



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.656

(06/2004)

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 con
dispersión no nula para transporte óptico de
banda ancha**

Recomendación UIT-T G.656

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 TRANSMISIÓN – ASPECTOS GENÉRICOS Y ASPECTOS RELACIONADOS AL USUARIO	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.656

Características de las fibras y cables con dispersión no nula para transporte óptico de banda ancha

Resumen

Esta Recomendación describe los atributos geométricos, mecánicos y de transmisión de una fibra óptica monomodo cuyo valor positivo del coeficiente de dispersión cromática es mayor que algunos valores no nulos a través de la gama de longitudes de onda de uso anticipado de 1460-1625 nm. Esta dispersión reduce el crecimiento de los efectos no lineales que son particularmente nocivos en sistemas de multiplexación por división en longitud de onda densa.

Esta fibra se puede utilizar para los sistemas CWDM y DWDM en toda la región de longitud de onda entre 1460 y 1625 nm.

Orígenes

La Recomendación UIT-T G.656 fue aprobada el 13 de junio de 2004 por la Comisión de Estudio 15 (2001-2004) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

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

© UIT 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	2
2.2 Referencias informativas	2
3 Términos y definiciones	2
4 Abreviaturas.....	2
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	3
5.6 Pérdida por macroflexión	4
5.7 Propiedades de los materiales de la fibra	4
5.8 Perfil del índice de refracción.....	4
5.9 Uniformidad longitudinal a la dispersión cromática	5
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 (PMD)	6
7 Cuadro de valores recomendados	6
Apéndice I – Información de los atributos del enlace y de diseño del sistema.....	8
I.1 Atenuación.....	8
I.2 Dispersión cromática	8
I.3 Retardo diferencial de grupo (DGD).....	9
I.4 Coeficiente no lineal.....	9
I.5 Cuadros de valores típicos comunes.....	9
BIBLIOGRAFÍA	10

Recomendación UIT-T G.656

Características de las fibras y cables con dispersión no nula para transporte óptico de banda ancha

1 Alcance

Esta Recomendación describe una fibra monomodo con dispersión cromática de un valor distinto de cero en toda la gama de longitudes de onda de 1460-1625 nm. Esta dispersión reduce el crecimiento de los efectos no lineales que pueden ser particularmente perjudiciales en los sistemas de multiplexación por división en longitud de onda densa (DWDM, *dense wavelength division multiplexing*). Esta fibra utiliza dispersión no nula para reducir la mezcla de cuatro ondas y la modulación de fase cruzada en una gama de longitudes de onda más amplia que la fibra descrita en la Rec. UIT-T G.655. En el futuro, será posible ampliar las longitudes de onda más allá de la región 1460-1625 nm (por determinar). 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.

Esta fibra se puede utilizar para sistemas CWDM y DWDM en toda la región de transmisión de longitud de onda ampliada entre 1460 y 1625 nm.

Esta Recomendación, y la categoría que figura en el cuadro de la cláusula 7, tiene por objeto soportar el sistema de Recomendaciones relacionadas siguiente:

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

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. En esta Recomendación, la referencia a un documento, en tanto que autónomo, no le otorga el rango de una Recomendación.

2.1 Referencias normativas

- 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 (2002), *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

- 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 (2003), *Interfaces ópticas para sistemas de conexión local.*
- Recomendación UIT-T G.694.1 (2002), *Planes espectrales para las aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda: Plan de frecuencias con multiplexación por división de longitud de onda densa.*
- Recomendación UIT-T G.694.2 (2003), *Planes espectrales para las aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda: Plan de multiplexación por división aproximada de longitud de onda.*
- Recomendación UIT-T G.695 (2004), *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, más Enmienda 1 (2003).*
- Recomendación UIT-T G.959.1 (2003), *Interfaces de capa física de red óptica de transporte.*

3 Términos y definiciones

Para los fines de esta Recomendación, se aplican las definiciones que figuran en 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 el cuadro de valores recomendados.

4 Abreviaturas

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

A_{eff}	Área efectiva (<i>effective area</i>)
CWDM	Multiplexación por división aproximada en longitud de onda (<i>coarse wavelength division multiplexing</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>)
PMD	Dispersión por modo de polarización (<i>polarization mode dispersion</i>)
PMD_Q	Parámetro estadístico para enlace de tipo PMD (<i>statistical parameter for PMD link</i>)
SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)

TBD Por determinar (*to be determined*)

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 el cuadro 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 se especifican para 1550 nm. El valor nominal especificado deberá encontrarse dentro de 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 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 – 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. Esto se puede efectuar recomendando que la máxima longitud de onda de corte del cable λ_{cc} de una fibra monomodo cableada sea de 1450 nm, o para cables puente típicos

recomendando un corte de cable puente máximo de 1450 nm, o para longitud y curvaturas para el caso más desfavorable recomendando que la longitud de onda de corte de la fibra máxima sea de 1440 nm.

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 macroflexión varía con la longitud de onda, el radio de curvatura y el número de vueltas en el mandril con un radio especificado, y 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.

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 – 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 5 – 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. 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 las cláusulas 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 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.

5.10 Coeficiente de dispersión cromática

A partir del retardo de grupo o dispersión cromática por unidad de longitud de fibra medida en función de la longitud de la onda, se hace una determinación empírica mediante la ecuación de Sellmeier de 5 términos o la ecuación polinómica de cuarto orden, como se define en el anexo A/G.650.1. (Véase 5.5/G.650.1 para obtener directrices sobre la interpolación de los valores de dispersión para longitudes de onda no medidas.)

La ecuación empírica no se ha de utilizar para predecir la dispersión cromática en longitudes de onda fuera de la gama utilizada para dicha determinación.

El coeficiente de dispersión cromática, D , se especifica dentro de una gama de longitudes de onda fijando los límites de los valores absolutos permitidos del coeficiente de dispersión cromática. El coeficiente de dispersión cromática no cruzará el punto cero dentro de la gama de longitudes de onda especificada. Se especifica también el signo positivo de la dispersión cromática. La forma de esta especificación es la siguiente:

$$D_{\min} \leq D(\lambda) \leq D_{\max} \quad \text{para } \lambda_{\min} \leq \lambda \leq \lambda_{\max}$$

donde:

$$2 \text{ ps/nm} \cdot \text{km} \leq D_{\min} \leq D_{\max} \leq 14 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}, \text{ y}$$
$$1460 \text{ nm} \leq \lambda_{\min} \leq \lambda_{\max} \leq 1625 \text{ nm}$$

Los valores para D_{\min} , D_{\max} , λ_{\min} , λ_{\max} , y los signos estarán dentro de las gamas indicadas en la cláusula 7.

NOTA 1 – D_{\min} no ocurre necesariamente en λ_{\min} y D_{\max} no ocurre necesariamente en λ_{\max} .

NOTA 2 – La uniformidad de la dispersión cromática será congruente con el funcionamiento del sistema.

NOTA 3 – El signo de D no varía en toda la gama de longitudes de onda precedente para una determinada fibra.

NOTA 4 – Los requisitos sobre dispersión cromática se derivan del diseño de los sistemas CWDM y DWDM. Para DWDM, estos requisitos deben armonizar la dispersión cromática de primer orden con diversos efectos no lineales, tales como mezclado de cuatro ondas, transmodulación de fase, inestabilidad de la modulación, dispersión Brillouin estimulada y formación de solitones (véase la Rec. UIT-T G.663). El efecto de la dispersión cromática es interactivo con la no linealidad de la fibra, y viene dado por el coeficiente no lineal.

NOTA 5 – No es necesario medir el coeficiente de dispersión cromática sobre una base rutinaria.

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 las regiones de 1460 nm, 1550 nm y 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 – El coeficiente de atenuación se puede calcular a través de un espectro de longitudes de onda basado en mediciones en algunas (3 a 4) longitudes de onda de predictor. Este procedimiento se describe en 5.4.4/G.650.1 y en el apéndice III/G.650.1 figura un ejemplo.

6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización (PMD)

La dispersión por modo de polarización de las fibras cableadas se especificará en forma estática y no de manera individual para cada fibra. Estos requisitos sólo son aplicables al enlace, a partir de la información sobre el cable. Los principios de la especificación estadística se indican más abajo. Los métodos de cálculo figuran en CEI 61282-3 y se resumen en el apéndice IV/G.650.2.

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 diferencial de grupo (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.

NOTA 1 – El valor de PMD_Q se debe calcular para diversos tipos de cables y, por lo general, esto se llevará a cabo utilizando valores de PMD muestreados. Las muestras deben ser tomadas de cables de construcción similar.

NOTA 2 – La especificación de PMD_Q no debe ser aplicada a cables cortos como cables puente, cables internos y cables de bajada.

7 Cuadro de valores recomendados

En el cuadro siguiente se resumen los valores recomendados para una categoría de fibra que satisface los requisitos de esta Recomendación.

El cuadro 1 contiene los atributos G.656 y los valores recomendados necesarios para soportar aplicaciones G.691, G.692, G.693, G.695 y G.959.1.

Referente a las aplicaciones G.692, y en función de las longitudes de onda de canal y de las características de dispersión de la fibra especificada, se podría restringir la potencia de inyección total máxima y la separación de canales mínima típica es de 100 GHz o menor. Los requisitos de PMD permiten la operación de sistemas de 10 Gbit/s de una longitud de 400 km como mínimo y permite también la operación de sistemas de 40 Gbit/s G.959.1.

Cuadro 1/G.656 – Atributos G.656

Atributos de la fibra		
Atributo	Detalle	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de la fibra	1550 nm
	Gama de valores nominales	7,0-11,0 μm
	Tolerancia	$\pm 0,7 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentración del núcleo	Máximo	0,8 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	2,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1450 nm
Pérdida por macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,50 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{\text{mín}}$ y $\lambda_{\text{máx}}$ (nota 1)	1460 nm y 1625 nm
	Valor mínimo de $D_{\text{mín}}$	2 ps/nm · km
	Valor máximo de $D_{\text{máx}}$	14 ps/nm · km
	Signo	Positivo
Coeficiente de PMD de fibra no cableada	Máximo	(Nota 2)
Atributos del cable		
Atributo	Detalle	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1460 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%
	Máximo PMD_Q	0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
<p>NOTA 1 – Si se utiliza bombeo Raman fuera de esta región de longitud de onda, las propiedades de la fibra deben ser apropiadas para ajustarse a este bombeo.</p> <p>NOTA 2 – 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 tendrá una determinada distribución probabilística que hay que tener en cuenta para conseguir los diseños más económicos. Las siguientes cláusulas 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 la cláusula I.5 se presenta 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 ecuación (I-1) no incluye la pérdida de los conectores del equipo. Los valores típicos indicados en la cláusula 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.

Para estimación simplificada, la relación se describe en función del coeficiente de dispersión cromática medio y del coeficiente de la pendiente de dispersión a 1550 nm.

Los valores típicos del coeficiente de dispersión cromática, D_{1550} , y del coeficiente de pendiente de la dispersión cromática, S_{1550} , a 1550 nm varían de acuerdo con la implementación específica. 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.

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

Para la estimación con exactitud mejorada, se describe la relación en términos de los coeficientes de dispersión cromática típicos en 1460, 1550 y 1625 nm, así como el coeficiente de la pendiente de dispersión cromática en 1550 nm. Estos valores pueden utilizarse, junto con la longitud del enlace, L_{Link} , para calcular la dispersión típica que debe utilizarse en el diseño de enlaces ópticos.

Para obtener mayor información sobre el diseño del sistema y las estadísticas de la dispersión cromática véase el Suplemento G.39.

I.3 Retardo diferencial de grupo (DGD)

El retardo diferencial de grupo 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. 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 $DGD_{m\acute{a}x}$.

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 (véanse las Recomendaciones UIT-T 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 las cláusulas I.1 y I.3, respectivamente. Los valores de DGD máximo inducidos de la fibra que figuran en el cuadro I.2 se indican con fines de orientación referente a los requisitos para otros elementos ópticos que pueden estar en el enlace.

Cuadro I.1/G.656 – Valor representativo de un enlace de fibra óptica concatenado

Atributo	Región de longitud de onda	Valor de enlace típico (véase la nota)
Coeficiente de atenuación	1460 nm-1530 nm	0,35 dB/km
	1530 nm-1565 nm	0,275 dB/km
	1565 nm-1625 nm	0,35 dB/km
Coeficiente de dispersión típico	D ₁₄₆₀	tbd
	D ₁₅₅₀	tbd
	D ₁₆₂₅	tbd
	S ₁₅₅₀	tbd
NOTA – El valor de enlace típico corresponde al coeficiente de atenuación del enlace que figura en las Recomendaciones UIT-T G.957 y G.691.		

Cuadro I.2/G.656 – Retardo diferencial de grupo

PMD _Q máximo (ps/√km)	Longitud del enlace (km)	DGD máximo inducido de la fibra (ps)	Velocidad binaria de canal
Sin especificación			Hasta 2,5 Gbit/s
0,5	400	25,0	10 Gbit/s
	40	19,0 (véase la 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 para sistemas Ethernet de 10 Gigabits.			

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

BIBLIOGRAFÍA

- CEI/TR 61282-3 (2002), *Fibre optic communication design guides – Part 3: Calculation of polarization mode dispersion.*
- Suplemento 39 a las Recomendaciones UIT-T de la serie G (2003), *Diseño del sistema óptico y consideraciones de ingeniería.*

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	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, aspectos del protocolo Internet y Redes de la próxima generación
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación