



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.654

(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 corte desplazado**

Recomendación UIT-T G.654

(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
Cables de fibra óptica	G.650–G.659
Características de los componentes y los subsistemas ópticos	G.660–G.699
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.700–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900–G.999

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

Recomendación UIT-T G.654

Características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado

Orígenes

La Recomendación UIT-T G.654, 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

Página

1	Alcance	1
2	Referencias.....	1
2.1	Referencias normativas.....	2
2.2	Referencias informativas	2
3	Términos y definiciones.....	2
4	Abreviaturas.....	2
5	Características de la fibra.....	2
5.1	Diámetro del campo modal.....	3
5.2	Diámetro del revestimiento.....	3
5.3	Error de concentricidad del núcleo	3
5.4	No circularidad.....	3
5.4.1	No circularidad del campo modal.....	3
5.4.2	No circularidad del revestimiento.....	3
5.5	Longitud de onda de corte.....	3
5.6	Pérdida por macroflexión.....	4
5.7	Propiedades materiales de la fibra	5
5.7.1	Materiales de la fibra	5
5.7.2	Materiales protectores.....	5
5.7.3	Nivel de prueba de resistencia mecánica	5
5.8	Perfil del índice de refracción.....	5
5.9	Uniformidad longitudinal a la dispersión cromática.....	5
5.10	Coefficiente de dispersión cromática	5
5.11	Ejemplos de directrices de diseño de la fibra.....	6
6	Características del cable.....	6
6.1	Coefficiente de atenuación.....	6
6.2	Coefficiente de dispersión por modo de polarización (PMD).....	6
7	Cuadro de valores recomendados	7
Apéndice I – Información de los atributos del enlace y de diseño del sistema		8
I.1	Atenuación	8
I.2	Dispersión cromática	9
I.3	Retardo de grupo diferencial (DGD)	9
I.4	Coefficiente no lineal	10
I.5	Cuadros de valores típicos comunes.....	10

	Página
Apéndice II – Ejemplos de directrices de diseño de fibras	10
Apéndice III – Información sobre estadísticas de la dispersión por modo de polarización	13
III.1 Introducción	13
III.2 Recogida de datos	14
III.3 Cálculo de PMD_Q (Monte Carlo)	15
III.4 Cálculo para $DGD_{m\acute{a}x}$ (Monte Carlo)	15
Apéndice IV – Bibliografía	16

Recomendación UIT-T G.654

Características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado

1 Alcance

Esta Recomendación describe una fibra óptica monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1300 nm, cuya atenuación mínima y longitud de onda de corte desplazada se sitúan alrededor de 1550 nm, y cuyo uso está optimizado en la región de longitud de onda de 1500-1600 nm.

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

Se realizan algunas provisiones para soportar la transmisión a longitudes de onda superiores de hasta 16xx, siendo xx menor o igual que 25 nm. Los parámetros geométricos, ópticos, de transmisión y mecánicos se describen a continuación en tres categorías de atributos:

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

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

El significado de los términos de esta Recomendación y las directrices a seguir 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 Referencias normativas

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

2.2 Referencias informativas

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

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

3 Términos y definiciones

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

Antes de evaluar su conformidad, los valores se redondean al número de dígitos que figuran en los cuadros de valores recomendados.

4 Abreviaturas

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

A_{eff}	Área efectiva (<i>effective area</i>)
CSF	Fibra con corte desplazado (<i>cut-off shifted fibre</i>)
DGD	Retardo de grupo diferencial (<i>differential group delay</i>)
GPa	GigaPascal
MFD	Diámetro del campo modal (<i>mode field diameter</i>)
n_2/A_{eff}	Coefficiente no lineal (<i>nonlinear coefficient</i>)
PMD	Dispersión por modo de polarización (<i>polarization mode dispersion</i>)
RTM	Método de prueba de referencia (<i>reference test method</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. En los cuadros de la cláusula 7 se indican los valores o los rangos de valores. De éstas, la longitud de onda de corte de la fibra cableada y la dispersión por modo de polarización (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 y la tolerancia respecto a dicho valor nominal del diámetro de campo modal (MFD, *mode field diameter*) se especifican para 1550 nm. El valor nominal del MFD especificado deberá encontrarse dentro de la gama de valores de la cláusula 7. La tolerancia especificada de MFD no debe exceder el valor especificado en la cláusula 7. La desviación respecto al valor nominal no debe exceder la tolerancia especificada.

5.2 Diámetro del revestimiento

El valor nominal recomendado del diámetro del revestimiento es 125 μm .

En la cláusula 7 se especifica asimismo una tolerancia que no debe ser excedida. La desviación del revestimiento no debe exceder la tolerancia especificada.

5.3 Error de concentricidad del núcleo

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

5.4 No circularidad

5.4.1 No circularidad del campo modal

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

5.4.2 No circularidad del revestimiento

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

5.5 Longitud de onda de corte

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

- a) Longitud de onda de corte del cable, λ_{cc} .
- b) Longitud de onda de corte de la fibra, λ_c .
- c) Longitud de onda de corte del cable puente, λ_{cj} .

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

La correlación de los valores medidos de λ_c , λ_{cc} y λ_{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. Para ello, pueden utilizarse dos enfoques alternativos:

- 1) recomendando que λ_c sea inferior a 1600 nm: cuando sea pertinente utilizar un límite inferior, λ_c debe ser superior a 1350 nm;
- 2) recomendando que el valor máximo de λ_{cc} sea 1530 nm.

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

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

Cuando el usuario decide especificar λ_{cc} como en 2), debe entenderse que λ_c puede ser superior a 1600 nm.

Cuando el usuario decide especificar λ_c como en 1), no es necesario especificar λ_{cc} .

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

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

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

5.6 Pérdida por macroflexión

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. La pérdida por macroflexión no debe exceder el valor máximo de la cláusula 7 para las longitudes de onda, el radio de curvatura y el número de vueltas.

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

NOTA 3 – Se sugiere que si por razones de orden práctico se adopta un número de vueltas menor al recomendado, nunca se empleen menos de 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 mismo número de vueltas de fibra montadas con dicho 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 menor diámetro de una o varias vueltas al objeto de conseguir precisión y facilitar la medida de la sensibilidad a la flexión a una longitud de onda de 1550 nm. En este caso, 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 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, σ_p , no será inferior al valor especificado en la cláusula 7.

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

5.8 Perfil del índice de refracción

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

5.9 Uniformidad longitudinal a la dispersión cromática

Queda en estudio.

NOTA – Para una longitud de onda específica, el valor absoluto local del coeficiente de dispersión puede variar respecto al valor medido en una sección de gran longitud. Si el valor disminuye hasta un valor pequeño a una longitud de onda próxima a una longitud de onda de funcionamiento de un sistema WDM, la mezcla de cuatro ondas puede inducir la propagación de potencia a otras longitudes de onda, 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, la potencia óptica y la distancia a lo largo de la que se produce la mezcla de cuatro ondas.

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

5.10 Coeficiente de dispersión cromática

El retardo de grupo medido por unidad de largo de fibra en función de la longitud de onda se ajusta mediante la expresión cuadrática siguiente (véase UIT-T G.650 [1]):

$$\tau(\lambda) = \tau_{1550} + (S_{1550} / 2)(\lambda - 1550)^2 + D_{1550}(\lambda - 1550)$$

Donde, τ_{1550} es el retardo de grupo relativo a la longitud de onda $\lambda = 1500$ nm. El coeficiente de dispersión cromática $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ puede determinarse mediante la expresión cuadrática diferenciada siguiente:

$$D(\lambda) = S_{1550}(\lambda - 1550) + D_{1550}$$

Donde, S_{1550} es la pendiente de dispersión cromática (uniforme) a la longitud de onda 1550 nm, es decir, el valor de la pendiente de dispersión cromática $S_{1550}(\lambda) = dD/d\lambda$ a $\lambda = 1550$ nm. Además, D_{1550} designa los valores de dispersión cromática a $\lambda = 1550$ nm.

NOTA 1 – Estas ecuaciones de $\tau(\lambda)$ y $D(\lambda)$ son suficientemente exactas en la gama 1500-1600 nm. No está prevista su utilización en la región de 1310 nm.

NOTA 2 – Alternativamente, puede medirse directamente el coeficiente de dispersión cromática, por ejemplo, mediante el método del desplazamiento de fase diferencial. En este caso, el coeficiente de dispersión se ajusta directamente mediante una línea recta para determinar S_{1550} y D_{1550} .

5.11 Ejemplos de directrices de diseño de la fibra

El apéndice II da un ejemplo de directrices de diseño para fibras de atenuación mínima y corte desplazado (CSF) utilizadas por la empresa KDD de Japón.

6 Características del cable

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

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

6.1 Coeficiente de atenuación

El coeficiente de atenuación se especifica con un valor máximo para una o más longitudes de onda en la región de 1550-1600 nm. Los valores del coeficiente de atenuación de los cables de fibra óptica no deben exceder los valores especificados en la cláusula 7.

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

6.2 Coeficiente de dispersión por modo de polarización (PMD)

Los sistemas cuyo producto velocidad binaria por distancia sea inferior, pueden tolerar valores superiores del coeficiente de dispersión por modo de polarización (PMD) sin sufrir por ello degradación alguna.

No todos los cuadros incluyen requisitos sobre PMD. Cuando sea necesario, la dispersión por modo de polarización de las fibras cableadas se especificará de forma estadística y no de manera individual para cada fibra. Los requisitos corresponden únicamente a los aspectos del enlace calculados a partir de la información sobre el cable. La métrica de la especificación estadística aparece más adelante. Los métodos de cálculo figuran en CEI 61282-3 [IV.1] y se resumen en el apéndice III.

El fabricante debe proporcionar un valor de PMD de diseño del enlace, PMD_Q , que constituye el límite estadístico superior del coeficiente de PMD de los cables de fibra óptica concatenados en un enlace de M secciones de cable. El límite superior se define en términos de un bajo nivel de probabilidad, Q, de que un 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 valor máximo de PMD especificado en la cláusula 7.

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

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

7 Cuadro de valores recomendados

El cuadro 1 resume los valores recomendados para una serie de tipos de fibras que satisfacen los requisitos de esta Recomendación.

G.654.A constituye la subcategoría básica para un cable de fibra óptica monomodo de corte desplazado. Esta subcategoría es adecuada para sistemas correspondientes a UIT-T G.691 [3] y UIT-T G.692 [4] en la región de longitud de onda de 1550 nm.

Cuadro 1/G.654 – G.654.A (Categoría básica de cable)

Atributos de la fibra		
Atributo	Datos	Valor
Diámetro de campo modal	Longitud de onda	1550 nm
	Gama de valores nominales	9,5-10,5 μm
	Tolerancia	$\pm 0,7 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0,8 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	2,0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1530 nm
Pérdida por 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	$D_{1550\text{máx}}$	20 ps/nm·km
	$S_{1550\text{máx}}$	0,070 ps/nm ² ·km
Coeficiente de PMD de fibra no cableada	Máximo	ps/ $\sqrt{\text{km}}$ (nota)

Cuadro 1/G.654 – G.654.A (Categoría básica de cable) (fin)

Atributos del cable		
Atributo	Datos	Valor
Coeficiente de atenuación	Longitud de onda	
	Máximo a 1550 nm	0,22 dB/km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD _Q máximo	0,5 ps/√km
NOTA – Los fabricantes de cable pueden especificar un coeficiente de PMD máximo facultativo de fibra no cableada para soportar los requisitos primarios de PMD _Q del cable si ésta ha sido verificada para un tipo de construcción de cable en particular.		

APÉNDICE I

Información de los atributos del enlace y de diseño del sistema

Un enlace concatenado incluye generalmente largos de fibra óptica de fabricación empalmados. Los requisitos aplicables a los 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:

- α coeficiente de atenuación típico de los cables de fibra en un enlace
- α_s atenuación media por empalme
- x número de empalmes de un enlace
- α_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 a partir de los coeficientes de dispersión cromática de los largos de fabricación, suponiendo una dependencia lineal con la longitud y respetando los signos de los coeficientes (véase 5.10).

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, se utiliza en el diseño la dispersión cromática media del enlace. La dispersión medida en la ventana de 1550 nm puede caracterizarse en dicha ventana mediante una relación lineal con la longitud de onda. La relación se describe en función del coeficiente de dispersión cromática medio y del coeficiente de la pendiente de dispersión a 1550 nm.

En la cláusula I.1 se incluyen valores típicos del coeficiente de dispersión cromática, D_{1550} , y del coeficiente de pendiente de la dispersión cromática, S_{1550} , a 1550 nm. Estos valores pueden utilizarse, junto con la longitud del enlace, L_{Link} , para calcular la dispersión cromática típica que debe utilizarse en el diseño de enlaces ópticos.

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

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 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 analiza en CEI 61282-3 [IV.1].

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

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

DGD máximo, $DGD_{m\acute{a}x}$: 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 los cuadros 2 y 3.

I.4 Coeficiente no lineal

El efecto de la dispersión cromática interactúa con el coeficiente no lineal, n_2/A_{eff} , en relación con las degradaciones del sistema inducidas por efectos ópticos no lineales (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 siguiente son representativos de cables de fibra óptica concatenados de acuerdo con I.1, I.2 e I.3.

Coeficiente de atenuación	Longitud de onda	Valor típico del enlace
	1550 nm	0,25 dB/km
	16XX nm (nota 1)	TBD
Coeficiente de dispersión cromática	D_{1550}	TBD
	S_{1550}	TBD
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	$6,5 \times 10^{-8}$
NOTA 1 – La longitud de onda máxima 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 en el cuadro 1.		

APÉNDICE II

Ejemplos de directrices de diseño de fibras

En el diseño de fibras ópticas, el diámetro del campo modal (MFD) $2W$ y la longitud de onda de corte efectiva λ_{ce} son parámetros muy importantes. En la figura II.1¹ se muestran las curvas de la pérdida por equiflexión α_b , de la dispersión D y del índice de refracción Δ de la correspondiente fibra con revestimiento a $1,55 \mu\text{m}$ en función de $2W$ y de λ_{ce} . El área del paralelogramo corresponde a una fibra óptica monomodo optimizada a $1,31 \mu\text{m}$ conforme a la ventana de la fibra de UIT-T (CCITT) G.652 ($2W_{1,55\mu\text{m}} = 10 \pm 1,0 \mu\text{m}$, $1,10 \mu\text{m} < \lambda_{ce} < 1,28 \mu\text{m}$). De la figura II.1 se desprende que la fibra óptica monomodo optimizada a $1,31 \mu\text{m}$ (SMF, UIT-T G.652) que utilice un diseño de revestimiento deprimido se ve significativamente afectada por la pérdida por macroflexión en la región de $1,55 \mu\text{m}$. La pérdida debida a la microflexión puede considerarse equivalente a la pérdida por macroflexión para el radio de equiflexión R_e .

¹ NAMIHIRA (Y.), HORIUCHI (Y.) and WAKABAYASHI (H.): Optimum fibre parameters of low-loss single-mode optical fibres for use in $1.55 \mu\text{m}$ wavelength regions, *Electronics Letters*, Vol. 23, No. 18, p. 963-964, 1987.

El aumento de atenuación debido al proceso de cableado es de aproximadamente 0,015 dB/km a una longitud de onda de 1,55 μm para fibra óptica monomodo ($V \cong 1,7$) correspondiendo dicho valor a un radio de curvatura $R_e = 45$ mm. En este caso, la pérdida teórica por microflexión se calcula mediante un radio de macroflexión equivalente $R_e = 45$ mm.

Para mantener las características de baja atenuación de las fibras ópticas, la pérdida adicional debida al proceso de cableado se mantiene lo más reducida posible. De la figura II.1 se desprende que para conseguir una pérdida por cableado menor de 0,005 dB/km, el límite superior del diámetro de campo modal (MFD) 2W y el límite inferior de la longitud de onda de corte efectiva λ_{ce} deben ser aproximadamente 11,5 μm y 1,35 μm , respectivamente, representando la zona rallada y enmarcada en un paralelogramo de la figura II.1 los valores óptimos de los parámetros de las fibras ópticas. El aumento de la longitud de onda efectiva λ_{ce} puede mejorar la resistencia a la microflexión a 1,55 μm sin aumentar la pérdida intrínseca de la fibra, no obstante lo cual, el límite superior de la longitud de onda de corte efectiva λ_{ce} (hasta 1,60 μm) debe determinarse teniendo en cuenta el funcionamiento monomodo con secciones de cable más largas. En este ejemplo, la diferencia entre la longitud de onda de corte efectiva de una fibra con revestimiento UV (2 m) y una fibra cableada de gran longitud (de más de 20 km) es aproximadamente de 70 nm.

Los puntos (•) de la figura II.1 representan medidas realizadas sobre muestras de fibra óptica monomodo con corte desplazado (CSF) y atenuación minimizada a 1,55 μm , cuyos parámetros se muestran en el cuadro II.1. En dicho cuadro, las fibras 1 y 2 representan fibras con núcleo de sílice puro y revestimiento con baja concentración de flúor (F), las fibras 3 y 4 denotan fibras con núcleo ligeramente dopado con germanio (Ge) y flúor, y revestimiento con baja concentración de flúor, y la fibra 5 es una fibra convencional con núcleo dopado con germanio. Asimismo, la fibra 6 es una fibra óptica monomodo normalizada a 1,31 μm . Del cuadro II.1 se desprende que la atenuación y la dispersión cromática de las fibras eran 0,176-0,197 dB/km y 17,7-19,3 ps/nm-km, respectivamente. Los coeficientes de dispersión de Rayleigh, A_0 y la atenuación independiente de la longitud de onda, B_0 de estas fibras ópticas se encuentran entre 0,83-0,97 dB/km- μm^4 y 0,011-0,015 dB/km, respectivamente.

En la figura II.2 se muestran los resultados experimentales relativos a la pérdida por macroflexión de fibras con corte desplazado y atenuación mínima a 1,55 μm (CSF, fibras 1 a 5) y de una fibra optimizada a 1,31 μm (SMF, fibra 6). De dicha figura se desprende que la pérdida por macroflexión de fibras con corte desplazado y atenuación mínima a 1,55 μm (CSF) a una longitud de onda de 1,55 μm , es inferior a la de una fibra óptica monomodo convencional (UIT-T G.652) a la longitud de onda de funcionamiento del sistema de 1,31 μm .

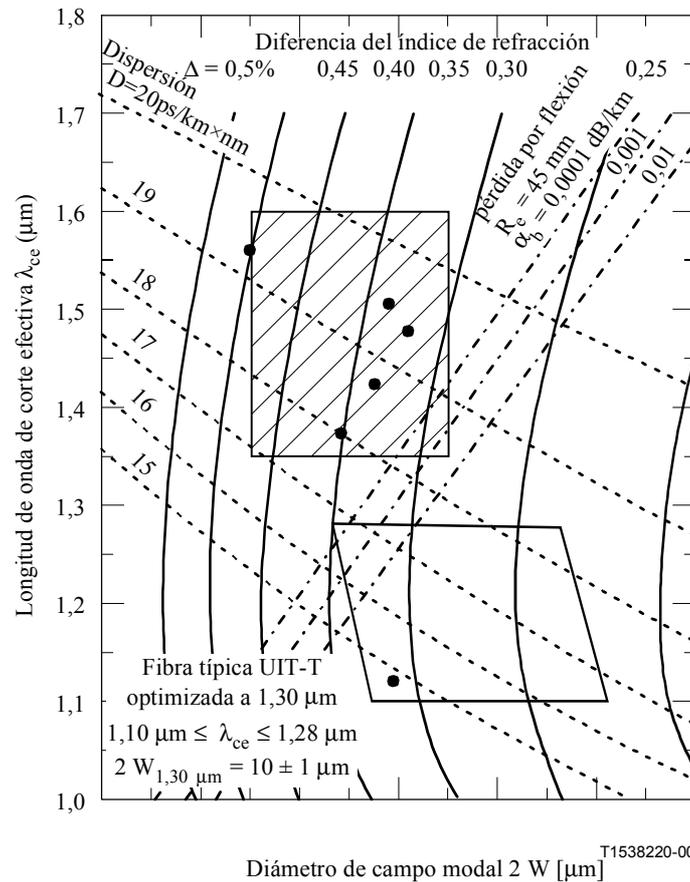
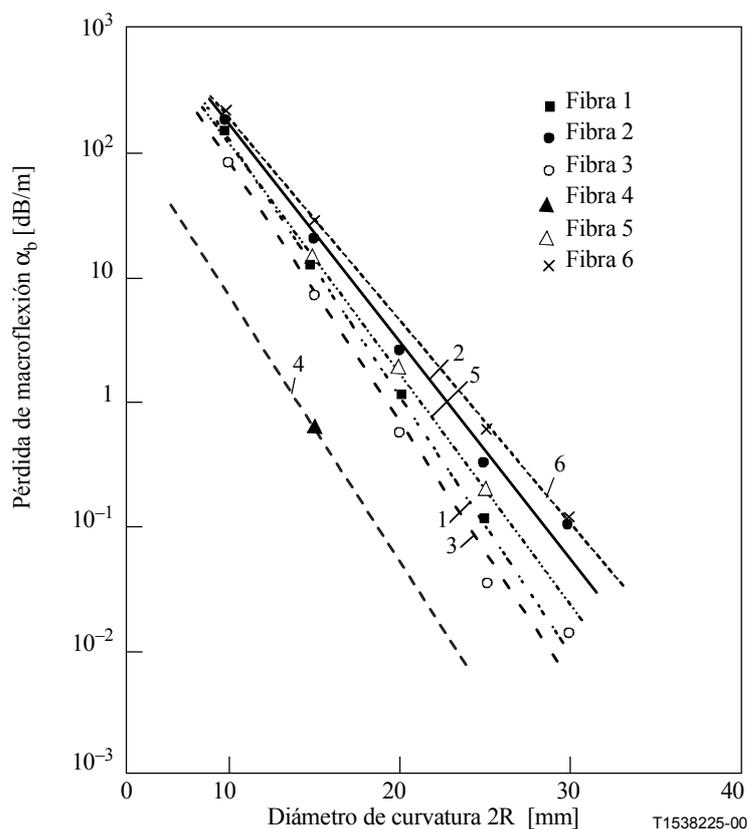


Figura II.1/G.654 – Curvas de pérdidas por equiflexión α_b , de dispersión cromática D y del índice de refracción Δ a $1,55 \mu\text{m}$ en función del diámetro de campo modal $2W$ y de la longitud de onda de corte efectiva λ_{ce}

Cuadro II.1/G.654 – Parámetros de fibras ópticas monomodo con corte desplazado y atenuación mínima a $1,55 \mu\text{m}$ (CSF, UIT-T G.654)

Fibra	MFD [μm] @ $1,55 \mu\text{m}$	λ_{ce} [μm]	Δ [%]	Atenuación [dB/km] @ $1,55 \mu\text{m}$ (@ $1,30 \mu\text{m}$)	Dispersión [ps/nm-km] @ $1,55 \mu\text{m}$ (@ $1,30 \mu\text{m}$)
1	11,1	1,48	0,33	0,176 (0,320)	19,27
2	10,8	1,43	0,34	0,184 (0,323)	18,69
3	10,9	1,51	0,35	0,181 (0,348)	18,92
4	9,50	1,56	0,45	0,189 (0,334)	18,99
5	10,1	1,38	0,35	0,197 (0,351)	17,67
Mín ~ máx	9,50 ~ 11,1	1,38 ~ 1,56	0,33 ~ 0,45	0,176 ~ 0,197 (0,320 ~ 0,351)	17,67 ~ 19,27

Fibras 1 y 2: con núcleo de sílice puro; fibras 3 y 4: con núcleo dopado ligeramente con germanio y revestimiento con baja concentración de flúor; fibra 5: convencional con núcleo dopado con germanio.



NOTA – Las cruces (curva de trazo discontinuo) representan la fibra tipo 6, una típica fibra UIT-T (CCITT) G.652 para $\lambda = 1,30 \mu\text{m}$ ($\lambda_{ce} \cong 1,12 \mu\text{m}$, $2W_{1,30 \mu\text{m}} \cong 9,20 \mu\text{m}$, $\Delta \cong 0,33\%$).

Figura II.2/G.654 – Pérdida por macroflexión en función del diámetro de curvatura de las muestras de fibras ópticas monomodo de prueba a 1,55 μm

APÉNDICE III

Información sobre estadísticas de la dispersión por modo de polarización

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

- III.1 Introducción
- III.2 Recogida de datos
- III.3 Cálculo de PMD_Q (Monte Carlo)
- III.4 Cálculo de $\text{DGD}_{\text{máx}}$ (Monte Carlo)

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

III.1 Introducción

Las dispersión por modo de polarización (PMD) es un atributo estadístico que, para una fibra determinada, se define como el valor medio de los valores del retardo 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 una 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 del sistema, incluida la presencia en los enlaces de otros componentes que generan PMD. En CEI 61282-3 se describe un método para determinar un máximo (definido en términos de probabilidad), de tal 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 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 para la especificación de la distribución de la PMD de cables de fibra óptica basado en el $DGD_{m\acute{a}x}$, se conoce como Método 2. En CEI 61282-3 se presentan 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 es una forma de extrapolar las implicaciones para el diseño del sistema y, por tanto, constituye información para el diseño del mismo.

III.2 Recogida de datos

Los cálculos se realizan con valores de PMD que son representativos de un tipo de construcción de cable dada 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.

III.3 Cálculo de PMD_Q (Monte Carlo)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

APÉNDICE IV

Bibliografía

- [IV.1] CEI 61282-3 (en preparación), Guidelines for the calculation of PMD in Fibre Optic Systems.
- [IV.2] CEI 60793-2 (86A/563/CDV), *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
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
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