

Reemplazada por una versión más reciente



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.651

(03/93)

**CARACTERÍSTICAS DE
LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN**

**CARACTERÍSTICAS DE UN CABLE
DE FIBRA ÓPTICA MULTIMODO
DE ÍNDICE GRADUAL DE 50/125 μm**

Recomendación UIT-T G.651
Reemplazada por una versión más reciente

(Anteriormente «Recomendación del CCITT»)

Reemplazada por una versión más reciente

PREFACIO

El Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-T) es un órgano permanente de la Unión Internacional de Telecomunicaciones. El UIT-T tiene a su cargo el estudio de las cuestiones técnicas, de explotación y de tarificación y la formulación de Recomendaciones al respecto con objeto de normalizar las telecomunicaciones sobre una base mundial.

La Conferencia Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (CMNT), que se reúne cada cuatro años, establece los temas que habrán de abordar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que preparan luego Recomendaciones sobre esos temas.

La Recomendación UIT-T G.651, revisada por la Comisión de Estudio XV (1988-1993) del UIT-T, fue aprobada por la CMNT (Helsinki, 1-12 de marzo de 1993).

NOTAS

1 Como consecuencia del proceso de reforma de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), el CCITT dejó de existir el 28 de febrero de 1993. En su lugar se creó el 1 de marzo de 1993 el Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-T). Igualmente en este proceso de reforma, la IFRB y el CCIR han sido sustituidos por el Sector de Radiocomunicaciones.

Para no retrasar la publicación de la presente Recomendación, no se han modificado en el texto las referencias que contienen los acrónimos «CCITT», «CCIR» o «IFRB» o el nombre de sus órganos correspondientes, como la Asamblea Plenaria, la Secretaría, etc. Las ediciones futuras en la presente Recomendación contendrán la terminología adecuada en relación con la nueva estructura de la UIT.

2 Por razones de concisión, el término «Administración» se utiliza en la presente Recomendación para designar a una administración de telecomunicaciones y a una empresa de explotación reconocida.

© UIT 1994

Reservados todos los derechos. No podrá reproducirse o utilizarse la presente Recomendación ni parte de la misma de cualquier forma ni por cualquier procedimiento, electrónico o mecánico, comprendidas la fotocopia y la grabación en micropelícula, sin autorización escrita de la UIT.

Reemplazada por una versión más reciente

ÍNDICE

Página

1	Características de la fibra	1
1.1	Características geométricas de la fibra.....	1
1.2	Propiedades ópticas de la fibra	2
1.3	Propiedades de los materiales de la fibra.....	2
2	Especificaciones de los largos de fabricación	2
2.1	Coeficiente de atenuación.....	3
2.2	Respuesta en banda de base.....	3
3	Secciones elementales de cable.....	4
3.1	Atenuación.....	4
3.2	Respuesta en banda base (anchura de banda óptica global a -3 dB)	5
Anexo A	– Significado de los términos utilizados en la Recomendación	6
Anexo B	– Métodos de prueba	9
Sección I	– Método de prueba de referencia y métodos de prueba alternativos para la medición de parámetros geométricos y ópticos.....	9
B.1	Introducción.....	9
B.2	Métodos de prueba de referencia para parámetros geométricos y método de prueba alternativo para la apertura numérica: técnica del campo próximo refractado	10
B.3	Método de prueba alternativo para parámetros geométricos: técnica de campo próximo transmitido.....	14
B.4	Método de prueba de referencia para la apertura numérica: distribución luminosa en el campo lejano	17
Apéndice I	– Posiciones de los centros del núcleo y del revestimiento	19
I.B.1	Centro y diámetro del núcleo.....	19
I.B.2	Centro y diámetro del revestimiento.....	19
Sección II	– Método de prueba de referencia y métodos de prueba alternativos para las mediciones de atenuación.....	20
B.1	Introducción.....	20
B.2	Método de prueba de referencia: la técnica de fibra cortada	21
B.3	Primer método de medición alternativo: técnica de la pérdida de inserción.....	24
B.4	Segundo método de medición alternativo: técnica del retroesparcimiento.....	26
Sección III	– Método de prueba de referencia para mediciones de la respuesta de banda de base	28
B.1	Objetivos.....	28
B.2	Método de prueba de referencia.....	29

Reemplazada por una versión más reciente

Recomendación G.651

CARACTERÍSTICAS DE UN CABLE DE FIBRA ÓPTICA MULTIMODO DE ÍNDICE GRADUAL DE 50/125 μm

(Málaga-Torremolinos, 1984; modificada en Melbourne, 1988 y Helsinki, 1993)

El CCITT,

considerando que

- (a) los cables de fibra óptica multimodo de índice gradual están instalados en las redes de telecomunicaciones;
- (b) las aplicaciones existentes tienen fibras multimodo que difieren en:
 - la naturaleza de su material,
 - las características geométricas,
 - la región (o regiones) de longitud de onda de trabajo,
 - las características de transmisión y ópticas,
 - los aspectos mecánicos y ambientales,

recomienda

una fibra multimodo de índice gradual que puede ser utilizada en la región de 850 nm, o en la región de 1300 nm, o bien en ambas regiones de longitudes de onda simultáneamente.

Esta fibra puede utilizarse para transmisión analógica y digital.

Sus características geométricas, ópticas, de transmisión y mecánicas se describen más adelante.

El significado de los términos utilizados en esta Recomendación se expone en el Anexo A y las directrices que han de seguirse en las mediciones para verificar las diversas características se indican en el Anexo B.

1 Características de la fibra

En esta cláusula se tratan aquellas características que aseguran la interconexión de las fibras con pérdidas bajas y aceptables.

En este punto sólo se recomiendan características intrínsecas de la fibra (que no dependen de la fabricación del cable). Estas serán igualmente aplicables a fibras individuales, fibras incorporadas en un cable enrollado en una bobina, y a fibras en cable instalado.

1.1 Características geométricas de la fibra

1.1.1 Diámetro del núcleo

El valor nominal recomendado del diámetro del núcleo es 50 μm .

La desviación del diámetro del núcleo no debe exceder los límites de $\pm 3 \mu\text{m}$.

1.1.2 Diámetro del revestimiento

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

La desviación del diámetro del revestimiento no debe exceder de $\pm 3 \mu\text{m}$.

1.1.3 Error de concentricidad

Se recomienda que el error de concentricidad sea inferior al 6%.

Reemplazada por una versión más reciente

1.1.4 No circularidad

1.1.4.1 No circularidad del núcleo

Se recomienda que la no circularidad del núcleo sea inferior al 6%.

1.1.4.2 No circularidad del revestimiento

Se recomienda que la no circularidad del revestimiento sea inferior al 2%.

1.2 Propiedades ópticas de la fibra

1.2.1 Perfil del índice de refracción

Se espera que los perfiles del índice de refracción de las fibras a las que se refiere esta Recomendación sean casi parabólicos.

1.2.2 Apertura numérica

El valor óptimo de la apertura numérica (*numerical aperture*, NA) dependerá de la aplicación particular para la cual ha de utilizarse la fibra y en particular de la eficacia requerida del acoplamiento de la fuente, de la mayor atenuación debida a los efectos de la microflexión que pueden tolerarse y de la respuesta global requerida en banda de base.

Los valores empleados corrientemente en la práctica se encuentran en la gama de 0,18 a 0,24.

Cualquiera que sea el valor real que se emplee, éste no deberá diferir del valor nominal elegido en más de 0,02.

1.3 Propiedades de los materiales de la fibra

1.3.1 Materiales de la fibra

Deben indicarse las sustancias utilizadas en la fabricación de la fibra.

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.

1.3.2 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.

1.3.3 Nivel de prueba mecánica de recepción

La tensión de prueba σ_p será por lo menos de 0,35 GPa (lo que corresponde aproximadamente a una deformación de prueba de $\epsilon_p \sim 0,5\%$).

El tiempo de aplicación de la tensión t_d será de 1 s. Puede elegirse, de manera alternativa, un tiempo de aplicación de la tensión más breve, en cuyo caso la tensión de prueba σ_a habrá de ser mayor, según la siguiente relación:

$$\sigma_a = \sigma_p \left[\frac{t_d}{t_a} \right]^{\frac{1}{n_d}}$$

n_d es el parámetro de fatiga mecánica.

NOTA – Las definiciones de los parámetros mecánicos figuran en 1.2/G.650. El método de prueba figura en 2.6/G.650.

2 Especificaciones de los largos de fabricación

Como las características geométricas y ópticas de las fibras son apenas afectadas por el proceso de cableado, lo recomendado en esta cláusula se refiere principalmente a las características de transmisión de los largos de fabricación cableados.

Reemplazada por una versión más reciente

Las características de transmisión dependen en gran medida de la longitud de onda utilizada para transportar la información.

Las condiciones ambientales y de prueba son capitales y se describen en las directrices sobre métodos de pruebas.

La distribución de probabilidad estadística de las características de transmisión de las fibras dependerá del diseño y de los procedimientos de fabricación. En consecuencia, al especificar los límites de las características de transmisión se deberá tener en cuenta dicha distribución. Por ejemplo, en el caso de ciertas aplicaciones, puede suceder que un límite particular no abarque el 100% de la producción y que, de hecho, represente tan solo una pequeña parte de la producción total. El aspecto económico desempeñará un papel importante en la especificación de los límites para las aplicaciones particulares.

2.1 Coeficiente de atenuación

Los cables de la fibra óptica tratados en esta Recomendación tienen generalmente coeficientes de atenuación inferiores a 4 dB/km en la región de longitudes de onda de 850 nm y a 2 dB/km en la de 1300 nm.

NOTAS

1 Los valores más bajos de coeficiente de atenuación dependen del proceso de fabricación de la composición de la fibra y del diseño de la fibra y el cable. Se han obtenido valores comprendidos entre 2 y 2,5 dB/km en la región de 850 nm y entre 0,5 y 0,8 dB/km en la de 1300 nm.

2 En ciertos casos, las fibras podrían utilizarse en ambas regiones de longitudes de onda.

2.2 Respuesta en banda de base

La respuesta en banda de base comprende los efectos de distorsión modal y de dispersión cromática. Para algunas aplicaciones, los efectos de dispersión cromática son insignificantes y pueden pasarse por alto.

La respuesta en banda de base se presenta en el dominio de la frecuencia. Las Administraciones que deseen utilizar el dominio del tiempo podrán hacerlo mediante operaciones matemáticas. Para este propósito se debe disponer de la respuesta en amplitud y en fase.

Por convenio, la respuesta en banda de base está referida linealmente a 1 km.

2.2.1 Respuesta en amplitud en la anchura de banda de distorsión modal

La respuesta en amplitud en la anchura de banda de distorsión modal se especifica en la forma de valor de anchura de banda entre los puntos ópticos a -3 dB (eléctricos a -6 dB) de la característica de amplitud total en función de la frecuencia corregida a efectos de la dispersión cromática. También se debiera presentar una curva más completa de la respuesta en la anchura de banda total.

Los cables de fibra óptica tratados en esta Recomendación generalmente tienen anchuras de banda de distorsión modal normalizadas superiores a 200 MHz · km en las regiones de 850 nm y de 1300 nm, aunque no necesariamente al mismo tiempo.

NOTAS

1 Los valores superiores de la anchura de banda de distorsión modal normalizada dependen del proceso de fabricación, de la composición de la fibra y del diseño de la fibra y el cable; se han obtenido valores superiores a 1000 MHz · km en la región de 850 nm y de 2000 MHz · km en la región de 1300 nm.

2 En ciertos casos, las fibras podrían utilizarse en ambas regiones de longitudes de onda.

2.2.2 Anchura de banda de distorsión modal: respuesta de fase

No se recomienda ningún valor, pues la información de la respuesta de fase sólo se requiere en casos especiales.

2.2.3 Dispersión cromática

Cuando se le solicite, el fabricante de las fibras ópticas deberá indicar los valores de coeficiente de dispersión cromática total del tipo de fibra en la región (o regiones) de longitudes de onda de trabajo. El método de prueba figura en 2.5/G.650.

Reemplazada por una versión más reciente

NOTAS

- 1 En el caso de fibras multimodo, el mecanismo de dispersión cromática predominante es la dispersión debida al material.
- 2 Valores típicos del coeficiente de dispersión cromática en fibras ópticas de sílice de gran pureza son los siguientes:

Longitud de onda (nm)	Coficiente de dispersión cromática [ps/(nm · km)]
850	≤ 120
1300	≤ 6

3 Secciones elementales de cable

Según se define en la Recomendación G.601 (término 1008), una sección elemental de cable incluye un cierto número de largos de fabricación empalmados. En 2 se indican los requisitos aplicables a los largos de fabricación. Los parámetros de transmisión en secciones elementales de cable deben tener en cuenta no sólo la calidad de los distintos largos de cable sino también, entre otras cosas, factores tales como los empalmes, los conectores (si los hay) y los efectos de acoplamiento de modos que pueden afectar a la anchura de banda y a la atenuación.

Además, tanto las características de transmisión de las fibras en largos de fabricación, como los empalmes, los conectores, etc., tendrán una cierta distribución de probabilidad que, con frecuencia, debe ser tenida en cuenta si se desea obtener los diseños más económicos. Las siguientes subcláusulas de esta sección deben ser leídas teniendo presente la naturaleza estadística de los diversos parámetros.

3.1 Atenuación

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

$$A = \sum_{n=1}^m \alpha_n \cdot L_n + a_s \cdot x + a_c \cdot y$$

donde

α_n es el coeficiente de atenuación de la n -ésima fibra en la sección elemental de cable,

L_n es la longitud de la n -ésima fibra,

m es el número total de fibras concatenadas en la sección elemental de cable,

a_s es la pérdida media por empalme,

x es el número de empalmes en la sección elemental de cable,

a_c es la pérdida media de los conectores de línea,

y es el número de conectores de línea en la sección elemental de cable (en su caso).

NOTAS

- 1 Las pérdidas a_s y a_c de los empalmes y conectores de línea se definen por lo general en condiciones de equilibrio de distribución modal. En la explotación real pueden producirse diferencias apreciables.
- 2 La fórmula anterior no incluye la pérdida de los conectores de equipos.
- 3 En el diseño global de un sistema debe preverse un margen para el cable en previsión de futuras modificaciones de la configuración de éste (empalmes adicionales, largos de cable suplementarios, efectos de envejecimiento, variaciones debidas a la temperatura, etc.).
- 4 Se toma la pérdida media para la pérdida de empalmes y conectores. El presupuesto de atenuación utilizado en el diseño de un sistema real debe tener en cuenta las variaciones estadísticas de estos parámetros.

Reemplazada por una versión más reciente

3.2 Respuesta en banda base (anchura de banda óptica global a -3 dB)

La respuesta en banda base se da en el dominio de la frecuencia e incluye los efectos de la distorsión modal y de la dispersión cromática, y se puede representar mediante la siguiente expresión:

$$B_T = \left[B_{\text{modal}}^{-2} + B_{\text{cromática}}^{-2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

donde

B_T es la anchura de banda global (incluida la distorsión modal y la dispersión cromática),

B_{modal} es la anchura de banda de distorsión modal,

$B_{\text{cromática}}$ es la anchura de banda cromática (véase la Nota 3).

NOTAS

1 Se supone que la respuesta en banda base de distorsión modal de la fibra y el espectro de la fuente tienen una distribución gaussiana.

2 Para algunas aplicaciones, el efecto de la dispersión cromática es insignificante, en cuyo caso ésta puede despreciarse.

3 La anchura de banda cromática total, $B_{\text{cromática}}$, es inversamente proporcional al largo de la sección y, suponiendo que el espectro de la fuente es gaussiano, se puede expresar así:

$$B_{\text{cromática}} \text{ (MHz)} = (\Delta\lambda \cdot D(\lambda) \cdot 10^{-6} \cdot L / 0,44)^{-1}$$

donde

$\Delta\lambda$ es la anchura espectral de radiación entre puntos al 50% de amplitud (nm),

$D(\lambda)$ es el coeficiente de dispersión cromática [ps/(nm · km)],

L es el largo de sección (km).

3.2.1 Anchura de banda de distorsión modal

Los valores de la anchura de banda de distorsión modal en una sección elemental de cable se obtienen de la correspondiente especificación de la fibra. No obstante, es posible que la anchura de banda de distorsión modal de la sección elemental de cable no sea una adición lineal de las respuestas individuales, debido al acoplamiento de modos y a otros efectos que se producen en los empalmes y, algunas veces, a lo largo de la fibra.

La anchura de banda de distorsión modal para una sección elemental de cable viene dada por:

$$B_{\text{modal total}} = \left\{ \sum_1^x B_{\text{modal } n}^{\frac{-1}{\gamma}} \right\}^{-\gamma}$$

donde

$B_{\text{modal total}}$ es la anchura de banda de distorsión modal total de una sección elemental de cable,

$B_{\text{modal } n}$ es la anchura de banda de distorsión modal, en MHz, de la n -ésima fibra de una sección elemental de cable,

x es el número total de fibras concatenadas en una sección elemental de cable,

γ es el factor de concatenación de anchura de banda de distorsión modal.

NOTA – El valor de γ , factor de concatenación de anchura de banda de distorsión modal, está generalmente comprendido entre 0,5 y 1,0 dependiendo su valor preciso de los efectos del acoplamiento de modos en los empalmes, la compensación de perfil alfa, la longitud de onda de anchura de banda máxima, etc. En determinadas circunstancias pueden obtenerse también valores menores. Para una fibra dada, el valor apropiado de γ que ha de aplicarse puede hallarse empíricamente y, normalmente, puede obtenerse del fabricante del cable o de las fibras.

Reemplazada por una versión más reciente

Anexo A

Significado de los términos utilizados en la Recomendación

(Este anexo es parte integrante de la presente Recomendación)

A.1 método de prueba alternativo (ATM, *alternative test method*): Método en el que se mide una característica recomendada de una clase específica de fibra óptica o de cable de fibra óptica de una manera acorde con la definición de esta característica y da resultados reproducibles que pueden relacionarse con los del método de prueba de referencia y con el uso práctico.

A.2 coeficiente de atenuación: En una fibra óptica, atenuación por unidad de longitud.

NOTA – La atenuación es la tasa de decrecimiento de la potencia óptica media con respecto a la distancia a lo largo de la fibra y viene definida por la ecuación:

$$P(z) = P(0) 10^{-(\alpha z/10)}$$

donde

$P(z)$ es la potencia a la distancia z a lo largo de la fibra,

$P(0)$ es la potencia en $z = 0$,

α es el coeficiente de atenuación en dB/km si z viene en km.

A partir de esta ecuación se obtiene el coeficiente de atenuación:

$$\alpha = - \frac{10 \log_{10} [P(z) / P(0)]}{z}$$

Esto presupone que α es independiente de z .

A.3 anchura de banda (de una fibra óptica): Valor numéricamente igual a la menor de las frecuencias para las que la magnitud de la función de transferencia de banda base de una fibra óptica decrece hasta una fracción especificada, generalmente -3 dB entre puntos ópticos (-6 dB entre puntos eléctricos), del valor para la frecuencia cero.

NOTA – La anchura de banda está limitada por varios mecanismos: en el caso de las fibras multimodo los principales son la distorsión modal y la dispersión cromática.

A.4 dispersión cromática: Diseminación de un impulso luminoso por unidad de anchura de espectro de la fuente causada en una fibra óptica por las diferentes velocidades de grupo de las diferentes longitudes de onda que componen el espectro de la fuente.

NOTA – La dispersión cromática puede deberse a una o más de las siguientes contribuciones: dispersión debida al material, dispersión debida al guiondas, dispersión debida al perfil de índice. La dispersión por polarización no produce efectos apreciables en las fibras circularmente simétricas.

A.5 coeficiente de dispersión cromática: Dispersión cromática por unidad de anchura espectral de la fuente y unidad de longitud de la fibra. Suele expresarse en ps/(nm · km).

A.6 revestimiento: Región más exterior del índice de refracción constante en la sección transversal de la fibra.

A.7 supresor de modos de revestimiento: Dispositivo o material que favorece la conversión de los modos de revestimiento en modos de radiación.

A.8 núcleo: La región central de una fibra óptica, a través de la cual se transmite la mayor parte de la potencia óptica.

A.9 superficie del núcleo: En una sección transversal de una fibra óptica, superficie en la cual el índice de refracción, en todas partes (salvo alguna eventual depresión del índice) es mayor que el índice de refracción de la región homogénea más interna del revestimiento en una fracción determinada de la diferencia entre el índice de refracción máximo del núcleo y el índice de refracción de la región homogénea más interna del revestimiento.

Reemplazada por una versión más reciente

NOTAS

1 La superficie del núcleo es la superficie de la menor sección transversal de una fibra, excluida toda depresión en el índice, comprendida en el lugar geométrico de los puntos en que el índice de refracción n_3 viene dado por:

$$n_3 = n_2 + k(n_1 - n_2) \text{ (véase la Figura A.1)}$$

donde:

n_1 es el máximo índice de refracción del núcleo de la fibra,

n_2 es el índice de refracción de la región homogénea más interna del revestimiento de la fibra,

k es una constante.

2 A menos que se especifique otra cosa, se supone un valor de k de 0,05.

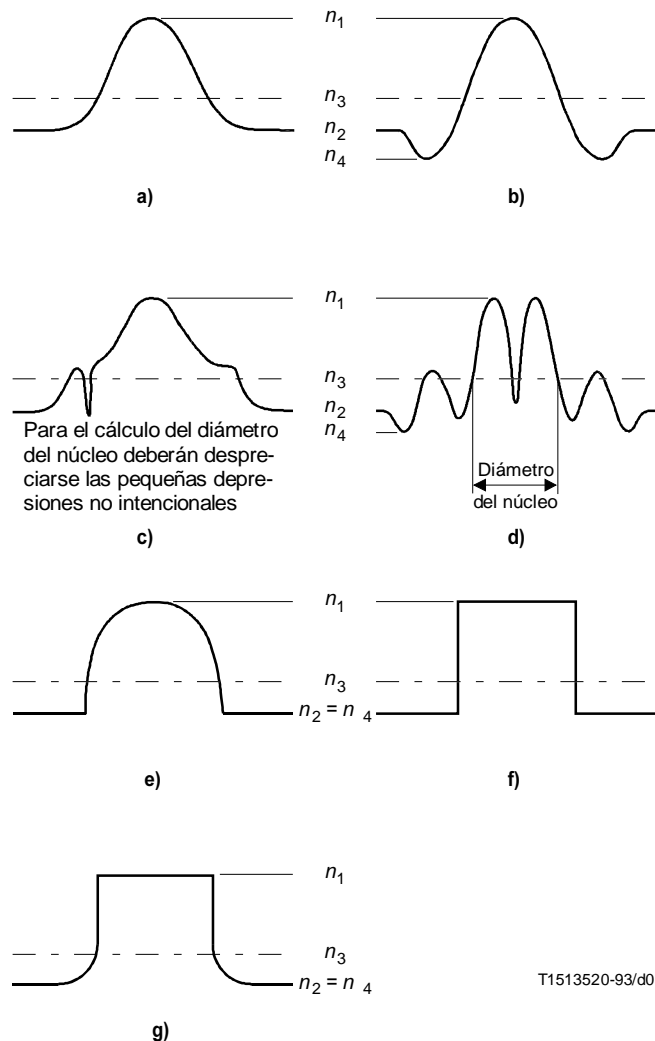


FIGURA A.1/G.651

Algunos perfiles del índice de refracción

A.10 centro del núcleo (del revestimiento): En una sección transversal de una fibra óptica, es el centro del círculo que se ajusta mejor al límite exterior de la superficie del núcleo (o revestimiento).

NOTAS

1 Estos centros pueden no coincidir.

2 Debe especificarse el método de mejor ajuste.

Reemplazada por una versión más reciente

A.11 diámetro del núcleo (o del revestimiento): Diámetro del círculo que define el centro del núcleo (o del revestimiento).

A.12 desviación del diámetro del núcleo (o del revestimiento): Diferencia entre los valores real y nominal del diámetro del núcleo (o del revestimiento).

A.13 error de concentricidad del núcleo/revestimiento: Distancia entre el centro del núcleo y el centro del revestimiento dividida por el diámetro del núcleo.

A.14 campo de tolerancia del núcleo (o del revestimiento): En una sección transversal de una fibra óptica, región entre el círculo que circunscribe la superficie del núcleo (o del revestimiento) y el mayor de los círculos concéntricos con el primero, que se ajustan a la superficie del núcleo (o del revestimiento). Ambos círculos tendrán el mismo centro que el núcleo (o el revestimiento).

A.15 plantilla de campo próximo de cuatro círculos concéntricos: Plantilla constituida por cuatro círculos concéntricos que se aplica al diagrama de radiación de campo próximo de la fibra.

NOTA – La plantilla se utiliza normalmente como comprobación global de la aceptabilidad de los diversos parámetros geométricos de la fibra en un proceso simple.

A.16 plantilla de índice de refracción de cuatro círculos concéntricos: Plantilla constituida por cuatro círculos concéntricos que se aplica al perfil del índice de refracción completo de la fibra.

NOTA – La plantilla se utiliza normalmente como comprobación global de la aceptabilidad de los diversos parámetros geométricos de la fibra en un proceso simple.

A.17 máxima apertura numérica teórica: Valor teórico de la apertura numérica calculado a partir de los valores del índice de refracción del núcleo y del revestimiento, y dado por la fórmula:

$$NA_{t\text{ máx}} = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$$

donde

n_1 es el índice máximo de refracción del núcleo,

n_2 es el índice de refracción de la región homogénea más interna del revestimiento.

NOTA – La relación entre NA (véase A.21) y $NA_{t\text{ máx}}$ se da en la Sección I/B.2.2.

A.18 filtro de modos: Dispositivo diseñado para aceptar o rechazar uno o varios modos determinados.

A.19 mezclador de modos: Dispositivo para inducir la transferencia de energía entre modos en una fibra óptica, mezclando efectivamente los modos.

NOTA – Se utiliza frecuentemente para conseguir una distribución de modos que sea independiente de las características de la fuente.

A.20 no circularidad del núcleo (superficie del revestimiento): Diferencia entre los diámetros de los dos círculos definidos por el campo de tolerancia del núcleo (superficie del revestimiento) dividida por el diámetro del núcleo (superficie del revestimiento).

A.21 apertura numérica: La apertura numérica (NA) es el seno del ángulo mitad del vértice del cono de rayos más grande que puede entrar o salir del núcleo de una fibra óptica, multiplicado por el índice de refracción del medio en que se encuentra el vértice del cono.

A.22 superficie de referencia: Superficie cilíndrica de una fibra óptica a la que se hace referencia al efectuar las uniones.

NOTA – La superficie de referencia suele ser el revestimiento o la superficie del recubrimiento primario. Sólo en circunstancias poco frecuentes podría ser la superficie del núcleo.

A.23 método de prueba de referencia (RTM, *reference test method*): Método de prueba en el que se mide una característica recomendada de una clase específica de fibra óptica o de cable de fibra óptica estrictamente de acuerdo con la definición de esta característica, y que da resultados exactos, reproducibles y relacionables con el uso práctico.

A.24 perfil del índice (de refracción): Distribución del índice de refracción a lo largo de un diámetro de una fibra óptica.

Reemplazada por una versión más reciente

Anexo B

Métodos de prueba

(Este anexo es parte integrante de la presente Recomendación)

Por regla general, se indican en este anexo el método de prueba de referencia y los métodos de prueba alternativos para cada parámetro y se prevé que tanto el RTM como los ATM sean adecuados para fines normales de aceptación de productos. Sin embargo, al emplear un ATM puede haber alguna discrepancia, por lo que se recomienda que se emplee el RTM como técnica destinada a proporcionar resultados de medición definitivos.

Sección I Método de prueba de referencia y métodos de prueba alternativos para la medición de parámetros geométricos y ópticos

B.1 Introducción

B.1.1 Consideraciones generales

Se supone que los parámetros geométricos y ópticos que son objeto de esta Recomendación, se medirán solamente en fábrica o en los laboratorios de ciertas Administraciones que deseen verificarlos con miras al diseño de sistemas o para otros fines. Por tanto, se ha previsto que las mediciones se efectuarán ya sea en muestras constituidas por largos de fibra o en muestras tomadas de largos de fabricación de cables.

El diámetro y la no circularidad del núcleo se definen utilizando como base el perfil del índice de refracción. Los parámetros restantes pueden derivarse a partir del perfil del índice de refracción. En consecuencia, todos los parámetros geométricos y ópticos que son objeto de esta Recomendación y sus tolerancias en su caso, podrían obtenerse mediante una sola prueba básica.

B.1.1.1 Campo de tolerancia de cuatro círculos

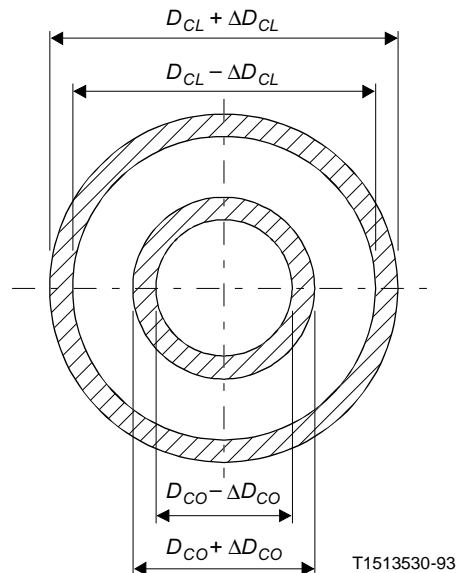
Un modo sencillo de verificar los parámetros geométricos de la fibra es el método del «campo de tolerancia de cuatro círculos», que no es un requisito adicional impuesto a las características geométricas de la fibra sino otra comprobación global de las mismas. Si aparece cualquier discrepancia entre los resultados de este método y los de la comprobación de las diferentes características individuales, la referencia será esta última.

El método del «campo de tolerancia de cuatro círculos» se basa en la plantilla representada en la Figura B.1, donde los diámetros de los dos círculos concéntricos correspondientes al núcleo (cuyo diámetro es D_{co}) son respectivamente $D_{co} - 4 \mu\text{m}$ y $D_{co} + 4 \mu\text{m}$ y los diámetros de los dos círculos concéntricos correspondientes al revestimiento (cuyo diámetro es D_{CL}) son respectivamente $D_{CL} - 5 \mu\text{m}$ y $D_{CL} + 5 \mu\text{m}$. Este método puede aplicarse a los datos obtenidos por el método de prueba de referencia (plantilla del índice de refracción de cuatro círculos concéntricos) o por el método de prueba alternativo (plantilla del campo próximo de cuatro círculos concéntricos).

B.1.1.2 Factor de calidad intrínseca

La apertura numérica teórica máxima, el diámetro del núcleo, el error de concentricidad y la no circularidad del núcleo se desvían simultáneamente con respecto a sus valores nominales en formas tales que pueden sumarse o compensarse unas con otras. Para tener debidamente en cuenta estos efectos se ha calculado una pérdida teórica por empalme utilizando los valores de estos parámetros geométricos y ópticos medidos por métodos de prueba existentes. Puede suponerse una distribución gaussiana o en régimen permanente de la potencia en función del ángulo. El factor de calidad intrínseca (*intrinsic quality factor*, IQF) puede calcularse como la media de las pérdidas teóricas por empalme en los dos sentidos de transmisión cuando la fibra sometida a prueba está empalmada a una fibra de características nominales con una desalineación nula de las superficies de referencia. Un valor de IQF de 0,27 dB es compatible con las tolerancias individuales recomendadas en la cláusula 1. Si aparece cualquier discrepancia entre los resultados obtenidos con el método IQF y los de la comprobación de las diferentes características, la referencia será esta última.

Reemplazada por una versión más reciente



D_{CO}	Diámetro nominal del núcleo
ΔD_{CO}	Tolerancia del circuito relativo al núcleo = 4 μm
D_{CL}	Diámetro nominal del revestimiento
ΔD_{CL}	Tolerancia del circuito relativo al revestimiento = 5 μm

FIGURA B.1/G.651

B.1.2 Características geométricas

Los diámetros del núcleo y del revestimiento de la fibra sometida a prueba, así como los centros del núcleo y del revestimiento, se pueden determinar a partir de un número adecuado de puntos, distribuidos convenientemente en la frontera núcleo/revestimiento, y en la superficie exterior del revestimiento, respectivamente.

Si se adopta un explorador de barrido por cuadrículas, se debe seleccionar un número mayor de puntos a fin de garantizar una distribución lo suficientemente regular.

El error de concentricidad se puede calcular a partir de la distancia entre el centro del núcleo y el centro del revestimiento.

Las no circularidades del núcleo y del revestimiento se pueden determinar a partir del campo de tolerancia.

B.2 Métodos de prueba de referencia para parámetros geométricos y método de prueba alternativo para la apertura numérica: técnica del campo próximo refractado

B.2.1 Consideraciones generales

La medición del campo próximo refractado es simple, segura y da directamente la variación del índice de refracción en toda la sección transversal de la fibra (núcleo y revestimiento). La medición puede hacerse con buena resolución y calibrarse para obtener valores absolutos del índice de refracción.

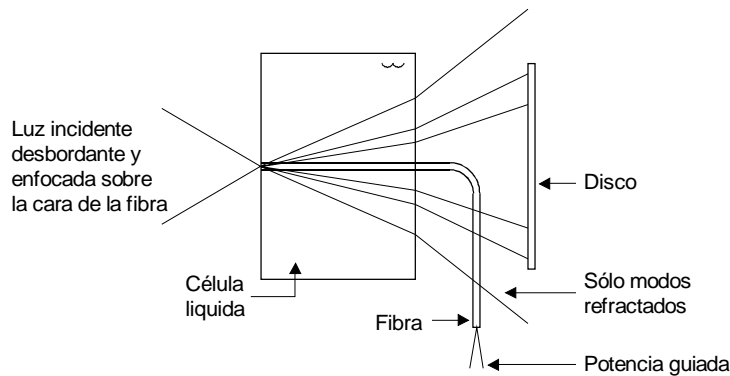
En la Figura B.2a) se muestra un diagrama esquemático de la medición. La técnica consiste en la exploración de un punto luminoso enfocado a través del extremo de la fibra. El dispositivo óptico de inyección se dispone de forma que desborde la apertura numérica de la fibra. El extremo de la fibra se sumerge en un líquido de índice ligeramente superior al del revestimiento. Parte de la luz es guiada por la fibra y el resto aparece como un cono hueco fuera de la fibra. Se coloca un disco sobre el eje del núcleo para asegurarse de que sólo llegue al detector la luz refractada. La salida del

Reemplazada por una versión más reciente

detector se amplifica y visualiza como eje y de un registrador x - y ; la excitación del eje x se obtiene por control de la posición del punto luminoso enfocado en el extremo de la fibra. En la Figura B.2b) se muestra un perfil de índice típico de una fibra multimodo de índice gradual.

La resolución óptica, y por tanto la posibilidad de resolver detalles del perfil, depende del tamaño del punto luminoso enfocado. Esta depende de la apertura numérica de la lente de enfoque y del tamaño del disco. Sin embargo, la posición de los rasgos más acusados puede resolverse con una exactitud mucho mayor que ésta, según el tamaño del escalón en los sistemas motores por pasos, o según la exactitud del control de posición en los sistemas analógicos.

a) Técnica del campo próximo refractado – Diagrama esquemático



b) Perfil del índice típico de una fibra de índice gradual obtenido por la técnica del campo próximo refractado

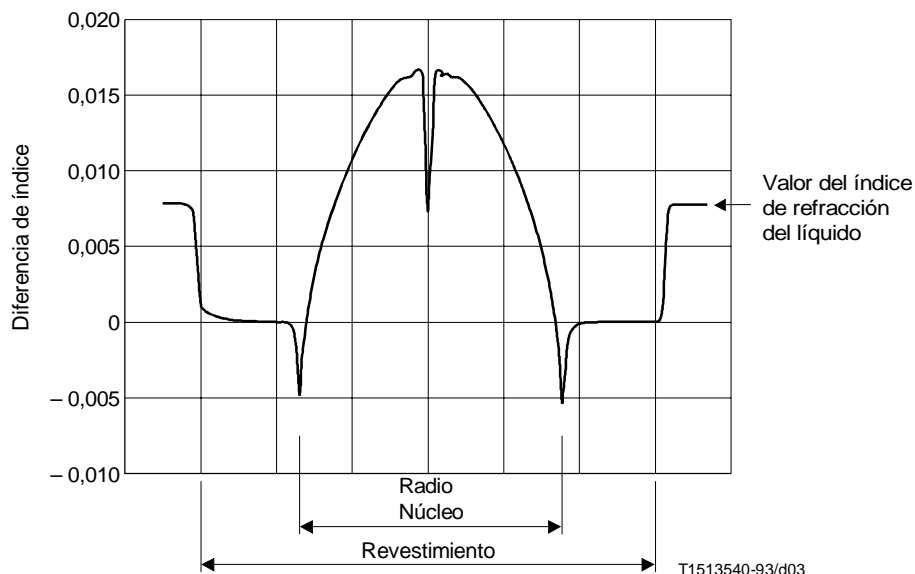


FIGURA B.2/G.651

Técnica del campo próximo refractado

Reemplazada por una versión más reciente

B.2.2 Apertura numérica teórica máxima y diferencia de índice de refracción

La apertura numérica teórica máxima se define como:

$$NA_{t\text{ máx}} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

La diferencia de índice se define como:

$$\Delta n = n_1 - n_2$$

La diferencia de índice relativa se define como:

$$\Delta = (n_1 - n_2) / n_1$$

donde

n_1 es el índice de refracción máximo del núcleo de la fibra,

n_2 es el índice de refracción de la región más profunda del revestimiento.

Los valores de n_1 y n_2 pueden determinarse por la técnica del campo próximo refractado, y a partir de ellos pueden calcularse $NA_{t\text{ máx}}$, Δn y Δ .

La máxima apertura numérica teórica $NA_{t\text{ máx}}$ determinada de esta forma puede ser superior a la apertura numérica NA obtenida a 850 nm, utilizando el RTM. Esto puede relacionarse con la máxima apertura numérica teórica, $NA_{t\text{ máx}}$ obtenida a 633 nm, utilizando el ATM con la siguiente expresión:

$$NA = K \cdot NA_{t\text{ máx}}$$

donde K es un factor de corrección aproximadamente igual a 0,96.

B.2.3 Equipo de prueba

En la Figura B.3 se muestra un diagrama esquemático del equipo de prueba.

B.2.3.1 Fuente

Se necesita un láser estable con una potencia de algunos milivatios en el modo TEM₀₀.

Puede utilizarse un láser HeNe, cuya longitud de onda es de 633 nm, pero debe aplicarse un factor de corrección a los resultados para su extrapolación a diferentes longitudes de onda. Debe señalarse que la medición a 633 nm puede no dar una información completa para las longitudes de onda superiores; en particular, las impurezas no uniformes de una fibra pueden afectar a la corrección.

Se introduce una placa de un cuarto de onda para cambiar la polarización del haz de línea circular, pues la reflectividad de la luz en un interfaz aire-vidrio depende mucho del ángulo y de la polarización.

Un hueco de alfiler en el foco de la lente 1 actúa como filtro espacial.

B.2.3.2 Condiciones de inyección

El dispositivo óptico de inyección, que se dispone de forma que desborde la apertura numérica de la fibra, enfoca un haz luminoso sobre el extremo plano de la fibra. El eje óptico del haz luminoso no debe estar a más de 1° del eje de la fibra. La resolución del equipo la determina el tamaño del punto enfocado, que debe ser lo más pequeño posible para hacer máxima la resolución, por ejemplo, inferior a 1,5 μm. El equipo permite la exploración del punto enfocado a lo largo del diámetro de la fibra.

B.2.3.3 Célula líquida

El líquido en la célula debe tener un índice de refracción algo mayor que el del revestimiento de la fibra.

Reemplazada por una versión más reciente

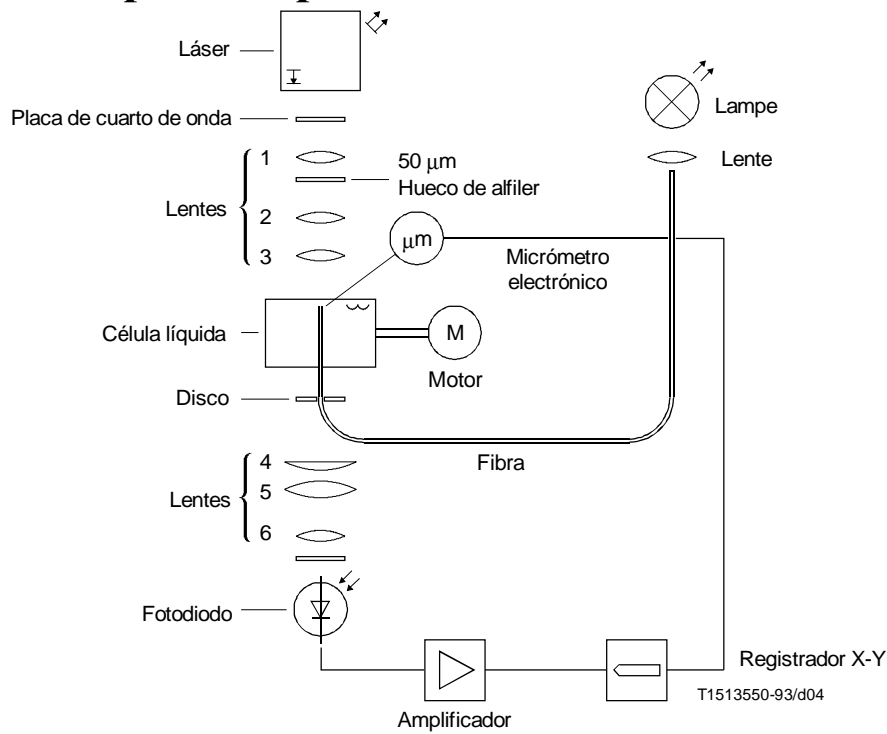


FIGURA B.3/G.651

Disposición típica del montaje de prueba con la técnica del campo próximo refractado

B.2.3.4 Detección

La luz refractada se capta y se lleva al detector de cualquier manera conveniente, pero debe captarse toda la luz refractada. Puede determinarse por cálculo el tamaño necesario del disco y su posición a lo largo del eje central.

B.2.4 Preparación de la fibra sometida a prueba

Se requiere un largo de fibra de 1 m aproximadamente.

Se quita el recubrimiento primario de la fibra en la sección sumergida en la célula líquida.

Los extremos de la fibra deben estar limpios y tener una superficie suave, y hallarse en posición perpendicular al eje de la fibra.

B.2.5 Procedimiento

Véase el diagrama esquemático del aparato de prueba (Figura B.3).

B.2.5.1 Representación del perfil de la fibra

El extremo de inyección de la fibra que ha de medirse se sumerge en una célula líquida cuyo índice de refracción es ligeramente superior al del revestimiento de la fibra. La fibra se retroilumina con la luz de una lámpara de tungsteno. Las lentes 2 y 3 producen una imagen enfocada de la fibra.

A la vez que se ajusta la posición de la lente 3 para centrar y enfocar la imagen de la fibra, el haz láser se centra y enfoca simultáneamente en la fibra.

Se centra el disco en el cono de salida. Con fibras multimodo, el disco se dispone sobre el eje óptico de forma que sólo bloquee los modos de propagación de fuga. Los modos refractados que pasan por el disco se captan y enfocan en un fotodiodo.

Reemplazada por una versión más reciente

Se hace desplazar el punto láser enfocado sobre el extremo de la fibra y se obtiene directamente una representación de la variación del índice de refracción de ésta.

B.2.5.2 Calibración del equipo

El equipo se calibra con la fibra fuera de la célula líquida. Durante la medición, el ángulo del cono luminoso varía según el índice de refracción visto en el punto de entrada a la fibra (de ahí la variación de la potencia que atraviesa el disco). Una vez sacada la fibra y conocidos el índice del líquido y el espesor de la célula, puede simularse este cambio del ángulo desplazando el disco a lo largo del eje óptico. Desplazando el disco a cierto número de posiciones determinadas de antemano puede trazarse a escala el perfil en función de índice relativo. El índice absoluto, es decir, n_1 y n_2 , sólo puede determinarse si se conoce con exactitud el índice del revestimiento o del líquido a la longitud de onda y a la temperatura en que se efectúa la medición.

B.2.6 Presentación de los resultados

Deberán indicarse los siguientes pormenores:

- a) Disposición del montaje de prueba y procedimiento de corrección de la longitud de onda, así como indicación de la técnica de exploración utilizada.
- b) Identificación de la fibra.
- c) Según los requisitos de la especificación:
 - i) perfiles a través de los centros del núcleo y del revestimiento, calibrados para la longitud de onda de funcionamiento;
 - ii) perfiles a lo largo de los ejes mayor y menor del núcleo, calibrados para la longitud de onda de funcionamiento;
 - iii) perfiles a lo largo de los ejes mayor y menor del revestimiento, calibrados para la longitud de onda de funcionamiento;
 - iv) exploración de barrido a través de toda la fibra, si se adopta;
 - v) diámetro del núcleo¹⁾;
 - vi) diámetro del revestimiento¹⁾;
 - vii) error de concentricidad núcleo/revestimiento;
 - viii) no circularidad del núcleo;
 - ix) no circularidad del revestimiento;
 - x) apertura numérica teórica máxima: $NA_{t\text{máx}}$;
 - xi) diferencia de índice: Δn ;
 - xii) diferencia de índice relativa: Δ .
- d) Indicación de la exactitud y la repetibilidad.
- e) Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).

B.3 Método de prueba alternativo para parámetros geométricos: técnica de campo próximo transmitido

B.3.1 Consideraciones generales

Puede aplicarse la técnica de campo próximo para la medición de las características geométricas y del perfil del índice de refracción de las fibras ópticas multimodo. Se efectúan tales mediciones de una manera conforme a la definición, y los resultados podrán reproducirse y relacionarse con el método de prueba de referencia y el uso en la práctica.

La medición se basa en la exploración de una imagen magnificada del extremo de salida de la fibra que se prueba, sobre una sección transversal donde está colocado el detector.

Cuando se miden las características geométricas de la fibra, puede aplicarse la plantilla de campo próximo de cuatro círculos concéntricos a una imagen agrandada de la fibra detectada por métodos de evaluación objetiva, apropiados para lograr un alto grado de exactitud y reproducibilidad. Se señala, en particular, que el diámetro del núcleo ha de medirse teniendo en cuenta el mismo factor adoptado para el método de prueba de referencia.

¹⁾ Véase el Apéndice I.

Reemplazada por una versión más reciente

B.3.2 Aparatos de prueba

En la Figura B.4 se representa un esquema del aparato de prueba.

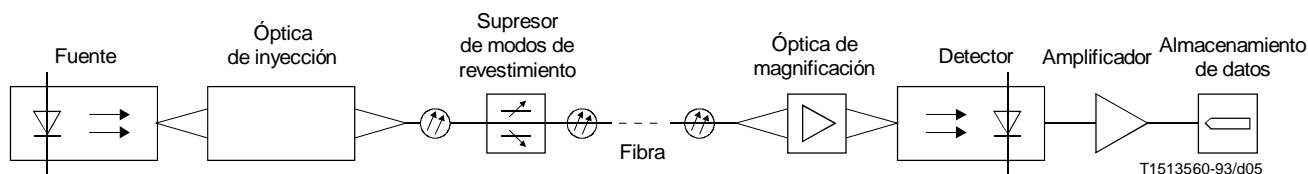


FIGURA B.4/G.651

Configuración de prueba típica de la técnica de campo próximo

B.3.2.1 Fuente luminosa

La fuente luminosa será incoherente, ajustable en intensidad y estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para que pueda realizarse el procedimiento de medición completo. Se registrará la anchura espectral al 50%. Si es necesario, se utilizará una segunda fuente luminosa para iluminar el revestimiento.

B.3.2.2 Condiciones de inyección

La óptica de inyección, que se dispondrá de modo que desborde sobre la sección de la fibra, aplicará un haz luminoso a un foco situado en el extremo plano de entrada de la fibra.

En el caso de las fibras de 50/125 μm de índice gradual, las condiciones de inyección desbordante se obtienen con un cono luminoso cuya anchura entre puntos de amplitud mitad medida desde el campo próximo sea superior a 70 μm y cuya anchura en la apertura numérica (NA), medida desde el campo lejano sea mayor que una NA de 0,3.

B.3.2.3 Supresor de modos propagados por el revestimiento

Se empleará un supresor adecuado de los modos propagados por el revestimiento. Este dispositivo suprime la potencia óptica que se propaga por el material que envuelve al núcleo y asegura que todos los modos de propagación de fuga serán eliminados de la fibra. Cuando se midan las características geométricas del revestimiento únicamente, el supresor de modo de los propagados por el revestimiento no podrá estar presente.

B.3.2.4 Espécimen

El espécimen será un tramo corto de la fibra óptica que ha de medirse. Se retirará el recubrimiento primario de la sección de la fibra insertada en el supresor de modos. Los extremos de la fibra deberán estar limpios, lisos y perpendiculares al eje de la fibra.

NOTA – Esta medición puede efectuarse en pedazos muy cortos de fibra (por ejemplo, unos centímetros). En este caso, las condiciones de inyección se ajustarán para obtener una intensidad uniforme en el revestimiento por debajo del 15% de la intensidad luminosa máxima en el núcleo.

B.3.2.5 Dispositivo óptico de magnificación

El dispositivo óptico de magnificación consistirá en un sistema óptico (por ejemplo, un objetivo de microscopio) que magnifica el campo próximo de la salida del espécimen, y lo focaliza en el plano del detector de exploración. La apertura numérica y, por consiguiente, el poder de resolución del dispositivo óptico deberá ser compatible con la exactitud de medición requerida y no será inferior a 0,3. La magnificación se escogerá de modo que sea compatible con la resolución especial deseada, y se anotará.

Reemplazada por una versión más reciente

B.3.2.6 Detector

Se utilizará un detector apropiado que permitirá obtener la intensidad punto a punto del diagrama de campo próximo magnificado. Por ejemplo, podrá emplearse cualquiera de las siguientes técnicas:

- a) fotodetector de exploración con abertura de «hueco de alfiler»;
- b) espejo de exploración con abertura de hueco de alfiler fija y fotodetector;
- c) vidicon de exploración, dispositivos acoplados por carga u otros dispositivos de reconocimiento de diagrama/intensidad.

El comportamiento del detector deberá ser lineal (o será linealizado) en toda la gama de intensidades observadas. La zona sensible del detector será pequeña con relación a la imagen ampliada del extremo de salida de la fibra, y se registrará.

B.3.2.7 Amplificador

Se utilizará un amplificador para aumentar el nivel de la señal. Su anchura de banda se escogerá según el tipo de exploración utilizado. Cuando se explora el extremo de salida de la fibra con sistemas mecánicos u ópticos, suele modularse la fuente óptica. Cuando se adopta este procedimiento, el amplificador deberá estar asociado a la frecuencia de modulación de la fuente. La sensibilidad del sistema de detección debe ser prácticamente lineal.

B.3.2.8 Almacenamiento de datos

Los datos medidos de la repartición de la intensidad de campo próximo pueden registrarse y presentarse en forma adecuada de conformidad con la técnica de exploración y los requisitos de la especificación.

B.3.3 Procedimiento

B.3.3.1 Calibración de los equipos

Deberá medirse la magnificación del sistema óptico explorando la longitud del espécimen, cuyas dimensiones se conocen ya con exactitud suficiente. Se registrará dicha magnificación.

