



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.654

(06/2002)

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

Características de los medios de transmisión – Cables de
fibra óptica

**Características de los cables de fibra óptica
monomodo con corte desplazado**

Recomendación UIT-T G.654

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

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100–G.199
CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES A TODOS LOS SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORAS	G.200–G.299
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES DE PORTADORAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.300–G.399
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES EN RADIOENLACES O POR SATÉLITE E INTERCONEXIÓN CON LOS SISTEMAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.400–G.449
COORDINACIÓN DE LA RADIOTELEFONÍA Y LA TELEFONÍA EN LÍNEA	G.450–G.499
EQUIPOS DE PRUEBAS	G.500–G.599
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.600–G.699
Generalidades	G.600–G.609
Cables de pares simétricos	G.610–G.619
Cables terrestres de pares coaxiales	G.620–G.629
Cables submarinos	G.630–G.649
Cables de fibra óptica	G.650–G.659
Características de los componentes y los subsistemas ópticos	G.660–G.699
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.700–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900–G.999
CALIDAD DE SERVICIO Y DE DE TRANSMISIÓN	G.1000–G.1999
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.6000–G.6999
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.7000–G.7999
REDES DIGITALES	G.8000–G.8999

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

Recomendación UIT-T G.654

Características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado

Resumen

En esta Recomendación se describen los atributos relativos a la transmisión de las fibras y los cables ópticos monomodo con corte desplazado. Las definiciones y los métodos de prueba son objeto de otra Rec. UIT-T G.650. Se incluyen cuadros de valores recomendados para diferentes categorías de este tipo de fibra, para facilitar la referencia con respecto a las clases de sistemas soportados. Puede haber diferencias de características tecnológicas o de aplicación entre las categorías presentadas en los cuadros. Se recomiendan límites para los atributos de las fibras y los cables. En el apéndice 1 se ofrece información sobre los atributos del enlace y el diseño del sistema.

Historia

- 1988 Recomendación UIT-T G.654, *Características de los cables de fibra óptica monomodo con pérdida minimizada a una longitud de onda de 1550 nm*, producida por la Comisión de Estudio 15 del UIT-T (1985-1988).
- 2000 La Recomendación UIT-T G.654 fue revisada por la Comisión de Estudio 15 del UIT-T (1997-2000) y aprobada en su cuarta edición por la Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (Montreal, 27 de septiembre-6 de octubre de 2000). En esta revisión se modificó la estructura de la Recomendación teniendo en cuenta otras Recomendaciones para fibra, como las Recomendaciones UIT-T G.652, G.653 y G.655.
- 2002 La Recomendación UIT-T G.654 fue revisada por la Comisión de Estudio 15 del UIT-T (2001-2004) y fue aprobada en su quinta edición por el proceso de aprobación alternativo (AAP) el 29 de junio de 2002. En esta revisión se añadió otra categoría de fibras con atributos diferentes de diámetro de campo modal y coeficiente de dispersión cromática, como G.654.B. De conformidad con el acuerdo sobre bandas de espectro, se modificó la especificación del límite superior de la banda L, de 16xx nm a 1625 nm. En lugar de "subcategoría básica" y "subcategoría", se habla ahora de "categoría básica" y "categoría" respectivamente.

Orígenes

La Recomendación UIT-T G.654, revisada por la Comisión de Estudio 15 (2001-2004) del UIT-T, fue aprobada por el procedimiento de la Resolución 1 de la AMNT el 29 de junio de 2002.

PREFACIO

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

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

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

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

NOTA

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

PROPIEDAD INTELECTUAL

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

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB.

© UIT 2002

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

	Página
1 Alcance	1
2 Referencias	1
2.1 Referencias normativas	1
2.2 Referencias informativas	2
3 Términos y definiciones	2
4 Abreviaturas.....	2
5 Características de la fibra.....	2
5.1 Diámetro del campo modal	3
5.2 Diámetro del revestimiento	3
5.3 Error de concentricidad del núcleo.....	3
5.4 No circularidad	3
5.4.1 No circularidad del campo modal.....	3
5.4.2 No circularidad del revestimiento	3
5.5 Longitud de onda de corte	3
5.6 Pérdida por macroflexión	4
5.7 Propiedades de los materiales de la fibra	5
5.7.1 Materiales de la fibra	5
5.7.2 Materiales protectores	5
5.7.3 Nivel de prueba de resistencia mecánica.....	5
5.8 Perfil del índice de refracción.....	5
5.9 Uniformidad longitudinal a la dispersión cromática	5
5.10 Coeficiente de dispersión cromática.....	5
5.11 Ejemplos de directrices de diseño de la fibra G.654.A	6
6 Características del cable	6
6.1 Coeficiente de atenuación.....	6
6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización (PMD)	6
7 Cuadros de valores recomendados.....	7
Apéndice I – Información de los atributos del enlace y de diseño del sistema.....	9
I.1 Atenuación.....	10
I.2 Dispersión cromática	10
I.3 Retardo de grupo diferencial (DGD).....	11
I.4 Coeficiente no lineal.....	11
I.5 Cuadros de valores típicos comunes.....	11
Apéndice II – Ejemplos de directrices para el diseño de fibras G.654.A	12

	Página
Apéndice III – Información sobre estadísticas de la dispersión por modo de polarización.....	15
III.1 Introducción.....	15
III.2 Registro de datos	16
III.3 Cálculo de PMD_Q (Monte Carlo)	17
III.4 Cálculo para $DGD_{m\acute{a}x}$ (Monte Carlo).....	17
Apéndice IV – Bibliografía.....	18

Recomendación UIT-T G.654

Características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado

1 Alcance

Esta Recomendación describe una fibra óptica monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1300 nm, cuya atenuación mínima y longitud de onda de corte desplazada se sitúan alrededor de 1550 nm, y cuyo uso está optimizado en la región de longitud de onda de 1530-1625 nm.

Esta fibra con corte desplazado (CSF, *cut-off shifted fibre*) de muy baja atenuación puede utilizarse en aplicaciones de transmisión digital de larga distancia, por ejemplo sistemas terrenales o sistemas submarinos con amplificadores ópticos. A continuación se describen las características geométricas, ópticas (atenuación, longitud de onda de corte, dispersión cromática y dispersión por modo de polarización, etc.), de transmisión y mecánicas de estas fibras de corte desplazado.

Se ha incluido lo necesario para soportar la transmisión a longitudes de onda superiores, hasta 1625 nm. Los parámetros geométricos, ópticos, de transmisión y mecánicos se describen a continuación en tres categorías de atributos:

- Los atributos de la fibra son aquellos que se mantienen en el cableado y la instalación.
- Los atributos del cable, que son los recomendados para el suministro del cable.
- Los atributos de enlace, que son las características de cables concatenados, y que describen los métodos de estimación de los parámetros de las interfaces del sistema, basados en mediciones, modelos y otras consideraciones. En el apéndice I se indican atributos de enlace que son frecuentes.

En los cuadros 1 y 2 se proporcionan valores recomendados para facilitar la referencia. Se indican las categorías de fibras y cables ópticos apropiados para aplicaciones conformes a las Recomendaciones UIT-T G.691, G.692, G.957 y G.977.

El significado de los términos de esta Recomendación y las directrices a seguir en las mediciones para verificar las diversas características se indican en las Recomendaciones UIT-T G.650.1 y G.650.2. Las características de esta fibra, incluidas las definiciones de los parámetros correspondientes, sus métodos de prueba y los valores pertinentes, se precisarán a medida que avancen los estudios y se adquiera experiencia.

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.

2.1 Referencias normativas

- Recomendación UIT-T G.650.1 (2002), *Definiciones y métodos de prueba de los atributos lineales y determinísticos de fibras y cables monomodo.*
- Recomendación UIT-T G.650.2 (2002), *Definiciones y métodos de prueba de los atributos estadísticos y no lineales de fibras y cables monomodo.*

2.2 Referencias informativas

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen información relevante.

- Recomendación UIT-T G.663 (2000), *Aspectos relacionados con la aplicación de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.691 (2000), *Interfaces ópticas para sistemas monocanal STM-64, STM-256 y otros sistemas de la jerarquía digital síncrona con amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.692 (1998), *Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.957 (1999), *Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital síncrona.*
- Recomendación UIT-T G.973 (1996), *Características de los sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores.*
- Recomendación UIT-T G.977 (2000), *Características de los sistemas de cable submarino de fibra óptica con amplificación óptica.*

3 Términos y definiciones

Para los fines de esta Recomendación, se aplican las definiciones de las Recomendaciones UIT-T G.650.1 y G.650.2.

Para determinar la conformidad es necesario redondear los valores al número de dígitos que figuran en los cuadros de valores recomendados.

4 Abreviaturas

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

CSF	Fibra con corte desplazado (<i>cut-off shifted fibre</i>)
DGD	Retardo de grupo diferencial (<i>differential group delay</i>)
DWDM	Multiplexación por división de longitud de onda densa (<i>dense wavelength division multiplexing</i>)
GPa	GigaPascal
MFD	Diámetro del campo modal (<i>mode field diameter</i>)
PMD	Dispersión por modo de polarización (<i>polarization mode dispersion</i>)
PMD _Q	Parámetro estadístico para enlaces de tipo PMD (<i>statiscal parameter for PMD links</i>)
RTM	Método de prueba de referencia (<i>reference test method</i>)
TBD	Por determinar (<i>to be determined</i>)
WDM	Multiplexación por división de longitud de onda (<i>wavelength division multiplexing</i>)

5 Características de la fibra

En esta cláusula sólo se recomiendan las características de la fibra que proporcionan una estructura de diseño mínima esencial para su fabricación. En los cuadros de la cláusula 7 se indican los valores o los rangos de valores. La longitud de onda de corte de la fibra cableada y la dispersión por modo de polarización (PMD) pueden resultar afectadas considerablemente por la fabricación o la instalación del cable. Por lo demás, las características recomendadas se aplican igualmente a una

fibra aislada, a las fibras incorporadas en un cable arrollado en un tambor y a las fibras en cables instalados.

5.1 Diámetro del campo modal

El valor nominal y la tolerancia respecto a dicho valor nominal del diámetro de campo modal (MFD, *mode field diameter*) se especifican para 1550 nm. El valor nominal del MFD especificado deberá encontrarse dentro de la gama de valores de la cláusula 7. La tolerancia especificada de MFD no debe exceder el valor especificado en la cláusula 7. La desviación respecto al valor nominal no debe exceder la tolerancia especificada.

5.2 Diámetro del revestimiento

El valor nominal recomendado del diámetro del revestimiento es 125 μm .

En la cláusula 7 se especifica asimismo una tolerancia máxima. La diferencia del revestimiento con respecto al valor nominal no puede ser superior a la tolerancia especificada.

5.3 Error de concentricidad del núcleo

El error de concentricidad no debe exceder del valor especificado en la cláusula 7.

5.4 No circularidad

5.4.1 No circularidad del campo modal

En la práctica, la no circularidad del campo modal de las fibras que tienen campos modales nominalmente circulares es un valor bajo que no afecta a la propagación ni a las conexiones. En consecuencia, no se considera necesario recomendar un valor determinado de no circularidad del campo modal. En general, no es necesario medir la no circularidad del campo modal con fines de aceptación.

5.4.2 No circularidad del revestimiento

La no circularidad del revestimiento no debe exceder del valor especificado en la cláusula 7.

5.5 Longitud de onda de corte

Pueden distinguirse tres tipos de longitudes de onda de corte para fines prácticos:

- a) Longitud de onda de corte del cable, λ_{cc} .
- b) Longitud de onda de corte de la fibra, λ_c .
- c) Longitud de onda de corte del cable puente, λ_{cj} .

NOTA 1 – Para algunas aplicaciones específicas de cables submarinos pueden ser necesarios otros valores de longitud de onda de corte.

La correlación de los valores medidos de λ_c , λ_{cc} y λ_{cj} depende del diseño específico de la fibra y del cable, así como de las condiciones de prueba. Aunque en general $\lambda_{cc} < \lambda_{cj} < \lambda_c$, no puede establecerse fácilmente una relación cuantitativa.

Es de suma importancia garantizar la transmisión monomodo en el mínimo tramo de cable entre uniones a la mínima longitud de onda de funcionamiento del sistema. Para ello, pueden utilizarse dos enfoques alternativos:

- 1) recomendar que λ_c sea inferior a 1600 nm: cuando sea pertinente utilizar un límite inferior, λ_c debe ser superior a 1350 nm;
- 2) recomendar que el valor máximo de λ_{cc} sea 1530 nm.

NOTA 2 – Los valores indicados garantizan una transmisión monomodo en torno a 1550 nm. Para aplicaciones WDM que requieren funcionamiento a una longitud de onda de (1550 nm-x), los valores indicados deben reducirse en x nm.

No resulta necesario invocar ambas especificaciones. Dado que la especificación de λ_{cc} es una forma más directa de asegurar el funcionamiento del cable monomodo, es la opción preferida. Cuando las circunstancias no permiten especificar de forma directa λ_{cc} (por ejemplo, en los cables monofibra tales como cables puente o cables que hay que instalar de una manera considerablemente diferente que en el RTM de la λ_{cc}), resulta entonces apropiada la especificación de λ_c .

Cuando el usuario decide especificar λ_{cc} como en 2), debe entenderse que λ_c puede ser superior a 1600 nm.

Cuando el usuario decide especificar λ_c como en 1), no es necesario especificar λ_{cc} .

En el caso de que el usuario decida especificar λ_{cc} , puede permitirse que λ_c sea superior a la mínima longitud de onda de funcionamiento del sistema, confiando en que los efectos de la fabricación e instalación del cable harán que los valores de λ_{cc} sean inferiores a la mínima longitud de onda de funcionamiento del sistema para la distancia más corta de cable entre dos uniones.

En el caso de que el usuario decida especificar λ_{cc} , puede ser suficiente una prueba de aptitud para verificar que se cumple el requisito de λ_{cc} .

La longitud de onda de corte del cable, λ_{cc} , no debe ser superior al valor máximo especificado en la cláusula 7.

5.6 Pérdida por macroflexión

La pérdida por macroflexiones varía con la longitud de onda, el radio de curvatura y el número de vueltas en el mandril con un radio especificado. La pérdida por macroflexión no debe ser superior al valor máximo de la cláusula 7 para los valores especificados de longitud de onda, radio de curvatura y número de vueltas.

Si la fibra puede utilizarse a longitudes de onda superiores a 1550 nm, la pérdida máxima a la mayor longitud de onda prevista puede estimarse a partir de la pérdida medida a 1550 nm, utilizando el modelado espectral de la pérdida o una base de datos estadísticos para dicho diseño específico de la fibra. También se podrá hacer una prueba de calificación a una longitud de onda superior.

NOTA 1 – Una prueba de aptitud puede ser suficiente para comprobar que se cumple este requisito.

NOTA 2 – El número de vueltas recomendado corresponde al número aproximado de vueltas aplicadas en todos los empalmes de una sección de repetición típica. El radio recomendado es equivalente al mínimo radio de curvatura generalmente aceptado en el montaje a largo plazo de fibras en las instalaciones de sistemas reales, para evitar fallos por fatiga estática.

NOTA 3 – Si por razones de orden práctico se decide un número de vueltas menor al recomendado, se recomienda como mínimo 40 vueltas, siendo entonces el incremento de las pérdidas proporcionalmente menor.

NOTA 4 – Si se prevé utilizar un radio de curvatura inferior al recomendado en los empalmes, o en cualquier otro lugar del sistema (por ejemplo, $R = 30$ mm), se sugiere aplicar el mismo valor de pérdida máxima al mismo número de vueltas de fibra montadas con dicho radio menor.

NOTA 5 – La recomendación sobre la pérdida por macroflexión se refiere al montaje de las fibras en instalaciones reales de sistemas de fibras monomodo. La influencia de los radios de curvatura relacionados con el trenzado de fibras monomodo cableadas sobre la característica de pérdida, se incluye en la especificación de pérdida de la fibra cableada.

NOTA 6 – Cuando se requieran pruebas de rutina, la prueba recomendada se puede reemplazar por un bucle de menor diámetro de una o varias vueltas, al objeto de conseguir precisión y facilitar la medida de la sensibilidad a la flexión a una longitud de onda de 1550 nm. En este caso, se adoptarán valores apropiados de

diámetro del bucle, número de vueltas y pérdida máxima admisible por flexión para la prueba de varias vueltas de forma que haya una correspondencia entre la prueba recomendada y la prueba permitida.

5.7 Propiedades de los materiales de la fibra

5.7.1 Materiales de la fibra

Deben indicarse las sustancias que entran en la composición de las fibras.

NOTA – Debe procederse con cuidado al empalmar por fusión fibras de diferentes sustancias. Los resultados provisionales de las pruebas realizadas indican que se pueden obtener características adecuadas de pérdida y de resistencia mecánica en un empalme de fibras diferentes de alto contenido de sílice.

5.7.2 Materiales protectores

Deben indicarse las propiedades físicas y químicas del material utilizado para el recubrimiento primario de la fibra, y la mejor manera de retirarlo (si es necesario). En el caso de una fibra con una sola envoltura, se darán indicaciones similares.

5.7.3 Nivel de prueba de resistencia mecánica

El nivel de prueba de resistencia mecánica especificada, σ_p , no será inferior al valor especificado en la cláusula 7.

NOTA – Las definiciones de los parámetros mecánicos figuran en 3.2/G.650.1 y 5.6/G.650.1.

5.8 Perfil del índice de refracción

Generalmente no es necesario conocer el perfil del índice de refracción de la fibra.

5.9 Uniformidad longitudinal a la dispersión cromática

Queda en estudio.

NOTA – Para una longitud de onda específica, el valor absoluto local del coeficiente de dispersión puede variar respecto al valor medido en una sección de gran longitud. Si el valor disminuye hasta un valor pequeño a una longitud de onda próxima a una longitud de onda de funcionamiento de un sistema WDM, la mezcla de cuatro ondas puede inducir la propagación de potencia a otras longitudes de onda, por ejemplo otras longitudes de onda de funcionamiento pero no únicamente. La magnitud de la potencia de la mezcla de cuatro ondas es función del valor absoluto del coeficiente de dispersión cromática, la pendiente de dispersión cromática, las longitudes de onda de funcionamiento, la potencia óptica y la distancia a lo largo de la que se produce la mezcla de cuatro ondas.

Para el funcionamiento de sistemas DWDM en la región de 1550 nm, la dispersión cromática de las fibras G.654 es suficientemente grande como para evitar la mezcla de cuatro ondas. Por tanto, la uniformidad de la dispersión cromática no es una consideración de funcionamiento.

5.10 Coeficiente de dispersión cromática

A partir del retardo de grupo por unidad de longitud de fibra, medido en función de la longitud de onda, se hace una determinación empírica mediante la siguiente expresión cuadrática (véase 5.5.1.3.3/G.650.1):

$$\tau(\lambda) = \tau_{1550} + (S_{1550} / 2)(\lambda - 1550)^2 + D_{1550}(\lambda - 1550)$$

Donde, τ_{1550} es el retardo de grupo relativo a la longitud de onda $\lambda = 1550$ nm. El coeficiente de dispersión cromática $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ puede determinarse mediante esta expresión cuadrática diferenciada:

$$D(\lambda) = S_{1550}(\lambda - 1550) + D_{1550}$$

Donde, S_{1550} es la pendiente de dispersión cromática (uniforme) a la longitud de onda 1550 nm, es decir, el valor de la pendiente de dispersión cromática $S_{1550}(\lambda) = dD/d\lambda$ a $\lambda = 1550$ nm. Además, D_{1550} designa los valores de dispersión cromática a $\lambda = 1550$ nm.

NOTA 1 – Estas ecuaciones de $\tau(\lambda)$ y $D(\lambda)$ son suficientemente exactas en la gama 1500-1600 nm. No está prevista su utilización en la región de 1310 nm.

NOTA 2 – También se puede medir directamente el coeficiente de dispersión cromática, por ejemplo, mediante el método del desplazamiento de fase diferencial. En este caso, a partir del coeficiente de dispersión se hace una determinación empírica directamente mediante una línea recta $\tau(\lambda)$ para determinar S_{1550} y D_{1550} .

5.11 Ejemplos de directrices de diseño de la fibra G.654.A

En el apéndice II hay un ejemplo de directrices de diseño para fibras de atenuación mínima y corte desplazado (CSF) utilizadas por la empresa KDD de Japón.

6 Características del cable

Dado que las características geométricas y ópticas de las fibras indicadas en la cláusula 5 se ven muy poco afectadas por el proceso de cableado, en esta cláusula se presentan recomendaciones principalmente relativas a las características de transmisión de largos de fabricación cableados.

Las condiciones ambientales y de prueba son de gran importancia y se describen en las directrices sobre los métodos de prueba.

6.1 Coeficiente de atenuación

El coeficiente de atenuación se especifica con un valor máximo para una o más longitudes de onda en la región de 1530-1625 nm. Los valores del coeficiente de atenuación de los cables de fibra óptica no deben ser superiores a los valores especificados en la cláusula 7.

NOTA – Los valores más bajos dependen del proceso de fabricación, de la composición y el diseño de la fibra, y del diseño del cable. En la región de 1550 nm se han conseguido valores comprendidos entre 0,15 y 0,19 dB/km, tal como se indica en el apéndice II.

6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización (PMD)

No todos los cuadros incluyen requisitos sobre PMD. Cuando sea necesario, la dispersión por modo de polarización de las fibras cableadas se especificará de forma estadística y no de manera individual para cada fibra. Estos requisitos sólo son aplicables al enlace, a partir de la información sobre el cable. Abajo se indican los principios de la especificación estadística. Los métodos de cálculo figuran en CEI 61282-3 y se resumen en el apéndice III.

El fabricante debe proporcionar un valor de PMD de diseño del enlace, PMD_Q , que constituye el límite estadístico superior del coeficiente de PMD de los cables de fibra óptica concatenados en un enlace de M secciones de cable. El límite superior se define con respecto a un nivel bajo de probabilidad, Q , de que un coeficiente de PMD concatenado sea mayor que PMD_Q . Para los valores de M y de Q especificados en la cláusula 7, el valor de PMD_Q no debe superar el valor máximo de PMD especificado en la cláusula 7.

Las medidas realizadas sobre fibras no cableadas pueden utilizarse para generar estadísticas de fibras cableadas cuando el diseño y los procesos sean estables y las relaciones entre los coeficientes de PMD de fibras cableadas y no cableadas sean conocidas. Si se ha demostrado que dicha relación existe, el fabricante del cable puede especificar facultativamente un valor máximo de PMD de fibras no cableadas.

Puede interpretarse que los límites de la distribución de los valores de los coeficientes de PMD son casi equivalentes a los límites de la variación estadística del retardo de grupo diferencial (DGD,

differential group delay), que varía de forma aleatoria con el tiempo y la longitud de onda. Cuando se especifica la distribución del coeficiente de PMD para cables de fibra óptica, pueden determinarse límites equivalentes para la variación de DGD. En el apéndice I se indican los principios y los valores de los límites de la distribución del DGD.

7 Cuadros de valores recomendados

En los cuadros 1 y 2 se resumen los valores recomendados para distintas fibras que satisfacen los requisitos de esta Recomendación.

G.654.A constituye la categoría básica para fibras y cables ópticos monomodo de corte desplazado. Estos cuadros contienen los atributos y los valores recomendados necesarios para soportar aplicaciones como las que se consideran en las Recomendaciones UIT-T G.691, G.692, G.957 y G.977 en la región de longitud de onda de 1550 nm.

Cuadro 1/G.654 – G.654.A

<p><i>Este cuadro corresponde a la categoría básica de un cable de fibra óptica monomodo de corte desplazado. Es la categoría adecuada para el sistema descrito en las Recomendaciones UIT-T G.691, G.692, G.957 y G.977, en la región de longitud de onda de 1550 nm.</i></p>		
Atributos de la fibra		
Atributo	Datos	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1550 nm
	Gama de valores nominales	9,5-10,5 μm
	Tolerancia	$\pm 0,7 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,8 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	2,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1530 nm
Pérdida por macroflexión	Radio	37,5 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1550 nm	0,50 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$D_{1550\text{máx}}$	20 ps/nm·km
	$S_{1550\text{máx}}$	0,070 ps/nm ² ·km
Coeficiente de PMD de fibra no cableada	Máximo	ps/ $\sqrt{\text{km}}$ (nota)
Atributos del cable		
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,22 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
<p>NOTA – Los fabricantes de cable pueden especificar un coeficiente de PMD máximo facultativo de fibra no cableada para soportar el requisito primario de PMD_Q del cable si ésta ha sido verificada para un tipo de construcción de cable en particular.</p>		

Cuadro 2/G.654 – G.654.B

<p><i>Esta categoría es apropiada para el sistema descrito en las Recomendaciones UIT-T G.691, G.692, G.957 y G.977, en la región de longitud de onda de 1550 nm. Esta categoría se puede utilizar para sistemas de transmisión WDM de mayor longitud y mayor capacidad, por ejemplo, sistemas submarinos sin repetidor con amplificador óptico de bombeo a distancia, descritos en la Rec. UIT-T G.973, o los sistemas submarinos con amplificadores ópticos descritos en la Rec. UIT-T G.977.</i></p>		
Atributos de la fibra		
Atributo	Datos	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1550 nm
	Gama de valores nominales	9,5-13,0 μm
	Tolerancia	$\pm 1,0 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,8 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	2,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1530 nm
Pérdida por macroflexión	Radio	37,5 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1550 nm	0,50 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$D_{1550\text{máx}}$	22 ps/nm·km
	$S_{1550\text{máx}}$	0,070 ps/nm ² ·km
Coeficiente de PMD de fibra no cableada	Máximo	ps/ $\sqrt{\text{km}}$ (nota)
Atributos del cable		
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,22 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
<p>NOTA – Los fabricantes de cable pueden especificar un coeficiente de PMD máximo facultativo de fibra no cableada para soportar el requisito primario de PMD_Q del cable si ésta ha sido verificada para un tipo de construcción de cable en particular.</p>		

Apéndice I

Información de los atributos del enlace y de diseño del sistema

Un enlace concatenado incluye generalmente largos de fibra óptica de fabricación empalmados. Los requisitos aplicables a los tramos de fabricación se indican en las cláusulas 5 y 6. Los parámetros de transmisión de enlaces concatenados deben tener en cuenta no sólo el comportamiento de los distintos tramos de cable, sino también las estadísticas de la concatenación.

Las características de transmisión de los largos de fabricación de cable de fibra óptica tendrán una determinada distribución probabilística que hay que tener en cuenta para conseguir los diseños más económicos. Las cláusulas de este apéndice deben leerse teniendo presente la naturaleza estadística de los diversos parámetros.

Los atributos del enlace se ven afectados por factores ajenos al propio cable de fibra óptica, tales como los empalmes, los conectores y la instalación. Estos factores no pueden especificarse en esta Recomendación. A los efectos de la estimación de los valores de las características del enlace, en los cuadros siguientes se presentan valores típicos para un enlace de fibra óptica. Los métodos de estimación de los parámetros necesarios para el diseño del sistema están basados en mediciones, modelos y otras consideraciones.

I.1 Atenuación

La atenuación A de un enlace viene dada por:

$$A = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y \quad (\text{I-1})$$

donde:

- α coeficiente de atenuación típico de los cables de fibra en un enlace
- α_s atenuación media por empalme
- x número de empalmes de un enlace
- α_c atenuación media de los conectores de línea
- y número de conectores de línea de un enlace (si se facilita)
- L longitud del enlace

Debe preverse un margen adecuado para futuras modificaciones de la configuración del cable (empalmes suplementarios, largos de cable suplementarios, efectos del envejecimiento, variaciones de temperatura, etc.). La expresión (I-1) no incluye la pérdida de los conectores del equipo. Los valores típicos indicados en I.5 corresponden al coeficiente de atenuación de un enlace de fibra óptica. En las previsiones de atenuación para el diseño de un sistema real deben tenerse en cuenta las variaciones estadísticas de esos parámetros.

I.2 Dispersión cromática

La dispersión cromática, expresada en ps/nm, puede obtenerse a partir de los coeficientes de dispersión cromática de los largos de fabricación, suponiendo una dependencia lineal con la longitud y respetando los signos de los coeficientes (véase 5.10).

Se suele emplear alguna forma de compensación de la dispersión cromática cuando estas fibras se utilizan para transmitir en la región de 1550 nm. En este caso, se utiliza en el diseño la dispersión cromática media del enlace. La dispersión medida en la ventana de 1550 nm puede caracterizarse en dicha ventana mediante una relación lineal con la longitud de onda. La relación se describe en función del coeficiente de dispersión cromática medio y del coeficiente de la pendiente de dispersión a 1550 nm.

En la cláusula I.1 se incluyen valores típicos del coeficiente de dispersión cromática, D_{1550} , y del coeficiente de pendiente de la dispersión cromática, S_{1550} , a 1550 nm. Estos valores pueden utilizarse, junto con la longitud del enlace, L_{Link} , para calcular la dispersión cromática típica que debe utilizarse en el diseño de enlaces ópticos.

$$D_{Link}(\lambda) = L_{Link} [D_{1550} + S_{1550}(\lambda - 1550)] \quad (\text{ps/nm}) \quad (\text{I-2})$$

I.3 Retardo de grupo diferencial (DGD)

El retardo de grupo diferencial es la diferencia observada entre los instantes de llegada de dos modos de polarización para una longitud de onda y un instante determinados. En el caso de un enlace con un coeficiente de PMD específico, el DGD del enlace varía de forma aleatoria con el tiempo y la longitud de onda como una distribución de Maxwell con un solo parámetro (el producto del coeficiente de PMD del enlace y de la raíz cuadrada de la longitud del mismo). Las degradaciones del sistema debidas al PMD para un instante y longitud de onda determinados, dependen del DGD para dicho instante y longitud de onda. Por lo tanto, se han desarrollado los medios necesarios para establecer límites prácticos en la distribución del DGD, dado que éste se relaciona con la distribución del coeficiente de PMD del cable de fibra óptica y con sus límites. Estos medios se especifican en CEI 61282-3 y se resumen en el apéndice IV. A continuación se describen los principios de las limitaciones de la distribución de DGD.

NOTA – La determinación de la contribución de componentes distintos al cable de fibra óptica queda fuera del ámbito de esta Recomendación, pero se analiza en CEI 61282-3.

Longitud del enlace de referencia (L_{Ref} , *reference link length*): es la longitud de enlace máxima a la que se aplica el DGD máximo y su probabilidad. Para enlaces más largos, se multiplica el máximo de DGD por la raíz cuadrada de la relación entre la longitud real y la longitud de referencia.

Longitud de cable máxima típica (L_{Cab} , *typical maximum cable length*): los valores máximos están asegurados cuando la longitud de cada uno de los cables típicos de la concatenación o de los tramos de cable medidos para determinar la distribución del coeficiente de PMD, es inferior a este valor.

DGD máximo, $DGD_{m\acute{a}x}$: valor de DGD que puede utilizarse considerando el diseño del sistema óptico.

Probabilidad máxima, P_F : probabilidad de que el valor DGD real sea superior a $DGD_{m\acute{a}x}$.

La cláusula I.5 contiene valores apropiados para estos principios, para un cable de fibra óptica conforme a los límites estadísticos de PMD, en los cuadros 1 y 2.

I.4 Coeficiente no lineal

El efecto de la dispersión cromática interactúa con el coeficiente no lineal, n_2/A_{eff} , en lo relativo a las degradaciones del sistema inducidas por efectos ópticos no lineales (véase la Rec. UIT-T G.663). Los valores típicos dependen de la implementación. Los métodos de prueba para un coeficiente no lineal quedan en estudio.

I.5 Cuadros de valores típicos comunes

Los valores del cuadro I.1 son representativos de enlaces de fibra óptica concatenados de acuerdo con I.1, I.2 e I.3.

Cuadro I.1/G.654 – Valor representativo de un enlace de fibra óptica concatenado

Coeficiente de atenuación	Longitud de onda	Valor típico del enlace (nota 2)
	1550 nm	0,25 dB/km
	1625	TBD
Parámetro de dispersión cromática	D ₁₅₅₀	TBD
	S ₁₅₅₀	TBD
Retardo de grupo diferencial (DGD) (nota 1)	Longitud de referencia del enlace	400 km
	Longitud típica máxima de la sección de cable	10 km
	DGD máximo	25 ps
	Probabilidad máxima	$6,5 \times 10^{-8}$
<p>NOTA 1 – Estos valores sólo son apropiados cuando se especifican valores de PMD_Q en los cuadros 1 y 2.</p> <p>NOTA 2 – El valor típico del enlace corresponde al coeficiente de atenuación utilizado en la Rec. UIT-T G.957 y la Rec. UIT-T G.691.</p>		

Apéndice II

Ejemplos de directrices para el diseño de fibras G.654.A

El diámetro del campo modal (MFD) $2W$ y la longitud de onda de corte efectiva λ_{ce} son parámetros muy importantes para el diseño de fibras ópticas. En la figura II.1¹ se muestran las curvas de la pérdida por equiflexión α_b , de la dispersión D y del índice de refracción Δ de cada una de las fibras con revestimiento a una longitud de onda de $1,55 \mu\text{m}$ en función de $2W$ y de λ_{ce} . El área del paralelogramo corresponde a una fibra óptica monomodo optimizada a $1,31 \mu\text{m}$ conforme a la ventana de la fibra G.652 ($2W_{1,55\mu\text{m}} = 10 \pm 1,0 \mu\text{m}$, $1,10 \mu\text{m} < \lambda_{ce} < 1,28 \mu\text{m}$). De la figura II.1 se desprende que la fibra óptica monomodo optimizada a $1,31 \mu\text{m}$ (SMF, *single-mode optical fibre*; G.652) y realizada con un diseño de revestimiento deprimido resulta afectada significativamente por la pérdida por macroflexión en la región de $1,55 \mu\text{m}$. La pérdida debida a la microflexión puede considerarse equivalente a la pérdida por macroflexión para el radio de equiflexión R_e .

El aumento de atenuación debido al proceso de cableado es de aproximadamente $0,015 \text{ dB/km}$ a una longitud de onda de $1,55 \mu\text{m}$ para fibra óptica monomodo ($V \cong 1,7$) correspondiendo dicho valor a un radio de curvatura $R_e = 45 \text{ mm}$. En este caso, la pérdida teórica por microflexión se calcula mediante un radio de macroflexión equivalente $R_e = 45 \text{ mm}$.

Para mantener las características de baja atenuación de las fibras ópticas, se limita en lo posible la pérdida adicional debida al proceso de cableado. De la figura II.1 se desprende que para conseguir una pérdida por cableado de menos de $0,005 \text{ dB/km}$, el límite superior del diámetro de campo modal (MFD) $2W$ y el límite inferior de la longitud de onda de corte efectiva λ_{ce} deben ser aproximadamente $11,5 \mu\text{m}$ y $1,35 \mu\text{m}$, respectivamente, la zona de la figura II.1 sombreada por

¹ NAMIHIRA (Y.), HORIUCHI (Y.) y WAKABAYASHI (H.): Optimum fibre parameters of low-loss single-mode optical fibres for use in $1.55 \mu\text{m}$ wavelength regions, *Electronics Letters*, Vol. 23, No. 18, p. 963-964, 1987.

rayas representa los valores óptimos de los parámetros de las fibras ópticas. El aumento de la longitud de onda efectiva λ_{ce} puede mejorar la resistencia a la microflexión a $1,55 \mu\text{m}$ sin aumentar la pérdida intrínseca de la fibra, no obstante lo cual, el límite superior de la longitud de onda de corte efectiva λ_{ce} (hasta $1,60 \mu\text{m}$) debe determinarse teniendo en cuenta el funcionamiento monomodo con secciones de cable más largas. En este ejemplo, la diferencia entre la longitud de onda de corte efectiva de una fibra con revestimiento UV (2 m) y una fibra cableada de gran longitud (de más de 20 km) es aproximadamente de 70 nm .

Los puntos (•) de la figura II.1 representan medidas realizadas sobre muestras de fibra óptica monomodo con corte desplazado (CSF) y atenuación minimizada a $1,55 \mu\text{m}$, cuyos parámetros se muestran en el cuadro II.1. En dicho cuadro, las fibras 1 y 2 son fibras con núcleo de sílice puro y revestimiento con baja concentración de flúor (F), las fibras 3 y 4 son fibras con núcleo ligeramente dopado con germanio (Ge) y flúor, y revestimiento con baja concentración de flúor, y la fibra 5 es una fibra convencional con núcleo dopado con germanio. Asimismo, la fibra 6 es una fibra óptica monomodo normalizada a $1,31 \mu\text{m}$. Del cuadro II.1 se desprende que la atenuación y la dispersión cromática de las fibras eran $0,176\text{-}0,197 \text{ dB/km}$ y $17,7\text{-}19,3 \text{ ps/nm-km}$, respectivamente. Los coeficientes de dispersión de Rayleigh, A_0 y la atenuación independiente de la longitud de onda, B_0 de estas fibras ópticas se encuentran entre $0,83\text{-}0,97 \text{ dB/km-}\mu\text{m}^4$ y $0,011\text{-}0,015 \text{ dB/km}$, respectivamente.

En la figura II.2 se muestran los resultados experimentales relativos a la pérdida por macroflexión de fibras con corte desplazado y atenuación mínima a $1,55 \mu\text{m}$ (CSF, fibras 1 a 5) y de una fibra optimizada a $1,31 \mu\text{m}$ (SMF, fibra 6). De dicha figura se desprende que la pérdida por macroflexión de fibras con corte desplazado y atenuación mínima a $1,55 \mu\text{m}$ (CSF) a una longitud de onda de $1,55 \mu\text{m}$, es inferior a la de una fibra óptica monomodo convencional (G.652) a la longitud de onda de funcionamiento del sistema de $1,31 \mu\text{m}$.

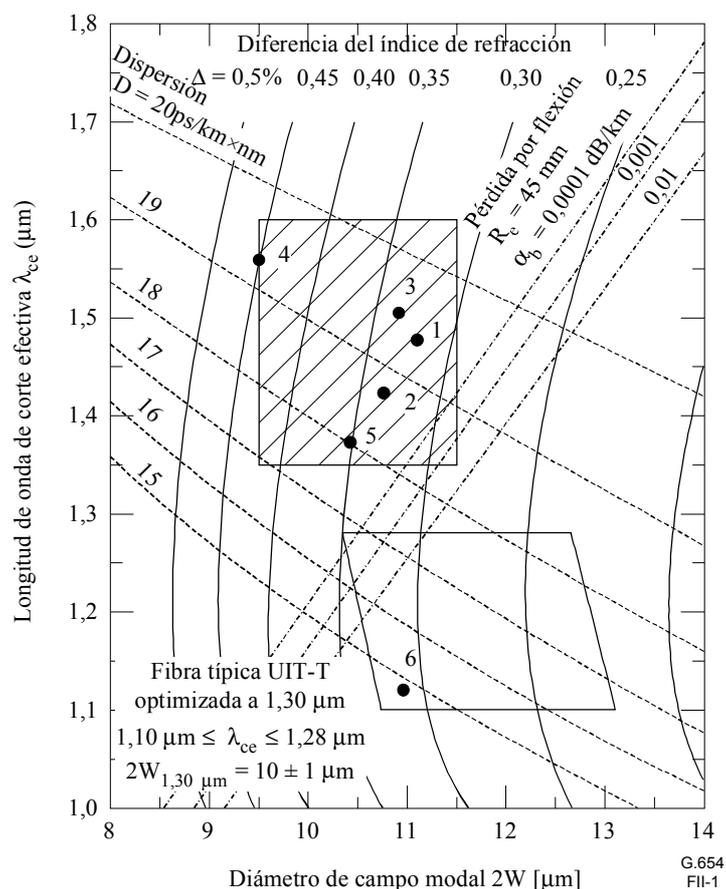
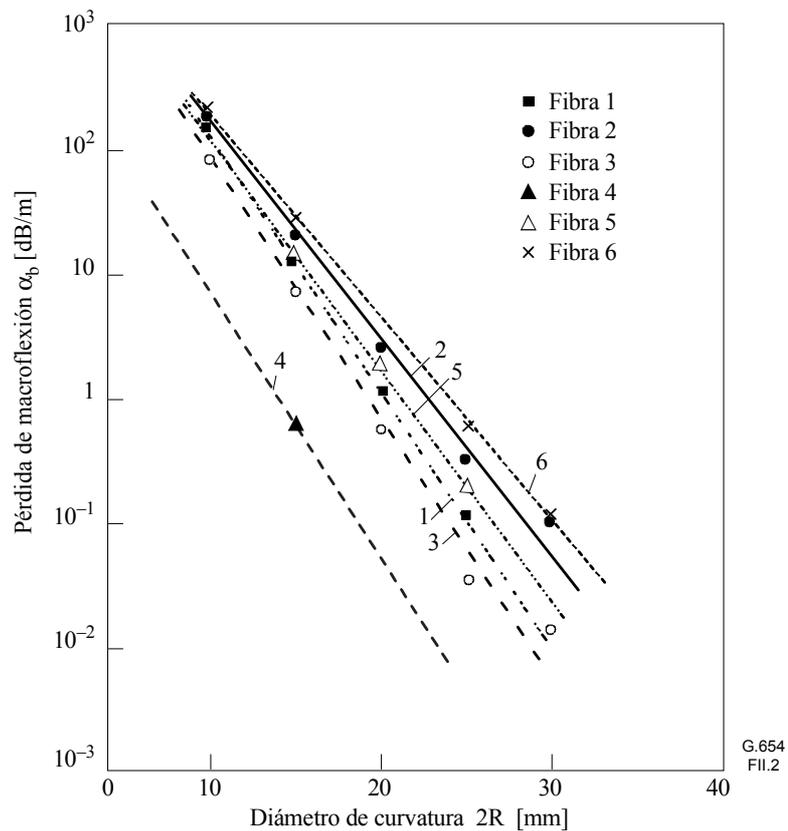


Figura II.1/G.654 – Curvas de pérdidas por equiflexión α_b , de dispersión cromática D y del índice de refracción Δ a $1,55 \mu\text{m}$ en función del diámetro de campo modal $2W$ y de la longitud de onda de corte efectiva λ_{ce}

Cuadro II.1/G.654 – Parámetros de fibras ópticas monomodo con corte desplazado y atenuación mínima a $1,55 \mu\text{m}$ (UIT-T G.654.A)

Fibra	MFD [μm] @ $1,55 \mu\text{m}$	λ_{ce} [μm]	Δ [%]	Atenuación [dB/km] @ $1,55 \mu\text{m}$ (@ $1,30 \mu\text{m}$)	Dispersión [ps/nm-km] @ $1,55 \mu\text{m}$ (@ $1,30 \mu\text{m}$)
1	11,1	1,48	0,33	0,176 (0,320)	19,27
2	10,8	1,43	0,34	0,184 (0,323)	18,69
3	10,9	1,51	0,35	0,181 (0,348)	18,92
4	9,50	1,56	0,45	0,189 (0,334)	18,99
5	10,1	1,38	0,35	0,197 (0,351)	17,67
Mín ~ máx	9,50 ~ 11,1	1,38 ~ 1,56	0,33 ~ 0,45	0,176 ~ 0,197 (0,320 ~ 0,351)	17,67 ~ 19,27

Fibras 1 y 2: con núcleo de sílice puro; fibras 3 y 4: con núcleo dopado ligeramente con germanio y revestimiento con baja concentración de flúor; fibra 5: convencional con núcleo dopado con germanio.



NOTA – Las cruces (curva de trazo discontinuo) representan la fibra tipo 6, una típica fibra G.652 para $\lambda = 1,30 \mu\text{m}$ ($\lambda_{\text{cc}} \cong 1,12 \mu\text{m}$, $2W_{1,30\mu\text{m}} \cong 9,20$, $\Delta \cong 0,33\%$).

Figura II.2/G.654 – Pérdida por macroflexión en función del diámetro de curvatura de las muestras de fibras ópticas monomodo de prueba a 1,55 μm

Apéndice III

Información sobre estadísticas de la dispersión por modo de polarización

Este apéndice tiene por objeto resumir algunos de los cálculos estadísticos de la dispersión por modo de polarización (PMD). En CEI 61282-3 se documentan con mayor detalle los cálculos y la teoría aplicada. Este apéndice se estructura en las cláusulas siguientes:

- III.1 Introducción
- III.2 Registro de datos
- III.3 Cálculo de PMD_Q (Monte Carlo)
- III.4 Cálculo de $\text{DGD}_{\text{máx}}$ (Monte Carlo)

NOTA – En CEI 61282-3 se definen y utilizan otros métodos de cálculo. En este caso se utiliza el método de Monte Carlo por ser el de más fácil descripción.

III.1 Introducción

La dispersión por modo de polarización (PMD) es un atributo estadístico que se define, para una fibra determinada, como el valor medio de los valores del retardo diferencial de grupo (DGD) para una serie de longitudes de onda. Dado que los valores de DGD son aleatorios con el tiempo y la longitud de onda, es más bajo el límite teórico de reproducibilidad que puede conseguirse para el

valor de PMD $\pm 15\%$ aproximadamente. Por eso no es adecuado seleccionar determinadas fibras o cables según una especificación que es más estricta que la propia capacidad del proceso. Esta forma de selección puede ser apropiada para atributos determinísticos como la atenuación, pero no lo es en general para la PMD. Ello significa que es más razonable disponer de una especificación de la distribución global del proceso.

Una segunda consideración referida a la funcionalidad de la PMD es que las degradaciones del sistema para un instante y una longitud de onda dadas están controladas por el valor de DGD, que varía estadísticamente alrededor del valor de PMD. Si para una fibra cableada en particular se dispone del valor de PMD, puede calcularse la probabilidad de que DGD supere un valor dado. No obstante, es patente que la aplicación de estas fórmulas a un valor máximo especificado produce una visión muy inexacta del comportamiento real del sistema. Sin embargo, con una especificación estadística basada en la PMD se puede obtener un límite estadístico de los valores de DGD para todo el sistema. Este límite, definido en términos de probabilidad, conduce a un valor que se utiliza en el diseño del sistema, que es aproximadamente un 20% inferior al valor de DGD y dos órdenes de magnitud inferior a los valores que se obtendrían sin utilizar una especificación estadística.

Debido a la primera consideración, es conveniente definir una sola métrica estadística para la distribución de los valores de PMD medidos en cables de fibra óptica. Por tanto, la métrica debe incorporar ambos aspectos, a saber, la media y la variabilidad del proceso. La métrica es precisamente el límite de confianza superior para un nivel de probabilidad.

Es bien conocido que el coeficiente de PMD de un conjunto de cables concatenados puede estimarse mediante el cálculo del valor cuadrático medio de los coeficientes de PMD de los distintos cables. Para que la métrica del límite de confianza superior tenga un significado más preciso en términos de aplicación, se calcula el límite superior de un enlace concatenado formado por veinte cables. Es inferior al número de cables utilizado en la mayoría de los enlaces, pero es suficientemente grande para permitir la estimación de distribuciones de DGD en enlaces concatenados. También se ha normalizado un valor de probabilidad del 0,01% – parcialmente sobre la base de obtener la equivalencia con la probabilidad de que el DGD supere un límite que debe ser muy bajo. El límite de confianza superior se denomina PMD_Q , o valor de diseño del enlace, y este tipo de especificación se denomina método 1.

El límite de probabilidad para DGD se fija en $6,5 \cdot 10^{-8}$ en función de varias consideraciones del sistema, incluida la presencia en los enlaces de otros componentes que generan PMD. En CEI 61282-3 se describe un método para determinar un máximo (definido en términos de probabilidad), de tal forma que si una distribución cumple los requisitos del método 1, el DGD a lo largo de enlaces formados exclusivamente por cable de fibra óptica será superior al valor máximo de DGD con una probabilidad inferior a $6,5 \cdot 10^{-8}$. El valor $DGD_{m\acute{a}x}$ se establece para una amplia gama de formas de la distribución. Este método para la especificación de la distribución de la PMD de cables de fibra óptica basado en el $DGD_{m\acute{a}x}$, se conoce como método 2. En CEI 61282-3 se presentan algunos métodos para combinar los parámetros del método 2 con los de otros componentes ópticos.

El método 1 es una métrica basada en mediciones y, por tanto, de utilización más directa como requisito normativo en transacciones y en el comercio en general. El método 2 es una forma de extrapolar las implicaciones para el diseño del sistema y, por tanto, constituye información para el diseño del mismo.

III.2 Registro de datos

Los cálculos se realizan con valores de PMD que son representativos de una determinada construcción de cable y un instante de fabricación específico. Normalmente se requieren 100 valores. La muestra se toma normalmente de distintos cables en producción y en distintas ubicaciones de fibras en los cables.

La distribución del cable puede ampliarse mediante medidas de fibras no cableadas, siempre que exista una relación estable entre la fibra no cableada y los valores de cable para un tipo de construcción dado. Una forma de ampliación es obtener varios valores posibles para el cable a partir del valor de cada fibra no cableada. Estos valores deben ser seleccionados de forma aleatoria para representar la relación habitual y la variabilidad derivada, por ejemplo, de la reproducibilidad de las mediciones. Dado que la gama de variaciones incluye un error de reproducibilidad, este método de estimación de la distribución de los valores de PMD del cable puede dar lugar a una sobreestimación del valor de PMD_Q .

La longitud de las muestras medidas puede influir en los resultados del método 2. Tras estudiar este asunto, se ha llegado a la conclusión siguiente. Las implicaciones del método 2 son válidas para cualquier enlace de menos de 400 km en la medida en que:

- las secciones de cable instaladas sean menores de 10 km, o
- las longitudes medidas sean menores de 10 km.

III.3 Cálculo de PMD_Q (Monte Carlo)

En CEI 61282-3 se presentan otros métodos de cálculo. A continuación se describe el método de Monte Carlo pues es el más sencillo de describir y el que hace un menor número de supuestos.

Los valores medidos de los coeficientes de PMD se representan por x_i , siendo i de 1 a N , el número de mediciones realizadas. Estos valores se utilizan para generar 100 000 valores de coeficientes de PMD de enlaces concatenados, calculado cada uno como el valor cuadrático medio de los 20 valores de cable individuales seleccionados de forma aleatoria de la población muestral.

NOTA – Si $N = 100$, existen $5,3 \cdot 10^{20}$ posibles valores de enlaces.

Seleccionar 20 números aleatorios comprendidos entre 1 y N , para cada cálculo de valor de enlace, y asignar a cada uno un índice k . El coeficiente de PMD del enlace, y , se calcula de esta forma:

$$y = \left(\frac{1}{20} \sum_{k=1}^{20} x_k^2 \right)^{1/2} \quad \text{(III-1)}$$

Representar los 100 000 valores de y en un histograma de alta densidad conforme se van calculando. Una vez realizado dicho cálculo, se calcula la función de probabilidad acumulada del histograma para determinar el valor de PMD asociado con un nivel del 99,99%. Dicho valor se denomina PMD_Q . Si el valor calculado de PMD_Q es menor que el valor especificado $\{0,5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}\}$, se considera que la distribución pasa el método 1.

III.4 Cálculo para $DGD_{\text{máx}}$ (Monte Carlo)

Este cálculo se basa a su vez en el cálculo de PMD_Q . Se predefine un valor de $DGD_{\text{máx}}$ (a 25 ps) y se calcula la probabilidad, P_F , de que se supere dicho valor. Si la probabilidad calculada es inferior al valor especificado ($6,5 \cdot 10^{-8}$), la distribución pasa el método 2.

Antes de iniciar el procedimiento de Monte Carlo, se calcula el límite del coeficiente de PMD, $P_{\text{máx}}$, como sigue:

$$P_{\text{máx}} = \frac{DGD_{\text{máx}}}{\sqrt{L_{\text{ref}}}} = \frac{25}{20} = 1,25$$

Para los siguientes pares de valores de concatenación, y_{2j-1} e y_{2j} , correspondientes a enlaces de 20 cables, se genera un valor de concatenación, z_j correspondiente a enlaces de 40 cables:

$$z_j = \left(\frac{y_{2j-1}^2 + y_{2j}^2}{2} \right)^{1/2} \quad (\text{III-2})$$

NOTA – Con ello se generan 50 000 valores de z_j , que constituye un número adecuado.

Calcular la probabilidad de que se supere $DGD_{\text{máx}}$ en la concatenación j -ésima de enlaces de 40 cables, p_j , de esta forma:

$$p_j = 1 - \int_0^{P_{\text{máx}}/z_j} 2 \left(\frac{4}{\pi} \right)^{3/2} \frac{t^2}{\Gamma(3/2)} \exp \left[-\frac{4}{\pi} t^2 \right] dt \quad (\text{III-3})$$

En la hoja de cálculo ExcellTM existe una función que puede realizar el cálculo de p_j , en concreto la función GAMMADIST (X, ALFA, BETA, Acum). La llamada a esta función debe hacerse de la forma siguiente:

$$PJ = 1 - \text{GAMMADIST}(4 * P_{\text{MAX}} * P_{\text{MAX}} / (\text{PI}() * ZI * ZI), 1.5, 1, \text{TRUE}) \quad (\text{III-4})$$

La probabilidad de que se supere $DGD_{\text{máx}}$, P_F , es:

$$P_F = \frac{1}{50000} \sum_j p_j \quad (\text{III-5})$$

Si P_F es menor que el valor especificado, la distribución pasa el método 2.

Apéndice IV

Bibliografía

- [1] CEI 61282-3 (en preparación), *Guidelines for the calculation of PMD in Fibre Optic Systems*.

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie B	Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación
Serie C	Estadísticas generales de telecomunicaciones
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedios
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedios
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	RGT y mantenimiento de redes: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos
Serie Y	Infraestructura mundial de la información y aspectos del protocolo Internet
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación