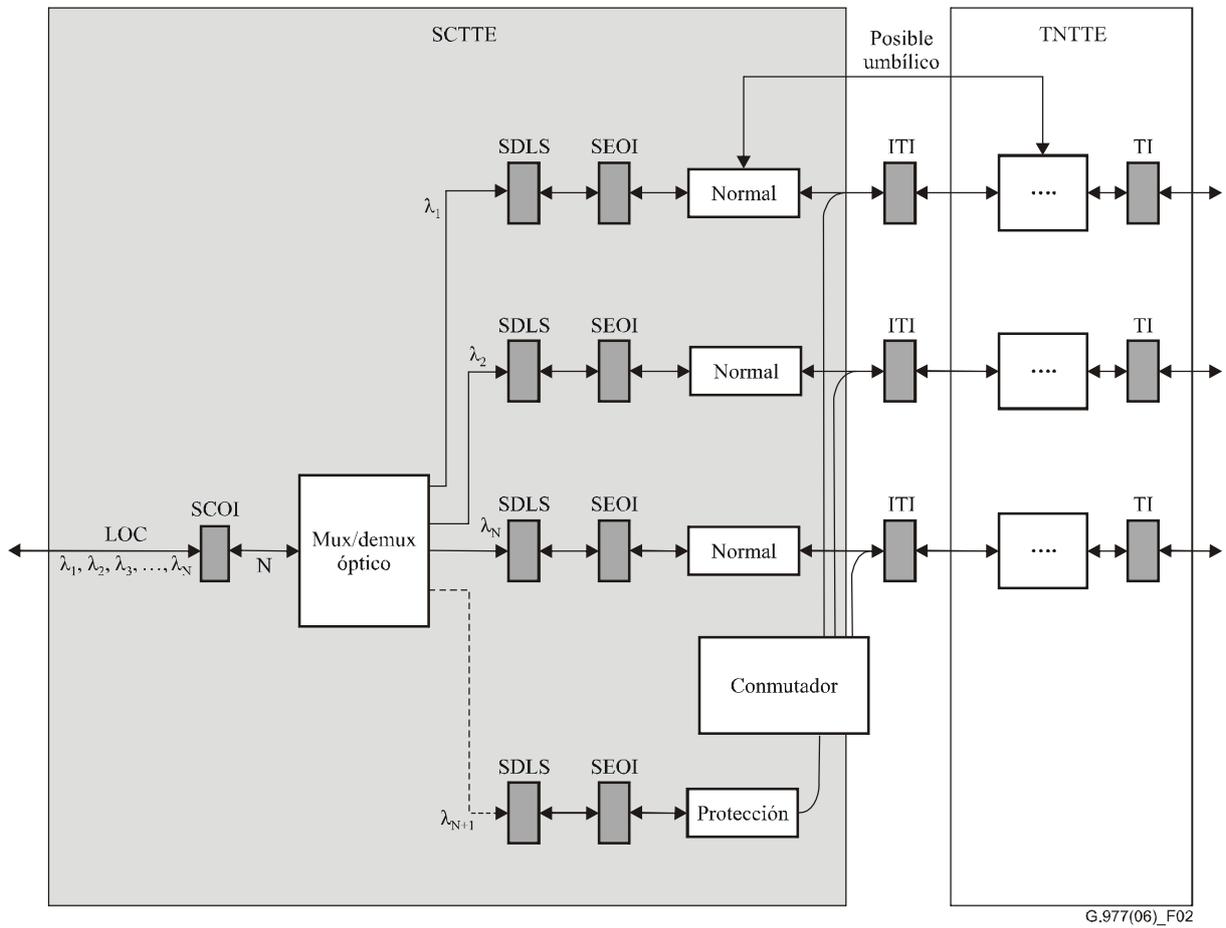


Figura 2 – Términos y definiciones para WDMS

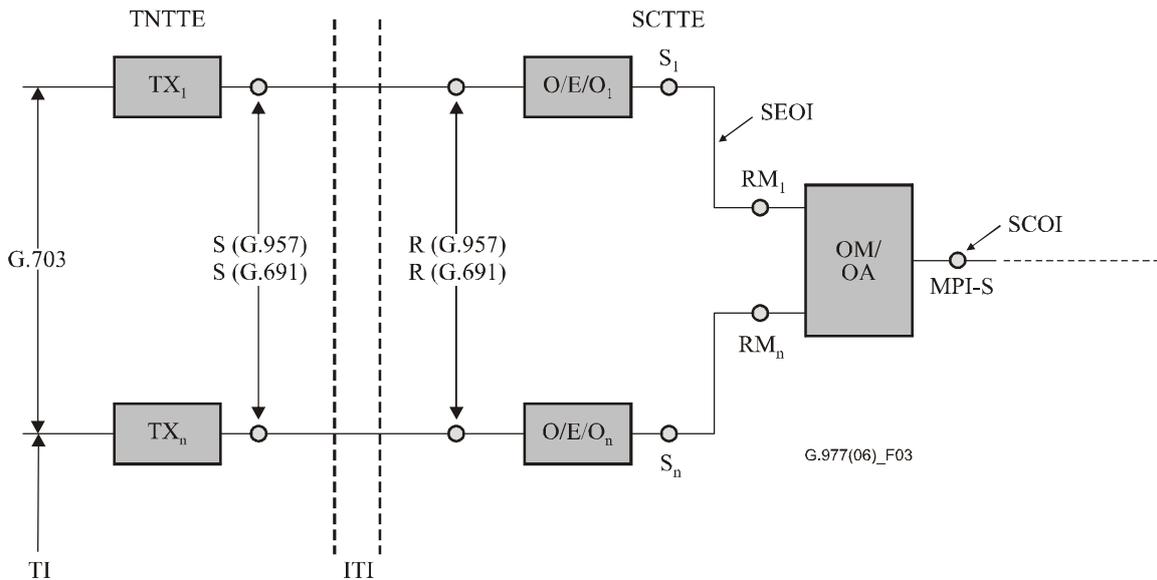


Figura 3 – Lado transmisión

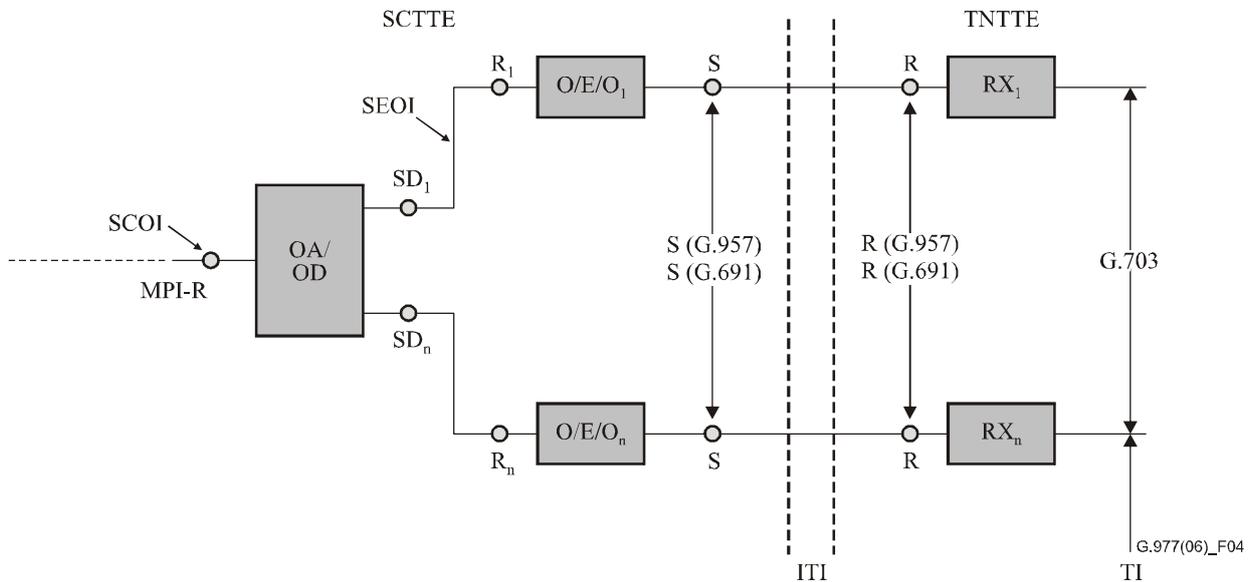


Figura 4 – Lado recepción

4 Abreviaturas, siglas o acrónimos

En esta Recomendación se utilizan las siguientes abreviaturas, siglas o acrónimos.

