



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.976

(04/97)

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

**Métodos de prueba aplicables a los sistemas de
cable submarino de fibra óptica**

Recomendación UIT-T G.976

(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
SISTEMAS INTERNACIONALES ANALÓGICOS DE PORTADORAS	
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
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.600–G.699
Generalidades	G.600–G.609
SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DIGITAL	
EQUIPOS TERMINALES	G.700–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900–G.999
Generalidades	G.900–G.909
Parámetros para sistemas en cables de fibra óptica	G.910–G.919
Secciones digitales a velocidades binarias jerárquicas basadas en una velocidad de 2048 kbit/s	G.920–G.929
Sistemas digitales de transmisión en línea por cable a velocidades binarias no jerárquicas	G.930–G.939
Sistemas de línea digital proporcionados por soportes de transmisión MDF	G.940–G.949
Sistemas de línea digital	G.950–G.959
Sección digital y sistemas de transmisión digital para el acceso del cliente a la RDSI	G.960–G.969
Sistemas en cables submarinos de fibra óptica	G.970–G.979
Sistemas de línea óptica para redes de acceso y redes locales	G.980–G.999

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

RECOMENDACIÓN UIT-T G.976

MÉTODOS DE PRUEBA APLICABLES A LOS SISTEMAS DE CABLE SUBMARINO DE FIBRA ÓPTICA

Resumen

La finalidad de esta Recomendación es resaltar el objetivo de las pruebas en los sistemas de cable submarino de fibra óptica, y especificar los principales métodos de prueba aplicables a estos sistemas. Se describen métodos de prueba específicos.

Orígenes

La Recomendación UIT-T G.976 ha sido preparada por la Comisión de Estudio 15 (1997-2000) del UIT-T y fue aprobada por el procedimiento de la Resolución N.º 1 de la CMNT el 8 de abril de 1997.

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
4	Abreviaturas.....	2
5	Objetivo de las pruebas en los sistemas de cable submarino de fibra óptica.....	2
5.1	Pruebas de calificación	3
5.1.1	Pruebas de caracterización de la calidad de funcionamiento.....	3
5.1.2	Pruebas de caracterización de la tecnología	3
5.1.3	Pruebas de calificación de la tecnología.....	3
5.1.4	Pruebas de vida útil.....	3
5.1.5	Programas de las pruebas.....	3
5.2	Pruebas de aseguramiento de la calidad.....	4
5.2.1	Pruebas de control de fabricación.....	4
5.2.2	Pruebas de selección de componentes	4
5.2.3	Pruebas de fábrica en subconjuntos, subunidades o equipos.....	5
5.3	Pruebas de instalación.....	5
5.3.1	Pruebas durante el ensamblado de partes submarinas	5
5.3.2	Pruebas durante la carga y el tendido de partes submarinas	6
5.3.3	Pruebas después de la instalación de equipo terminal	6
5.4	Pruebas de puesta en servicio	7
5.5	Pruebas de mantenimiento	7
5.5.1	Pruebas de rutina	7
5.5.2	Pruebas utilizadas para la localización de averías en la planta sumergida	8
5.5.3	Pruebas efectuadas durante y después de una reparación en la planta sumergida.....	8
6	Lista de pruebas a efectuar en los sistemas de cable submarino de fibra óptica y métodos de prueba aplicables	8
6.1	Pruebas en las fibras ópticas del cable submarino de fibra óptica	8
6.1.1	Generalidades	8
6.1.2	Pruebas sobre características optogeométricas.....	9
6.1.3	Pruebas sobre las características de transmisión	10
6.1.4	Pruebas sobre las características mecánicas	10
6.1.5	Consideraciones de fabricación, instalación y ambientales.....	10

6.2	Pruebas en el cable submarino de fibra óptica.....	11
6.2.1	Calidad de transmisión	12
6.2.2	Prestaciones mecánicas.....	12
6.2.3	Prestaciones de tratamiento	12
6.2.4	Prestaciones de fiabilidad	12
6.2.5	Prestaciones operacionales	12
6.3	Pruebas en repetidores	12
6.4	Pruebas en el equipo terminal de transmisión.....	12
6.5	Pruebas en el equipo de alimentación de energía	12
6.6	Pruebas en el enlace.....	12
6.6.1	Generalidades	12
6.6.2	Característica global de error.....	13
6.6.3	Característica de fluctuación de fase	13
6.6.4	Supervisión de márgenes.....	13
7	Descripción de métodos de prueba específicos aplicables a los sistemas de cable submarino de fibra óptica.....	14
7.1	Pruebas en las fibras ópticas del cable submarino de fibra óptica.....	14
7.1.1	Generalidades	14
7.1.2	Métodos de prueba sobre características optogeométricas.....	14
7.1.3	Métodos de prueba sobre características de transmisión.....	14
7.2	Pruebas en el cable submarino de fibra óptica.....	15
7.2.1	Calidad de transmisión	15
7.2.2	Prestaciones mecánicas.....	17
7.2.3	Prestaciones de tratamiento	20
7.2.4	Prestación de fiabilidad	21
7.2.5	Pruebas operacionales.....	23
7.3	Pruebas en repetidores	25
7.4	Pruebas en el equipo terminal de transmisión.....	25
7.4.1	Pruebas de transmisión	25
7.5	Pruebas en el equipo de alimentación de energía	25
7.6	Pruebas en el enlace.....	25
7.6.1	Pruebas de transmisión	25
Anexo A	Definición de términos pertinentes a las pruebas en cables submarinos de fibra óptica.....	27
A.1	factor Q	27

Apéndice I – Definiciones detalladas pertinentes a los sistemas de cable submarino de fibra óptica.....	28
I.1.1 margen de seguridad del cable.....	28
I.1.2 resistencia permanente nominal a la tracción (NPTS, <i>nominal permanent tensile strength</i>)	28
I.1.3 resistencia operativa nominal a la tracción (NOTS, <i>nominal operating tensile strength</i>)	28
I.1.4 resistencia transitoria nominal a la tracción (NTTS, <i>nominal transient tensile strength</i>)	29

**MÉTODOS DE PRUEBA APLICABLES A LOS SISTEMAS
DE CABLE SUBMARINO DE FIBRA ÓPTICA**

(Ginebra, 1997)

1 Alcance

Las pruebas son de gran importancia para los sistemas de cable submarino de fibra óptica ya que junto con un diseño adecuado y una definición cuidadosa de las tecnologías, son el único modo de garantizar que se cumplan los objetivos de calidad, vida útil y fiabilidad de un sistema de cable submarino de fibra óptica.

Aunque hay que reconocer que numerosos métodos de prueba son específicos de determinados diseños, por lo que, la información pertenece al diseñador o al suministrador del sistema, es necesario llegar a un entendimiento común entre el diseñador o el suministrador del sistema y el comprador o el operador del mismo sobre el objetivo general de las pruebas y el significado de sus resultados.

En la medida en que son aplicables a los sistemas de cable submarino de fibra óptica, deberán aplicarse los métodos de prueba generales recomendados por el UIT-T. Debe reconocerse que estos métodos pueden necesitar adaptación a las características específicas de los sistemas submarinos de fibra óptica, y también que algunos métodos de prueba son específicos de los sistemas de cable submarino de fibra óptica y de escasa o nula utilidad en otros lugares.

El objetivo de esta Recomendación es destacar las pruebas de los sistemas de cable submarino de fibra óptica, especificando las principales aplicables a los mismos, y describiendo métodos de prueba específicos de estos sistemas.

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.650 (1997), *Definición y métodos de prueba de los parámetros pertinentes de las fibras monomodo.*
- 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 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 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.971 (1996), *Características generales de los sistemas de cable submarino 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.973 (1996), *Características de los sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores.*
- Recomendación UIT-T G.974 (1993), *Características de los sistemas de cable submarino de fibra óptica con regeneración.*
- Recomendación UIT-T G.975 (1996), *Corrección de errores en recepción para sistemas submarinos.*

3 Términos y definiciones

Los términos utilizados en esta Recomendación se definen en la Recomendación G.972.

4 Abreviaturas

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

A_{eff}	Área efectiva (<i>effective area</i>)
ATM	Método de prueba alternativo (<i>alternative test method</i>)
MFD	Diámetro del campo modal (<i>mode field diameter</i>)
MTC	Cable terrenal marinizado (<i>marinized terrestrial cable</i>)
NOTS	Resistencia operativa nominal a la tracción (<i>nominal operating tensile strength</i>)
NPTS	Resistencia permanente nominal a la tracción (<i>nominal permanent tensile strength</i>)
NTTS	Resistencia transitoria nominal a la tracción (<i>nominal transient tensile strength</i>)
n_2/A_{eff}	Coefficiente no lineal (<i>nonlinear coefficient</i>)
OTDR	Reflectometría óptica en el dominio del tiempo (<i>optical time domain reflectometry</i>)
PFE	Equipo de alimentación de energía (<i>power feeding equipment</i>)
PMD	Dispersión por modo de polarización (<i>polarization mode dispersion</i>)
RTM	Método de prueba recomendado (<i>recommended test method</i>)
STE	Equipo terminal del sistema (<i>system terminal equipment</i>)
TTE	Equipo terminal de transmisión (<i>terminal transmission equipment</i>)
λ_c	Longitud de onda de corte (<i>cut-off wavelength</i>)

5 Objetivo de las pruebas en los sistemas de cable submarino de fibra óptica

Las pruebas se efectúan en diferentes periodos de la vida de un sistema, durante el desarrollo, la fabricación y la explotación, y para diferentes fines. Una gran cantidad de pruebas revisten interés para el diseñador y el suministrador del sistema solamente, y no son de interés para esta Recomendación. Sin embargo, las pruebas también son de interés para el comprador y el operador

del sistema. Este último incluye las pruebas de calificación, las pruebas de aseguramiento de calidad, las pruebas de instalación, las pruebas de puesta en servicio, y las pruebas de mantenimiento.

5.1 Pruebas de calificación

Se realizan pruebas de calificación como parte del programa de desarrollo, a fin de elegir los diseños y tecnologías adecuados, y una vez elegidos demostrar que satisfacen adecuadamente los requisitos de calidad de funcionamiento, fiabilidad y vida útil del sistema. Se efectúan en cada componente, material, subconjunto, elemento de equipo y en el propio sistema. Las pruebas realizadas por el fabricante que suministra componentes o materiales son a menudo adecuadas, y por tanto son utilizadas. El programa de pruebas se define para cada elemento teniendo en cuenta sus propias características y la experiencia ya obtenida con elementos similares. Las pruebas de calificación incluyen generalmente caracterización de la calidad de funcionamiento, caracterización de la tecnología y calificación y pruebas de vida útil apropiadas.

5.1.1 Pruebas de caracterización de la calidad de funcionamiento

La caracterización de la calidad de funcionamiento está destinada a demostrar que el elemento satisface el requisito de transmisión en toda la gama de condiciones ambientales especificadas.

5.1.2 Pruebas de caracterización de la tecnología

La caracterización de la tecnología está destinada a evaluar la solidez de la tecnología, a identificar los mecanismos de fallo potenciales (con una realimentación potencial al diseño a la tecnología de manera que se eviten mecanismos peligrosos), y a establecer modelos que permitan predecir el comportamiento de los dispositivos. Estas pruebas indican la condición de uso de los diversos elementos, y permiten establecer procedimientos de cribado y selección, a fin de eliminar los dispositivos que presentarían un fallo temprano o no satisfarían el requisito de vida útil. Algunas pruebas se efectúan con el elemento funcionando y otras durante su almacenamiento. Puede aplicarse condiciones extremas (tales como temperatura extrema, condiciones mecánicas, eléctricas u ópticas), a veces en condiciones sumamente rigurosas, y con una variación rápida o lenta con el tiempo.

5.1.3 Pruebas de calificación de la tecnología

La calificación de la tecnología está destinada a confirmar la calidad de la tecnología y la idoneidad del procedimiento de selección. Las condiciones de prueba se eligen teniendo en cuenta los resultados de las pruebas de caracterización. Por ejemplo se pueden efectuar pruebas a varias temperaturas, que permiten evaluar una energía de activación y/o un factor de aceleración.

5.1.4 Pruebas de vida útil

Las pruebas de envejecimiento están destinadas a evaluar la vida útil y la fiabilidad, en relación con los criterios de fin de vida útil escogidos y teniendo en cuenta las características de la explotación en el sistema. Puede aplicarse aceleración por temperatura u otros medios, utilizando un modelo establecido o calculado. Parte de las pruebas de vida útil deben efectuarse en condiciones próximas a las condiciones de explotación en el sistema.

5.1.5 Programas de las pruebas

Los programas para estas diferentes pruebas deben indicar el número de dispositivos a probar, la descripción de las condiciones de prueba y la metodología de prueba.

Sin embargo, la mayor parte de la información de prueba de los programas es de la propiedad de los suministradores.

5.2 Pruebas de aseguramiento de la calidad

Puede necesitarse hacer referencia a normas de la ISO.

Las pruebas de aseguramiento de calidad se efectúan durante la fabricación, a fin de demostrar que el proceso de fabricación mantendrá la calidad y la fiabilidad características proporcionadas por el diseño. Incluye pruebas de control de fabricación, selección de componentes o pruebas de aceptación, y pruebas de aceptación de subconjuntos, subunidades o de equipo.

5.2.1 Pruebas de control de fabricación

Las pruebas de control de fabricación se efectúan durante el programa de fabricación, incluida la fabricación de componentes, subconjuntos, equipo, fibras ópticas y cables, a fin de asegurar que la operación de fabricación es compatible con la calidad requerida. Las pruebas de control de fabricación incluyen parte o la totalidad de lo siguiente:

- pruebas de calificación del proceso de fabricación, que consiste en fabricar un prototipo industrial según el procedimiento de fabricación definido, antes de comenzar la fabricación, a fin de ultimar el proceso de fabricación y para verificar su idoneidad;
- pruebas de calificación de las herramientas de fabricación, que se efectúan periódicamente, eventualmente después de la recalibración de las herramientas durante la fabricación, a fin de asegurar que la calidad de funcionamiento de las herramientas de fabricación cumple la especificación de fabricación; estas pruebas pueden consistir en la fabricación de dispositivos que se someten a pruebas que pueden ser destructivas;
- pruebas de calificación del operador, inicialmente realizadas después de la capacitación y periódicamente durante la fabricación, a fin de asegurar la aptitud de un operador para llevar a cabo tareas acordes con la especificación; estas pruebas pueden consistir en la fabricación de dispositivos que se someten a pruebas que pueden ser destructivas;
- inspección visual, efectuada en etapas identificadas del proceso de fabricación de cada elemento de producción para comprobar visualmente el resultado de una operación o de una secuencia de operaciones; estas pruebas no son destructivas y pueden efectuarse mediante herramientas de inspección tales como microscopía óptica, radioscopía, etc.

5.2.2 Pruebas de selección de componentes

Cada componente (por ejemplo, electrónico, optoelectrónico u óptico, incluida la fibra óptica y el material en bruto) a utilizar en un sistema de cable submarino de fibra óptica se prueba individualmente para asegurar que presentará la calidad de funcionamiento requerida durante la vida útil de diseño del sistema. El procedimiento de prueba se define durante la calificación, teniendo en cuenta los resultados de las pruebas de caracterización de la tecnología. Dependiendo de la naturaleza del componente, las pruebas de selección de aceptación pueden incluir parte o la totalidad de lo siguiente:

- pruebas de calificación de lotes, que son pruebas destructivas realizadas en condiciones extremas en unas pocas muestras del lote, y que están destinadas a asegurar que la solidez general del lote es satisfactoria, a fin de poder eliminar los lotes insatisfactorios;
- pruebas de estabilización, que son pruebas en condiciones extremas aplicadas a todos los componentes, y que dan lugar a la estabilización de las características;
- pruebas de cribado, efectuadas en todos los componentes de lotes seleccionados, para identificar los dispositivos más débiles que presentarían un fallo temprano, a fin de eliminarlos; las condiciones serían tales que no reducirían significativamente la fiabilidad o vida útil de los componentes;

- pruebas de larga duración, aplicadas durante un periodo suficientemente largo a unas pocas muestras o a todos los componentes si es necesario con condiciones próximas a la condición de explotación en el sistema, a fin de supervisar la evolución de sus características y eliminar componentes que presentarían una vida útil insuficiente.

5.2.3 Pruebas de fábrica en subconjuntos, subunidades o equipos

Se efectúan pruebas en fábrica en cada subconjunto (por ejemplo, placa de circuitos impresos), subunidad (por ejemplo, unidad electrónica de repetidor, o convertidor de potencia del equipo de alimentación de energía) o elemento de equipo (por ejemplo, largo de cable, repetidor o equipo terminal). Consiste en probar la calidad de funcionamiento del equipo (por ejemplo, calidad de transmisión, prestaciones funcionales) en las condiciones ambientales nominales especificadas para el elemento.

5.3 Pruebas de instalación

Estas pruebas tienen lugar durante el ensamblado de las partes (o de la planta sumergida completa) durante la carga subsiguiente en el buque cablero, durante el tendido de la planta sumergida, durante y después de la instalación del equipo de estación terminal. Su objetivo es verificar que, en cada periodo importante de la instalación del sistema, la funcionalidad y la calidad de funcionamiento del equipo instalado cumplan las especificaciones necesarias para asegurar la terminación exitosa del sistema de cables completo.

5.3.1 Pruebas durante el ensamblado de partes submarinas

Generalidades

En cada operación de empalme (cable a cable, cable a repetidor/amplificador ...), se efectúan pruebas sobre la calidad mecánica y eléctrica (si procede) de la unión.

Sistemas con regeneración

Las pruebas de calidad de funcionamiento, incluida la evaluación de la calidad de transmisión, pruebas de supervisión y funcionales (por ejemplo, bucle, paso a transmisor de reserva ...) se efectúan en cada repetidor y tras la conexión a las secciones ensambladas. Los resultados deben asegurar que se satisface la calidad de transmisión con los márgenes especificados en la sección de regeneración, de manera que el sistema cumpla sus requisitos y que la funcionalidad de los repetidores trabaje correctamente. La comparación con los resultados de las pruebas obtenidos en la fábrica de repetidores se utilizan a modo de comparación.

Previamente a la carga de la parte sumergida totalmente ensamblada, se efectúan pruebas de calidad de transmisión (incluida la tasa de errores de bits de extremo a extremo, el cómputo individual de errores en cada repetidor, la fluctuación de fase ...), pruebas de supervisión y funcionales de los repetidores para comprobar que se cumplen las especificaciones requeridas.

Sistemas con amplificación

Como la calidad de transmisión medida en una sección con amplificación no representa la totalidad del enlace ni parte del mismo, estas pruebas hacen uso de mediciones técnicas que han demostrado ser adecuadas durante el proceso de desarrollo. Se reconoce que al ser diferentes las condiciones ambientales de las que se registran en el fondo del mar, las pruebas no son plenamente representativas de las prestaciones del sistema. Entre ellas puede haber pruebas sobre amplificadores ópticos individuales (factor de ruido, ganancia y ganancia de cresta, longitud de onda ... de supervisión), y en una sección de fibra cableada (pérdida, dispersión cromática, dispersión por modo de polarización ...). Como mínimo, las pruebas de transmisión de la señal óptica, de supervisión, y funcionales (por ejemplo, bucle, de paso a láser de bombeo de reserva ... si es aplicable) se efectúan

mientras se están uniendo cada amplificador óptico o en las partes ensambladas a fin de asegurar que funcionan de acuerdo con el diseño del sistema.

Al final del ensamblado de las partes, se verifica que se cumplen las especificaciones de la interfaz con las demás partes (lo cual puede efectuarse por medición o cálculo del factor Q, relación señal óptica/ruido, espectro óptico, dispersión cromática acumulada, dispersión por modo de polarización acumulada ... o cualquier otra medición de parámetro o cálculo representativo de la calidad de transmisión). Si es aplicable, todas las funcionalidades establecidas en los amplificadores se comprueban también mediante el sistema de supervisión. Se prefiere, y particularmente cuando la planta sumergida ha de ser tendida a la vez, que las mediciones de calidad de funcionamiento se efectúen también con posible uso de técnicas de compensación temporales (por ejemplo, en la dispersión cromática) para tener en cuenta condiciones ambientales diferentes de las del fondo del mar.

Debe reconocerse que al ser nueva la tecnología de amplificación y en constante evolución, la naturaleza de las pruebas a realizar pueden cambiar considerablemente.

Sistema sin repetidores

Estas pruebas se refieren principalmente a las características ópticas de las fibras cableadas a fin de comprobar que el balance de potencia óptica y las degradaciones de propagación, cuando son aplicables, proporcionarán la calidad de transmisión con márgenes suficientes. Cuando se utilizan técnicas tales como bombeo a distancia de fibra con amplificación en línea, pueden ser necesarias otras pruebas tales como de transmisión de señales de bombeo.

5.3.2 Pruebas durante la carga y el tendido de partes submarinas

Sistemas con regeneración y amplificación

Durante la carga de la parte submarina en el buque cablero, el sistema puede ser alimentado en energía a fin de comprobar que la parte submarina no ha sufrido daño. Una vez concluida la carga, la parte se alimentará en energía y se efectuarán pruebas para comprobar la estabilidad de las prestaciones de esta parte durante un periodo de tiempo suficiente.

Durante las operaciones de tendido, el sistema deberá alimentarse en energía en la mayor medida posible compatible con la seguridad del personal a fin de probar el sistema y verificar que no se ha producido ninguna avería ni degradación apreciable que pueda poner en peligro la calidad de funcionamiento final. Al término de la instalación completa de una parte sumergida, la calidad necesaria de la interfaz se comprobará a fin de garantizar que su unión posterior con otras partes proporcionará las prestaciones requeridas. Estas pruebas de interfaz son particularmente importantes si el sistema de cable es proporcionado por múltiples suministradores, ya que las diferentes partes pueden utilizar diferentes diseños.

Sistemas sin repetidores

Como mínimo, la calidad de transmisión de las fibras es supervisada continua o periódicamente durante las operaciones de tendido. Si no se utilizan técnicas tales como bombeo a distancia de fibras con amplificación sumergidas, se efectuarán pruebas específicas como complemento.

5.3.3 Pruebas después de la instalación de equipo terminal

Una vez concluida la instalación de equipo en cada estación de cable, deben efectuarse pruebas de prestaciones funcionales (incluidas alarmas) y de seguridad a fin de verificar que se cumplan las especificaciones en las condiciones ambientales de cada estación terminal. Estas pruebas deben verificar las prestaciones, funcionalidades, facilidades de mantenimiento de cada equipo y sus prestaciones de interfuncionamiento. Deben considerarse como mínimo los siguientes estados:

- equipo de alimentación de energía actuando sobre una carga simulada (salvo en los sistemas sin repetidores);
- equipo terminal de transmisión en una configuración en bucle;
- controlador de mantenimiento informatizado conectado al equipo de transmisión terminal y al equipo de alimentación de energía.

5.4 Pruebas de puesta en servicio

Estas pruebas tienen lugar después de la prueba de instalación de equipo terminal en cada estación y después del tendido de la planta sumergida. Verificarán que el sistema tal como está instalado cumple las especificaciones técnicas, incluida una verificación de los márgenes necesarios al comienzo de la vida para garantizar las prestaciones de transmisión, el mantenimiento y las operaciones de reparación durante la vida de diseño especificada. Deben considerarse las siguientes pruebas:

Pruebas de calidad de funcionamiento y de funcionalidad de extremo a extremo

Estas pruebas se efectúan entre los puertos de entrada/salida del sistema de cable a fin de verificar que se cumplan las especificaciones técnicas de calidad de transmisión y de funcionalidad del sistema de cable en su conjunto.

Pruebas de calidad de funcionamiento y funcionales de la planta sumergida

Las pruebas funcionales y de calidad de transmisión en los repetidores o amplificadores se efectúan para asegurar que existen márgenes suficientes en la instalación del sistema. También se efectúan pruebas del sistema de supervisión y de localización de averías. Los parámetros de las pruebas pueden variar con el diseño del sistema y la técnica de transmisión (véase 5.3.1). Las pruebas de demostración de transmisión y de márgenes utilizan el equipo terminal de transmisión y el sistema de supervisión instalados. En los sistemas con amplificación, pueden también utilizarse parámetros indirectos tales como factor Q, relación señal óptica/ruido y espectro óptico.

Las pruebas de puesta en servicio incluyen un periodo de estabilidad en el cual se registran todos los parámetros pertinentes del sistema de cable instalado. Estos resultados ofrecen una base o los datos de referencia necesarios para la futura explotación, mantenimiento o reparación del sistema.

Pruebas de equipo de estación terminal

Estas pruebas de calidad de funcionamiento y funcionales se efectúan en estos equipos (equipo de transmisión terminal, equipo de alimentación de energía, controlador de mantenimiento ...) en su configuración operacional junto con la planta sumergida.

5.5 Pruebas de mantenimiento

Estas pruebas se efectúan durante la vida operacional del sistema durante las operaciones normales y de mantenimiento. Se utilizan para verificar periódicamente las prestaciones del sistema en el mantenimiento preventivo, la localización de averías, y para evaluar las posibles degradaciones de márgenes producidas por las reparaciones.

5.5.1 Pruebas de rutina

Estas pruebas se efectúan en la planta sumergida desde las estaciones terminales con ayuda del sistema de supervisión. Se efectúan en servicio, sea automáticamente o a petición del operador. Sus resultados se utilizan con fines comparativos con datos básicos anteriores. No deben degradar la calidad de transmisión por debajo de los niveles especificados. Estas pruebas no son aplicables a los sistemas sin repetidores.

Se efectúan también pruebas de rutina similares en el equipo terminal.

5.5.2 Pruebas utilizadas para la localización de averías en la planta sumergida

Estas pruebas pueden efectuarse fuera de servicio desde la estación terminal utilizando el sistema de supervisión o con ayuda de medios exteriores (por ejemplo, reflectometría óptica temporal, reflectometría óptica temporal coherente, mediciones de resistencia y de capacidad en el conductor...). Se utilizan para localizar e identificar la avería con la máxima precisión.

Desde el buque cablero, antes de la recuperación de la parte averiada del cable o equipo sumergido, pueden utilizarse pruebas para la localización del cable, por ejemplo, mediante técnicas electrónicas, cuando son aplicables.

5.5.3 Pruebas efectuadas durante y después de una reparación en la planta sumergida

Tras la recuperación del cable cerca de la localización de la avería, se llevan a cabo pruebas a fin de determinar con más exactitud la localización y la naturaleza de la avería. Pueden incluir reflectometría óptica temporal y mediciones de aislamiento.

Tras una reparación, se efectúan pruebas para comprobar la calidad mecánica, eléctrica y de transmisión de esta reparación antes del tendido. En los sistemas con regeneración, los márgenes de potencia de la sección reparada se miden utilizando las informaciones sobre calidad de transmisión indicadas por el sistema de supervisión. En los sistemas con amplificación, pueden utilizarse métodos similares a los utilizados durante las pruebas de instalación y de puesta en servicio del sistema.

6 Lista de pruebas a efectuar en los sistemas de cable submarino de fibra óptica y métodos de prueba aplicables

Esta cláusula contiene referencias a métodos de prueba específicos de los sistemas submarinos, y referencias a métodos de prueba generales estudiados bajo otras cuestiones, y que son directamente aplicables a los sistemas de cable submarino de fibra óptica.

6.1 Pruebas en las fibras ópticas del cable submarino de fibra óptica

6.1.1 Generalidades

En esta subcláusula se describen las pruebas realizadas en las fibras ópticas del cable submarino de fibra óptica. En la Recomendación G.650 figuran descripciones generales de pruebas de fibras ópticas monomodo. El objetivo de esta subcláusula es especificar las pruebas realizadas en las fibras ópticas del cable submarino de fibra óptica. Las pruebas aquí enumeradas están estrechamente relacionadas con las características de transmisión de los sistemas de cable submarino de fibra óptica. Todos los elementos de prueba, Recomendaciones pertinentes, tipos de fibras aplicables, y sistemas pertinentes se resumen en el cuadro 1.

Cuadro 1/G.976 – Lista de pruebas típicas en las fibras ópticas del cable submarino de fibra óptica

Pruebas	Definidas en	Descritas en	Aplicables	Sistemas pertinentes
Diámetro del campo modal (MFD)	1.3.2/G.650	2.1/G.650	F	Todos los sistemas
Diámetro del revestimiento	1.4.3/G.650	2.2/G.650	F	Todos los sistemas
Error de concentricidad del campo modal	1.3.4/G.650	2.2/G.650	F	Todos los sistemas
No circularidad del revestimiento	1.4.6/G.650	2.2/G.650	F	Todos los sistemas
Área efectiva (A_{eff})	Apéndice III/G.650	7.1.2.1/G.976 En estudio	F	Sistemas de larga distancia con amplificación óptica
Coefficiente no lineal (n_2/A_{eff})	Apéndice III/G.650	7.1.2.2/G.976 En estudio	F	Sistemas de larga distancia con amplificación óptica
Atenuación	1.6.2/G.650	2.4/G.650	F, C	Todos los sistemas
Longitud de onda de corte (λ_c)	1.6.1/G.650	2.3/G.650	F	Todos los sistemas
Dispersión cromática	1.5/G.650	2.5/G.650	F, C	Todos los sistemas
Dispersión por modo de polarización (PMD)	1.6.3/G.650	2.7/G.650	F, C	Todos los sistemas
Prueba	1.2.3/G.650	2.6/G.650	F	Todos los sistemas
F Fibra independiente				
C Fibra en el cable				

6.1.2 Pruebas sobre características optogeométricas

En esta subcláusula se enumeran las características optogeométricas de las fibras ópticas del cable submarino de fibra óptica que necesitan ser probadas.

6.1.2.1 Diámetro del campo modal (MFD)

El diámetro del campo modal (MFD, *mode field diameter*) es un parámetro que está relacionado con la distribución del campo modal fundamental (LP_{01}) en la fibra óptica. Recientemente el MFD está resultando cada vez más importante, por estar estrechamente relacionado con el grado de no linealidades ópticas que afectarán a la calidad de transmisión de los sistemas de cable submarino de fibra óptica, especialmente en los sistemas de larga distancia con amplificación óptica.

6.1.2.2 Diámetro del revestimiento, error de concentricidad del campo modal, y no circularidad del revestimiento

El diámetro del revestimiento, el error de concentricidad del campo modal, y la no circularidad del revestimiento son los parámetros que muestran características optogeométricas de la fibra óptica.

6.1.2.3 Área efectiva (A_{eff})

El área efectiva (A_{eff}) es un parámetro estrechamente relacionado con las no linealidades de la fibra óptica que afectarán a la calidad de transmisión de los sistemas de cable submarino de fibra óptica, especialmente en los sistemas de larga distancia con amplificación óptica.

6.1.2.4 Coeficiente no lineal (n_2/A_{eff})

El coeficiente no lineal (n_2/A_{eff}) es un parámetro que expresa las no linealidades de la fibra óptica. Las no linealidades de la fibra óptica afectarán a la calidad de transmisión de los sistemas de cable submarino de fibra óptica, especialmente en los sistemas de larga distancia con amplificación óptica.

6.1.3 Pruebas sobre las características de transmisión

En esta subcláusula se enumeran las características de transmisión de las fibras ópticas del cable submarino de fibra óptica que necesitan ser probadas.

6.1.3.1 Atenuación

La atenuación aparece como consecuencia de la pérdida de las fibras ópticas del cable submarino de fibra óptica, y de los empalmes de las mismas. La atenuación está estrechamente relacionada con la máxima distancia de transmisión de los sistemas de cable submarino de fibra óptica.

6.1.3.2 Longitud de onda de corte (λ_c)

La longitud de onda de corte (λ_c) es la longitud de onda más corta que representa el funcionamiento monomodo.

6.1.3.3 Dispersión cromática

La dispersión cromática de las fibras ópticas del cable submarino de fibra óptica es importante debido a que las características inducen distorsión de forma de onda de los trenes de datos transmitidos, especialmente en los sistemas de larga distancia y/o elevada velocidad binaria.

La dispersión cromática de las fibras ópticas se expresa por los siguientes parámetros:

- coeficiente de dispersión cromática;
- pendiente de dispersión nula;
- longitud de onda de dispersión nula.

6.1.3.4 Dispersión del modo de polarización (PMD)

Si las fibras ópticas del cable submarino tienen una gran cantidad de dispersión por modo de polarización (PMD, *polarization mode dispersion*), ésta causará distorsión de forma de onda de los trenes de datos transmitidos, dando lugar a degradación de las características de transmisión de los sistemas de cable submarino de fibra óptica.

6.1.4 Pruebas sobre las características mecánicas

Para la evaluación de las características mecánicas de las fibras ópticas del cable submarino de fibra óptica, se lleva a cabo la prueba de la fibra.

6.1.5 Consideraciones de fabricación, instalación y ambientales

Las fibras ópticas del cable submarino de fibra óptica deben probarse con bastante antelación a su instalación real. Algunos de los parámetros de las fibras ópticas podrían cambiarse debido a los procesos de cableado. De aquí que pueda ser necesario repetir algunas pruebas sobre las fibras ópticas del cable submarino de fibra óptica después de los procesos de cableado.

Además, las condiciones ambientales (tales como presión, tensión y temperatura, de los cables submarinos de fibra óptica) son diferentes antes y después de la instalación del cable en el mar. Tales cambios en las condiciones ambientales podrían inducir las variaciones de los parámetros de las fibras ópticas del cable submarino de fibra óptica. El efecto del entorno en las fibras cableadas deberá evaluarse de manera apropiada.

6.2 Pruebas en el cable submarino de fibra óptica

En esta subcláusula se describen las pruebas pertinentes a los cables submarinos, de uso en un sistema con repetidores y sin repetidores, las cuales se enumeran en el cuadro 2.

La lista de pruebas se basa en programas de pruebas típicos, por lo que no es ni exclusiva ni exhaustiva. Algunas de las pruebas son inadecuadas para fines de prueba de producción, ya que son o inadecuadas para su uso en línea o son de carácter destructivo y se utilizan para determinar límites de capacidad. Deben establecerse pruebas suplementarias o condiciones de prueba específicas, si es necesario, para asegurar que el tipo de cable ofrecido es adecuado para el objetivo deseado.

Cuadro 2/G.976 – Pruebas típicas en cables submarinos de fibra óptica

Referencia	Elemento de prueba	Historial de la muestra	Con rep.	Sin rep.
7.2.1	Transmisión			
7.2.1.1	Pérdida de fabricación	C	x	x
7.2.1.2	Deformación de la fibra cableada	C	x	x
7.2.1.3	Temperatura	C, J	x	x
7.2.1.4	Presión	C, J	x	x
7.2.2	Mecánico			
7.2.2.1	Tracción (fija)	C, J	x	x
7.2.2.2	Tracción (libre)	C, J	x	x
7.2.2.3	Tracción (rotura)	C, J	x	x
7.2.2.4	Fatiga	C	x	x
7.2.2.5	Polea	C, J	x	x
7.2.3	Tratamiento			
7.2.3.1	Aplastamiento	C	x	x
7.2.3.2	Impacto	C	x	x
7.2.3.3	Resistencia a la flexión	C	x	x
7.2.4	Fiabilidad			
7.2.4.1	Penetración del agua	C	x	x
7.2.4.2	Corrosión	C, J	x	x
7.2.4.3	Alta tensión	C, J	x	
7.2.4.4	Integridad del aislamiento	C, J	x	x
7.2.5	Operacional			
7.2.5.1	Adherencia	C	x	x
7.2.5.2	Tope	C	x	x
7.2.5.3	Equipo de instalación	C, J	x	x
C	Muestras de cable que han sido previamente enrolladas y desenrolladas.			
J	Muestras de cable que incluyen uniones o terminaciones.			
Con rep.	Aplicable a cables submarinos de fibra óptica con repetidores.			
Sin rep.	Aplicable a cables submarinos de fibra óptica sin repetidores.			
x	Muestra la etapa de calificación que hay que probar.			
NOTA	– Cuando esté justificado, el largo de la muestra de cable agregado a las uniones o terminaciones puede acortarse para facilitar las pruebas.			

6.2.1 Calidad de transmisión

Se efectúan pruebas en el cable submarino para cuantificar su calidad de transmisión óptica y eléctrica (si procede) en relación con las deformaciones mecánicas, gamas de temperatura y presiones exteriores que surgen durante la fabricación y la explotación del cable.

6.2.2 Prestaciones mecánicas

Se efectúan pruebas en el cable submarino para cuantificar las prestaciones mecánicas en relación con el tendido a bordo del barco, recuperación y reparaciones, y para establecer un grado de seguridad conocido.

6.2.3 Prestaciones de tratamiento

Se efectúan pruebas en el cable submarino para cuantificar sus prestaciones de tratamiento durante la transferencia y el almacenamiento en una amplia gama de temperaturas, teniendo en cuenta la posibilidad de golpes e impactos.

6.2.4 Prestaciones de fiabilidad

Se efectúan pruebas en el cable submarino para cuantificar sus prestaciones de fiabilidad en relación con la exposición de larga duración al agua marina y a los gradientes de campo eléctrico en servicio, en relación con la corrosión potencial, tonificación electrolítica (si procede) y penetración del agua en caso de rotura del cable.

6.2.5 Prestaciones operacionales

Se efectúan pruebas en el cable submarino para cuantificar sus prestaciones en relación con sus sujeciones exteriores, por ejemplo, con el uso de topes en las peores condiciones meteorológicas y al uso de equipo de instalación convencional.

6.3 Pruebas en repetidores

(Queda en estudio.)

6.4 Pruebas en el equipo terminal de transmisión

(Queda en estudio.)

6.5 Pruebas en el equipo de alimentación de energía

Deben efectuarse pruebas para garantizar la seguridad del personal.

6.6 Pruebas en el enlace

6.6.1 Generalidades

En esta subcláusula se proporciona la información relativa a las pruebas en el enlace de los sistemas de cable submarino de fibra óptica. Se pretende ofrecer un cuadro que incluya la información sobre el lugar donde se describen los parámetros de calidad y funcionamiento. Sus definiciones y sus objetivos figuran en las correspondientes Recomendaciones.

Las pruebas relativas al enlace de los sistemas de cable submarino de fibra óptica se efectúan atendiendo a la característica de error, la característica de fluctuación de fase y la supervisión de márgenes.

Los parámetros de calidad de funcionamiento, Recomendaciones pertinentes y sistemas pertinentes se resumen en el cuadro 3.

Cuadro 3/G.976 – Lista de parámetros de calidad de funcionamiento de los sistemas de cable submarino de fibra óptica

Descripción de la característica	Parámetros correspondientes	Descritos en	Objetivo en	Sistemas pertinentes
Característica global de error	Tasa de segundos con error (ESR)	4.2/G.821	5/G.821	PDH (velocidad inferior a la primaria)
	Tasa de segundos con error (ESR)	5.1/G.826	6.1/G.826	SDH, PDH (velocidad primaria y superior)
	Tasa de segundos con muchos errores (SESR)	4.2/G.821	5/G.821	PDH (velocidad inferior a la primaria)
	Tasa de segundos con muchos errores (SESR)	5.1/G.826	6.1/G.826	SDH, PDH (velocidad primaria y superior)
	Tasa básica de errores de bloque (BBER)	5.1/G.826	6.1/G.826	SDH, PDH (velocidad primaria y superior)
Característica de fluctuación de fase ^{a)}	Máxima fluctuación de fase admisible	2.4/G.823	2/G.823	PDH
	Tolerancia de fluctuación de fase	9.3/G.958	9.3/G.958	SDH
Supervisión de márgenes ^{b)}	Factor Q	7.6/G.976		PDH, SDH
^{a)} Aplicable sólo a sistemas con regeneración. ^{b)} El margen del sistema puede evaluarse a partir de la característica global, y el factor Q es un parámetro adicional para la supervisión de márgenes, especialmente en los sistemas con amplificación óptica. Por tanto, la medición de un factor Q no es obligatoria				

6.6.2 Característica global de error

La característica de error de un sistema de cable submarino de fibra óptica debe cumplir las correspondientes Recomendaciones en cuanto a la vida y diseño del sistema, es decir, la Recomendación G.821 para los sistemas de la jerarquía digital plesiócrona y la Recomendación G.826 para los sistemas de la jerarquía digital síncrona.

6.6.3 Característica de fluctuación de fase

La característica de fluctuación de fase de un sistema de cable submarino de fibra óptica debe cumplir la Recomendación G.823 relativa a los sistemas de la jerarquía digital plesiócrona y la Recomendación G.958 relativa a los sistemas de la jerarquía digital síncrona en cuanto a la vida de diseño del sistema.

6.6.4 Supervisión de márgenes

El factor Q en un receptor óptico está relacionado con la característica de error de un sistema de cable submarino de fibra óptica. Por tanto, la información sobre un factor Q en un receptor óptico dan una indicación del margen del sistema.

7 Descripción de métodos de prueba específicos aplicables a los sistemas de cable submarino de fibra óptica

Esta cláusula contiene descripciones de métodos de prueba específicos de los sistemas submarinos, y de métodos de pruebas generales estudiados bajo otras cuestiones, pero que necesitan adaptación específica para satisfacer los requisitos de los sistemas submarinos.

7.1 Pruebas en las fibras ópticas del cable submarino de fibra óptica

7.1.1 Generalidades

En esta subcláusula se describen métodos de prueba que son específicos de las fibras ópticas del cable submarino de fibra óptica.

7.1.2 Métodos de prueba sobre características optogeométricas

En esta subcláusula se describen métodos de prueba específicos sobre características optogeométricas de las fibras ópticas del cable submarino de fibra óptica.

7.1.2.1 Área efectiva del núcleo (A_{eff})

No se han determinado todavía métodos de prueba del área efectiva del núcleo. Es necesario más estudio para determinar el método de prueba de referencia (RTM) y métodos de prueba alternativos (ATM).

7.1.2.2 Coeficiente no lineal n_2/A_{eff}

Se han propuesto varios métodos para la medición del coeficiente no lineal, incluidos:

- método de la automodulación de fase (SPM, *self-phase modulation method*);
- método de la transmodulación de fase (XPM, *cross-phase modulation method*);
- método interferométrico autocompensado (SCI, *self-compensated interferometric method*);
- método de mezclado de cuatro ondas (FWM, *four-wave mixing method*).

Sin embargo, no se han determinado todavía métodos de prueba del coeficiente no lineal. Es necesario más estudio para determinar el método de prueba de referencia (RTM) y métodos de prueba alternativos ATM.

7.1.3 Métodos de prueba sobre características de transmisión

En esta subcláusula se describen métodos de prueba de características de transmisión de las fibras ópticas del cable submarino de fibra óptica.

7.1.3.1 Dispersión por modo de polarización (PMD)

Hay varios métodos para medir la PMD de las fibras del cable submarino de fibra óptica.

Algunos de los métodos de medición pertenecen a la medición en el dominio del tiempo, tales como:

- métodos interferométricos (tipo de referencia de trayecto aéreo, tipo de fibra de referencia).

Los otros métodos de medición son la medición en el dominio de la frecuencia, tales como:

- método del analizador fijo;
- método de la esfera de Poincaré;
- método del estado de polarización (SOP, *state-of-polarization method*);
- método de la matriz de Jones.

No se han determinado todavía el método de prueba de referencia RTM ni métodos de prueba alternativos ATM para la medición de la PMD, que están actualmente en estudio.

7.2 Pruebas en el cable submarino de fibra óptica

El objetivo de las pruebas es cuantificar la calidad de funcionamiento de un diseño especificado de cable submarino en condiciones típicas de instalación, servicio y recuperación.

El historial y el montaje de las muestras antes de la prueba debe ser representativo del estado del cable esperado en la práctica, por ejemplo:

- ha sufrido enrollamiento y desenrollamiento varias veces, teniendo en cuenta el mínimo diámetro de enrollamiento especificado del diseño del cable;
- incluir los empalmes de fibra apropiados;
- contener uniones, terminaciones, etc.

Las pruebas descritas se destinan sobre todo a fines de calificación, aunque algunas pruebas pueden formar parte de los procedimientos normalizados de aseguramiento de la calidad de producción. En 6.2 se facilitan estructuras de programas de prueba típicos, para cables con repetidores y sin repetidores. En este punto se incluye el montaje de la muestra de prueba recomendado.

La instalación/repación exitosa de un sistema de cable puede tomarse para calificar los componentes del sistema *solamente* al nivel de las condiciones reinantes durante la instalación/repación; las condiciones del caso más desfavorable pueden no haberse dado en tales casos. Deben establecerse pruebas suplementarias o condiciones de prueba específicas, si es necesario, para asegurar que el sistema de cable ofrecido es adecuado para el fin pretendido.

Aceptación de una prueba

Los criterios de aceptación de una prueba vienen determinados por la especificación del sistema planificado.

Seguridad en el trabajo

Esta Recomendación cuantifica las prestaciones típicas de un cable y de sus accesorios. El cumplimiento de esta Recomendación no garantiza por sí misma la seguridad en el trabajo durante la instalación/repación; ésta queda bajo el exclusivo control del instalador. No obstante, esta Recomendación puede utilizarse para identificar el margen de seguridad del cable, como se indica en el apéndice I.

Interpretación de los términos

La definición de los términos "margen de seguridad del cable", la resistencia transitoria nominal a la tracción (NTTS) y otros términos pertinentes a esta Recomendación, figura en la Recomendación G.972 (Definición de términos pertinentes a los sistemas de cable submarino de fibra óptica). En el apéndice I se dan más detalles sobre la interpretación.

7.2.1 Calidad de transmisión

7.2.1.1 Pérdida de un cable fabricado

Objetivos

- Demostrar que la atenuación del cable de una sección de cable ensamblada puede satisfacer los requisitos de márgenes del sistema.

Pueden efectuarse pruebas de transmisión en las subsecciones del cable fabricado; se efectúan sistemáticamente mediciones de atenuación durante las etapas de producción. El exceso de pérdida

debido a reparaciones y envejecimiento (el hidrógeno, la radiación nuclear, etc.) debe evaluarse por separado como parte del análisis de márgenes del sistema.

Método de prueba

La atenuación de la fibra puede medirse utilizando equipo apropiado comercialmente disponible. La atenuación de la fibra se mide preferentemente de acuerdo con la Recomendación G.650.

Condiciones de prueba

Las mediciones se efectúan preferentemente en una gama de temperaturas especificada de acuerdo con la Recomendación G.650.

7.2.1.2 Deformación de la fibra cableada

Objetivo

- Demostrar que el nivel de sublongitud (deformación) o de sobrelongitud (exceso) de la fibra residual cae dentro de los límites exigidos de diseño del cable.

La medición de la longitud de la fibra forma parte del proceso de calificación de diseño. Pueden llevarse a cabo mediciones en fábricas suplementarias para fines de aseguramiento de la calidad.

Método de prueba

La longitud de la fibra (deformación) puede medirse utilizando equipo apropiado comercialmente disponible. La sublongitud o la sobrelongitud de la fibra puede determinarse por comparación con mediciones de la longitud de cable equivalente.

Condiciones de prueba

Las mediciones se efectúan preferentemente dentro de una gama de temperaturas de acuerdo con la especificación de temperatura del cable.

7.2.1.3 Estabilidad de temperatura

Objetivos

- Demostrar que las características ópticas del cable no son modificadas por las gamas de temperatura del transporte, servicio o almacenamiento.
- Determinar cualesquiera requerimientos de transporte o almacenamiento específicos necesarios para asegurar lo anterior.

Método de prueba

La muestra de cable se somete a un ciclo comprendido entre temperaturas especificadas considerando las condiciones de las secciones marinas y de las secciones terrestres, instaladas y almacenadas (ordinariamente entre -20°C y $+50^{\circ}\text{C}$). Se evalúan en relación con el diseño de cable especificado las siguientes características:

- 1) el nivel de cualquier aumento de atenuación óptica;
- 2) la apariencia de la estructura de la muestra (o muestras) de cable probada.

Condiciones de prueba

La atenuación óptica y la resistencia del hilo maestro (o conductor compuesto), si es factible, se supervisan durante toda la prueba.

7.2.1.4 Resistencia a la presión hidráulica

Objetivo

- Demostrar que el cable puede resistir, óptica y eléctricamente, la máxima presión del lecho marino.

Método de prueba

Se coloca un largo de cable en un recinto sometido a presión. Se utilizan terminaciones a presión que permiten salir al paquete de fibra óptica para sellar los extremos de la muestra. La presión dentro del recinto se aumenta hasta un nivel que simula la máxima presión del lecho marino. Se supervisa la atenuación óptica durante toda la prueba. Se evalúan las siguientes características en relación con el diseño de cable especificado:

- 1) el nivel de cualquier aumento de atenuación óptica;
- 2) la apariencia de la estructura de la muestra (o muestras) de cable probada;
- 3) la ausencia de penetración de agua en la muestra a prueba.

La integridad de la muestra o muestras después de la prueba a presión puede ser confirmada por una prueba apropiada del voltaje.

Condiciones de prueba

La longitud de la muestra de cable debe basarse en la exactitud del equipo de prueba. La mínima duración de la prueba suele ser de 30 minutos o más; la prueba debe extenderse a 24 horas en caso de que se detecte cualquier evidencia de arrastramiento o pérdida añadida. En las subcláusulas 7.2.4.3 y 7.2.4.4 se describen pruebas de voltaje apropiadas.

7.2.2 Prestaciones mecánicas

7.2.2.1 Prueba de tracción con torsión restringida

Objetivos

- Demostrar que el cable puede resistir la máxima carga de tracción esperada durante el tendido y la recuperación con un grado de seguridad conocido.
- Demostrar que las fibras ópticas no están sujetas a excesiva deformación durante la carga o después de la descarga.
- Determinar si las prestaciones del cable bajo carga permitiría su reutilización después de una operación de recuperación del cable.

Método de prueba

Las muestras de cable están terminadas en cada extremo con un dispositivo de anclaje e instaladas en un aparejo de tracción. Los extremos de la fibra deben estar fijos en torno a dispositivos de anclaje de manera que permita medir exactamente la deformación de la fibra y detectar los efectos extremos. La longitud del cable a prueba debe ser suficiente para hacer los efectos extremos despreciables y proporcionar exactitud en la medición; múltiples fibras ópticas pueden unirse entre sí para aumentar la longitud del trayecto. La atenuación óptica y la deformación de la fibra son evaluadas continuamente durante toda la prueba. La carga de tracción y la elongación del cable se miden continuamente durante la prueba. Se evalúan las siguientes características en relación con el diseño de cable especificado:

- 1) el nivel de cualquier aumento de atenuación óptica;
- 2) la apariencia de la estructura de la muestra (o muestras) de cable probada;

- 3) la estabilidad de elongación del cable bajo la carga máxima;
- 4) la característica carga/momento de torsión.

Condiciones de prueba

El cable se fija de manera que no se retuerza durante la elongación. El cable se carga a su resistencia transitoria nominal a la tracción (NTTS) y se mantiene así durante un corto tiempo, ordinariamente una hora como mínimo. La prueba puede repetirse varias veces para comprobar los efectos de histéresis. Pueden efectuarse pruebas separadas para muestras de cable con y sin uniones.

7.2.2.2 Prueba de tracción con el momento de torsión minimizado

Objetivos

- Demostrar que el cable puede resistir la máxima carga de tracción esperada durante el tendido y la recuperación con un grado de seguridad conocido.
- Demostrar que las fibras ópticas no están sujetas a excesiva deformación durante la carga o después de la descarga.

Método de prueba

Las muestras de cable están terminadas en cada extremo con un dispositivo de anclaje e instaladas en un aparejo de tracción. Los extremos de la fibra deben estar fijos en torno a dispositivos de anclaje de manera que permita medir exactamente la deformación de la fibra y detectar los efectos extremos. La longitud del cable a prueba debe ser suficiente para hacer los efectos extremos despreciables y proporcionar exactitud en la medición; múltiples fibras ópticas pueden unirse entre sí para aumentar la longitud del trayecto. La atenuación óptica y la deformación de la fibra son supervisadas continuamente durante la prueba. La carga de tracción, la elongación del cable y la torsión del cable se miden continuamente durante la prueba. Se evalúan las siguientes características en relación con el diseño de cable especificado:

- 1) el nivel de cualquier aumento de atenuación óptica;
- 2) la apariencia de la estructura de la muestra (o muestras) de cable probada;
- 3) la estabilidad de elongación del cable bajo la carga máxima;
- 4) el nivel de torsión del cable y de deformación del cable o fibra bajo carga, y después de la descarga.

Condiciones de prueba

El cable se fija de manera que uno de los extremos esté libre para torsión. El cable se carga al menos a su tensión de instalación máxima de diseño y se mantiene así durante un corto tiempo, ordinariamente una hora como mínimo. La prueba puede repetirse varias veces para comprobar los efectos de histéresis. Pueden efectuarse pruebas separadas para muestras de cable con y sin uniones.

7.2.2.3 Prueba de tracción con carga hasta el fallo

Objetivos

- Demostrar que el cable puede resistir la máxima carga de tracción esperada durante el tendido y la recuperación con un grado de seguridad conocido.
- Demostrar que el cable no falla a una carga por debajo de su resistencia a la tracción estimada.

Método de prueba

Las muestras de cable están terminadas en cada extremo con un dispositivo de anclaje e instaladas en un aparejo de tracción. La longitud de la muestra a prueba puede minimizarse por consideraciones de

seguridad, a condición de que sea suficiente para la exactitud de la medición. La carga de tracción y la elongación del cable se miden continuamente durante la prueba. La atenuación óptica y la deformación de la fibra se supervisan en la medida de lo posible durante la prueba.

Condiciones de prueba

El cable se fija de manera que no se retuerza durante la elongación. El cable se carga hasta que se produce el fallo en cualquier elemento de resistencia a la tracción, produciéndose un fallo en avalancha, lo cual corresponde a la carga de rotura del cable.

Margen de seguridad del cable

El margen de seguridad del cable es la diferencia de carga de tracción entre la carga medida al producirse el fallo y la máxima carga de instalación/recuperación propuesta por el instalador. El margen de seguridad del cable suele expresarse como porcentaje de la carga medida al producirse el fallo. El apéndice I proporciona más detalles.

7.2.2.4 Prueba de fatiga mecánica

Objetivo

- Demostrar que el cable puede resistir una carga periódica equivalente a la que suele experimentarse en una reparación de cable a bordo de un barco.

Método de prueba

Las muestras de cable están terminadas en cada extremo con un dispositivo de anclaje e instaladas en un aparejo de tracción, que preferentemente incluye una polea. La carga del cable se somete a un ciclo entre baja carga y alta carga simulando el efecto de movimiento de un buque cablero (debido al movimiento de las olas) sobre el cable suspendido a su máxima profundidad de diseño en las peores condiciones meteorológicas. La atenuación óptica y la carga de tracción se supervisan durante toda la prueba. Se registran las condiciones de profundidad y meteorológicas de diseño simuladas. Se evalúan las siguientes características en relación con el diseño de cable especificado:

- 1) el nivel de cualquier aumento de atenuación óptica;
- 2) la apariencia y el nivel de adherencia entre capas de la estructura de la muestra (o muestras) de cable probada.

Condiciones de prueba

La longitud del cable a prueba debe ser suficiente para hacer despreciables los efectos y proporcionar seguridad en la medición; pueden unirse entre sí múltiples fibras ópticas para aumentar la longitud del trayecto. El número de ciclos debe simular el tiempo de reparación esperado a bordo del barco y el tiempo esperado del ciclo de las olas del mar, los cuales deben especificarse.

7.2.2.5 Pruebas con poleas

Objetivo

- Demostrar que el cable puede resistir la flexión normal alrededor de la polea bajo la máxima carga de tracción esperada durante el tendido, retención y recuperación.

Método de prueba

Ambos extremos de la muestra de cable están terminados, y la muestra se dispone, en un aparejo de tracción de manera que contacte al menos un cuadrante de una o más poleas. No se permite la rotación de las terminaciones de cable. La longitud del cable a prueba debe ser suficiente para hacer los efectos extremos despreciables y proporcionar exactitud en la medición; múltiples fibras ópticas pueden unirse entre sí para aumentar la longitud del trayecto. La atenuación óptica y la carga de

tracción se miden continuamente durante la prueba. Se evalúan las siguientes características en relación con el diseño de cable especificado:

- 1) el nivel de cualquier aumento de atenuación óptica;
- 2) la apariencia y el nivel de adherencia entre capas de la estructura de la muestra (o muestras) de cable probada.

Condiciones de prueba

El cable se somete a un ciclo relativo a la polea (o poleas) a una velocidad constante y una velocidad constante durante 30-50 travesías del cable a una baja carga correspondiente a la máxima carga de instalación del cable. Se aumenta luego la carga hasta una carga elevada equivalente a la tensión de recuperación en el cable a su máxima profundidad de diseño en las peores condiciones meteorológicas; se somete a continuación al menos a otras tres travesías del cable. Debe especificarse el diámetro de la polea, ordinariamente de 2,5-3,0 m.

7.2.3 Prestaciones de tratamiento

7.2.3.1 Resistencia al aplastamiento

Objetivo

- Demostrar que el cable puede resistir la presión asimétrica resultante del almacenamiento en un tanque de retención o del equipo a bordo del barco, por ejemplo, aparato de extensión/recogida (DOHB, *draw off/hold back*).

Método de prueba

Una muestra de cable corta, ordinariamente de 5 m, se mantiene en un dispositivo de presión horizontal, que lo somete a carga durante un periodo limitado. La carga se aplica a un largo de cable de al menos 0,1 m, y se registra. La atenuación óptica y el desplazamiento del dispositivo de presión se supervisan durante toda la prueba. Se evalúan las siguientes características en relación con el diseño de cable especificado:

- 1) El nivel de cualquier aumento de atenuación óptica.
- 2) La apariencia y el nivel de adherencia entre capas de la estructura de la muestra (o muestras) de cable probada; la integridad de la muestra (o muestras) puede ser confirmada por la prueba de la resistencia a la presión hidráulica y/o pruebas de voltaje apropiadas. Adviértase que deben realizarse pruebas si se ha observado cualquier daño mecánico permanente significativo.

Condiciones de prueba

Se aplica durante al menos una hora una carga que simula la máxima fuerza por unidad de longitud que actúa sobre el cable, carga que se libera a continuación. La fuerza máxima es la proporcionada por el peso de un tanque de buque cablero completo, normalmente de 10 m de profundidad, que actúa sobre la capa inferior del cable, o que es proporcionada por maquinaria a bordo del barco, la que sea mayor.

7.2.3.2 Resistencia al impacto

Objetivo

- Demostrar que el cable puede resistir golpes e impactos durante la operación de fabricación o tendido.

Método de prueba

Se tiende una muestra de cable corta, ordinariamente de cinco metros, en una placa de acero plana y lisa. Se deja caer un cilindro de acero sobre la muestra desde una altura adecuada. Puede utilizarse un tubo de baja fricción para guiar el cilindro. Se evalúan las siguientes características en relación con el diseño de cable especificado:

- 1) el nivel de cualquier aumento de atenuación óptica;
- 2) la apariencia y el nivel de adherencia entre capas de la estructura de la muestra (o muestras) de cable probada; la integridad de la muestra (o muestras) puede ser confirmada por la prueba de la resistencia a la presión hidráulica y/o pruebas de voltaje apropiadas. Adviértase que deben realizarse pruebas si se ha observado cualquier daño mecánico permanente significativo.

Condiciones de prueba

Se deja caer un cilindro de X mm de diámetro e Y kg de peso desde una altura de Z metros para que impacte en diferentes puntos y orientaciones a lo largo del cable. Con cables de "poco peso", los valores típicos de X, Y y Z son 50, 2 y 1 respectivamente; con cables armados, los valores típicos de X, Y y Z son A, B y C respectivamente. La prueba debe repetirse varias veces para garantizar su coherencia.

7.2.3.3 Resistencia a la flexión

Objetivo

- Demostrar que el cable puede resistir el tratamiento de fábrica a barco, de depósito a depósito o de barco a costa en su gama de temperaturas proyectada.

Método de prueba

La muestra de cable se dobla alternativamente entre dos flexiones de prueba que representan al menos un cuadrante de una polea que suele ser de dos metros de diámetro. La atenuación óptica se evalúa durante toda la prueba. Se registra la temperatura ambiente. Se evalúan las siguientes características en relación con el diseño de cable especificado:

- 1) el nivel de cualquier aumento de atenuación óptica;
- 2) la apariencia y el nivel de adherencia entre capas de la estructura de la muestra (o muestras) de cable probada.

Condiciones de prueba

La muestra de cable sufre 50 flexiones a temperatura ambiente. La muestra se somete entonces a 50 flexiones a temperatura baja y a temperatura alta, que corresponden a la gama de temperaturas proyectada del cable. A temperaturas extremas, fuera de la gama de diseño, la característica de flexión del cable puede a veces determinarse mediante pruebas de temperatura apropiadas en los componentes.

7.2.4 Prestación de fiabilidad

7.2.4.1 Limitación de la penetración de agua

Objetivo

- Cuantificar la limitación de penetración de agua a lo largo del cable en el caso de rotura del mismo en el lecho marino.
- Demostrar que la máxima longitud de penetración de agua cumple la especificación del diseño.

Método de prueba

La máxima longitud de penetración de agua suele evaluarse por uno de dos métodos de prueba, detallados a continuación. Si se aplican otras condiciones, por ejemplo, largos de muestra más cortos o niveles de presión inferiores, los datos de prueba deberán extrapolarse, con una explicación acerca de la extrapolación, en la medida apropiada para demostrar que el cable cumple la especificación de diseño.

Método de prueba 1

Un extremo de la muestra de cable está sellado y el otro apantallado contra la exposición a presión mediante el uso de un dispositivo especial o un disco de rotura calibrado. La muestra de cable se coloca dentro de un recinto a gran presión que se llena luego de agua y se presuriza. La muestra de cable se retira después de algunos días y se inspecciona interiormente en su longitud para detectar signos de agua, inspección que puede facilitarse si se ha añadido previamente un colorante fluorescente al agua del recipiente a presión, ya que el colorante se detecta simplemente por luz ultravioleta.

Método de prueba 2

La muestra de cable se coloca dentro de un recinto a gran presión con el extremo distante abierto al agua; el extremo del cable próximo sale del recinto por un casquillo especial, por lo que está en contacto con la atmósfera. Se aplica la presión hidráulica al recinto lo más rápidamente posible; se mide el tiempo que tarda en pasar el agua a través de la muestra hasta la atmósfera, detectándose eléctricamente la presencia de agua.

Condiciones de prueba

La muestra de cable tiene preferentemente 100 o más metros de longitud. Se introduce la presión correspondiente a la máxima profundidad de tendido del cable en la cara abierta de la muestra; la presión se mantiene durante el número de días necesario para demostrar la limitación especificada de penetración de agua, que suele ser de 14 días. En caso de que se utilicen otros niveles de prueba, correspondientes a requisitos específicos del sistema, estos niveles deben registrarse.

7.2.4.2 Prueba de la corrosión

Objetivo

- Demostrar que la planta sumergible puede resistir una exposición de larga duración al agua marina.
- Demostrar que cualquier corrosión presente no degradará la función mecánica, óptica y eléctrica de la planta.

La planta sumergible podría incluir cables, uniones y terminaciones.

Método de prueba

La planta sumergible se sumerge en agua marina a una temperatura elevada durante un periodo de tiempo. La planta se inspecciona a continuación para determinar el grado de corrosión y, si es factible, la formación de gas hidrógeno. Deben adoptarse medidas para sellar adecuadamente los extremos del cable antes de la prueba. Si se utiliza agua marina artificial, debe indicarse su especificación.

Condiciones de prueba

Las condiciones de prueba apropiadas para el envejecimiento acelerado se hallan en estudio; una propuesta considerada es la de sumergir las muestras de prueba en agua marina aireada a 50° C durante 18 meses.

7.2.4.3 Prueba de la alta tensión

Objetivos

- Demostrar que un cable diseñado para permitir la alimentación de energía de los repetidores o regeneradores puede resistir gradientes de campo eléctrico en servicio durante su vida útil.

Método de prueba

Se coloca un cable largo en un estanque lleno de agua conductora al potencial de tierra. Se aplica una tensión continua positiva entre el conductor metálico del cable y el agua. No debe producirse ninguna interrupción de tensión antes de que se cumplan los requisitos del modelo de fiabilidad.

Condiciones de prueba

La tensión aplicada sigue la fórmula VT^k , siendo V la tensión (voltaje) de servicio, T la duración de la prueba y k una constante. Los valores de V y T seleccionados para la prueba se basan en el modelo de fiabilidad del cable y las uniones, teniendo en cuenta la carga eléctrica que necesitarán sufrir durante su vida útil de diseño. El factor de aceleración k se determina empíricamente, y es específico del material de aislamiento utilizado.

7.2.4.4 Prueba de integridad del aislamiento

Objetivos

- Demostrar que el aislamiento del cable es continuo para evitar la corrosión por grietas internas.
- Demostrar que el aislamiento del cable permitirá la localización del mismo mediante tratamiento por electrodos de bajo tono para cables diseñados con esta característica.

Método de prueba

Se coloca un cable largo en un estanque lleno de agua conductora al potencial de tierra. Se aplica una tensión continua positiva entre el conductor metálico del cable y el agua. No debe producirse ninguna interrupción de tensión durante la prueba.

Condiciones de prueba

El voltaje aplicado y su duración se basan en el nivel de resistencia de aislamiento que el cable necesitará durante su vida útil.

7.2.5 Pruebas operacionales

7.2.5.1 Prueba de adherencia entre capas de cable

Objetivo

- Demostrar que los elementos de cable tienen suficiente adherencia entre capas para permitir la sujeción exterior sin daño.

Método de prueba

Cables más apropiados para las pruebas de adherencia entre capas son los cables de aguas profundas, es decir, los cables de poco peso (LW, *lightweight*) y los cables protegidos de poco peso (LWP, *lightweight protected*). Se prepara una muestra nominal de 150-250 mm de cable de manera que permita poner a prueba un largo de aislamiento, ordinariamente de 25 mm, tras exposición previa del elemento de resistencia mecánica para su sujeción. La fuerza requerida para iniciar el desplazamiento entre capas entre elementos de cable adyacente se evalúa en relación con los requisitos del cable.

Condiciones de prueba

La muestra se coloca en un aparejo de tracción de manera que el elemento de resistencia mecánica pueda sujetarse y tirarse de él al tiempo que se evita el desplazamiento de elementos específicos. La fuerza de tracción se aumenta hasta que aparece el desplazamiento entre capas entre los elementos de cable probados.

7.2.5.2 Pruebas con topes de cable

Objetivo

- Demostrar que el cable puede ser sujetado por topes en las peores condiciones meteorológicas en las que se utilizaría.

Método de prueba

Las muestras de cable están terminadas en un extremo por un dispositivo de anclaje y en el otro por un tope situado aproximadamente a 10 m del extremo opuesto. La muestra se instala en un aparejo de tracción. La carga sobre la muestra se aumenta luego a una alta carga equivalente a la tensión en el cable a su máxima profundidad de diseño en las peores condiciones meteorológicas. La atenuación óptica se supervisa durante toda la prueba. Se registran las condiciones de profundidad y meteorológicas de diseño simuladas. Ha de describirse el tipo de tope de cable utilizado en la prueba, por ejemplo, marca, tamaño, etc. Se evalúan las siguientes características en relación con el diseño de cable especificado:

- 1) el nivel de cualquier aumento de atenuación óptica;
- 2) el desplazamiento del tope en el cable;
- 3) la apariencia y el nivel de adherencia entre capas de la estructura de la muestra (o muestras) de cable probada;
- 4) rotación de cable en el tope -si es aplicable.

Condiciones de prueba

La duración de la prueba suele ser de 90 minutos como mínimo.

7.2.5.3 Pruebas con equipo de instalación

Objetivo

- Demostrar que el cable y las uniones pueden ser tratados por equipo de instalación convencional.
- Demostrar que el cable puede ser instalado mediante el equipo de instalación sin que se produzca deslizamiento entre el cable y el equipo, y sin evidencia discernible de daño del cable.

Método de prueba

Las muestras de prueba se preparan con un dispositivo de anclaje en un extremo para permitir la tracción del cable empalmado con respecto al equipo de instalación. Ha de describirse el tipo de equipo de instalación utilizado en la prueba, por ejemplo, marca, tipo de sujeción, etc.

Condiciones de prueba

Se tira de la muestra con respecto al equipo de instalación a tensiones que simulen la máxima carga de instalación en las peores condiciones meteorológicas. La carga necesaria para tirar del cable a través de una sujeción estática en el equipo de instalación debe establecerse para condiciones de cable húmedas y secas.

NOTA – No suele ser necesario llevar a cabo amplias pruebas con equipo de instalación convencional una vez que se ha establecido la compatibilidad inicial del cable; otros medios pueden ser más apropiados en caso de que se requiera una mayor seguridad.

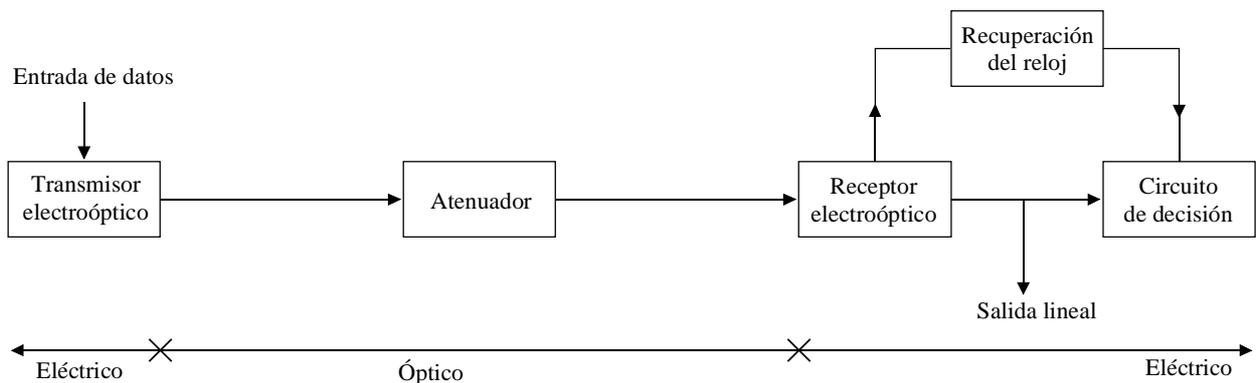
7.3 Pruebas en repetidores

(Queda en estudio.)

7.4 Pruebas en el equipo terminal de transmisión

7.4.1 Pruebas de transmisión

Se estudiará en conformidad con las condiciones generales de pruebas que se reproducen, como ejemplo, en la figura 1.



T1524810-96

Figura 1/G.976 – Posible posición de la salida lineal para la prueba del equipo terminal

7.5 Pruebas en el equipo de alimentación de energía

Estas pruebas son específicas del diseño de los equipos de alimentación de energía y de la configuración del enlace.

7.6 Pruebas en el enlace

7.6.1 Pruebas de transmisión

7.6.1.1 Medición del factor Q

Objetivo

- Evaluar el factor Q del enlace de extremo a extremo. El factor Q evalúa las degradaciones de propagación causadas por el ruido de amplificación óptica, los efectos no lineales, los efectos de polarización y la dispersión cromática, pero también las degradaciones causadas por las funciones analógicas del transmisor y del receptor ópticos. El factor Q es representativo de los márgenes del sistema submarino con amplificación.
- Deducir una tasa de errores de bits (BER, *bit error rate*) del sistema asociada al periodo de medición.

Método de prueba

El factor Q se determina analizando la señal eléctrica recibida lineal antes de la regeneración, a fin de medir la distorsión y el ruido causados por la propagación, así como las funciones analógicas del emisor y del receptor ópticos (figura 2). En otras palabras, la calidad de la señal recibida ha de analizarse desde un punto de vista sin regeneración.

En la figura 3 se presenta un método para analizar la señal lineal. La salida de los dos circuitos de decisión, un conjunto con el umbral de decisión óptimo y el otro conjunto con un umbral variable se comparan a través de una puerta OR exclusiva. La BER se representa en función del umbral. La interpolación de las curvas de la BER medida se comparan suponiendo que estadísticos gaussianas arrojan los valores $\mu_{1,0}$ y $\sigma_{1,0}$. La mínima BER alcanzable teórica viene dada por la ecuación A-2 de la definición proporcionada en el anexo A. Son posibles otras realizaciones.

Como los efectos de polarización causan efectos que varían con el tiempo, los resultados de medición deben incluir algún tipo de evaluación estadística. Por ejemplo, si la densidad de probabilidad de la estadística Q es gaussiana, un valor de la Q_{mean} de medición media menos cinco veces su desviación típica ($Q_{\text{mean}} - 5\sigma$) garantizará que el sistema pasará bajo este valor sólo con una probabilidad de 10^{-7} .

Condiciones de prueba

El factor Q se mide a la potencia óptica de entrada nominal en el extremo receptor. Un conjunto de mediciones en un periodo de tiempo significativo dará una idea del valor medio (Q_{mean}) y de la desviación típica (σ) del factor Q. En el caso de una transmisión simultánea a varias longitudes de onda en la misma fibra, esta medición ha de efectuarse en cada longitud de onda.

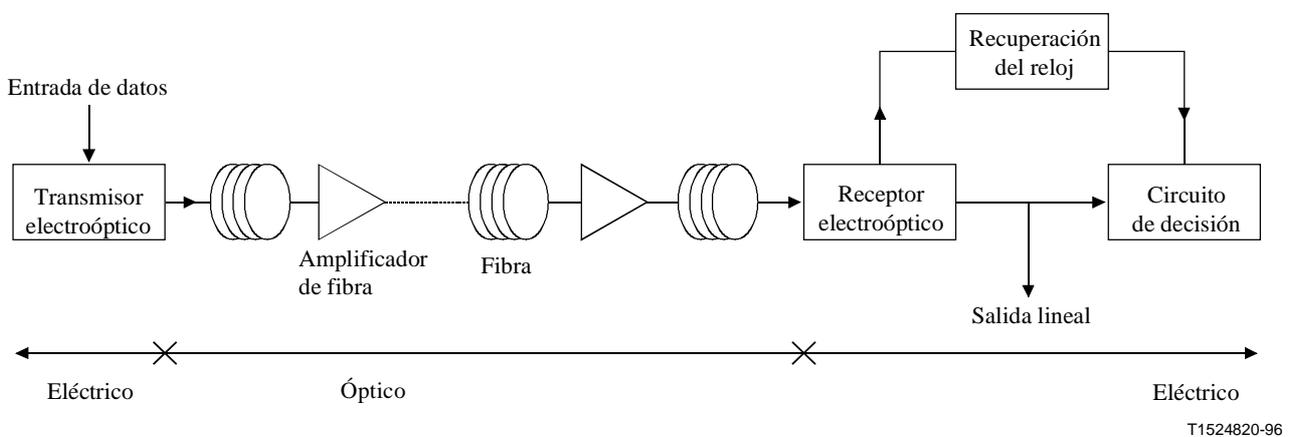


Figura 2/G.976 – Posible posición de la salida lineal para la prueba del enlace

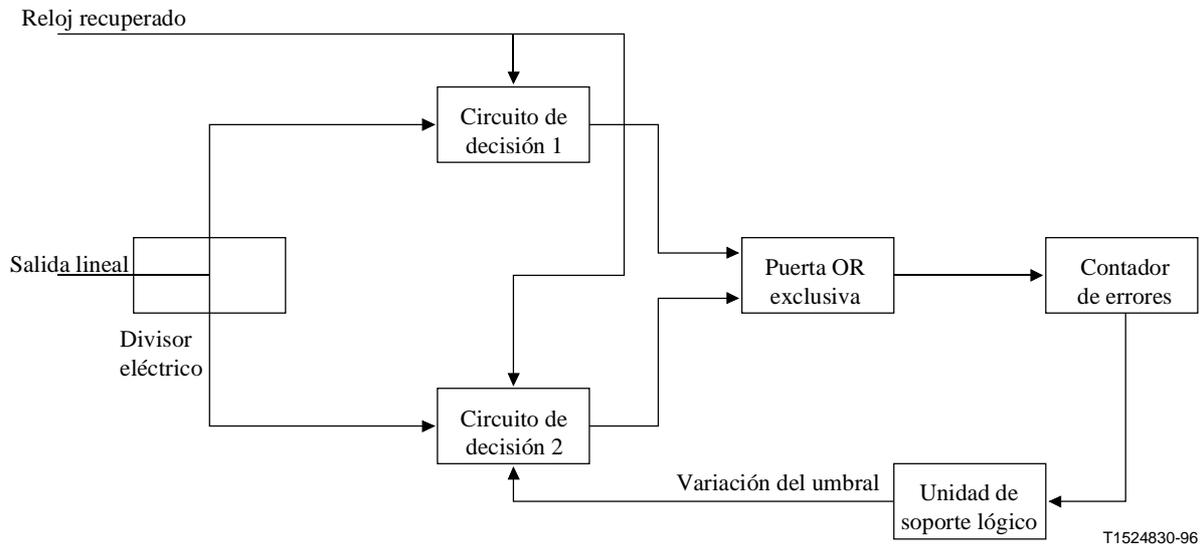


Figura 3/G.976 – Diagrama esquemático de una realización de equipo de medición de la Q

ANEXO A

Definición de términos pertinentes a las pruebas en cables submarinos de fibra óptica

Este anexo define varios términos pertinentes a las pruebas en las fibras ópticas utilizadas en los cables submarinos de fibra óptica, debido a que las definiciones de estos términos no figuran actualmente en Recomendaciones UIT-T.

A.1 factor Q

El factor Q es la relación señal/ruido en el circuito de decisión en unidades de tensión o de corriente, y suele expresarse por:

$$Q = \frac{(\mu_1 - \mu_0)}{(\sigma_1 + \sigma_0)} \quad (\text{A-1})$$

donde $\mu_{1,0}$ es el valor medio de las tensiones o corrientes de marcas/espacios, y $\sigma_{1,0}$ es la desviación típica.

Las relaciones matemáticas con la BER cuando el umbral se fija al valor mínimo son:

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right) \cong \frac{1}{Q\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Q^2}{2}} \quad (\text{A-2})$$

con:

$$\operatorname{erfc}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-\frac{\beta^2}{2}} d\beta \quad (\text{A-3})$$

El factor Q puede expresarse en decibelios y no en valores lineales:

$$Q \text{ (decibelios)} = 20 * \operatorname{Log}_{10} Q \text{ (lineal)} \quad (\text{A-4})$$

NOTA – Se proporcionan detalles en "Margin measurements in optical amplifier systems", Bergano y otros, IEEE Photonics Technology Letters, vol. 5, N.º 3, pp. 304-306, marzo de 1993.

APÉNDICE I

Definiciones detalladas pertinentes a los sistemas de cable submarino de fibra óptica

I.1 El objetivo de este apéndice es proporcionar más informaciones detalladas, teniendo en cuenta la condición de aplicabilidad de los términos definidos en la Recomendación G.972.

I.1.1 margen de seguridad del cable

El margen de seguridad del cable es la diferencia de carga de tracción entre la carga medida al producirse el fallo y la máxima carga de instalación/recuperación propuesta por el instalador. El margen de seguridad del cable suele expresarse como porcentaje de la carga medida al producirse el fallo.

En algunos casos el mínimo margen de seguridad con el que operarán los instaladores puede venir dictado por la legislación específica en vigor en su país de origen, por ejemplo, carga de funcionamiento de seguridad de los cables de acero.

En otros casos, el margen de seguridad puede basarse en la resistencia transitoria nominal a la tracción (NTTS). Sin embargo, este margen debe manejarse con cuidado ya que el valor atribuido a la NTTS depende del diseño del cable, es decir, de su estructura y materiales.

I.1.2 resistencia permanente nominal a la tracción (NPTS, *nominal permanent tensile strength*)

Máxima tensión permanente del cable que no reduce significativamente la calidad de funcionamiento, la vida útil ni la fiabilidad del sistema.

La NPTS representa la máxima carga residual que puede aplicarse permanentemente al cable en el lecho marino después de su instalación.

El valor determinado de la NPTS debe hacer referencia a lo siguiente:

- condición de prueba utilizada, es decir, si los extremos del cable son libres de girar o no;
- la probabilidad de supervivencia de la fibra (indicando la longitud del cable y el número de fibras acomodadas) y el nivel de prueba de la fibra;
- elongación de la fibra y del cable a la NPTS.

NOTA – Cualquier elongación residual resultante de la NTTS debe ser compatible con el valor especificado de la NOTS y la NPTS.

I.1.3 resistencia operativa nominal a la tracción (NOTS, *nominal operating tensile strength*)

Máxima tensión operacional media que el cable puede soportar durante el periodo necesario para las operaciones marinas (ordinariamente 48 horas) sin reducir significativamente la calidad de funcionamiento, la vida útil ni la fiabilidad del sistema.

La NOTS representa la máxima tensión operacional media durante su instalación, recuperación o reparación.

El valor determinado de la NOTS debe hacer referencia a lo siguiente:

- condición de prueba utilizada, es decir, si los extremos del cable son libres de girar o no;
- la probabilidad de supervivencia de la fibra (indicando la longitud del cable y el número de fibras acomodadas) y el nivel de prueba de la fibra;
- elongación de la fibra y del cable a la NOTS.

NOTA – Cualquier elongación residual resultante de la NTTS debe ser compatible con el valor especificado de la NOTS y la NPTS.

I.1.4 resistencia transitoria nominal a la tracción (NTTS, *nominal transient tensile strength*)

Máxima tensión a corto plazo que puede aplicarse al cable durante una operación de recuperación en el mar a lo largo de un periodo acumulativo de aproximadamente una hora sin reducir significativamente la calidad de funcionamiento, la vida útil ni la fiabilidad del sistema.

La NTTS representa la máxima carga transitoria o inesperada que puede aplicarse al cable, y se limita normalmente a un porcentaje de la carga de rotura del cable desde un punto de vista de la seguridad mecánica.

El valor determinado de la NTTS debe hacer referenciar a lo siguiente:

- condición de prueba utilizada, es decir, si los extremos del cable son libres de girar o no;
- la probabilidad de supervivencia de la fibra (indicando la longitud del cable y el número de fibras acomodadas) y el nivel de prueba de la fibra;
- elongación de la fibra y del cable a la NTTS.

NOTA – Cualquier elongación residual resultante de la NTTS debe ser compatible con el valor especificado de la NOTS y la NPTS.

El valor atribuido a la NTTS depende de muchas consideraciones, entre ellas:

- fiabilidad del sistema;
- vida útil requerida;
- deformación residual de la fibra después del tendido;
- tensión de recuperación;
- tiempo de reparación a bordo del barco;
- prueba de funcionamiento de la fibra;
- resistencia mecánica intrínseca de la fibra;
- modelo de fiabilidad de la fibra;
- estabilidad mecánica del cable;
- diseño mecánico del cable ("flojo" o "tenso").

Para la seguridad del sistema y del personal, el valor de la NTTS atribuido debe tener en cuenta las consideraciones de fiabilidad de la fibra, estabilidad mecánica y fatiga del hilo, incluidas tolerancias.

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

- Serie A Organización del trabajo del UIT-T
- Serie B Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación
- Serie C Estadísticas generales de telecomunicaciones
- Serie D Principios generales de tarificación
- Serie E Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
- Serie F Servicios de telecomunicación no telefónicos
- Serie G Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales**
- Serie H Sistemas audiovisuales y multimedios
- Serie I Red digital de servicios integrados
- Serie J 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 RGT y mantenimiento de redes: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales
- Serie N Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
- Serie O Especificaciones de los aparatos de medida
- Serie P Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
- Serie Q Conmutación y señalización
- Serie R Transmisión telegráfica
- Serie S Equipos terminales para servicios de telegrafía
- Serie T Terminales para servicios de telemática
- Serie U Conmutación telegráfica
- Serie V Comunicación de datos por la red telefónica
- Serie X Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos
- Serie Z Lenguajes de programación