



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

**UIT-T**

SECTOR DE NORMALIZACIÓN  
DE LAS TELECOMUNICACIONES  
DE LA UIT

**G.973**

(11/96)

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

Sistemas de transmisión digital – 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

(Anteriormente Recomendación del CCITT)

---

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

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100–G.199
<b>SISTEMAS INTERNACIONALES ANALÓGICOS DE PORTADORAS</b>	
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 SATELITE 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
<b>CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN</b>	
<b>SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DIGITAL</b>	
EQUIPOS TERMINALES	G.700–G.799
Generalidades	G.700–G.709
Codificación de señales analógicas mediante modulación por impulsos codificados (MIC)	G.710–G.719
Codificación de señales analógicas mediante métodos diferentes de la MIC	G.720–G.729
Características principales de los equipos múltiplex primarios	G.730–G.739
Características principales de los equipos múltiplex de segundo orden	G.740–G.749
Características principales de los equipos múltiplex de orden superior	G.750–G.759
Características principales de los transcodificadores y de los equipos de multiplicación de circuitos digitales	G.760–G.769
Características de operación, administración y mantenimiento de los equipos de transmisión	G.770–G.779
Características principales de los equipos múltiplex de la jerarquía digital síncrona	G.780–G.789
Otros equipos terminales	G.790–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
Generalidades	G.800–G.809
Objetivos de diseño para las redes digitales	G.810–G.819
Objetivos de calidad y disponibilidad	G.820–G.829
Funciones y capacidades de la red	G.830–G.839
Características de las redes con jerarquía digital síncrona	G.840–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
<b>Sistemas en cables submarinos de fibra óptica</b>	<b>G.970–G.979</b>
Sistemas de línea óptica para redes de acceso y redes locales	G.980–G.999

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 al comportamiento del sistema y los requisitos de interfaz de los sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores. También cubre los aspectos relativos a los sistemas de jerarquía digital síncrona y las aplicaciones de los OFA discretos tales como amplificadores de potencia, preamplificadores y/u OFA distribuidos como amplificadores ópticos con bombeo a distancia (es decir, fibras de transmisión dopadas que utilizan un bombeo distancia en los extremos terminales).

#### **Orígenes**

La Recomendación UIT-T G.973 ha sido preparada por la Comisión de Estudio 15 (1993-1996) del UIT-T y fue aprobada por el procedimiento de la Resolución N.º 1 de la CMNT el 8 de noviembre de 1996.

## 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 Conferencia Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (CMNT), 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 N.º 1 de la CMNT.

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.

## 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/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 1997

Es propiedad. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse o utilizarse, de ninguna forma o por ningún medio, sea éste electrónico o mecánico, de fotocopia o de microfilm, sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

## ÍNDICE

### Página

1	Alcance.....	1
2	Referencias.....	1
3	Términos y definiciones.....	2
3.1	Definiciones.....	2
3.2	Términos definidos en otras Recomendaciones.....	3
4	Abreviaturas.....	3
5	Características y calidad de funcionamiento del sistema.....	4
5.1	Características y calidad de funcionamiento de las secciones de línea digital.....	4
5.1.1	Características de las señales digitales en la interfaz del sistema.....	4
5.1.2	Característica de error global.....	4
5.1.3	Disponibilidad del sistema.....	4
5.1.4	Características de la fluctuación de fase.....	5
5.1.5	Distribución de la calidad de funcionamiento entre las partes del sistema...	5
5.2	Características y calidad de funcionamiento de las secciones ópticas.....	5
5.2.1	Balance de potencia óptica.....	5
5.2.2	Aplicaciones de los amplificadores de fibra óptica.....	7
5.3	Características de fiabilidad del sistema.....	7
6	Características y calidad de funcionamiento del equipo terminal.....	8
6.1	Consideraciones generales.....	8
6.2	Calidad de funcionamiento de la transmisión.....	8
6.2.1	Características de la señal digital en la interfaz del sistema.....	8
6.2.2	Características de la señal en la interfaz óptica.....	8
6.2.3	Características de la fluctuación de fase.....	8
6.3	Acciones como consecuencia de una alarma.....	8
6.4	Conmutación automática.....	9
7	Características y calidad de funcionamiento del cable submarino.....	9
7.1	Alcance.....	9
7.2	Características de transmisión.....	9
7.3	Características mecánicas y resistencia al entorno.....	10
7.3.1	Protección de la fibra por la estructura del cable.....	10
7.3.2	Características mecánicas de la fibra.....	10
7.3.3	Características mecánicas del cable.....	11
7.3.4	Protección del cable.....	11

Anexo A – Implementación de sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores.	12
A.1 Introducción.....	12
A.2 Configuración del sistema.....	13
A.2.1 Componentes de los sistemas de cables submarinos de fibra óptica sin repetidores.....	13
A.2.2 Configuración de la transmisión.....	15
A.2.3 Supervisión y mantenimiento a distancia del sistema.....	15
A.2.4 Integración del sistema.....	17
A.3 Características de la señal de línea.....	17
A.3.1 Estructura de la señal de línea.....	17
A.3.2 Tasa de errores en línea.....	17
A.4 Funcionamiento del sistema.....	17
A.4.1 Comunicación terminal a terminal.....	17
A.5 Características de la unidad de derivación pasiva.....	18
A.5.1 Consideraciones generales.....	18
A.5.2 Componentes de la unidad de derivación.....	18
A.6 Fabricación e instalación.....	18
A.6.1 Calidad en los sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores.	18
A.6.2 Montaje y procedimiento de tendido.....	19
A.6.3 Puesta en servicio del sistema.....	20
A.7 Mantenimiento.....	20
A.7.1 Mantenimiento de rutina.....	20
A.7.2 Mantenimiento en el mar.....	20
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.....	21
B.1 Amplificadores ópticos con bombeo a distancia.....	21
B.2 Balance de potencia óptica para sistemas que utilizan amplificadores ópticos con bombeo a distancia.....	21

## Recomendación UIT-T G.973

# CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE CABLE SUBMARINO DE FIBRA ÓPTICA SIN REPETIDORES

(Ginebra, 1996)

## 1 Alcance

Esta Recomendación se refiere fundamentalmente a la calidad de funcionamiento del sistema y a los requisitos de interfaz de los sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores. Cubre también los aspectos relativos a los sistemas con jerarquía digital síncrona y aplicaciones de los OFA discretos tales como amplificadores de potencia, preamplificadores y/u OFA distribuidos como amplificadores ópticos con bombeo a distancia (es decir, fibras de transmisión dopadas que utilizan bombeo a distancia en los extremos terminales).

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 se prevé la utilización de equipos de alimentación de energía, a fin de disminuir la complejidad y el coste del sistema.

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.

- Recomendación UIT-T G.652 (1997), *Características de un cable de fibra óptica monomodo.*
- Recomendación UIT-T G.653 (1997), *Características de los cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada.*
- Recomendación UIT-T G.654 (1997), *Características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado.*
- Recomendación UIT-T G.661 (1996), *Definición y método de prueba de los parámetros genéricos pertinentes de los amplificadores de fibra óptica.*

- Recomendación UIT-T G.662 (1995), *Características genéricas de los dispositivos y subsistemas amplificadores de fibra óptica.*
- Recomendación G.702 del CCITT (1988), *Velocidades binarias de la jerarquía digital.*
- Recomendación G.703 del CCITT (1991), *Características físicas y eléctricas de las interfaces digitales jerárquicas.*
- Recomendación UIT-T G.707 (1996), *Interfaz de nodo de red para la jerarquía digital síncrona.*
- Recomendación UIT-T G.783 (1997), *Características de los bloques funcionales del equipo de la jerarquía digital síncrona.*
- Recomendación UIT-T G.821 (1996), *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 (1993), *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.826 (1996), *Parámetros y objetivos de característica de error para trayectos digitales internacionales de velocidad binaria constante que funcionan a la velocidad primaria o a velocidades superiores.*
- Recomendación G.921 del CCITT (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 (1995), *Interfaces ópticas para equipos y sistemas basados en la jerarquía digital síncrona.*
- Recomendación UIT-T G.958 (1994), *Sistemas de líneas digitales basados en la jerarquía digital síncrona para utilización en cables de fibra óptica.*
- Recomendación UIT-T G.972 (1997), *Definición de los términos pertinentes a los sistemas de cable submarino de fibra óptica.*
- Recomendación UIT-T G.975 (1996), *Corrección de errores en recepción para cables submarinos.*
- Recomendación UIT-T G.971 (1996), *Características generales de los sistemas de cables submarinos de fibra óptica.*
- Publicación 825-2 de la CEI (1993), *Parte 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:** Se trata de un un amplificador de fibra óptica distribuido que consta de una sección de fibra dopada que se activa mediante un haz de bombeo enviado desde la estación terminal.

