



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

**UIT-T**

SECTOR DE NORMALIZACIÓN  
DE LAS TELECOMUNICACIONES  
DE LA UIT

**G.654**

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

Recomendación UIT-T G.654

---

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

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100–G.199
CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES A TODOS LOS SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORAS	G.200–G.299
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES DE PORTADORAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.300–G.399
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES EN RADIOENLACES O POR SATÉLITE E INTERCONEXIÓN CON LOS SISTEMAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.400–G.449
COORDINACIÓN DE LA RADIOTELEFONÍA Y LA TELEFONÍA EN LÍNEA	G.450–G.499
EQUIPOS DE PRUEBAS	G.500–G.599
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.600–G.699
Generalidades	G.600–G.609
Cables de pares simétricos	G.610–G.619
Cables terrestres de pares coaxiales	G.620–G.629
Cables submarinos	G.630–G.649
<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.654

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

### Resumen

Esta Recomendación describe los atributos geométricos, mecánicos y de transmisión de las fibras y los cables ópticos monomodo que tienen dispersión nula con una longitud de onda de alrededor de 1300 nm con pérdida minimizada y longitud de onda de corte desplazada en la región de longitud de onda de alrededor de 1550 nm. Esta es la última revisión de una Recomendación creada en 1988. La presente revisión establece nuevas categorías de la fibra con un valor de diseño de enlace PMD reducido de 0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$ , con el objeto de dar cabida a sistemas con productos velocidad binaria/distancia superiores que habían sido posibles con las revisiones anteriores. Esta revisión tiene por objeto mantener el éxito comercial continuo de esta fibra en los sistemas de transmisión óptica de alta calidad en constante evolución.

### Orígenes

La Recomendación UIT-T G.654 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.

### Historia

Edición #	Número de Rec.	Fecha de aprobación
1.0	G.654	1988-11-25
2.0	G.654	1993-03-12
3.0	G.654	1997-04-08
4.0	G.654	2000-10-06
5.0	G.654	2002-06-29
6.0	G.654	2004-06-13

Para más detalles, véase Historia al final 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.

© 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

	<b>Página</b>
1 Alcance .....	1
2 Referencias .....	1
2.1 Referencias normativas .....	2
2.2 Referencias informativas .....	2
3 Términos y definiciones .....	2
4 Abreviaturas, siglas o acrónimos .....	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 .....	5
5.8 Perfil del índice de refracción.....	5
5.9 Uniformidad longitudinal a la dispersión cromática .....	5
5.10 Coeficiente de dispersión cromática.....	5
6 Características del cable .....	6
6.1 Coeficiente de atenuación.....	6
6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización .....	6
7 Cuadros de valores recomendados.....	7
Apéndice I – Información de los atributos del enlace y de diseño del sistema.....	9
I.1 Atenuación.....	10
I.2 Dispersión cromática .....	10
I.3 Retardo de grupo diferencial (DGD).....	10
I.4 Coeficiente no lineal.....	11
I.5 Cuadros de valores típicos comunes.....	11
BIBLIOGRAFÍA .....	13
Origen e historia de la Rec. UIT-T G.654.....	13



## Recomendación UIT-T G.654

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

#### 1 Alcance

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

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

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

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

Esta Recomendación y las diversas categorías de calidad de funcionamiento que figuran en los cuadros de la cláusula 7, tienen por objeto soportar el sistema de Recomendaciones relacionadas siguiente:

- Rec. UIT-T G.957
- Rec. UIT-T G.691
- Rec. UIT-T G.692
- Rec. UIT-T G.959.1
- Rec. UIT-T G.973
- Rec. UIT-T G.977

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

#### 2 Referencias

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 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.957 (1999), *Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital síncrona.*
- Recomendación UIT-T G.959.1 (2003), *Interfaces de capa física de red óptica de transporte.*
- Recomendación UIT-T G.973 (2003), *Características de los sistemas de cable submarino de fibra óptica sin repetidores.*
- Recomendación UIT-T G.977 (2004), *Características de los sistemas de cable submarino de fibra óptica con amplificación óptica.*

## 3 Términos y definiciones

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

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

## 4 Abreviaturas, siglas o acrónimos

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

CSF	Fibra con corte desplazado ( <i>cut-off shifted fibre</i> )
DGD	Retardo de grupo diferencial ( <i>differential group delay</i> )
DWDM	Multiplexación por división en longitud de onda densa ( <i>dense wavelength division multiplexing</i> )
MFD	Diámetro del campo modal ( <i>mode field diameter</i> )
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 links</i> )
RTM	Método de prueba de referencia ( <i>reference test method</i> )
TBD	Por determinar ( <i>to be determined</i> )



## 5 Características de la fibra

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

### 5.1 Diámetro del campo modal

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

### 5.2 Diámetro del revestimiento

El valor nominal recomendado del diámetro del revestimiento es 125  $\mu\text{m}$ .

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,  $\lambda_{cc}$ ;
- b) longitud de onda de corte de la fibra,  $\lambda_c$ ;
- c) longitud de onda de corte del cable puente,  $\lambda_{cj}$ .

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

La correlación de los valores medidos de  $\lambda_c$ ,  $\lambda_{cc}$  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 mínimo tramo de cable entre uniones a la mínima longitud de onda de funcionamiento del sistema. Para ello, pueden utilizarse dos enfoques alternativos:

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

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

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

Cuando el usuario decide especificar  $\lambda_{cc}$  como en 2), debe entenderse que  $\lambda_c$  puede ser superior a 1600 nm.

Cuando el usuario decide especificar  $\lambda_c$  como en 1), no es necesario especificar  $\lambda_{cc}$ .

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

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

La longitud de onda de corte del cable,  $\lambda_{cc}$ , 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 que figura en 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 de la sensibilidad a la flexión a una longitud de onda de 1550 nm. En este caso, se adoptarán valores apropiados de diámetro del bucle, número de vueltas y pérdida máxima admisible por flexión para la prueba de varias vueltas de forma que haya una correspondencia entre la prueba recomendada y la pérdida 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,  $\sigma_p$ , no será inferior al valor especificado en la cláusula 7.

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

## **5.8 Perfil del índice de refracción**

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

## **5.9 Uniformidad longitudinal a la dispersión cromática**

Queda en estudio.

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

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

## **5.10 Coeficiente de dispersión cromática**

El retardo de grupo o dispersión cromática por unidad de longitud de fibra medido en función de la longitud de onda viene dado por la expresión cuadrática que figura en el anexo A/G.650.1. (Referente a las directrices sobre la interpolación de valores de dispersión para longitudes de onda no medidas, véase 5.5/G.650.1.)

Para intervalos de longitud de onda de hasta 35 nm, y en función de los requisitos de exactitud, se permite la ecuación cuadrática en la región de 1550 nm. Para intervalos de mayor longitud de onda, se recomienda utilizar el modelo de Sellmeier de cinco términos o bien el modelo polinómico de cuarto orden. No está prevista su utilización en la región de 1310 nm.

NOTA – No es necesario medir el coeficiente de dispersión cromática como prueba 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 la región de 1530-1625 nm. Los valores del coeficiente de atenuación de los cables de fibra óptica no deben ser superiores a los valores especificados en la cláusula 7.

NOTA 1 – Los valores más bajos dependen del proceso de fabricación, de la composición y el diseño de la fibra, y del diseño del cable. En la región de 1550 nm se han conseguido valores comprendidos entre 0,15 y 0,19 dB/km.

NOTA 2 – El coeficiente de atenuación se puede calcular a través de un espectro de longitudes de onda basado en mediciones en unas (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 para la fibra G.652.

NOTA 3 – Para aplicaciones de sistemas submarinos con amplificador óptico de bombeo a distancia conforme a la Rec. UIT-T G.973, se pueden requerir otros coeficientes de atenuación en la región de longitud de onda de bombeo.

### 6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización

La dispersión por modo de polarización de las fibras cableadas se especificará de forma estadística y no de manera individual para cada fibra. Estos requisitos sólo son aplicables al enlace, a partir de la información sobre el cable. Más adelante se indican los principios de la especificación estadística. 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 Q especificados en la cláusula 7, el valor de  $PMD_Q$  no debe superar el valor máximo de PMD especificado en la cláusula 7.

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

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

NOTA 1 – Se debe calcular el valor de  $PMD_Q$  para diversos tipos de cables y generalmente deben ser calculados utilizando valores PMD muestreados. Las muestras se deben tomar de cables de construcción similar.

NOTA 2 – La especificación de  $PMD_Q$  no se debe aplicar en cables cortos tales como cables puente, cables de interior o cables de bajada.

## 7 Cuadros de valores recomendados

En los siguientes cuadros se resumen los valores recomendados para distintas categorías de fibras que satisfacen los requisitos de esta Recomendación. Estas categorías se distinguen ampliamente en la base de requisitos relativos al diámetro de campo modal, coeficiente de dispersión cromática y PMD. La información sobre requisitos de distancias de transmisión y velocidades binarias relativas al PMD figuran en el apéndice I.

Los atributos G.654.A del cuadro 1, constituyen la categoría básica para fibras y cables ópticos monomodo de corte desplazado. Es la categoría adecuada para el sistema descrito en las Recs. UIT-T G.691, G.692, G.957 y G.977 en la región de longitud de onda de 1550 nm.

Los atributos G.654.B que figuran en el cuadro 2, constituyen una categoría apropiada para el sistema descrito en las Recs. UIT-T G.691, G.692, G.957, G.977 y G.959.1 de aplicaciones de largo alcance en la región de longitud de onda de 1550 nm. Esta categoría se puede utilizar para sistemas de transmisión WDM de mayor longitud y mayor capacidad, por ejemplo, sistemas submarinos sin repetidor con amplificador óptico de bombeo a distancia, descritos en la Rec. UIT-T G.973, o los sistemas submarinos con amplificadores ópticos descritos en la Rec. UIT-T G.977.

Los atributos G.654.C que figuran en el cuadro 3, constituyen una categoría similar a G.654.A, pero el requisito de PMD reducido soporta aplicaciones de largo alcance y mayor velocidad binaria en G.959.1.

**Cuadro 1/G.654 – G.654.A**

<b>Atributos de la fibra</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Datos</b>	<b>Valor</b>
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1550 nm
	Gama de valores nominales	9,5-10,5 $\mu\text{m}$
	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	1530 nm
Pérdida por macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1550 nm	0,50 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$D_{1550\text{máx}}$	20 ps/nm·km
	$S_{1550\text{máx}}$	0,070 ps/nm <sup>2</sup> ·km
Coeficiente de PMD de fibra no cableada	Máximo	Véase la nota

**Cuadro 1/G.654 – G.654.A**

<b>Atributos del cable</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Datos</b>	<b>Valor</b>
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,22 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD <sub>Q</sub> máximo	0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTA – Los fabricantes de cable pueden especificar un coeficiente de PMD máximo facultativo de fibra no cableada para soportar el requisito primario de PMD <sub>Q</sub> del cable si ésta ha sido verificada para un tipo de construcción de cable en particular.		

**Cuadro 2/G.654 – G.654.B**

<b>Atributos de la fibra</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Datos</b>	<b>Valor</b>
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1550 nm
	Gama de valores nominales	9,5-13,0 $\mu\text{m}$
	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	1530 nm
Pérdida por macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1550 nm	0,50 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	D <sub>1550máx</sub>	22 ps/nm·km
	S <sub>1550máx</sub>	0,070 ps/nm <sup>2</sup> ·km
Coeficiente de PMD de fibra no cableada	Máximo	Véase la nota
<b>Atributos del cable</b>		
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,22 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD <sub>Q</sub> máximo	0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTA – Los fabricantes de cable pueden especificar un coeficiente de PMD máximo facultativo de fibra no cableada para soportar el requisito primario de PMD <sub>Q</sub> del cable si ésta ha sido verificada para un tipo de construcción de cable en particular.		

**Cuadro 3/G.654 – G.654.C**

<b>Atributos de la fibra</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Datos</b>	<b>Valor</b>
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1550 nm
	Gama de valores nominales	9,5-10,5 $\mu\text{m}$
	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	1530 nm
Pérdida por macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1550 nm	0,50 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$D_{1550\text{máx}}$	20 ps/nm·km
	$S_{1550\text{máx}}$	0,070 ps/nm <sup>2</sup> ·km
Coeficiente de PMD de fibra no cableada	Máximo	Véase la nota
<b>Atributos del cable</b>		
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,22 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD <sub>Q</sub> máximo	0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTA – Los fabricantes de cable pueden especificar un coeficiente de PMD máximo facultativo de fibra no cableada para soportar el requisito primario de PMD <sub>Q</sub> del cable si ésta ha sido verificada para un tipo de construcción de cable en particular.		

## Apéndice I

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

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

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

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

### I.1 Atenuación

La atenuación  $A$  de un enlace viene dada por:

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

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 ecuación (I-1) no incluye la pérdida de los conectores del equipo. Los valores típicos indicados en I.5 corresponden al coeficiente de atenuación de un enlace de fibra óptica. En las previsiones de atenuación para el diseño de un sistema real deben tenerse en cuenta las variaciones estadísticas de esos parámetros.

### I.2 Dispersión cromática

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

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

En la cláusula I.5 se incluyen valores típicos del coeficiente de dispersión cromática,  $D_{1550}$ , y del coeficiente de pendiente de la dispersión cromática,  $S_{1550}$ , a 1550 nm. Estos valores pueden utilizarse, junto con la longitud del enlace,  $L_{Link}$ , para calcular la dispersión cromática típica que debe utilizarse en el diseño de enlaces ópticos.

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

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

El retardo de grupo diferencial es la diferencia observada entre los instantes de llegada de dos modos de polarización para una longitud de onda y un instante determinados. En el caso de un enlace con un coeficiente de PMD específico, el DGD del enlace varía de forma aleatoria con el tiempo y la longitud de onda como una distribución de Maxwell con un solo parámetro (el producto del coeficiente de PMD del enlace y de la raíz cuadrada de la longitud del mismo). Las



degradaciones del sistema debidas al PMD para un instante y longitud de onda determinados, dependen del DGD para dicho instante y longitud de onda. Por lo tanto, se han desarrollado los medios necesarios para establecer límites prácticos en la distribución del DGD, dado que éste se relaciona con la distribución del coeficiente de PMD del cable de fibra óptica y con sus límites. Estos medios se especifican en CEI 61282-3. 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 Recs. UIT-T G.663y 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 máximos inducidos por la fibra que figuran en el cuadro I.2 se utilizan como guía en relación con los requisitos para otros elementos ópticos que pueden estar en el enlace.

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

Atributo	Detalle	Valor
Coeficiente de atenuación	Longitud de onda	Valor típico del enlace (véase la nota)
	1550 nm	0,25 dB/km
	1625	TBD
Parámetros de dispersión cromática	$D_{1550}$	TBD
	$S_{1550}$	TBD
NOTA – El valor típico del enlace corresponde al coeficiente de atenuación utilizado en las Recs. UIT-T G.957 y G.691.		

**Cuadro I.2/G.654 – Retardo de grupo diferencial**

<b>PMDQ máximo (ps/√km)</b>	<b>Longitud del enlace (km)</b>	<b>DGD máximo inducido de la fibra (ps)</b>	<b>Velocidades binarias del canal</b>
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 también 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 a 25 km, el nivel de probabilidad es  $6,5 \times 10^{-8}$ .

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] CEI/TR 61282-3 (2002), *Fibre optic communication system design guides – Part 3: Calculation of polarization mode dispersion.*

### Origen e historia de la Rec. UIT-T G.654

- 1988 Rec. UIT-T G.654, *Características de los cables de fibra óptica monomodo con pérdida minimizada a una longitud de onda de 1550 nm*, producida por la Comisión de Estudio 15 del UIT-T (1985-1988).
- 2000 La Rec. UIT-T G.654 fue revisada por la Comisión de Estudio 15 del UIT-T (1997-2000) y aprobada en su cuarta edición por la Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (Montreal, 27 de septiembre-6 de octubre de 2000). En esta revisión se modificó la estructura de la Recomendación teniendo en cuenta otras Recomendaciones para fibra, como las Recs. UIT-T G.652, G.653 y G.655.
- 2002 La Rec. UIT-T G.654 fue revisada por la Comisión de Estudio 15 del UIT-T (2001-2004) y fue aprobada en su quinta edición por el proceso de aprobación alternativo (AAP) el 29 de junio de 2002. En esta revisión se añadió otra categoría de fibras con atributos diferentes de diámetro de campo modal y coeficiente de dispersión cromática, como G.654.B. De conformidad con el acuerdo sobre bandas de espectro, se modificó la especificación del límite superior de la banda L, de 16xx nm a 1625 nm. En lugar de "subcategoría básica" y "subcategoría", se habla ahora de "categoría básica" y "categoría", respectivamente.
- 2004 La Rec. UIT-T G.654 fue revisada por la Comisión de Estudio 15 del UIT-T (2001-2004) y fue aprobada en su sexta edición por el proceso de aprobación alternativo (AAP) el 13 de junio de 2004. En esta revisión se redujo el límite de  $PMD_Q$  (comparado a 0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ) en G.654.B y se añadió una nueva categoría que ha reducido el límite de  $PMD_Q$ . La tolerancia del diámetro del campo modal en G.654.B se redujo a  $\pm 0,7 \mu\text{m}$ . Para la prueba de macroflexión, el diámetro del mandril se redujo a un radio de 30 nm.

Como se observa, esta Recomendación ha evolucionado considerablemente durante años; por tanto, se advierte al lector que considere la versión apropiada para determinar las características del producto ya instalado, teniendo en cuenta el año de producción. En realidad, se espera que los productos satisfagan la Recomendación en vigor en el momento de su elaboración, pero puede no satisfacer completamente las versiones subsiguientes de la Recomendación.





## 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
<b>Serie G</b>	<b>Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales</b>
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