

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.652

(06/2005)

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

Características de los medios de transmisión – Cables
de fibra óptica

Características de las fibras y cables ópticos monomodo

Recomendación UIT-T G.652

UIT-T



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 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
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 TRANSMISIÓN – ASPECTOS GENÉRICOS Y ASPECTOS RELACIONADOS AL USUARIO	G.1000–G.1999
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.6000–G.6999
DATOS SOBRE CAPA DE TRANSPORTE – ASPECTOS GENÉRICOS	G.7000–G.7999
ASPECTOS RELATIVOS AL PROTOCOLO ETHERNET SOBRE LA CAPA DE TRANSPORTE	G.8000–G.8999
REDES DE ACCESO	G.9000–G.9999

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

Recomendación UIT-T G.652

Características de las fibras y cables ópticos monomodo

Resumen

Esta Recomendación describe las características geométricas, mecánicas y de transmisión de fibras y cables ópticos monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1310 nm. En un principio, esta fibra fue diseñada para funcionar óptimamente en la región de longitud de onda de 1310 nm, pero puede asimismo utilizarse en la región de 1550 nm. Ésta es la última revisión de una Recomendación publicada por primera vez en 1984. En esta revisión se deja claro que debe especificarse el parámetro PMD_Q en las fibras no cableadas y se hacen más estrictos ciertos márgenes de tolerancia. Mediante la presente revisión se pretende mantener el ininterrumpido éxito comercial de esta fibra en los sistemas de transmisión óptica de alta calidad, que no dejan de evolucionar.

Orígenes

La Recomendación UIT-T G.652 fue aprobada el 29 de junio de 2005 por la Comisión de Estudio 15 (2005-2008) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

Historia

Versión	Fecha de aprobación	
Versión 1	(10/1984)	
Versión 2	(11/1988)	
Versión 3	(03/1993)	
Versión 4	(04/1997)	
Versión 5	(10/2000)	En esta revisión se añadieron cuadros para los distintos niveles de soporte del sistema.
Versión 6	(03/2003)	En esta revisión se aclara la nomenclatura de las distintas categorías de fibras. Asimismo, de conformidad con el acuerdo sobre la descripción de las bandas de espectro, se modificó el límite superior de la banda L, de 16XX a 1625 nm. Las características de atenuación para las categorías con cresta de agua reducida (G.652.C y G.652.D) se generalizan para una amplia región en vez de para una única longitud de onda. Se añaden requisitos de PMD para todas las categorías y en dos de ellas se han reducido los límites (en comparación con el $0,5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$). En cuanto a la prueba de macroflexión, el diámetro del mandril se ha reducido a un radio de 30 mm. Como se indica anteriormente, esta Recomendación ha evolucionado considerablemente a lo largo del tiempo, por lo que se insta al lector a remitirse a la versión apropiada para determinar las características de productos ya en uso, teniendo en cuenta su año de producción. De hecho, los productos deben cumplir con las Recomendaciones en vigor en el momento de su fabricación, pero es posible que no cumplan plenamente los requisitos de las versiones posteriores de la Recomendación.
Versión 7	(06/2005)	Se señala el soporte de las aplicaciones G.695. Se precisa el método aplicable para atender los valores del coeficiente de dispersión cromático y en 5.10 se indica la utilización de estos valores junto con la utilización de las estadísticas de dispersión cromática para el diseño de sistemas. En 6.2 se precisa la relación entre el parámetro PMD_Q de la fibra no cableada y de la fibra cableada. En el cuadro de requisitos: Se elimina la línea correspondiente a la PMD de la fibra no cableada y se modifica la nota correspondiente a la PMD que se requiere en el caso de la fibra no cableada. Se reduce la tolerancia de la MFD en 1310 nm. Se reduce la pendiente de dispersión máxima en la longitud de onda correspondiente a una dispersión nula. Se reduce el error máximo de concentricidad. Se reduce la pérdida máxima de macroflexión. La formulación del requisito de máximo hídrico en los cuadros 3 y 4 se modifica con el fin de tomar en consideración la especificación en toda la gama de valores frente a la especificación en 1310 nm.

PREFACIO

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

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

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

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

NOTA

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

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

PROPIEDAD INTELECTUAL

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

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT 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 2005

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 Terminología y definiciones	2
4 Abreviaturas, siglas o acrónimos	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
5.5 Longitud de onda de corte	3
5.6 Pérdida por macroflexiones.....	4
5.7 Propiedades materiales de la fibra.....	4
5.8 Perfil del índice de refracción.....	4
5.9 Uniformidad longitudinal de la dispersión cromática	4
5.10 Coeficiente de dispersión cromática.....	5
6 Características del cable	5
6.1 Coeficiente de atenuación.....	6
6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización	6
7 Cuadros de valores recomendados.....	6
Apéndice I – Información de los atributos del enlace y de diseño del sistema.....	11
I.1 Atenuación.....	11
I.2 Dispersión cromática	11
I.3 Retardo de grupo diferencial (DGD).....	12
I.4 Coeficiente no lineal.....	12
I.5 Cuadros de valores típicos comunes.....	12
BIBLIOGRAFÍA	14

Recomendación UIT-T G.652

Características de las fibras y cables ópticos monomodo

1 Alcance

Esta Recomendación describe un cable de fibra monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1310 nm, optimizado para uso en la región de longitud de onda de 1310 nm, y que puede utilizarse también en longitudes de onda en la región de 1550 nm (en las que la fibra no está optimizada). Esta fibra puede utilizarse para transmisión analógica y digital.

Las características geométricas, ópticas, mecánicas y de transmisión de esta fibra se describen más adelante 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 basadas en medidas, modelado u otras consideraciones. Los atributos de enlace y de diseño del sistema se describen en el apéndice I.

Esta Recomendación y las distintas categorías de calidad que se especifican en los cuadros de la cláusula 7 pueden soportar los sistemas conexos de las siguientes Recomendaciones:

- Rec. UIT-T G.957.
- Rec. UIT-T G.691.
- Rec. UIT-T G.692.
- Rec. UIT-T G.693.
- Rec. UIT-T G.959.1.
- Rec. UIT-T G.695.

NOTA – En función de la longitud de los enlaces, puede ser necesaria un cierto grado de acomodación de la dispersión para ciertos códigos de aplicación G.691, G.692 o G.959.1.

El significado de los términos empleados en esta Recomendación y las directrices que han de seguirse en las mediciones para verificar las diversas características se indican en las Recs. 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

2.1 Referencias normativas

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes. En esta Recomendación, la referencia a un documento, en tanto que autónomo, no le otorga el rango de una Recomendación.

- Recomendación UIT-T G.650.1 (2004), *Definiciones y métodos de prueba de los atributos lineales y determinísticos de fibras y cables monomodo.*

- Recomendación UIT-T G.650.2 (2005), *Definiciones y métodos de prueba de los atributos conexos de las características estadísticas y no lineales de fibras y cables monomodo.*
- CEI 60793-2-50 (2004), *Optical fibres – Part 2-50: Product specifications – Sectional specification for class B single-mode fibres.*

2.2 Referencias informativas

- Recomendación UIT-T G.663 (2000), *Aspectos relacionados con la aplicación de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.691 (2003), *Interfaces ópticas para los sistemas monocanal STM-64 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.693 (2005), *Interfaces ópticas para sistemas de conexión local.*
- Recomendación UIT-T G.695 (2005), *Interfaces ópticas para aplicaciones de multiplexación por división aproximada en longitud de onda.*
- Recomendación UIT-T G.957 (1999), *Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital síncrona.*
- Recomendación UIT-T G.959.1 (2003), *Interfaces de capa física de red óptica de transporte.*

3 Terminología y definiciones

Para los fines de esta Recomendación, se aplican las definiciones contenidas en las Recs. UIT-T G.650.1 y G.650.2. Los valores se redondean al número de dígitos presentes en los cuadros de valores recomendados antes de evaluar su conformidad.

4 Abreviaturas, siglas o acrónimos

En esta Recomendación se utilizan las siguientes abreviaturas, siglas o acrónimos.

A_{eff}	Área efectiva (<i>effective area</i>)
DGD	Retardo diferencial de grupo (<i>differential group delay</i>)
DWDM	Multiplexación por división en longitud de onda densa (<i>dense wavelength division multiplexing</i>)
GPa	Gigapascal
PMD	Dispersión por modo de polarización (<i>polarization mode dispersion</i>)
PMD _Q	Parámetro estadístico para enlaces de tipo PMD (<i>statistical parameter for link PMD</i>)
SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
TBD	Por determinar (<i>to be determined</i>)
WDM	Multiplexación por división en 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 mínima estructura de diseño esencial para la fabricación de fibras. En la cláusula 7 se establecen gamas de valores o límites a los mismos. De éstas, la longitud de onda de corte de la fibra cableada y la dispersión por modo de polarización (PMD, *polarization mode dispersion*) pueden verse

apreciablemente afectadas por la fabricación o la instalación del cable. Además, las características recomendadas se aplicarán igualmente a las fibras individuales, a las fibras incorporadas en un cable enrollado en un tambor y a las fibras en cables instalados.

5.1 Diámetro del campo modal

El valor nominal y la tolerancia del mismo se especifican para 1310 nm. El valor nominal especificado debe encontrarse comprendido en la gama de valores de la cláusula 7. La tolerancia especificada no debe exceder el valor especificado en la cláusula 7. La desviación con 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 . También se especifica en la cláusula 7 una tolerancia cuyo valor no debe ser superado. La desviación del diámetro del revestimiento no debe exceder la tolerancia especificada.

5.3 Error de concentricidad del núcleo

El error de concentricidad del núcleo no debe exceder el 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 lo suficientemente baja como para que la propagación y las uniones no se vean afectadas. 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 el valor especificado en la cláusula 7.

5.5 Longitud de onda de corte

Pueden distinguirse tres tipos útiles de longitudes de onda de corte:

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

NOTA – Para algunas aplicaciones específicas de cables submarinos pueden ser necesarias otras longitudes de onda.

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 largo mínimo de cable entre uniones a la mínima longitud de onda de funcionamiento del sistema. Ello puede conseguirse recomendando que la máxima longitud de onda de corte λ_{cc} de una fibra monomodo cableada sea 1260 nm o, en el caso de cables puente, recomendando que la máxima longitud de onda de corte sea de 1250 nm o, para el peor caso en longitud y flexión de la fibra, recomendando que la máxima longitud de onda de corte de la fibra sea 1250 nm.

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

5.6 Pérdida por macroflexiones

Las pérdidas por macroflexiones varían con la longitud de onda, el radio de curvatura y el número de vueltas alrededor del mandril con un radio determinado. La pérdida por macroflexión no debe exceder lo especificado en la cláusula 7 para la longitud de onda especificada, el radio de curvatura y el número de vueltas.

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

NOTA 2 – El número recomendado de vueltas se corresponde al número aproximado de vueltas utilizadas 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 instalaciones de sistemas reales para evitar un fallo por fatiga estática.

NOTA 3 – Si por razones de orden práctico se adopta un número de vueltas inferior al recomendado, se sugiere utilizar un número no inferior a 40 vueltas, siendo entonces el incremento de las pérdidas proporcionalmente menor.

NOTA 4 – La recomendación de pérdidas por macroflexión se refiere el montaje de las fibras en instalaciones reales de fibra 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 5 – Cuando se requieran pruebas de rutina, en lugar del valor recomendado puede utilizarse un bucle de menor diámetro de una o varias vueltas con el objeto de conseguir precisión y facilitar la medida. En este caso, el diámetro del bucle, el número de vueltas y la máxima pérdida admisible por flexión para la prueba de varias vueltas deben elegirse de modo que exista una correspondencia con la prueba recomendada y la pérdida permitida.

5.7 Propiedades materiales de la fibra

5.7.1 Materiales de la fibra

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

NOTA – Debe procederse con cuidado al empalmar por fusión fibras de diferentes sustancias. Resultados provisionales de pruebas realizadas indican que pueden obtenerse características adecuadas de pérdida en los empalmes y de resistencia mecánica cuando se empalman 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 mínimo especificado en la cláusula 7.

NOTA – Las definiciones de los parámetros mecánicos figuran en 3.2 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 de la dispersión cromática

Queda en estudio.

NOTA – Para una longitud de onda concreta, el valor absoluto del coeficiente de dispersión cromática puede variar con 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, el efecto no lineal conocido por mezcla de cuatro ondas puede inducir la propagación de potencia a otras longitudes de onda, incluyendo, pero no estando limitado a, otras longitudes de onda de funcionamiento. 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 en 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.652 es lo suficientemente grande como para evitar la mezcla de cuatro ondas. La uniformidad de la dispersión cromática no es por tanto un aspecto de naturaleza funcional.

5.10 Coeficiente de dispersión cromática

Habrá que ajustar el retardo de grupo o el coeficiente de dispersión cromática a la longitud de onda, mediante la ecuación tripartita de Sellmeier, que se ha definido en el anexo A/G.650.1. (Véase 5.5/G.650.1 en lo que concierne a la interpolación de los valores de dispersión en longitudes de onda no medidas.)

La ecuación de Sellmeier puede utilizarse para ajustarse a los datos de cada intervalo de valores (1310 nm y 1550 nm) separadamente con dos ajustes, o con un ajuste común, utilizando datos de ambas gamas de valores.

El ajuste mediante la ecuación Sellmeier en la región de 1310 nm puede no ser suficientemente preciso si se extrapola a la región de 1550 nm. Como la dispersión cromática en esta última región es considerable, puede resultar aceptable esta menor precisión. En caso contrario, podría mejorarse la precisión, incluyendo datos de la región de 1550 nm al realizar el ajuste común, o al efectuar un ajuste separado para la región de 1550 nm. Hay que señalar que un ajuste común podría reducir la precisión en la región de 1310 nm.

El coeficiente de dispersión geométrica, D , se especifica estableciendo límites para los parámetros de una curva de dispersión cromática que sea función de la longitud de onda en la región de 1310 nm. El límite del coeficiente de dispersión cromática para cualquier longitud de onda, λ , se calcula utilizando la longitud de onda mínima de dispersión nula, $\lambda_{0\text{mín}}$, la longitud de onda máxima de dispersión nula, $\lambda_{0\text{máx}}$, y el coeficiente de la pendiente máxima de dispersión nula, $S_{0\text{máx}}$, en la siguiente expresión:

$$\frac{\lambda S_{0\text{máx}}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\text{máx}}}{\lambda} \right)^4 \right] \leq D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0\text{máx}}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0\text{mín}}}{\lambda} \right)^4 \right]$$

En los cuadros de la cláusula 7 deberán indicarse los límites de los valores de $\lambda_{0\text{mín}}$, $\lambda_{0\text{máx}}$, y $S_{0\text{máx}}$.

Los valores del coeficiente de dispersión cromática a longitudes de onda que van de 1500 nm a 1625 nm se utilizan también para diseñar sistemas o compensadores de dispersión cromática. Los valores del coeficiente de dispersión cromática a longitudes de onda seleccionadas en este intervalo de valores se evalúan con una ecuación Sellmeier de cinco términos o un modelo polinomial de cuarto orden basado en las mediciones realizadas en estas gamas de longitud de onda. Los diseños efectuados recurriendo a valores del coeficiente de dispersión cromática se basan normalmente en un enfoque estadístico similar al indicado en el Suplemento UIT-T G.39. En el apéndice I se enumeran los valores típicos para una banda de unos 1550 nm.

NOTA – En la mayoría de los casos no es necesario medir el coeficiente de dispersión cromática de fibra monomodal.

6 Características del cable

Dado que las características geométricas y ópticas de las fibras que se presentan 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 los 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 las regiones de 1310 nm y 1550 nm. Los valores del coeficiente de atenuación del cable de fibra óptica no deben exceder los valores especificados en la cláusula 7.

NOTA – El coeficiente de atenuación puede calcularse para una gama de longitudes de onda, en base a medidas realizadas sobre unas pocas longitudes de onda predictivas (3 a 4). Este procedimiento se describe en 5.4.4/G.650.1 y en el apéndice III/G.650.1 se presenta un ejemplo.

6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización

No todos los cuadros incluyen requisitos relativos a la dispersión por modo de polarización (PMD). Cuando es necesario, la dispersión por modo de polarización de la fibra cableada se especifica estadísticamente, no de forma individual para cada fibra. Los requisitos sólo hacen referencia a aspectos del enlace calculados a partir de información del cable. A continuación se describe la métrica de la información estadística. En CEI/TR 61282-3 se describen los métodos de cálculo que se resumen en el apéndice IV/G.650.2.

El fabricante debe proporcionar un valor de PMD de diseño del enlace, PMD_Q , que constituya 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 en términos de un bajo nivel de la probabilidad, Q, de que un valor de coeficiente de PMD concatenado sea mayor que PMD_Q . Para los valores de M y Q de la cláusula 7, el valor de PMD_Q no debe superar el coeficiente máximo de PMD especificado en la cláusula 7.

Las medidas y especificaciones obtenidas en fibras no cableadas son requisito necesario pero no suficiente para garantizar las especificaciones en fibra cableada. El valor máximo para el diseño de enlaces especificado en fibras no cableadas será inferior o igual al especificado en fibras cableadas. La relación de los valores de PMD en fibra no cableada y cableada dependerá de las circunstancias de la construcción y tratamiento del cable, así como del estado de acoplamiento del modo de la fibra no cableada. En la Rec. UIT-T G.650.2 se propone el despliegue de un bajo acoplamiento de modo, lo que exige que la fibra se enrolle con poca tensión en un carrete de gran diámetro para realizar mediciones PMD en fibra no cableada.

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 diferencial de grupo (DGD, *differential group delay*), que varía de forma aleatoria en función del tiempo y de 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 figuran la métrica y los valores de los límites de la distribución del DGD.

NOTA 1 – Sólo se requerirá una especificación PMD_Q cuando los cables se utilicen para sistemas que disponen de la especificación del DGD máximo, es decir, por ejemplo, no se aplicará la especificación PMD_Q para los sistemas de la Rec. UIT-T G.957.

NOTA 2 – Deberá calcularse la PMD_Q para distintos tipos de cables, generalmente utilizando valores PMD de muestra. Las muestras se obtendrán de cables de construcción similar.

NOTA 3 – La especificación PMD_Q no se aplicará a cables cortos como los cables puente, cables interiores y cables de bajada.

7 Cuadros de valores recomendados

Los cuadros siguientes resumen los valores recomendados para una serie de categorías de fibras que satisfacen los objetivos de esta Recomendación. Estas categorías se distinguen principalmente en función de los requisitos PMD y del requisito de atenuación en 1383 nm. En el apéndice I se incluye información sobre las distancias de transmisión y las velocidades binarias relativas a los requisitos PMD.

El cuadro 1, Atributos G.652.A, contiene los atributos y valores recomendados necesarios para soportar aplicaciones tales como las recomendadas en las Recs. UIT-T G.957 y G.691 para sistemas de hasta STM-16, así como 10 Gbit/s hasta 40 km (Ethernet) y STM-256 de la Rec. UIT-T G.693.

El cuadro 2, Atributos G.652.B, contiene los atributos y valores recomendados que son necesarios para soportar aplicaciones de mayor velocidad binaria, hasta STM-64, tales como algunas de las descritas en las Recs. UIT-TG.691 y G.692, y STM-256 para algunas aplicaciones de las Recs. UIT-TG.693 y G.959.1. En función de la aplicación, puede ser necesario adaptar la dispersión cromática.

El cuadro 3, Atributos G.652.C, es semejante al cuadro sobre G.652.A, pero permite transmisiones en partes de una gama de longitudes de onda ampliada desde 1360 nm a 1530 nm.

El cuadro 4, Atributos G.652.D, es semejante al cuadro sobre G.652.B, pero permite transmisiones en partes de una gama de longitudes de onda ampliada desde 1360 nm a 1530 nm.

Cuadro 1/G.652 – Atributos G.652.A

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 μm
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1550 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm
	$S_{0\text{máx}}$	0,092 ps/nm ² × km
Atributos del cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1310 nm	0,5 dB/km
	Máximo a 1550 nm	0,4 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PDM _Q máximo	0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTA – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD _Q para la fibra no cableada, con el fin de soportar el requisito primario impuesto al cable PMD _Q .		

Cuadro 2/G.652 – Atributos G.652.B

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 μm
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{mín}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm
	$S_{0\text{máx}}$	0,092 ps/nm ² × km
Atributos del cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1310 nm	0,4 dB/km
	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
	Máximo a 1625 nm	0,4 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTA – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD _Q para la fibra no cableada, con el fin de soportar el requisito primario impuesto al cable PMD _Q .		

Cuadro 3/G.652 – Atributos G.652.C

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 μm
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{mín}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm
	$S_{0\text{máx}}$	0,092 ps/nm ² × km
Atributos del cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 nm a 1625 nm (Nota 2)	0,4 dB/km
	Máximo de 1383 nm \pm 3 nm	(Nota 3)
	Máximo a 1550 nm	0,3 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
<p>NOTA 1 – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD_Q para la fibra no cableada, con el fin de soportar el requisito primario impuesto al cable PMD_Q.</p> <p>NOTA 2 – Esta región de longitud de onda puede ampliarse hasta 1260 nm añadiendo 0,07 dB/km de pérdida por dispersión de Rayleigh inducida al valor de atenuación a 1310 nm. En este caso, la longitud de onda de corte del cable no deberá sobrepasar 1250 nm.</p> <p>NOTA 3 – La atenuación media detectada en muestras a esta longitud de onda debe ser menor o igual al valor especificado para el intervalo 1310 nm a 1625 nm, después del proceso de envejecimiento del hidrógeno conforme a CEI 60793-2-50 en relación con la categoría de fibra B1.3.</p>		

Cuadro 4/G.652 – Atributos G.652.D

Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 μm
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,6 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{mín}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm
	$S_{0\text{máx}}$	0,092 ps/nm ² × km
Atributos del cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 nm a 1625 nm (Nota 2)	0,4 dB/km
	Máximo de 1383 nm ± 3 nm	(Nota 3)
	Máximo a 1550 nm	0,3 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
<p>NOTA 1 – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo del parámetro PMD_Q en la fibra no cableada para soportar el requisito primario de PMD_Q del cable.</p> <p>NOTA 2 – Esta región de longitud de onda puede ampliarse hasta 1260 nm añadiendo 0,07 dB/km de pérdida por dispersión de Rayleigh inducida al valor de atenuación a 1310 nm. En este caso, la longitud de onda de corte del cable no deberá sobrepasar 1250 nm.</p> <p>NOTA 3 – La atenuación media detectada en muestras a esta longitud de onda debe ser menor o igual al valor especificado para el intervalo 1310 nm a 1625 nm después del proceso de envejecimiento del hidrógeno conforme a CEI 60793-2-50 en relación con la categoría de fibra B1.3.</p>		

Apéndice I

Información de los atributos del enlace y de diseño del sistema

Un enlace concatenado incluye generalmente largos de cable de fibra óptica de fabricación empalmados. Los requisitos aplicables a los largos 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 largos del 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. Los párrafos 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 de enlaces de fibra óptica. Los métodos de estimación de parámetros necesarios para el diseño del sistema están basados en medidas, en el modelado o en otras consideraciones.

I.1 Atenuación

La atenuación A de un enlace viene dada por:

$$A = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y$$

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 anterior no incluye la pérdida de los conectores del equipo. Los valores típicos indicados en la cláusula I.5 corresponden al coeficiente de atenuación de enlaces de fibra óptica. El presupuesto de atenuación utilizado en el diseño de un sistema real debe tener en cuenta las variaciones estadísticas de esos parámetros.

I.2 Dispersión cromática

La dispersión cromática, expresada en ps/nm, puede obtenerse 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).

Cuando estas fibras se utilizan para transmitir en la región de 1550 nm, a menudo se emplea alguna forma de compensación de la dispersión cromática. En este caso, en el diseño se utiliza 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 la pendiente de 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.

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

I.3 Retardo diferencial de grupo (DGD)

El retardo diferencial de grupo es la diferencia que se produce 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 que sólo contenga un único parámetro que sea 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 tanto, se han desarrollado los medios necesarios para establecer límites útiles 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. Todo ello está documentado en CEI/TR 61282-3 y resumido en el apéndice IV/G.650.2. A continuación se describe la métrica 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 analizan en CEI/TR 61282-3.

Longitud del enlace de referencia, L_{Ref} : es la longitud máxima del enlace a la que se aplica la DGD máxima 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} : los valores máximos están asegurados cuando los cables individuales típicos de la concatenación o las longitudes de los cables que se miden para determinar la distribución del coeficiente de PMD son menores que este valor.

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

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

I.4 Coeficiente no lineal

El efecto de la dispersión cromática interactúa con la no linealidad de la fibra descrita mediante el coeficiente no lineal, n_2/A_{eff} , en relación con las degradaciones del sistema inducidas por efectos ópticos no lineales (véanse las Recs. UIT-T G.663 y G.650.2). Los valores típicos varían con la implementación. Los métodos de prueba para un coeficiente no lineal quedan en estudio.

I.5 Cuadros de valores típicos comunes

Los valores de los cuadros I.1 y I.2, son representativos de enlaces de fibra óptica concatenados conforme a las cláusulas I.1 y I.3, respectivamente. Los valores de DGD máxima implícitos inducidos por la fibra del cuadro I.2 son orientativos con respecto a los requisitos de otros elementos ópticos que se pueden encontrar en el enlace.

NOTA – La longitud de sección de cable es de 10 km excepto para el enlace $0,10 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}} / > 4000 \text{ km}$, en que se fija a 25 km. El nivel de probabilidades de error es $6,5 \times 10^{-8}$.

Cuadro I.1/G.652 – Valor representativo de enlaces de fibra óptica concatenados

Coefficiente de atenuación	Región de longitud de onda	Valor típico del enlace
(Nota)	1260 nm – 1360 nm	0,5 dB/km
	1530 nm – 1565 nm	0,275 dB/km
	1565 nm – 1625 nm	0,35 dB/km
Coeficiente de dispersión cromática	D ₁₅₅₀	17 ps/nm × km
	S ₁₅₅₀	0,056 ps/nm ² × km
NOTA – El valor típico del enlace corresponde al coeficiente de atenuación del enlace utilizado en las Recs. UIT-T G.957 y G.691.		

Cuadro I.2/G.652 – Retardo diferencial de grupo

PMDQ máximo (ps/√km)	Longitud del enlace (km)	DGD máximo implícito inducido por la fibra (ps)	Velocidad binaria del canal
Sin especificar			Hasta 2,5 Gbit/s
0,5	400	25,0	10 Gbit/s
	40	19,0 (nota)	10 Gbit/s
	2	7,5	40 Gbit/s
0,20	3000	19,0	10 Gbit/s
	80	7,0	40 Gbit/s
0,10	> 4000	12,0	10 Gbit/s
	400	5,0	40 Gbit/s
NOTA – Este valor se aplica igualmente para los sistemas 10 Gigabit Ethernet.			

BIBLIOGRAFÍA

- CEI/TR 61282-3 (2002), *Fibre optic communication system design guides – Part 3: Calculation of polarization mode dispersion.*
- CEI 60793-2 (2003), *Optical fibres – Part 2: Product specifications.*

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
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	Gestión de las telecomunicaciones, incluida la RGT y el mantenimiento de redes
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, comunicaciones de sistemas abiertos y seguridad
Serie Y	Infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo Internet y Redes de la próxima generación
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación