



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

**UIT-T**

SECTOR DE NORMALIZACIÓN  
DE LAS TELECOMUNICACIONES  
DE LA UIT

**G.655**

(03/2003)

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

Características de los medios de transmisión – Cables de  
fibra óptica

---

**Características de fibras y cables ópticos  
monomodo con dispersión desplazada no nula**

Recomendación UIT-T G.655

---

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
<b>Cables de fibra óptica</b>	<b>G.650–G.659</b>
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.655

### Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula

#### Resumen

En esta Recomendación se describen las características geométricas, mecánicas y de transmisión de una fibra óptica monomodo cuyo coeficiente de dispersión cromática es, en valor absoluto, mayor que cero en la gama de longitudes de onda 1530 a 1565 nm. Esta dispersión reduce la aparición de efectos no lineales que puede ser particularmente perjudicial para los sistemas que utilizan multiplexación por división de longitud de onda densa. Esta es la última revisión de esta Recomendación publicada por primera vez en 1996. En esta revisión se crea una nueva categoría de fibra cuyo valor PMD de diseño del enlace se ha reducido a 0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$ , con el fin de que se pueda utilizar en sistemas con tasa de velocidad de bit/distancia más grande que los correspondientes a las revisiones anteriores. Mediante esta revisión se pretende mantener el éxito comercial de esta fibra en los sistemas de transmisión ópticos de gama alta, siempre en continua transformación.

#### Orígenes e historia

La Recomendación UIT-T G.655 (2003), revisada por la Comisión de Estudio 15 (2001-2004) del UIT-T, fue aprobada por el procedimiento de la Resolución 1 de la AMNT el 16 de marzo de 2003.

- |         |   |
|---------|---|
| 1996    | Primera versión.  |
| 10/2000 | Versión 2. En esta revisión se añadieron cuadros para los diferentes niveles de soporte del sistema.  |
| 03/2003 | Versión 3. De conformidad con el acuerdo sobre las bandas espectrales, la descripción del límite superior de la banda L ha pasado de 16xx a 1625 nm. Se han cambiado los términos "subcategoría básica" y "subcategoría" por "categoría básica" y "categoría". Se han añadido los requisitos PMD en todas las categorías y dos de ellas tienen un límite reducido (comparado con 0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ). En las pruebas de macroflexión el diámetro del mandril se ha reducido a un radio de 30 mm. Según lo anterior, esta Recomendación ha evolucionado considerablemente con el paso de los años; por ello se advierte 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.

## 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 2003

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

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
1 Alcance .....	1
2 Referencias .....	2
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 campo modal.....	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 .....	5
5.10 Coeficiente de dispersión cromática.....	5
6 Características del cable .....	5
6.1 Coeficiente de atenuación.....	5
6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización (PMD) .....	6
7 Cuadros de valores recomendados.....	6
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 de grupo diferencial (DGD).....	11
I.4 Coeficiente no lineal.....	11
I.5 Cuadros de valores típicos comunes.....	11
I.6 Ejemplos de implementación .....	12
Apéndice II – Bibliografía .....	13



## Recomendación UIT-T G.655

### Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula

#### 1 Alcance

En esta Recomendación se describe una fibra monomodo cuya dispersión cromática (valor absoluto) es mayor que algún valor diferente de cero en toda la gama de longitudes de onda de utilización prevista en la región de 1550 nm. Esta dispersión reduce la aparición de efectos no lineales que puede ser particularmente perjudicial para los sistemas que utilizan multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM, *dense wavelength division multiplexing*).

Estas fibras están optimizadas para su utilización en la gama de longitudes de onda comprendida entre 1530 nm y 1565 nm. Se hacen algunas provisiones para soportar velocidades de transmisión a longitudes de onda superiores de hasta 1625 nm. En el futuro serán posibles ampliaciones a longitudes de onda inferiores a 1530 nm (por determinar). Sus parámetros geométricos, ópticos, de transmisión y mecánicos se describen a continuación para 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 que aparecen en los cuadros de la cláusula 7, soporten los sistemas de las siguientes Recomendaciones afines:

- Recomendación UIT-T G.957;
- Recomendación UIT-T G.691;
- Recomendación UIT-T G.692;
- Recomendación UIT-T G.693;
- Recomendación UIT-T G.959.1.

En esta Recomendación se presenta una combinación de diseños de fibra que pueden cubrir un amplio espectro de aplicaciones. En el futuro se podrán realizar algunas modificaciones. Sin embargo, la compatibilidad en un mismo sistema de fibras de distintas características no ha sido aún probada, siendo en general cuestionable su utilización simultánea en un mismo sistema y debiendo ello ser objeto de un acuerdo entre el usuario y el fabricante.

NOTA – Pueden tener lugar degradaciones debidas a la PMD cuando se utilizan los valores recomendados en el cuadro 1 para transmisión a larga distancia (400 km) a la velocidad de 10 Gbit/s, salvo que se añadan requisitos relativos a la PMD.

El significado de los términos utilizados en esta Recomendación y las directrices que habrán de seguirse en la medición para la verificación de las diversas características son las incluidas 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 se avance en los estudios y se adquiera experiencia.

## 2 Referencias

### 2.1 Referencias normativas

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

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

### 2.2 Referencias informativas

- Recomendación UIT-T G.663 (2000), *Aspectos relacionados con la aplicación de los dispositivos y subsistemas de amplificadores de fibra óptica.*
- Recomendación UIT-T G.691 (2000), *Interfaces ópticas para sistemas STM-64, STM-256 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 (2001), *Interfaces ópticas para sistemas intraoficina.*
- Recomendación UIT-T G.957 (1999), *Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital síncrona.*
- Recomendación UIT-T G.959.1 (2001), *Interfaces de capa física de red de transporte óptica.*

## 3 Términos y definiciones

Para los fines de esta Recomendación, se aplican las definiciones contenidas en las Recomendaciones UIT-T 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

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

$A_{\text{eff}}$	Área efectiva ( <i>effective area</i> )
DGD	Retardo de grupo diferencial ( <i>differential group delay</i> )
DWDM	Multiplexación por división de longitud de onda densa ( <i>dense wavelength division multiplexing</i> )
GPa	GigaPascal
PMD	Dispersión por modo de polarización ( <i>polarization mode dispersion</i> )
PMD <sub>Q</sub>	Parámetro estadístico para enlaces de tipo PMD ( <i>statistical parameter for PMD link</i> )
SDH	Jerarquía digital síncrona ( <i>synchronous digital hierarchy</i> )

TBD	Por determinar ( <i>to be determined</i> )
WDM	Multiplexación por división de longitud de onda ( <i>wavelength division multiplexing</i> )

## 5 Características de la fibra

En esta cláusula sólo se recomiendan las características de la fibra que proporcionan una mínima estructura de diseño esencial para su fabricación. Los cuadros de la cláusula 7 presentan rangos o límites de valores. De éstos, la longitud de onda de corte de la fibra cableada y la PMD 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 del diámetro de campo modal y la tolerancia del mismo se especifican para 1550 nm. El valor nominal especificado debe 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  $\mu\text{m}$ . En la cláusula 7 se especifica asimismo una tolerancia que no debe ser superada. La desviación del revestimiento con respecto al valor nominal no debe exceder la tolerancia especificada.

### 5.3 Error de concentricidad del campo modal

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:

- Longitud de onda de corte del cable,  $\lambda_{cc}$ .
- Longitud de onda de corte de la fibra,  $\lambda_c$ .
- Longitud de onda de corte del cable puente,  $\lambda_{cj}$ .

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

La correlación de los valores medidos de  $\lambda_c$ ,  $\lambda_{cc}$  y  $\lambda_{cj}$  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 de cable mínimo entre uniones a la mínima longitud de onda de

funcionamiento del sistema. Ello puede conseguirse de dos formas: recomendando que la longitud de onda de corte máxima  $\lambda_{cc}$  del cable compuesto de fibra óptica monomodo sea 1480 nm, o en el caso de puentes o cables de unión típicos, recomendando que la longitud de onda de corte del cable puente sea de 1480 nm, o en el peor caso de longitud y de flexiones de la fibra, recomendando que la longitud de onda de corte máxima de la fibra sea de 1470 nm.

La longitud de onda de corte del cable,  $\lambda_{cc}$ , deberá ser inferior al valor máximo especificado en la cláusula 7.

## **5.6 Pérdida por macroflexiones**

La pérdida por macroflexiones varía con la longitud de onda, el radio de curvatura y el número de vueltas en el mandril con un radio especificado. 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 recomendado de vueltas 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 las instalaciones de sistemas reales, para evitar fallos por fatiga estática.

NOTA 3 – Se sugiere que si por razones de orden práctico se elige para la implementación un número de vueltas menor al recomendado, nunca se empleen menos de 40 vueltas, siendo entonces el incremento de la pérdida 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, en lugar del valor recomendado, puede utilizarse un bucle de pequeño 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, debe elegirse de modo que corresponda 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,  $\sigma_p$ , no será inferior al valor mínimo especificado en la cláusula 7.

NOTA – Las definiciones de los parámetros mecánicos figuran en 1.2 y 2.6/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 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, incluyendo, pero no estando limitada 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 de funcionamiento, de la potencia óptica y la distancia a lo largo de la cual se produce la mezcla de cuatro ondas.

## 5.10 Coeficiente de dispersión cromática

El coeficiente de dispersión cromática,  $D$ , se especifica para una gama de longitudes de onda estableciendo un rango de valores absolutos permitidos del mismo. El coeficiente de dispersión cromática no cruzará el valor cero para la gama de longitudes de onda especificada. También se especifica el signo de la dispersión cromática. La forma de dicha especificación es la siguiente:

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

donde:

$$0,1 \text{ ps/nm}\cdot\text{km} \leq D_{\min} \leq D_{\max} \leq 10,0 \text{ ps/nm}\cdot\text{km}; \text{ y}$$

$$1530 \text{ nm} \leq \lambda_{\min} \leq \lambda_{\max} \leq 1565 \text{ nm}, \text{ y}$$

$$D_{\max} \leq D_{\min} + 5,0 \text{ ps/nm}\cdot\text{km}$$

Los valores de  $D_{\min}$ ,  $D_{\max}$ ,  $\lambda_{\min}$ ,  $\lambda_{\max}$  y el signo deben estar comprendidos en los rangos especificados en la cláusula 7. En el apéndice I se presentan algunos ejemplos de implementación. La ampliación a longitudes de onda superiores a 1565 nm y 1530 nm está en estudio.

NOTA 1 –  $D_{\min}$  no se produce necesariamente a  $\lambda_{\min}$ , y  $D_{\max}$  no se produce necesariamente a  $\lambda_{\max}$ .

NOTA 2 – La uniformidad de la dispersión debe ser consistente con el funcionamiento del sistema.

NOTA 3 – El signo de  $D$  no varía en la mencionada gama de longitudes de onda para una fibra dada, pero puede variar de una fibra a otra dentro de un sistema.

NOTA 4 – Según el diseño del sistema y el tipo de transmisión, puede ser necesario especificar el signo de  $D$ .

NOTA 5 – Los requisitos sobre la dispersión se basan en el diseño del sistema WDM, que debe equilibrar la dispersión de primer orden con diversos efectos no lineales tales como la mezcla de cuatro ondas, la modulación de fase cruzada, la inestabilidad de la modulación, la dispersión Brillouin estimulada, y la formación de solitones (véase Rec. UIT-T G.663). El efecto de la dispersión cromática es interactiva con la no linealidad de la fibra, y se describe mediante el coeficiente de no linealidad.

NOTA 6 – No es necesario efectuar mediciones periódicas del coeficiente de dispersión cromática.

## 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 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. 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 se puede calcular para todo un espectro de longitudes de onda, a partir de las mediciones de unas pocas (3 ó 4) longitudes de onda predictoras. Este procedimiento se describe en 5.4.4/G.650.1. En el apéndice III/G.650.1 se da un ejemplo.

## 6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización (PMD)

No todos los cuadros incluyen requisitos relativos a la dispersión por modo de polarización (PMD, *polarization mode dispersion*). Cuando sea necesario, la dispersión por modo de polarización de la fibra cableada se especifica estadísticamente, no de forma individual. Los requisitos se refieren sólo al aspecto del enlace calculado a partir de 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/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 posible enlace de M secciones de cable. El límite superior se define en términos de un bajo nivel de probabilidad, Q, de que un valor del 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 coeficiente máximo de PMD especificado en la cláusula 7.

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

Puede interpretarse que los límites de la distribución de los valores de los coeficientes de PMD son casi equivalentes a los límites de la variación estadística del retardo de grupo diferencial (DGD, *differential group delay*), que varía de forma aleatoria con el tiempo y la longitud de onda. Cuando se especifica la distribución del coeficiente de PMD para cables de fibra óptica, pueden determinarse límites equivalentes para la variación del DGD. En el apéndice I figuran la métrica y los valores de los límites de la distribución del DGD.

NOTA 1 – El  $PMD_Q$  se debería calcular para diversos tipos de cables, y para ello normalmente se debería utilizar valores PMD de muestra. Se deberían tomar como muestra cables con construcción similar.

NOTA 2 – La especificación del  $PMD_Q$  no se debería aplicar a cables cortos, como los cables de empalme, de interior o de derivación.

## 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 por los requisitos PMD y las características de dispersión cromática. Véase el apéndice I para mayor información sobre las distancias de transmisión y velocidades binarias en relación con los requisitos PMD.

El cuadro 1, G.655.A Atributos, contiene los atributos y valores recomendados necesarios para soportar aplicaciones tales como las G.691, G.692, G.693 y G.959.1. En relación con las aplicaciones descritas en la G.692, es posible, en función de las longitudes de onda de los canales y de las características de dispersión de la fibra, limitar la potencia de inyección máxima total, así como la separación mínima entre canales hasta un valor de 200 GHz.

El cuadro 2, G.655.B Atributos, contiene los atributos y valores recomendados necesarios para soportar aplicaciones tales como las G.691, G.692, G.693 y G.959.1. En relación con las aplicaciones descritas la G.692 y en función de las longitudes de onda de los canales y de las características de dispersión cromática de la fibra, la potencia de inyección puede ser superior que para las fibras del cuadro anterior, pudiendo ser la separación mínima entre canales menor o igual a

100 GHz. Las características de PMD permiten el funcionamiento de sistemas a STM-64 a lo largo de al menos 400 km.

El cuadro 3, G.655.C Atributos, es similar al G.655.B, con la diferencia de que los requisitos PMD son más estrictos, lo cual permite que los sistemas STM-64 tengan longitudes mayores que 400 km y aplicaciones STM-256 G.959.1.

NOTA – En muchas aplicaciones submarinas se puede utilizar fibras de la categoría G.655.B y G.655.C. En algunas aplicaciones submarinas la optimización completa se consigue con límites distintos de los aquí indicados. Un ejemplo podría ser permitir que la longitud de onda de corte pueda tener valores tan altos como 1500 nm.

En el apéndice I se ilustran varios ejemplos de implementación que se diferencian por los valores de dispersión cromática, la pendiente de la dispersión y los distintos valores de coeficientes no lineales del enlace. Dichas opciones ilustran la posibilidad de establecer distintos equilibrios entre potencia, separación de canales, longitud del enlace, separación entre amplificadores y velocidad binaria.

**Cuadro 1/G.655 – G.655.A Atributos**

<b>Atributos de la fibra</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1550 nm
	Gama de valores nominales	8-11 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0,7 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,8 $\mu\text{m}$
No circularidad del revestimiento	Máximo	2,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1450 nm
Pérdida de 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 Gama de longitudes de onda: 1530-1565 nm	$\lambda_{\text{min}}$ y $\lambda_{\text{max}}$	1530 nm y 1565 nm
	Valor mínimo de $D_{\text{min}}$	0,1 ps/nm·km
	Valor máximo de $D_{\text{max}}$	6,0 ps/nm·km
	Signo	Positivo o negativo
Coeficiente PMD de la fibra no cableada	Máximo	(Véase la nota)
<b>Atributos del cable</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
Coeficiente PMD	M	20 cables
	Q	0,01 %
	PMD <sub>Q</sub> máxima	0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTA – El fabricante del cable puede especificar un coeficiente PMD máximo opcional de fibra no cableada para soportar los requisitos primarios de PMD <sub>Q</sub> del cable, si ese valor se ha comprobado para un determinado tipo de construcción del cable.		

**Cuadro 2/G.655 – G.655.B Atributos**

<b>Atributos de la fibra</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1550 nm
	Gama de valores nominales	8-11 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0,7 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,8 $\mu\text{m}$
No circularidad del revestimiento	Máximo	2,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1450 nm
Pérdida de 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 Gama de longitudes de onda: 1530-1565 nm	$\lambda_{\text{mín}}$ y $\lambda_{\text{máx}}$	1530 nm y 1565 nm
	Valor mínimo de $D_{\text{mín}}$	1,0 ps/nm·km
	Valor máximo de $D_{\text{máx}}$	10,0 ps/nm·km
	Signo	Positivo o negativo
	$D_{\text{máx}} - D_{\text{mín}}$	$\leq 5,0$ ps/nm·km
Coeficiente de dispersión cromática Gama de longitudes de onda: 1565-1625 nm	$\lambda_{\text{mín}}$ y $\lambda_{\text{máx}}$	TBD
	Valor mínimo de $D_{\text{mín}}$	TBD
	Valor máximo de $D_{\text{máx}}$	TBD
	Signo	Positivo o negativo
Coeficiente de PMD de fibra no cableada	Máximo	(Véase la nota)
<b>Atributos de cable</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Coeficiente de atenuación	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 <sub>Q</sub> máximo	0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTA – El fabricante del cable puede especificar un coeficiente PMD máximo opcional de fibra no cableada para soportar los requisitos primarios de PMD <sub>Q</sub> del cable, si ese valor se ha comprobado para un determinado tipo de construcción del cable.		

**Cuadro 3/G.655 – G.655.C Atributos**

<b>Atributos de la fibra</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1550 nm
	Gama de valores nominales	8-11 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0,7 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,8 $\mu\text{m}$
No circularidad del revestimiento	Máximo	2,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1450 nm
Pérdida de 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 Gama de longitudes de onda: 1530-1565 nm	$\lambda_{\text{mín}}$ y $\lambda_{\text{máx}}$	1530 nm y 1565 nm
	Valor mínimo de $D_{\text{mín}}$	1,0 ps/nm·km
	Valor máximo de $D_{\text{máx}}$	10,0 ps/nm·km
	Signo	Positivo o negativo
	$D_{\text{máx}} - D_{\text{mín}}$	$\leq 5,0$ ps/nm·km
Coeficiente de dispersión cromática Gama de longitudes de onda: 1565-1625 nm	$\lambda_{\text{mín}}$ y $\lambda_{\text{máx}}$	TBD
	Valor mínimo de $D_{\text{mín}}$	TBD
	Valor máximo de $D_{\text{máx}}$	TBD
	Signo	Positivo o negativo
Coeficiente de PMD de fibra no cableada	Máximo	(Véase la nota)
<b>Atributos de cable</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Coeficiente de atenuación	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 <sub>Q</sub> máximo	0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTA – El fabricante del cable puede especificar un coeficiente PMD máximo opcional de fibra no cableada para soportar los requisitos primarios de PMD <sub>Q</sub> del cable, si ese valor se ha comprobado para un determinado tipo de construcción del cable.		

## Apéndice I

### Información de los atributos del enlace y de diseño del sistema

Un enlace concatenado incluye generalmente largos de cables de fibra óptica de fabricación empalmados. Los requisitos aplicables a los largos de fabricación se indican en las cláusulas 5 y 6 de esta Recomendación. 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 siguientes 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 presentan valores típicos de cables de fibra óptica. La cláusula I.6 contiene ejemplos de implementaciones en las que los valores típicos de la dispersión cromática varían de un ejemplo a otro. 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:

- $\alpha$  coeficiente de atenuación típico de los cables de fibra en un enlace
- $\alpha_s$  atenuación media por empalme
- $x$  número de empalmes de un enlace
- $\alpha_c$  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 relación se describe en términos del coeficiente de dispersión cromática típico y del coeficiente de la pendiente de la dispersión a 1550 nm.

Los valores típicos del coeficiente de dispersión cromática,  $D_{1550}$ , y del coeficiente de pendiente de dispersión cromática,  $S_{1550}$ , a 1550 nm varían en función de la implementación. En la cláusula I.6 pueden encontrarse valores típicos. Estos valores, junto con la longitud del enlace,  $L_{Link}$ , pueden ser utilizados para calcular la dispersión típica que debe utilizarse en el diseño de enlaces ópticos.

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

### I.3 Retardo de grupo diferencial (DGD)

El retardo de grupo diferencial 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 analiza en CEI 61282-3.

Longitud del enlace de referencia ( $L_{Ref}$ , *reference link length*): 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 ( $L_{Cab}$ , *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 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 el coeficiente no lineal,  $n_2/A_{eff}$ , en relación con 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 cables de fibra óptica concatenados conforme a las cláusulas I.1 y I.3, respectivamente. Se pretende que los valores del DGD máximo inducido en la fibra indicados en el cuadro I.2 sirvan de orientación con respecto a los requisitos de los demás elementos ópticos que pueden formar parte del enlace.

**Cuadro I.1/G.655 – Valores de atenuación del enlace**

Coeficiente de atenuación (véase la nota)	Región de la longitud de onda	Valor típico del enlace
	1550 nm – 1565 nm	0,275 dB/km
	1565 nm – 1625 nm	0,35 dB/km

NOTA – El valor típico del enlace corresponde al coeficiente de atenuación del enlace utilizado en las Recomendaciones UIT-T G.957 y G.692

**Cuadro I.2/G.655 – Retardo de grupo diferencial**

PMD <sub>Q</sub> máximo (ps/√km)	Longitud del enlace (km)	DGD máximo inducido en la fibra (ps)	Velocidades binarias del canal
No especificado			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 también es aplicable a los sistemas Ethernet de 10 Gigabit.

NOTA – La longitud de la sección de cable es de 10 km, salvo para el enlace 0,10 ps/√km, >4000 km, para el cual es de 25 km, el nivel de probabilidad es de  $6.5 \cdot 10^{-8}$ .

### I.6 Ejemplos de implementación

Se incluyen a continuación ejemplos de implementaciones diseñadas para optimizar varios de los posibles balances entre potencia, separación de canales, separación de amplificadores, longitud del enlace y velocidad binaria. Todos estos ejemplos son básicamente variaciones de la dispersión cromática, la pendiente de dispersión y el coeficiente no lineal permitidos. Sólo se trata de ejemplos, que no impiden que existan otras realizaciones. Los identificadores de los ejemplos son arbitrarios y no reflejan prioridad alguna.

**Cuadro I.3/G.655 – Ejemplos para  $\lambda_{\min} = 1530$  nm y  $\lambda_{\max} = 1565$  nm**

ID del ejemplo	$D_{\min}$ (ps/nm·km)	$D_{\max}$ ps/nm·km)	Signo	Coeficiente de dispersión típico @ 1550 nm (ps/nm·km)	Pendiente de dispersión típica @ 1550 nm (ps/nm <sup>2</sup> ·km)
A	1,3	5,8	+	3,7	0,070
B	2,0	6,0	+	4,2	0,085
C	2,6	6,0	+	4,4	0,045
D	5,0	10,0	+	8,0	0,058
E	1,0	6,0	-	-2,3	0,065

NOTA – Se están estudiando los valores de dispersión cromática en la región de longitudes de onda de 1600 nm.

## **Apéndice II**

### **Bibliografía**

- CEI 61282-3 (2002), *Fibre optic communication design guides – Part 3: Calculation of polarization mode dispersion.*





## SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

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