APC	Control automático de potencia (<i>automatic power control</i>)
APR	Reducción automática de potencia (<i>automatic power reduction</i>)
BER	Tasa de errores en los bits (<i>bit error ratio</i>)
BOL	Comienzo de vida (<i>beginning of life</i>)
BU	Unidad de derivación (<i>branching unit</i>)
CF	Factor de compresión (<i>compression factor</i>)

COTDR	Reflectometría óptica coherente en el dominio del tiempo (<i>coherent optical time domain reflectometry</i>)
CRZ	Vuelta a cero fluctuante (<i>chirped return to zero</i>)
CS-RZ	Retorno a cero con portadora suprimida (<i>carrier suppressed return to zero</i>)
CS-RZ-DPSK	Modulación por desplazamiento de fase diferencial con retorno a cero con portadora suprimida (<i>carrier suppressed return to zero differential phase shift keying</i>)
DLS	Sección de línea digital (<i>digital line section</i>)
DPSK	Modulación por desplazamiento de fase diferencial (<i>differential phase shift keying</i>)
DWDM	Multiplexación por división en longitud de onda densa (<i>dense wavelength division multiplexing</i>)
DWDMS	Sistemas de multiplexación por división en longitud de onda densa (<i>dense wavelength division multiplexing system</i>)
EDF	Fibra dopada con erbio (<i>erbium doped fibre</i>)
EOL	Final de vida (<i>end of life</i>)
FFD-BU	Unidad de derivación de extracción de fibra (<i>full fibre drop-branching unit</i>)
FWM	Mezcla de cuatro ondas (<i>four-wave mixing</i>)
GF	Uniformidad de ganancia (<i>gain flatness</i>)
ITI	Interfaz terrenal intermedia (<i>intermediate terrestrial interface</i>)
LOC	Canal óptico de línea (<i>line optical channel</i>)
LOC-TTE	Equipo terminal de transmisión de canal óptico de línea (<i>line optical channel-terminal transmission equipment</i>)
MPI	Interfaz del trayecto principal (<i>main path interface</i>)
MPI-R	Punto de referencia de la interfaz de trayecto principal en recepción (<i>receive main path interface reference point</i>)
MPI-S	Punto de referencia de la interfaz del trayecto principal en la fuente (<i>source main path interface reference point</i>)
MSOH	Tara de sección múltiplex (<i>multiplex section overhead</i>)
NF	Figura de ruido (<i>noise figure</i>)
NG	Ganancia nominal (<i>nominal gain</i>)
NRZ	Sin retorno a cero (<i>no return to zero</i>)
NRZ-DPSK	Modulación por desplazamiento de fase diferencial sin retorno a cero (<i>no return to zero differential phase shift keying</i>)
NSIP	Potencia nominal de entrada de señal (<i>nominal signal input power</i>)
NSOP	Potencia nominal de salida de señal (<i>nominal signal output power</i>)
N-WDM	Multiplexación por división en longitud de onda N (<i>N-wavelength division multiplex</i>)
OFA	Amplificador de fibra óptica (<i>optical fibre amplifier</i>)

OSE	Ecualizador submarino óptico (<i>optical submarine equalizer</i>)
OSR	Repetidor submarino óptico (<i>optical submarine repeater</i>)
PDG	Ganancia dependiente de la polarización (<i>polarization-dependent gain</i>)
PDH	Jerarquía digital plesiócrona (<i>plesiochronous digital hierarchy</i>)
PDL	Pérdida dependiente de la polarización (<i>polarization-dependent loss</i>)
PFE	Equipo de alimentación de energía (<i>power feeding equipment</i>)
PHB	Quemadura de hueco por polarización (<i>polarization hole burning</i>)
PMD	Dispersión por modo de polarización (<i>polarization mode dispersion</i>)
RZ	Retorno a cero (<i>return to zero</i>)
RZ-DPSK	Modulación por desplazamiento de fase diferencial con retorno a cero (<i>return to zero differential phase shift keying</i>)
SCOI	Interfaz de salida de cable submarino (<i>submarine cable output interface</i>)
SCTTE	Equipo terminal de transmisión por cable submarino (<i>submarine cable transmission terminal equipment</i>)
SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SDLS	Sección de línea digital submarina (<i>submarine digital line section</i>)
SEOI	Interfaz de salida electroóptica submarina (<i>submarine electro-optic interface</i>)
SSG	Ganancia de pequeña señal (<i>small signal gain</i>)
STM	Módulo de transporte síncrono (<i>synchronous transport module</i>)
SWS	Sistemas de una sola longitud de onda (<i>single wavelength system</i>)
TI	Interfaz terrenal (<i>terrestrial interface</i>)
TNTTE	Equipo terminal de transmisión de la red terrenal (<i>terrestrial network transmission terminal equipment</i>)
TSE	Equipo de estación terminal (<i>terminal station equipment</i>)
TTE	Equipo terminal de transmisión (<i>terminal transmission equipment</i>)
VSF	Banda lateral residual (<i>vestigial side band</i>)
WD	Demultiplexación en longitud de onda (<i>wavelength demultiplexing</i>)
WDM	Multiplexación por división en longitud de onda (<i>wavelength division multiplex</i>)
WDMS	Sistemas de multiplexación por división en longitud de onda (<i>wavelength division multiplexing system</i>)
WDM-BU	Unidad de derivación de multiplexación por división en longitud de onda (<i>wavelength division multiplex-branching unit</i>)
WDM-TTE	Equipo terminal de transmisión de múltiplex por división en longitud de onda (<i>wavelength division multiplex-terminal transmission equipment</i>)
WM	Multiplexación en longitud de onda (<i>wavelength multiplexing</i>)

5 Características y calidad de funcionamiento del sistema

5.1 Características y calidad de funcionamiento de las secciones de línea digital (DLS)

Las secciones de línea digital proporcionadas por el sistema deberán ajustarse a las Recomendaciones UIT-T pertinentes.

5.1.1 Características de las señales digitales en la ITI y en la TI

En la TI, las señales digitales deben cumplir, si es aplicable, con [UIT-T G.702], [UIT-T G.703], [UIT-T G.707] y [UIT-T G.957].

En la ITI, se recomienda que las señales digitales cumplan los parámetros físicos descritos en [UIT-T G.957].

En un único sistema de cable submarino de fibras ópticas pueden coexistir varias interfaces con distintas velocidades binarias.

5.1.2 Característica de error global en la TI

Las características de error de un sistema de cable submarino de fibra óptica deben ajustarse a las Recomendaciones pertinentes durante la vida nominal de los sistemas:

- En el caso de interfaces PDH: [UIT-T G.821] para los sistemas diseñados antes de diciembre de 2002 y [UIT-T G.826] para los sistemas posteriores.
- En el caso de interfaces SDH: [UIT-T G.826] para los sistemas diseñados antes de marzo de 2000 y [UIT-T G.828] para los sistemas posteriores.

En los sistemas PDH, los parámetros principales son los segundos con muchos errores y los segundos con error. Proceden de [UIT-T G.821] y [UIT-T G.826] junto con las características de error a 64 kbit/s según la distancia en kilómetros. La información sobre la correspondencia entre las características de error del sistema a 64 kbit/s figura en el anexo D de [UIT-T G.821].

En los sistemas SDH, los parámetros importantes son los segundos con muchos errores y los segundos con error. Proceden de [UIT-T G.826] y [UIT-T G.828].

5.1.3 Disponibilidad del sistema en la TI

Para interfaces PDH:

- la definición de tiempo de indisponibilidad procede del anexo A de [UIT-T G.821] y del anexo A de [UIT-T G.826];
- como se indica en el anexo A de [UIT-T G.821] y en el anexo A de [UIT-T G.826], un periodo de tiempo de indisponibilidad comienza cuando la tasa de errores en los bits (BER, *bit error ratio*) en cada segundo es peor que 1×10^{-3} durante un periodo de diez segundos consecutivos. Estos diez segundos se consideran tiempo de indisponibilidad. El periodo de tiempo de indisponibilidad finaliza cuando la BER en cada segundo es mejor que 1×10^{-3} durante un periodo de diez segundos consecutivos. Estos diez segundos se consideran como tiempo de disponibilidad.

Para interfaces SDH:

- la definición de tiempo de indisponibilidad procede de [UIT-T G.826], (para los sistemas diseñados con anterioridad a marzo de 2000), y de [UIT-T G.828], (para los sistemas diseñados después de marzo de 2000).

La disponibilidad del sistema depende evidentemente de la disponibilidad en las diversas TI. Se recomienda que la indisponibilidad del sistema en cualquier periodo se defina el tiempo acumulado de toda la indisponibilidad de cualquier TI en este periodo (varias indisponibilidades de TI que se producen en el mismo marco de tiempo no deben acumularse).

La especificación de indisponibilidad se aplica al tiempo de indisponibilidad causado por un fallo en un componente del sistema e incluye, por ejemplo, la conmutación de láser, las averías en el terminal y las operaciones de supervisión y mantenimiento que provocan interrupciones de diez o más segundos. No incluye las averías causadas por factores externos tales como palangres de la pesca de arrastre, anclas de barcos, la alimentación de energía del TTE y los periodos durante los que se desconecta la alimentación del sistema para efectuar una reparación. De forma similar, en el cálculo del tiempo de indisponibilidad no se incluyen averías que requieren la intervención de barcos.

5.1.4 Característica de fluctuación de fase en la ITI y TI

Las características de fluctuación de fase de un sistema de cable submarino de fibra óptica deben ajustarse a [UIT-T G.823] y [UIT-T G.825] y otras Recomendaciones pertinentes en la ITI y en la TI durante la vida nominal del sistema.

5.1.5 Distribución de la calidad de funcionamiento entre las partes del sistema

La calidad de funcionamiento extremo a extremo en una determinada sección de línea digital (DLS, *digital line section*) se obtiene multiplicando la atribución por km especificada por la longitud de la DLS. Cuando es necesario distribuir la degradación del comportamiento entre diversas partes de la DLS, se atribuye a cada equipo terminal de estación una cantidad correspondiente a una longitud fija (a determinar) y la atribución a la parte submarina se realiza según la longitud y con una cantidad igual a la diferencia entre la especificación DLS y la atribución al terminal.

5.1.6 Independencia con respecto a la DLS

Se recomienda que cualquier fallo, operación de mantenimiento, operación de supervisión, etc., en cualquier DLS no tenga consecuencias en las calidades de funcionamiento especificadas de cualesquiera otras DLS del sistema. En particular:

- a) *para WDMS y DWDMS*
 - 1) cualquier fallo hasta la mitad de los LOC dentro de un WDM no debe tener efecto en ninguno de los restantes LOC del WDM;
- b) *para SWS, WDMS y DWDMS*
 - 1) cualquier fallo en un par de fibras no debe tener efecto en otros pares de fibras del sistema;
 - 2) cualquier fallo en cualquier afluente a cualquier nivel de multiplexación o demultiplexación (óptica o eléctrica) en el sistema no debe tener efecto en las restantes partes del sistema.

Los efectos a corto plazo de los fenómenos transitorios deben normalmente ser considerados tolerables, en el improbable caso de su aparición.

5.2 Balance de potencia óptica

Las tablas de balance de potencia óptica deben describir cómo se cumplirá la calidad de funcionamiento del sistema en lo que respecta a la característica de error.

En los sistemas submarinos con amplificadores ópticos en línea, la regeneración se produce sólo en el TTE de nivel SEOI. Entretanto, los canales sufrirán degradaciones debido, por ejemplo, a la acumulación de ruido óptico, a la propagación (no linealidades de la fibra, dispersión cromática, etc.). Por tanto, se recomienda que se establezca un balance de potencia óptica a nivel de SDLS. Como algunos sistemas pueden acomodar varias SDLS con degradaciones diferentes, se recomienda además que se establezca un balance de potencia óptica para cada una de estas SDLS.

Otra consideración es que, en algunos casos (las redes WDM con WDM-BU por ejemplo), los dos sentidos pueden sufrir degradaciones distintas: en este caso, puede establecerse un balance de potencia diferente en cada sentido de la SDLS considerada, y el que tenga las degradaciones más grandes debe considerarse el balance de potencia de la SDLS.

Además, en caso de que el diseño de un sistema con múltiples puntos de amarre, se haya optimizado para la SDLS más larga en términos de degradación señal óptica/ruido y separación entre repetidores, puede haber márgenes adicionales en las más cortas. Estos márgenes adicionales, normalmente denominados márgenes del suministrador no atribuidos, deben claramente consignarse en las tablas de balance de potencia.

Para cada SDLS, se recomienda que se establezcan dos balances de potencia distintos para el comienzo de vida (BOL, *beginning of life*) y el final de vida (EOL, *end of life*):

- El balance de potencia del BOL es representativo de las calidades de funcionamiento de SDLS cuando el sistema se pone en servicio, y se utiliza actualmente como una buena referencia para resultados de prueba. Se recomienda que este balance de potencia incluya un margen garantizado que asegure el cumplimiento con las condiciones de EOL.
- El EOL es representativo de las calidades de funcionamiento del sistema final de la vida nominal y debe incluir las degradaciones debidas a componentes envejecidos y a fallos, al envejecimiento del cable y a márgenes de reparación especificados.

El suministrador debe proporcionar suficiente información para soportar la validez de las tablas de balance de potencia, en particular, pero sin limitarse a ello:

- a) el valor nominal de potencia de salida del repetidor;
- b) el valor nominal del factor de ruido;
- c) los valores de anchura de banda óptica y eléctrica en el lado receptor, utilizados para calcular el balance de potencia.

En [b-UIT-T G-Sup.41] se presenta la descripción detallada de un balance de potencias típico.

El suministrador debe también aclarar si se supone que cualquier dispositivo situado en el lado extremo transmisor/receptor, tales como los aleatorizadores de polarización y/o los canales de relleno o inactivos, o dentro de la planta sumergida como son los filtros de ecualización de ganancia, ecualizadores de variación de ganancia y/o ecualizadores de pendiente, mejoran las calidades de transmisión.

5.2.1 Factor de calidad (factor Q)

Se recomienda que el balance de potencia de cada SDLS se base en el uso del factor Q que se describe en el anexo A de [UIT-T G.976] y que las degradaciones se presenten en forma de degradación del factor Q.

La calidad de funcionamiento de una SDLS debe caracterizarse por la medición de su factor Q o por una medición de BER directa que debe permitir reconciliar los límites de puesta en servicio contractuales del factor Q indicados en el balance de potencia.

5.2.2 Parámetros pertinentes para el balance de potencia

Se recomienda que el balance de potencia tenga en cuenta, como mínimo, las degradaciones procedentes de los siguientes efectos y consideraciones:

- Acumulación de ruido óptico.
- Degradaciones de propagación debidas a los efectos combinados de la dispersión cromática y efectos no lineales (efectos debidos a la automodulación de fase, modulación cruzada de fase, mezcla de cuatro ondas entre los LOC, esparcimiento Raman estimulado, etc.).

- Degradaciones de propagación debidas a efectos de polarización óptica tales como la dispersión por modo de polarización (PMD, *polarization mode dispersion*), pérdida dependiente de la polarización (PDL, *polarization-dependent loss*), ganancia dependiente de la polarización (PDG, *polarization-dependent gain*). Como estas degradaciones fluctúan con el tiempo, debe adoptarse una provisión distinta para las variaciones de calidad de funcionamiento con el tiempo.
- Degradaciones debidas a la no uniformidad de la curva de ganancia acumulativa en todo el segmento.
- Degradaciones debidas al desajuste de la longitud o longitudes de onda de la SDLS.
- Degradaciones debidas al desajuste de las potencias ópticas relativas del LOC dentro de un WDM. Esta degradación se aplica a los sistemas submarinos que usan WDM o DWDM. Ha de tenerse en cuenta cada vez que se efectúa una WM.
- Degradaciones debidas a la supervisión y funciones de localización de averías.
- Degradaciones debidas a las imperfecciones del TTE (relacionadas con las características del factor Q espalda a espalda del TTE).

La modulación de fase cruzada y la mezcla de cuatro ondas entre los LOC, el esparcimiento Raman estimulado, la no uniformidad de la curva de ganancia acumulativa y el desajuste de las potencias ópticas relativas de los LOC son degradaciones especialmente aplicables a los WDMS y DWDMs, ya que se deben a la propagación de varias señales ópticas por la misma fibra.

Específicamente en el balance de potencia de EOL, deben considerarse las siguientes degradaciones:

- Degradaciones debidas a operaciones de reparación (empalmes de reparación, pérdidas adicionales y modificación del mapa de dispersión debido a una longitud de cable adicional tras la reparación, etc.).
- Degradaciones debidas al envejecimiento del cable y los componentes.
- Degradaciones debidas al envejecimiento del TTE (disminución del valor del factor Q espalda a espalda del TTE).
- Degradaciones debidas a los fallos previsibles de algunos componentes, tales como las averías del láser de bombeo.

Por lo referente a las degradaciones debidas a operaciones de reparación, deben tener en consideración el diferente escenario de reparación de tipos de cable, en la medida en que las degradaciones deben ser diferentes para un cable situado en aguas poco profundas, en aguas profundas, y en la parte terrestre (de la playa a la estación terrenal).

Además, el balance de potencia debe mostrar claramente el mínimo factor Q requerido para obtener las características de error especificadas del sistema e incluir la mejora de márgenes proporcionada por el uso de la FEC (si es aplicable).

5.3 Características de fiabilidad del sistema

La fiabilidad de la parte submarina de un sistema de cable submarino de fibra óptica se caracteriza generalmente por:

- el número esperado de reparaciones que requieren la intervención de un buque cablero y debidas a fallos en los componentes del sistema durante la vida nominal del mismo:
el requisito habitual de fiabilidad del sistema es que se produzcan menos de tres fallos que exijan la intervención de un buque cablero durante la vida nominal del sistema;

- la vida nominal del sistema: que es el periodo de tiempo para el que se ha diseñado el sistema de cable submarino de fibra óptica durante el cual debe ser operativo de conformidad con sus especificaciones de calidad de funcionamiento. Normalmente la vida nominal de un sistema es de 25 años a partir de la fecha de aceptación provisional del mismo; es decir, la fecha posterior a la instalación en la que se considera que el sistema se ajusta a las especificaciones de funcionamiento.

5.4 Mejorabilidad de la capacidad del sistema

Como los amplificadores de fibra óptica (OFA) tienen una gran anchura de banda de ganancia y flexibilidad de velocidad binaria, puede ser ventajoso aumentar la capacidad de transmisión aumentando la velocidad binaria de la señal y/o el número de canales de transmisión (WDM o DWDM). Esta mejora puede ser beneficiosa porque la reutilización de cables largos, muchos amplificadores en línea y equipo de alimentación de energía pueden conseguirse de manera rentable a lo largo de la larga vida del equipo, que suele ser de 25 años.

La mejorabilidad de la velocidad binaria exige que los sistemas se construyan con cables y amplificadores en línea optimizados para la mayor velocidad binaria, en tanto que pueden utilizarse inicialmente TTE a menor velocidad binaria. Aun después de la mejora, la velocidad binaria de la salida del TTE debe cumplir las especificaciones SDH para asegurar la compatibilidad con el equipo terrenal normalizado.

La mejorabilidad mediante WDM o DWDM también exige que el cable inicialmente instalado y los amplificadores en línea sean aplicables al sistema con el máximo número de canales esperado en el futuro.

La mejora conseguida aumentando la velocidad binaria de la señal o utilizando WDM o DWDM es muy diferente desde los muchos puntos de vista del diseño del sistema, incluido el diseño y el control del amplificador de fibra, el balance de potencia, la relación señal/ruido, la dispersión cromática de la fibra, y las no linealidades de la fibra. Se recomienda por tanto que los sistemas se diseñen adecuadamente considerando la posibilidad de futuras mejoras.

6 Características y calidad de funcionamiento del TTE

6.1 Generalidades

El equipo terminal está diseñado para agrupar todas las señales afluentes para su transmisión por el sistema de cable submarino de fibra óptica, y ofrecer dispositivos de supervisión y mantenimiento.

6.1.1 Definición de los puntos de referencia de las señales pertinentes en las interfaces ITI, TI, SEOI y SCOI

Con la referencia a las figuras 3 y 4 propuestas que se muestran a continuación, debe especificarse la siguiente lista mínima de parámetros en correspondencia con las interfaces de referencia E/O:

- a) Las interfaces TI e ITI son conformes con [UIT-T G.703] y [UIT-T G.957].
- b) El lado transmisión de las interfaces SEOI (los puntos S_1 , S_n a las salidas de los O/E/O) deben especificarse al menos en términos de:
 - 1) características espectrales;
 - 2) potencia inyectada media;
 - 3) relación de extinción;
 - 4) frecuencia de canal;
 - 5) separación de canales;
 - 6) desviación de frecuencia de canal;

- 7) formato de modulación (RZ, NRZ, CRZ, CS-RZ, VSB, NRZ-DPSK, RZ-DPSK, CS-RZ-DPSK ...);
 - 8) velocidad binaria;
 - 9) utilización de modulación de fase (si es aplicable);
 - 10) utilización del aleatorizador de polarización y su tipo (si es aplicable);
 - 11) valor de la compensación previa a la dispersión;
 - 12) valor de la compensación posterior a la dispersión.
- c) El lado transmisión de las interfaces SCOI (el punto MPI-S) debe especificarse al menos en términos de:
- 1) máxima diferencia de potencia de canal;
 - 2) potencia de salida de canal;
 - 3) relación señal/ruido de canal.
- d) El lado recepción de las interfaces SCOI (el punto MPI-R) debe especificarse al menos en términos de:
- 1) relación señal/ruido de canal (según la velocidad binaria, e implementación de FEC);
 - 2) máxima diferencia de potencia de canal.
- e) El lado recepción de las interfaces SEOI (los puntos R_1 , R_n a las entradas de los O/E/Os) deben especificarse al menos en términos de:
- 1) sensibilidad del receptor (si se excluye la FEC);
 - 2) sobrecarga del receptor;
 - 3) gama de longitudes de onda del receptor;
 - 4) relación señal óptica/ruido.

6.2 Calidad de funcionamiento de la transmisión

6.2.1 Características de la señal digital en la TI

La señal digital en la interfaz del sistema debe ajustarse a las Recomendaciones UIT-T pertinentes.

6.2.2 Características de la señal en la SCOI

Queda en estudio.

6.2.3 Característica de fluctuación de fase en la TI

Las características de fluctuación de fase del TTE de un sistema de cable submarino de fibra óptica deben ajustarse a lo dispuesto en [UIT-T G.823], [UIT-T G.825] y otras Recomendaciones relevantes a lo largo de toda la vida nominal del sistema.

6.3 Acciones como consecuencia de una alarma

El equipo terminal debe detectar las condiciones de fallo que se produzcan y tomar las acciones consiguientes tal como se detalla en las Recomendaciones pertinentes (véase, en particular, el cuadro 4 de [UIT-T G.921]). Las indicaciones de alarma que se podrían tener en cuenta para amplificadores ópticos utilizados en el sistema debieran limitarse a parámetros críticos (por ejemplo, potencia óptica de la señal de entrada y de salida, condiciones operativas del láser de inyección, tales como las variaciones de corriente y de temperatura). Los aspectos de seguridad del láser deben ser conformes a [UIT-T G.664], [CEI 60825-1] y [CEI 60825-2].

6.4 Conmutación automática

Cuando se utiliza conmutación automática para satisfacer los requisitos generales de disponibilidad:

- la degradación del tráfico debida a la conmutación debe minimizarse y hacerse compatible con la calidad de funcionamiento global del sistema;
- debe señalarse el equipo en servicio utilizado;
- debe ser posible anular de forma manual la conmutación automática con una degradación mínima de la calidad de funcionamiento del sistema.

Según la arquitectura del TTE, se recomienda que el equipo de reserva se mantenga operativo y sea supervisado como el equipo en servicio.

7 Características y calidad de funcionamiento de los repetidores submarinos ópticos (OSR, *optical submarine repeaters*)

7.1 Características mecánicas

7.1.1 Alojamiento del repetidor

El alojamiento del repetidor debe diseñarse de manera que permita el funcionamiento, instalación, recuperación y reinstalación de repetidores ópticos en grandes profundidades sin degradación de las prestaciones mecánicas eléctricas y ópticas. El alojamiento de un empalme debe soportar una gran transferencia de carga desde el cable submarino mediante un acoplamiento flexible.

7.1.2 La unidad interna

Dentro del alojamiento del repetidor, la unidad interna puede contener varios módulos alimentados en potencia y pares de OFA para amplificar en ambos sentidos la señal óptica de uno o varios pares de fibras.

7.1.3 Protección contra la corrosión

El alojamiento externo del OSR debe diseñarse para que no sufra corrosión debida al agua del mar.

7.1.4 Resistencia a la presión del agua

El OSR debe diseñarse para soportar grandes esfuerzos de presión en aguas marinas profundas.

7.1.5 Aislamiento contra alta tensión

Se requiere aislamiento contra la alta tensión entre el alojamiento del repetidor y la unidad interna para asegurar las operaciones del repetidor.

7.1.6 Gestión térmica

El calor generado por los componentes electrónicos del interior del OSR puede disiparse suficientemente mediante conducción térmica con el alojamiento del repetidor.

7.1.7 Hermeticidad del alojamiento del repetidor

El repetidor debe dotarse de una protección contra el ingreso del agua y del gas, tanto directamente procedente del medio marino circundante como contra las fugas del cable resultantes de una rotura del mismo próxima al repetidor.

7.1.8 Control de la atmósfera ambiente

La fiabilidad y el correcto funcionamiento de los componentes pueden exigir una atmósfera interna controlada en relación con la humedad relativa o cualquier gas previsto que pueda generarse dentro del repetidor.

7.2 Características eléctricas

7.2.1 Módulos de alimentación de energía

Los OSR son alimentados desde la estación de extremo terminal a corriente constante a través del conductor eléctrico del cable. Los módulos de alimentación de energía alimentan los pares de OFA para asegurar la amplificación óptica. Los OSR pueden aceptar ambas polaridades eléctricas.

7.2.2 Protección contra las sobretensiones

Los OSR deben protegerse contra las sobretensiones que puedan resultar de la interrupción repentina del suministro de alta tensión en el cable (interrupción del cable, fallo por derivación o cortocircuito del PFE).

7.3 Características ópticas

7.3.1 Diseño de los OFA

Los OFA utilizan fibra dopada con erbio (EDF, *erbium doped fibre*) para conseguir la amplificación de la señal óptica. La EDF puede ser bombeada de modo copropagante y/o contrapropagante por uno o varios láseres de bombeo redundantes. Pueden incluirse aislantes ópticos para asegurar una buena estabilidad contra las reflexiones ópticas. Puede utilizarse control automático de potencia (APC, *automatic power control*) para regular el nivel óptico de salida.

Deben proporcionarse medios para supervisar a distancia la situación y calidad de funcionamiento de los OFA.

7.3.2 Parámetros pertinentes

[UIT-T G.661] se ocupa de la definición y métodos de prueba de los parámetros genéricos pertinentes de los OFA. Más específicamente, para un enlace óptico con amplificación de SWS, WDMS o DWDMS de larga distancia, es necesario tener en cuenta los parámetros siguientes:

- ganancia de pequeña señal (SSG, *small signal gain*);
- ganancia nominal (NG, *nominal gain*);
- figura de ruido (NF, *noise figure*);
- potencia nominal de salida de señal (NSOP, *nominal signal output power*);
- potencia nominal de entrada de señal (NSIP, *nominal signal input power*);
- factor de compresión (CF, *compression factor*).

Además, especialmente en los WDMS y DWDMS, es también necesario tener en cuenta:

- uniformidad de ganancia (GF, *gain flatness*).

7.3.3 Efectos de polarización

Los componentes ópticos individuales de un OFA pueden elegirse de manera que aseguren que su calidad de funcionamiento sea razonablemente insensible a efectos de polarización tales como PDL, PDM, según los requisitos del sistema. Algunos otros efectos de polarización tales como PDG, PHB son efectos intrínsecos y sólo pueden evitarse o limitarse mediante el uso de medios externos tales como aleatorización de polarización de la señal en el transmisor del TTE.

7.4 Mecanismos de supervisión

Se requiere un sistema de supervisión para supervisar desde la estación terrestre la situación y calidad de funcionamiento de los OFA. Este sistema de supervisión debe ser capaz de funcionar cuando el enlace está en servicio sin perturbar la calidad de funcionamiento del sistema.

7.5 Localización de averías

El punto de rotura de un cable suele localizarse en una condición fuera de servicio. Generalmente, se emplea OTDR para este fin, especialmente la COTDR se utiliza en la localización de averías de los sistemas OFA de larga distancia, debido a su mayor sensibilidad y mayor selectividad de frecuencia.

Si se utilizan aisladores ópticos dentro de cada OFA, se bloquea el impulso óptico retroesparcido, que es indispensable en la medición OTDR. Una solución para resolver este problema es utilizar un trayecto de retorno (trayecto COTDR) que no debe perturbar el tráfico en servicio como se muestra en las figuras 5, 6 y 7. La penalización de transmisión inducida por el trayecto COTDR debe tenerse en cuenta en el balance de potencia. Utilizando dicha solución, pueden implementarse facilidades OTDR en los sistemas de OFA para supervisar la situación de un tramo de fibra. Además, si se emplea COTDR en una condición en servicio en los sistemas OFA vía un trayecto de retorno, este método tendrá posibilidades de supervisar la situación de ganancia de cada OFA.

Pueden elegirse dos modos diferentes de implementar el trayecto COTDR dentro de un repetidor:

- El primero consiste en conectar ambas salidas del par de amplificadores mediante acopladores ópticos (véase la figura 5).
- El segundo consiste en conectar la salida de un OA a la entrada del OA situado en sentido opuesto (véanse las figuras 6 y 7).

Ambas soluciones permiten una supervisión bidireccional.

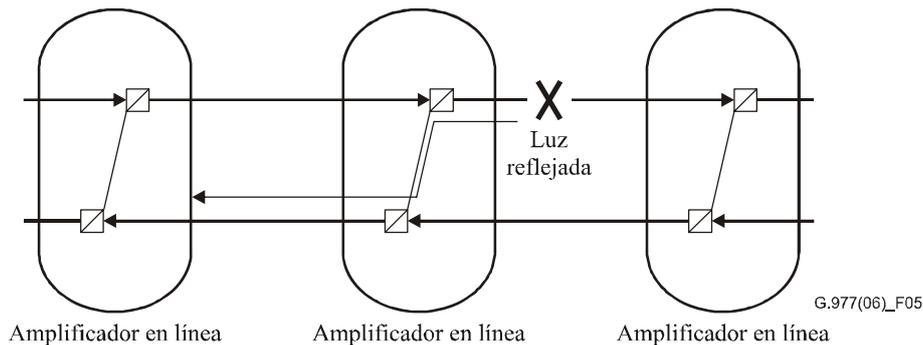


Figura 5 – Ejemplo de localización de averías utilizando COTDR para OFA con acoplamiento en bucle salida-salida

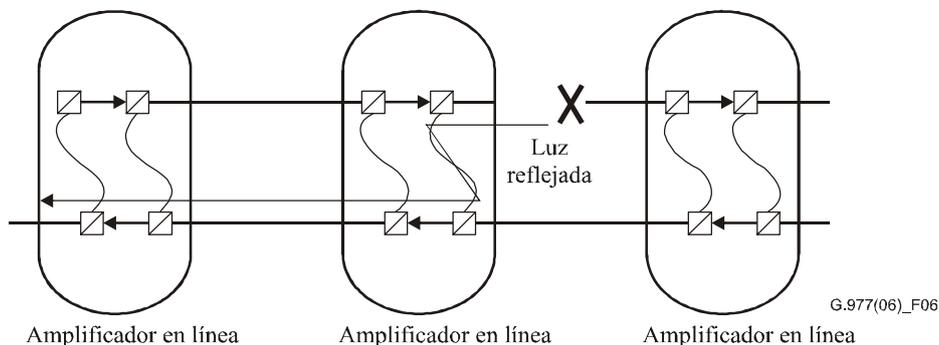


Figura 6 – Ejemplo de localización de averías utilizando COTDR para sistemas OFA con acoplador salida-entrada

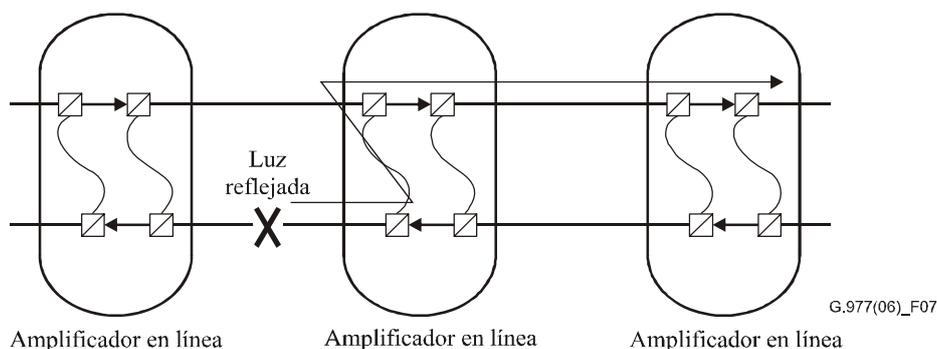


Figura 7 – Ejemplo de localización de averías utilizando COTDR para sistemas OFA con acoplador salida-entrada

7.6 Fiabilidad

Deben calificarse todos los componentes del repetidor y comprobarse su vida útil para asegurar los requisitos de fiabilidad.

8 Características y calidad de funcionamiento de la unidad de derivación (BU, *branching unit*) en línea

8.1 Generalidades

Los sistemas de cable submarino óptico pueden utilizar BU cuando se necesitan múltiples puntos de amarre. Una BU está diseñada para terminar tres cables de línea. Uno de ellos, la terminación de derivación, permite extraer una parte del tráfico procedente de las otras dos terminaciones, denominadas las terminaciones troncales. Pueden existir diferentes diseños de BU para responder a los requisitos particulares, según la configuración específica del sistema.

De este modo, una BU puede ofrecer:

- i) Funciones de extracción de fibra completa para SWS.
- ii) Funciones de extracción de fibra completa y/o funciones de adición/extracción WDM para WDMS.

Pueden proporcionarse amplificación óptica, así como otras facilidades tales como función de conmutación de potencia, sistema de supervisión, control automático de ganancia, filtrado óptico y acoplamiento para COTDR.

8.2 Características mecánicas

8.2.1 Alojamiento de la BU

El alojamiento mecánico de la BU está terminado por tres entradas de cable y la correspondiente puesta a tierra en el mar. Debe diseñarse de manera que permita el funcionamiento, instalación, recuperación y reinstalación de la BU en grandes profundidades sin degradación de sus prestaciones mecánicas, eléctricas y ópticas. El alojamiento de un empalme debe soportar una gran transferencia de carga desde el cable submarino mediante un acoplamiento flexible.

Dentro del alojamiento de la BU, la unidad interna puede contener circuitos de conmutación de potencia y los OFA para amplificar la señal óptica procedente de uno o varios pares de fibras. Puede también contener módulos de adición/extracción para asegurar las funciones WM y WD.

8.2.2 Protección contra la corrosión

Una protección debe impedir la corrosión en la BU debida al agua del mar.

8.2.3 Resistencia a la presión del agua

La BU debe diseñarse para soportar grandes esfuerzos de presión.

8.2.4 Aislamiento contra alta tensión

Se requiere aislamiento contra la alta tensión entre el alojamiento de la BU y la unidad interna para asegurar las operaciones de la BU.

8.2.5 Gestión térmica

El calor generado por los componentes electrónicos del interior de la BU puede disiparse suficientemente mediante conducción térmica con el alojamiento del repetidor.

8.2.6 Hermeticidad del alojamiento de la BU

La BU debe dotarse de una protección contra el ingreso del agua y del gas, tanto directamente procedente del medio marino circundante como contra las fugas del cable resultantes de una rotura del mismo próxima a la BU.

8.2.7 Control de la atmósfera ambiente

La fiabilidad y el correcto funcionamiento de los componentes pueden exigir una atmósfera interna controlada en relación con la humedad relativa o cualquier gas previsto que pueda generarse dentro de la BU.

8.3 Características eléctricas

8.3.1 Electrodo marino

Una conexión por electrodo marino permitirá conectar una o más de las tres terminaciones de cable al potencial marino.

8.3.2 Conmutación de energía

Dos cables entrantes cualesquiera con conductores de alimentación de energía pueden conectarse entre sí y aislarse del electrodo marino de la BU en el que está conectado el tercer cable. Pueden existir diferentes configuraciones posibles para asegurar el restablecimiento del tráfico en algún caso de fallo del PFE por rotura del cable.

En caso de que exista un segmento averiado en una red submarina que utiliza las BU, el sistema, y en particular los circuitos de conmutación de energía eléctrica de la BU, deben proporcionar la capacidad de restablecer el tráfico en todos los demás segmentos en presencia de esta avería o durante la operación de reparación.

8.3.3 Módulos de alimentación de energía

La BU es alimentada desde la estación de extremo terminal a corriente constante a través del conductor eléctrico del cable. Si es aplicable, los módulos de alimentación de energía alimentan los pares de OFA para asegurar la amplificación óptica. Las BU pueden aceptar ambas polaridades eléctricas.

8.3.4 Protección contra las sobretensiones

Las BU deben protegerse contra las sobretensiones que puedan resultar de la interrupción repentina del suministro de alta tensión en el cable (interrupción del cable o cortocircuito del PFE).

8.4 Características ópticas

8.4.1 Funcionalidades

Una BU puede ser una FFD-BU, una WDM-BU o una combinación de ambas. En todos los casos, las funcionalidades de la BU pueden garantizar en la mayor medida posible la independencia con respecto a las DLS para evitar que cualquier fallo de un LOC perturbe a las restantes. En caso de una WDM-BU, componentes ópticos específicos pueden asegurar las funciones de multiplexor y de demultiplexor.

8.4.2 Parámetros pertinentes

Cuando una BU contiene amplificadores ópticos, deben aplicarse los parámetros ópticos pertinentes definidos para el OSR. Además, debe completarse la caracterización completa de los módulos de adición/extracción.

8.4.3 Efectos de polarización

Los componentes ópticos individuales de una BU pueden elegirse de manera que aseguren que su calidad de funcionamiento sea razonablemente insensible a efectos de polarización tales como PDL, PDM. Algunos otros efectos de polarización tales como PDG, PHB son efectos intrínsecos a los OFA posiblemente contenidos en la BU, y sólo pueden evitarse o limitarse mediante el uso de medios externos tales como aleatorización de polarización de la señal en el transmisor del TTE.

8.5 Mecanismos de supervisión

Se requiere un sistema de supervisión para supervisar desde la estación terrestre la situación y calidad de funcionamiento de las BU. Este sistema de supervisión debe ser capaz de funcionar cuando el enlace está en servicio sin perturbar la calidad de funcionamiento del sistema.

8.6 Localización de averías

La localización de averías en los sistemas que incluyen una BU puede generalmente efectuarse utilizando la COTDR. Cuando una BU ofrece la función de extracción de fibra, la COTDR puede localizar directamente una avería dentro y más allá de la BU. Cuando una BU ofrece funciones de inserción/extracción WDM, la COTDR con una fuente sintonizable de longitud de onda puede supervisar independientemente una línea principal y una línea derivada fijando la longitud de onda de la fuente a la longitud de onda de transmisión de cada línea. Si se incluye un OFA en la BU, puede aplicarse un trayecto de retorno que se describe en la cláusula 7.5 para la localización de averías más allá del OFA.

8.7 Fiabilidad

Deben calificarse todos los componentes de la BU y comprobarse su vida útil para asegurar los requisitos de fiabilidad.

9 Características y calidad de funcionamiento del ecualizador submarino óptico (OSE)

Los sistemas ópticos de cable submarino WDM y DWDM podrían utilizar ecualizadores submarinos ópticos (OSE) en la sección de línea digital submarina (SDLS) para cumplir con los requisitos de calidad de funcionamiento de todos los canales. El diseño de los módulos de ecualización es particular para cada sistema de cable submarino. Depende principalmente de las características de la SDLS y de la temperatura del agua.

Existen dos tipos diferentes de OSE:

- a) El ecualizador de forma de ganancia
- b) El ecualizador de variación de ganancia o de pendiente.

También se pueden utilizar ecualizaciones ajustables y otras funciones como la función de supervisión de energía y el sistema de supervisión.

9.1 Características mecánicas

9.1.1 Alojamiento del ecualizador submarino de ganancia

Se debe diseñar el OSE de forma que permita el funcionamiento, instalación, recuperación y reinstalación en grandes profundidades sin degradación de las prestaciones mecánicas, eléctricas u ópticas.

9.1.2 Unidad interna

Dentro del alojamiento del OSE, la unidad interna puede contener varios módulos de ecualización utilizados para la señal óptica en cada uno de los sentidos, de uno o varios pares de fibras.

9.1.3 Protección contra la corrosión

El alojamiento externo del OSE debe diseñarse de forma que no sufra corrosión debida al agua marina.

9.1.4 Resistencia a la presión del agua

El OSE debe diseñarse para soportar grandes esfuerzos de presión en aguas marinas profundas.

9.1.5 Aislamiento contra alta tensión

Para garantizar el funcionamiento del OSE se requiere aislamiento contra la alta tensión entre el alojamiento del OSE y la unidad interna.

9.1.6 Gestión térmica

El calor generado por los componentes electrónicos al interior del OSE (en especial cuando se utiliza un ecualizador ajustable) se puede disipar lo suficiente mediante conducción térmica al interior del alojamiento del OSE.

9.1.7 Hermeticidad del alojamiento del OSE

El OSE debe dotarse de una protección contra el ingreso de agua y de gas, procedentes directamente tanto del medio marino circundante como de las fugas del cable resultantes de una rotura del mismo en cercanías al OSE.

9.1.8 Control de la atmósfera ambiente

La fiabilidad y el correcto funcionamiento de los componentes puede exigir una atmósfera interna controlada en lo que respecta a la humedad relativa o a cualquier gas que se prevea pueda generarse dentro del OSE.

9.2 Características eléctricas (sólo para OSE ajustables)

9.2.1 Módulos de alimentación eléctrica

Los OSR se alimentan desde la estación de extremo terminal a corriente constante mediante el conductor eléctrico del cable. Los módulos de alimentación de energía alimentan los módulos de ecualización ajustables para obtener el perfil de amplificación óptica requerido. Los OSE pueden aceptar ambas polaridades eléctricas.

9.2.2 Protección contra sobretensiones

Se deben proteger los OSE contra las sobretensiones que puedan resultar de la interrupción repentina del suministro de alta tensión en el cable (interrupción del cable, fallo por derivación o cortocircuito del PFE).

9.3 Características ópticas

9.3.1 Funciones

Los módulos de ecualización llevan a cabo una función de filtrado óptico en el espectro de la WDM con el fin de ecualizar el rizado residual de ganancia/longitud de onda y/o de variación de ganancia que se acumulan cuando la señal óptica se transmite a través de una serie de repetidores submarinos ópticos. Se pueden añadir funciones ajustables para graduar la respuesta de la función de filtrado del módulo de ecualización. En dicho caso es necesario proporcionar funciones de supervisión a fin de supervisar a distancia el estado de cada uno de los OSE ajustables.

9.3.2 Parámetros pertinentes

La especificación óptica de los módulos de ecualización submarinos deberá completarse mediante estudios posteriores.

9.3.3 Efectos de polarización

Pueden elegirse los componentes ópticos de un OSE de manera que se garantice que los efectos de polarización como la PDL y la PMD no afecten, dentro de límites razonables, la calidad de funcionamiento.

9.4 Mecanismos de supervisión

Se requiere un sistema de supervisión para supervisar desde la estación terrestre el estado y la calidad de funcionamiento de los OSE ajustables. Este sistema de supervisión debe ser capaz de funcionar con el enlace en servicio, sin perturbar la calidad de funcionamiento del sistema.

9.5 Fiabilidad

Deben calificarse todos los componentes del repetidor y comprobarse su vida útil para garantizar el cumplimiento de los requisitos de fiabilidad.

10 Características y calidad de funcionamiento del cable submarino

En [UIT-T G.978] se presentan recomendaciones sobre las características y calidad de funcionamiento del cable submarino.

10.1 Correspondencia de la dispersión

El mapa de dispersión es la herramienta principal para describir las características de dispersión cromática de un sistema. La dispersión acumulativa se define como la dispersión medida entre la salida del transmisor terminal y cualquier otro punto del trayecto óptico. El mapa de dispersión es la representación de la dispersión cromática local, para una determinada longitud de onda de funcionamiento, en función de la distancia desde el transmisor óptico hasta el receptor óptico. El mapa de dispersión dependerá principalmente del tipo de sistema (SWS, WDMS o DWDMS).

En un SWS se utilizan fibras con dispersión cromática negativa baja próxima a cero, pero distinta de cero, a lo largo de todo el enlace correspondiente a secciones principales, mientras que las fibras con dispersión cromática positiva elevada se utilizan en el enlace correspondiente a unas pocas secciones de compensación de la dispersión. El objetivo de esta gestión es mantener próxima a cero la dispersión acumulativa del enlace completo, mientras se mantiene una dispersión cromática local distinta de cero.

Para un WDMS, en la mayoría de las secciones se utilizan fibras con una dispersión cromática negativa baja pero bien alejada de cero (aproximadamente -2 ps/nm.km) (en ocasiones pueden utilizarse dos tipos de fibras: al inicio de la sección una fibra con una gran superficie efectiva y al final una fibra con pendiente baja), mientras que las fibras con dispersión cromática positiva elevada se utilizan a menudo en las secciones de compensación de dispersión. El objetivo de esta gestión es

mantener a un nivel cercano a cero la dispersión acumulativa de todo el enlace, al tiempo que se mantiene la dispersión cromática local más elevada y distinta a cero para limitar la mezcla de cuatro ondas y la modulación de fase cruzada.

Para un DWDM a 10 Gbit/s, habitualmente se utilizan fibras con una gran dispersión cromática a lo largo del enlace en todas las secciones. Una parte de la sección tiene típicamente dispersión positiva con una pendiente positiva (generalmente con una superficie efectiva muy grande) y la parte restante tiene dispersión negativa con una pendiente negativa (generalmente con una superficie efectiva muy pequeña). El objetivo de esta gestión es mantener a un nivel cercano a cero la dispersión acumulativa en cada sección para todas las longitudes de onda y la dispersión cromática local muy elevada para limitar la modulación de fase cruzada.

10.2 Implementación de la gestión de dispersión

El diseño del mapa de dispersión para cada sección óptica debe cumplir con los requisitos de transmisión (limitación de efectos no lineales, ensanchamiento de los impulsos, etc.).

La dispersión acumulativa residual para cada longitud de onda puede ser compensada hasta ser cero utilizando una cierta longitud de fibra de equalización u otros dispositivos pasivos de compensación de la dispersión en el lado de transmisión (pre-compensación) y/o recepción (pos-compensación) en el TTE. Típicamente, la compensación se realiza en el extremo de recepción para un SWS y en los extremos de transmisión y recepción para WDM y DWDM.

El diseño del sistema debe tener en cuenta todas las causas de variación con respecto al mapa de dispersión proyectado, tanto aleatorias como sistemáticas, incluidas, pero no limitadas a las siguientes:

- incertidumbre en las mediciones de la longitud de onda de dispersión nula, dispersión y pendiente de dispersión de las fibras monomodo y fibras EDF, etc.;
- incertidumbre de temperatura, presión y coeficientes de rigidez de estas fibras en el cable y en los recipientes a presión;
- incertidumbre de la temperatura exacta y tirantez de estas fibras durante las mediciones de dispersión;
- incertidumbre de la temperatura de la fibra instalada;
- incertidumbre resultante de la reorganización y selección "aleatoria" de porciones de conjuntos de fibras en el ensamblaje de secciones elementales de cable;
- envejecimiento;
- operaciones de reparación.

Anexo A

Implementación de sistemas de cable submarino de fibra óptica con repetidores que utilizan amplificador de fibra óptica

(Este anexo es parte integrante de esta Recomendación)

A.1 Introducción

En este anexo se indican diversos aspectos de utilización de los sistemas de cable submarino de fibra óptica empleados comúnmente en sistemas con amplificadores ópticos. Se trata la implementación de SWS, WDMS y DWDMS.

La información aquí proporcionada tiene por objeto servir de orientación en la práctica actual y no pretende ser una recomendación relacionada con los sistemas existentes o futuros.

A.2 Configuración del sistema

A.2.1 Constituyentes de un sistema de cable submarino de fibra óptica con repetidores

La finalidad de un sistema de cable submarino de fibra óptica es establecer enlaces de transmisión entre dos o más estaciones terminales. Cuando sólo se conecten dos estaciones terminales mediante el sistema de cable se hablará de enlace de cable submarino de fibra óptica. En otros casos habrá que referirse a una red de cables submarinos de fibra óptica.

La figura A.1 muestra el concepto básico de sistema de cable submarino de fibra óptica y las fronteras del mismo. Podrían incluirse repetidores submarinos ópticos y/o unidades de derivación submarinas ópticas y/o ecualizadores submarinos ópticos, dependiendo de los requisitos de cada sistema.

En la figura A.1, A representa las interfaces del sistema en la estación terminal (en donde el sistema puede interconectarse con enlaces digitales terrenales o con otros sistemas de cable submarino) y B representa uniones de playa o puntos de amarre. Las letras entre paréntesis de las cláusulas que siguen hacen referencia a la figura A.1.

Un sistema de cable submarino de fibra óptica consta de:

- un tramo terrestre, entre la interfaz del sistema en la estación terminal (A) y la unión de playa o punto de amarre (B), que incluye el cable terrestre de fibra óptica, las uniones terrestres y el equipo terminal del sistema;
- un tramo submarino sobre el lecho del mar, entre las uniones de playa o puntos de amarre (B), que incluye el cable submarino de fibra óptica y, cuando se precisa, el equipo submarino, a saber, repetidor o repetidores submarinos ópticos, unidad(es) de derivación, ecualizadores submarinos ópticos y caja(s) de unión.

El cable contiene uno o más pares de fibras ópticas (para establecer la transmisión en ambos sentidos se utiliza un par de fibras ópticas).

El cable submarino de fibra óptica va protegido donde así se requiere. Hay diferentes tipos de cables caracterizados por su estructura mecánica: cables de peso ligero, cables protegidos de peso ligero, cables armados ligeros, cables de armadura simple, cables de armadura doble y cables de armadura de roca.

El cable terrestre de fibra óptica también requiere protección. El cable terrestre en particular lleva la corriente de alimentación del OSR y de la BU y en estas condiciones puede existir una elevada diferencia de potencial entre el conductor del cable y el suelo, por lo que es necesario proteger al personal.

Los repetidores submarinos ópticos incluyen amplificadores ópticos diseñados para aceptar una señal óptica entrante comprendida dentro de determinados límites y para amplificarla de modo que la señal de salida óptica se halle dentro de ciertos límites. Los repetidores incluyen además unidades con las que proporcionar las funciones de supervisión, protección y alimentación de energía. Estos circuitos constituyen la unidad electrónica del repetidor y están contenidos dentro del alojamiento estanco al agua y resistente a la presión del repetidor.

Cuando es necesario interconectar más de dos secciones de cable se inserta una unidad de derivación (BU) submarina óptica, en el tramo submarino de una red de cables submarinos de fibra óptica. Según los requisitos de la red, este equipo puede incluir algunos o la totalidad de los submontajes siguientes: conexión de fibra directa, una unidad de conmutación de fibras, amplificador óptico para cada fibra y unidad de conmutación del trayecto de alimentación de energía. Además, la BU puede proporcionar WDMS con funcionalidad de intercambio de señales entre trayectos de señal óptica, en cuyo caso se denomina WDM-BU.

Puede incluirse un ecualizador submarino óptico (OSE) en el tramo submarino de los cables submarinos ópticos a fin de disminuir la disparidad en la ganancia acumulada que tiene lugar cuando la capacidad de preacentuación del TTE del lado transmisor no alcanza a garantizar el cumplimiento de los requisitos de calidad de funcionamiento de todos los canales de la WDM. Dicho equipo puede incorporar diversos mecanismos de unidades de ecualización, dependiendo de la forma del espectro de la señal WDM de entrada: Un ecualizador de forma para la corrección de rizado espectral y/o un ecualizador de variación de ganancia (o de pendiente) para compensar la variación de ganancia. También podría contarse con ecualizaciones ajustables y con otros mecanismos como la función de supervisión de energía y el sistema de supervisión.

A.2.2 Configuración de la transmisión

La configuración de la transmisión caracteriza el flujo de información entre las estaciones terminales a través del sistema de cable submarino de fibra óptica.

La velocidad de trama de línea y la velocidad binaria de línea resultan de las operaciones de multiplexación y decodificación efectuadas por el TTE, teniendo en cuenta la inclusión de los canales de servicio y de supervisión. El código de línea se elige de manera que cumpla lo mejor posible los requisitos del sistema.

Una sección de cable de fibra óptica puede contener un número determinado de pares de fibras ópticas, y un par de fibras ópticas puede soportar un cierto número de secciones de línea digital. El número de secciones de línea digital transportadas por una sección de cable de fibra óptica viene dado por el producto de esos dos números.

Las secciones de línea digital soportadas por un mismo par de fibras ópticas siguen al par de fibras a través de los repetidores y de las unidades de derivación. Pueden dividirse entre diferentes pares de fibras, cuando cruzan un multiplexor de derivación submarino.

A.2.3 Supervisión y telemantenimiento del sistema

El equipo de supervisión y telemantenimiento situado en el terminal, en asociación con la unidad supervisora del repetidor (o BU), permite normalmente la localización de averías, la supervisión del funcionamiento del repetidor y la conmutación de redundancia telecontrolada.

Las facilidades de supervisión incluyen normalmente una o más de las siguientes:

- provisión, en servicio, de información suficiente como para permitir el mantenimiento preventivo, sobre todo si está prevista la redundancia conmutable;
- provisión de la ulterior localización de averías, fuera de servicio, o supervisión del sistema a través de bucles telecontrolados desde los terminales apropiados;
- indicación de un próximo fallo del equipo en servicio, de modo que pueda emprenderse o planificarse la acción preventiva;
- medios de localización de averías persistentes y de averías intermitentes de una duración y frecuencia que hacen que el sistema incumpla los requisitos de calidad de funcionamiento.

Otros medios, tales como la COTDR, si los OSR y las BU están equipados con bucles, y las mediciones eléctricas que utilizan equipos instalados en las estaciones terminales o a bordo del buque cablero, pueden aumentar la precisión de la localización de averías.

La supervisión del sistema se verá facilitada mediante equipo informático situado en uno o ambos extremos.

A.2.4 Integración del sistema

Un enlace o red de cables de fibra óptica submarinos puede establecerse utilizando dos o más sistemas de fibra óptica submarina (es decir, conjuntos de equipo: cable, repetidor, equipo terminal, BU, ecualizador submarino óptico, etc.), diseñados independientemente por distintos suministradores.

Para integrar la red de fibra óptica submarina es necesario asegurar la compatibilidad de esos diseños. Ese es el objetivo de la especificación de la integración.

A.3 Calidad de funcionamiento del sistema

A.3.1 Balance de potencia

Las tablas de ganancia de potencia deben calcular los márgenes que deben considerarse como requisito mínimo para el sistema en el BOL. Estos márgenes deben expresarse en forma de valor del factor Q. Los contratistas deben proporcionar, como mínimo, los valores de los parámetros utilizados para calcular el balance de potencia y especificar toda la información pertinente complementaria necesaria, como es, por ejemplo, el uso de cualquier aleatorización de polarización óptica o modulación de fase para minimizar los efectos de polarización o efectos no lineales.

En el cuadro A.1 se muestra una posible plantilla de balance de potencia.

Cuadro A.1 – Una posible plantilla de balance de potencia

	Parámetro	Q de BOL en dB	Q de EOL en dB
1	Valor Q medio (a partir de un simple cálculo de SNR)		
1.1	Degradaciones de propagación debidas a efectos combinados de dispersión cromática, efecto no lineal, efectos de mezcla de cuatro ondas, efectos de esparcimiento Raman estimulado, etc.		
1.2	Degradaciones de uniformidad de ganancia		
1.3	Degradación de preénfasis óptico no óptimo		
1.4	Degradación de tolerancia en longitud de onda		
1.5	Penalidad PDL media		
1.6	Penalidad PDG media		
1.7	Penalidad PMD media		
1.8	Degradación de supervisión		
1.9	Fabricación y degradación medioambiental		
2	Calidad de funcionamiento de sistema variable en el tiempo (regla 5 sigma)		
3	Valor Q de línea (1-1.1 a 1.9-2)		
4	Valor Q de TTE especificado (espalda a espalda)		
5	Valor Q de segmento (calculado a partir de 3 y 4)		
5.1	BER correspondiente al segmento Q sin FEC		
5.2	BER correspondiente al segmento Q con FEC		
5.3	Valor Q de segmento efectivo con FEC		
6	Cumplimiento del límite Q con G.826 tras FEC		

Cuadro A.1 – Una posible plantilla de balance de potencia

	Parámetro	Q de BOL en dB	Q de EOL en dB
7	Márgenes de reparaciones Penalidad de envejecimiento de componentes y de la fibra Penalización por fallo(s) de bombeo Umbral de decisión no óptima		
8	Márgenes de segmento		
9	Margen de suministrador no asignado		
10	Límites de puesta en servicio		

El cuadro A.1 deberá rellenarse según las siguientes indicaciones:

- Línea 1: Valor Q medio (a partir de un simple cálculo de SNR). (Existen diferentes fórmulas: acumulación de ruido simple con una potencia de señal constante o potencia de salida total y con/sin relación de extinción, etc. En [b-UIT-T G-Sup.41] se presentan algunos ejemplos de los cálculos.)
- Las líneas 1.1 a 1.9 presentan una lista no exhaustiva de las fuentes de degradación que repercuten en la calidad de funcionamiento del sistema. Estas degradaciones tienen que deducirse de la línea 1.
- Línea 2: Calidad de funcionamiento de sistema variable en el tiempo. Define una degradación adicional debida a los fenómenos de fluctuación de polarización que reducen la calidad de funcionamiento media.
- Línea 3: Valor Q de línea. Esta línea da el factor Q de línea. Es el resultado de esta operación:

$$\text{Línea 3} = \text{Línea 1} - (\text{línea 1.1 a línea 1.9}) - \text{línea 2}$$

- Línea 4: Valor Q de TTE especificado. Esta línea da el factor Q posterior de SLTE en el BOL y EOL.
- Línea 5: Valor Q de segmento. Esta línea da el factor Q de segmento calculado a partir de la línea 3 y la línea 4 utilizando la fórmula siguiente:

$$\frac{1}{Q^2_{\text{segmento}}} = \frac{1}{Q^2_{\text{línea}}} + \frac{1}{Q^2_{\text{TTE espalda a espalda}}}$$

- Línea 5.1: BER correspondiente al segmento Q sin FEC. La línea 5 se convirtió en tasa de errores en los bits (BER) antes de la corrección de errores en recepción.
- Línea 5.2: BER correspondiente al segmento Q con FEC. BER tras FEC.
- Línea 5.3: Valor Q de segmento efectivo con FEC. Línea 5.2 convertida en factor Q.
- Línea 6: Cumplimiento del límite Q con G.826 tras FEC. Factor Q correspondiente a la peor tasa de errores de bit admisible antes de la corrección por FEC. Por ejemplo, 11,2 dB corresponde a una BER de $2,4 \times 10^{-4}$. Una BER de $2,4 \times 10^{-4}$ se convierte en FEC de primera generación, descrita en [UIT-T G.975], en una BER mejor que 10^{-11} . Por tanto, un factor Q de todos 11,2 dB cubre todas las longitudes de DLS para los FEC de primera generación. Al emplear los mecanismos avanzados de FEC definidos en [UIT-T G.975.1], se convierte una BER de 10^{-3} a una BER mejor que 10^{-13} , tras la corrección.
- Línea 7: Reparaciones, envejecimiento y fallos de bombeo. La línea 7 viene dada por la línea 5 (BOL) menos la línea 5 (EOL).

- Línea 8: Márgenes de segmento. Línea 8 (EOL) los márgenes de segmento son normalmente 1 dB contractualmente al EOL. Línea 8 (BOL) viene dada por la línea 7 más la línea 8 (EOL).
- Línea 9: Margen de suministrador no asignado. Margen para otras degradaciones desconocidas.
- Línea 10: Límites de puesta en servicio. Esta línea da el límite Q contractual a la puesta en servicio para cada DLS.

A.3.2 Calidad de funcionamiento de la sección de línea digital

La calidad de funcionamiento de cada sección de línea digital debe cumplir al menos [UIT-T G.826].

A.4 Funcionamiento del sistema

A.4.1 Comunicación de terminal a terminal

Generalmente se establecen dos canales de servicio, por lo menos, entre dos estaciones terminales: uno a través del sistema de cable submarino de fibra óptica para el funcionamiento y el mantenimiento del sistema y otro por medios externos o por otra ruta en el caso de sistemas de red en anillo, para mantener la comunicación entre las dos estaciones terminales en caso de avería del sistema.

En particular, se prevé normalmente un canal de servicio que:

- permita la transmisión de mensajes de terminal a terminal entre los equipos supervisores de estaciones terminales correspondientes;
- proporcione información sobre el estado del sistema y de las secciones de línea digital;
- proporcione información sobre la actividad supervisora en curso, ayudando así al control global del sistema y a la supervisión; y
- proporcione información para la localización de averías.

Puede establecerse un circuito de órdenes entre estaciones terminales que intercambian tráfico para la comunicación entre el personal de las estaciones terminales.

A.4.2 Función y características del equipo de alimentación de energía

A.4.2.1 Condición de funcionamiento normal del PFE

El PFE suministra, a través del conductor de potencia del cable con retorno por el mar, una corriente eléctrica estabilizada con la que alimentar los circuitos eléctricos del repetidor o los repetidores submarinos ópticos y/o de la unidad o unidades de derivación submarinas ópticas. Esta corriente es ajustable por lo general y disminuye ligeramente en función de la carga resistiva del PFE.

Las variaciones en el tiempo de la corriente del PFE, que pueden deberse a cambios de la temperatura ambiente dentro de una gama especificada, variaciones y fenómenos transitorios de la tensión de la fuente de potencia, o conmutación de redundancia en el PFE, se mantienen entre límites específicos. La estabilidad de la corriente del PFE se define de modo que se satisfaga el requisito de estabilidad global del sistema de cable submarino de fibra óptica. Normalmente, la estabilidad de la corriente del PFE se expresa como un porcentaje de la corriente nominal del PFE.

La tensión de salida del PFE se ajusta automáticamente, para mantener la corriente del PFE constante en presencia de tensiones inducidas de manera natural. Se considera normalmente que estas tensiones inducidas de manera natural, que se acumulan a lo largo de un enlace, pueden alcanzar un valor de 0,3 V/km (este-oeste) y que varían lentamente con el tiempo (menos de 10 V/s).

A.4.2.2 Protección del sistema

El PFE está equipado normalmente con dispositivos diseñados para proteger al propio PFE y al tramo submarino frente a corrientes o tensiones excesivas, en caso de avería eléctrica en el PFE o en cualquier otro punto del sistema.

En particular, se proporciona una protección de puesta a tierra de los PFE para encaminar automáticamente la corriente de alimentación a la puesta a tierra de la estación, si el electrodo de alimentación del sistema llegara a desconectarse o variara a un potencial excesivo con respecto a la puesta a tierra de la estación. El funcionamiento de este dispositivo está concebido de manera que se evite la interrupción del sistema de cable submarino de fibra óptica y se prevenga una elevación del potencial de tierra del equipo de potencia suficiente como para dañar el equipo o poner en peligro al personal.

A.4.2.3 Protección del personal del PFE

La protección del personal del PFE se proporciona para evitar que las personas puedan tener acceso a tensiones peligrosas, generadas en el extremo cercano o en el extremo distante del sistema de cable submarino de fibra óptica. El dispositivo de protección incluye, en particular, enclavamientos en el equipo de terminación del cable, paradas de emergencia en el PFE y equipos de puesta a tierra que permiten la descarga a tierra del conductor de potencia del cable antes de manipularlo.

A.5 Características de los repetidores submarinos ópticos (OSR), de las unidades de derivación (BU) y de los equalizadores submarinos ópticos (OSE)

A.5.1 Consideraciones generales

Los OSR, BU y OSE pueden trabajar de conformidad con las especificaciones de calidad de funcionamiento del sistema, durante la vida nominal del sistema y en las condiciones ambientales de la profundidad del mar (temperatura, presión, etc.).

Los OSR, BU y OSE se diseñan de modo que puedan ser manipulados, es decir, tendidos, recuperados y tendidos de nuevo, sin degradación de la calidad de funcionamiento del cable, de las cajas de unión de cables, de los repetidores, de las unidades de derivación y de las terminaciones de cables, siempre que se respeten las especificaciones relativas a su manipulación.

Su diseño permite además su transporte y almacenaje en condiciones de temperatura especificada, sin afectar a la duración de la vida nominal del sistema, siempre que se respeten las especificaciones relativas al almacenamiento y transporte.

Los OSR, BU y OSE pueden funcionar a bordo de un buque cablero durante las operaciones de tendido y reparación, sin afectar a la duración de la vida nominal del sistema.

El tamaño de los OSR, BU y OSE permite su manejo mediante un equipo apropiado de buque cablero.

La interfaz de entrada óptica del repetidor (punto R) de cada fibra entrante se define donde la fibra del repetidor se empalma con la fibra del cable.

La interfaz de salida óptica del repetidor (punto S) de cada fibra saliente se define donde la fibra del repetidor se empalma con la fibra del cable.

A.5.2 Constituyentes del OSR (o BU u OSE)

Los principales constituyentes del repetidor (o BU) son:

- El alojamiento del repetidor (o BU u OSE):
El alojamiento está diseñado de manera que proporcione resistencia a la presión en el fondo del mar, estanqueidad al agua, gran solidez mecánica, conexión eléctrica y óptica a las secciones de cable de cada lado del OSR (o BU u OSE), aislamiento a las altas tensiones y una baja impedancia térmica entre la unidad electrónica del OSR (o BU u OSE ajustable) y el mar.
- La unidad electrónica/óptica del repetidor (o BU u OSE ajustable):
Componente, constituido por el(los) amplificador(es) óptico(s), y/o el(los) circuito(s) supervisor(es), y/o la alimentación de energía y el(los) circuito(s) de protección, y/o el(los) multiplexor(es) y demultiplexor(es) óptico(s), y/o el(los) conmutador(es) de redundancia.

A.5.3 Unidad de supervisión y supervisión

En asociación con el controlador de mantenimiento en el terminal, la unidad de supervisión de OSR (o BU u OSE ajustable) permite supervisar la calidad de funcionamiento del repetidor. Los bucles ópticos pueden proporcionar facilidades para supervisar las secciones de cable entre dos OSR con el uso de COTDR.

Bibliografía

- [b-UIT-T G-Sup.41] Recomendaciones UIT-T de la serie G – Suplemento 41 (2005), *Directrices de concepción para los sistemas de cable submarino de fibra óptica.*

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedia
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedia
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	Gestión de las telecomunicaciones, incluida la RGT y el mantenimiento de redes
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos, comunicaciones de sistemas abiertos y seguridad
Serie Y	Infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo Internet y Redes de la próxima generación
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación