



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

**UIT-T**

SECTOR DE NORMALIZACIÓN  
DE LAS TELECOMUNICACIONES  
DE LA UIT

**G.655**

(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 no nula**

Recomendación UIT-T G.655

(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 los cables de fibra óptica monomodo  
con dispersión desplazada no nula**

**Resumen**

En esta Recomendación se describen las características de la transmisión de una fibra monomodo y del correspondiente cable cuya dispersión cromática (valor absoluto) es mayor que algún valor diferente de cero en toda la gama de longitudes de onda cuya utilización se prevé en la ventana de 1550 nm. Esta dispersión cromática suprime el crecimiento del efecto la mezcla de cuatro ondas, un efecto no lineal que puede ser particularmente perjudicial en caso de multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM). Estas fibras están optimizadas para su utilización en la gama de longitudes de onda comprendida entre 1530 nm y 1565 nm. Se hacen algunas provisiones para soportar velocidades de transmisión a longitudes de onda superiores de hasta 16xx, siendo xx menor o igual que 25 nm. En el futuro serán posibles ampliaciones a longitudes de onda inferiores a 1530 nm (por determinar).

Las definiciones y los métodos de prueba se indican en UIT-T G.650. En esta Recomendación se proporcionan cuadros de valores recomendados para distintas subcategorías de este tipo de fibra a fin de permitir una fácil referencia a los tipos de sistemas que soportados. Las subcategorías que se describen en los cuadros pueden diferir en función de aspectos tecnológicos o de la propia aplicación. Se recomiendan gamas de valores para las características, tanto de la fibra como del cable. En el apéndice I se incluye la información relativa a los atributos del enlace y al diseño del sistema.

**Orígenes**

La Recomendación UIT-T G.655, 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.....	2
2.1 Referencias normativas.....	2
2.2 Referencias informativas .....	2
3 Términos y definiciones.....	2
4 Abreviaturas.....	2
5 Características de la fibra.....	3
5.1 Diámetro del campo modal.....	3
5.2 Diámetro del revestimiento.....	3
5.3 Error de concentricidad del campo modal .....	3
5.4 No circularidad.....	3
5.4.1 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 .....	4
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.....	5
5.8 Perfil del índice de refracción.....	5
5.9 Uniformidad longitudinal de la dispersión cromática.....	5
5.10 Coeficiente de dispersión cromática .....	5
6 Características del cable.....	6
6.1 Coeficiente de atenuación.....	6
6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización (PMD).....	6
7 Cuadros de valores recomendados.....	6
Apéndice I – Información de los atributos del enlace y de diseño del sistema .....	9
I.1 Atenuación .....	9
I.2 Dispersión cromática .....	10
I.3 Retardo de grupo diferencial (DGD) .....	10
I.4 Coeficiente no lineal .....	11
I.5 Cuadros de valores típicos comunes.....	11
I.6 Ejemplos de implementación.....	11

	<b>Página</b>
Apéndice II – Información sobre estadísticas de la dispersión del modo de polarización.....	12
II.1 Introducción .....	12
II.2 Recogida de datos .....	13
II.3 Cálculo de $PMD_Q$ (Monte Carlo) .....	13
II.4 Cálculo para $DGD_{m\acute{a}x}$ (Monte Carlo) .....	14
Apéndice III – Bibliografía .....	15

## Recomendación UIT-T G.655

### Características de los cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada no nula

#### 1 Alcance

En esta Recomendación se describe una fibra monomodo cuya dispersión cromática (valor absoluto) es mayor que algún valor diferente de cero en toda la gama de longitudes de onda de utilización prevista en la ventana de 1550 nm. Esta dispersión suprime el efecto no lineal conocido por mezcla de cuatro ondas, que puede ser particularmente perjudicial en una multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM, *dense wavelength-division multiplexing*).

Estas fibras están optimizadas para su utilización en la gama de longitudes de onda comprendida entre 1530 nm y 1565 nm. Se hacen algunas provisiones para soportar velocidades de transmisión a longitudes de onda superiores de hasta 16xx, siendo xx menor o igual que 25 nm. En el futuro serán posibles ampliaciones a longitudes de onda inferiores a 1530 nm (por determinar). Sus parámetros geométricos, ópticos, de transmisión y mecánicos se describen a continuación para tres categorías de atributos:

- Los atributos de la fibra son aquellos que se mantienen en el cableado y la instalación.
- Los atributos del cable, que son los recomendados para el suministro del cable.
- Los atributos de enlace, que son las características de cables concatenados, y que describen los métodos de estimación de los parámetros de las interfaces del sistema basadas en medidas, modelado u otras consideraciones. Los atributos de enlace y de diseño del sistema se describen en el apéndice I.

Se proporcionan dos cuadros de valores recomendados para facilitar la referencia a los mismos. El primer cuadro indica la subcategoría básica de la fibra óptica y del cable apropiados para aplicaciones UIT-T G.691 [3] y UIT-T G.692 [4]. En relación con las aplicaciones UIT-T G.692 [4], y dependiendo de las longitudes de onda del canal y de las características de dispersión de la fibra específica, la potencia de inyección máxima puede estar restringida y la separación típica mínima entre canales puede asimismo estar limitada a 200 GHz.

El segundo cuadro es adecuado para sistemas a 10 Gbit/s de al menos 400 km de longitud. En relación con las aplicaciones UIT-T G.692 [4] y dependiendo de la longitud de onda del canal y de las características de dispersión de la fibra específica, la potencia de inyección total puede ser superior a la de las fibras del cuadro anterior, siendo la separación mínima entre canales de 100 GHz. En el apéndice I se presentan, a título ilustrativo, ejemplos específicos de implementación.

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

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

El significado de los términos utilizados en esta Recomendación y las directrices que habrán de seguirse en la medición para la verificación de las diversas características son las incluidas en 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 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

- [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 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.*
- [5] UIT-T G.957 (1999), *Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital síncrona.*

## 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.

$A_{\text{eff}}$	Área efectiva ( <i>effective area</i> )
DGD	Retardo de grupo diferencial ( <i>differential group delay</i> )
DWDM	Multiplexación por división de longitud de onda densa ( <i>dense wavelength division multiplexing</i> )
GPa	Gigapascal
$n_2/A_{\text{eff}}$	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 su fabricación. Los cuadros de la cláusula 7 presentan rangos o límites de valores. De éstos, la longitud de onda de corte de la fibra cableada y la PMD pueden verse apreciablemente afectadas por la fabricación o la instalación del cable. En los demás casos, las características recomendadas se aplicarán igualmente a las fibras individuales, a las fibras incorporadas en un cable arrollado en un tambor, y a las fibras en cables instalados.

### **5.1 Diámetro del campo modal**

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

### **5.2 Diámetro del revestimiento**

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

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

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

### **5.4 No circularidad**

#### **5.4.1 No circularidad del campo modal**

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

#### **5.4.2 No circularidad del revestimiento**

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

### **5.5 Longitud de onda de corte**

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

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

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

La correlación de los valores medidos de  $\lambda_c$ ,  $\lambda_{cc}$  y  $\lambda_{cj}$  depende del diseño específico de la fibra y del cable, así como de las condiciones de prueba. Aunque en general  $\lambda_{cc} < \lambda_{cj} < \lambda_c$ , no puede establecerse fácilmente una relación cuantitativa. Es de suma importancia garantizar la transmisión monomodo en el largo de cable mínimo entre uniones a la mínima longitud de onda de funcionamiento del sistema. Ello puede conseguirse de dos formas: recomendando que la longitud de onda de corte máxima  $\lambda_{cc}$  del cable compuesto de fibra óptica monomodo sea 1480 nm, o en el caso

de puentes o cables de unión típicos, recomendando que la longitud de onda de corte del cable puente sea de 1480 nm, o en el peor caso de longitud y de flexiones de la fibra, recomendando que la longitud de onda de corte máxima de la fibra sea de 1470 nm.

