



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

**UIT-T**

SECTOR DE NORMALIZACIÓN  
DE LAS TELECOMUNICACIONES  
DE LA UIT

**G.652**

(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 un cable de fibra óptica  
monomodo**

Recomendación UIT-T G.652

(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.*

### **Características de un cable de fibra óptica monomodo**

#### **Resumen**

Esta Recomendación describe las características geométricas y de transmisión de fibras y cables monomodo cuya dispersión cromática y longitud de onda de corte no esté desplazada de la región de longitud de onda de 1310 nm. En UIT-T G.650 se incluyen definiciones y métodos de prueba. Se presentan cuadros con valores recomendados para distintas subcategorías de este tipo de fibra a fin de permitir una fácil referencia con relación al tipo de sistemas que se soportan. Las subcategorías descritas en los cuadros pueden diferir en aspectos tecnológicos o en función de la aplicación deseada. Se recomiendan rangos de valores permitidos para los atributos de fibra y de cable. En el apéndice I se pueden encontrar atributos de enlace y de diseño de sistema.

#### **Orígenes**

La Recomendación UIT-T G.652, 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 no ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB.

© UIT 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 Referencia normativa .....	1
2.2 Referencias informativas .....	2
3 Terminología y definiciones .....	2
4 Abreviaturas.....	2
5 Características de la fibra.....	2
5.1 Diámetro del campo modal.....	2
5.2 Diámetro del revestimiento.....	3
5.3 Error de concentricidad del campo modal .....	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.....	5
6.1 Coeficiente de atenuación.....	5
6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización.....	5
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 .....	11
I.3 Retardo de grupo diferencial (DGD) .....	11
I.4 Coeficiente no lineal .....	12
I.5 Cuadros de valores típicos comunes.....	12
Apéndice II – Modelado de la atenuación espectral.....	12

	<b>Página</b>
Apéndice III – Ejemplo de modelo de matriz .....	13
Apéndice IV – Información sobre estadísticas de la dispersión del modo de polarización .....	15
IV.1 Introducción .....	15
IV.2 Recogida de datos .....	16
IV.3 Cálculo de $PMD_Q$ (Montecarlo) .....	16
IV.4 Cálculo para $DGD_{m\acute{a}x}$ (Montecarlo) .....	17
Apéndice V – Bibliografía .....	18

## Recomendación UIT-T G.652

### Características de un cable de fibra óptica monomodo

#### 1 Alcance

Esta Recomendación describe un cable de fibra monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1310 nm, optimizado para uso en la región de longitud de onda de 1310 nm, y que puede utilizarse también a longitudes de onda en la región de 1550 nm (en las que la fibra no está optimizada). Esta fibra puede utilizarse para transmisión analógica y digital.

Las características geométricas, ópticas y de transmisión de esta fibra, se describen más adelante 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.

Para facilitar las referencias se presentan tres cuadros. El primero indica la subcategoría básica de la fibra y el cable óptico – adecuado para su utilización en aplicaciones de UIT-T G.957 [5]. El segundo contiene los valores y atributos recomendados para velocidades binarias superiores tales como las que se presentan en UIT-T G.691 [3] y UIT-T G.692 [4]. La tercera contiene valores que permiten ampliar la transmisión empleando los sistemas definidos en UIT-T G.957 [5] a longitudes de onda superiores a 1360 nm.

NOTA – En función de la longitud de los enlaces, puede ser necesaria un cierto grado de acomodación de la dispersión para ciertos códigos de aplicación de UIT-T G.691 [3] y UIT-T G.692 [4].

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 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.

##### 2.1 Referencia normativa

La siguiente Recomendación del UIT-T contiene disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación.

- [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 de fibra óptica.*
- [3] UIT-T G.691 (2000), *Interfaces ópticas para sistemas monocanales STM-64, STM-256 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.*
- [5] UIT-T G.957 (1999), *Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital síncrona.*

## 3 Terminología y definiciones

Para los fines de esta Recomendación, se aplican las definiciones contenidas en UIT-T G.650 [1]. Los valores se redondean al número de dígitos presentes en los cuadros de valores recomendados antes de evaluar su conformidad.

## 4 Abreviaturas

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

$A_{\text{ef}}$	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
$n_2/A_{\text{eff}}$	Coefficiente no lineal ( <i>non-linear coefficient</i> )
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 la fabricación de fibras. En la cláusula 7 se establecen gamas de valores o límites a los mismos. 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. Además, las características recomendadas se aplicarán igualmente a las fibras individuales, a las fibras incorporadas en un cable enrollado 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 1310 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 deber exceder de la tolerancia especificada.

## **5.2 Diámetro del revestimiento**

El valor nominal recomendado del diámetro del revestimiento es 125  $\mu\text{m}$ . También se especifica en la cláusula 7 una tolerancia cuyo valor no debe ser superado. La desviación del diámetro del revestimiento no debe exceder la tolerancia especificada.

## **5.3 Error de concentricidad del campo modal**

El error de concentricidad no debe exceder el 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 de cable,  $\lambda_{cc}$ ;
- b) longitud de onda de corte de la fibra,  $\lambda_c$ ;
- c) longitud de onda de corte de cable puente,  $\lambda_{cj}$ .

NOTA – Para algunas aplicaciones específicas de cables submarinos pueden ser necesarias otras longitudes de onda.

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 1260 nm, o en el caso de cables puente, recomendando que la máxima longitud de onda de corte sea de 1250 nm, o para el peor caso en longitud y flexión de la fibra, recomendando que la máxima longitud de onda de corte de la fibra sea 1250 nm.

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

## **5.6 Pérdida por macroflexiones**

Las pérdidas por macroflexiones varían con la longitud de onda, el radio de curvatura y el número de vueltas alrededor del mandril con un radio determinado. La pérdida por macroflexión no debe exceder lo especificado en la cláusula 7 para la longitud de onda especificada, el radio de curvatura y el número de vueltas.

Si la fibra se debe utilizar a longitudes de onda superiores a 1550 nm, la pérdida máxima a la mayor longitud de onda prevista puede estimarse a partir de la pérdida medida a 1550 nm, utilizando el modelado espectral de la pérdida o una base de datos estadística para dicho diseño específico de la fibra. Alternativamente, puede realizarse una prueba de calificación a una longitud de onda superior.

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

NOTA 2 – El número recomendado de vueltas se 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 instalaciones de sistemas reales para evitar un fallo 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 intervienen 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 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.

Para el funcionamiento de sistemas DWDM en la región de 1550 nm, la dispersión cromática de las fibras UIT-T G.652 es lo suficientemente grande como para evitar la mezcla de cuatro ondas. La uniformidad de la dispersión cromática no es por tanto un aspecto de naturaleza funcional.

### 5.10 Coeficiente de dispersión cromática

El coeficiente de dispersión cromática,  $D$ , se especifica poniendo límites a los parámetros de la curva de dispersión cromática que es función de una longitud de onda en la región de 1310 nm. El límite del coeficiente de dispersión cromática para una longitud de onda,  $\lambda$ , se calcula en función de la longitud de onda mínima de dispersión nula,  $\lambda_{0\text{mín}}$ , la longitud de onda máxima de dispersión nula,  $\lambda_{0\text{máx}}$ , y el coeficiente de pendiente máximo de dispersión nula,  $S_{0\text{máx}}$ , conforme a:

$$\frac{\lambda S_{0\text{máx}}}{4} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda_{0\text{máx}}}{\lambda} \right)^4 \right] \leq D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0\text{máx}}}{4} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda_{0\text{mín}}}{\lambda} \right)^4 \right]$$

Los valores de  $\lambda_{0\text{mín}}$ ,  $\lambda_{0\text{máx}}$  y  $S_{0\text{máx}}$  deben estar comprendidos en los rangos especificados en la cláusula 7. Cuando la ecuación anterior se utiliza con dichos valores, puede utilizarse para determinar los límites superiores del coeficiente de dispersión cromática en la región de 1550 nm.

NOTA – No es necesario realizar mediciones periódicas del coeficiente de dispersión cromática de una fibra monomodo.

## 6 Características del cable

Dado que las características geométricas y ópticas de las fibras que se presentan 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 los métodos de prueba.

### 6.1 Coeficiente de atenuación

El coeficiente de atenuación se especifica con un valor máximo para una o más longitudes de onda en las regiones de 1310 nm y 1550 nm. Los valores del coeficiente de atenuación del cable de fibra óptica no deben exceder los valores especificados en la cláusula 7.

NOTA – El coeficiente de atenuación puede calcularse para una gama de longitudes de onda, en base a medidas realizadas sobre unas pocas longitudes de onda predictivas (3 ó 4). Este procedimiento se describe en el apéndice II y en el apéndice III se presenta un ejemplo.

### 6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización

No todos los cuadros incluyen requisitos relativos a la dispersión por modo de polarización (PMD). Cuando es necesario, la dispersión por modo de polarización 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 información del cable. A continuación se describe la métrica de la información estadística. En CEI 61282-3 [B.1] se describen los métodos de cálculo que se resumen en el apéndice IV.

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 Cuadros de valores recomendados**

Los cuadros siguientes resumen los valores recomendados para una serie de tipos de fibras que satisfacen los objetivos de esta Recomendación.

El cuadro 1 contiene los atributos y valores recomendados necesarios para soportar aplicaciones tales como las de UIT-T G.957 [5] y UIT-T G.691 [3] para sistemas de hasta STM-16.

El cuadro 2 contiene los atributos y valores recomendados que son necesarios para soportar aplicaciones de mayor velocidad binaria, hasta STM-64, tales como algunas de las descritas en UIT-T G.691 [3] y UIT-T G.692 [4]. En función de la longitud del enlace, puede ser necesaria acomodar la dispersión.

El cuadro 3 permite transmisiones como las especificadas en UIT-T G.957 [5] en partes de una banda ampliada desde 1360 nm a 1530 nm.

**Cuadro 1/G.652 – G.652.A**

La subcategoría de base para un cable de fibra óptica monomodo es adecuada para sistemas de transmisión de hasta STM-16 UIT-T G.957 [5] y UIT-T G.691 [3].		
<b>Atributos de la fibra</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 $\mu\text{m}$
	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	1260
Pérdida de macroflexión	Radio	37,5 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1550 nm	0,50 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{mín}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm
	$S_{0\text{máx}}$	0,093 ps/nm <sup>2</sup> ·km
<b>Atributos del cable</b>		
Coeficiente de atenuación	Longitud de onda	
	Máximo a 1310 nm	0,5 dB/km
	Máximo a 1550 nm	0,4 dB/km

**Cuadro 2/G.652 – G.652.B**

<p>La subcategoría de cable de fibra óptica monomodo es adecuada para los sistemas de transmisión de hasta STM-64 de UIT-T G.957 [5], UIT-T G.691 [3] y UIT-T G.692 [4]. La dispersión cromática deberá en general acomodarse a sistemas de transmisión de alta velocidad en la región de longitud de onda de 1550 nm.</p>		
<b>Atributos de la fibra</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 $\mu\text{m}$
	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	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	37,5 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1550 nm	0,50 dB
	Máximo a 16XX nm (nota 1)	0,50 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{mín}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm
	$S_{0\text{máx}}$	0,093 ps/nm <sup>2</sup> ·km
Coeficiente de PMD de fibra no cableada	Máximo	ps/ $\sqrt{\text{km}}$ (nota 2)
<b>Atributos del cable</b>		
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1310 nm	0,4 dB/km
	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
	Máximo a 16XX nm (nota 1)	0,4 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD <sub>Q</sub> máximo (nota 2)	0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
<p>NOTA 1 – La longitud de onda superior de esta banda no se ha determinado completamente. Sin embargo, XX es menor o igual a 25 nm.</p> <p>NOTA 2 – Los fabricantes de cable pueden especificar un coeficiente de PMD máximo facultativo de fibra no cableada para soportar los requisitos primarios de PMD<sub>Q</sub> del cable si ésta ha sido verificada para un tipo de construcción de cable específica.</p>		

**Cuadro 3/G.652 – G.652.C**

<p>La subcategoría de cable de fibra óptica monomodo es adecuada para los sistemas de transmisión de hasta STM-64 de UIT-T G.957 [5], UIT-T G.691 [3] y UIT-T G.692 [4]. La dispersión cromática deberá en general acomodarse a sistemas de transmisión de alta velocidad en la región de longitud de onda de 1550 nm. Esta subcategoría también permite la transmisión del tipo UIT-T G.957 [5] en partes de la banda comprendida entre 1360 nm y 1530 nm. La dispersión cromática en esta banda ampliada puede imponer limitaciones a la longitud máxima del enlace o hacer necesaria la acomodación.</p>		
<b>Atributos de la fibra</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8,6-9,5 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\sqrt{0,7}$ $\mu\text{m}$
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	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	37,5 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1550 nm	0,50 dB
	Máximo a 16XX nm (nota 1)	0,50 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0\text{mín}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{máx}}$	1324 nm
	$S_{0\text{máx}}$	0,093 ps/nm <sup>2</sup> ·km
Coeficiente de PMD de fibra no cableada	Máximo	ps/ $\sqrt{\text{km}}$ (nota 2)
<b>Atributos del cable</b>		
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1310 nm	0,4 dB/km
	Máximo a yyyy nm (nota 3)	(nota 4)
	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
	Máximo a 16XX nm (nota 1)	0,4 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD <sub>Q</sub> máximo	0,5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$

### Cuadro 3/G.652 – G.652.C (fin)

NOTA 1 – La longitud de onda superior de esta banda no se ha determinado completamente. Sin embargo, XX es menor o igual a 25 nm.

NOTA 2 – Los fabricantes de cable pueden especificar un coeficiente de PMD máximo facultativo de fibra no cableada para soportar los requisitos primarios del PMD<sub>Q</sub> del cable si ésta ha sido verificada para un tipo de construcción de cable en particular.

NOTA 3 – se recomienda que la longitud de onda, yyyy, sea  $1383 \text{ nm} \leq yyyy \leq 1480 \text{ nm}$ , y que ésta se acuerde entre comprador y vendedor. Si se especifica un valor de cresta de agua (1383 nm), pueden utilizarse longitudes de onda más corta y más larga en la banda ampliada. Si el valor especificado es superior al valor de cresta de agua, en la banda ampliada sólo se pueden utilizar longitudes de onda superiores a yyyy.

NOTA 4 – La atenuación media detectada en muestras a yyyy nm debe ser menor o igual al valor especificado a 1310 nm después del proceso de envejecimiento del hidrógeno conforme a CEI 60793-2 en relación con la categoría de fibra B1.3 (véase también [B.2] del apéndice V).

## 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 los cuadros siguientes se presentan valores típicos de cables de fibra óptica. 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 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).

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 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 I.1 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,  $L_{\text{Link}}$ , para calcular la dispersión cromática típica que debe utilizarse en el diseño de enlaces ópticos.

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

## 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 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. Todo ello está documentado en CEI 61282-3 [B.1] y resumido en el apéndice IV. 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 [B.1].

Longitud del enlace de referencia ( $L_{\text{Ref}}$ , *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 ( $L_{\text{Cab}}$ , *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 máxima,  $DGD_{\text{máx}}$ : valor de DGD que puede utilizarse considerando el diseño del sistema óptico.

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

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 los cuadros 2 y 3.

#### I.4 Coeficiente no lineal

El efecto de la dispersión cromática interactúa con la no linealidad de la fibra descrita mediante 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 [2]). Los valores típicos varían con 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 siguiente son representativos de cables de fibra óptica concatenados conforme a I.1, I.2 e I.3.

Coeficiente de atenuación	Región de longitud de onda	Valor típico del enlace
	1260 nm-1360 nm	0,5 dB/km
	1530 nm-1565 nm	0,28 dB/km
	1565 nm-16XX nm (nota 1)	0,35 dB/km
Coeficiente de dispersión cromática	$D_{1550}$	17 ps/nm·km
	$S_{1550}$	0,056 ps/nm <sup>2</sup> ·km
Retardo de grupo diferencial (DGD) (nota 2)	Longitud de referencia del enlace	400 km
	Longitud típica máxima de la sección de cable	10 km
	DGD máximo	25 ps
	Probabilidad máxima	$6,5 \cdot \text{km}^{-8}$
NOTA 1 – La longitud de onda máxima en esta banda no se ha determinado definitivamente. Sin embargo, XX es menor o igual a 25 nm.		
NOTA 2 – Estos valores sólo son apropiados cuando se especifican valores de $\text{PMD}_Q$ de fibras cableadas en los cuadros 2 y 3.		

## APÉNDICE II

### Modelado de la atenuación espectral

El coeficiente de atenuación de una fibra a lo largo de un espectro de longitudes de onda puede calcularse mediante una matriz de caracterización  $M$  y un vector  $v$ . El vector contiene los coeficientes de atenuación medidos en un pequeño número (3 a 5) de longitudes de onda predictivas (por ejemplo, 1300 nm, 1330 nm, 1370 nm, 1380 nm y/o 1550 nm). La matriz  $M$  multiplica al vector  $v$  para generar un nuevo vector  $w$  que predice los coeficientes de atenuación a numerosas longitudes de onda (tales como en intervalos de 10 nm de longitud de onda, de 1240 nm a 1600 nm).

La matriz  $M$  viene dada por:

$$\begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{m1} & A_{m2} & \dots & A_{mn} \end{pmatrix}$$

donde  $m$  es el número de longitudes de onda para las que se tienen que estimar los coeficientes de atenuación y  $n$  es el número de longitudes de onda predictivas. La matriz  $M$  se multiplica a continuación por un vector  $v$  (de  $n$  elementos) que contiene los coeficientes de atenuación medidos de la fibra específica; el resultado es un nuevo vector  $w$  (de  $m$  elementos) que da los valores estimados de los coeficientes de atenuación en la gama dada, es decir:

Los valores numéricos de esta matriz genérica quedan en estudio. La desviación típica de la diferencia entre los coeficientes de atenuación reales y los previstos ha de ser mejor que  $0,xx$  dB/km en la segunda ventana y mejor que  $0,yy$  dB/km en la tercera ventana. Los valores de  $xx$  e  $yy$  quedan en estudio.

El suministrador de la fibra puede proporcionar, alternativamente, una matriz específica que describa su fibra particular de manera más exacta que la matriz genérica. Deben mencionarse la desviación típica de las diferencias entre valores reales y valores previstos. En el apéndice II se presenta un ejemplo ilustrativo de una matriz específica.

Dada la dependencia de los espectros de atenuación con respecto al proceso de fabricación, una matriz genérica sólo permitirá una estimación aproximada de los coeficientes de atenuación. A veces puede obtenerse una mejor aproximación añadiendo otro vector  $e$  de "corrección" adecuado, que ha de ser facilitado por cada suministrador de fibra. Los coeficientes de atenuación estimados son, por consiguiente, los elementos del vector  $w$ :

$$w = M \cdot v + e$$

Si la estimación se obtiene utilizando la matriz  $M$  específica del suministrador o del tipo de fibra, no es necesario el vector  $e$  de corrección.

Los elementos de  $M$  y  $e$  se obtienen de manera estadística por lo que los elementos del vector  $w$  se tendrán que interpretar como estadísticos. Para indicar la exactitud de los coeficientes de atenuación previstos, los suministradores de fibras darán un vector que contenga la desviación típica de las diferencias entre los coeficientes de atenuación reales y previstos en ambas ventanas, junto con  $M$  y/o  $e$ .

NOTA 1 – Para facilitar la utilización de esta matriz, la fibra deberá medirse periódicamente a las longitudes de onda del predictor. El número de longitudes de onda del predictor debe ser de 3 a 5; muy preferentemente el número menor, si puede conseguirse un grado suficiente de exactitud. Las longitudes de onda específicas (por ejemplo, 1300 nm, 1330 nm, 1370 nm, 1380 nm y/o 1550 nm) quedan en estudio.

NOTA 2 – Este modelo considera solamente la atenuación de las fibras no cableadas. Para tener en cuenta los efectos del cableado y los efectos ambientales debe añadirse otro vector a  $w$ .

### APÉNDICE III

#### Ejemplo de modelo de matriz

Lo que sigue es un ejemplo de matriz  $m \times n = 38 \times 3$ , que sólo tiene fines ilustrativos. Si ha de estimarse la atenuación espectral en una gama de 1240 nm a 1600 nm (con paso de 10 nm) utilizando 1310 nm, 1380 nm y 1550 nm como longitudes de onda del predictor, a continuación se da un ejemplo de elementos de matriz que han demostrado ser aplicables<sup>1</sup> para algunas fibras conformes a la Recomendación UIT-T G.652.

---

<sup>1</sup> HANSON (T.A.): Spectral Attenuation Modelling with Matrix Models, *Conference Digest NPL Optical Fibre Measurement Conference*, pp. 8-11, York, Reino Unido, 1991.

Longitud de onda de salida	Longitudes de onda predictivas		
	( $\mu\text{m}$ )	1310 nm	1380 nm
1,23	1,46027	-0,04235	-0,20771
1,24	1,35288	-0,01493	-0,13289
1,25	1,31704	-0,00412	-0,14768
1,26	1,26613	-0,00997	-0,13715
1,27	1,20167	-0,00843	-0,10635
1,28	1,14970	-0,01281	-0,06363
1,29	1,11290	-0,01059	-0,06245
1,30	1,03600	-0,00711	0,00711
1,31	0,96276	0,00342	0,05412
1,32	0,90437	0,01435	0,08572
1,33	0,86168	0,02098	0,11776
1,34	0,83194	0,05500	0,05849
1,35	0,73415	0,08336	0,14196
1,36	0,83266	0,11032	-0,10694
1,37	0,69137	0,22596	-0,05961
1,38	0,01006	0,99798	-0,01126
1,39	-0,25502	0,94764	0,48887
1,40	0,00227	0,58463	0,51813
1,41	0,25780	0,33834	0,40811
1,42	0,29085	0,20419	0,49620
1,43	0,29329	0,13569	0,54995
1,44	0,33133	0,09266	0,51936
1,45	0,31608	0,06343	0,55905
1,46	0,24183	0,04483	0,68361
1,47	0,29207	0,03019	0,59222
1,48	0,19214	0,02196	0,75669
1,49	0,18650	0,01132	0,76122
1,50	0,21242	0,00541	0,70722
1,51	0,16884	0,00648	0,75347
1,52	0,11484	-0,00091	0,84972
1,53	0,09334	0,00419	0,85304
1,54	0,07231	-0,00021	0,88512
1,55	0,03111	-0,00115	0,94957
1,56	0,07054	-0,00321	0,87414
1,57	-0,03723	-0,01127	1,08140
1,58	-0,02543	0,00556	1,01041
1,59	-0,01370	0,00457	0,99389
1,60	-0,06916	-0,00107	1,11623

## APÉNDICE IV

### Información sobre estadísticas de la dispersión del 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 [B.1] se documentan con mayor detalle los cálculos y la teoría aplicada. Este apéndice se estructura en las cláusulas siguientes:

IV.1 Introducción

IV.2 Recogida de datos

IV.3 Cálculo de  $PMD_Q$  (Montecarlo)

IV.4 Cálculo de  $DGD_{m\acute{a}x}$  (Montecarlo)

NOTA – En CEI 61282-3 [B.1] se definen y utilizan otros métodos de cálculo. En este caso se utiliza el método de Montecarlo por ser el de más fácil descripción.

#### IV.1 Introducción

La 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 diferencial de grupo (DGD) para 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 el 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 [B.1] 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 [B.1] 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.

## IV.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.

## IV.3 Cálculo de $PMD_Q$ (Montecarlo)

En CEI 61282-3 [B.1] se presentan otros métodos de cálculo. A continuación se describe el método de Montecarlo 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:

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

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  $\text{PMD}_Q$ . Si el valor calculado de  $\text{PMD}_Q$  es menor que el valor especificado ( $0,5 \text{ ps}/\sqrt{\text{km}}$ ), se considera que la distribución pasa el método 1.

#### IV.4 Cálculo para $\text{DGD}_{\text{máx}}$ (Montecarlo)

Este cálculo se basa a su vez en el cálculo de  $\text{PMD}_Q$ . Se predefine un valor de  $\text{DGD}_{\text{máx}}$  (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 Montecarlo, se calcula el límite del coeficiente de PMD,  $P_{\text{máx}}$ , como sigue:

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

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,  $z_j$ :

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

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

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

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

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

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

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

$$P_F = \frac{1}{50000} \sum_j p_j \quad (\text{IV.5})$$

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

## APÉNDICE V

### **Bibliografía**

- [B.1] CEI 61282-3: (en preparación), *Guidelines for the Calculation of PMD in Fibre Optic Systems*.
- [B.2] CEI 60793-2 (86A/563/CDV): en preparación, *Optical fibres – Part 2: Product specifications*.



## **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, facsimil 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