



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

**UIT-T**

SECTOR DE NORMALIZACIÓN  
DE LAS TELECOMUNICACIONES  
DE LA UIT

**G.653**

(10/2000)

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 dispersión desplazada**

Recomendación UIT-T G.653

(Anteriormente Recomendación del CCITT)

---

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

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

## **Recomendación UIT-T G.653**

### **Características de los cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada**

#### **Resumen**

En esta Recomendación se describen las características de transmisión de una fibra óptica monomodo con dispersión cero desplazada a la ventana de 1550 nm. Las definiciones y los métodos de prueba se recogen en una Recomendación separada, UIT-T G.650. Se proporciona un cuadro de valores recomendados para este tipo de fibra a fin de permitir una fácil referencia respecto a los tipos de sistemas que se soportan. Se recomiendan rangos permitidos de los atributos del cable y de las fibras. En el apéndice I se incluye información sobre los atributos del enlace y de diseño del sistema.

#### **Orígenes**

La Recomendación UIT-T G.653, revisada por la Comisión de Estudio 15 (1997-2000) del UIT-T, fue aprobada por la Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (Montreal, 27 de septiembre – 6 de octubre de 2000).

## 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 2001

Es propiedad. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse o utilizarse, de ninguna forma o por ningún medio, sea éste electrónico o mecánico, de fotocopia o de microfilm, sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
1 Alcance .....	1
2 Referencias.....	1
2.1 Referencias normativas.....	1
2.2 Referencias informativas .....	2
3 Términos y definiciones.....	2
4 Abreviaturas.....	2
5 Características de la fibra.....	2
5.1 Diámetro del campo modal.....	2
5.2 Diámetro del revestimiento.....	2
5.3 Error de concentricidad del núcleo .....	3
5.4 No circularidad.....	3
5.4.1 No circularidad del campo modal.....	3
5.4.2 No circularidad del revestimiento.....	3
5.5 Longitud de onda de corte.....	3
5.6 Pérdida por macroflexiones .....	3
5.7 Propiedades materiales de la fibra .....	4
5.7.1 Materiales de la fibra .....	4
5.7.2 Materiales protectores.....	4
5.7.3 Nivel de prueba de resistencia mecánica.....	4
5.8 Perfil del índice de refracción.....	4
5.9 Uniformidad longitudinal de la dispersión cromática.....	4
5.10 Coeficiente de dispersión cromática .....	5
6 Características del cable.....	6
6.1 Coeficiente de atenuación.....	6
6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización (PMD).....	6
7 Cuadro de valores recomendados .....	7
Apéndice I – Información de los atributos del enlace y de diseño del sistema .....	9
I.1 Atenuación .....	9
I.2 Dispersión cromática .....	9
I.3 Retardo de grupo diferencial (DGD) .....	10
I.4 Coeficiente no lineal .....	10
I.5 Cuadros de valores típicos comunes.....	10
Apéndice II – Información sobre estadísticas de la dispersión por modo de polarización .....	11
II.1 Introducción .....	11

	<b>Página</b>
II.2 Recogida de datos .....	12
II.3 Cálculo de $PMD_Q$ (Monte Carlo) .....	13
II.4 Cálculo para $DGD_{m\acute{a}x}$ (Monte Carlo).....	13
Apéndice III – Bibliografía .....	14

## Recomendación UIT-T G.653

### Características de los cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada

#### 1 Alcance

Esta Recomendación describe una fibra y cable ópticos monomodo con dispersión desplazada, con longitud de onda de dispersión nula nominal próxima a 1550 nm y un coeficiente de dispersión que aumenta monótonicamente con la longitud de onda. Esta fibra está optimizada para uso en la ventana de 1550 nm, pero puede utilizarse también a longitudes de onda en torno a 1310 nm, con las restricciones indicadas en esta Recomendación. Se realizan algunas provisiones para soportar velocidades de transmisión a longitudes de onda superiores – de hasta 16xx, siendo xx menor o igual que 25 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 basadas en medidas, modelado u otras consideraciones. Los atributos de enlace y de diseño del sistema se describen en el apéndice I.

Se proporciona un cuadro de valores recomendados para facilitar la referencia a los mismos. El cuadro indica la subcategoría básica de la fibra óptica. De acuerdo con la evolución futura de la tecnología, se podrán crear nuevas subcategorías en términos de implementación de sistemas.

El significado de los términos empleados en esta Recomendación y las directrices que han de seguirse en las mediciones para verificar las diversas características se indican en UIT-T G.650 [1]. Las características de esta fibra, incluidas las definiciones de los correspondientes parámetros, sus métodos de prueba y los valores pertinentes, se precisarán a medida que se avance en los estudios y se adquiera experiencia.

#### 2 Referencias

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.

##### 2.1 Referencias normativas

- [1] UIT-T G.650 (2000), *Definición y métodos de prueba de los parámetros pertinentes de las fibras monomodo.*

## 2.2 Referencias informativas

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

- [2] UIT-T G.663 (2000), *Aspectos relacionados con la aplicación de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos.*
- [3] UIT-T G.691 (2000), *Interfaces ópticas para sistemas STM-64, STM-256 de un solo canal y otros sistemas de la jerarquía digital síncrona con amplificadores ópticos.*
- [4] UIT-T G.692 (1998), *Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos.*

## 3 Términos y definiciones

Para los fines de esta Recomendación, se aplican las definiciones contenidas en UIT-T G.650 [1]. 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.

DGD	Retardo de grupo diferencial ( <i>differential group delay</i> )
GPa	GigaPascal
PMD	Dispersión por modo de polarización ( <i>polarization mode dispersion</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 los fabricantes de fibras. En los cuadros de la cláusula 7 se presentan las gamas de valores y los valores límites. De éstas, la longitud de onda de corte de la fibra cableada y la dispersión por modo de polarización (PMD, *polarization mode dispersion*) pueden verse apreciablemente afectadas por la fabricación o la instalación del cable. En los demás casos, las características recomendadas se aplicarán igualmente a las fibras individuales, a las fibras incorporadas en un cable arrollado en un tambor y a las fibras en cables instalados.

### 5.1 Diámetro del campo modal

El valor nominal y la tolerancia del mismo se especifican para 1550 nm. El valor nominal especificado debe encontrarse comprendido en la gama de valores de la cláusula 7. La tolerancia especificada no debe exceder el valor especificado en la cláusula 7. La desviación respecto al valor nominal no debe exceder la tolerancia especificada.

### 5.2 Diámetro del revestimiento

El valor nominal recomendado del diámetro del revestimiento es 125  $\mu\text{m}$ . En la cláusula 7 se especifica asimismo una tolerancia que no debe excederse. La desviación del revestimiento no debe exceder la tolerancia especificada.

### 5.3 Error de concentricidad del núcleo

El error de concentricidad no debe exceder del valor especificado en la cláusula 7.

### 5.4 No circularidad

#### 5.4.1 No circularidad del campo modal

En la práctica, la no circularidad del campo modal de las fibras que tienen campos modales nominalmente circulares es lo suficientemente baja como para que la propagación y las uniones no se vean afectadas. En consecuencia, no se considera necesario recomendar un valor determinado de no circularidad del campo modal. En general, no es necesario medir la no circularidad del campo modal con fines de aceptación.

#### 5.4.2 No circularidad del revestimiento

La no circularidad del revestimiento no debe exceder el valor especificado en la cláusula 7.

### 5.5 Longitud de onda de corte

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

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

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 mínimo de cable entre uniones a la longitud de onda de funcionamiento mínima del sistema. Ello puede conseguirse recomendando que la máxima longitud de onda de corte  $\lambda_{cc}$  de una fibra monomodo cableada sea 1270 nm, o en el caso de cables puente, recomendando que la máxima longitud de onda de corte  $\lambda_{cj}$  sea 1270 nm, o en el peor caso de longitud y de flexión de la fibra, recomendando que la máxima longitud de onda de corte de la fibra sea  $\lambda_c$ .

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

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

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

### 5.6 Pérdida por macroflexiones

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

Si la fibra puede utilizarse a longitudes de onda superiores a 1550 nm, la pérdida máxima a la mayor longitud de onda prevista puede estimarse a partir de una medición de la pérdida a 1550 nm, utilizando la modelación espectral de la pérdida o una base de datos estadísticos para ese diseño de

fibra determinado. Otra posibilidad consiste en efectuar una prueba de calificación a la longitud de onda superior.

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

NOTA 2 – El número de vueltas recomendado corresponde al número aproximado de vueltas aplicadas en todos los casos de empalmes de un tramo de repetición típico. El radio recomendado es equivalente al mínimo radio de curvatura generalmente aceptado en el montaje a largo plazo de fibras en las instalaciones de sistemas reales, para evitar fallos por fatiga estática.

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

NOTA 4 – Se sugiere que si se prevé utilizar un radio de curvatura inferior al recomendado en los empalmes o en cualquier otro lugar del sistema (por ejemplo,  $R = 30$  mm), se aplique el mismo valor de pérdida máxima al número de vueltas de fibra montadas con dicho radio inferior.

NOTA 5 – La recomendación de pérdidas por macroflexión se refiere al montaje de las fibras en instalaciones reales de fibra monomodo. La influencia de los radios de curvatura relacionados con el trenzado de fibras monomodo cableadas sobre la característica de pérdida, se incluye en la especificación de pérdida de la fibra cableada.

NOTA 6 – Cuando se requieran pruebas de rutina, en lugar del valor recomendado puede utilizarse un bucle de menor diámetro de una o varias vueltas al objeto de conseguir precisión y facilitar la medida. En este caso, el diámetro del bucle, el número de vueltas y la máxima pérdida admisible por flexión para la prueba de varias vueltas, deben elegirse de modo que exista una correspondencia con la prueba recomendada y la pérdida permitida.

## **5.7 Propiedades materiales de la fibra**

### **5.7.1 Materiales de la fibra**

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

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

### **5.7.2 Materiales protectores**

Deben indicarse las propiedades físicas y químicas del material utilizado para el recubrimiento primario de la fibra, y la mejor manera de retirarlo (si es necesario). En el caso de una fibra con una sola envoltura, se darán indicaciones similares.

### **5.7.3 Nivel de prueba de resistencia mecánica**

El nivel de prueba de resistencia mecánica especificada,  $\sigma_p$ , no será inferior al valor 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 concreta, el valor absoluto del coeficiente de dispersión cromática puede variar con respecto al valor medido en una sección de gran longitud. Si el valor disminuye hasta un valor pequeño a una longitud de onda próxima a una longitud de onda de funcionamiento de un sistema WDM, el

efecto no lineal conocido por mezcla de cuatro ondas puede inducir la propagación de potencia a otras longitudes de onda, incluyendo, pero no estando limitado a, otras longitudes de onda de funcionamiento. La magnitud de la potencia de la mezcla de cuatro ondas es función del valor absoluto del coeficiente de dispersión cromática, la pendiente de dispersión cromática, las longitudes de onda en funcionamiento y la distancia a lo largo de la que se produce la mezcla de cuatro ondas.

### 5.10 Coeficiente de dispersión cromática

La siguiente ecuación especifica la dispersión cromática,  $D(\lambda)$ , en ps/(nm·km):

$$D(\lambda) = (\lambda - \lambda_0)S_0$$

donde  $\lambda$  es la longitud de onda de interés, en nm,  $\lambda_0$  es la longitud de onda de dispersión nula, en nm, y  $S_0$  la pendiente de dispersión nula en ps/(nm<sup>2</sup>·km). La pendiente,  $S_0$ , viene especificada por su valor máximo:  $S_0 < S_{0\text{máx}}$ . La longitud de onda de dispersión nula,  $\lambda_0$ , viene especificada por el valor nominal de 1550 y su máxima tolerancia,  $\Delta\lambda_{0\text{máx}}$ , por encima y por debajo de 1550 nm (se considera simétrica):

$$1550 - \Delta\lambda_{0\text{máx}} < \lambda_0 < 1550 + \Delta\lambda_{0\text{máx}}$$

Además, el máximo valor absoluto del coeficiente de dispersión,  $D_{\text{máx}}$ , en ps/(nm·km), se especifica con respecto a la anchura de ventana especificada,  $\Delta\lambda_w$  nm, por encima y por debajo de 1550 nm. De este modo:

$$|D(\lambda)| < D_{\text{máx}}$$

$$\text{para } 1550 - \Delta\lambda_w < \lambda < 1550 + \Delta\lambda_w$$

Los usuarios que operen con una longitud de onda central de transmisor que difiera de 1550 nm (por encima o por debajo) en  $\Delta\lambda_t$  nm, pueden calcular el máximo valor absoluto del coeficiente de dispersión de la siguiente manera:

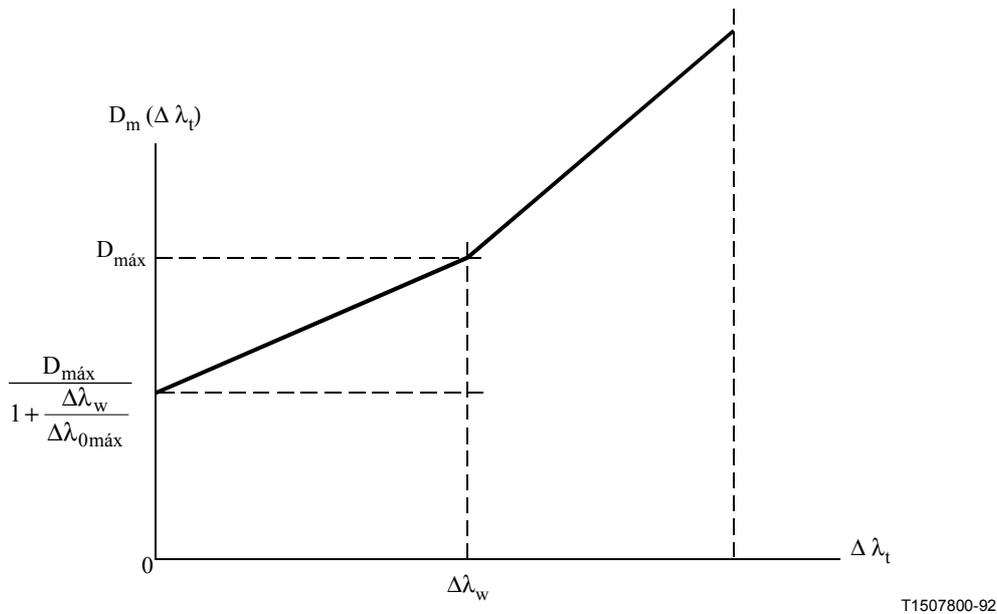
$$D_m(\Delta\lambda_t) = D_{\text{máx}} \frac{\Delta\lambda_t + \Delta\lambda_{0\text{máx}}}{\Delta\lambda_w + \Delta\lambda_{0\text{máx}}}$$

$$\text{para } 0 \leq \Delta\lambda_t \leq \Delta\lambda_w \text{ y}$$

$$D_m(\Delta\lambda_t) = D_{\text{máx}} + S_{0\text{máx}}(\Delta\lambda_t - \Delta\lambda_w)$$

$$\text{para } \Delta\lambda_w \leq \Delta\lambda_t \leq 50 \text{ nm}$$

donde  $D_{\text{máx}} = D_m(\Delta\lambda_w)$ . La figura 1 ilustra esquemáticamente la especificación:



**Figura 1/G.653 – Máximo valor absoluto del coeficiente de dispersión**

Los valores de  $\Delta\lambda_{0m\acute{a}x}$ ,  $S_{0m\acute{a}x}$ ,  $D_{m\acute{a}x}$  y  $\Delta\lambda_w$  estarán comprendidos en los rangos especificados en la cláusula 7.

## 6 Características del cable

Dado que las características geométricas y ópticas de las fibras indicadas en la cláusula 5 se ven muy poco afectadas por el proceso de cableado, en esta cláusula se incluyen recomendaciones principalmente relativas a las características de transmisión de los largos de fabricación cableados.

Las condiciones ambientales y de prueba son de gran importancia y se describen en las directrices sobre métodos de prueba.

### 6.1 Coeficiente de atenuación

El coeficiente de atenuación se especifica con un valor máximo para una o más longitudes de onda en la región de 1550 nm. Cuando se tiene el propósito de utilizar estos cables en la región de 1300 nm debe tenerse en cuenta que su coeficiente de atenuación en esta región es generalmente inferior a 0,55 dB/km. Los valores del coeficiente de atenuación de los cables de fibra óptica no deben exceder los valores especificados en la cláusula 7.

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

La dispersión por modo de polarización (PMD) de la fibra cableada se especifica estadísticamente, no de forma individual para cada fibra. Los requisitos sólo hacen referencia a aspectos del enlace calculados a partir de la información del cable. A continuación se describe la métrica de la especificación estadística. En CEI 61282-3 se describen los métodos de cálculo que se resumen en el apéndice II.

El fabricante debe proporcionar un valor de PMD de diseño del enlace,  $PMD_Q$ , que constituya el límite estadístico superior del coeficiente de PMD de los cables de fibra óptica concatenados en un enlace de M secciones de cable. El límite superior se define en términos de un bajo nivel de la probabilidad, Q, de que un valor de coeficiente de PMD concatenado sea mayor que  $PMD_Q$ . Para los

valores de M y Q de la cláusula 7, el valor de  $PMD_Q$  no debe superar el coeficiente máximo de PMD especificado en la cláusula 7.

Las medidas 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 en función del tiempo y de la longitud de onda. Cuando se especifica la distribución del coeficiente de PMD para cables de fibra óptica, pueden determinarse límites equivalentes para la variación de DGD. En el apéndice I figuran la métrica y los valores de los límites de la distribución del DGD.

## **7 Cuadro de valores recomendados**

El cuadro 1 resume los valores recomendados. Este cuadro representa la categoría de valores básicos actualizados de esta Recomendación.

G.653.A constituye la subcategoría básica para un cable de fibra óptica monomodo de dispersión desplazada. Esta subcategoría es adecuada para los sistemas de UIT-T G.691 y UIT-T G.692 con una separación no uniforme entre canales en la banda de 1550 nm.

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

**Cuadro 1/G.653 – G.653.A Categoría básica de cable**

<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	7,8-8,5 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0,8 \mu\text{m}$
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	1270 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	37,5 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1550 nm	0,5 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{mín}}$	1500 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1600 nm
	$S_{0\text{máx}}$	0,085 ps/(nm <sup>2</sup> ·km)
	$D_{\text{máx}}$	3,5 ps/(nm·km)
	$\Delta\lambda_{0\text{máx}}$	50 nm
	$\Delta\lambda_w$	25 nm
Coeficiente de PMD de fibra no cableada	Máximo	ps/ $\sqrt{\text{km}}$ (Nota)
<b>Atributos del cable</b>		
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,35 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 los requisitos primarios de la 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 cable de fibra óptica de fabricación empalmados. Los requisitos aplicables a los largos de fabricación se indican en las cláusulas 5 y 6. Los parámetros de transmisión de enlaces concatenados deben tener en cuenta no sólo el comportamiento de los distintos largos del cable, sino también las estadísticas de la concatenación.

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

Los atributos del enlace se ven afectados por factores ajenos al propio cable de fibra óptica, tales como los empalmes, los conectores y la instalación. Estos factores no pueden especificarse en esta Recomendación. A los efectos de la estimación de los valores de las características del enlace, en I.5 se presentan valores típicos para cables de fibra óptica.

Los métodos de estimación de parámetros necesarios para el diseño del enlace están basados en medidas, en el modelado o en otras consideraciones.

#### I.1 Atenuación

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

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

donde:

$\alpha$  coeficiente de atenuación típico de los cables de fibra en un enlace

$L$  longitud del enlace

$\alpha_s$  atenuación media por empalme

$\chi$  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)

Debe preverse un margen adecuado para futuras modificaciones de la configuración del cable (empalmes suplementarios, largos de cable suplementarios, efectos del envejecimiento, variaciones de temperatura, etc.). La expresión anterior no incluye la pérdida de los conectores del equipo. Los valores típicos indicados en I.5 corresponden al coeficiente de atenuación de cables de fibra óptica. El presupuesto de atenuación utilizado en el diseño de un sistema real debe tener en cuenta las variaciones estadísticas de esos parámetros.

#### I.2 Dispersión cromática

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

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

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

### 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 analizan en CEI 61282-3.

Longitud del enlace de referencia ( $L_{\text{Ref}}$ , *reference link length*): es la máxima longitud de enlace a la que se aplica el DGD máximo y su probabilidad. Para enlaces más largos, se multiplica el máximo de DGD por la raíz cuadrada de la relación entre la longitud real y la longitud de referencia.

Longitud de cable máxima típica ( $L_{\text{Cab}}$ , *typical maximum cable length*): los valores máximos están asegurados cuando los cables individuales típicos de la concatenación o las longitudes de los cables que se miden para determinar la distribución del coeficiente de PMD son menores que este valor.

DGD máximo,  $\text{DGD}_{\text{máx}}$ : valor de DGD que puede utilizarse considerando el diseño del sistema óptico.

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

La cláusula I.5 incluye valores para estas métricas que resultan adecuados para el cable de fibra óptica que satisfaga los límites estadísticos de PMD recomendados en el cuadro 1.

### I.4 Coeficiente no lineal

El efecto de la dispersión cromática interactúa con el coeficiente no lineal,  $n_2/A_{\text{eff}}$ , en relación con las degradaciones del sistema inducidas por efectos ópticos no lineales (véase UIT-T G.663). 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 del cuadro I.1 son representativos de cables de fibra óptica concatenados de acuerdo con I.1, I.2 e I.3.

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

Coeficiente de atenuación	Longitud de onda	Valor típico del enlace
	1550 nm	0,28 dB/km
	16XX nm	TBD
Retardo de grupo diferencial (DGD) (Nota)	Longitud de referencia del enlace	400 km
	Longitud típica máxima de la sección de cable	10 km
	DGD máximo	25 ps
	Probabilidad máxima	$6,5 \cdot 10^{-8}$
Coeficiente de dispersión cromática	$D_{1550}$	0 ps/(nm·km)
	$S_{1550}$	0,07 ps/(nm <sup>2</sup> ·km)
NOTA – Estos valores sólo son apropiados cuando se especifican los valores de $PMD_Q$ del cuadro 1.		

## APÉNDICE II

### Información sobre estadísticas de la dispersión por modo de polarización

Este apéndice tiene por objeto resumir algunos de los cálculos estadísticos de la dispersión por modo de polarización (PMD). En CEI 61282-3 se documentan con mayor detalle los cálculos y la teoría aplicada. Este apéndice se estructura en las cláusulas siguientes:

- II.1 Introducción
- II.2 Recogida de datos
- II.3 Cálculo de  $PMD_Q$  (Monte Carlo)
- II.4 Cálculo de  $DGD_{m\acute{a}x}$  (Monte Carlo)

NOTA – En CEI 61282-3 se definen y utilizan otros métodos de cálculo. En este caso se utiliza el método de Monte Carlo por ser el de más fácil descripción.

#### II.1 Introducción

Las dispersión por modo de polarización (PMD) es un atributo estadístico que, para una fibra determinada, se define como el valor medio de los valores del retardo de grupo diferencial (DGD) de una serie de longitudes de onda. Dado que los valores de DGD son aleatorios con el tiempo y la longitud de onda, existe un límite inferior teórico de la reproducibilidad que puede conseguirse para el valor de PMD, del  $\pm 15\%$  aproximadamente. Ello significa que no es adecuado seleccionar fibras o cables individuales conformes a una especificación que sea más estricta que la propia capacidad del proceso. Dicha selección es a menudo adecuada para atributos determinísticos como la atenuación, pero no lo es en general para la PMD. Ello significa que es más razonable disponer de una especificación de la distribución global del proceso.

Una segunda consideración referida a la funcionalidad de la PMD es que las degradaciones del sistema para un instante y una longitud de onda dadas están controladas por el valor de DGD, que varía estadísticamente alrededor del valor de PMD. Si para una fibra cableada en particular se dispone del valor de PMD, puede calcularse la probabilidad de que DGD supere un valor dado. No obstante, es patente que la aplicación de estas fórmulas a un valor máximo especificado produce una visión muy inexacta del comportamiento real del sistema. Una especificación estadística basada

en la PMD puede, sin embargo, permitir la obtención de un límite estadístico de los valores de DGD para la población en su conjunto. Este límite, definido en términos de probabilidad, conduce a un valor que se utiliza en el diseño del sistema y que es aproximadamente un 20% inferior al valor de DGD y dos órdenes de magnitud inferior a los valores que se obtendrían sin utilizar una especificación estadística.

Debido a la primera consideración, es conveniente definir una única métrica estadística para la distribución de los valores de PMD medidos en cables de fibra óptica. Por tanto, la métrica debe incorporar ambos aspectos, a saber, la media y la variabilidad del proceso. La métrica es precisamente el límite de confianza superior para un nivel de probabilidad.

Es bien conocido que el coeficiente de PMD de un conjunto de cables concatenados puede estimarse mediante el cálculo del valor cuadrático medio de los coeficientes de PMD de los cables individuales. Para que la métrica del límite de confianza superior tenga un significado más preciso en términos de aplicación, se calcula el límite superior de un enlace concatenado formado por veinte cables. Este número de cables es inferior al utilizado en la mayoría de los enlaces, pero es suficientemente grande como para ser de utilidad a fin de estimar las distribuciones de DGD en enlaces concatenados. También se ha normalizado un valor de probabilidad del 0,01% – parcialmente sobre la base de obtener la equivalencia con la probabilidad de que el DGD supere un límite que debe ser muy bajo. El límite de confianza superior se denomina  $PMD_Q$ , o valor de diseño del enlace, y este tipo de especificación se denomina Método 1.

El límite de probabilidad para DGD se fija en  $6,5 \cdot 10^{-8}$  en función de varias consideraciones relativas al sistema, incluida la presencia en los enlaces de otros componentes que generan PMD. En CEI 61282-3 se describe un método para determinar un máximo (definido en términos de probabilidad) de forma que si una distribución cumple los requisitos del Método 1, el DGD a lo largo de enlaces formados exclusivamente por cable de fibra óptica será superior al valor máximo de DGD con una probabilidad menor de  $6,5 \cdot 10^{-8}$ . El valor  $DGD_{m\acute{a}x}$  se establece para una amplia gama de formas de la distribución. Este método de especificación de la distribución de la PMD de cables de fibra óptica basado en el  $DGD_{m\acute{a}x}$  se conoce como Método 2. En CEI 61282-3 se incluyen algunos métodos para combinar los parámetros del Método 2 con los de otros componentes ópticos.

El Método 1 es una métrica basada en lo que se mide y, por tanto, de utilización más directa como requisito normativo en transacciones y en el comercio en general. El Método 2 constituye una forma de extrapolar las implicaciones para el diseño del sistema y, por tanto, constituye información para el diseño del mismo.

## **II.2 Recogida de datos**

Los cálculos se realizan con valores de PMD que son representativos de un tipo de construcción de cable dado y un instante de fabricación específico. Normalmente se requieren 100 valores. La muestra se toma normalmente de distintos cables en producción y en distintas ubicaciones de fibras en los cables.

La distribución del cable puede ampliarse mediante medidas de fibras no cableadas, siempre que exista una relación estable entre la fibra no cableada y los valores de cable para un tipo de construcción dado. Una forma de conseguir dicho aumento es generar varios posibles valores del cable a partir del valor de cada fibra no cableada. Estos valores deben ser seleccionados de forma aleatoria para representar la relación habitual y la variabilidad derivada, por ejemplo, de la reproducibilidad de las mediciones. Dado que la gama de variaciones incluye un error de reproducibilidad, este método de estimación de la distribución de los valores de PMD del cable puede dar lugar a una sobreestimación del valor de  $PMD_Q$ .

La longitud de las muestras medidas puede afectar a lo que se deduce del Método 2. Tras estudiar este asunto, se ha llegado a la conclusión siguiente. Las implicaciones del Método 2 son válidas para cualquier enlace de menos de 400 km en la medida en que:

- las secciones de cable instaladas sean menores de 10 km, o
- las longitudes medidas sean menores de 10 km.

### II.3 Cálculo de $PMD_Q$ (Monte Carlo)

En CEI 61282-3 se presentan otros métodos de cálculo. A continuación se describe el método de Monte Carlo pues es el más sencillo de describir y el que hace un menor número de supuestos.

Los valores medidos de los coeficientes de PMD se representan por  $x_i$ , siendo  $i$  de 1 a  $N$ , el número de mediciones realizadas. Estos valores se utilizan para generar 100 000 valores de coeficientes de PMD de enlaces concatenados, calculado cada uno como el valor cuadrático medio de los 20 valores de cable individuales seleccionados de forma aleatoria de entre la población muestral.

NOTA – Si  $N = 100$ , existen  $5,3 \cdot 10^{20}$  posibles valores de enlaces.

Para cada cálculo de valor del enlace, se seleccionan 20 números aleatorios comprendidos entre 1 y  $N$ , y a cada uno se asigna un índice  $k$ . El coeficiente de PMD del enlace,  $y$ , se calcula de la forma siguiente:

$$y = \left( \frac{1}{20} \sum_{k=1}^{20} x_k^2 \right)^{1/2} \quad (\text{II-1})$$

Los 100 000 valores de  $y$  se representan en un histograma de alta densidad conforme se van calculando. Una vez realizado dicho cálculo, se calcula la función de probabilidad acumulada del histograma para determinar el valor de PMD asociado con un nivel del 99,99%. Dicho valor se denomina  $PMD_Q$ . Si el valor calculado de  $PMD_Q$  es menor que el valor especificado (0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$ ), se considera que la distribución pasa el Método 1.

### II.4 Cálculo para $DGD_{\text{máx}}$ (Monte Carlo)

Este cálculo se basa a su vez en el cálculo de  $PMD_Q$ . Se predefine un valor de  $DGD_{\text{máx}}$  (a 25 ps) y se calcula la probabilidad,  $P_F$ , de que se supere dicho valor. Si la probabilidad calculada es inferior al valor especificado ( $6,5 \cdot 10^{-8}$ ), la distribución pasa el Método 2.

Antes de iniciar el procedimiento de Monte Carlo, se calcula el límite del coeficiente de PMD,  $P_{\text{máx}}$ , como sigue:

$$P_{\text{máx}} = \frac{DGD_{\text{máx}}}{\sqrt{L_{\text{ref}}}} = \frac{25}{20} = 1,25$$

Para cada pareja consecutiva de los 20 valores de concatenación de enlaces de cable,  $y_{2j-1}$  e  $y_{2j}$ , se genera un valor de concatenación de 40 enlaces de cable,  $z_j$ :

$$z_j = \left( \frac{y_{2j-1}^2 + y_{2j}^2}{2} \right)^{1/2} \quad (\text{II-2})$$

NOTA – Con ello se generan 50 000 valores de  $z_j$ , que constituye un número adecuado.

Se calcula la probabilidad de que se supere  $DGD_{\text{máx}}$  en la concatenación j-ésima de 40 enlaces,  $p_j$ , según:

$$P_j = 1 - \int_0^{P_{\text{máx}}/z_j} 2 \left( \frac{4}{\eta} \right)^{3/2} \frac{t^2}{\Gamma(3/2)} \exp \left[ -\frac{4}{\eta} t^2 \right] dt$$

En la hoja de cálculo Excell<sup>TM</sup> existe una función que puede realizar el cálculo de  $p_j$ , en concreto la función GAMMADIST (X, ALFA, BETA, ACUM). La llamada a esta función debe hacerse de la forma siguiente:

$$PJ = 1 - \text{GAMMADIST}(4 * P_{\text{MAX}} * P_{\text{MAX}} / (PI() * ZI * ZI), 1.5, 1, \text{TRUE}) \quad (\text{II-4})$$

La probabilidad de que se supere  $DGD_{\text{máx}}$ ,  $P_F$ , es:

$$P_F = \frac{1}{50000} \sum_j P_j \quad (\text{II-5})$$

Si  $P_F$  es menor que el valor especificado, la distribución pasa el Método 2.

### APÉNDICE III

#### **Bibliografía**

- CEI 61282-3 (en preparación), *Guidelines for the calculation of PMD in Fibre Optic Systems*.

## 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 multimedios
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Transmisiones de señales radiofónicas, de televisión 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 y aspectos del protocolo Internet
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación