

Unión Internacional de Telecomunicaciones

**UIT-T**

SECTOR DE NORMALIZACIÓN  
DE LAS TELECOMUNICACIONES  
DE LA UIT

**G.657**

(12/2006)

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

Características de los medios de transmisión y de los  
sistemas ópticos – Cables de fibra óptica

---

**Características de las fibras y cables ópticos  
monomodo insensibles a la pérdida por flexión  
para la red de acceso**

Recomendación UIT-T G.657

UIT-T



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 SATELITE 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 Y DE LOS SISTEMAS ÓPTICOS  | 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.639        |
| Sistemas ópticos en el espacio libre  | G.640–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.679        |
| Características de los sistemas ópticos   | G.680–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        |
| CALIDAD DE SERVICIO Y DE TRANSMISIÓN – ASPECTOS GENÉRICOS Y ASPECTOS RELACIONADOS AL USUARIO  | G.1000–G.1999      |
| CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN  | G.6000–G.6999      |
| DATOS SOBRE CAPA DE TRANSPORTE – ASPECTOS GENÉRICOS   | G.7000–G.7999      |
| ASPECTOS RELATIVOS A LOS PROTOCOLOS EN MODO PAQUETE SOBRE LA CAPA DE TRANSPORTE   | G.8000–G.8999      |
| REDES DE ACCESO   | G.9000–G.9999      |

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

## Recomendación UIT-T G.657

### Características de las fibras y cables ópticos monomodo insensibles a la pérdida por flexión para la red de acceso

#### Resumen

En todo el mundo, las tecnologías de las redes de acceso de banda ancha avanzan a un ritmo acelerado. Entre esos adelantos, la tecnología que aplica *fibras monomodo* representa un medio de transmisión de gran capacidad que puede responder a la creciente demanda de servicios de banda ancha.

Se ha adquirido una vasta experiencia con la instalación y el funcionamiento de redes basadas en cables y fibras monomodo, y en la Recomendación UIT-T G.652 se describen sus características sobre la base de dicha experiencia. No obstante, la utilización específica de fibras y cables en una red óptica de acceso supone distintas exigencias que afectan su calidad de funcionamiento óptima. Las diferencias en comparación con su uso en la red de transporte general obedecen principalmente a la alta densidad de distribución y cables de derivación en la red de acceso. A causa de las limitaciones de espacio y las numerosas manipulaciones, la fibra debe ser fácil de manipular y poco sensible a la flexión. Además, es necesario mejorar el cableado puesto que las oficinas de telecomunicaciones suelen estar atestadas y por ende el espacio es un factor limitante.

La finalidad de esta Recomendación es promover esa optimización recomendando a tales efectos cables y fibras con un comportamiento muy mejorado ante las flexiones en comparación con los cables y fibras monomodo G.652. Ello se logra introduciendo dos clases de fibras monomodo: una de clase A, en total conformidad con las fibras monomodo G.652 y que también puede utilizarse en otras partes de la red, y otra de clase B, que no está necesariamente conforme con G.652 pero que puede acusar menores pérdidas por macroflexión a unos radios de flexión muy bajos y está concebida principalmente para su utilización dentro de edificios.

#### Orígenes

La Recomendación UIT-T G.657 fue aprobada el 14 de diciembre de 2006 por la Comisión de Estudio 15 (2005-2008) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

## 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.

La observancia de esta Recomendación es voluntaria. Ahora bien, la Recomendación puede contener ciertas disposiciones obligatorias (para asegurar, por ejemplo, la aplicabilidad o la interoperabilidad), por lo que la observancia se consigue con el cumplimiento exacto y puntual de todas las disposiciones obligatorias. La obligatoriedad de un elemento preceptivo o requisito se expresa mediante las frases "tener que, haber de, hay que + infinitivo" o el verbo principal en tiempo futuro simple de mandato, en modo afirmativo o negativo. El hecho de que se utilice esta formulación no entraña que la observancia se imponga a ninguna de las partes.

## PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT no ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB en la dirección <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© UIT 2007

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

## ÍNDICE

|  | <b>Página</b> |
|--|---------------|
| 1 Alcance .....  | 1             |
| 2 Referencias .....  | 1             |
| 3 Términos y definiciones .....  | 2             |
| 4 Abreviaturas, siglas o acrónimos .....   | 2             |
| 5.1 Diámetro de campo de modo .....  | 2             |
| 5.2 Diámetro del revestimiento .....   | 2             |
| 5.3 Error de concentricidad básico .....   | 2             |
| 5.4 No circularidad .....  | 2             |
| 5.5 Longitud de onda de corte .....  | 3             |
| 5.6 Pérdida por macroflexión .....   | 3             |
| 5.7 Propiedades materiales de la fibra .....   | 4             |
| 5.8 Perfil de índice refractivo .....  | 4             |
| 5.9 Uniformidad longitudinal de la dispersión cromática .....  | 4             |
| 5.10 Coeficiente de dispersión cromática para las fibras de clase A.....                               | 4             |
| 6 Características del cable .....  | 5             |
| 6.1 Coeficiente de atenuación.....   | 5             |
| 6.2 Coeficiente de dispersión en modo polarización para las fibras de clase A...                       | 5             |
| 7 Cuadros de valores recomendados.....   | 6             |
| Apéndice I – Esperanza de vida en caso de almacenamiento de fibras monomodo a radios<br>reducidos..... | 10            |
| I.1 Introducción.....  | 10            |
| I.2 Red y averías de la red.....   | 10            |
| I.3 Consideraciones relativas a la vida útil de la fibra .....   | 10            |
| I.4 Conclusiones.....  | 12            |
| Bibliografía .....   | 13            |

## **Introducción**

En todo el mundo, las tecnologías de las redes de acceso de banda ancha avanzan a un ritmo acelerado. Entre esos adelantos, la tecnología que aplica *fibras monomodo* representa un medio de transmisión de gran capacidad que puede responder a la creciente demanda de servicios de banda ancha.

Se ha adquirido una vasta experiencia con la instalación y el funcionamiento de redes basadas en cables y fibras monomodo, y en [UIT-T G.652] se describen sus características sobre la base de dicha experiencia. No obstante, su utilización específica en las redes ópticas de acceso le impone otras exigencias a las fibras y cables. A causa de la alta densidad de distribución y los cables de derivación en la red de acceso, así como al espacio limitado y a las numerosas manipulaciones en esta parte de la red, los requisitos de las fibras y cables podrían optimizarse de manera diferente a la de su utilización en una red de transporte general. La finalidad de esta Recomendación es promover esa optimización recomendando la utilización de fibras y cables monomodo con unas características diferentes a las consignadas en G.652, así como otras clases de fibras monomodo.

Por lo que se refiere a las estructuras de red en las cuales se utilizan los cables de fibras ópticas monomodo, se remite al lector a la abundante información disponible en las referencias enumeradas en la bibliografía.

## Recomendación UIT-T G.657

### Características de las fibras y cables ópticos monomodo insensibles a la pérdida por flexión para la red de acceso

#### 1 Alcance

En esta Recomendación se describen dos categorías de cables de fibras ópticas monomodo adecuados para su utilización en las redes de acceso, con inclusión del interior de los edificios al extremo de esas redes.

Las fibras de la categoría A son adecuadas para su utilización en las bandas O, E, S, C y L (es decir, a lo largo de la gama de 1260 a 1625 nm). Las fibras y los requisitos en estas categorías son un subconjunto de las fibras G.652.D y tienen las mismas características de transmisión e interconexión. Las principales mejoras son una menor pérdida por flexión y unas especificaciones dimensionales más estrictas, factores ambos tendientes a mejorar la conectividad.

Las fibras de la categoría B son adecuadas para transmisiones a 1310, 1550 y 1625 nm en distancias limitadas asociadas al transporte de señales dentro de los edificios. Estas fibras tienen diferentes características de empalme y conexión que las fibras G.652, pero funcionan correctamente a valores de radios de flexión muy bajos.

El significado de los términos utilizados en esta Recomendación y las directrices que se han de seguir en la medición para verificar las diversas características están consignados en [UIT-T G.650.1] y [UIT-T G.650.2]. A medida que avancen los estudios y se vaya adquiriendo mayor experiencia, se irán perfeccionando las características de estas categorías de fibras, con inclusión de las definiciones de los correspondientes parámetros, sus métodos de prueba y los valores pertinentes.

#### 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. En esta Recomendación, la referencia a un documento, en tanto que autónomo, no le otorga el rango de una Recomendación.

- [UIT-T G.650.1] Recomendación UIT-T G.650.1 (2004), *Definiciones y métodos de prueba de los atributos lineales y determinísticos de fibras y cables monomodo.*
- [UIT-T G.650.2] Recomendación UIT-T G.650.2 (2005), *Definiciones y métodos de prueba de los atributos conexos de las características estadísticas y no lineales de fibras y cables monomodo.*
- [UIT-T G.652] Recomendación UIT-T G.652 (2005), *Características de las fibras y cables ópticos monomodo.*
- [CEI 60793-1-47] CEI 60793-1-47 (2006), *Optical fibres – Part 1-47; Measurement methods and test procedures – Macrobending loss.*

### **3 Términos y definiciones**

A los efectos de la presente Recomendación, las definiciones y directrices que se han de seguir en la medición para verificar las diversas características están consignadas en [UIT-T G.650.1] y [UIT-T G.650.2]. Las cifras se redondearán al número de dígitos indicado en los cuadros de valores recomendados antes de evaluar la conformidad.

### **4 Abreviaturas, siglas o acrónimos**

En esta Recomendación se utilizan las siguientes abreviaturas, siglas o acrónimos:

DGD Retardo diferencial de grupo (*differential group delay*)

PMD Dispersión por modo de polarización (*polarization mode dispersion*)

### **5 Atributos de la fibra**

En [UIT-T G.652] se estipula las características de la fibra óptica que constituyen el marco fundamental para la fabricación de fibras, el diseño del sistema y su utilización en las redes de planta exterior. En esta cláusula se hace hincapié en los atributos que optimizan la fibra y el cable para su utilización en las redes de acceso óptica de banda ancha, y en particular su comportamiento mejorado frente a la macroflexión, adecuado para sistemas de gestión de fibras de escaso volumen y bajo radio en oficinas de telecomunicaciones, locales de clientes en edificios de apartamentos y viviendas individuales.

En aras de la integridad, en esta cláusula también se recomiendan aquellas características de la fibra que proporcionan un marco mínimo de diseño esencial para la fabricación de fibras. En los cuadros contenidos en la cláusula 7 se indican las gamas o límites de los valores. De éstos, la fabricación o instalación de cables podría afectar la PMD y la longitud de onda de corte de la fibra cableada. De otro modo, las características recomendadas se aplicarán igualmente a las fibras individuales, a las fibras incorporadas en un cable enrollado en una bobina y a las fibras de un cable instalado.

#### **5.1 Diámetro de campo de modo**

Se especificará un valor nominal y una tolerancia por encima de ese valor nominal de 1310 nm. El valor nominal que se especifique estará dentro de la gama que se indica en la cláusula 7, y la tolerancia especificada no rebasará el valor estipulado en dicha cláusula. La diferencia con respecto al valor nominal no será superior a la tolerancia especificada.

#### **5.2 Diámetro del revestimiento**

El valor nominal que se recomienda para el diámetro del revestimiento es de 125 µm. Asimismo, se especifica una tolerancia que no deberá rebasar el valor indicado en la cláusula 7, y la diferencia del revestimiento con respecto al valor nominal no será superior a la tolerancia especificada.

#### **5.3 Error de concentricidad básico**

El error de concentricidad básico no rebasará el valor especificado en la cláusula 7.

#### **5.4 No circularidad**

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

En la práctica se ha determinado que la no circularidad del campo modal de las fibras que poseen nominalmente campos modales circulares es suficientemente baja como para no afectar la propagación y el empalme. Por lo tanto, no se considera necesario recomendar un valor determinado para la no circularidad del campo modal. Por lo 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 rebasará el valor indicado en la cláusula 7.

#### 5.5 Longitud de onda de corte

Cabe señalar 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 o de conexión  $\lambda_{cj}$ .

La correlación de los valores medidos de  $\lambda_c$ ,  $\lambda_{cc}$  y  $\lambda_{cj}$  depende del diseño específico de la fibra y del cable, así como de las condiciones de prueba. Aunque en general  $\lambda_{cc} < \lambda_{cj} < \lambda_c$ , no puede establecerse fácilmente una relación cuantitativa. Es de suma importancia garantizar la transmisión monomodo en el largo mínimo de cable entre uniones a la mínima longitud de onda de funcionamiento del sistema. Ello puede conseguirse recomendando que la máxima longitud de onda de corte  $\lambda_{cc}$  de una fibra monomodo cableada sea 1260 nm o, en el caso de cables puente, recomendando que la máxima longitud de onda de corte sea de 1250 nm o, para el peor caso en longitud y flexión de la fibra, recomendando que la máxima longitud de onda de corte de la fibra sea 1250 nm.

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

#### 5.6 Pérdida por macroflexión

Las pérdidas por macroflexión varían junto con la longitud de onda, el radio de flexión y el número de vueltas alrededor de un eje de torno con un radio especificado. La pérdida por macroflexión no será superior al valor máximo estipulado en la cláusula 7 para la o las longitudes de onda, radios de flexión y número de vueltas especificadas.

La exposición real a radio bajo de la fibra tiene lugar únicamente a longitudes relativamente cortas. Puesto que la elección característica del radio de flexión y la longitud de la fibra flexionada pueden variar en función del diseño del sistema de gestión de la fibra y de las prácticas de instalación, ya no basta con una especificación a un solo radio de flexión. Aunque se han publicado los resultados del modelado de diversos tipos de fibras, no se dispone de ningún modelo general de pérdida por flexión aplicable para representar la pérdida en función del comportamiento del radio de flexión. Ésta es la razón por la cual en los cuadros de la cláusula 7 se especifica una pérdida por macroflexión máxima a diferentes radios de flexión.

Dado que las pérdidas por flexión óptica aumentan junto con la longitud de onda, basta con una especificación de pérdida a la longitud de onda más elevada prevista, es decir, de 1550 ó 1625 nm. En caso necesario el cliente y el proveedor pueden convenir en una longitud de onda de especificación inferior o superior.

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

NOTA 2 – En caso de que se decida efectuar un número de vueltas distinto del recomendado, se supone que la pérdida máxima que tiene lugar es proporcional al número de vueltas especificado.

NOTA 3 – En caso de que se necesiten pruebas de rutina, en lugar de la prueba recomendada pueden utilizarse diámetros de bucle de desviación para una mayor exactitud y facilidad de medición. En tal caso el diámetro del bucle, el número de vueltas y el valor máximo de pérdida por flexión permisible para una prueba de varias vueltas se elegirá para establecer una correlación con la pérdida permisible y la prueba recomendada.

NOTA 4 – En general la pérdida por macroflexión se ve influida por la elección de los valores de las otras características de la fibra tales como el diámetro del campo modal, el coeficiente de dispersión cromática y la longitud de onda de corte de la fibra. Normalmente para optimizar las pérdidas por macroflexión se trata de llegar a un equilibrio entre los valores de esas características de la fibra.

NOTA 5 – Como método de medición de la pérdida por macroflexión puede utilizarse el método de enrollamiento alrededor de un eje de torno (Método A) que se describe en [CEI 60793-1-47], sustituyendo el radio de flexión y el número de vueltas especificados en los cuadros 7-1 y 7-2.

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

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

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

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

### **5.7.2 Materiales protectores**

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

### **5.7.3 Nivel de prueba de tensión**

El nivel de prueba de tensión especificado  $\sigma_p$  no será inferior al mínimo especificado en la cláusula 7.

NOTA 1 – Las definiciones de los parámetros mecánicos están consignadas en 3.2 y 5.6 de [UIT-T G.650.1].

NOTA 2 – A este respecto, véase también el apéndice informativo I.

## **5.8 Perfil de índice refractivo**

En general no es necesario conocer el perfil de índice refractivo de la fibra.

## **5.9 Uniformidad longitudinal de la dispersión cromática**

Normalmente este atributo es menos importante para aplicaciones en las redes de acceso. Para mayores detalles, véase [UIT-T G.652].

## **5.10 Coeficiente de dispersión cromática para las fibras de clase A**

El coeficiente de dispersión cromática o el retardo de grupo representados en función de la longitud de onda se ajustarán mediante la ecuación Sellmeier de tres términos que se define en el anexo A de [UIT-T G.650.1]. (Para orientaciones sobre la interpolación de los valores de dispersión a longitudes de onda no medidas, véase 5.5 de [UIT-T G.650.1].)

Se puede utilizar la ecuación Sellmeier para ajustar los datos en cada gama de valores (1310 nm y 1550 nm) por separado en dos ajustes o en un solo ajuste con los datos de ambas gamas.

El ajuste Sellmeier en la región de 1310 nm podría no ser suficientemente preciso cuando se extrapola a la región de 1550 nm. Puesto que la distorsión cromática en esta última región es mayor, la reducción de la exactitud podría ser aceptable; en su defecto, ésta puede mejorarse incluyendo datos de la región de 1550 nm al efectuar el ajuste común, o realizando un ajuste separado para la región de 1550 nm. Cabe señalar que un ajuste común podría reducir la precisión en la región de 1310 nm.

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

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

Los valores de  $\lambda_{0\text{mín}}$ ,  $\lambda_{0\text{máx}}$  y  $S_{0\text{máx}}$  estarán dentro de los límites indicados en los cuadros de la cláusula 7.

NOTA 1 – No es necesario medir el coeficiente de dispersión cromática de una fibra monomodo de una manera rutinaria.

NOTA 2 – Por lo general en el caso de las fibras de clase B la dispersión cromática no es indispensable para la aplicación y por ende su valor no está incluido en los atributos que se enumeran en la clase B del cuadro 7-2.

## 6 Características del cable

Dado que las características geométricas y ópticas de las fibras consignadas en la cláusula 5 se ven muy poco afectadas por el proceso de cableado, en esta cláusula se formulan recomendaciones relacionadas principalmente con las características de transmisión de las longitudes de cable estipuladas por el fabricante.

Las condiciones ambientales y de prueba son fundamentales y se describen en las directrices para los métodos de prueba.

### 6.1 Coeficiente de atenuación

El coeficiente de atenuación se especifica con un valor máximo a una o más longitudes de onda en las dos regiones de 1310 nm y 1550 nm. Los valores del coeficiente de atenuación del cable de fibra óptica no será superiores a los indicados en la cláusula 7.

NOTA – El coeficiente de atenuación podría calcularse para un espectro de longitudes de onda sobre la base de las mediciones de unas pocas longitudes de ondas representativas (3 a 4). Este procedimiento se describe en 5.4.4 de [UIT-T G.650.1] y en el apéndice III de [UIT-T G.650.1] se proporciona un ejemplo.

### 6.2 Coeficiente de dispersión en modo polarización para las fibras de clase A

En caso necesario se especificará la dispersión en modo polarización de la fibra cableada con carácter estadístico, pero no para cada fibra individual. Los requisitos se refieren únicamente al aspecto del enlace calculado a partir de la información del cable. A continuación se indica la métrica de la especificación estadística. Los métodos de cálculo están consignados en CEI/TR 61282-3, y se resumen en el apéndice IV de [UIT-T G.650.2].

El fabricante proporcionará un valor de diseño de enlace PMD,  $\text{PMD}_Q$ , que sirve como un límite superior estadístico para el coeficiente PMD de los cables de fibra óptica concatenados dentro de un posible enlace definido de secciones de cable  $M$ . El límite superior se define suponiendo un nivel de probabilidad reducido,  $Q$ , que es la probabilidad de que el valor del coeficiente PMD concatenado rebese el valor de  $\text{PMD}_Q$ . Para los valores de  $M$  y  $Q$  indicados en la cláusula 7, el valor de  $\text{PMD}_Q$  no será superior al coeficiente PMD máximo especificado en dicha cláusula.

Las mediciones y especificaciones sobre fibras no cableadas son necesarias, pero no bastan para garantizar la especificación de la fibra cableada. El valor máximo de diseño del enlace especificado para las fibras no cableadas será inferior o igual al especificado para las fibras cableadas. La relación entre los valores PMD de las fibras no cableadas y de las fibras cableadas depende de los pormenores de la construcción y el procesamiento del cable, así como de la condición de acoplamiento de modo de la fibra no cableada. En [UIT-T G.650.2] se recomienda que el acoplamiento de modo sea bajo, lo que exige un enrollamiento con baja tensión en una bobina de gran diámetro para poder proceder a las mediciones de PMD en fibras no cableadas.

Puede interpretarse que los límites de la distribución de los valores del coeficiente PMD son casi equivalentes a los límites de la variación estadística del retardo diferencial del grupo (DGD, *differential group delay*), el cual varía de manera aleatoria con el tiempo y la longitud de onda. Cuando se especifica la distribución del coeficiente PMD para un cable de fibra óptica, pueden determinarse los límites equivalentes de la variación del DGD. En el apéndice I de [UIT-T G.652] se indica la métrica y los valores para los límites de distribución DGD.

NOTA 1 – La especificación  $PMD_Q$  se requeriría únicamente cuando se utilizan cables para sistemas que tienen la especificación del DGD máximo, es decir, por ejemplo, que la especificación  $PMD_Q$  no se aplicaría a los sistemas consignados en la Rec. UIT-T G.957.

NOTA 2 – El  $PMD_Q$  se debería calcular para diversos tipos de cables, normalmente utilizando valores de PMD tomados como muestra. Las muestras se extraerían de cables de construcción similar.

NOTA 3 – La especificación  $PMD_Q$  no debería aplicarse a cables cortos tales como los cables puente o de conexión, los cables de interiores y los cables de derivación.

NOTA 4 – Por lo general el coeficiente PMD de las fibras de clase B no es esencial para la aplicación de esta clase de fibras y por lo tanto su valor no se incluye en los atributos enumerados en la clase B del cuadro 7-2.

## **7 Cuadros de valores recomendados**

En los cuadros que figuran a continuación se resumen los valores recomendados para las categorías de fibras que satisfacen los objetivos de esta Recomendación.

En el cuadro 7-1 Atributos de la clase A se indican los atributos y valores necesarios para soportar la instalación de la red de acceso optimizada con respecto a la pérdida por macroflexión, pues los valores correspondientes a otros atributos permanecen dentro de la gama recomendada en G.652.D.

En el cuadro 7-2 Atributos de la clase B se indican los atributos y valores necesarios para soportar la instalación de la red de acceso optimizada con unos radios de flexión muy cortos en los sistemas de gestión de la fibra y en particular para la instalación en interiores y exteriores. En lo que respecta a los coeficientes de dispersión cromática y al diámetro de campo modal, la gama de valores recomendados podría estar fuera de la gama de valores recomendados en [UIT-T G.652].

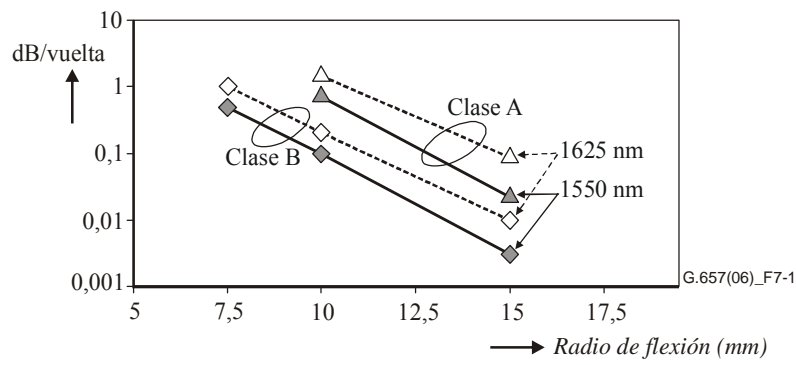
**Cuadro 7-1 – Clase A: Atributos G.657**

