Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.653

(12/2006)

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

Características de los medios de transmisión y de los sistemas ópticos – Cables de fibra óptica

Características de los cables y fibras ópticas monomodo con dispersión desplazada

Recomendación UIT-T G.653

Unión Internacional de Telecomunicaciones

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
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN Y DE LOS SISTEMAS ÓPTICOS	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.639
Sistemas ópticos en el espacio libre	G.640–G.649
Cables de fibra óptica	**G.650–G.659**
Características de los componentes y los subsistemas ópticos	G.660–G.679
Características de los sistemas ópticos	G.680–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 A LOS PROTOCOLOS EN MODO PAQUETE 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.653

Características de los cables y fibras ópticas monomodo con dispersión desplazada

Resumen

Esta Recomendación describe las características geométricas, mecánicas y de transmisión de los cables y fibras ópticas monomodo con dispersión cero desplazada en la región de longitud de onda de 1550 nm. Ésta es la última revisión de esta Recomendación, elaborada originalmente en 1988.

En esta revisión se aclaran las características de dispersión cromática consignadas en el cuadro 2 (G.653.B). Esta categoría limita el coeficiente de dispersión cromática en un par de curvas limitantes representadas en función de la longitud de onda para la gama de 1460 nm a 1625 nm. La finalidad de la ampliación a estas longitudes de onda es proporcionar información para promover aplicaciones de multiplexación por división aproximada de longitud de onda que no presenten importantes degradaciones no lineales.

Orígenes

La Recomendación UIT-T G.653 fue aprobada el 14 de diciembre de 2006 por la Comisión de Estudio 15 (2005-2008) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

Historia

1988 Versión 1.

1993 Versión 2.

1997 Versión 3.

2000 Versión 4. Esta revisión modifica la estructura de la Recomendación, de conformidad con otras Recomendaciones relativas a fibras ópticas, como G.652, G.654 y G.655.

2003 Versión 5. Esta revisión aclara la descripción del coeficiente de dispersión cromática. Del mismo modo, de conformidad con el acuerdo alcanzado sobre la descripción de la banda espectral, se modifica el límite superior de la banda L de 16xx nm a 1625 nm. También se sustituyen los términos subcategoría base y subcategoría por categoría base y categoría, respectivamente. Se establece asimismo una nueva categoría, G.653.B, con un límite PMD reducido (en comparación con 0,5 ps/√km). En las pruebas de macroflexión el diámetro del mandril se ha reducido a un radio de 30 mm.

2006 Versión 6. De conformidad con las comunicaciones enviadas por los responsables de otras Cuestiones, en el cuadro 2 (G.653.B) se han utilizado curvas limitantes para el coeficiente de dispersión cromática en vez de "especificaciones en forma de recuadro". En el caso del cuadro 2 se han actualizado los otros atributos para ponerlos en consonancia con la Rec. UIT-T G.652 (2005) y G.655 (2006).

Según lo anterior, esta Recomendación ha evolucionado considerablemente con el paso de los años; por ello se insta al lector que para determinar las características de los productos ya instalados, utilice la versión adecuada, para lo cual deberá fijarse en el año de producción. En realidad, se espera que los productos sean conformes con la Recomendación que estaba en vigor cuando se fabricaron, y puede que no sean completamente conformes con las subsiguientes versiones de la Recomendación.

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 en la dirección http://www.itu.int/ITU-T/ipr/.

© UIT 2007

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 2
2.1 Referencias normativas 2
2.2 Referencias informativas 2
3 Términos y definiciones 2
4 Abreviaturas, siglas o acrónimos 3
5 Características de la fibra 3
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 4
5.6 Pérdida por macroflexiones 4
5.7 Propiedades materiales de la fibra 5
5.8 Perfil del índice de refracción 5
5.9 Uniformidad longitudinal de la dispersión cromática 5
5.10 Coeficiente de dispersión cromática 5
6 Características del cable 6
6.1 Coeficiente de atenuación 6
6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización (PMD) 7
7 Cuadro de valores recomendados 7
Apéndice I – Información de los atributos del enlace y de diseño del sistema 10
I.1 Atenuación 10
I.2 Dispersión cromática 10
I.3 Retardo diferencial de grupo (DGD) 11
I.4 Coeficiente no lineal 11
I.5 Cuadros de valores típicos comunes 11
I.6 Límites del coeficiente de dispersión cromática para el cuadro 2 12
BIBLIOGRAFÍA 14

Recomendación UIT-T G.653

Características de los cables y fibras ópticas monomodo con dispersión desplazada

1 Alcance

Esta Recomendación describe cables y fibras ópticas monomodo con dispersión desplazada, con longitud de onda de dispersión nula nominal próxima a 1550 nm y un coeficiente de dispersión que aumenta monotónicamente con la longitud de onda. Esta fibra está optimizada para uso en la región de 1550 nm, pero puede utilizarse también a longitudes de onda en torno a 1310 nm, con las restricciones indicadas en esta Recomendación. Se realizan algunas previsiones para soportar velocidades de transmisión a longitudes de onda superiores, de hasta 1625 nm, y longitudes de ondas inferiores de hasta 1460 nm. En esas longitudes de onda se podría especificar los valores del coeficiente de dispersión cromática para promover los sistemas de multiplexación por división aproximada de longitud de onda (CWDM, *coarse wavelength division multiplexing*) que no presenten importantes degradaciones debidas a efectos no lineales. 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 basadas en medidas, modelado u otras consideraciones. Los atributos de enlace y de diseño del sistema se describen en el apéndice I.

Se pretende que esta Recomendación y las diferentes categorías de calidad de funcionamiento que aparecen en los cuadros de la cláusula 7 soporten los sistemas de las siguientes Recomendaciones afines:

- G.957.
- G.691.
- G.692.
- G.693.
- G.959.1.
- G.977.
- G.695.
- G.698.1.

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 [G.650.1] y [G.650.2]. Las características de esta fibra, incluidas las definiciones de los correspondientes parámetros, sus métodos de prueba y los valores pertinentes, se precisarán a medida que se avance en 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.

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

[G.650.2] 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*.

2.2 Referencias informativas

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

[G.663] Recomendación UIT-T G.663 (2000), *Aspectos relacionados con la aplicación de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos*.

[G.691] Recomendación UIT-T G.691 (2006), *Interfaces ópticas para los sistemas monocanal STM-64 y otros sistemas de la jerarquía digital síncrona con amplificadores ópticos*.

[G.692] Recomendación UIT-T G.692 (1998), *Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos*.

[G.693] Recomendación UIT-T G.693 (2006), *Interfaces ópticas para sistemas de conexión local*.

[G.695] Recomendación UIT-T G.695 (2006), *Interfaces ópticas para aplicaciones de multiplexación por división aproximada en longitud de onda*.

[G.698.1] Recomendación UIT-T G.698.1 (2006), *Aplicaciones de multiplexación por división en longitud de onda densa con interfaces ópticas monocanal*.

[G.957] Recomendación UIT-T G.957 (2006), *Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital síncrona*.

[G.959.1] Recomendación UIT-T G.959.1 (2006), *Interfaces de capa física de red óptica de transporte*.

[G.977] Recomendación UIT-T G.977 (2006), *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 contenidas en [G.650.1] y [G.650.2]. Antes de evaluar su conformidad, los valores se redondean al número de dígitos que figuran en los cuadros de valores recomendados.

4 Abreviaturas, siglas o acrónimos

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

CWDM Multiplexación por división aproximada de longitud de onda (*coarse wavelength division multiplexing*)

DGD Retardo diferencial de grupo (*differential group delay*)

GPa GigaPascal

PMD Dispersión por modo de polarización (*polarization mode dispersion*)

PMD_Q Parámetro estadístico para enlaces de tipo PMD (*statistical parameter for link PMD*)

SDH Jerarquía digital síncrona (*synchronous digital hierarchy*)

TBD Por determinar (*to be determined*)

WDM Multiplexación por división en longitud de onda (*wavelength division multiplexing*)

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 los fabricantes de fibras. En los cuadros de la cláusula 7 se presentan las gamas de valores y los valores límites. 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. En los demás casos, las características recomendadas se aplicarán igualmente a las fibras individuales, 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 del mismo se especifican para 1550 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 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 que no debe excederse. La desviación del revestimiento no debe exceder 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 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 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}.

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 longitud de onda de funcionamiento mínima del sistema. Ello puede conseguirse recomendando que la máxima longitud de onda de corte λ_{cc} de una fibra monomodo cableada sea 1270 nm, o en el caso de cables puente, recomendando que la máxima longitud de onda de corte λ_{cj} sea 1270 nm, o en el peor caso de longitud y de flexión de la fibra, recomendando que la máxima longitud de onda de corte de la fibra sea λ_c.

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

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

NOTA 2 – La recomendación anterior no basta para garantizar el funcionamiento monomodo en la región de 1310 nm en cualquier combinación posible de longitudes de onda de funcionamiento del sistema, largos de cable y condiciones de instalación del cable. Cuando se prevea funcionamiento en la región de 1310 nm deberán fijarse límites adecuados a λ_c o λ_{cc}, con una atención especial para evitar el ruido modal en largos de cable mínimos, entre uniones de reparación y los cables puente.

5.6 Pérdida por macroflexiones

La pérdida debida a macroflexiones varía con la longitud de onda, el radio de curvatura y el número de vueltas en el mandril con un radio especificado. Las pérdidas por macroflexión no deben exceder el valor máximo de la cláusula 7 para las longitudes de onda, el radio de curvatura y el número de vueltas especificados.

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 casos de empalmes de un tramo de repetición típico. 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 – Se sugiere que 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 al 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 entran 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 especificado en la cláusula 7.

NOTA – Las definiciones de los parámetros mecánicos figuran en las cláusulas 3.2 y 5.6 de [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 y la distancia a lo largo de la que se produce la mezcla de cuatro ondas.

5.10 Coeficiente de dispersión cromática

El retardo de grupo o la dispersión cromática medidos por unidad de longitud de fibra por oposición a la longitud de onda deberá ajustarse a la ecuación cuadrática que se define en el anexo A de [G.650.1]. (Véase 5.5 de [G.650.1] donde se dan orientaciones sobre la interpolación de los valores de dispersión con longitudes de onda no medidas.)

Dependiendo de los requisitos de exactitud, para intervalos de longitud de onda de hasta 35 nm, podrá utilizarse la ecuación cuadrática en la región de 1550 nm. Para intervalos de longitud de onda más largos, se recomienda el modelo Sellmeier de 5 términos o el modelo polinomial de cuarto orden. La ecuación cuadrática no está prevista para ser utilizada en la región de 1310 nm.

Existen dos métodos para especificar los límites: el método original, que consiste en una especificación en forma de recuadro, y un método más reciente, según el cual los valores del coeficiente de dispersión quedan ambos limitados por un par de curvas.

NOTA – No es necesario medir el coeficiente de dispersión cromática y la longitud de onda de dispersión nula con carácter de rutina.

5.10.1 Forma de especificación original

Esta forma de especificación se aplica al cuadro 1 en la cláusula 7.

El coeficiente de dispersión cromática, $D(\lambda)$, se especifica en una gama de longitud de onda estableciendo la gama de valores absolutos del coeficiente de dispersión cromática permitidos. La especificación es la siguiente:

$$|D(\lambda)| \leq D_{máx} \text{ para } \lambda_{mín} \leq \lambda \leq \lambda_{máx}$$

donde:

$$1525 \text{ nm} \leq \lambda_{mín} \leq \lambda_{máx} \leq 1575 \text{ nm}$$

Al mismo tiempo, se especifican en las siguientes ecuaciones la longitud de onda de dispersión cero, λ_0, y la pendiente de dispersión cero, S_0:

$$\lambda_{0\,mín} \leq \lambda_0 \leq \lambda_{0máx}$$

$$S_0 \leq S_{0máx}$$

Los valores de $D_{máx}$, $\lambda_{mín}$, $\lambda_{máx}$, $\lambda_{0mín}$, $\lambda_{0máx}$ y $S_{0máx}$ deberán ajustarse a los valores de la cláusula 7.

5.10.2 Especificación basada en un par de curvas limitantes

Esta forma de especificación se aplica al cuadro 2 en la cláusula 7.

Para cada longitud de onda , λ, el coeficiente de dispersión cromática, $D(\lambda)$, quedará restringido a una gama de valores relacionados con dos curvas limitantes, $D_{mín}(\lambda)$ y $D_{máx}(\lambda)$, para una gama especificada en longitudes de onda de $\lambda_{mín}$ a $\lambda_{máx}$. Además, se podrían indicar explícitamente los límites de dispersión para una o más longitudes de onda específicas.

Un conjunto de curvas característico se representa simbólicamente como un par de líneas rectas:

$$D_{mín}(\lambda) = a_{mín} + b_{mín}(\lambda - 1525) \qquad \text{(ps/nm} \cdot \text{km)}$$

$$D_{máx}(\lambda) = a_{máx} + b_{máx}(\lambda - 1575) \qquad \text{(ps/nm} \cdot \text{km)}$$

$$D_{mín}(\lambda) \leq D(\lambda) \leq D_{máx}(\lambda) \qquad \text{(ps/nm} \cdot \text{km)}$$

Las curvas limitantes podrían variar de una gama de longitud de onda a otra.

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 incluyen 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 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 1550 nm. Cuando se tiene el propósito de utilizar estos cables en la región de 1300 nm debe tenerse en cuenta que su coeficiente de atenuación en esta región es generalmente inferior a 0,55 dB/km. Los valores del coeficiente de atenuación de los cables de fibra óptica no deben exceder los valores especificados en la cláusula 7.

NOTA – El coeficiente de atenuación puede calcularse para todo un espectro de longitudes de onda a partir de las medidas de unas pocas longitudes de onda (de 3 a 4) de predicción. Este procedimiento se describe en 5.4 de [G.650.1] y en el apéndice III de [G.650.1] se presenta un ejemplo de fibra G.652.

6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización (PMD)

La dispersión por modo de polarización (PMD) 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 la información del cable. A continuación se describe la métrica de la especificación estadística. En CEI 61282-3 se describen los métodos de cálculo que se resumen en el apéndice IV de [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 mediciones y especificaciones de fibras no cableadas son necesarias pero no bastan para garantizar la especificación de la fibra cableada. El valor máximo de diseño de enlace especificado para una fibra no cableada será menor o igual que el especificado para la fibra cableada. La relación entre los valores de PMD de las fibras no cableadas y las fibras cableadas depende de las particularidades de la fabricación y el procesamiento del cable, así como del acoplamiento de modo de la fibra no cableada. En [G.650.2] se recomienda que haya poco acoplamiento de modo para efectuar la medición de la PMD en una fibra no cableada, lo que exige que el cable enrollado en una bobina de gran diámetro no esté muy apretado.

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 la especificación PMD_Q cuando se empleen cables para sistemas que tengan la especificación del DGD máximo, es decir, por ejemplo, no se aplicará la especificación PMD_Q a los sistemas recomendados en [G.957].

NOTA 2 – Debe calcularse el PMD_Q para distintos tipos de cables, generalmente utilizando los valores PMD de muestra. Estas muestras se obtendrán de cables de construcción similar.

NOTA 3 – No debe aplicarse la especificación PMD_Q a cables cortos, como cables puente, cables en interiores y cables de derivación.

7 Cuadro de valores recomendados

En los siguientes cuadros se resumen los valores recomendados para una serie de categorías de fibras que satisfacen los objetivos de esta Recomendación. Estas categorías se distinguen básicamente por los requisitos de PMD y las especificaciones de dispersión cromática. Véase el apéndice I para obtener más información sobre las distancias de transmisión y velocidades binarias relativas a los requisitos de PMD. Los atributos G.653.A del cuadro 1 son la categoría básica para un cable de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada y mantienen la especificación original "de tipo recuadro" para el coeficiente de dispersión. Esta categoría se adapta a los sistemas de [G.691], [G.692], [G.693], [G.957] y [G.977] con una separación no uniforme entre canales en la región de longitud de onda de 1550 nm.

Numerosas aplicaciones de sistemas de cables submarinos pueden utilizar esta categoría. En algunas aplicaciones submarinas, una optimización completa puede conducir a la elección de valores distintos a los aquí descritos. Un ejemplo de ello podría ser permitir que las longitudes de onda de corte alcanzaran valores tan elevados como 1500 nm.

Los atributos G.653.B del cuadro 2 son semejantes a los de G.653.A, pero un requisito de PMD más estricto permite el funcionamiento de los sistemas STM-64 con longitudes superiores a 400 km y el funcionamiento de aplicaciones STM-256 de G.959.1.

Los atributos G.653.B del cuadro 2 definen los requisitos del coeficiente de dispersión cromática como un par de curvas limitantes representadas en función de la longitud de onda para longitudes de onda de 1460 nm a 1625 nm. Esta categoría puede soportar aplicaciones CWDM como las mencionadas en el cuadro 1. El requisito de PMD permite a los sistemas STM-64 longitudes mayores de 400 km y aplicaciones STM-256 conformes a G.959.1.

Cuadro 1/G.653 – Atributos G.653.A

Atributos de la fibra		
Atributo	**Dato**	**Valor**
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1550 nm
	Gama de valores nominales	7,8-8,5 µm
	Tolerancia	±0,8 µm
Diámetro del revestimiento	Nominal	125 µm
	Tolerancia	±1 µm
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,8 µm
No circularidad del revestimiento	Máximo	2,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1270 nm
Pérdida por macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1550 nm	0,5 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{mín}$	1525 nm
	$\lambda_{máx}$	1575 nm
	$D_{máx}$	3,5 ps/(nm × km)
	$\lambda_{0mín}$	1500 nm
	$\lambda_{0máx}$	1600 nm
	$S_{0máx}$	0,085 ps/(nm^2 × km)
Coeficiente de PMD de fibra no cableada	Máximo	(Nota)
Atributos del cable		
Atributo	**Dato**	**Valor**
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD_Q máximo	0,5 ps/√km
NOTA – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo de PMD_Q para la fibra no cableada con miras a soportar los requisitos primarios del PDM_Q cableado.		

Cuadro 2/G.653 – Atributos G.653.B

Atributos de la fibra		
Atributo	**Dato**	**Valor**
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1550 nm
	Gama de valores nominales	7,8-8,5 µm
	Tolerancia	±0,8 µm
Diámetro del revestimiento	Nominal	125 µm
	Tolerancia	±1 µm
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,8 µm
No circularidad del revestimiento	Máximo	2,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1270 nm
Pérdida por macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1550 nm	0,5 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática (ps/nm × km)	$D_{mín}(\lambda)$: 1460-1525 nm	0,085*(λ – 1525) – 3,5
	$D_{mín}(\lambda)$: 1525-1625 nm	3,5/75*(λ – 1600)
	$D_{máx}(\lambda)$: 1460-1575 nm	3,5/75*(λ – 1500)
	$D_{máx}(\lambda)$: 1575-1625 nm	0,085*(λ – 1575) + 3,5
Coeficiente de PMD de fibra no cableada	Máximo	(Nota)

Atributos del cable		
Atributo	**Dato**	**Valor**
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD_Q máximo	0,20 ps/√km

NOTA 1 – De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo de PMD_Q para la fibra no cableada con miras a soportar los requisitos primarios del PDM_Q cableado.

NOTA 2 – El fabricante y el usuario pueden acordar valores mayores de PMD_Q (por ejemplo, ≤ 0,5 ps/√km)para determinadas aplicaciones.

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. 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 I.5 se presentan valores típicos para enlaces de fibra óptica.

Los métodos de estimación de parámetros necesarios para el diseño del enlace 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

L = longitud del 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)

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 I.5 corresponden al coeficiente de atenuación del enlace 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).

En I.5 puede encontrarse la longitud de onda de dispersión λ_{0typ}, y el coeficiente de pendiente de dispersión, S_{0typ}, para la λ_{0typ}. Estos valores, junto con la longitud del enlace, L_{Link}, pueden utilizarse para calcular la dispersión típica que ha de emplearse en el diseño de enlaces ópticos.

$$D_{Link}(\lambda) = L_{Link}[S_{0typ}(\lambda - \lambda_{0typ})] \quad \text{(ps/nm)}$$

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 lo 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, estando todo ello documentado en CEI 61282-3. 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 61282-3.

Longitud del enlace de referencia (L_{Ref}, *reference link length*): es la máxima longitud de enlace 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 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 máximo, $DGD_{máx}$: valor de DGD que puede utilizarse considerando el diseño del sistema óptico.

Probabilidad máxima, P_F: probabilidad de que el valor DGD real supere $DGD_{máx}$.

I.4 Coeficiente no lineal

El efecto de la dispersión cromática interactúa con el coeficiente no lineal, n_2/A_{eff}, en relación con las degradaciones del sistema inducidas por efectos ópticos no lineales (véanse [G.663] y [G.650.2]). 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 de los cuadros I.1 y I.2 son representativos de enlaces de fibra óptica concatenados de acuerdo con I.1 e I.3, respectivamente. Los valores máximos implícitos de DGD inducidos en la fibra del cuadro I.2 son útiles como orientación en relación con los requisitos de otros elementos ópticos que puedan encontrarse en el enlace.

Cuadro I.1/G.653 – Valores representativos de un enlace de fibra óptica concatenado

Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Longitud de onda	Valor típico del enlace (Nota)
	1550 nm	0,275 dB/km
	1625 nm	TBD
Parámetros de dispersión cromática	λ_{0typ}	1550 nm
	S_{0typ}	0,07 ps/(nm^2 × km)
NOTA – El valor del enlace típico corresponde al coeficiente de atenuación del enlace que se utiliza en [G.957] y [G.691].		

Cuadro I.2/G.653 – Retardo diferencial de grupo

PMD_Q máximo (ps/√km)	**Longitud del enlace (km)**	**DGD máximo implícito inducido en la fibra (ps)**	**Velocidades binarias 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 a los sistemas Ethernet de 10 Gigabits.			

NOTA – La longitud de la sección del cable es de 10 km, excepto para el enlace de 0,10 ps/√km / > 4000 km, donde se fija en 25 km, y el nivel de probabilidad es $6{,}5 \times 10^{-8}$.

I.6 Límites del coeficiente de dispersión cromática para el cuadro 2

Las ecuaciones que limitan el coeficiente de dispersión cromática representado en función de la longitud de onda se especifican utilizando la forma de especificación original "de tipo recuadro" para el coeficiente de dispersión $D_{máx}$, $\lambda_{mín}$, $\lambda_{máx}$, $\lambda_{0mín}$, $\lambda_{0máx}$ y $S_{0máx}$. Se ha establecido una relación lineal entre los valores máximos, dentro del intervalo $\lambda_{0mín}$ de 1500 nm y $\lambda_{máx}$ de 1575 nm desde la dispersión cero a 1500 nm hasta la dispersión máxima, $D_{máx}$, de 3,5 ps/nm × km a 1575 nm. El valor de la pendiente de esta línea es 0,0467 ps/nm^2 × km. Para longitudes de onda inferiores a 1500 nm la pendiente es la misma. Se han añadido valores máximos por encima de 1575 nm trazando una línea con una pendiente igual a la pendiente máxima, $S_{0máx}$, de 0,085 ps/nm^2 × km. Se han generado asimismo valores mínimos de coeficiente de dispersión con un segundo par de líneas rectas de la misma manera. En la figura I.1 las líneas continuas son las curvas limitantes y las líneas discontinuas representan la especificación original "en forma de recuadro", en la cual el valor absoluto del coeficiente de dispersión cromática es inferior a $D_{máx}$ de 3,5 ps/nm × km entre $\lambda_{mín}$ = 1525 nm y $\lambda_{máx}$ = 1575 nm. La especificación basada en las curvas limitantes del cuadro 2 es comparable a la especificación original "de tipo recuadro" del cuadro 1.

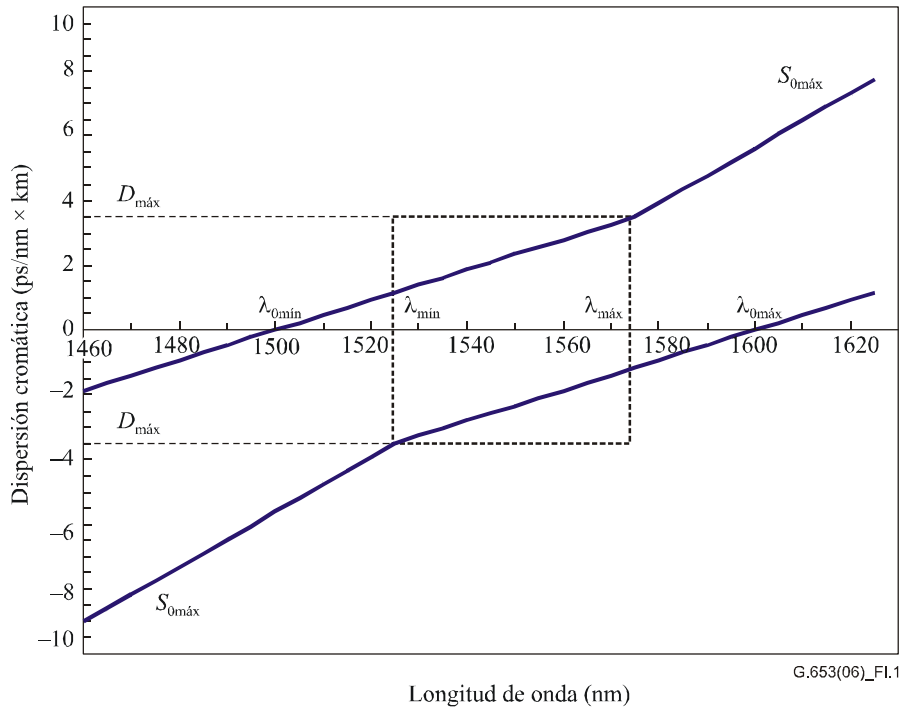

Figura I.1/G.653 – Fronteras de la dispersión de las fibras del cuadro 2

BIBLIOGRAFÍA

[CEI 61282-3] CEI/TR 61282-3 (2006), *Fibre optic communication system design guides – Part 3: Calculation of link polarization mode dispersion*.

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 multimedia
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedia
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

Impreso en Suiza
Ginebra, 2007