



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.977

(03/2004)

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

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
EQUIPOS DE PRUEBAS	G.500–G.599
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	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
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.7000–G.7999
REDES DIGITALES	G.8000–G.8999

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

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 un amplificador de fibra óptica (OFA) como repetidor de línea. Comprende los aspectos relacionados con los sistemas de una sola longitud de onda (SWS) 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 8 de marzo de 2004 por la Comisión de Estudio 15 del UIT-T (2001-2004) por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

Histórico

Versión	Recomendación	Aprobación	Observación
1.0	G.977	2000-04-04	Esta versión incluye los sistemas de multiplexación por división en longitud de onda densa (DWDMS) de sistemas submarinos con amplificación óptica, cuyas aplicaciones e implementaciones se reconsideran en el anexo A. Además, la descripción genérica que se incluía en el anexo A se ha trasladado a la Rec. UIT-T G.971.
2.0	G.977	2004-03-08	

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.

© UIT 2004

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 Definiciones.....	4
4 Abreviaturas.....	7
5 Características y calidad de funcionamiento del sistema	9
5.1 Características y calidad de funcionamiento de las secciones de línea digital (DLS).....	9
5.2 Balance de potencia óptica	11
5.3 Características de fiabilidad del sistema.....	13
5.4 Mejorabilidad de la capacidad del sistema	13
6 Características y calidad de funcionamiento del TTE	14
6.1 Generalidades	14
6.2 Calidad de funcionamiento de la transmisión	14
6.3 Acciones como consecuencia de una alarma.....	15
6.4 Conmutación automática	15
7 Características y calidad de funcionamiento de los repetidores submarinos ópticos (OSR, <i>optical submarine repeaters</i>)	15
7.1 Características mecánicas.....	15
7.2 Características eléctricas	16
7.3 Características ópticas	16
7.4 Facilidades de supervisión.....	17
7.5 Localización de averías	17
7.6 Fiabilidad.....	18
8 Características y calidad de funcionamiento de la unidad de derivación (BU, <i>branching unit</i>) en línea.....	18
8.1 Generalidades	18
8.2 Características mecánicas	19
8.3 Características eléctricas	19
8.4 Características ópticas	20
8.5 Facilidades de supervisión.....	20
8.6 Localización de averías	20
8.7 Fiabilidad.....	20
9 Características y calidad de funcionamiento del cable submarino	21
9.1 Alcance	21
9.2 Características de transmisión	21
9.3 Características de la fibra en un cable submarino	21

	Página
9.4 Características mecánicas y resistencia al entorno	24
9.5 Características eléctricas	25
Anexo A – Implementación de sistemas de cable submarino de fibra óptica con repetidores que utilizan amplificador de fibra óptica	26
A.1 Introducción.....	26
A.2 Configuración del sistema	26
A.3 Calidad de funcionamiento del sistema	28
A.4 Funcionamiento del sistema	30
A.5 Características de los repetidores submarinos ópticos (OSR) y de las unidades de derivación (BU).....	31

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 systems*), con los sistemas de multiplexación por división en longitud de onda (WDMS, *wavelength division multiplexing systems*) y con los sistemas de multiplexación por división en longitud de onda densa (DWDMS, *dense wavelength division multiplexing systems*). 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.

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

- Recomendación UIT-T G.650.1 (2002), *Definiciones y métodos de prueba de los atributos lineales y determinísticos de fibras y cables monomodo.*
- Recomendación UIT-T G.650.2 (2002), *Definiciones y métodos de prueba de las características estadísticas y no lineales de fibras y cables monomodo.*
- Recomendación UIT-T G.652 (2003), *Características de las fibras y cables ópticos monomodo.*
- Recomendación UIT-T G.653 (2003), *Características de los cables y fibras ópticas monomodo con dispersión desplazada.*

- Recomendación UIT-T G.654 (2002), *Características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado.*
- Recomendación UIT-T G.655 (2003), *Características de un cable de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada no nula.*
- Recomendación UIT-T G.661 (1998), *Definición y métodos de prueba de los parámetros genéricos pertinentes de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.662 (1998), *Características genéricas de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.664 (2003), *Procedimientos y requisitos de seguridad óptica para sistemas ópticos de transporte.*
- Recomendación UIT-T G.692 (1998), *Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.701 (1993), *Vocabulario de términos relativos a la transmisión y multiplexación digitales y a la modulación por impulsos codificados.*
- Recomendación UIT-T G.702 (1988), *Velocidades binarias de la jerarquía digital.*
- Recomendación UIT-T G.703 (2001), *Características físicas y eléctricas de las interfaces digitales jerárquicas.*
- Recomendación UIT-T G.707/Y.1322 (2003), *Interfaz de nodo de red para la jerarquía digital síncrona.*
- Recomendación UIT-T G.708 (1999), *Interfaz de nodo de red sub STM-0 para la jerarquía digital síncrona.*
- Recomendación UIT-T G.783 (2004), *Características de los bloques funcionales del equipo de la jerarquía digital síncrona.*
- 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.*
- 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.*
- 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.*
- Recomendación UIT-T G.921 (1988), *Secciones digitales basadas en la jerarquía de 2048 kbit/s.*
- 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.*
- Recomendación UIT-T G.957 (1999), *Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital síncrona.*
- Recomendación UIT-T G.971 (2000), *Características generales de los sistemas de cable submarino de fibra óptica.*
- Recomendación UIT-T G.972 (2000), *Definición de términos pertinentes a los sistemas de cable submarino de fibra óptica.*
- Recomendación UIT-T G.975 (2000), *Corrección de errores en recepción para sistemas submarinos.*

- Recomendación UIT-T G.976 (2000), *Métodos de prueba aplicables a los sistemas de cable submarino de fibra óptica*.
- CEI 60825-1 (2001), *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide*.
- CEI 60825-2 (2004), *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:

- Carga de rotura del cable: véase la Rec. UIT-T G.972.
- Factor de compresión: véase la Rec. UIT-T G.976.
- Sección de línea digital (DLS): véase la Rec. UIT-T G.701.
- Cable con armadura doble: véase la Rec. UIT-T G.972.
- Carga de cable de rotura de fibra: véase la Rec. UIT-T G.972.
- Corrección de errores en recepción (FEC): véanse las Recomendaciones UIT-T G.972 y G.975.
- Uniformidad de ganancia: véase la Rec. UIT-T G.976.
- Máxima diferencia de potencia de canal: véase la Rec. UIT-T G.692.
- Mínimo radio de curvatura del cable: véase la Rec. UIT-T G.972.
- Tara de sección múltiple (MSOH): véase la Rec. UIT-T G.783.
- Figura de ruido: véase la Rec. UIT-T G.661.
- Ganancia nominal: véase la Rec. UIT-T G.976.
- Resistencia operativa nominal a la tracción: véase la Rec. UIT-T G.972.
- Resistencia permanente nominal a la tracción: véase la Rec. UIT-T G.972.
- Nivel nominal de entrada de señal: véase la Rec. UIT-T G.976.
- Nivel nominal de salida de señal: véase la Rec. UIT-T G.976.
- Resistencia transitoria nominal a la tracción: véase la Rec. UIT-T G.972.
- Amplificador de fibra óptica (OFA): véase la Rec. UIT-T G.661.
- Ganancia dependiente de la polarización: véase la Rec. UIT-T G.661.
- Pérdida dependiente de la polarización: véase la Rec. UIT-T G.661.
- Quemadura de hueco por polarización: véase la Rec. UIT-T G.661.
- Dispersión por modo de polarización: véase la Rec. UIT-T G.661.
- Cable con armadura de roca: véase la Rec. UIT-T G.972.
- Puntos de referencia S', R': véanse las Recomendaciones UIT-T G.661 y G.662.
- Puntos de referencia S, R: véanse las Recomendaciones UIT-T G.955 y G.957.
- Cable con armadura simple: véase la Rec. UIT-T G.972.
- Ganancia de pequeña señal: véase la Rec. UIT-T G.661.
- Jerarquía digital síncrona (SDH): véase la Rec. UIT-T G.708.
- Módulo de transporte síncrono (STM): véase la Rec. UIT-T G.708.

3.2 Definiciones

Para los fines de esta Recomendación, se aplican las definiciones siguientes. Las figuras 1, 2, 3 y 4 adjuntas, que ilustran estas definiciones, describen un equipo terminal para WDMS y DWDM. 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 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.

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

3.2.3 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.

3.2.4 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.

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

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

3.2.7 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).

3.2.8 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.

3.2.9 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.

3.2.10 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.

3.2.11 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.

3.2.12 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.

3.2.13 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.

3.2.14 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.

3.2.15 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.

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

3.2.17 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.

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

3.2.19 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.

3.2.20 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.

3.2.21 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.

3.2.22 igualador de ganancia: El igualador 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.

3.2.23 igualador de variación de ganancia: El igualador de variación de ganancia es la forma empleada por el WDMS para la igualación 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.

3.2.24 igualador de pendiente: El igualador de pendiente es la forma empleada por el WDMS para la igualación 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.

3.2.25 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.

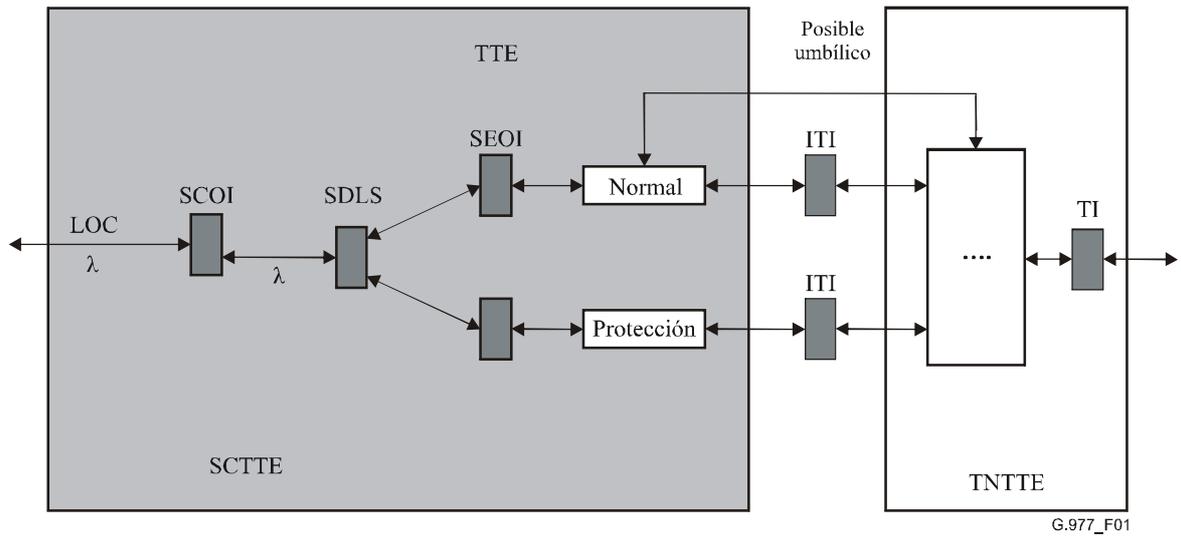


Figura 1/G.977 – Términos y definiciones para SWS

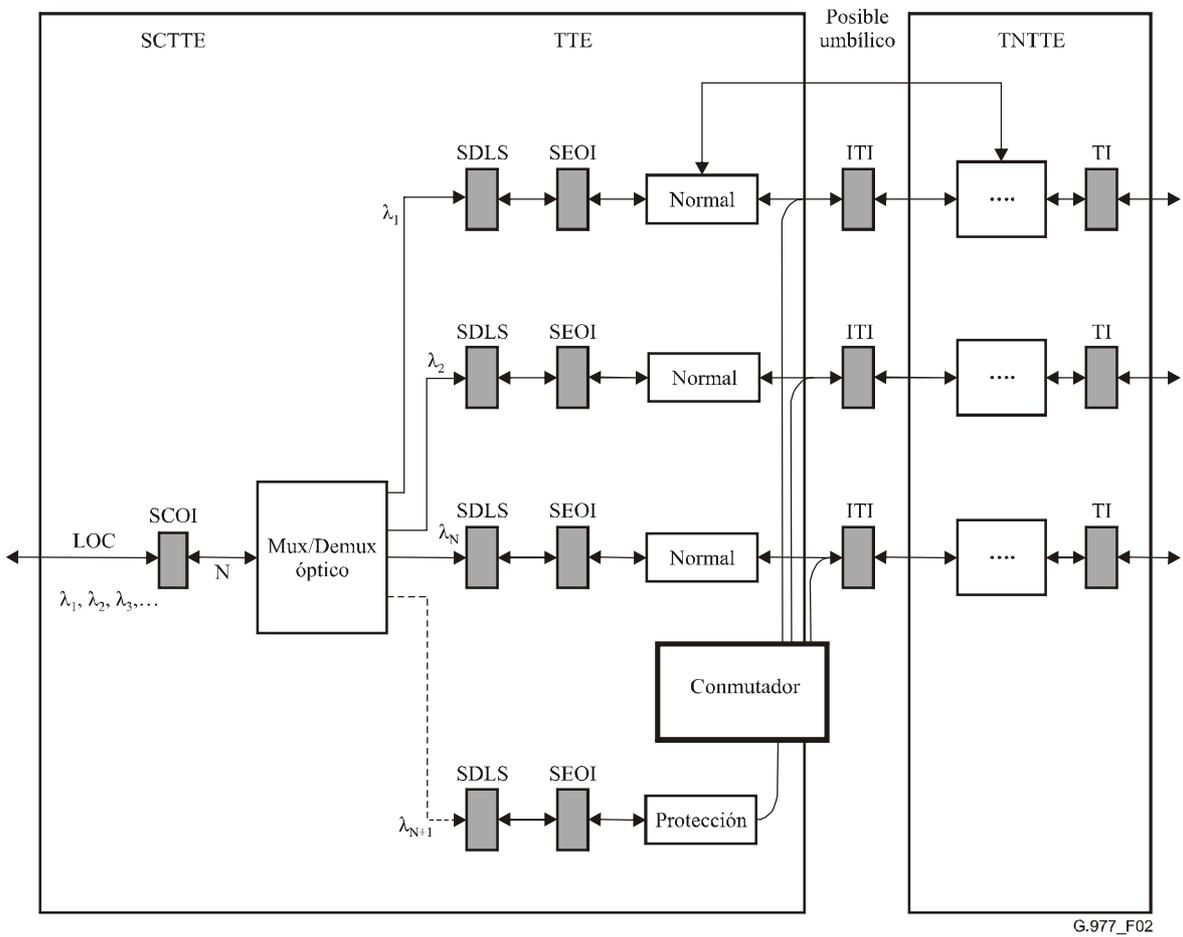


Figura 2/G.977 – Términos y definiciones para WDM SWS

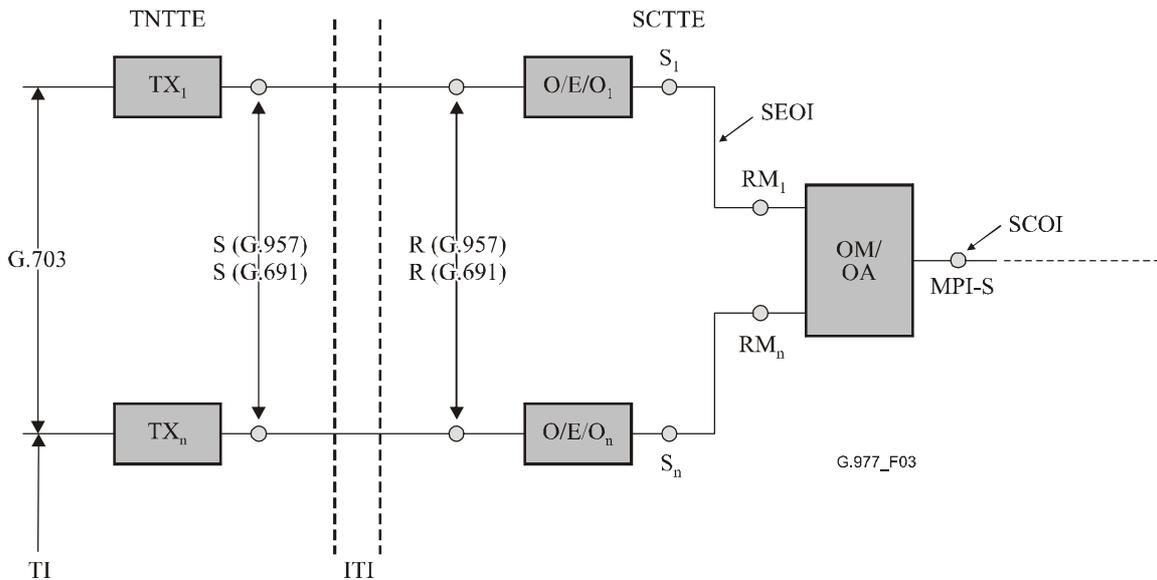


Figura 3/G.977 – Lado transmisión

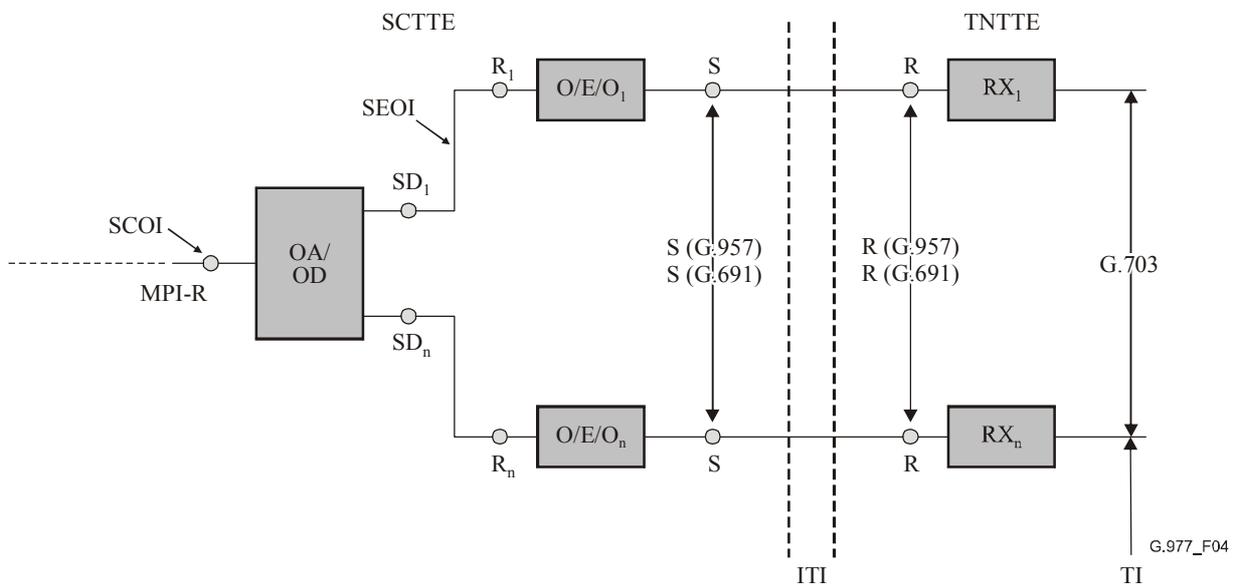


Figura 4/G.977 – Lado recepción

4 Abreviaturas

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

Aeff	Área efectiva (<i>effective area</i>)
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>)
CSF	Fibra monomodo con corte desplazado (<i>cut-off shifted single mode fibre</i>)
CS-RZ	Vuelta a cero con supresión de portadora (<i>carrier suppressed return to zero</i>)
DCF	Fibra monomodo con compensación de dispersión (<i>dispersion compensation single mode fibre</i>)
DLS	Sección de línea digital (<i>digital line section</i>)
DSF	Fibra monomodo con dispersión desplazada (<i>dispersion shifted single mode fibre</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 systems</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>)
NDSF	Fibra sin dispersión desplazada (<i>non-dispersion shifted fibre</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>)
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>)
NZDSF	Fibra con dispersión desplazada no nula (<i>non-zero dispersion shifted fibre</i>)
OFA	Amplificador de fibra óptica (<i>optical fibre amplifier</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>)
SCOI	Interfaz de salida de cable submarino (<i>submarine cable output interface</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 output interface</i>)
SMF	Fibra monomodo (<i>single mode fibre</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 systems</i>)
TI	Interfaz terrenal (<i>terrestrial interface</i>)
TSE	Equipo de estación terminal (<i>terminal station equipment</i>)
TTE	Equipo terminal de transmisión (<i>terminal transmission equipment</i>)
VSB	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>)
WDM-BU	Unidad de derivación de multiplexación por división en longitud de onda (<i>wavelength division multiplex-branching unit</i>)
WDMS	Sistemas de multiplexación por división en longitud de onda (<i>wavelength division multiplexing systems</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 las Recomendaciones UIT-T G.702, G.703, G.707/Y.1322 y G.957.

En la ITI, se recomienda que las señales digitales cumplan los parámetros físicos descritos en la Rec. 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 (por ejemplo, Rec. UIT-T G.821 para sistemas PDH y Rec. UIT-T G.826 para sistemas SDH).

En los sistemas PDH, los parámetros principales son los segundos con muchos errores y los segundos con error. Proceden de la Rec. UIT-T G.821 junto con las características de error a 64 kbit/s según la distancia. La información sobre la correspondencia entre las características de error del sistema a 64 kbit/s figura en el anexo D/ G.821 (1988).

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

5.1.3 Disponibilidad del sistema en la TI

Para interfaces PDH:

- la definición de tiempo de indisponibilidad procede del anexo A/G.821;
- como se indica en el anexo A/G.821, 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 la Rec. UIT-T G.826.

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 las Recomendaciones UIT-T G.823 y G.957 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, *begin 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:

- i) el valor nominal de potencia de salida del repetidor;

- ii) el valor nominal del factor de ruido;
- iii) los valores de anchura de banda óptica y eléctrica en el lado receptor, utilizados para calcular el balance de potencia.

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 igualación de ganancia, igualadores de variación de ganancia y/o igualadores de pendiente, mejoran las calidades de transmisión.

5.2.1 Factor de calidad (factor Q, *Q factor*)

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/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 las Recomendaciones UIT-T G.703 y G.957;
- b) 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);
 - 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 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 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) los puntos R_1 , R_n a las entradas de los O/E/O 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 las Recomendaciones UIT-T G.823, 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/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 la Rec. 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 puede 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

La Rec. 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 Facilidades 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.

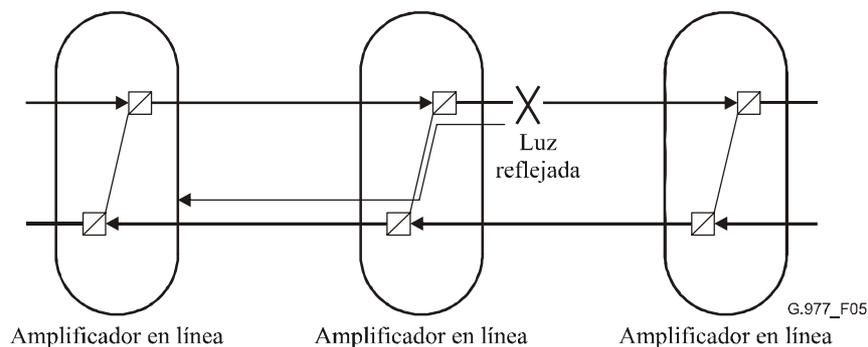


Figura 5/G.977 – Ejemplo de localización de averías utilizando COTDR para OFA con acoplamiento en bucle salida-salida

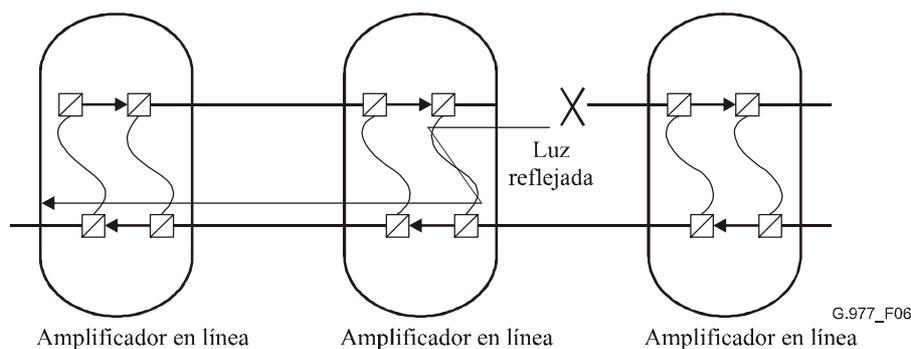


Figura 6/G.977 – Ejemplo de localización de averías utilizando COTDR para sistemas OFA con acoplador salida-entrada

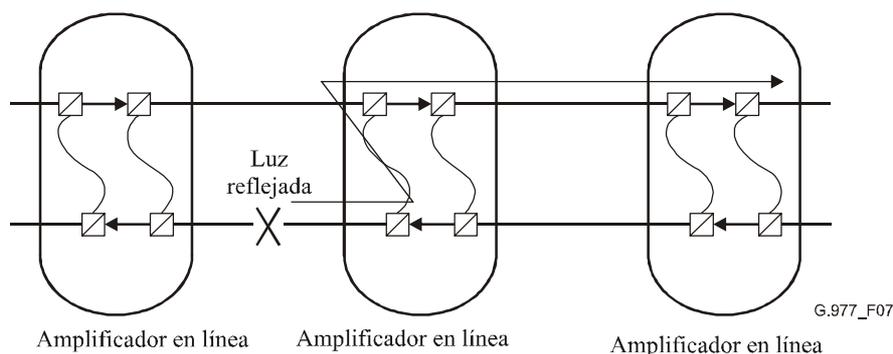


Figura 7/G.977 – Ejemplo de localización de averías utilizando COTDR para sistemas OFA con acoplador salida-entrada

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 puede 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 FDD-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 Facilidades 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 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 cable submarino

9.1 Alcance

El cable submarino está diseñado para asegurar la protección de las fibras ópticas contra la presión del agua, la propagación longitudinal del agua, la agresión química y los efectos de la contaminación por hidrógeno a lo largo de toda la vida útil de diseño del cable.

El cable está diseñado también para asegurar que no habrá degradaciones de calidad de funcionamiento de la fibra cuando el cable sea tendido, enterrado, recuperado y sea sometido a ejercicios submarinos normalizados.

9.2 Características de transmisión

Generalmente, las características de transmisión de las fibras antes de su cableado (instalación en el cable) serán similares o idénticas a las especificadas en las Recomendaciones UIT-T G.652, G.653, G.654 o G.655. Deben escogerse los tipos de fibra adecuados para optimizar la calidad de funcionamiento y coste global del sistema.

Las características de transmisión de la fibra instalada en la sección de cable elemental deben encontrarse dentro de los límites de variación especificados con respecto a las características de la fibra antes de su cableado; en particular, el diseño del cable, las uniones del mismo y las fibras deben ser tales que las curvaturas y microcurvaturas de la fibra sólo provoquen un aumento despreciable de la atenuación. Esta circunstancia debe tenerse en cuenta para determinar el radio mínimo de curvatura de la fibra en el cable y en el equipo (conexiones de cable óptico, trama de distribución óptica, unidades de derivación, etc.).

La atenuación en la fibra y la dispersión cromática deben permanecer estables dentro de los límites especificados durante toda la vida nominal del sistema; en particular, en el diseño del cable deben minimizarse a niveles aceptables tanto la penetración de hidrógeno desde el exterior como la generación de hidrógeno en el interior del cable, aun tras la ruptura del cable a la profundidad de utilización; también debe tenerse en cuenta la sensibilidad de la fibra óptica a la radiación gamma.

9.3 Características de la fibra en un cable submarino

9.3.1 Generalidades

Los principales parámetros que caracterizan una fibra óptica son:

- el coeficiente de atenuación para todas las longitudes de onda de funcionamiento, expresado en dB/km;
- el coeficiente de dispersión cromática para todas las longitudes de onda de funcionamiento, en ps/nm.km;
- la longitud de onda de dispersión nula λ_0 en nm;
- la pendiente de dispersión alrededor de las longitudes de onda de funcionamiento en ps/nm².km;
- el índice de refracción no lineal n_2 en m²/W;
- la superficie efectiva A_{eff} en μm^2 ;
- el coeficiente no lineal n_2/A_{eff} en W⁻¹;
- la dispersión del modo de polarización (PMD) en ps/(km)^{1/2}.

En relación con estos parámetros, los diseñadores de sistemas submarinos pueden distinguir varios tipos de fibra óptica, entre ellos:

- fibra monomodo (SMF, *single mode fibre*), definida en la Rec. UIT-T G.652;
- fibra monomodo con dispersión desplazada (DSF, *dispersion shifted single mode fibre*), definida en la Rec. UIT-T G.653;
- fibra monomodo con corte desplazado (CSF, *cut-off shifted single mode fibre*), definida en la Rec. UIT-T G.654;
- fibra monomodo con dispersión desplazada no nula (NZDSF, *non-zero dispersion shifted fibre*), definida en la Rec. UIT-T G.655;
- fibra monomodo con compensación de la dispersión (DCF, *dispersion compensation single mode fibre*);
- fibras de pendiente de dispersión negativa;
- fibras de área efectiva muy grande.

Según las especificaciones del sistema (velocidad binaria de datos y codificación, número de longitudes de onda, tramo de amplificador, potencia de salida del amplificador, longitud del enlace, etc.), pueden utilizarse diversas combinaciones de estos tipos de fibras para asegurar la calidad de funcionamiento del sistema. En este caso, el sistema se denomina de gestión de la dispersión.

9.3.2 Pérdida de la fibra

La pérdida de una fibra óptica viene caracterizada por el coeficiente de atenuación expresado en dB/km (valor logarítmico) o en km^{-1} (valor lineal).

9.3.3 No linealidad de la fibra

Los efectos no lineales deben considerarse cuando se diseñan haces ópticos de larga distancia con los OFA de alta potencia de salida. Estos efectos son acumulativos a lo largo del enlace óptico y pueden degradar apreciablemente la propagación. En SWS, el efecto no lineal predominante es generalmente una automodulación de fase de la señal proporcional al coeficiente no lineal (relación n_2/A_{eff}) multiplicado por el cuadrado de su amplitud normalizada. Esta no linealidad, en presencia de dispersión cromática, induce un ensanchamiento de los impulsos en el dominio del tiempo, y una consiguiente degradación de la calidad de funcionamiento del sistema. Sin embargo, en WDMS y DWDMS, el efecto predominante es normalmente una modulación de fase cruzada debida a la presencia de longitudes de onda adyacentes. Esta no linealidad induce cierta degradación de la calidad de funcionamiento.

9.3.4 Dispersión por modo de polarización (PMD)

Pequeñas desviaciones con respecto a una simetría cilíndrica perfecta en el núcleo de la fibra producen birrefringencia debido al diferente índice de modo asociado con las componentes polarizadas ortogonales del modo fundamental. La PMD produce ensanchamiento de los impulsos y debe limitarse a un valor máximo. Este valor puede expresarse para el enlace completo y se fija generalmente a una cierta relación tiempo/intervalo de bit. La PMD se expresa en $\text{ps}/(\text{km})^{1/2}$.

9.3.5 Dispersión cromática

La dispersión cromática representa la dependencia de la velocidad de grupo, de forma que todas las componentes espectrales de una señal óptica se propagan a velocidades diferentes. Esto produce un ensanchamiento de los impulsos y puede constituir una degradación importante. Según el diseño del sistema y especialmente del número de longitudes de onda (sistema WDM), puede ser de interés gestionarlo de manera completamente diferente para limitar el ensanchamiento de los impulsos y otros efectos de propagación. Generalmente, esta gestión produce un mapa de dispersión que muestra cómo se gestiona la dispersión a lo largo del enlace completo.

9.3.5.1 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 DWDMS 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.

9.3.5.2 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 (post-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 WDMS y DWDMS.

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 DSF, SMF, DCF, NZDSF, CSF, fibras de pendiente negativa, 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.

9.4 Características mecánicas y resistencia al entorno

9.4.1 Protección de la fibra por la estructura del cable

El grado de supervivencia de la fibra viene determinado por la aparición de las imperfecciones dentro de la estructura del cristal. Depende del estado mecánico inicial de la fibra antes de su cableado según la estructura física de la fibra (tipo de revestimiento, tensión interna), de la condición medioambiental durante la fabricación de la fibra y del nivel de la verificación de prueba aplicado a la fibra tras su estiramiento. Depende igualmente del entorno de la fibra en el cable y del efecto acumulativo de la tensión aplicada a la fibra durante su vida útil.

La resistencia de la estructura del cable junto con la de la fibra determina el comportamiento mecánico global del cable. Deben diseñarse de forma que se garantice la vida nominal del sistema, teniendo en cuenta el efecto acumulativo de la carga aplicada al cable durante su tendido, recuperación y reparación así como toda carga permanente o elongación residual aplicada al cable instalado.

Para proteger las fibras ópticas se utilizan normalmente dos tipos genéricos de estructura de cable:

- estructura de cable tenso, donde la fibra se mantiene firmemente unida al cable de manera que su elongación es prácticamente igual a la del cable;
- estructura de cable suelto, donde la fibra puede moverse en el interior del cable de manera que su elongación es inferior a la del cable, siendo nula hasta que la elongación del cable alcanza un valor determinado.

Además, el cable debe proteger a la fibra contra el agua, la humedad y la presión externa, debe limitar igualmente la penetración longitudinal de agua tras la ruptura del cable a la profundidad de utilización.

9.4.2 Características mecánicas de la fibra

Las características mecánicas de la fibra dependen en gran medida de la aplicación de una prueba de funcionamiento a toda la longitud de la fibra. Dicha prueba a la fibra óptica se caracteriza por la carga aplicada a la misma o la elongación de la fibra, y el tiempo de aplicación. El nivel de la prueba de funcionamiento debe determinarse en función de la estructura del cable. Los empalmes de la fibra deben someterse a pruebas similares. Se recomienda que la duración de las pruebas de funcionamiento sea lo más breve posible.

Para determinar el radio de curvatura mínimo de la fibra en el cable y en los equipos (unidades de derivación, cajas de unión de cables o acopladores de cable) debe tenerse en cuenta la resistencia mecánica de los empalmes de la fibra.

9.4.3 Características mecánicas del cable

Los cables, así como las cajas de unión de cables, los acopladores de cable y las transiciones de cable, deben ser manejados con seguridad por los buques cableros durante las etapas de tendido y reparación y deben soportar numerosos pasos por la proa del buque.

El cable debe poder repararse y el tiempo que lleva la realización de un empalme de cable a bordo, durante una reparación y en buenas condiciones de trabajo, debe ser razonablemente breve.

Si el cable se engancha en un rezón, un ancla o un arte de pesca, la ruptura suele producirse a una carga aproximadamente igual a una fracción (dependiendo del tipo de cable y de las características del rezón) de la carga de ruptura aplicada longitudinalmente; existe el riesgo de que disminuya la

vida útil de la fibra y del cable así como la fiabilidad en las proximidades del punto de ruptura, debido en particular a la tensión aplicada a la fibra o a la penetración de agua; la parte del cable dañada debe sustituirse y su longitud debe mantenerse dentro de unos límites especificados.

En la Rec. UIT-T G.972 se definen varios parámetros para caracterizar las características mecánicas del cable y su facilidad de instalación, recuperación y reparación; esos parámetros pueden utilizarse como orientaciones para el manejo del cable:

- carga de rotura del cable, medida durante las pruebas de cualificación;
- carga de cable de rotura de fibra, medida durante las pruebas de cualificación;
- carga de cable transitoria, que puede aparecer accidentalmente, especialmente durante las operaciones de recuperación;
- carga de cable nominal, que puede aparecer durante las reparaciones;
- elongación de cable permanente, que caracteriza el estado del cable tras el tendido;
- radio mínimo de curvatura del cable, que sirve de orientación para el manejo del mismo.

9.4.4 Protección del cable

El cable submarino de fibra óptica debe proporcionar una buena protección contra las agresiones del entorno en su profundidad de utilización: protección contra la vida marina, la mordedura de los peces y la abrasión, y blindaje contra las agresiones y las actividades de los barcos. En la Rec. UIT-T G.972 se definen distintos tipos de cables protegidos:

- cable con armadura simple;
- cable con armadura doble;
- cable con armadura de roca.

El cable terrestre de fibra óptica debe proteger al sistema y al personal contra las descargas eléctricas, la interferencia industrial y los rayos. Normalmente se utilizan dos tipos de cables terrestres protegidos:

- el cable terrestre armado con una armadura que debe mantenerse al potencial de tierra, adecuado para su enterramiento directo; y
- el cable apantallado por conducto, con una pantalla de seguridad circular (que puede ser el escudo de protección contra la mordedura de los peces), adecuado para su introducción en conductos.

9.5 Características eléctricas

Los sistemas de cable submarino de fibra óptica con repetidores que utilizan los OFA deben ser alimentados en energía mediante un conductor eléctrico interno al cable con una baja resistencia lineica y un aislante con una capacidad de aislamiento contra la alta tensión.

Este conductor puede ser también de utilidad para efectuar pruebas con electrodos en servicio y fuera de servicio.

Anexo A

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

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 1/G.974 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, dependiendo de los requisitos de cada sistema.

En la figura 1/G.974, 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 los puntos que siguen hacen referencia a la figura anterior.

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 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.

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 mantenimiento del sistema

El equipo de supervisión y mantenimiento 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, 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/G.977 – 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 corrección FEC		

Cuadro A.1/G.977 – 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 ser el siguiente:

- 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; FFS) (véase la nota).
- Las líneas 1.1 a 1.9 dan una lista 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:
Línea 3 = Línea 1 – (línea 1.1 a línea 1.9) – 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:

$$\frac{1}{Q^2_{segmento}} = \frac{1}{Q^2_{línea}} + \frac{1}{Q^2_{TTE(espalda\ a\ espalda)}}$$
- 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 la corrección 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 corrección 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 por corrección FEC de primera generación 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.
- 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.

NOTA – FFS significa "Queda en estudio".

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 la Rec. 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 y con el que informar sobre el estado del sistema y de las secciones de línea digital y sobre la actividad supervisora en curso, ayudando así al control global del sistema y a la supervisión o 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) y de las unidades de derivación (BU)

A.5.1 Consideraciones generales

Los OSR y las BU pueden trabajar de conformidad con las recomendaciones 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 y las BU 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 y las BU 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 y las BU 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)

Los principales constituyentes del repetidor (o BU) son:

- El alojamiento del repetidor (o BU):
Parte mecánica que contiene la unidad optoelectrónica. 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), aislamiento a las altas tensiones y una baja impedancia térmica entre la unidad electrónica del OSR (o BU) y el mar.
- La unidad electrónica/óptica del repetidor (o BU):
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) 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.

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie B	Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación
Serie C	Estadísticas generales de telecomunicaciones
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 multimedios
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedios
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	RGT y mantenimiento de redes: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales
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 y comunicación entre sistemas abiertos
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