



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.652

(04/97)

SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN,
SISTEMAS Y REDES DIGITALES

Características de los medios de transmisión – Cables de
fibra óptica

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

Recomendación UIT-T G.652

(Anteriormente Recomendación del CCITT)

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

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100–G.199
SISTEMAS INTERNACIONALES ANALÓGICOS DE PORTADORAS	
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
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	
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
SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DIGITAL	
EQUIPOS TERMINALES	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.652

CARACTERÍSTICAS DE UN CABLE DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO

Resumen

Esta Recomendación trata de las características geométricas y de transmisión de las fibras y cables ópticos monomodo cuya dispersión y corte no se desplazan de la región de longitud de onda de 1310 nm. Las definiciones y los métodos de prueba figuran en la Recomendación G.650.

Orígenes

La Recomendación UIT-T G.652, ha sido revisada por la Comisión de Estudio 15 (1997-2000) del UIT-T y fue aprobada por el procedimiento de la Resolución N.º 1 de la CMNT el 8 de abril de 1997.

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 Conferencia Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (CMNT), 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 N.º 1 de la CMNT.

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

© UIT 1997

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
3	Terminología.....	2
4	Abreviaturas.....	2
5	Características de la fibra.....	2
5.1	Diámetro del campo modal.....	2
5.2	Diámetro del revestimiento.....	2
5.3	Error de concentricidad del campo modal	2
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	Característica de pérdida por flexión a 1 550 nm	4
5.7	Propiedades materiales de la fibra	4
5.7.1	Materiales de la fibra	4
5.7.2	Materiales protectores.....	5
5.7.3	Nivel de prueba mecánica de recepción	5
5.8	Perfil del índice de refracción.....	5
5.9	Uniformidad longitudinal	5
6	Especificaciones de los largos de fabricación.....	5
6.1	Coefficiente de atenuación.....	5
6.2	Coefficiente de dispersión cromática.....	5
6.3	Coefficiente de dispersión por modo de polarización.....	6
7	Secciones elementales de cable	6
7.1	Atenuación	7
7.2	Dispersión cromática	7
	Apéndice I – Modelado de la atenuación espectral.....	7
	Apéndice II – Ejemplo de modelo de matriz.....	8

Recomendación G.652

CARACTERÍSTICAS DE UN CABLE DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO

(revisada en 1997)

1 Alcance

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

Esta fibra puede utilizarse para transmisión analógica y digital.

Las características geométricas, ópticas y de transmisión de esta fibra, se describen más adelante, así como los métodos de prueba aplicables.

El significado de los términos empleados en esta Recomendación y las directrices que han de seguirse en las mediciones para verificar las diversas características se indican en la Recomendación G.650.

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.

- Recomendación UIT-T G.650 (1997), *Definición y métodos de prueba de los parámetros pertinentes de las fibras monomodo.*
- Recomendación UIT-T G.653 (1997), *Características de los cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada.*
- Recomendación UIT-T G.654 (1997), *Características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado.*
- Recomendación UIT-T G.655 (1996), *Características de los cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada no nula.*
- Recomendación UIT-T G.663 (1996), *Aspectos relacionados con la aplicación de los dispositivos y subsistemas de amplificadores de fibra óptica.*
- Recomendación UIT-T G.681 (1996), *Características funcionales de los sistemas de línea intercentrales y de larga distancia que utilizan amplificadores ópticos, incluida la multiplexión óptica.*
- Recomendación UIT-T G.955 (1996), *Sistemas de línea digital basados en las jerarquías de 1544 kbit/s y 2048 kbit/s en cables de fibra óptica.*
- Recomendación UIT-T G.957 (1995), *Interfaces ópticas para equipos y sistemas basados en la jerarquía digital síncrona.*
- CEI Publication 793-2, Part 2 (1992), *Optical fibres – Part 2: Product specifications.*

3 Terminología

Para los fines de esta Recomendación, se aplican las definiciones contenidas en la Recomendación G.650.

4 Abreviaturas

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

GPa Gigapascales

SDH Jerarquía digital síncrona (*synchronous digital hierarchy*)

WDM Multiplexión por división de longitud de onda (*wavelength division multiplexing*)

5 Características de la fibra

En esta cláusula sólo se recomiendan las características de la fibra que proporcionan una mínima estructura de diseño esencial para la fabricación de fibras. De éstas, la longitud de onda de corte de la fibra cableada puede verse apreciablemente afectada por la fabricación o la instalación del cable. Además, las características recomendadas se aplicarán igualmente a las fibras individuales, a las fibras incorporadas en un cable enrollado en un tambor, y a las fibras en cables instalados.