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

## **5.6 Pérdida por macroflexiones**

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

Si la fibra puede utilizarse a longitudes de onda superiores a 1550 nm, la pérdida máxima a la mayor longitud de onda prevista puede proyectarse a partir de la pérdida medida a 1550 nm, utilizando el modelado espectral de la pérdida o una base de datos estadísticos para dicho diseño específico de fibra. Alternativamente, puede realizarse una prueba de cualificación 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 corresponde al número aproximado de vueltas utilizadas en todos los empalmes de una sección de repetición típica. El radio recomendado es equivalente al mínimo radio de curvatura generalmente aceptado en el montaje a largo plazo de fibras en las instalaciones de sistemas reales, para evitar fallos por fatiga estática.

NOTA 3 – Se sugiere que si por razones de orden práctico se elige para la implementación un número de vueltas menor al recomendado, nunca se empleen menos de 40 vueltas, siendo entonces el incremento de la pérdida proporcionalmente menor.

NOTA 4 – Se sugiere que si se prevé utilizar radios de curvatura inferiores 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 mismo número de vueltas de fibra montadas con este radio menor.

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

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

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

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

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

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

### **5.7.2 Materiales protectores**

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

### 5.7.3 Nivel de prueba de resistencia mecánica

El nivel de prueba de resistencia mecánica especificada,  $\sigma_p$ , no será inferior al valor mínimo especificado en la cláusula 7.

NOTA – Las definiciones de los parámetros mecánicos figuran en 1.2/G.650 y 2.6/G.650 [1].

### 5.8 Perfil del índice de refracción

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

### 5.9 Uniformidad longitudinal de la dispersión cromática

Queda en estudio.

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

### 5.10 Coeficiente de dispersión cromática

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

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

donde:

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

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

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

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

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

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

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

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

NOTA 5 – Los requisitos sobre la dispersión se basan en el diseño del sistema WDM, que debe equilibrar la dispersión de primer orden con diversos efectos no lineales tales como la mezcla de cuatro ondas, la modulación de fase cruzada, la inestabilidad de la modulación, la dispersión Brillouin estimulada, y la formación de solitones (véase UIT-T G.663 [2]). El efecto de la dispersión cromática es interactiva con la no linealidad de la fibra, y se describe mediante el coeficiente de no linealidad.

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

## 6 Características del cable

Dado que las características geométricas y ópticas de las fibras indicadas en la cláusula 5 se ven muy poco afectadas por el proceso de cableado, en esta cláusula se presentan recomendaciones principalmente relativas a las características de transmisión de los largos de fabricación cableados. Las condiciones ambientales y de prueba son de gran importancia y se describen en las directrices sobre métodos de prueba.

### 6.1 Coeficiente de atenuación

El coeficiente de atenuación se especifica con un valor máximo para una o más longitudes de onda en la región de 1550. 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)

No todos los cuadros incluyen requisitos relativos a la dispersión por modo de polarización (PMD, *polarization mode dispersion*). Cuando sea necesario, la dispersión por modo de polarización de la fibra cableada se especifica estadísticamente, no de forma individual. Los requisitos se refieren sólo al aspecto del enlace calculado a partir de información del cable. A continuación se describe la métrica de la especificación estadística. En CEI 61282-3 [Bibl.1] 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 posible enlace de M secciones de cable. El límite superior se define en términos de un bajo nivel de probabilidad, Q, de que un valor del coeficiente de PMD concatenado sea mayor que  $PMD_Q$ . Para los valores de M y de Q especificados en la cláusula 7, el valor de  $PMD_Q$  no debe superar el coeficiente máximo de PMD especificado en la cláusula 7.

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

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

## 7 Cuadros de valores recomendados

Los cuadros siguientes resumen los valores recomendados para una serie de subcategorías 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.691 [3] y UIT-T G.692 [4]. En relación con las aplicaciones descritas en UIT-T G.692 [4], es posible, en función de las longitudes de onda de los canales y de las características de dispersión de la fibra, limitar la potencia de inyección máxima total, así como la separación mínima entre canales hasta un valor de 200 GHz.

El cuadro 2 contiene los atributos y valores recomendados necesarios para soportar aplicaciones tales como las de UIT-T G.691 [3] y UIT-T G.692 [4]. En relación con las aplicaciones descritas en

UIT-T G.692 [4] y en función de las longitudes de onda de los canales y de las características de dispersión cromática de la fibra, la potencia de inyección puede ser superior que para las fibras del cuadro anterior, pudiendo ser la separación mínima entre canales de hasta 100 GHz. Las características de PMD permiten el funcionamiento de sistemas a 10 Gbit/s a lo largo de al menos 400 km.

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

El cuadro 1 constituye la subcategoría básica para un cable de fibra óptica monomodo adecuado para sistemas de transmisión conformes con UIT-T G.691 [3] y UIT-T G.692 [4]. En relación con las aplicaciones descritas en UIT-T G.692 [4], es posible, en función de las longitudes de onda de los canales y de las características de dispersión de la fibra, limitar la potencia de inyección máxima total, así como la separación mínima entre canales hasta un valor de 200 GHz. En función de la longitud del enlace y de la velocidad binaria, la PMD puede inducir algunas degradaciones, que no se especifican para esta subcategoría básica.

**Cuadro 1/G.655 – G.655.A**

<b>Atributos de la fibra</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1550 nm
	Gama de valores nominales	8-11 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0,7 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,8 $\mu\text{m}$
No circularidad del revestimiento	Máximo	2,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1480 nm
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 Banda: 1530-1565 nm	$\lambda_{\text{mín}}$ y $\lambda_{\text{máx}}$	1530 nm y 1565 nm
	Valor mínimo de $D_{\text{mín}}$	0,1 ps/nm · km
	Valor máximo de $D_{\text{máx}}$	6,0 ps/nm · km
	Signo	positivo o negativo
<b>Atributos del cable</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km

Esta subcategoría proporciona la separación de canales reducida de la Recomendación UIT-T G.692 [4]. En función de las longitudes de onda de los canales y de las características de dispersión cromática de la fibra, la potencia de inyección puede ser superior que para las fibras del cuadro

anterior, pudiendo ser la separación mínima entre canales de hasta 100 GHz. Las características de PMD de los sistemas permiten que éstos funcionen a 10 Gbit/s a lo largo de al menos 400 km. Son posibles distintas implementaciones para permitir que los diseñadores de sistemas optimicen la solución para sus necesidades concretas. En el apéndice I se muestran implementaciones concretas.

Muchas aplicaciones de sistemas submarinos pueden utilizar esta subcategoría. En algunas de dichas aplicaciones, la optimización completa puede dar lugar a la elección de límites distintos a los que se recogen aquí. Un ejemplo de ello es permitir longitudes de onda de corte tan elevadas como 1500 nm. Véase el cuadro 2.

**Cuadro 2/G.655 – G.655.B**

<b>Atributos de la fibra</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1550 nm
	Gama de valores nominales	8-11 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0,7 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,8 $\mu\text{m}$
No circularidad del revestimiento	Máximo	2,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1 480 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 Banda: 1530-1565 nm	$\lambda_{\text{mín}}$ y $\lambda_{\text{máx}}$	1530 nm y 1565 nm
	Valor mínimo de $D_{\text{mín}}$	1,0 ps/nm · km
	Valor máximo de $D_{\text{máx}}$	10,0 ps/nm · km
	Signo	Positivo o negativo
	$D_{\text{máx}} - D_{\text{mín}}$	$\leq 5,0$ ps/nm · km
Coeficiente de dispersión cromática Banda: 1565-16XX nm (nota 1)	$\lambda_{\text{mín}}$ y $\lambda_{\text{máx}}$	TBD
	Valor mínimo de $D_{\text{mín}}$	TBD
	Valor máximo de $D_{\text{máx}}$	TBD
	Signo	TBD
Coeficiente de PMD de fibra no cableada	Máximo	(Nota 2)

**Cuadro 2/G.655 – G.655.B (fin)**

<b>Atributos de cable</b>		
<b>Atributo</b>	<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Coeficiente de atenuación	Máximo a 1550 nm	0,35 dB/km
	Máximo a 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/√km
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 de PMD <sub>Q</sub> del cable, si ésta ha sido verificado 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 cables de fibra óptica de fabricación empalmados. Los requisitos aplicables a los largos de fabricación se indican en las cláusulas 5 y 6 de esta Recomendación. Los parámetros de transmisión de enlaces concatenados deben tener en cuenta no sólo el comportamiento de los distintos largos del cable, sino también las estadísticas de la concatenación.

Las características de transmisión de los largos de fabricación de cable de fibra óptica tendrán una determinada distribución probabilística que hay que tener en cuenta para conseguir los diseños más económicos. Las cláusulas 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 de cables de fibra óptica. La cláusula I.6 contiene ejemplos de implementaciones en las que los valores típicos de la dispersión cromática varían de un ejemplo a otro. Los métodos de estimación de parámetros necesarios para el diseño del sistema están basados en medidas, en el modelado o en otras consideraciones.

#### I.1 Atenuación

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

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

donde:

- $\alpha$  coeficiente de atenuación típico de los cables de fibra en un enlace
- $\alpha_s$  atenuación media por empalme
- $x$  número de empalmes de un enlace
- $\alpha_c$  atenuación media de los conectores de línea

y número de conectores de línea de un enlace (si se facilita)

L longitud del enlace

Debe preverse un margen adecuado para futuras modificaciones de la configuración del cable (empalmes suplementarios, largos de cable suplementarios, efectos del envejecimiento, variaciones de temperatura, etc.). La expresión anterior no incluye la pérdida de los conectores del equipo. Los valores típicos indicados en 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 relación se describe en términos del coeficiente de dispersión cromática típico y del coeficiente de la pendiente de la dispersión a 1550 nm.

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

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

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

El retardo de grupo diferencial es la diferencia que se produce entre los instantes de llegada de dos modos de polarización para una longitud de onda y un instante determinados. En el caso de un enlace con un coeficiente de PMD específico, el DGD del enlace varía de forma aleatoria con el tiempo y la longitud de onda como una distribución de Maxwell que sólo contenga un único parámetro que sea el producto del coeficiente de PMD del enlace y de la raíz cuadrada de la longitud del mismo. Las degradaciones del sistema debidas al PMD para un instante y longitud de onda determinados, dependen del DGD para dicho instante y longitud de onda. Por lo tanto, se han desarrollado los medios necesarios para establecer límites útiles en la distribución del DGD, dado que éste se relaciona con la distribución del coeficiente de PMD del cable de fibra óptica y con sus límites, estando todo ello documentado en CEI 61282-3 [Bibl.1]. A continuación se describe la métrica de las limitaciones de la distribución de DGD.

NOTA – La determinación de la contribución de componentes distintos al cable de fibra óptica queda fuera del ámbito de esta Recomendación, pero se analiza en CEI 61282-3 [Bibl.1].

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

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

DGD máxima,  $DGD_{m\acute{a}x}$ : valor de DGD que puede utilizarse considerando el diseño del sistema óptico.

Probabilidad máxima,  $P_F$ : probabilidad de que el valor DGD real supere  $DGD_{m\acute{a}x}$ .



La cláusula I.5 contiene valores para estas métricas que resultan adecuados para el cable de fibra óptica que satisfaga los límites estadísticos de PMD recomendados en el cuadro 2.

#### 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 [2]). Los valores típicos dependen de la implementación. Los métodos de prueba para un coeficiente no lineal quedan en estudio.

#### I.5 Cuadros de valores típicos comunes

Los valores del cuadro I.1 son representativos de cables de fibra óptica concatenados conforme a las cláusulas I.1 y I.3.

**Cuadro I.1/G.655**

Coeficiente de atenuación	Región de la longitud de onda	
	1550 nm-1565 nm	0,28 dB/km
	1565 nm-16XX nm (nota 1)	0,35 dB/km
Retardo de grupo diferencial (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	$6.5 \cdot 10^{-8}$
NOTA 1 – La máxima longitud de onda en esta banda no ha sido aún determinada completamente. Sin embargo, xx es menor o igual que 25 nm. NOTA 2 – Estos valores sólo son apropiados cuando se especifican valores de $PMD_Q$ de fibras cableadas del cuadro I.2.		

#### I.6 Ejemplos de implementación

Se incluyen a continuación ejemplos de implementaciones diseñadas para optimizar varios de los posibles balances entre potencia, separación de canales, separación de amplificadores, longitud del enlace y velocidad binaria (véase el cuadro I.2). Todos estos ejemplos son básicamente variaciones de la dispersión cromática, la pendiente de dispersión y el coeficiente no lineal permitidos. Sólo se trata de ejemplos, que no impiden que existan otras realizaciones. Los identificadores de los ejemplos son arbitrarios y no reflejan prioridad alguna.

**Cuadro I.2/G.655 – Ejemplos para  $\lambda_{\text{mín}} = 1530 \text{ nm}$  y  $\lambda_{\text{máx}} = 1565 \text{ nm}$**

ID del ejemplo	$D_{\text{mín}}$ (ps/nm · km)	$D_{\text{máx}}$ (ps/nm · km)	Signo	Coeficiente de dispersión típico @ 1550 nm (ps/nm · km)	Pendiente de dispersión típica @ 1550 nm (ps/nm <sup>2</sup> · km)
A	1,3	5,8	+	3,7	0,070
B	2,0	6,0	+	4,2	0,085
C	2,6	6,0	+	4,4	0,045
D	5,0	10,0	+	8,0	0,058
E	1,0	6,0	-	-2,3	0,065
NOTA – Están en estudio los valores de la dispersión cromática en la región de longitud de onda de 1600 nm.					

## APÉNDICE II

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

Este apéndice tiene por objeto resumir algunos de los cálculos estadísticos de la dispersión del modo de polarización (PMD). En CEI 61282-3 [Bibl.1] se documentan con mayor detalle los cálculos y la teoría aplicada. Este apéndice se estructura en las cláusulas siguientes:

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

NOTA – En CEI 61282-3 [Bibl.1] 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

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 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 de otros componentes que generan PMD. En CEI 61282-3 [Bibl.1] se describe un método para determinar un máximo (definido en términos de probabilidad) de tal forma que si una distribución cumple los requisitos del Método 1, el DGD a lo largo de enlaces formados exclusivamente por cables de fibra óptica será superior al valor máximo de DGD con una probabilidad inferior a  $6,5 \cdot 10^{-8}$ . 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 [Bibl.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.

## 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 las conclusiones siguientes. 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 [Bibl.1] 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 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<sub>Q</sub>. Si el valor calculado de PMD<sub>Q</sub> es menor que el valor especificado (0,5 ps/√(km)), se considera que la distribución pasa el Método 1.

#### II.4 Cálculo para DGD<sub>máx</sub> (Monte Carlo)

Este cálculo se basa a su vez en el cálculo de PMD<sub>Q</sub>. Se predefine un valor de DGD<sub>máx</sub> (a 25 ps) y se calcula la probabilidad, P<sub>F</sub>, 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<sub>máx</sub>, 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,  $y_j$  e  $y_{j+1}$ , se genera un valor de concatenación de 40 enlaces de cable,  $z_j$ :

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

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<sub>máx</sub> en la concatenación  $j$ -ésima de 40 enlaces,  $p_j$ , según:

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

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,ACUM). La llamada a esta función debe hacerse de la forma siguiente:

$$PJ = 1 - \text{GAMMADIST}(4 \times PMÁX \times PMÁX / (PI() \times ZI \times ZI), 1.5, 1, \text{VERDADERO}) \quad (\text{II.4})$$

La probabilidad de que se supere DGD<sub>máx</sub>, P<sub>F</sub>, es:

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

Si P<sub>F</sub> es menor que el valor especificado, la distribución pasa el Método 2.

## APÉNDICE III

### **Bibliografía**

[Bibl.1] 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