| <b>Atributos de la fibra</b>  |   |                               |      |
|---|---|-------------------------------|------|
| <b>Atributo</b>   | <b>Dato</b>                             | <b>Valor</b>                  |      |
| Diámetro de campo modal   | Longitud de onda                        | 1310 nm                       |      |
|   | Gama de valores nominales               | 8,6-9,5 $\mu\text{m}$         |      |
|   | Tolerancia                              | $\pm 0,4 \mu\text{m}$         |      |
| Diámetro del revestimiento  | Nominal                                 | 125,0 $\mu\text{m}$           |      |
|   | Tolerancia                              | $\pm 0,7 \mu\text{m}$         |      |
| Error de concentricidad del núcleo  | Máximo                                  | 0,5 $\mu\text{m}$             |      |
| No circularidad del revestimiento   | Máximo                                  | 1,0%                          |      |
| Longitud de onda de corte del cable   | Máximo                                  | 1260 nm                       |      |
| Pérdida por macroflexión<br>(Notas 1, 2)  | Radio (mm)                              | 15                            | 10   |
|   | Número de vueltas                       | 10                            | 1    |
|   | Máximo a 1550 nm (dB)                   | 0,25                          | 0,75 |
|   | Máximo a 1625 nm (dB)                   | 1,0                           | 1,5  |
| Prueba de tensión   | Mínimo                                  | 0,69 GPa                      |      |
| Coeficiente de dispersión cromática   | $\lambda_{0\text{mín}}$                 | 1300 nm                       |      |
|   | $\lambda_{0\text{máx}}$                 | 1324 nm                       |      |
|   | $S_{0\text{máx}}$                       | 0,092 ps/nm <sup>2</sup> × km |      |
| <b>Atributos del cable</b>  |   |                               |      |
| Coeficiente de atenuación   | Máximo de 1310 nm a 1625 nm<br>(Nota 3) | 0,4 dB/km                     |      |
|   | Máximo a 1383 nm $\pm 3$ nm             | (Nota 4)                      |      |
|   | Máximo a 1550 nm                        | 0,3 dB/km                     |      |
| Coeficiente de PMD  | M                                       | 20 cables                     |      |
|   | Q                                       | 0,01%                         |      |
|   | Máximo PMD <sub>Q</sub>                 | 0,20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$   |      |
| <p>NOTA 1 – Las fibras G.652 desplegadas a un radio de 15 mm tienen por lo general unas pérdidas por macroflexión de varios dB cada 10 vueltas a 1625 nm.</p> <p>NOTA 2 – La pérdida por macroflexión puede evaluarse utilizando un método de enrollamiento en un eje de torno (Método A de [CEI 60793-1-47]), sustituyendo el radio de flexión y el número de vueltas especificados en este cuadro.</p> <p>NOTA 3 – Esta región de longitud de onda puede ampliarse hasta 1260 nm añadiendo 0,07 dB/km de pérdida por dispersión de Rayleigh inducida al valor de atenuación a 1310 nm. En este caso, la longitud de onda de corte del cable no deberá sobrepasar 1250 nm.</p> <p>NOTA 4 – La atenuación media detectada en muestra a esta longitud de onda debe ser menor o igual al valor máximo especificado para la gama de 1310 nm a 1625 nm, después del proceso de envejecimiento del hidrógeno conforme a [b-CEI 60793-2-50] en relación con la categoría de fibra B1.3.</p> |   |                               |      |

**Cuadro 7-2 – Clase B: Atributos G.657**

| <b>Atributos de fibra</b>   |                           |              |     |     |
|---|---------------------------|--------------|-----|-----|
| <b>Atributos</b>  | <b>Dato</b>               | <b>Valor</b> |     |     |
| Diámetro de campo modal   | Longitud de onda          | 1310 nm      |     |     |
|   | Gama de valores nominales | 6,3-9,5 μm   |     |     |
|   | Tolerancia                | ±0,4 μm      |     |     |
| Diámetro del revestimiento  | Nominal                   | 125,0 μm     |     |     |
|   | Tolerancia                | ±0,7 μm      |     |     |
| Error de concentricidad del núcleo  | Máximo                    | 0,5 μm       |     |     |
| No circularidad del revestimiento   | Máximo                    | 1,0%         |     |     |
| Longitud de onda de corte del cable   | Máximo                    | 1260 nm      |     |     |
| Pérdida por macroflexión<br>(Nota 1)  | Radio                     | 15           | 10  | 7,5 |
|   | Número de vueltas         | 10           | 1   | 1   |
|   | Máximo a 1550 nm (dB)     | 0,03         | 0,1 | 0,5 |
|   | Máximo a 1625 nm (dB)     | 0,1          | 0,2 | 1,0 |
| Prueba de tensión   | Mínimo                    | 0,69 GPa     |     |     |
| Coefficiente de dispersión cromática<br>(Nota 2)  |                           | TBD          |     |     |
| <b>Atributos del cable</b>  |                           |              |     |     |
| Coefficiente de atenuación  | Máximo de 1310 nm         | 0,5 dB/km    |     |     |
|   | Máximo a 1550 nm          | 0,3 dB/km    |     |     |
|   | Máximo a 1625 nm          | 0,4 dB/km    |     |     |
| Coefficiente de PMD<br>(Nota 3)   |                           | TBD          |     |     |
| <p>NOTA 1 – La pérdida por macroflexión puede evaluarse utilizando un método de enrollamiento en un eje de torno (Método A de [CEI 60793-1-47]), sustituyendo el radio de flexión y el número de vueltas especificados en este cuadro.</p> <p>NOTA 2 – Los coeficientes de dispersión cromática no son esenciales puesto que las fibras de clase B soportan una parte de la instalación de la red de acceso optimizada con unos radios de flexión muy pequeños. Puede considerarse que las longitudes de onda mínima y máxima de dispersión cero son <math>\lambda_{0\text{mín}} = 1300 \text{ nm}</math> y <math>\lambda_{0\text{máx}} = 1420 \text{ nm}</math> respectivamente, y que la pendiente de dispersión máxima <math>S_{0\text{máx}} = 0,10 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}</math>.</p> <p>NOTA 3 – Los coeficientes PMD no son indispensables puesto que las fibras de clase B soportan una parte de la instalación de la red de acceso optimizada con unos radios de flexión muy pequeños.</p> |                           |              |     |     |

En la figura 7-1 se han representado los valores recomendados para ilustrar las diferentes especificaciones de macroflexión de las diversas clases definidas en esta cláusula.



**Figura 7-1 – Datos sobre pérdida por macroflexión de los cuadros 7-1 y 7-2, clases A y B**

## Apéndice I

### Esperanza de vida en caso de almacenamiento de fibras monomodo a radios reducidos

(Este apéndice no es parte integrante de esta Recomendación)

#### I.1 Introducción

El almacenamiento de fibras a radios reducidos en compartimientos y sistemas de gestión de fibras podría dar lugar a inquietudes respecto de la esperanza de vida de la fibra. Los parámetros más importantes que determinan la vida útil prevista son el nivel de tensión de prueba al elaborar la fibra y la resistencia intrínseca de la fibra. Los valores de estos parámetros deben compensarse con la tasa de averías aceptada de la red. Al evaluar los resultados, la principal pregunta que cabe formularse es si las fibras monomodo especificadas en esta Recomendación cumplen con los requisitos necesarios para una esperanza de vida suficientemente larga. En el presente apéndice se proporciona mayor información al respecto.

#### I.2 Red y averías de la red

Para los cálculos de la vida útil se considera que una red sencilla consta de un cable de distribución de 1000 fibras con la estructura arborescente que se indica en la figura I.1. En función de los procedimientos de conexión del cliente y de la instalación, las diferentes fibras o grupos de fibras se almacenan en casetes en el cable de distribución principal o en las ramas. En aras de la simplicidad y para tener en cuenta el caso más desfavorable, se supone que las 1000 fibras pasan por 5 cabinas o compartimientos con un casete de almacenamiento en cada uno de los enlaces de la fibra y en cada cabina o compartimiento.

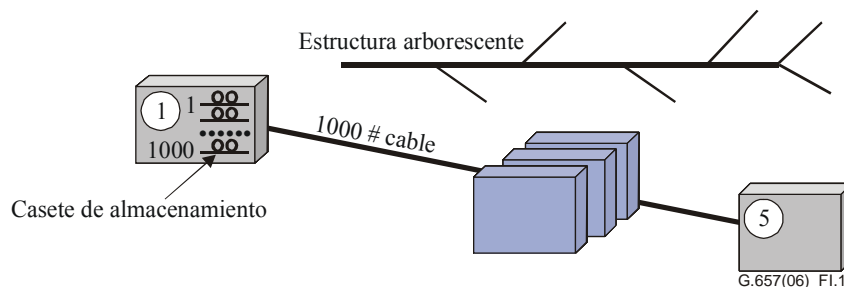


Figura I.1 – Estructura de red simplificada

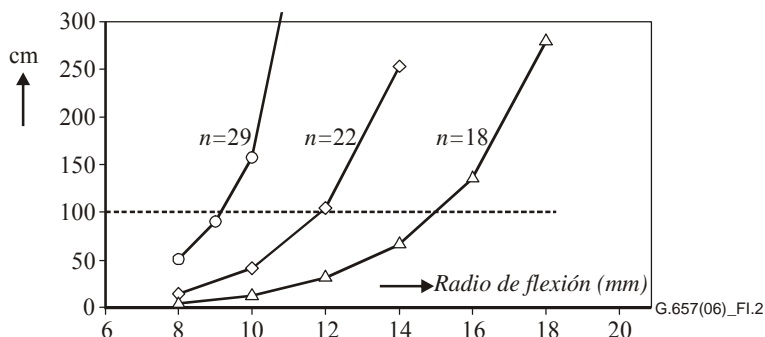
Conforme a esta estructura de red en particular, una tasa de averías *por cada casete de fibra individual de 0,001% en 20 años*, da lugar a una probabilidad del 5% de que en 20 años tenga lugar una avería espontánea en la totalidad de la red. Esta probabilidad debe compararse con la probabilidad de otros fallos que podrían registrarse en la red de distribución durante los 20 años de vida útil. Estos fallos obedecen a trabajos de mantenimiento o reconfiguración del enlace, o bien a otras causas relacionadas con daños en el cable o en la cabina. En el caso de la mayor parte de las redes de acceso cabe suponer que la probabilidad de avería debido a una ruptura espontánea de la fibra es mucho más baja que la probabilidad de averías debida a otras causas. Cada operador debe determinar la tasa de averías aceptada sobre la base de datos más precisos sobre las estadísticas de tasas de fallo de la planta exterior.

#### I.3 Consideraciones relativas a la vida útil de la fibra

Además del entorno y de la resistencia intrínseca de la fibra, los principales parámetros que determinan la tasa de averías por casete son la *longitud* de la fibra almacenada y el *radio de*



*flexión R* del almacenamiento. La menor longitud de almacenamiento tendrá una influencia positiva, mientras que un radio de flexión reducido ejercerá una influencia negativa. En la figura I.2 se indica la longitud de almacenamiento máxima para una vida útil de 20 años en función del radio de flexión de la fibra para diferentes valores del coeficiente *n* de susceptibilidad ante la corrosión por tensión estática (parámetro de fatiga), tras aplicar el modelo de vida útil consignado en [b-CEI/TR 62048] con los detalles más pormenorizados de [b-OFT].



**Figura I.2 – Máxima longitud de almacenamiento para una fibra bajo tensión y diferentes valores del parámetro de fatiga *n***

Cabe señalar que el valor de  $n = 18$  es el valor mínimo estipulado en [b-CEI 60793-2-50] y en el requisito genérico de Telcordia GR-20-CORE. Para una longitud de almacenamiento por casete de 100 cm, es decir,  $2 \times 50$  cm para una sola fibra, el radio de flexión puede disminuirse del valor actual de 30 mm hasta 15 o incluso 9 mm, dependiendo del valor *n* garantizado sin violar la tasa de averías del 0,001% por casete en 20 años.

El almacenamiento plantea otra cuestión en los puertos de entrada y salida del sistema de gestión de fibras. El pequeño volumen requerido para los componentes de la red óptica de acceso no sólo depende de la zona de almacenamiento, sino también del radio de flexión mínimo de los puertos de entrada y salida. El efecto de esto se puede tener en cuenta de diversas maneras. A los efectos de éste apéndice, se supone que en cada casete de almacenamiento se necesitan **cuatro** flexiones adicionales de  $90^\circ$  para orientar las fibras dentro y fuera de las zonas de almacenamiento. Asimismo, se supone que la tasa de averías adicional debida a estas flexiones adicionales debería limitarse a menos del 10% de la tasa de averías aceptada del 0,001% por casete. Esto tiene como resultado los valores mínimos que se indican en la columna del medio del cuadro I.1.

**Cuadro I.1 – Valor mínimo de radios de flexión sin almacenamiento**

| Valor <i>n</i> | Cuatro tensiones de $90^\circ$ | Una sola tensión de $180^\circ$ |
|----------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 18             | $R_{\min} = 15,0$ mm           | $R_{\min} = 12,6$ mm            |
| 22             | $R_{\min} = 11,1$ mm           | $R_{\min} = 9,2$ mm             |
| 29             | $R_{\min} = 8,0$ mm            | $R_{\min} = 6,6$ mm             |

En la columna de la derecha se indica el radio mínimo en el caso de una sola flexión errónea de  $180^\circ$ . En esta situación se supone también que la tasa máxima de averías *adicional* por casete individual es de  $0,1 \times 0,001\%$ . Todas las cifras corresponden a un solo sistema de gestión de fibras y a tres valores diferentes del parámetro de fatiga *n*.

#### **I.4 Conclusiones**

Los ejemplos proporcionados en la cláusula I.3 anterior muestran que se necesitan unos conocimientos muy detallados del despliegue real de las fibras en una red de distribución real para poder efectuar una predicción fiable. Pero incluso con las suposiciones bastante severas utilizadas en esos ejemplos, éstos muestran también que para la reducción del radio de almacenamiento de la fibra a una gama muy inferior a los 30 mm aplicados actualmente, las características de las fibras monomodo especificadas en [UIT-T G.652] bastan para una vida útil de 20 años.

## Bibliografía

- [b-UIT-T ANT] Panorama general de las normas sobre redes de acceso, número 14, junio de 2007, <http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/Com15/ant/>
- [b-UIT-T G.671] Recomendación UIT-T G.671 (2005), *Características de transmisión de los componentes y subsistemas ópticos*.
- [b-UIT-T G-Sup.39] Recomendaciones UIT-T de la serie G – Suplemento 39 (2006), *Consideraciones sobre diseño e ingeniería de sistemas ópticos*.
- [b-UIT-T L.13] Recomendación UIT-T L.13 (2003), *Requisitos de calidad para los nodos ópticos pasivos: caja de cierre hermético para entornos exteriores*.
- [b-UIT-T L.42] Recomendación UIT-T L.42 (2003), *Soluciones de fibra óptica ampliadas en la red de acceso*.
- [b-UIT-T L.65] Recomendación UIT-T L.65 (2006), *Distribución de las redes de acceso de fibra óptica*.
- [b-UIT-T L.66] Recomendación UIT-T L.66 (2007), *Criterios para el mantenimiento de los cables de fibra óptica para pruebas en servicio de las fibras en redes de acceso*.
- [b-CEI 60793-2-50] CEI 60793-2-50 (2004), *Optical fibres – Part 2-50: Product specifications – Sectional specification for class B single-mode fibres*.
- [b-CEI/TR 62048] CEI 62048 (2002), *Optical fibres – Reliability – Power law theory*.
- [b-OFT] Matching Optical Fibre Lifetime and Bend-loss Limits for Optimized Local Loop Fibre Storage, *Optical Fibre Technology*, Vol. 11, pp. 92-99, 2005.





## SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

|                |   |
|----------------|---|
| Serie A        | Organización del trabajo del UIT-T  |
| 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 multimedia   |
| Serie I        | Red digital de servicios integrados   |
| Serie J        | Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedia         |
| Serie K        | Protección contra las interferencias  |
| Serie L        | Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior                   |
| Serie M        | Gestión de las telecomunicaciones, incluida la RGT y el mantenimiento de redes                              |
| 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, comunicaciones de sistemas abiertos y seguridad   |
| Serie Y        | Infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo Internet y Redes de la próxima generación |
| Serie Z        | Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación                          |