Esta Recomendación se aplica a las fibras que tienen un campo modal nominalmente circular.

5.1 Diámetro del campo modal

El valor nominal del diámetro del campo modal a 1310 nm estará en la gama de 8,6 a 9,5 μm . La desviación del diámetro del campo modal no deberá exceder de $\pm 10\%$ de su valor nominal.

NOTA 1 – El valor de 10 μm se emplea corrientemente para diseños de revestimientos adaptados, y el valor de 9 μm para diseños de revestimientos con depresión. Sin embargo, la elección de un valor concreto de la gama indicada no depende necesariamente del diseño de fibra utilizado.

NOTA 2 – Debe señalarse que el comportamiento de la fibra necesario para una determinada aplicación depende más de los parámetros esenciales de la propia fibra y del sistema, es decir, del diámetro del campo modal, de la longitud de onda de corte, de la dispersión total, de la longitud de onda de trabajo del sistema y de la velocidad binaria/frecuencia de funcionamiento, que del diseño de la fibra.

NOTA 3 – De hecho, el valor medio del diámetro del campo modal puede diferir de los valores nominales indicados, a condición de que todas las fibras estén dentro de $\pm 10\%$ del valor nominal especificado.

5.2 Diámetro del revestimiento

El valor nominal recomendado del diámetro del revestimiento es 125 μm . La desviación del diámetro del revestimiento no debe exceder de $\pm 2 \mu\text{m}$.

Para determinadas técnicas de empalme y ciertos requisitos de pérdida en los empalmes, pueden ser apropiadas otras tolerancias.

5.3 Error de concentricidad del campo modal

El error de concentricidad recomendado para el campo modal a 1310 nm no debe exceder de 1 μm .

NOTA 1 – Para determinadas técnicas de empalme y ciertos requisitos de pérdida en los empalmes, pueden ser apropiadas tolerancias de hasta 3 μm .

NOTA 2 – El error de concentricidad del campo modal y el error de concentricidad del núcleo, representado por la iluminación transmitida utilizando longitudes de onda diferentes de 1310 nm (incluida la luz blanca), son equivalentes. En general, la desviación del centro del perfil del índice de refracción y el eje del revestimiento representa también el error de concentricidad del campo modal, pero si apareciese alguna diferencia entre el error de concentricidad del campo modal, medido de acuerdo con el método de prueba de referencia (RTM, *reference test method*), y el error de concentricidad del núcleo, el primero constituirá la referencia.

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 los empalmes no se vean afectados. 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 debe ser inferior al 2%. Para determinadas técnicas de empalme y ciertos requisitos de pérdida en los empalmes, pueden ser apropiadas otras tolerancias.

5.5 Longitud de onda de corte

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

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

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 mínimo de cable entre empalmes a la longitud de onda de funcionamiento mínima del sistema. Esto puede conseguirse recomendando que la máxima longitud de onda de corte λ_{cc} de una fibra monomodo cableada sea 1260 ó 1270 nm.

NOTA 1 – Debe asegurarse un margen de longitud de onda suficiente entre la mínima longitud de onda de trabajo admisible del sistema λ_s y la máxima longitud de onda de corte admisible del cable λ_{cc} .

NOTA 2 – Para evitar los efectos del ruido modal y asegurar la transmisión monomodo en cables de longitud inferior a 2 m (por ejemplo, rabillos de fibra, cables puente cortos), la máxima λ_c de las fibras a utilizar no debe ser superior a 1250 nm cuando se mide en las condiciones del RTM pertinente de la Recomendación G.650.

NOTA 3 – Para evitar los efectos del ruido modal y asegurar la transmisión monomodo en cables de longitudes comprendidas entre 2 m y 20 m (por ejemplo, rabillos de fibras, cables puente cortos), la máxima λ_{cj} no debe ser mayor que 1260 ó 1270 nm.

Como la especificación de la longitud de onda de corte del cable, λ_{cc} , es una forma más directa de asegurar el funcionamiento del cable monomodo, se prefiere especificar ésta a especificar la longitud de onda de corte de la fibra, λ_c . Sin embargo, cuando las circunstancias no permiten la pronta especificación de λ_{cc} , (por ejemplo, en cables monofibra tales como rabillos, puentes o cables a instalar en una manera bastante diferente a la del RTM de λ_{cc}), resulta adecuada la especificación de un límite superior de λ_c o λ_{cj} .

Cuando el usuario especifica λ_{cc} como en a), debe entenderse que λ_c puede ser superior a 1260 ó 1270 nm. Además, λ_c puede ser mayor que la mínima longitud de onda de trabajo del sistema, basándose en los efectos de fabricación e instalación del cable para obtener valores de λ_{cc} por debajo de la mínima longitud de onda de trabajo del sistema para el largo de cable más pequeño entre dos uniones. Suele ser corriente emplear una prueba de calificación para asegurar que el diseño del cable cumpla la especificación de λ_{cc} requerida.

5.6 Característica de pérdida por flexión a 1 550 nm

A fin de asegurar un funcionamiento con bajas pérdidas de las fibras instaladas optimizadas a 1310 nm en la región de longitudes de onda de 1550 nm, el incremento de la pérdida para 100 vueltas de fibra holgadamente enrollada con un radio de 37,5 mm y medida a 1550 nm será inferior a 1,0 dB.

Para aplicaciones SDH y WDM, la fibra puede utilizarse a longitudes de onda superiores a 1550 nm. Se aplicará la pérdida máxima de 1,0 dB a la longitud de onda máxima de uso previsto (que sería ≤ 1580 nm). La pérdida a la longitud de onda máxima puede proyectarse a partir de una medición de pérdida a 1550 nm, utilizando sea modelación de pérdida espectral o una base de datos estadísticos para ese diseño de fibra determinado. Otra posibilidad sería efectuar una prueba de calificación a la longitud de onda más grande.

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

NOTA 2 – El valor indicado más arriba de 100 vueltas corresponde al número aproximado de vueltas aplicadas en todos los casos de empalmes de un tramo de repetición típico. El radio de 37,5 mm es equivalente al radio mínimo de curvatura generalmente aceptado en el montaje a largo plazo de fibras en las instalaciones de los sistemas reales, para evitar fallos por fatiga estática.

NOTA 3 – Se sugiere que si por razones de orden práctico se elige para la implementación de esta prueba un número de vueltas menor que 100, nunca se empleen menos de 40 vueltas, y se utilice un incremento de la pérdida proporcionalmente menor.

NOTA 4 – Se sugiere que si se ha previsto efectuar flexiones con radios de curvatura menores de 37,5 mm (por ejemplo, $R = 30$ mm) en los casos de empalme, o en cualquier otro lugar del sistema, el mismo valor de pérdida de 1,0 dB se aplique a 100 vueltas de fibra montadas con este radio menor.

NOTA 5 – La recomendación sobre la pérdida por flexión a 1550 nm se refiere al montaje de las fibras en las 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 para facilitar la medición de la sensibilidad a la flexión a una longitud de onda de 1550 nm, en lugar de 100 vueltas puede utilizarse un bucle de pequeño diámetro de una o varias vueltas. En este caso, el diámetro del bucle, el número de vueltas y la máxima pérdida admisible por flexión para la prueba con el bucle de una sola vuelta, o de varias vueltas, debe elegirse de modo que corresponda con la recomendación sobre la pérdida de 1,0 dB para la prueba con 100 vueltas dispuestas con un radio de 37,5 mm.

5.7 Propiedades materiales de la fibra

5.7.1 Materiales de la fibra

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

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

La tensión de prueba especificada σ_p , será por lo menos de 0,35 GPa, que corresponde a una deformación de prueba de aproximadamente 0,5%. A menudo se especifica una tensión de prueba de 0,69 GPa.

NOTA – Las definiciones de los parámetros mecánicos figuran en 1.2/G.650 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; si se desea medirlo, puede utilizarse el método de prueba de referencia de la Recomendación G.651.

5.9 Uniformidad longitudinal

En estudio.

6 Especificaciones de los largos de fabricación

Como las características geométricas y ópticas de las fibras indicadas en la cláusula 5 son apenas afectadas por el proceso de cableado, la presente cláusula formulará recomendaciones pertinentes sobre todo 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

Los cables de fibra óptica tratados en esta Recomendación tienen, generalmente, coeficientes de atenuación inferiores a 0,5 dB/km en la región de longitudes de onda de 1310 nm e inferiores a 0,4 dB en la de 1550 nm.

NOTA 1 – Los valores más bajos dependen del proceso de fabricación, de la composición y el diseño de la fibra, y del diseño del cable. Se han obtenido valores comprendidos entre 0,3 y 0,4 dB/km en la región de 1310 nm y entre 0,17 y 0,25 dB/km en la de 1550 nm.

NOTA 2 – El coeficiente de atenuación puede calcularse para una gama de longitudes de onda, sobre la base de mediciones realizadas en unas pocas (3 a 5) longitudes de onda del predictor. Este procedimiento se describe en el apéndice I, y se da un ejemplo en el apéndice II.

6.2 Coeficiente de dispersión cromática

El máximo coeficiente de dispersión cromática deberá especificarse por:

- la gama permitida de longitudes de onda de dispersión nula entre $\lambda_{0\text{mín}} = 1300$ nm y $\lambda_{0\text{máx}} = 1324$ nm;
- el valor máximo $S_{0\text{máx}} = -0,093$ ps/(nm² · km) de la pendiente con dispersión nula.

Los límites del coeficiente de dispersión cromática para cualquier longitud de onda λ dentro de la gama 1260-1360 nm deberá calcularse por:

$$D_1(\lambda) = \frac{S_{0m\acute{a}x}}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda^4 0_{m\acute{i}n}}{\lambda^3} \right]$$

$$D_2(\lambda) = \frac{S_{0m\acute{a}x}}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda^4 0_{m\acute{a}x}}{\lambda^3} \right]$$

NOTA 1 – Por ejemplo los valores de $\lambda_{0m\acute{i}n}$, $\lambda_{0m\acute{a}x}$ y $S_{0m\acute{a}x}$ arrojan magnitudes del coeficiente de dispersión $|D_1|$ y $|D_2|$ iguales o inferiores a los máximos coeficientes de dispersión cromática del siguiente cuadro:

Longitud de onda (nm)	Máximo coeficiente de dispersión cromática [ps/(nm.km)]
1288-1339	3,5
1271-1360	5,3

NOTA 2 – Utilizar la expresión anterior de $D_1(\lambda)$ para estimar la dispersión máxima en la región de 1550 nm.

NOTA 3 – Para sistemas de alta capacidad o de gran longitud, puede ser necesario especificar una gama más estrecha de $\lambda_{0m\acute{i}n}$, $\lambda_{0m\acute{a}x}$ o, de ser posible, elegir un valor menor para $S_{0m\acute{a}x}$.

NOTA 4 – No es necesario medir la dispersión cromática de las fibras monomodo en forma sistemática.

6.3 Coeficiente de dispersión por modo de polarización

En estudio.

NOTA – Los cables de fibra óptica tratados por esta Recomendación tienen generalmente un coeficiente de dispersión por modo de polarización por debajo de $0,5 \text{ ps/km}^{1/2}$, lo que corresponde a una distancia de transmisión limitada por la PMD de unos 400 km para los sistemas STM-64.

Los sistemas con productos velocidad binaria x distancia menores pueden tolerar valores superiores del coeficiente de PMD sin degradación.

7 Secciones elementales de cable

Una sección elemental de cable incluye normalmente varios largos de fabricación empalmados. Los requisitos aplicables a los largos de fabricación se indican en la cláusula 6. Los parámetros de transmisión de las secciones elementales de cable deben tener en cuenta no sólo el comportamiento de los distintos largos de cable, sino también, entre otras cosas, factores tales como las pérdidas por empalmes y en los conectores (si se aplican).

Además, las características de transmisión de los largos de fabricación de fibras y de elementos tales como empalmes y conectores, tendrán una determinada distribución probabilística que hay que tener en cuenta con frecuencia si han de conseguirse los diseños más económicos. Las subcláusulas que siguen deben leerse teniendo presente la naturaleza estadística de los diversos parámetros.

7.1 Atenuación

La atenuación A de una sección elemental de cable viene dada por:

$$A = \sum_{n=1}^m \alpha_n \cdot L_n + \alpha_s \cdot \chi + \alpha_c \cdot y$$

donde:

α_n = coeficiente de atenuación de la n -ésima fibra de la sección elemental de cable,

L_n = longitud de la n -ésima fibra,

m = número total de fibras concatenadas de la sección elemental de cable,

α_s = pérdida media por empalme,

χ = número de empalmes de la sección elemental de cable,

α_c = pérdida media de los conectores de línea,

y = número de conectores de línea de la sección elemental de cable (si se aplican).

Debe preverse un margen adecuado para futuras modificaciones de la configuración del cable (empalmes suplementarios, largos de cable suplementarios, efectos de envejecimiento, variaciones de temperatura, etc.).

La expresión anterior no incluye la pérdida de los conectores de equipo.

Como pérdida de los empalmes y conector se utiliza la pérdida media. El presupuesto de atenuación utilizado en el diseño de un sistema real debe tener en cuenta las variaciones estadísticas de esos parámetros.

7.2 Dispersión cromática

Se puede obtener la dispersión cromática expresada en ps a partir de los coeficientes de dispersión total de los largos de fabricación, suponiendo una dependencia lineal de la longitud y respetando los signos de los coeficientes y las características de la fuente del sistema (véase 6.2).

APÉNDICE I

Modelado de la atenuación espectral

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

La matriz M viene dada por:

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

donde m es el número de longitudes de onda para las que se tienen que estimar los coeficientes de atenuación y n es el número de longitudes de onda de predictor. La matriz M se multiplica a

continuación por un vector v (de n elementos) que contiene los coeficientes de atenuación medidos de la fibra específica; el resultado es un nuevo vector w (de m elementos) que da los valores estimados de los coeficientes de atenuación en la gama dada, es decir:

$$w = M \cdot v$$

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

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

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

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

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

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

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

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

APÉNDICE II

Ejemplo de modelo de matriz

Lo que sigue es un ejemplo de matriz $m \times n = 38 \times 3$, que se da únicamente a título ilustrativo.

Si ha de estimarse la atenuación espectral en una gama de 1240 nm a 1600 nm (con paso de 10 nm) utilizando 1310 nm, 1380 nm y 1550 nm como longitudes de onda del predictor, a continuación se da un ejemplo de elementos de matriz que se han demostrado aplicables¹ para algunas fibras conformes a la Recomendación G.652.

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

Longitud de onda de salida (μm)	Longitudes de onda de predictivas		
	1310 nm	1380 nm	1550 nm
1,23	1,46027	-0,04235	-0,20771
1,24	1,35288	-0,01493	-0,13289
1,25	1,31704	-0,00412	-0,14768
1,26	1,26613	-0,00997	-0,13715
1,27	1,20167	-0,00843	-0,10635
1,28	1,14970	-0,01281	-0,06363
1,29	1,11290	-0,01059	-0,06245
1,30	1,03600	-0,00711	0,00711
1,31	0,96276	0,00342	0,05412
1,32	0,90437	0,01435	0,08572
1,33	0,86168	0,02098	0,11776
1,34	0,83194	0,05500	0,05849
1,35	0,73415	0,08336	0,14196
1,36	0,83266	0,11032	-0,10694
1,37	0,69137	0,22596	-0,05961
1,38	0,01006	0,99798	-0,01126
1,39	-0,25502	0,94764	0,48887
1,40	0,00227	0,58463	0,51813
1,41	0,25780	0,33834	0,40811
1,42	0,29085	0,20419	0,49620
1,43	0,29329	0,13569	0,54995
1,44	0,33133	0,09266	0,51936
1,45	0,31608	0,06343	0,55905
1,46	0,24183	0,04483	0,68361
1,47	0,29207	0,03019	0,59222
1,48	0,19214	0,02196	0,75669
1,49	0,18650	0,01132	0,76122
1,50	0,21242	0,00541	0,70722
1,51	0,16884	0,00648	0,75347
1,52	0,11484	-0,00091	0,84972
1,53	0,09334	0,00419	0,85304
1,54	0,07231	-0,00021	0,88512
1,55	0,03111	-0,00115	0,94957
1,56	0,07054	-0,00321	0,87414
1,57	-0,03723	-0,01127	1,08140
1,58	-0,02543	0,00556	1,01041
1,59	-0,01370	0,00457	0,99389
1,60	-0,06916	-0,00107	1,11623

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 Z Lenguajes de programación