



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.974

(03/93)

**SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS
DE LÍNEA DIGITALES**

**CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS
DE CABLE SUBMARINO DE FIBRA ÓPTICA
CON REGENERACIÓN**

Recomendación UIT-T G.974

(Anteriormente «Recomendación del CCITT»)

PREFACIO

El Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-T) es un órgano permanente de la Unión Internacional de Telecomunicaciones. El UIT-T tiene a su cargo el estudio de las cuestiones técnicas, de explotación y de tarificación y la formulación de Recomendaciones al respecto con objeto de normalizar las telecomunicaciones sobre una base mundial.

La Conferencia Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (CMNT), que se reúne cada cuatro años, establece los temas que habrán de abordar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que preparan luego Recomendaciones sobre esos temas.

La Recomendación UIT-T G.974, preparada por la Comisión de Estudio XV (1988-1993) del UIT-T, fue aprobada por la CMNT (Helsinki, 1-12 de marzo de 1993).

NOTAS

1 Como consecuencia del proceso de reforma de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), el CCITT dejó de existir el 28 de febrero de 1993. En su lugar se creó el 1 de marzo de 1993 el Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-T). Igualmente en este proceso de reforma, la IFRB y el CCIR han sido sustituidos por el Sector de Radiocomunicaciones.

Para no retrasar la publicación de la presente Recomendación, no se han modificado en el texto las referencias que contienen los acrónimos «CCITT», «CCIR» o «IFRB» o el nombre de sus órganos correspondientes, como la Asamblea Plenaria, la Secretaría, etc. Las ediciones futuras en la presente Recomendación contendrán la terminología adecuada en relación con la nueva estructura de la UIT.

2 Por razones de concisión, el término «Administración» se utiliza en la presente Recomendación para designar a una administración de telecomunicaciones y a una empresa de explotación reconocida.

ÍNDICE

	<i>Página</i>
1 Introducción	1
2 Características y calidad de funcionamiento del sistema	1
2.1 Características y calidad de funcionamiento de las secciones de línea digital.....	1
2.2 Características y calidad de funcionamiento de las secciones ópticas.....	2
2.3 Característica de fiabilidad del sistema.....	3
3 Características y funcionamiento del equipo terminal	3
3.1 Consideraciones generales.....	3
3.2 Características de transmisión.....	3
3.3 Acciones consiguientes a una alarma	4
3.4 Conmutación automática	4
4 Características y funcionamiento del repetidor	4
4.1 Características de la señal en la interfaz óptica.....	4
4.2 Característica de fluctuación de fase.....	5
5 Características y calidad de funcionamiento del cable	5
5.1 Características de transmisión.....	5
5.2 Características mecánicas y de resistencia al medio ambiente.....	5
5.3 Características eléctricas.....	6
Anexo A – Realización de sistemas de cable submarino de fibra óptica con regeneración	8
A.1 Introducción.....	8
A.2 Configuración del sistema	8
A.3 Características de la señal de línea.....	10
A.4 Funcionamiento del sistema.....	11
A.5 Características del repetidor y de la unidad de derivación.....	11
A.6 Fabricación e instalación	12
A.7 Mantenimiento	14

CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE CABLE SUBMARINO DE FIBRA ÓPTICA CON REGENERACIÓN

(Helsinki, 1993)

1 Introducción

Esta Recomendación trata sobre todo de la calidad de funcionamiento del sistema y de los requisitos de interfaz de los sistemas de cable submarino de fibra óptica con regeneración. La realización física de estos sistemas se analiza separadamente en el Anexo A.

2 Características y calidad de funcionamiento del sistema

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

Las secciones de línea digital proporcionadas por el sistema deben estar de acuerdo con las Recomendaciones pertinentes del CCITT.

2.1.1 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.

Varias velocidades binarias de interfaz, pueden coexistir para un solo sistema de cable submarino de fibra óptica.

2.1.2 Característica de error global

La característica de error de un sistema de cable submarino de fibra óptica debe conformarse a la Recomendación G.821 durante la vida nominal del sistema. Los parámetros pertinentes son los de minutos degradados, segundos con muchos errores y segundos con errores. Se obtienen de la Recomendación G.821, junto con la calidad de funcionamiento a 64 kbit/s, en base a un kilómetro. En el Anexo D/G.821 del *Libro Azul* se da información a propósito de la correspondencia entre la calidad de funcionamiento de un sistema y el nivel de la misma a 64 kbit/s.

2.1.3 Disponibilidad del sistema

La característica de tiempo de indisponibilidad se obtiene del Anexo A/G.821 del *Libro Azul*, en base a un kilómetro. La asignación a una sección de línea digital (DLS, *digital line section*) se obtiene multiplicando la asignación por kilómetro por la longitud de la DLS.

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

De acuerdo con el Anexo A/G.821 del *Libro Azul*, el 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 termina cuando la BER en cada segundo es mejor que 1×10^{-3} durante un periodo de diez segundos consecutivos. Estos diez segundos se consideran tiempo de disponibilidad.

La especificación de la indisponibilidad se aplica al tiempo de indisponibilidad debida al fallo de componentes del sistema e incluye, por ejemplo, la conmutación de láser, las averías del terminal y las operaciones de supervisión y mantenimiento que dan lugar a interrupciones de diez o más segundos. No incluye las averías causadas por los palangres, u otros factores externos tales como el tiempo de reconfiguración de la alimentación de energía del sistema y cualquier periodo durante el cual el sistema está sin alimentación por reparaciones. De manera similar, las averías que requieran la intervención del barco no se incluyen en el cálculo del tiempo de indisponibilidad.

2.1.4 Característica de fluctuación de fase

La característica de fluctuación de fase de un sistema de cable submarino de fibra óptica debe seguir la Recomendación G.823 durante la vida nominal del sistema. Esto es aplicable en particular a:

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

2.1.5 Asignación de la calidad de funcionamiento entre tramos del sistema

La calidad de funcionamiento de extremo a extremo de una sección de línea digital (DLS, *digital line section*) dada se obtiene multiplicando la asignación especificada por kilómetro por la longitud de la DLS. Cuando es preciso asignar una degradación de la calidad de funcionamiento a diversos tramos de la DLS, a cada equipo de terminal de estación se le asigna el valor correspondiente a una longitud fija (normalmente 125 km), y al tramo marino se le asigna, por kilómetro, el valor equivalente a la diferencia entre la especificación de la DLS y la asignación al terminal.

2.2 Características y calidad de funcionamiento de las secciones ópticas

2.2.1 Balance de potencia óptica

Los errores creados a lo largo de los tramos submarinos de los sistemas equipados con regeneradores son acumulativos, por lo que la característica de error global depende de la característica de error de cada sección óptica.

La calidad de funcionamiento óptico de una sección óptica está caracterizada por su balance de potencia óptica, que es la diferencia entre potencias ópticas medias, expresadas en dBm, en los dos extremos de una sección óptica, según puede obtenerse teniendo en cuenta las características de los componentes ópticos del equipo en ambos extremos de la sección de cable. El balance de potencia óptica puede utilizarse para calcular la longitud de la sección elemental de cable que permite el cumplimiento del requisito relativo a la característica de error global de cada sección de línea digital del sistema de cable de fibra óptica submarino.

Para calcular el balance de potencia óptica pueden seguirse varios métodos: método del caso más desfavorable, método estadístico y método semiestadístico.

El balance de potencia óptica debe tener en cuenta una parte o la totalidad de los parámetros siguientes:

- La sensibilidad del receptor (dBm)
Potencia óptica media de la señal óptica modulada por una señal eléctrica pseudoaleatoria, con una densidad de marca especificada, a la entrada de la cabecera helicoidal de la fibra óptica del receptor, por debajo de la cual el equipo de recepción mostraría una tasa de errores en los bits superior a 10^{-x} .
- La sobrecarga óptica del receptor (dBm)
Potencia óptica media de la señal modulada por una señal eléctrica pseudoaleatoria, con una densidad de marca especificada, a la entrada de la cabecera helicoidal de la fibra óptica del receptor, por encima de la cual el equipo de recepción mostraría una tasa de errores en los bits superior a 10^{-x} .
- La gama dinámica (dB)
Diferencia entre la sobrecarga óptica del receptor y la sensibilidad del receptor.
- La potencia inyectada media (dBm)
Potencia óptica media de la señal de línea óptica a la entrada de la cabecera helicoidal de la fibra óptica del transmisor.
- La pérdida interna del equipo (dB).
- La pérdida de la sección óptica (dB).

- La penalización de la calidad de funcionamiento del sistema (dB)
Teniendo en cuenta la diferencia entre la calidad de funcionamiento de un regenerador «ideal» y un regenerador «real» asociado con una sección de cable completa. Entre los fenómenos que deben considerarse en su valor figuran la realimentación óptica, la equalización no ideal, el ruido de partición, la diafonía entre regeneradores, la dispersión cromática, etc.
- El margen de envejecimiento (dB)
Teniendo en cuenta la variación de la atenuación de los componentes ópticos, incluida la de las fibras, debido al envejecimiento durante la vida nominal del sistema.
- La provisión por reparaciones (dB)
Teniendo en cuenta el posible incremento de la atenuación de la fibra cableada debido a las reparaciones del cable durante la vida nominal del sistema. El valor de la provisión por reparaciones depende de la profundidad del mar. Normalmente no se asigna provisión por reparaciones para secciones de cable de mar profundo. La provisión por reparaciones para secciones de aguas poco profundas puede obtenerse mediante el producto de un número de reparaciones, proporcional a la longitud de la sección de cable, por la atenuación media por reparación, igual a la atenuación de dos uniones de cable a la que se añade la pérdida de un largo de cable proporcional a la profundidad del mar.
- Un margen no asignado
Una provisión por fenómenos que no pueden preverse con precisión.
- El margen de sobrecarga
Diferencia mínima entre la potencia de recepción y la sobrecarga óptica del receptor.

Un parámetro importante, que debe especificarse para ayudar a la puesta en servicio del sistema, es el margen garantizado o margen mínimo de cada una de las secciones ópticas en el balance de potencia, que debe medirse en un momento específico, a saber, el del montaje del sistema en fábrica o a bordo del buque cablero, y que es igual a la suma de los márgenes de envejecimiento, por reparaciones y no asignado.

2.3 Característica de fiabilidad del sistema

La fiabilidad del tramo submarino de un sistema de cable submarino por fibra óptica se caracteriza generalmente por:

- el número esperado de reparaciones que requerirán la intervención de un buque cablero y debidas a fallos de componentes del sistema durante la vida nominal del sistema:
el requisito usual, a efectos de fiabilidad del sistema, es menos de tres fallos que exijan la intervención del buque cablero durante la vida nominal del sistema;
- la duración de vida nominal del sistema:
periodo de tiempo durante el cual el sistema de cable submarino de fibra óptica está diseñado para funcionar de conformidad con su especificación de funcionamiento. Normalmente la duración de la vida nominal del sistema es un periodo de 25 años que comienza en la fecha de aceptación provisional del sistema, es decir, la fecha siguiente a la de instalación, en la que el sistema es conforme con la especificación de calidad de funcionamiento.

3 Características y funcionamiento del equipo terminal

3.1 Consideraciones generales

El equipo terminal está diseñado para ensamblar los afluentes de transmisión por el sistema de cable submarino de fibra óptica, para suministrar alimentación de energía a la planta sumergible y para proporcionar facilidades de supervisión y mantenimiento.

3.2 Características de transmisión

3.2.1 Características de la señal digital en la interfaz del sistema

La señal digital en la interfaz del sistema debe estar de acuerdo con las Recomendaciones pertinentes del CCITT.

3.2.2 Características de la señal en la interfaz óptica

La señal en la interfaz óptica debe estar de acuerdo con el balance de potencia de la sección óptica terminal. En particular, en el momento de la instalación, deben respetarse determinados límites:

- *Potencia media de entrada al TTE mínima (dBm)*
Potencia óptica media de la señal de línea óptica que debe estar presente en la interfaz de entrada óptica del terminal, de modo que el balance de potencia óptica de la sección de cable ofrezca el margen garantizado.
- *Potencia media de salida del TTE mínima (dBm)*
Potencia óptica media de la señal de línea óptica que debe estar presente en la interfaz de salida óptica del terminal, de modo que el balance de potencia óptica de la sección de cable ofrezca el margen garantizado.

3.2.3 Característica de fluctuación de fase

La característica de fluctuación de fase del TTE de un sistema de cable submarino de fibra óptica debe cumplir la Recomendación G.823 a lo largo de la vida nominal del sistema. En particular:

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

deben seguir la Recomendación G.823.

La característica 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 tiene que ser compatible solamente con la especificación del sistema individual.

3.3 Acciones consiguientes a una alarma

El equipo terminal debe detectar las condiciones de avería y llevar a cabo las acciones consiguientes, tal como se detalla en las Recomendaciones pertinentes del CCITT (véase en particular el Cuadro 4/G.921).

3.4 Conmutación automática

Cuando se utiliza la conmutación automática para satisfacer el requisito de disponibilidad global,

- la degradación del tráfico debida a la conmutación ha de reducirse al mínimo y ser compatible con el funcionamiento global del sistema;
- debe darse una indicación del equipo que está en servicio;
- ha de ser posible la anulación manual de la conmutación automática, con una degradación mínima de la calidad de funcionamiento del sistema.

El equipo en reserva se mantiene en funcionamiento y se supervisa frecuentemente igual que el equipo en servicio, excepto determinadas partes específicas, por ejemplo, el transmisor óptico.

4 Características y funcionamiento del repetidor

4.1 Características de la señal en la interfaz óptica

La señal en la interfaz óptica debe estar de acuerdo con el balance de potencia de la sección óptica. En particular, en el momento del montaje del sistema, deben respetarse determinados límites:

- *Potencia media de entrada al repetidor mínima (dBm)*
Potencia óptica media de la señal de línea óptica que debe estar presente, en el momento del montaje del enlace, en la interfaz de entrada óptica del repetidor, de modo que el balance de potencia óptica de la sección de cable ofrezca el margen garantizado.

- *Potencia media de salida del repetidor mínima (dBm)*

Potencia óptica media de la señal de línea óptica que debe estar presente en el momento del montaje del enlace en la interfaz de salida óptica del repetidor, de modo que el balance de potencia óptica de la sección de cable ofrezca el margen garantizado.

En el caso de sistemas integrados, deben especificarse parámetros similares como parte de la especificación de integración en la interfaz óptica de la línea de integración.

4.2 Característica de fluctuación de fase

La característica de fluctuación de fase del repetidor (tolerancia de fluctuación de fase, máxima fluctuación de fase de salida, características de transferencia de fluctuación de fase) en la interfaz óptica ha de ser compatible solamente con la especificación del sistema.

En el caso de sistemas integrados, deben especificarse los mismos parámetros, la densidad espectral de fluctuación de fase del repetidor y la fluctuación de fase de la alineación, como parte de la especificación de integración en la interfaz óptica de la línea de integración.

5 Características y calidad de funcionamiento del cable

5.1 Características de transmisión

Por lo general, las características de transmisión de las fibras antes del cableado (instalación en el cable) serán similares, o iguales, a las especificadas en las Recomendaciones G.652, G.653 o G.654. Los tipos de fibra se eligen de modo que se optimicen el coste y la calidad de funcionamiento globales del sistema.

Las características de transmisión de las fibras instaladas en una sección elemental de cable deben estar dentro de unos límites especificados de variación con respecto a sus características antes de instalarlas en el cable. En particular, el diseño del cable, las uniones de cables y las fibras deben ser tales que el incremento de atenuación provocado por las curvaturas y las microcurvaturas de la fibra resulte irrelevante. Esto hay que tenerlo en cuenta para determinar el radio mínimo de curvatura de la fibra en el cable y en el equipo (uniones de cables ópticos, terminaciones, repetidores, etc.).

La atenuación de la fibra y la dispersión cromática deben permanecer estables dentro de unos límites especificados durante la vida nominal del sistema. En particular, el diseño del cable debe reducir a niveles aceptables tanto la penetración de hidrógeno desde el exterior como la generación de hidrógeno dentro del cable, incluso después de una rotura del cable a la profundidad de su utilización. También debe tenerse en cuenta la sensibilidad de la fibra óptica a la radiación gamma.

5.2 Características mecánicas y de resistencia al medio ambiente

5.2.1 Protección de la fibra por la estructura del cable

La capacidad de supervivencia de la fibra viene determinada por la propagación de fisuras dentro de la estructura de cristal. Depende del estado mecánico inicial de la fibra antes del cableado, que depende de la estructura física de la fibra (tipo de revestimiento, tensión interna), de las condiciones ambientales durante la fabricación de la fibra y del nivel de prueba de selección aplicada a la fibra después del trefilado. Depende también del entorno de la fibra en el cable y del efecto acumulativo de la tensión aplicada a la fibra a lo largo de su vida.

La solidez de la estructura del cable junto con la de la fibra determinan el comportamiento mecánico global del cable. Deben diseñarse de manera que garanticen la duración de la vida nominal del sistema, teniendo en cuenta el efecto acumulativo de la carga aplicada al cable durante el tendido, la recuperación y las reparaciones, así como cualquier carga permanente o elongación residual aplicadas al cable instalado.

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

- estructura de cable apretada, cuando las fibras se mantienen fuertemente en el cable de tal modo que su elongación es básicamente igual a la de éste;
- estructura de cable suelta, cuando las fibras pueden moverse libremente dentro del cable de tal modo que su elongación es inferior a la del cable, siendo nula mientras la elongación del cable no alcance un determinado valor.

Por otra parte, el cable debe proteger las fibras contra el agua, la humedad y la presión externa y limitar la penetración longitudinal del agua después de una rotura del cable a la profundidad de utilización.

5.2.2 Comportamiento mecánico de la fibra

El comportamiento mecánico de la fibra depende en gran medida de la aplicación de una prueba mecánica de recepción a todo el largo de fibra. La prueba de resistencia de la fibra óptica se caracteriza por la carga aplicada a la fibra o su elongación y por el tiempo de aplicación. El nivel de la prueba de resistencia debe establecerse en función de la estructura del cable. Los empalmes de fibras deben probarse de manera similar.

Ha de tenerse en cuenta la resistencia mecánica de la fibra y de los empalmes para determinar el radio de curvatura mínimo de la fibra en el cable y en el equipo (repetidores, unidades de derivación, cajas de unión de cables o terminaciones de cables).

5.2.3 Comportamiento mecánico del cable

El cable, junto con las cajas de unión de cables, los acopladores de cables y las transiciones de cables han de ser manejados con seguridad por los buques cableros durante las operaciones de tendido y reparación. Debe resistir múltiples pasos por la proa de un buque cablero.

El cable ha de ser reparable y el tiempo necesario para realizar una unión de cables a bordo, durante una reparación en buenas condiciones de trabajo debe, ser razonablemente breve.

Cuando el cable es enganchado por un rezón, un ancla o un arte de pesca, se rompe normalmente con una carga aproximadamente igual a una fracción (dependiente del tipo de cable y de las características del rezón) de la carga de rotura en condiciones de línea recta. Existe entonces el riesgo de que se reduzca la duración de vida útil y la fiabilidad de la fibra y del cable en la proximidad del punto de rotura debido sobre todo a la tensión aplicada a la fibra o a la penetración del agua. Ha de sustituirse el trozo de cable dañado y el largo del trozo sustituido debe permanecer dentro de unos valores especificados.

En la Recomendación G.972 se establecen varios parámetros para definir las características mecánicas del cable y su aptitud a efectos de instalación, recuperación y reparación; parámetros que han de utilizarse como orientación para el manejo del cable:

- la carga de rotura del cable, medida durante la prueba de calificación;
- la carga de cable de rotura de la fibra, medida durante la prueba de calificación;
- la carga de cable transitoria, que podría producirse accidentalmente, sobre todo durante las operaciones de recuperación;
- la carga de cable operacional, que podría producirse durante las reparaciones;
- la elongación permanente del cable, que caracteriza el estado del cable después del tendido;
- el radio de curvatura mínimo del cable, que sirve como orientación para el manejo del cable.

5.2.4 Protección del cable

El cable submarino de fibra óptica debe tener una buena protección contra los riesgos ambientales a la profundidad en que se utiliza: protección contra la vida marina, las mordeduras de los peces y la abrasión y armadura contra la agresión y las actividades de los barcos. En la Recomendación G.972 se definen diferentes tipos de cables protegidos, en particular:

- cables de armadura simple, que se utilizan por lo general a profundidades de hasta unos 700 metros;
- cables de armadura doble, que se utilizan por lo general a profundidades de unos 400 metros;
- cables de armadura de roca, que se utilizan por lo general a profundidades de hasta unos 200 metros;

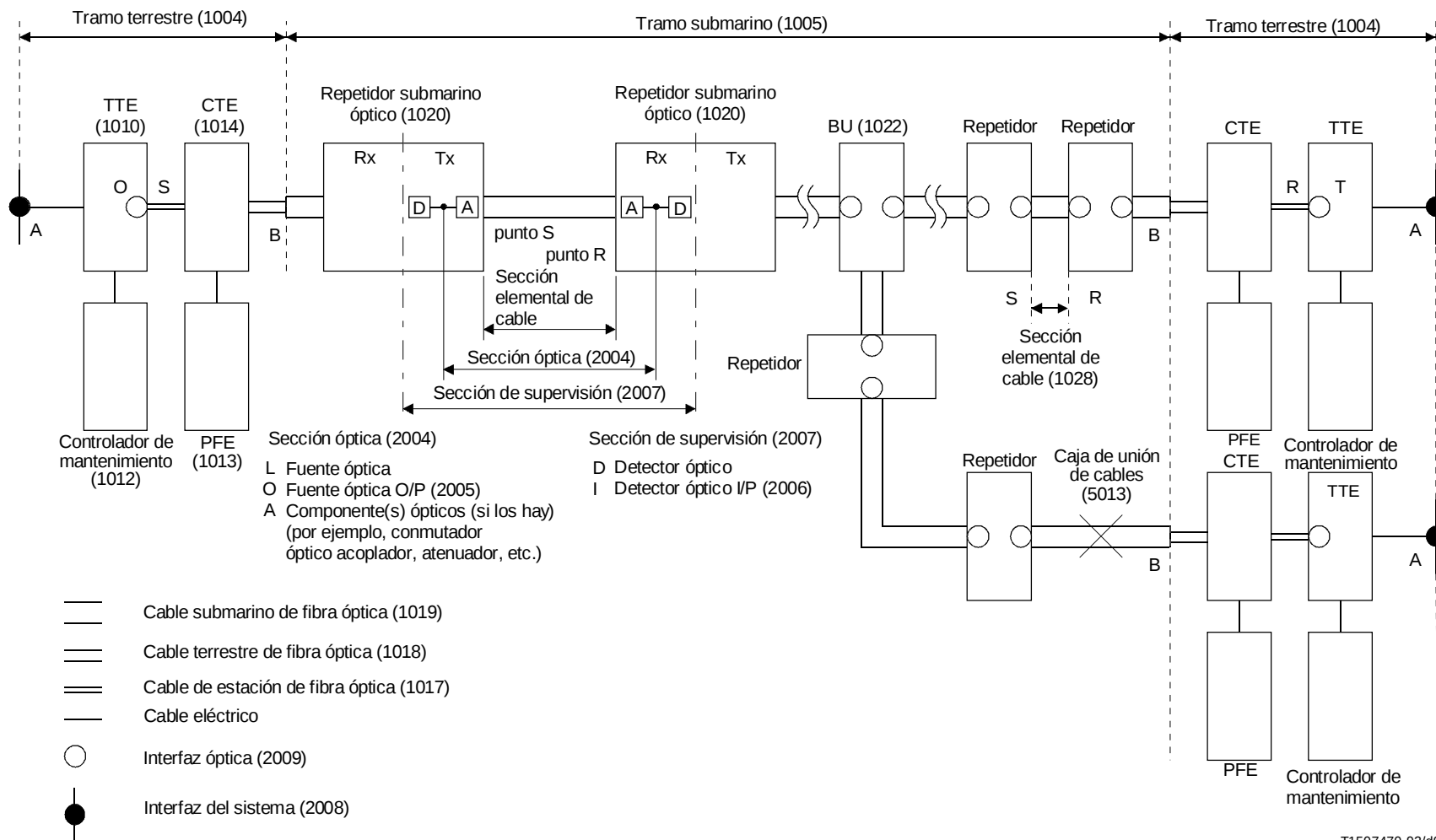
Las profundidades del agua aplicables no se limitan a los ejemplos anteriores.

El cable terrestre de fibra óptica debe proteger al sistema y al personal contra descargas eléctricas, interferencias industriales y descargas de rayo. Normalmente se utilizan dos tipos de cables terrestres protegidos:

- cables terrestres armados, con un blindaje que ha de mantenerse al potencial de tierra y que pueden enterrarse directamente;
- cables apantallados de canalización, con una pantalla circunferencial de seguridad (que puede ser la pantalla de protección contra mordeduras de peces) y que pueden tenderse dentro de las canalizaciones.

5.3 Características eléctricas

El cable ha de permitir la alimentación a distancia de los repetidores y las unidades de derivación e incluir un conductor de alimentación, con baja resistencia lineal, y un aislador con capacidad de aislamiento frente a las altas tensiones.



T1507470-92/d01

FIGURA 1/G.974

Ejemplo de sistema de cable submarino de fibra óptica regenerativo

Anexo A

Realización de sistemas de cable submarino de fibra óptica con regeneración

(Este anexo es parte integrante de la presente Recomendación)

A.1 Introducción

En este anexo se indican diversos aspectos de utilización de los sistemas de cable submarino de fibra óptica empleados comúnmente en sistemas con regeneración. En el Cuadro A.1 se muestran parámetros típicos del sistema.

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

A.2 Configuración del sistema

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

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

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

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

Un sistema de cable submarino de fibra óptica consta de

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

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

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

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

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

Cuando es necesario interconectar más de dos secciones de cable se inserta una unidad de derivación (BU, *branching unit*) submarina óptica, en el tramo submarino de una red de cables submarinos de fibra óptica. Según los requisitos de la red, este equipo puede incluir algunos o la totalidad de los submontajes siguientes:

- conexión de fibra directa;
- unidad de conmutación de fibras;
- regeneradores ópticos para cada fibra; y
- unidad de conmutación del trayecto de alimentación de energía.

Además, la BU puede facilitar el intercambio de señales entre trayectos de señal óptica, en cuyo caso se le denomina multiplexor de derivación submarina (UBM, *undersea branching multiplexer*).

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

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

A.2.3 Configuración de la alimentación de energía

A.2.3.1 Consideraciones generales

La configuración de la alimentación de energía caracteriza al flujo de corriente de alimentación entre las estaciones terminales, a través del sistema de cables submarinos de fibra óptica.

A.2.3.2 Enlace de cables submarinos de fibra óptica

En un enlace de cables submarinos de fibra óptica, la corriente fluye de un equipo de alimentación de energía (PFE, *power feeding equipment*) al PFE opuesto, a lo largo del conductor de potencia del cable submarino de fibra óptica, estableciéndose el trayecto de retorno a través del mar, por conducto de las puestas a tierra de la alimentación de energía efectuadas a ambos extremos.

A.2.3.3 Red de cables submarinos de fibra óptica

En una red de cables submarinos de fibra óptica se establece un trayecto de alimentación de energía de red, de manera similar, entre dos estaciones de alimentación de red, a través de los conductores de alimentación de las secciones de cables de fibra óptica conectados en serie. Las derivaciones que no forman parte del trayecto de alimentación de red se alimentan, cuando hace falta, a través del conductor de potencia del cable óptico submarino, entre el PFE de sus estaciones terminales y la unidad de derivación, estableciéndose el trayecto de retorno a través del mar, por conducto de una puesta a tierra de la alimentación de energía en la estación terminal y un electrodo marino de la unidad de derivación. La conmutación del trayecto de alimentación en la BU permite cambiar esta configuración, sobre todo en condiciones de avería.

Para evitar la corrosión, el sentido de la corriente de alimentación de energía es tal que el electrodo marino de la unidad de derivación permanece catódico. El mantenimiento de esta condición quizá requiera, en algunas configuraciones de redes de cables de fibra óptica submarinos, cambiar el sentido de la corriente de alimentación de energía, cuando se cambie la configuración de alimentación. Se hace necesario entonces utilizar repetidores «bipolares», que pueden alimentarse en ambos sentidos.

A.2.3.4 Protección mutua de los PFE

En algunas situaciones, el PFE instalado en uno de los extremos de un enlace proporciona, en situación de emergencia, la totalidad de la potencia necesaria para un determinado enlace, mientras que en condiciones de funcionamiento normal el suministro de la potencia total se comparte entre los equipos de alimentación de energía instalados a ambos extremos del enlace.

Esta facilidad se utiliza en caso de avería de un PFE, para aumentar la disponibilidad del sistema. También se utiliza en caso de avería por derivación de un cable, para mantener el tráfico y/o ayudar a localizar la avería.

A.2.4 Supervisión y telemantenimiento del sistema

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

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

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

En principio, el sistema supervisor permite la localización de averías hasta dentro de una sección de supervisión. Otros medios, tales como la reflectometría óptica y las mediciones eléctricas que utilizan equipos instalados en las estaciones terminales o a bordo del buque cablero, pueden aumentar la precisión de la localización de averías.

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

A.2.5 Integración del sistema

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

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

A.3 Características de la señal de línea

A.3.1 Estructura de la señal de línea

La trama de la línea y la velocidad binaria de la línea resultan de las operaciones de multiplexión y codificación efectuadas por el equipo de transmisión terminal (TTE, *terminal transmission equipment*), teniendo en cuenta la inclusión de los canales de servicio y supervisión.

El código de línea se elige en concordancia con las características del tramo submarino. Puede utilizarse a efectos tales como los de adaptación del espectro de frecuencias de la señal de línea óptica en la interfaz óptica y supervisión de la tasa de errores en los bits de la línea en los repetidores o en el terminal de transmisión-recepción. Las violaciones del código de línea pueden utilizarse a efectos de supervisión (control del sistema y/o transmisión de la información de supervisión).

A.3.2 Tasa de errores en la línea

La calidad de funcionamiento del tramo submarino de los sistemas equipados con regeneradores se mide adecuadamente en términos de tasa de errores en la línea, que es la tasa de errores en un punto determinado del sistema de cable submarino de fibra óptica.

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

El tramo submarino se caracteriza, en la práctica, mediante la tasa aparente de errores en la línea, que es el valor calculado a partir de la cuenta de errores en la línea proporcionada por el equipo supervisor de los repetidores. Por lo general, el equipo supervisor detecta violaciones del código de línea. La tasa aparente de errores en la línea se calcula directamente a partir del resultado de esta observación. Puede obtenerse un valor más exacto, la tasa efectiva de errores en la línea, eliminando del cálculo las violaciones deliberadas del código de línea.

A.4 Funcionamiento del sistema

A.4.1 Comunicación de terminal a terminal

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

En particular, se prevé normalmente un canal de servicio que permita la transmisión de mensajes de terminal a terminal entre los equipos supervisores de estaciones terminales correspondientes y con el que informar sobre el estado del sistema y de las secciones de línea digital y sobre la actividad supervisora en curso, ayudando así al control global del sistema y a la supervisión o localización de averías.

Entre estaciones terminales que intercambian tráfico, se establece por lo menos un canal de servicio para la comunicación entre el personal de las estaciones terminales.

A.4.2 Función y características del equipo de alimentación de energía (PFE, *power feeding equipment*)

A.4.2.1 Condición de funcionamiento normal del PFE

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

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

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

A.4.2.2 Protección del sistema

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

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

A.4.2.3 Protección del personal del PFE

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

A.5 Características del repetidor y de la unidad de derivación

A.5.1 Consideraciones generales

Los repetidores y las unidades de derivación submarinos ópticos pueden trabajar de conformidad con las recomendaciones de calidad de funcionamiento del sistema, durante la vida nominal del sistema y en las condiciones ambientales de la profundidad del mar (temperatura, presión, etc.).

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

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

Los repetidores y las unidades de derivación submarinos ópticos pueden funcionar a bordo de un buque cablero durante las operaciones de tendido y reparación, sin afectar a la duración de la vida nominal del sistema.

El tamaño de los repetidores submarinos ópticos permite su manejo mediante un equipo apropiado de buque cablero.

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

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

A.5.2 Constituyentes del repetidor (o BU)

Los principales constituyentes del repetidor (o BU) son:

- *El alojamiento del repetidor (o BU)*

Parte mecánica que contiene la unidad optoelectrónica. El alojamiento está diseñado de manera que proporcione resistencia a la presión en el fondo del mar, estanqueidad al agua, gran solidez mecánica, conexión eléctrica y óptica a las secciones de cable de cada lado del repetidor (o BU), aislamiento a las altas tensiones y una baja impedancia térmica entre la unidad optoelectrónica del repetidor (o BU) y el mar.

- *La unidad optoelectrónica del repetidor (o BU)*

Componente electrónico, constituido por el(los) regenerador(es) optoelectrónico(s), y/o el(los) circuito(s) supervisor(es), y/o la alimentación de energía y el(los) circuito(s) de protección, y/o el(los) intercambiador(es) de datos, y/o el(los) conmutador(es) de redundancia.

A.5.3 Funcionamiento del equipo de supervisión y telemantenimiento

La unidad de supervisión del repetidor (o BU) permite, en asociación con el equipo de supervisión y telemantenimiento del terminal, la localización de averías, la supervisión del funcionamiento del repetidor y la conmutación de redundancia telecontrolada, tal como se detalla en el anterior A.2.4.

A.6 Fabricación e instalación

A.6.1 Calidad en los sistemas de cable submarino de fibra óptica

Los requisitos de alta calidad de funcionamiento y fiabilidad establecidos para un sistema de cable submarino de fibra óptica sólo pueden satisfacerse si se aplican procedimientos rigurosos de calidad durante el diseño, la fabricación y el tendido del sistema. Aunque los procedimientos de calidad son específicos de cada suministrador de cable submarino de fibra óptica, pueden aplicarse de manera general los principios básicos que a continuación se indican.

A.6.1.1 Calificación de los diseños y las tecnologías

Esta actividad, que forma parte del proceso de desarrollo, tiene por objeto demostrar que la calidad de una tecnología, de un componente o de un montaje es compatible con el cumplimiento de la calidad de funcionamiento global del sistema y da un razonable grado de confianza de que puede cumplirse el objetivo de fiabilidad. La calificación comprende pruebas a tensiones mecánicas elevadas, con las que estimar la consistencia de la tecnología, de los componentes o submontajes y determinar el procedimiento de selección, y la prueba de duración a largo plazo (que podrían ser acelerados, por ejemplo, por la temperatura), cuyo objetivo es confirmar la validez del procedimiento de selección y evaluar la vida útil y/o la fiabilidad de la tecnología, de los componentes o del montaje. La calificación de un cable o equipo submarino puede incluir también pruebas en el mar.

A.6.1.2 Certificación de componentes y subconjuntos de componentes

Con esta actividad, que forma parte del proceso de fabricación, se pretende asegurar la capacidad de cumplimiento, por parte de cada componente o montaje, de sus especificaciones de calidad de funcionamiento y fiabilidad una vez instalados. En el caso de equipos submarinos se certifica individualmente cada uno de los componentes.

La certificación se basa en los resultados de pruebas de selección, con las que se trata de eliminar cualquier elemento o componente insatisfactorio y, sobre todo, los propensos al fallo a corto plazo.

A.6.1.3 Inspección de la fabricación

Esta actividad, que se desarrolla durante el proceso de fabricación, tiene por objeto verificar que se respeta el plan de calidad, que se efectúa cada una de las operaciones a lo largo del procedimiento aprobado y que el resultado es satisfactorio.

La responsabilidad de la inspección de la fabricación puede ser compartida entre el fabricante y los compradores de un sistema de cable submarino de fibra óptica.

A.6.2 Procedimientos de montaje y tendido

Antes de proceder al tendido del cable se efectúa una prospección de ruta, para elegir la ruta del cable y la manera de protegerlo (protección de peso ligero, armadura, enterramiento). La prospección de ruta consiste en estudiar el perfil de profundidad del mar, la temperatura del fondo del mar y sus variaciones estacionales, la morfología y la naturaleza del fondo marino, la posición de cables y tuberías existentes, el historial de averías de cables, las actividades pesqueras y mineras, las corrientes marinas, la actividad sísmica, las legislaciones nacionales e internacionales, etc.

El montaje del cable consiste en la unión de las secciones de cable, los repetidores y las unidades de derivación, junto con la supervisión de que el margen garantizado está presente para cada fibra en cada sección de cable, hasta constituir el tramo submarino. El montaje del enlace puede efectuarse en la fábrica de cables antes de cargarlo a bordo del buque cablero, después de cargarlo o de forma compartida entre la fábrica y el buque cablero.

La carga en el buque cablero consiste en la instalación del tramo submarino, o partes del mismo, a bordo del buque antes de proceder al tendido. La carga en el buque se efectúa por lo general sin que el enlace tenga alimentación de energía. Durante la carga se llevan a cabo pruebas periódicamente, para confirmar que la calidad de funcionamiento del equipo montado no se ha visto afectada por el proceso de carga.

El sistema se prueba al final del tendido, y puede probarse durante el mismo, para tener la seguridad de que no se ha provocado en él ninguna degradación importante. La prueba del tendido comprende pruebas de transmisión y funcionales y puede incluir pruebas en submontajes redundantes. Para efectuar la prueba durante el tendido del cable se podrá suministrar energía al enlace, siempre que se respeten los reglamentos relativos a la seguridad.

Durante el tendido, se tiende un sobrelargo de cable predeterminado (holgura), para tener la seguridad de que el cable yace convenientemente en el fondo del mar.

Lo normal es que el tendido sólo se efectúe cuando las condiciones meteorológicas y marítima no creen un riesgo grave de deterioro del tramo submarino, del buque cablero y del equipo de tendido, o de daño al personal.

El cable puede enterrarse en el fondo del mar para aumentar su protección. El enterramiento puede efectuarse durante el tendido utilizando un arado marino arrastrado por el mismo buque cablero, o después del tendido utilizando un robot sumergible autopulsado u otros medios.

A.6.3 Puesta en servicio del sistema

La prueba de puesta en servicio se efectúa antes de abrir el sistema al tráfico, para garantizar que el sistema satisface la calidad de funcionamiento de transmisión global y que las funciones son operativas.

Si en el diseño se ha previsto redundancia para satisfacer la característica de fiabilidad, los componentes redundantes podrían utilizarse para corregir averías que se produzcan durante el tendido o antes de la puesta en servicio. No obstante, el propósito es asegurar que el número de dispositivos redundantes que permanecen disponibles es suficiente para satisfacer, con un alto grado de probabilidad, el objetivo respecto al número de reparaciones con barco.

A.7 Mantenimiento

A.7.1 Mantenimiento de rutina

El mantenimiento de rutina se efectúa desde las estaciones terminales utilizando el sistema supervisor. Consiste en supervisiones periódicas de los parámetros del sistema y, cuando hace falta, en la conmutación de redundancia preventiva.

A.7.2 Mantenimiento en el mar

Los sistemas de cable submarino de fibra óptica pueden sufrir averías debido, en particular, a agresiones externas y al fallo de componentes. Es importante definir y desarrollar procedimientos y equipos de reparaciones bien establecidos y eficientes, para facilitar las reparaciones y limitar la pérdida de tráfico.

El mantenimiento en el mar se efectúa normalmente utilizando buques cableros de reparación especializados.

A.7.2.1 Localización de averías

En los sistemas equipados con repetidores submarinos ópticos, se obtiene una primera localización hasta dentro de una sección de supervisión utilizando el sistema supervisor.

En las secciones de cable de los extremos, puede conseguirse la localización de averías del cable desde las estaciones terminales, efectuando mediciones eléctricas adecuadas (de resistencia, de capacidad, de aislamiento, etc.) y utilizando la reflectometría óptica.

La localización de averías del cable puede efectuarse, de manera similar, desde el buque cablero después de extraer el cable, utilizando los mismos procedimientos.

Para localizar la ruta del cable pueden emplearse electrodos.

A.7.2.2 Recuperación del cable

Durante la recuperación del cable quizá sea necesario cortarlo en el fondo del mar, para limitar la tensión mecánica aplicada al mismo, antes de extraer ambos extremos separadamente.

A.7.2.3 Reparaciones en el mar

Para efectuar reparaciones en el mar pueden seguirse diferentes métodos, según la profundidad del mar:

- una reparación en aguas poco profundas quizá requiera la adición de un largo de cable, pero no de un repetidor; en el balance de potencia óptica de aguas poco profundas se incluye, por lo general, un margen de reparaciones, ya que las secciones de aguas poco profundas son las más expuestas a la agresión externa;
- una reparación en aguas profundas requiere normalmente que se añada un largo de cable y un repetidor para compensar la atenuación adicional, si ésta supera el margen disponible; por lo general, no se incluye margen de reparaciones en el balance de potencia óptica de aguas profundas ya que este tipo de reparaciones es poco frecuente.

Cuando se detecte una avería hasta dentro de una sección supervisora, la sección podrá ser sustituida por un minisistema, sin ulterior localización. Este método puede ahorrar tiempo pero requiere más equipos de repuesto.

Los procedimientos de reparación con seguridad se aplican a bordo del buque cablero y en la estación terminal, para garantizar la seguridad del personal que trabaja a bordo del buque cablero. En particular, los procedimientos seguros en relación con la potencia requieren la puesta a tierra del cable en la estación terminal, a bordo del buque cablero y en la unidad de derivación.

CUADRO A.1/G.974

Parámetros de sistema ilustrativos de los sistemas de cable submarino de fibra óptica regenerativos

Sistemas	280M	420M	560M	2500M	1800M
Desarrollo/uso comercial (año)	Uso comercial (1987)	Uso comercial (1989)	Uso comercial (1991)	Desarrollo (1993)	Uso comercial (1991)
Capacidad de transmisión (64 kbit/s/canal)	~3840	~5760	~7680	~30 720	~24 192
Velocidad binaria de información (Mbit/s)	~280	~420	~560	~2488	~1800
Velocidad binaria de línea (Mbit/s)	~296	~442	~591	~2592	~1870
Código de línea	24B1P				NRZ (SDH) cifrado
Longitud máxima del sistema (km)	Transoceánico (> 8000 km)				Nacional (~1000 km)
Separación entre repetidores (km)	> 50		> 100	> 70	> 100
Profundidad del agua (m)	~8000				
Tipo de fibra	Recomendación G.652		Recs. G.652, G.654	Recomendación G.653	
Longitud de onda de funcionamiento (nm)	~1310		~1550		
Duración de vida nominal del sistema (años)	25				
Fiabilidad	< 3 reparaciones en 25 años			10 años de MTBF	
Característica de error	Recomendación G.821				
Fluctuación de fase	Recomendación G.823				