**3.1.3 equipo terminal de transmisión:** Equipo incluido en la parte terrenal de un sistema de cable submarino de fibra óptica para las operaciones de multiplexión y demultiplexión 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.

**3.1.4 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.

## 3.2 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 Recomendación G.701.
- Tara de sección de multiplexación (MSOH, *multiplex section overhead*): Véase la Recomendación G.783.
- Amplificador de fibra óptica (OFA, *optical fibre amplifier*): Véase la Recomendación G.661.
- Puntos de referencia S, R: Véanse las Recomendaciones G.955 y G.957.
- Puntos de referencia S', R': Véase la Recomendación G.622.
- Jerarquía digital síncrona (SDH, *synchronous digital hierarchy*): Véase la Recomendación G.707.
- Módulo de transporte síncrono (STM, *synchronous transport module*): Véase la Recomendación G.707.
- Cable con armadura simple: Véase la Recomendación G.972.
- Cable con armadura doble: Véase la Recomendación G.972.
- Cable con armadura de roca: Véase la Recomendación G.972.
- Resistencia a la tracción transitoria nominal: Véase la Recomendación G.972.
- Resistencia a la tracción de funcionamiento nominal: Véase la Recomendación G.972.
- Resistencia a la tracción permanente nominal: Véase la Recomendación G.972.
- Mínimo radio de curvatura del cable: Véase la Recomendación G.972.
- Carga de rotura del cable: Véase la Recomendación G.972.
- Carga de cable de rotura de fibra: Véase la Recomendación G.972.

## 4 Abreviaturas

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas:

BER	Proporción de bits erróneos ( <i>bit error ratio</i> )
BU	Unidad de derivación ( <i>branching unit</i> )
DLS	Sección de línea digital ( <i>digital line section</i> )
MSOH	Tara de sección de multiplexación ( <i>multiplex section overhead</i> )

NRZ	Sin retorno a cero ( <i>no return to zero</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> )
RPOA	Amplificador óptico con bombeo a distancia ( <i>remotely pumped optical amplifier</i> )
SDH	Jerarquía digital síncrona ( <i>synchronous digital hierarchy</i> )
STM	Módulo de transporte síncrono ( <i>synchronous transport module</i> )
TTE	Equipo terminal de transmisión ( <i>terminal transmission equipment</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 G.702, G.703, G.707, etc.

Pueden coexistir varias velocidades binarias de interfaz 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 Recomendación G.821 para sistemas PDH y la Recomendación G.826 para sistemas SDH).

En los sistemas PDH, los parámetros principales son los minutos degradados, los segundos con muchos errores y los segundos con error. Proceden de la Recomendación 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, *Libro Azul*.

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

#### 5.1.3 Disponibilidad del sistema

Para sistemas PDH:

- la característica de tiempo de indisponibilidad procede del anexo A/G.821, *Libro Azul*, según la distancia. La atribución de DLS se obtiene multiplicando la atribución por kilómetro por la longitud de DLS;
- como indica el anexo A/G.821, *Libro Azul*, un periodo de tiempo de indisponibilidad comienza cuando la proporción de bits erróneos (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 característica de tiempo de indisponibilidad y su definición proceden de la Recomendación 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 la Recomendación G.823 durante la vida nominal del sistema. Esto se aplica en particular a:

- la tolerancia de fluctuación de fase, para cada sección de línea digital, en la interfaz de entrada del sistema;
- la máxima fluctuación de fase de salida, para cada sección de línea digital, en la interfaz de salida del sistema;
- la característica de transferencia de fluctuación de fase, para cada sección de línea digital, entre las interfaces de entrada y salida del sistema.

Las características de fluctuación de fase para el sistema SDH en las interfaces eléctricas de nivel STM-1 están siendo objeto de estudio.

Las características de fluctuación de fase para el sistema SDH en las interfaces ópticas de nivel STM-1 deben ajustarse a lo dispuesto en la Recomendación G.958.

#### **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 definirse) 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.

### **5.2 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 la potencia óptica media, expresada en dBm, y 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 especificada a la entrada de la cabecera de la fibra óptica de un receptor por debajo de la cual el equipo de recepción presentaría una proporción de bits erróneos superior a  $10^{-x}$ .
- 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 de la cabecera de fibra óptica de un receptor por encima de la cual el equipo de recepción presentaría una proporción de bits erróneos superior a  $10^{-x}$ .
- 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 de la cabecera de fibra óptica 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 ecualización 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 Recomendación G.662.

Además, también se considera la aplicación de los amplificadores ópticos con bombeo a distancia (RPOA, *remotely pumped optical amplifiers*). 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 a distancia no es alimentado 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. Se está estudiando un modelo para calcular la fiabilidad 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.

## **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 la Recomendación G.823 a lo largo de toda la vida nominal del sistema. En particular, deben cumplir lo indicado en dicha Recomendación:

- la tolerancia de fluctuación de fase, para cada sección de línea digital, en la interfaz de entrada del sistema;
- máxima fluctuación de fase de salida, para cada sección de línea digital, en la interfaz de salida del sistema;
- la característica de transferencia de fluctuación de fase teniendo el terminal una configuración en bucle, para cada sección de línea digital, entre la interfaz del sistema de entrada y de salida.

Las características de fluctuación de fase del TTE (tolerancia de fluctuación de fase, máxima fluctuación de fase de salida, característica de transferencia de fluctuación de fase) en la interfaz óptica sólo es necesario que sean compatibles con la especificación del sistema para sistemas PDH.

En el caso de sistemas SDH, las características de fluctuación de fase del TTE (tolerancia de fluctuación de fase, máxima fluctuación de fase de salida, características de transferencia de fluctuación de fase) en la interfaz óptica debe satisfacer lo dispuesto en la Recomendación G.958.

### **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 (véase a este respecto el cuadro 4/G.921). 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 las normas CEI-825 Parte 1 y CEI-825 Parte 2 y lo dispuesto en la Recomendación G.958 por lo que se refiere a los procedimientos de interrupción del láser. En lo que respecta a los valores de los tiempos de reactivación y desactivación en que están implicados los niveles de potencia que rebasan los de la clase 1 debido a la utilización de amplificadores de fibra óptica, es preciso modificar el apéndice II/G.958 de la forma correspondiente para tener en cuenta dichos valores de los tiempos de reactivación y desactivación de los OFA insertados a lo largo del enlace óptico.

#### **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.

Con frecuencia el equipo de reserva se pone en funcionamiento y se supervisa 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 adaptado al mar (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 G.652, G.653 o G.654.

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. Se está estudiando un modelo para calcular el grado de supervivencia de la fibra en función de sus características y del efecto acumulativo de la tensión a que se somete.

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.



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 Recomendación 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 Recomendación 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 – El cable puede tener 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.

## 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.

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 Recomendación G.972.

**Cuadro A.1/G.973 – Ejemplo ilustrativo de parámetros de sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores**

Sistemas	560 M (PDH) 4 × 140 Mbit/s	622 M (SDH) 4 × 140/155 Mbit/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) PEU (interfaces eléctricas) (nota 1)		

**Cuadro A.1/G.973 – Ejemplo ilustrativo de parámetros de sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores**

Sistemas	560 M (PDH) 4 × 140 Mbit/s	622 M (SDH) 4 × 140/155 Mbit/s	2488 M (SDH) 16 × 140/155 Mbit/s	4977 M (SDH) 32 × 140/155 Mbit/s
<p>NOTA 1 – PEU 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 del texto principal de la presente Recomendación.</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 deben ser objeto de estudios ulteriores.</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.

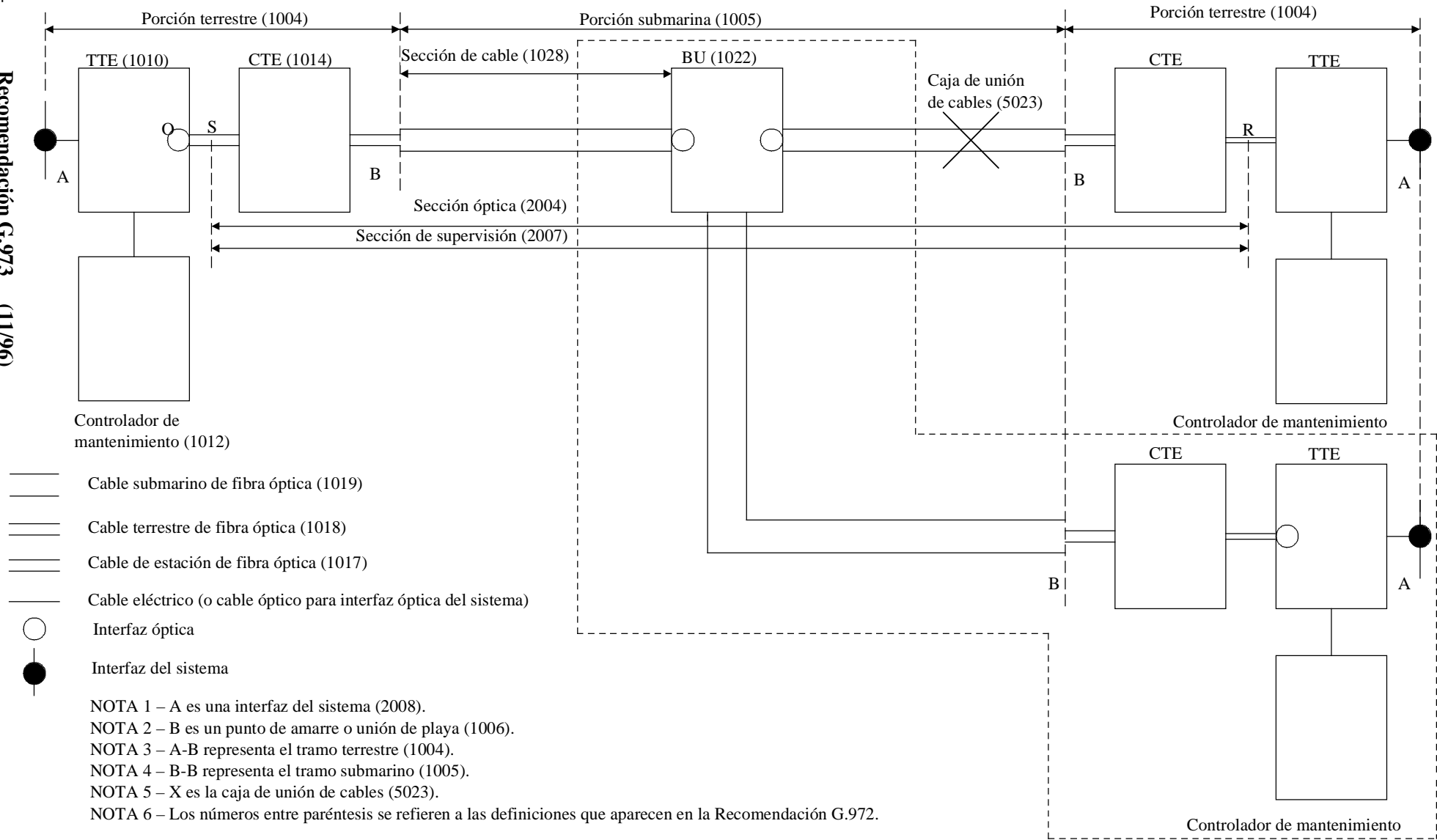
Cuando sólo se conectan dos estaciones terminales el sistema se denomina "enlace por cable submarino de fibra óptica". En otros casos puede denominarse "red de cables submarinos de fibra óptica".

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.

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.



T1520620-96

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

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 Recomendación 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.

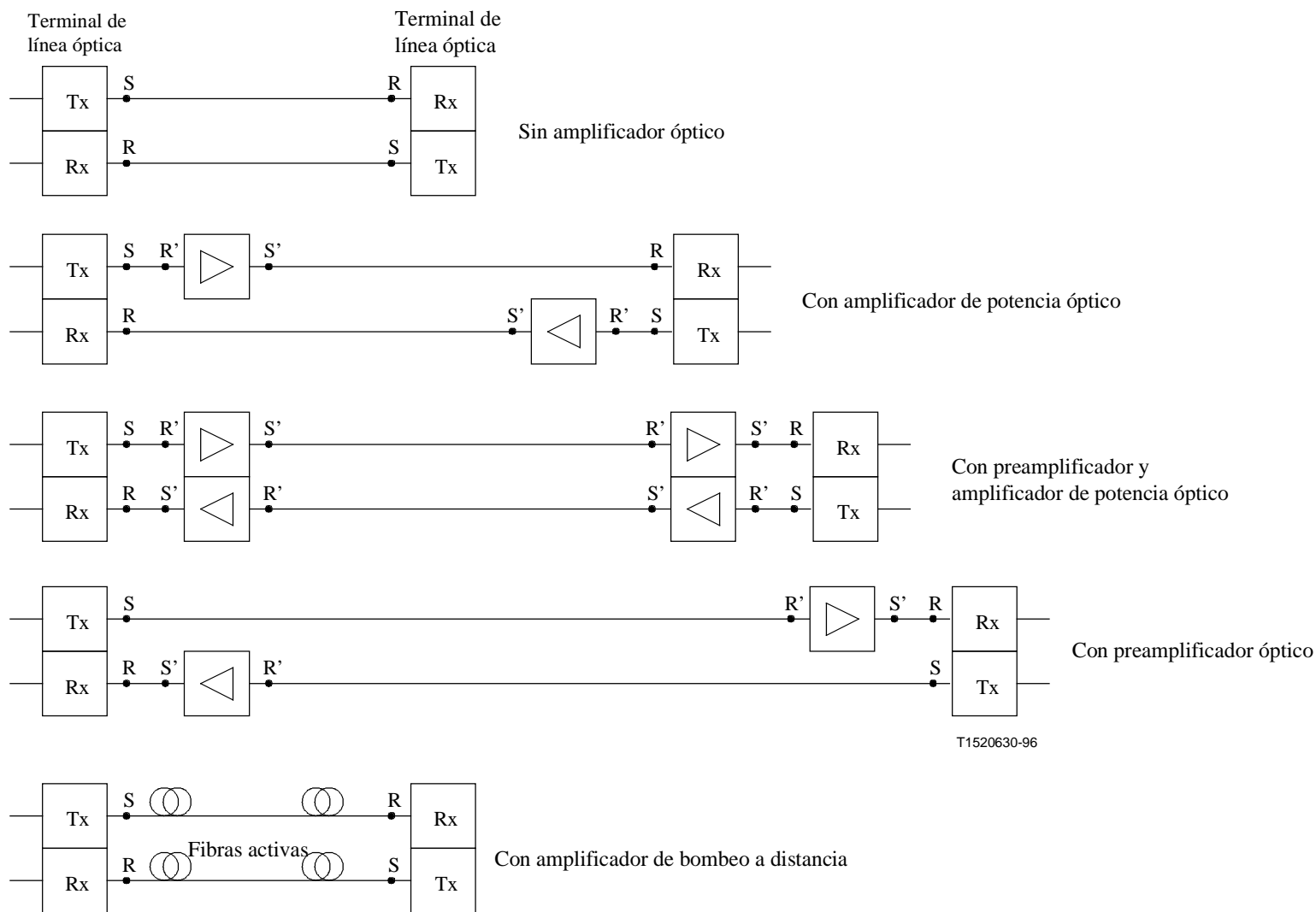


Figura A.2/G.973 Posibles configuraciones del sistema

#### **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 multiplexión 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 proporción de bits erróneos 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 Recomendación 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  $n \cdot 10^{-p}$  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 de multiplexión (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.

Se establece al menos 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 su bastidor, 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.

## **A.6 Fabricación e instalación**

### **A.6.1 Calidad en los sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores**

Los elevados requisitos de calidad de funcionamiento y fiabilidad establecidos para un sistema de cable submarino de fibra óptica sin repetidores pueden satisfacerse únicamente si se aplican estrictos procedimientos de control de calidad durante el diseño, fabricación y tendido del sistema. Aunque los procedimientos de control de calidad son específicos para cada suministrador de cable submarino de fibra óptica, normalmente se aplican las siguientes reglas básicas.

#### **A.6.1.1 Cualificación de diseños y tecnologías**

Esta actividad, parte del proceso de desarrollo, tiene por objeto demostrar que el comportamiento de una tecnología, de un componente o de un conjunto es compatible con la calidad de funcionamiento general del sistema y ofrece una garantía razonable de que puede cumplirse el objetivo de fiabilidad. La cualificación incluye pruebas de resistencia, destinadas a estimar el grado de robustez de la tecnología, de los componentes o de los conjuntos y determinar el procedimiento de selección y pruebas de vida útil a largo plazo (algunas de las cuales pueden acelerarse, por ejemplo, por la



temperatura) y cuyo objeto es confirmar la validez del procedimiento de selección y evaluar la vida útil y/o la fiabilidad de la tecnología, los componentes o el conjunto. La cualificación de un cable o equipo submarino puede incluir también pruebas prácticas en el mar.

#### **A.6.1.2 Certificación de componentes y conjuntos**

Esta actividad, que forma parte del proceso de fabricación, tiene por objeto asegurar que tiene cada componente o conjunto puede satisfacer las especificaciones de calidad de funcionamiento y de fiabilidad una vez instalado. En los equipos submarinos, se certifica cada uno de los componentes.

Esta certificación se basa en los resultados de las pruebas de selección destinadas a suprimir todo elemento o componente no satisfactorio, especialmente aquellos que presentan averías tempranas.

#### **A.6.1.3 Inspección de la fabricación**

Esta actividad, realizada durante el proceso de fabricación, tiene por objeto verificar que se respeta el plan de calidad, que cada operación se lleva a cabo según el procedimiento acordado y que el resultado es satisfactorio.

La responsabilidad de la inspección de la fabricación puede compartirse entre el propio fabricante y los compradores del sistema de cable submarino de fibra óptica.

#### **A.6.2 Montaje y procedimiento de tendido**

Antes del tendido del cable se lleva a cabo una verificación de la ruta para seleccionarla y establecer los medios de protección del cable (protección ligera, armado del cable, enterrado del cable). Esa verificación consiste en estudiar el perfil del fondo marino, la temperatura del fondo del mar y sus variaciones estacionales, la morfología y naturaleza de dicho fondo, la posición de los cables y conductos existentes, los datos estadísticos sobre averías del cable, las actividades de pesca y minería, las corrientes marinas, la actividad sísmica, las leyes, etc.

El montaje del enlace consiste en unir las secciones de cable y las unidades de derivación comprobando a la vez que se respetan los márgenes garantizados para cada fibra en cada sección del cable, a fin de constituir el tramo submarino. Este montaje puede llevarse a cabo en la fábrica de cables antes de cargarlo, a bordo del buque cablero tras su carga o entre la fábrica y el buque cablero.

La carga en el buque consiste en la instalación del tramo submarino, o parte de él, a bordo del buque antes de su tendido. La carga se realiza normalmente con el enlace sin alimentar. Periódicamente se realizan pruebas durante la carga para confirmar que la calidad de funcionamiento del equipo montado no resulta afectada por el proceso de carga.

El sistema se prueba al finalizar el tendido, y puede ser probado también durante el mismo, para asegurar que no se ha introducido en el sistema ninguna degradación significativa. Las pruebas de tendido incluyen las comprobaciones de transmisión y aspectos funcionales y pueden incluir también pruebas sobre subconjuntos redundantes.

Durante el tendido, se tiende un sobrelargo de cable predeterminado (holgura) para asegurar que el cable reposa adecuadamente en el fondo del mar.

Normalmente el tendido se realiza únicamente cuando las condiciones climatológicas y del mar no constituyen una seria amenaza de aparición de averías en el tramo submarino, en el buque cablero y en los equipos de tendido o de riesgo para el personal.

El cable puede enterrarse en el fondo del mar para aumentar la protección del mismo. El enterramiento puede efectuarse durante el tendido, utilizando un sistema de arado remolcado por el buque cablero de tendido, o después del tendido mediante un robot sumergible autopropulsado u otros medios.

### **A.6.3 Puesta en servicio del sistema**

Las pruebas de puesta en servicio se realizan antes de cursar tráfico por el sistema a fin de asegurar que éste satisfice los requisitos globales de calidad de funcionamiento de la transmisión y que lleva a cabo todas sus funciones.

Si se utiliza redundancia en el diseño para cumplir la característica de fiabilidad, el componente redundante puede utilizarse para corregir las averías que aparezcan durante el tendido o antes de la puesta en servicio. Sin embargo, el objetivo es asegurar que el número de dispositivos redundantes disponibles es suficiente para satisfacer, con un alto grado de probabilidad, el objetivo del número de reparaciones en el barco.

## **A.7 Mantenimiento**

### **A.7.1 Mantenimiento de rutina**

El mantenimiento de rutina se lleva a cabo desde las estaciones terminales utilizando el sistema de supervisión. Consiste en la verificación periódica de los parámetros del sistema y, cuando sea necesario, en la conmutación preventiva de los dispositivos redundantes.

### **A.7.2 Mantenimiento en el mar**

Los sistemas de cable submarino de fibra óptica pueden estar sujetos a averías debido, en particular, a las agresiones externas y a fallos en los componentes. Es importante definir y desarrollar equipos y procedimientos de reparación perfectamente contrastados y eficaces, a fin de facilitar dichas reparaciones y limitar la pérdida de tráfico.

El mantenimiento en el mar se realiza normalmente mediante buques cableros de reparación especializados.

#### **A.7.2.1 Localización de averías**

En las secciones extremas del cable, la localización de averías puede realizarse a partir de las estaciones terminales utilizando las mediciones eléctricas adecuadas (resistencia, capacidad, aislamiento, etc.), y por medio de reflectometría óptica.

De forma similar, la localización de averías en el cable puede realizarse a partir del buque cablero tras la recuperación del cable y utilizando los mismos métodos.

#### **A.7.2.2 Recuperación del cable**

Durante la recuperación del cable, para limitar la atención mecánica aplicada al mismo puede que sea necesario cortarle en el fondo marino antes de recuperar ambos extremos por separado.

#### **A.7.2.3 Reparación en el mar**

La reparación (en aguas profundas y poco profundas) puede exigir la adición de una cierta longitud de cable. Generalmente se incluye un margen de reparación en el balance de potencia óptica que es normalmente proporcional a la tasa de averías del cable (obtenida mediante análisis estadístico de los cables ya tendidos) en aguas poco profundas y en aguas profundas, respectivamente. A bordo del buque cablero y en la estación terminal se aplican procedimientos de seguridad en la reparación de manera que quede garantizada la seguridad del personal que trabaja a bordo del buque.

## 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**

#### **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.

La fibra dopada en combinación con un aislante óptico constituye un dispositivo completamente pasivo que puede montarse en una caja especial de tendida en el fondo del mar o puede ir incorporado al cable.

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.

#### **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).

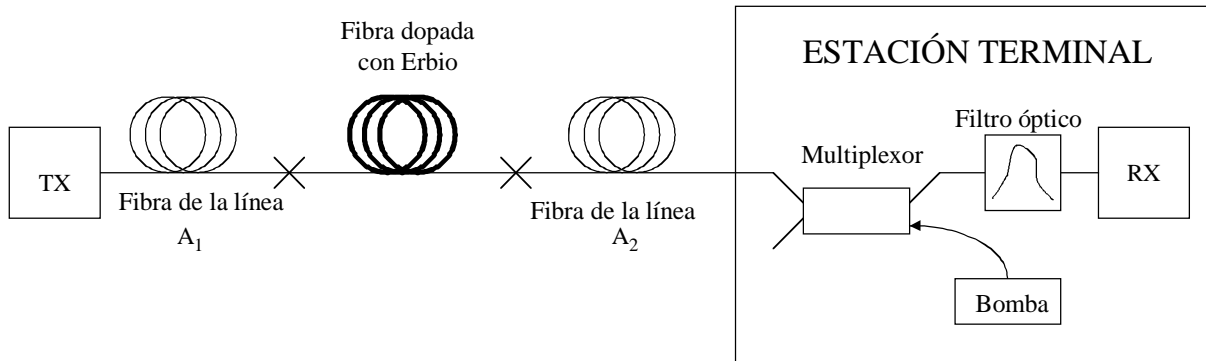
Con referencia al ejemplo representado en la figura B.1, la ganancia del enlace se expresa de la forma siguiente:

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

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

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 ( $A_2$ ).



T1520640-96

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

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

## 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
<b>Serie G</b>	<b>Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales</b>
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedios
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Transmisiones de señales radiofónicas, de televisión 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	Mantenimiento: 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 Z	Lenguajes de programación