



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.973

(12/2003)

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 sin repetidores**

Recomendación UIT-T G.973

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.973

Características de los sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores

Resumen

Esta Recomendación se refiere fundamentalmente a los requisitos de comportamiento del sistema y de interfaz de los sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores. Se tienen en cuenta los sistemas de una sola longitud de onda (SWS) y los de multiplexación por división de longitud de onda (WDMS). También cubre los aspectos relativos a las aplicaciones de los amplificadores de fibra óptica (OFA) discretos (amplificadores de potencia, preamplificadores, amplificadores con bombeo a distancia) y/o OFA distribuidos con bombeo a distancia que utilizan la amplificación tipo Raman.

Historia

1996 – versión 1.

2003 – Versión 2: Esta revisión incluye las nuevas descripciones relativas a los amplificadores con bombeo a distancia que utilizan la amplificación tipo Raman. Las características de las fibras ópticas de los cables submarinos se han incluido en la cláusula 7.4. También se incluyen en el anexo A ejemplos de los parámetros de los sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores para sistemas con multiplexación por división de longitud de onda y velocidades superiores a 5 Gbit/s. Además, se señala que las descripciones generales de este anexo se han trasladado a la Rec. UIT-T G.971.

Como se puede ver, esta Recomendación ha evolucionado considerablemente a lo largo de los años, por lo que se recomienda al lector que se remita a la versión adecuada para determinar las características de productos ya instalados, teniendo en cuenta el año de producción. De hecho, se supone que los productos han de ser conformes con la Recomendación en vigor en el momento de su fabricación, pero no tienen por qué ajustarse plenamente a versiones posteriores de la Recomendación.

Orígenes

La Recomendación UIT-T G.973 fue aprobada el 14 de diciembre de 2003 por la Comisión de Estudio 15 (2001-2004) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

PREFACIO

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

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

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

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

NOTA

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

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

PROPIEDAD INTELECTUAL

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

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT no 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 Definiciones.....	3
3.2 Términos definidos en otras Recomendaciones	3
4 Abreviaturas.....	4
5 Características y calidad de funcionamiento del sistema	5
5.1 Características y calidad de funcionamiento de las secciones de línea digital.....	5
5.2 Características y calidad de funcionamiento de las secciones ópticas	6
5.3 Características de fiabilidad del sistema.....	8
5.4 Actualización de la capacidad del sistema	8
6 Características y calidad de funcionamiento del equipo terminal	9
6.1 Consideraciones generales.....	9
6.2 Calidad de funcionamiento de la transmisión	9
6.3 Acciones como consecuencia de una alarma.....	9
6.4 Conmutación automática	9
7 Características y calidad de funcionamiento del cable submarino	10
7.1 Alcance	10
7.2 Características de transmisión	10
7.3 Características mecánicas y resistencia al entorno	11
7.4 Características de la fibra de un cable submarino	13
Anexo A – Implementación de sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores.....	15
A.1 Introducción.....	15
A.2 Configuración del sistema	17
A.3 Características de la señal de línea	20
A.4 Funcionamiento del sistema	21
A.5 Características de la unidad de derivación pasiva	21
Anexo B – Sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores que utilizan amplificadores ópticos con bombeo a distancia: Balance de potencia óptica entre los puntos de referencia óptica S y R y la supervisión de la línea.....	22
B.1 Amplificadores ópticos con bombeo a distancia.....	22
B.2 Balance de potencia óptica para sistemas que utilizan amplificadores ópticos con bombeo a distancia.....	23
B.3 Supervisión de la línea en la porción de bombeo	23

Recomendación UIT-T G.973

Características de los sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores

1 Alcance

Esta Recomendación se refiere fundamentalmente a los requisitos de la calidad de funcionamiento y de interfaz de los sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores. Se tienen en cuenta tanto sistemas de una sola longitud de onda (SWS, *single wavelength systems*) como los de multiplexación por división de longitud de onda (WDMS, *wavelength division multiplexing systems*). Cubre también los aspectos relativos a las aplicaciones de los OFA discretos tales como amplificadores de potencia, preamplificadores y/o amplificadores ópticos con bombeo a distancia (fibras de transmisión dopadas con erbio que utilizan bombeo a distancia desde los terminales o que emplean la amplificación distribuida tipo Raman con bombeo desde el terminal).

El objeto de un sistema de cable submarino de fibra óptica sin repetidores es establecer enlaces de transmisión entre dos o más estaciones terminales situadas en una zona geográfica limitada.

Cuando el sistema de cable conecta únicamente dos estaciones terminales recibe el nombre de "enlace por cable submarino de fibra óptica". En el resto de casos se le denomina "red de cables submarinos de fibra óptica".

En un sistema de cable submarino sin repetidores no es necesaria la utilización de equipos de alimentación de energía, puesto que no hay OFA en línea.

Por lo que se refiere a los dispositivos de la unidad de derivación, la presente Recomendación sólo considera los pasivos y no trata los componentes electrónicos ni los dispositivos de supervisión y de alimentación de energía.

La implementación física de los sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores y las implicaciones de la utilización de amplificadores ópticos con bombeo a distancia se consideran, respectivamente, en los anexos A y B.

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.650.2 (2002), *Definiciones y métodos de prueba de los atributos conexos 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 fibras y cables ópticos 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.783 (2000), *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 digital de 2048 kbit/s.*
- Recomendación UIT-T G.825 (2000), *Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía digital síncrona.*
- 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 digital de 2048 kbit/s.*
- Recomendación UIT-T G.955 (1996), *Sistemas de línea digital basados en las jerarquías digitales 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.*
- CEI 60825-1:2001, *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide.*

- CEI 60825-2 (2002), Part 2: Safety of optical fibre communications systems.

3 Términos y definiciones

3.1 Definiciones

En esta Recomendación se definen los términos siguientes.

3.1.1 unidad de derivación (BU, *branching unit*): Pieza pasiva del equipo submarino óptico insertada en la parte submarina de una red de cables submarinos de fibra óptica donde es necesaria la interconexión de más de dos secciones de cable.

3.1.2 amplificador óptico con bombeo a distancia (RPOA, *remotely pumped optical amplifier*): Se trata de un amplificador de fibra óptica que consta de una sección de fibra dopada con erbio que se activa mediante un haz de bombeo enviado desde la estación terminal.

3.1.3 amplificador tipo Raman distribuido (DRA, *distributed Raman amplifier*): Se trata de un amplificador de fibra óptica que utiliza la fibra como medio de transmisión con bombeo desde la estación terminal. Se obtiene ganancia a todo lo largo de la fibra (por tanto es distribuida) utilizando las propiedades Raman de la fibra hasta que se alcanza una potencia de bombeo suficiente.

3.1.4 equipo terminal de transmisión (TTE, *terminal transmission equipment*): Equipo incluido en la parte terrenal de un sistema de cable submarino de fibra óptica para las operaciones de multiplexación y demultiplexación de terminales de transmisión, codificación y conversión de las señales entrantes en la señal de línea óptica, conversión y decodificación de la señal de línea óptica recibida en los tributarios de salida y para llevar a cabo las operaciones de terminación del cable.

3.1.5 caja de unión de cables: Caja instalada en un cable terrestre o submarino óptico, en caso de empalme o reparación del propio cable, diseñada para proporcionar continuidad mecánica eléctrica y óptica, estanqueidad y almacenamiento de los empalmes de las fibras así como de los largos adicionales de las mismas.

3.1.6 coeficiente de ganancia Raman: Queda en estudio.

3.2 Términos definidos en otras Recomendaciones

Esta Recomendación utiliza los siguientes términos definidos en otras Recomendaciones:

- Sección de línea digital (DLS, *digital line section*): Véase la Rec. UIT-T G.701.
- Tara de sección múltiplex (MSOH, *multiplex section overhead*): Véase la Rec. UIT-T G.783.
- Amplificador de fibra óptica (OFA, *optical fibre amplifier*): Véase la Rec. UIT-T G.661.
- Puntos de referencia S, R: Véanse las Recomendaciones UIT-T G.955 y G.957.
- Puntos de referencia S', R': Véase la Rec. UIT-T G.662.
- Jerarquía digital síncrona (SDH, *synchronous digital hierarchy*): Véase la Rec. UIT-T G.707/Y.1322.
- Módulo de transporte síncrono (STM, *synchronous transport module*): Véase la Rec. UIT-T G.707/Y.1322.
- Cable con armadura simple: Véase la Rec. UIT-T G.972.
- Cable con armadura doble: Véase la Rec. UIT-T G.972.
- Cable con armadura de roca: Véase la Rec. UIT-T G.972.
- Resistencia a la tracción transitoria nominal: Véase la Rec. UIT-T G.972.
- Resistencia a la tracción de funcionamiento nominal: Véase la Rec. UIT-T G.972.

- Resistencia a la tracción permanente nominal: Véase la Rec. UIT-T G.972.
- Radio de curvatura mínima del cable: Véase la Rec. UIT-T G.972.
- Carga de rotura del cable: Véase la Rec. UIT-T G.972.
- Carga de cable de rotura de fibra: Véase la Rec. UIT-T G.972.

4 Abreviaturas

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

BER	Tasa de errores en los bits (<i>bit error ratio</i>)
BU	Unidad de derivación (<i>branching unit</i>)
CSF	Fibra monomodo con corte desplazado (<i>cut-off shifted single mode fibre</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>)
DRA	Amplificación tipo Raman distribuida (<i>distributed Raman amplification</i>)
DSF	Fibra monomodo con dispersión desplazada (<i>dispersion shifted single mode fibre</i>)
EDF	Fibra dopada con erbio (<i>erbium doped fibre</i>)
ITI	Interfaz terrenal intermedia (<i>intermediate terrestrial interface</i>)
MSOH	Tara de sección múltiplex (<i>multiplex section overhead</i>)
MTC	Cable terrenal marinizado (<i>marinized terrestrial cable</i>)
NRZ	Sin retorno a cero (<i>no return to zero</i>)
NZDSF	Fibra monomodo con dispersión desplazada no nula (<i>non-zero dispersion shifted single mode fibre</i>)
OFA	Amplificador de fibra óptica (<i>optical fibre amplifier</i>)
PDH	Jerarquía digital plesiócrona (<i>plesiochronous digital hierarchy</i>)
PFE	Equipo de alimentación de energía (<i>power feeding equipment</i>)
PMD	Dispersión por modo de polarización (<i>polarization mode dispersion</i>)
RPOA	Amplificador óptico con bombeo a distancia (<i>remotely pumped optical amplifier</i>)
SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SMF	Fibra monomodo (<i>single-mode fibre</i>)
STM	Módulo de transporte síncrono (<i>synchronous transport module</i>)
SWS	Sistema de una sola longitud de onda (<i>single wavelength system</i>)
TI	Interfaz del terminal (<i>terminal interface</i>)
TTE	Equipo terminal de transmisión (<i>terminal transmission equipment</i>)
WDM	Multiplexación por división de longitud de onda (<i>wavelength division multiplex</i>)
WDMS	Sistema de multiplexación por división de longitud de onda (<i>wavelength division multiplexing system</i>)

5 Características y calidad de funcionamiento del sistema

5.1 Características y calidad de funcionamiento de las secciones de línea digital

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

5.1.1 Características de las señales digitales en la interfaz del sistema

Las velocidades binarias de interfaz recomendadas figuran en las Recomendaciones UIT-T G.702, G.703, G.707/Y.1322, etc.

Pueden coexistir varias interfaces con distintas velocidades binarias en un solo sistema de cable submarino de fibra óptica.

5.1.2 Característica de error global

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, la Rec. UIT-T G.821 para sistemas PDH y la 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 longitud. La información sobre la correspondencia entre las características de error del sistema a 64 kbit/s figura en anexo D/G.821.

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

Para sistemas PDH:

- la definición de tiempo de indisponibilidad procede del anexo A/G.821,
- como indica 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 sistemas SDH:

- la definición de tiempo de indisponibilidad procede de la Rec. UIT-T G.826.

La disponibilidad del sistema depende de la combinación de los aspectos relativos a las características de fiabilidad, mantenibilidad y soporte de mantenimiento de los equipos del sistema y, especialmente, del equipo terminal del sistema.

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 los palangres y otros factores externos incluidos la alimentación de energía del TTE y todo periodo durante el cual 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 Características de la fluctuación de fase

Las características de fluctuación de fase de un sistema de cable submarino de fibra óptica deben ajustarse a las Recomendaciones UIT-T G.823, G.825 y demás Recomendaciones relativas a la ITI y a la TI durante la vida nominal del sistema.

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

El comportamiento de extremo a extremo en una determinada sección de línea digital (DLS, *digital line section*) se obtiene multiplicando la atribución por kilómetro 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 (que debe determinarse) 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 de la sección de línea digital (DLS)

Se recomienda que cualquier fallo, operación de mantenimiento, de supervisión, etc., de cualquier DLS no repercuta en la calidad de funcionamiento específica de cualquier otra DLS del sistema, en concreto:

- a) para WDMS y DWDMS:
 - cualquier fallo que afecte hasta la mitad de longitudes de onda no deberá afectar a las longitudes de onda restantes;
- b) para SWS, WDMS y DWDMS:
 - 1) cualquier fallo en un par de fibras no deberá afectar al resto de pares de fibras del sistema;
 - 2) cualquier fallo en cualquier afluente en cualquier nivel de multiplexación o demultiplexación (óptica o eléctrica) del sistema no deberá afectar a las demás partes del sistema.

En el improbable caso de que ocurran transitorios, con efectos de corto plazo, éstos deberán considerarse tolerables.

5.2 Características y calidad de funcionamiento de las secciones ópticas

5.2.1 Balance de potencia óptica

La calidad de funcionamiento óptica de la sección óptica se caracteriza por su balance de potencia óptica, que es la diferencia entre las potencias ópticas medias, expresadas en dBm en los dos extremos de una sección de cable de fibra óptica sumergible como puede obtenerse teniendo en cuenta las características de los componentes ópticos de los equipos situados en ambos extremos de la sección del cable. El balance de potencia óptica puede utilizarse para calcular la longitud de la sección de cable de fibra óptica sumergible que permite satisfacer el requisito característica global de error para la sección de línea digital en el sistema de cable submarino de fibra óptica.

Pueden utilizarse varios métodos para calcular el balance de potencia óptica; a saber: método del caso más desfavorable, método estadístico y método semiestadístico.

Para determinar el balance de potencia óptica deben tenerse en cuenta los siguientes parámetros, o parte de ellos:

- Sensibilidad del receptor (dBm):

Potencia óptica media en la señal óptica modulada por una señal eléctrica pseudoaleatoria con una densidad específica a la entrada del rabillo de fibra de un receptor por debajo de la cual el equipo de recepción presentaría una proporción de bits erróneos superior a 10^{-12} .

- Sobrecarga óptica del receptor (dBm):
Potencia óptica media en la señal óptica modulada por una señal eléctrica pseudoaleatoria con una densidad específica a la entrada del rabillo de fibra de un receptor por encima de la cual el equipo de recepción presentaría una proporción de bits erróneos superior a 10^{-12} .
- Gama dinámica del receptor (dB):
Diferencia entre la sobrecarga óptica del receptor y la sensibilidad del mismo.
- Potencia inyectada media (dBm):
Potencia óptica media en la señal de línea óptica a la salida del rabillo de fibra del transmisor.
- Pérdidas internas de equipo (dB).
- Pérdida en la sección óptica (dB).
- Pérdida de calidad de funcionamiento del sistema (dB):
Este parámetro tiene en cuenta la diferencia entre la calidad de funcionamiento de un equipo terminal de línea "ideal" y un equipo terminal de línea "real" asociado con su sección de cable completa. Entre los fenómenos que deben considerarse para determinar su valor cabe citar la realimentación óptica, los efectos de distorsión de la señal, la equalización no lineal, el ruido de partición, la dispersión cromática, etc.
- Margen de envejecimiento (dB):
Parámetro para tener en cuenta la variación de la atenuación producida por los componentes ópticos, incluida la atenuación de las fibras, debida al envejecimiento durante la vida nominal del sistema.
- Provisión de reparación (dB):
Parámetro que considera el posible aumento de la atenuación del cable de fibra óptica debido a la reparación del mismo durante la vida nominal del sistema. El valor de este parámetro depende de la profundidad del mar. La provisión de reparación para las partes situadas en aguas poco profundas puede obtenerse como el producto del número de reparaciones por la atenuación media por reparación y es igual a la atenuación de dos conexiones de cable con la adición de las pérdidas que introduce una longitud de cable proporcional a la profundidad del mar.
- Margen sin asignar (dB):
A fin de tener en cuenta fenómenos que no pueden preverse con precisión.
- Margen de sobrecarga (dB):
Diferencia mínima entre la potencia recibida y la sobrecarga óptica recibida para una BER determinada.

Un parámetro importante que debe especificarse para facilitar la puesta en servicio del sistema es el margen garantizado, que es el mínimo margen en el balance de potencia de la sección óptica que debe medirse en un instante específico de tiempo; es decir, en el montaje del sistema realizado en fábrica o a bordo del buque cablero, y que es igual a la suma de los márgenes de envejecimiento, de reparación y sin asignar.

5.2.2 Aplicaciones de los amplificadores de fibra óptica

El balance de potencia disponible puede aumentarse considerablemente añadiendo amplificadores de fibra óptica (OFA, *optical fibre amplifiers*) al equipo terminal. Se pueden utilizar como amplificadores de potencia insertados después del transmisor de láser para aumentar la potencia de salida del terminal o preamplificadores insertados antes del receptor óptico para reducir la potencia de la señal óptica mínima a la entrada de un receptor compuesto (preamplificador más receptor del terminal). En general, se puede mejorar el sistema mediante el amplificador de potencia solamente,

el preamplificador solamente o una combinación de ambos. En estos casos, la definición del balance de la potencia óptica se indica teniendo en cuenta los parámetros descritos en 5.2.1 entre los puntos de referencia ópticos S'-R, S-R', S'-R' respectivamente y la definición de S' y R' figura en la Rec. UIT-T G.662.

Además, también se considera la aplicación de los amplificadores ópticos con bombeo a distancia (RPOA, *remotely pumped optical amplifiers*) y de los amplificadores tipo Raman distribuidos. Un amplificador óptico con bombeo a distancia consta de una sección de fibra dopada con erbio con bombeo desde la estación terminal con una longitud de onda adecuada. Por el contrario, los amplificadores tipo Raman distribuidos utilizan la fibra misma como medio de amplificación y requieren que la activación de la fibra proceda de la estación terminal con una longitud de onda adecuada. El amplificador a distancia discreto o el amplificador tipo Raman distribuido no son alimentados por energía eléctrica. Esta técnica puede utilizarse tanto en el lado transmisor como en el lado receptor de un enlace, aunque normalmente se considera más eficaz en el lado receptor. En este último caso, no puede aplicarse la definición de balance de potencia óptica establecida basándose en los parámetros indicados en 5.2.1 puesto que se produce una amplificación de la señal óptica antes del extremo terminal. Por consiguiente, el balance de potencia óptica ya no es igual a la diferencia de potencias entre los dos extremos sino a la pérdida atribuible entre ambos extremos del enlace (véase el anexo B).

En la figura A.2 se muestran posibles configuraciones del sistema.

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 (por ejemplo, empalmes, unidades de derivación, transiciones, etc.) durante la vida nominal del mismo:

El requisito habitual de fiabilidad de un sistema sin repetidores es que se produzca menos de un fallo que exija 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 Actualización de la capacidad del sistema

Puede resultar ventajoso aumentar la capacidad de transmisión incrementando la velocidad binaria de la señal y/o el número de canales de transmisión (WDMS o DWDMS). Dicha mejora puede ser benéfica al reutilizarse los cables de manera rentable durante toda la vida útil del equipo, que suele ser de 25 años.

La mejora de la velocidad binaria exige que el sistema esté formado por cables optimizados para la velocidad binaria más alta, aunque en un primer momento se utilice el TTE de menor velocidad binaria. Incluso una vez realizada la actualización, la velocidad binaria de la salida del TTE debe ser compatible con las especificaciones de la SDH para garantizar la compatibilidad con los equipos terrenales normalizados.

Esta capacidad de mejora también exige que el cable instalado en un primer momento sea capaz de transportar el número máximo de canales que se prevé para el futuro.

La actualización mediante el incremento de la velocidad binaria de la señal o la adición de más canales difiere en muchos aspectos del diseño del sistema, incluyendo la potencia de salida después del amplificador, la potencia de entrada del preamplificador, el recurso disponible de potencia, la relación señal/ruido, la dispersión cromática de la fibra y la no linealidad de la fibra. Por consiguiente, se recomienda que los sistemas se diseñen adecuadamente considerando las posibles mejoras futuras.

6 Características y calidad de funcionamiento del equipo terminal

6.1 Consideraciones generales

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

6.2 Calidad de funcionamiento de la transmisión

6.2.1 Características de la señal digital en la interfaz del sistema

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

6.2.2 Características de la señal en la interfaz óptica

La señal en la interfaz óptica debe ajustarse al balance de potencia de la sección óptica. En particular, al instalar el sistema deben respetarse algunos límites:

- Valor mínimo de la potencia media de entrada en el equipo terminal de recepción (dBm):
Potencia óptica media en la señal de línea óptica que debe estar presente en la interfaz de entrada óptica del terminal de manera que el balance de potencia óptica de la sección del cable ofrezca un margen del sistema garantizado.
- Valor mínimo de la potencia media de salida en el equipo terminal de transmisión (dBm):
Potencia óptica media en la señal de línea óptica que debe estar presente en la interfaz de salida óptica del terminal de manera que el balance de potencia óptica de la sección del cable ofrezca un margen del sistema garantizado.

6.2.3 Características de la fluctuación de fase

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 pertinentes a lo largo de toda la vida nominal del sistema.

6.3 Acciones como consecuencia de una alarma

El equipo terminal debe detectar condiciones de avería y llevar a cabo las acciones subsiguientes como se indica en las Recomendaciones pertinentes. Las indicaciones de alarma que deben tenerse en cuenta para los amplificadores ópticos utilizados en el sistema deben limitarse a los parámetros críticos (por ejemplo, potencia óptica de las señales de entrada y salida y condiciones de funcionamiento de láser de bombeo tales como corriente de derivación y temperatura). Los aspectos relativos a la seguridad del láser deben cumplir lo dispuesto en la Rec. UIT-T G.664, y en las normas 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.

Se recomienda que el equipo de reserva se ponga en funcionamiento y se supervise de manera similar al equipo en servicio.

7 Características y calidad de funcionamiento del cable submarino

7.1 Alcance

El cable de fibra óptica sumergido puede ser:

- un cable submarino con repetidores;
- un cable submarino sin repetidores;
- un cable terrenal marinizado (MTC, *marinized terrestrial cable*).

Los cables submarinos con repetidores pueden utilizarse en todas las aplicaciones bajo el agua y los cables submarinos sin repetidores en todas las aplicaciones MTC.

Los cables submarinos sin repetidores son igualmente adecuados para su utilización en aguas profundas y poco profundas. Normalmente se les somete a pruebas exhaustivas para verificar que pueden instalarse y repararse in situ, incluso en las peores condiciones climatológicas, sin que se produzca degradación alguna en la fiabilidad o en el comportamiento óptico, eléctrico o mecánico.

Tales condiciones de reparabilidad (facilidad de reparación) constituyen una característica necesaria a medida que las longitudes de los cables aumentan haciendo que sea demasiado costosa o difícil su sustitución. Normalmente, es fundamental que todo cable tendido en un entorno hostil tenga una total (o un elevado grado de) reparabilidad.

El alto nivel de calidad de funcionamiento/resistencia a la tracción ofrecido (tanto en el cable como en la caja de conexiones) tiene en cuenta la posibilidad de un barco de mantener su posición en condiciones climatológicas desfavorables así como en aguas profundas.

7.2 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.

7.3 Características mecánicas y resistencia al entorno

7.3.1 Protección de la fibra por la estructura del cable

El grado de supervivencia de la fibra viene determinado por la propagación 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 de la prueba de nivel de apantallamiento 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.

7.3.2 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 sea la más corta 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.

7.3.3 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 carga de ruptura puede ser 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;
- tensión nominal de resistencia a la tracción transitoria, que puede aparecer accidentalmente, especialmente durante las operaciones de recuperación;
- tensión nominal de resistencia a la tracción de funcionamiento, que puede aparecer durante las reparaciones;
- tensión nominal de resistencia a la tracción 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.

7.3.4 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.

NOTA – Se recomienda que el cable tenga un trayecto para proporcionar la corriente de electrodos en su estructura a fin de que pueda ser localizado el cable por equipos sumergibles. La corriente de electrodos es suministrada por una estación terminal y tiene la magnitud necesaria para localizar el cable, con una frecuencia aproximada entre 4 y 40 Hz.

7.4 Características de la fibra de un cable submarino

7.4.1 Aspectos generales

Los principales parámetros que caracterizan una fibra óptica son:

- el coeficiente de atenuación de todas las longitudes de onda de la señal operativas se expresa en dB/km;
- el coeficiente de atenuación de todas las longitudes de onda de bombeo operativas se expresa en dB/km;
- el coeficiente de dispersión cromática de todas las longitudes de onda de la señal operativas se expresa en ps/nm·km;
- la longitud de onda de dispersión cero λ_0 se expresa en nm;
- la pendiente de dispersión de las longitudes de onda de la señal operativas se expresa en ps/nm²·km;
- el índice de refracción no lineal n_2 se expresa en m²/W;
- la zona efectiva A_{eff} se expresa en μm^2 ;
- el coeficiente no lineal n_2/A_{eff} se expresa en W⁻¹;
- la dispersión por modo de polarización media (PMD, *polarization mode dispersion*) se expresa en ps/(km)^{1/2}.
- el coeficiente de ganancia Raman se expresa en m/W, en caso de que se utilice la amplificación tipo Raman distribuida.

A la vista de estos parámetros, los diseñadores de sistemas submarinos pueden distinguir distintos tipos de fibras ópticas, por ejemplo:

- Fibra monomodo (SMF, *single-mode fibre*) que se define en la Rec. UIT-T G.652.
- Fibra monomodo con dispersión desplazada (DSF, *dispersion shifted single mode fibre*) que se define en la Rec. UIT-T G.653.
- Fibra monomodo con corte desplazado (CSF, *cutoff shifted single mode fibre*) que se define en la Rec. UIT-T G.654.
- Fibra monomodo con dispersión desplazada no nula (NZDSF, *non-zero dispersion shifted single mode fibre*) que se define en la Rec. UIT-T G.655.
- Fibra monomodo con compensación de dispersión (DCF, *dispersion compensation single mode fibre*).
- Fibras con pendiente de dispersión negativa.
- Fibras de zona efectiva muy amplia.
- Fibras con núcleo de sílice puro.

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

7.4.2 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).

7.4.3 No linealidad de la fibra

Deben considerarse los efectos no lineales cuando se diseñan enlaces ópticos de larga distancia con OFA de alta potencia de salida. Estos efectos son acumulativos a lo largo del enlace óptico y pueden degradar apreciablemente la propagación. En los sistemas de una sola longitud de onda, el efecto no lineal predominante suele ser 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. No obstante, en los sistemas con varias longitudes de onda, el efecto predominante es generalmente una modulación de fase cruzada debida a la presencia de longitudes de onda adyacentes. Esta no linealidad causa una degradación de la calidad de funcionamiento.

7.4.4 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 puede expresarse en $\text{ps}/(\text{km})^{1/2}$.

7.4.5 Dispersión cromática

La dispersión cromática expresa la dependencia de la velocidad de grupo con respecto a la longitud de onda de manera 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, 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.

7.4.5.1 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, a una determinada longitud de onda de funcionamiento, en función de la distancia desde el transmisor óptico al receptor óptico. El mapa de dispersión dependerá del número de longitudes de onda del sistema.

7.4.5.2 Aplicación 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 cero utilizando una longitud de fibras de ecualización u otros dispositivos pasivos de compensación de la dispersión en el lado transmisor (precompensación) y/o en el lado receptor (postcompensación) en el TTE.

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

- incertidumbre en las mediciones de la longitud de onda de dispersión nula, dispersión y pendiente de dispersión de las fibras DSF, NDSF, DCF, NZDSF, CSF, fibras con pendiente negativa, EDF, etc.;
- incertidumbre de temperatura, presión y coeficientes de rigidez de estas fibras en los cables 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 del cable; y
- envejecimiento;
- operaciones de reparación.

Anexo A

Implementación de sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores

A.1 Introducción

En este anexo se indican varios aspectos de sistemas prácticos de cable submarino utilizados normalmente en sistema sin repetidores, teniendo en cuenta la aplicación de OFA tales como preamplificadores y amplificadores de potencia.

Los parámetros típicos del sistema figuran en el cuadro A.1 hasta 5 Gbit/s con una sola longitud de onda y en el cuadro A.2 por encima de esta velocidad binaria y para sistemas de multiplexación por división de longitud de onda.

La información proporcionada en este anexo tiene por objeto servir de orientación a la práctica actual y no pretende constituir una Recomendación relativa a los sistemas existentes o futuros.

La definición de los términos utilizados en esta Recomendación figura en la Rec. UIT-T G.972.

Cuadro A.1/G.973 – Ejemplo ilustrativo de parámetros de sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores con velocidades hasta 5 Gbit/s con una sola longitud de onda

Sistemas	560 M (PDH) 4 × 140 Mbit/s	622 M (SDH) 4 × 140/155 bit/s	2488 M (SDH) 16 × 140/155 Mbit/s	4977 M (SDH) 32 × 140/155 Mbit/s
Capacidad de transmisión (canales de 64 kbit/s)	7560-7680	7560-7680	30 240-30 720	60 480-61 440
Velocidad binaria de la información [Mbit/s]	~ 560	~ 560	~ 2240	~ 4480
Velocidad binaria de línea [Mbit/s] (nota 4)	~ 591	~ 622	~ 2488	~ 4977
Código de línea (nota 3)	Máxima flexibilidad	NRZ aleatorizado (SDH)	NRZ aleatorizado (SDH)	NRZ aleatorizado (SDH)
Máxima longitud del sistema [km] (nota 2)	> 120	> 120	> 100	> 80
Profundidad [m]	Hasta aproximadamente 4000			
Tipo de fibra	G.652; G.653; G.654			
Longitud de onda de funcionamiento [nm]	~ 1550			
Vida nominal del sistema [años]	25			
Fiabilidad (nota 5)	< 1 reparación en 25 años			
Característica de error	G.821	G.826		
Fluctuación de fase	G.823	G.958 (interfaces ópticas) FFS (interfaces eléctricas) (nota 1)		
<p>NOTA 1 – FFS significa "queda en estudio".</p> <p>NOTA 2 – La longitud máxima del sistema es únicamente indicativa. La longitud puede aumentar considerablemente si se utilizan sistemas PDH y SDH no normalizados o amplificadores de refuerzo ópticos y/o preamplificadores ópticos. También pueden utilizarse amplificadores ópticos con bombeo a distancia para aumentar la longitud (véase la figura A.2).</p> <p>NOTA 3 – En los sistemas SDH se utiliza un código NRZ aleatorizado. En los sistemas PDH se da la máxima flexibilidad para la adopción de código de línea. También es posible combinar estos códigos de línea con la codificación de corrección de errores a fin de mejorar la calidad de funcionamiento del sistema.</p> <p>NOTA 4 – En sistemas PDH, el valor de la velocidad binaria en línea es únicamente indicativo.</p> <p>NOTA 5 – Véase 5.3.</p> <p>NOTA 6 – Será posible considerar la tecnología de multiplexación por división de longitud de onda (WDM, <i>wavelength division multiplexing</i>) para aumentar la capacidad de transmisión y la flexibilidad de la red de los sistemas. Los parámetros de los sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores con tecnología WDM quedan en estudio.</p>				

Cuadro A.2/G.973 –Ejemplo ilustrativo de parámetros de sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores para velocidades superiores a 5 Gbit/s y sistemas con multiplexación por longitud de onda (FFS)

Sistemas	10 G			
Capacidad de transmisión (canales de 64 kbit/s)				
Velocidad binaria de la información [Mbit/s]				
Velocidad binaria de línea [Mbit/s] (nota 4)				
Código de línea (nota 3)				
Máxima longitud del sistema [km] (nota 2)				
Profundidad [m]	Hasta ~ 4000			
Tipo de fibra	G.652; G.653; G.654; G.655			
Longitud de onda de funcionamiento [nm]	~ 1550			
Vida nominal del sistema [años]	25			
Fiabilidad (nota 5)	< 1 reparación en 25 años			
Característica de error				
Fluctuación de fase				
<p>NOTA 1 – FFS significa "queda en estudio".</p> <p>NOTA 2 – La longitud máxima del sistema es únicamente indicativa. La longitud puede aumentar considerablemente si se utilizan sistemas PDH y SDH no normalizados o amplificadores de refuerzo ópticos y/o preamplificadores ópticos. También pueden utilizarse amplificadores ópticos con bombeo a distancia para aumentar la longitud (véase la figura A.2).</p> <p>NOTA 3 – En los sistemas SDH se utiliza un código NRZ aleatorizado. En los sistemas PDH se da la máxima flexibilidad para la adopción de código de línea. También es posible combinar estos códigos de línea con la codificación de corrección de errores a fin de mejorar la calidad de funcionamiento del sistema.</p> <p>NOTA 4 – En sistemas PDH, el valor de la velocidad binaria en línea es únicamente indicativo.</p> <p>NOTA 5 – Véase 5.3.</p>				

A.2 Configuración del sistema

A.2.1 Componentes de los sistemas de cables submarinos de fibra óptica sin repetidores

El objeto de un sistema de cable submarino de fibra óptica sin repetidores es establecer enlaces de transmisión entre dos o más estaciones terminales situadas en una zona geográfica restringida.

Cuando sólo se conectan dos estaciones terminales el sistema se denomina "enlace por cable submarino de fibra óptica". En otros casos puede denominarse "red de cables submarinos de fibra óptica".

La figura A.1 ilustra el concepto básico de un sistema de cable submarino de fibra óptica sin repetidores y sus límites. Las unidades de derivación submarina ópticas pueden incluirse según los requisitos de cada sistema.

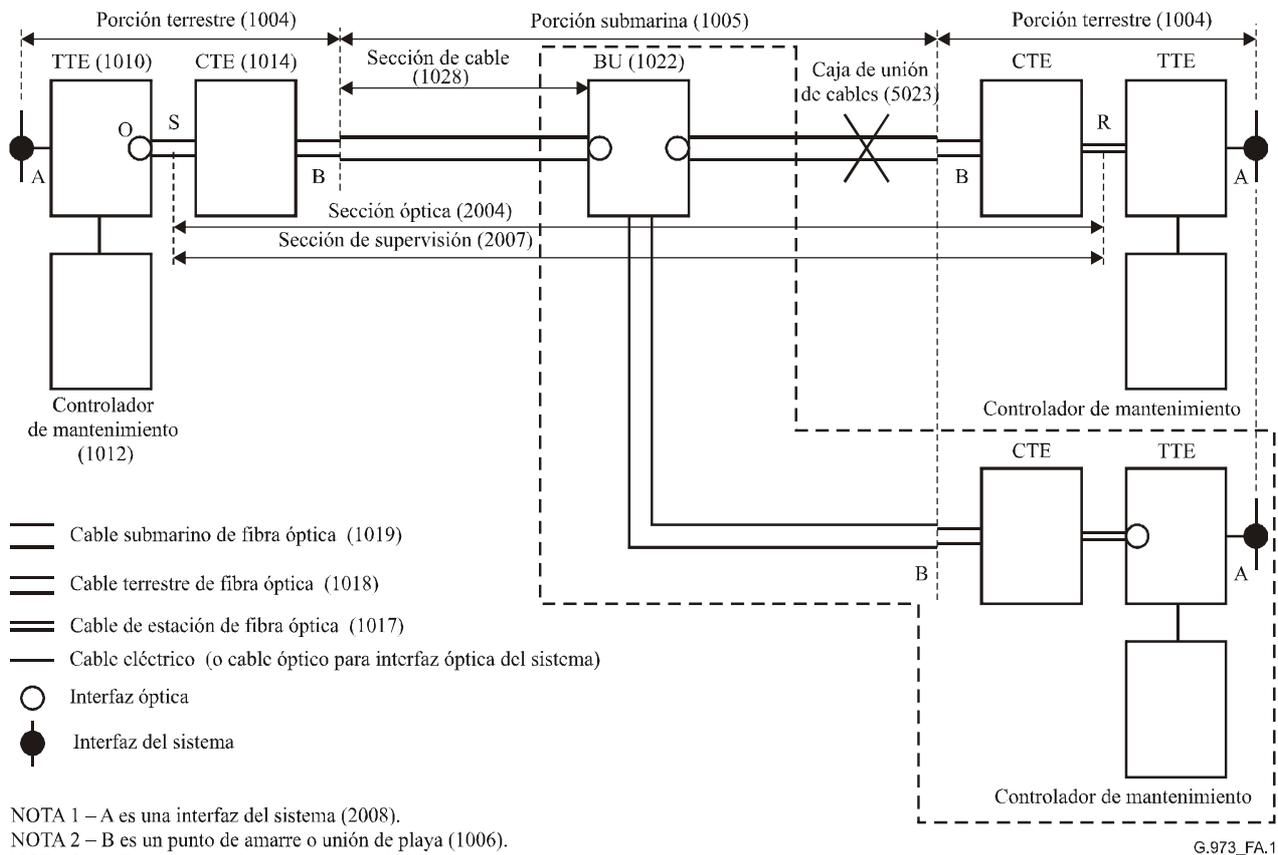


Figura A.1/G.973 – Ejemplo de sistema de cable submarino de fibra óptica sin repetidores

En la figura A.1, "A" es la interfaz del sistema en la estación terminal (donde puede conectarse dicho sistema a enlaces digitales terrenales o a otros sistemas de cable submarino), y "B" son los puntos de amarre o uniones de playa. Las letras que aparecen entre paréntesis en lo que sigue se refieren a la figura A.1.

Un sistema de cable submarino de fibra óptica sin repetidores 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 de amarre y los equipos terminales del sistema, en combinación con OFA (amplificadores y/o preamplificadores de potencia) y/o en combinación con los componentes electrónicos adecuados necesarios para llevar a cabo el bombeo a distancia de los amplificadores distribuidos;
- un tramo submarino sobre el fondo del mar entre las uniones de playa o los puntos de amarre (B), que incluye el cable submarino de fibra óptica y, cuando sea necesario, los equipos submarinos, es decir la unidad o unidades de derivación y la caja o cajas de unión de cables y en su caso una fibra dopada utilizada como amplificador óptico con bombeo a distancia que puede encontrarse en una caja especial situada sobre el fondo del mar o puede estar integrada en el cable.

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

El cable submarino de fibra óptica se protege en los lugares adecuados: hay varios tipos de cable distintos que se caracterizan por su estructura mecánica; a saber, cable ligero, cable ligero protegido, cable ligero armado, cable con armadura simple, cable con armadura doble y cable con armadura de roca.

El cable terrestre de fibra óptica también exige protección.

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.

Una sección de cable de fibra óptica puede contener un cierto número de pares de fibras ópticas y cada uno de esos pares puede soportar varias secciones de línea digital. Por consiguiente, 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.

Cuando es necesario interconectar más de dos secciones de cable, se inserta una unidad de derivación (BU, *branching unit*) submarina óptica pasiva en el tramo submarino de la red de cables submarinos de fibra óptica.

A.2.3 Supervisión y mantenimiento a distancia del sistema

Los equipos de supervisión y mantenimiento a distancia situados en el terminal, junto con la unidad de supervisión de la unidad de derivación normalmente proporcionan los medios para realizar la localización de averías.

Los dispositivos de supervisión prestan generalmente uno o más de los siguientes servicios:

- provisión, en servicio, de información suficiente para permitir el mantenimiento preventivo;
- indicación de proximidad de avería en el equipo en servicio, de manera que puedan emprenderse o planificarse las correspondientes acciones preventivas (por ejemplo, mediante codificación de corrección de errores de acuerdo con la Rec. UIT- G.975 sobre "Corrección de errores en recepción en los sistemas submarinos");
- medios para localizar averías importantes y averías intermitentes en su duración y frecuencia que impiden que el sistema cumpla con los requisitos de calidad de funcionamiento.

El empleo de otros medios, tales como reflectometría óptica y mediciones eléctricas utilizando los equipos instalados en las estaciones terminales o a bordo del bucle cablero, puede permitir un aumento de la precisión en la localización de averías.

La supervisión del sistema puede verse facilitada utilizando equipos informáticos situados en uno o en ambos extremos.

En casos de utilización de OFA, para el control de sus parámetros críticos, puede que sea conveniente conectar los canales de mantenimiento de dichos OFA a la circuitería de mantenimiento existente de los TTE. De hecho, en las configuraciones del sistema con amplificación (véase la figura A.2) no es necesario adoptar un canal de servicio especializado, independiente de la trama SDH y PDH, para transferir y gestionar las alarmas de los preamplificadores y amplificadores de potencia.

Para los amplificadores ópticos con bombeo a distancia en los que la planta sumergible es completamente pasiva y donde toda la parte activa (componentes electroópticos y láseres de bombeo) está situada en el lado de transmisión o recepción del TTE, no es preciso llevar a cabo acciones de mantenimiento específicas distintas de las adoptadas para el TTE.

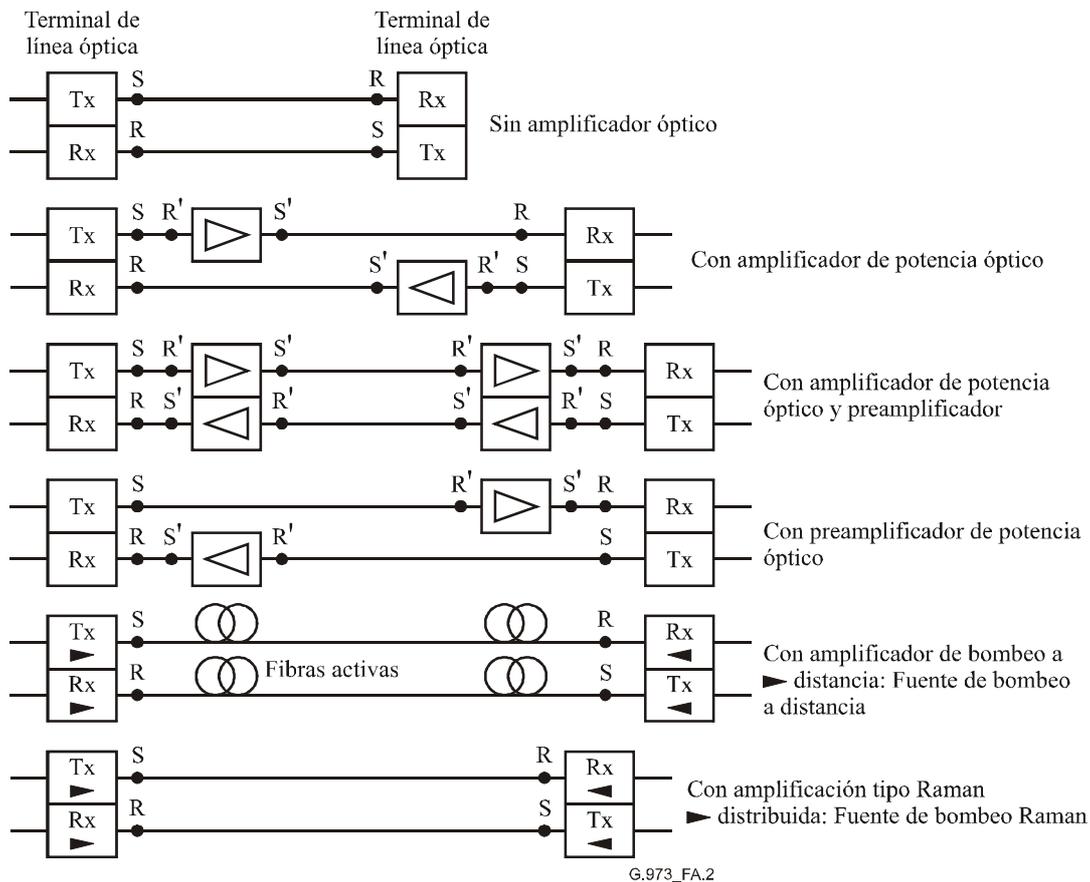


Figura A.2/G.973 – Posibles configuraciones del sistema

A.2.4 Integración del sistema

Una red o un enlace de cable submarino de fibra óptica puede construirse utilizando dos o más sistemas de cable submarino de fibra óptica (es decir, conjuntos de equipos, cables, equipos terminales, unidades de derivación, etc.), diseñados de forma independiente por distintos suministradores.

Para lograr la integración de esta red de cables submarinos de fibra óptica es necesario asegurar la compatibilidad de los diseños. Ese es el objetivo de las especificaciones de integración.

A.3 Características de la señal de línea

A.3.1 Estructura de la señal de línea

Se trata de la trama de línea en la velocidad binaria de línea resultante de las operaciones de multiplexación y codificación llevadas a cabo por el TTE, teniendo en cuenta la inclusión de los canales de servicio y supervisión.

Para sistemas PDH, el código de líneas se elige de manera que se ajuste a las características del tramo submarino. Puede utilizarse para adaptar el espectro de frecuencias de la señal de línea óptica en la interfaz óptica y supervisar la tasa de errores en los bits de línea en el equipo terminal de recepción. Las violaciones del código de línea pueden emplearse a efectos de supervisión (supervisión del sistema y/o transmisión de la información de supervisión).

Para sistemas SDH, el código de línea y su violación deben satisfacer las Recomendaciones pertinentes.

Para los sistemas PDH y SDH, el código de línea puede utilizarse en combinación con una codificación de corrección de errores (por ejemplo, de acuerdo con la Rec. UIT-T G.975 sobre "Corrección de errores en recepción en los sistemas submarinos") a fin de mejorar la calidad de funcionamiento del sistema.

A.3.2 Tasa de errores en línea

Los valores numéricos de la tasa de errores en línea se expresan en la forma $n \times 10^{-p}$ siendo p un número entero.

En sistemas PDH, normalmente los equipos de supervisión detectan violaciones del código de línea. La tasa de errores en línea aparente se calcula directamente a partir de los resultados de esta observación. Puede obtenerse un valor más preciso, la tasa de errores en línea real, eliminando de los cálculos las violaciones deliberadas del código de línea. Las violaciones de dicho código pueden utilizarse a efectos de supervisión o control.

En sistemas SDH, la tasa de errores en línea se evalúa en la señal de línea recibida basándose en las violaciones de paridad de los bytes B2 [tara de sección múltiplex (MSOH, *multiplex section overhead*)] de la trama SDH.

A.4 Funcionamiento del sistema

A.4.1 Comunicación terminal a terminal

Normalmente, se establecen al menos dos canales de servicio entre dos estaciones terminales: uno a través del sistema de cable submarino de fibra óptica para el funcionamiento y mantenimiento del sistema y el otro por medios externos para mantener la comunicación entre dos estaciones terminales en caso de avería del sistema.

En particular, un canal de servicio permite la transmisión de mensajes de terminal a terminal entre los equipos de supervisión de las estaciones terminales correspondientes para ofrecer información sobre el estado del sistema y de las secciones de línea digital y sobre las actividades de supervisión en curso a fin de colaborar en el control global del sistema y en la propia supervisión.

Puede establecerse un canal de servicio entre estaciones terminales que intercambian tráfico para la comunicación entre el personal de dichas estaciones.

A.5 Características de la unidad de derivación pasiva

A.5.1 Consideraciones generales

Las unidades de derivación pasivas submarinas ópticas:

- deben ser capaces de funcionar de acuerdo con las recomendaciones sobre calidad de funcionamiento del sistema durante toda su vida nominal y en las condiciones que presenta el entorno en las profundidades marinas (temperatura, presión, etc.);
- deben estar diseñados de forma que durante su manejo (es decir, tendido, recuperación y sustitución) no se produzca una degradación de la calidad de funcionamiento del cable, de las cajas de unión de cables, de las unidades de derivación y de los acopladores, siempre que se respeten las especificaciones de manejo;
- deben diseñarse para que puedan transportarse y almacenarse bajo las condiciones de temperatura especificadas sin que resulte afectada la vida nominal del sistema, siempre que se respeten las especificaciones de almacenamiento y transporte;
- deben ser capaces de funcionar a bordo de un buque cablero durante las operaciones de tendido y reparación, sin que resulte afectada la vida nominal del sistema.

El tamaño de las unidades de derivación submarinas ópticas debe ser tal que puedan ser manejadas por los equipos adecuados del buque cablero.

A.5.2 Componentes de la unidad de derivación

El principal componente de la unidad de derivación es:

- Bastidor de BU:
consistente en una pieza mecánica diseñada para ofrecer resistencia a la presión de la profundidad del mar, estanqueidad, elevada resistencia mecánica y conexión óptica con las secciones de cable en cada lado de la unidad de derivación.

Anexo B

Sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores que utilizan amplificadores ópticos con bombeo a distancia: Balance de potencia óptica entre los puntos de referencia óptica S y R y la supervisión de la línea

B.1 Amplificadores ópticos con bombeo a distancia

La utilización de amplificadores ópticos con bombeo a distancia es una técnica que probablemente ofrecerá grandes ventajas a los sistemas submarinos sin repetidores.

Un amplificador óptico con bombeo a distancia consta de una sección de fibra dopada que se activa mediante un haz de bombeo enviado desde la estación terminal. El amplificador óptico a distancia no recibe alimentación por energía eléctrica.

Esta técnica puede utilizarse en el lado de transmisión o recepción de un enlace (todos los componentes electroópticos, principalmente los láseres de bombeo, se situarán en las estaciones terminales), aunque la experiencia indica que es más eficaz en el lado de recepción.

- i) La fibra dopada en combinación con un aislante óptico constituye un dispositivo completamente pasivo que puede montarse en una caja especial tendida en el fondo del mar o puede ir incorporado al cable, como se muestra en la figura B.1.

El emplazamiento óptimo de la fibra dopada a lo largo del enlace viene determinado por un compromiso entre los siguientes parámetros:

- factor de ruido de la fibra dopada;
- ganancia del amplificador óptico con bombeo a distancia;
- potencia óptica del láser o láseres de bombeo disponibles;
- pérdidas en la fibra de la línea óptica;
- margen de reparación de la fibra del cable entre la fibra dopada y la estación terminal de transmisión o recepción.

Se ha observado que puede lograrse un buen compromiso situando la fibra dopada a algunas decenas de kilómetros del lado de recepción. Ello permite atribuir aproximadamente 1 dB de margen de reparación del cable durante toda la vida nominal del sistema. Además, dicho margen puede aumentarse si lo hace la potencia óptica del láser de bombeo, sin que ello tenga ninguna consecuencia en la parte sumergida del sistema.

- ii) Amplificación tipo Raman distribuida

Queda en estudio.

B.2 Balance de potencia óptica para sistemas que utilizan amplificadores ópticos con bombeo a distancia

Para aumentar la longitud de la sección óptica, es necesario optimizar el emplazamiento de la fibra dopada a lo largo del enlace.

La definición de balance de potencia óptica que figura en 5.2.1 no puede aplicarse en este caso puesto que se produce una amplificación de la señal óptica a lo largo del enlace.

Por consiguiente, el balance de potencia óptica ya no es igual a la diferencia de potencia óptica entre ambos extremos del enlace sino que equivale a las pérdidas entre los dos extremos de los enlaces (es decir, entre los puntos de referencia óptica S y R).

Con referencia al ejemplo representado en la figura B.1, la ganancia del enlace se expresa de la forma siguiente:

$$\text{Ganancia del enlace} = \text{balance (con RPOA)} - \text{balance (sin RPOA)}$$

$$\text{Ganancia del enlace} = (A_1 + A_2) \text{ (con RPOA)} - A_1 \text{ (sin RPOA)}$$

siendo A_1 y A_2 las atenuaciones de la fibra antes y después de la fibra dopada, respectivamente.

Esta fórmula demuestra que la evolución de la ganancia del balance es función de la potencia óptica del láser de bombeo y de la atenuación en la fibra producida entre el amplificador de la fibra dopada y la estación de recepción (A_2).

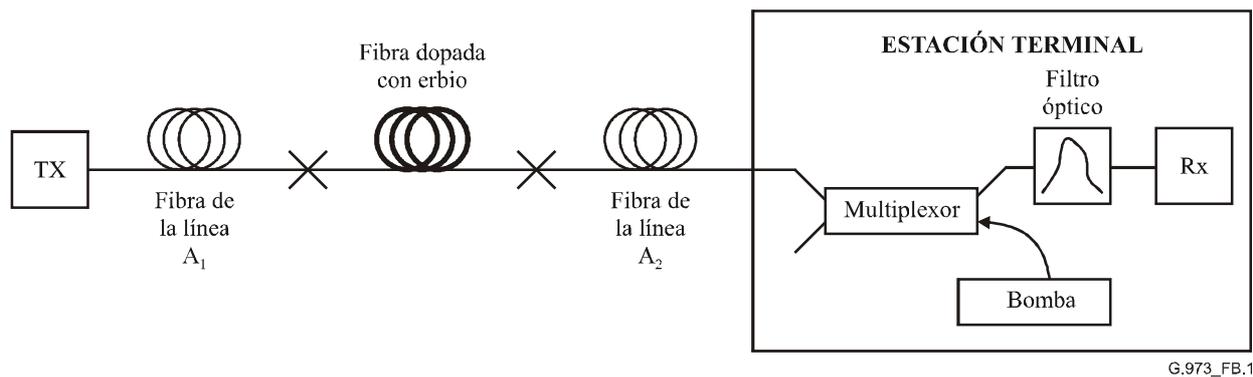


Figura B.1/G.973 – Ejemplo de configuración de un sistema con amplificador óptico con bombeo a distancia desde el extremo receptor

B.3 Supervisión de la línea en la porción de bombeo

La calidad de funcionamiento del sistema sin repetidores que utiliza un amplificador tipo Raman distribuido y un amplificador de bombeo a distancia depende especialmente de la potencia de bombeo, de las pérdidas en las fibras en la sección de bombeo y de los fallos. Se necesita un sistema de supervisión de línea de la porción de bombeo a distancia para controlar el estado y la calidad de funcionamiento de la estación terrena. Este sistema de supervisión de línea debe estar operativo independientemente de que el enlace esté o no en servicio sin afectar a la calidad de funcionamiento del sistema.

En la figura B.2 se muestra la configuración básica de la supervisión de línea de un sistema de cable submarino de fibra óptica sin repetidores. El reflectómetro óptico en el ámbito temporal (OTDR, *optical time domain reflectometer*) es uno de los posibles sistemas y se utiliza principalmente para determinar y ubicar los fallos en las fibras ópticas y puede servir como sistema de supervisión de las características de ganancia del amplificador óptico.

Con la supervisión de línea se obtienen dos características muy valiosas:

- ganancia de amplificación tipo Raman distribuida (distribución de la ganancia del amplificador óptico);
- ganancia de amplificación óptica del amplificador de bombeo a distancia.

NOTA 1 – No es necesario un aislante óptico en el amplificador óptico de bombeo a distancia para determinar la ganancia del amplificador óptico del amplificador de bombeo a distancia. En aplicaciones que utilizan amplificadores ópticos de bombeo a distancia con aislantes ópticos, no puede determinarse la ganancia del amplificador.

NOTA 2 – La capacidad de supervisión de la línea de la ganancia de amplificación tipo Raman distribuida no se ve afectada por aislantes ópticos en el amplificador de bombeo a distancia.

El OTDR tiene dos capacidades de detección, detección directa y detección coherente. El OTDR coherente (COTDR) es más ventajoso que el de detección directa para la supervisión de la línea, puesto que tiene una gran sensibilidad de detección y una excelente capacidad de selección de una débil señal de retrodispersión en presencia de ruido de emisión espontánea acumulada.

Para aplicar la luz de sondeo del OTDR, es necesario contar con una luz de sondeo que tenga una potencia de señal débil, y que su forma y longitud de onda no afecten a la calidad de funcionamiento de la transmisión. En concreto, el envío de una luz de sondeo de alta potencia en los sistemas de amplificación aumenta las degradaciones de la calidad de funcionamiento de la transmisión.

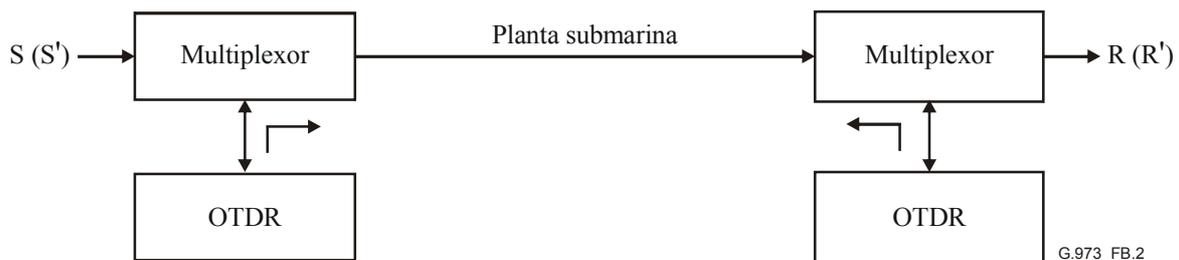


Figura B.2/G.973 – Ejemplo de supervisión de la línea utilizando un OTDR

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