B.3.3.2 Medición

El extremo de inyección de la fibra se alineará con el haz de inyección, y el extremo de salida de la fibra se alineará con el eje óptico del dispositivo óptico de magnificación. La imagen focalizada del extremo de salida de la fibra será explorada por el detector, de conformidad con los requisitos de la especificación. La focalización se efectuará con la máxima exactitud, a fin de reducir los errores dimensionales debidos a la exploración de una imagen mal focalizada.

B.3.4 Presentación de los resultados

Deberán indicarse los siguientes pormenores:

- a) configuración del montaje de prueba, con indicación de la técnica de exploración utilizada;
- b) características de inyección (dimensión y NA del punto de inyección);
- c) longitud de onda y anchura espectral al 50%;
- d) identificación y longitud de la fibra;
- e) tipo de supresor de modos de revestimiento (en su caso);
- f) magnificación del equipo;
- g) tipo y dimensiones del detector de exploración;
- h) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (en caso necesario);
- i) indicación de la exactitud y repetibilidad;
- j) según los requisitos de la especificación:
 - i) perfiles a través de los centros del núcleo y del revestimiento;
 - ii) perfiles a lo largo de los ejes mayor y menor del núcleo;
 - iii) perfiles a lo largo de los ejes mayor y menor del revestimiento;

Reemplazada por una versión más reciente

- iv) diagrama de la exploración sobre toda la cara del extremo de la fibra, si se adopta;
- v) parámetros dimensionales resultantes, como: diámetros del núcleo y del revestimiento²⁾, no circularidad del núcleo y del revestimiento, error de concentricidad núcleo/revestimiento, etc.

B.4 Método de prueba de referencia para la apertura numérica: distribución luminosa en el campo lejano

B.4.1 Objetivo

Este método de medición se aplica a las fibras de índice gradual para determinar la apertura numérica midiendo la distribución de la luz en el campo lejano.

B.4.2 Preparación del espécimen

Se toma una muestra de unos 2 m de longitud en un extremo de la fibra que ha de medirse. La muestra ha de ser suficientemente recta para que no se produzcan pérdidas por flexión. Los extremos de la muestra deberán estar muy limpios, planos y perpendiculares al eje de la fibra.

B.4.3 Equipo

B.4.3.1 Fuente luminosa

Se empleará una fuente luminosa no coherente, ajustable en intensidad y estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para completar el procedimiento de medición.

B.4.3.2 Detector

El detector tendrá una característica lineal en toda la gama de medición requerida. (La corriente de salida del detector deberá ser una función lineal de potencia luminosa recibida.)

B.4.3.3 Condiciones de inyección

Véase B.3.2.2.

B.4.3.4 Supresor de modos de revestimiento

Véase B.3.2.3.

B.4.3.5 Visualización

Por ejemplo, registrador XY, pantalla.

B.4.4 Procedimiento

B.4.4.1 Principio de la medición (Figura B.5)

La intensidad radiante (potencia luminosa por unidad de ángulo sólido) se determina como una función del ángulo polar de un plano del eje de la fibra (diagrama de radiación). La distancia d entre el extremo de la muestra y el detector ha de ser grande en relación con el diámetro del núcleo de la fibra óptica.

Soluciones posibles:

- muestra fija, detector de gran superficie fijo;
- muestra fija, detector lineal de pequeña superficie desplazable;
- muestra lineal desplazable, detector de pequeña superficie fijo;
- muestra fija, detector de pequeña superficie con desplazamiento angular;
- extremo de la muestra giratorio, detector de pequeña superficie fijo.

B.4.4.2 Preparación

Se fija la muestra en el portamuestras y se le inyecta la luz de conformidad con B.4.3.3.

²⁾ Véase el Apéndice I.

Reemplazada por una versión más reciente

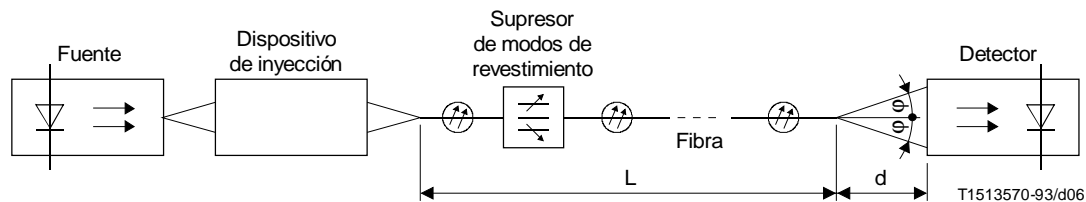


FIGURA B.5/G.651

Principio de medición de la distribución en el campo lejano transmitido

B.4.4.3 Medición

La intensidad radiante se determina en función del ángulo polar en un plano del eje de la fibra.

B.4.5 Resultados

Las fibras tratadas en esta Recomendación tienen un perfil del índice de refracción casi parabólico. Por lo tanto, para las condiciones de inyección de B.4.3.3 (distribución de modo uniforme), la curva de intensidad radiante en campo lejano puede, en la región por encima del 10% de la intensidad máxima, por la siguiente parábola ser representada aproximadamente:

$$P(\varphi) = P(0) \left[1 - (\text{sen } \varphi / \text{NA})^2 \right]$$

Se determina entonces el ángulo φ por el punto de intersección de esta parábola con el eje de abscisas. Por lo general, basta con determinar el ángulo φ adoptando el 5% de la máxima intensidad radiante para el total de la curva de intensidad radiante.

La apertura numérica es:

$$\text{NA} = \text{sen } \varphi$$

B.4.6 Presentación de los resultados

Deberán indicarse los siguientes pormenores:

- configuración del montaje de prueba, con indicación de la técnica de exploración utilizada;
- características de inyección (dimensión y NA del cono de inyección);
- longitud de onda y anchura espectral;
- tipo de supresor de modos de revestimiento (si se utiliza);
- condiciones de exploración;
- identificación y longitud de la fibra;
- temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario);
- indicación de exactitud y repetibilidad;
- apertura numérica resultante.

Reemplazada por una versión más reciente

Apéndice I

(a la Sección I del Anexo B)

Posiciones de los centros del núcleo y del revestimiento

(Este apéndice no es parte integrante de la presente Recomendación)

En este apéndice se exponen los cálculos que pueden efectuarse para obtener las posiciones de los centros del núcleo y del revestimiento, así como sus diámetros.

I.B.1 Centro y diámetro del núcleo

El diámetro y el centro del núcleo se determinan mediante una cantidad suficiente de exploraciones a través de una sección de la fibra con el valor k apropiado. En cada exploración se obtienen dos puntos de la frontera núcleo/revestimiento. Los puntos deberán estar distribuidos de forma uniforme en el perímetro del núcleo, al menos aproximadamente.

Sean

- x_i, y_i las coordenadas cartesianas del punto i -ésimo de la frontera,
- a_c, b_c las coordenadas cartesianas del centro del núcleo,
- R_c el radio del núcleo,
- z, m_i las variables intermedias $z = a_c^2 + b_c^2 - R_c^2$ y $m_i = x_i^2 + y_i^2$.

Los parámetros desconocidos a_c, b_c y R_c se obtienen buscando el círculo que mejor represente, según la regla de ajuste por los mínimos cuadrados, la frontera experimental entre el núcleo y el revestimiento. El algoritmo de cálculo consiste en hacer mínima, respecto de los parámetros a_c, b_c y z , la magnitud:

$$\begin{aligned} M &= \sum_i \left[(x_i - a_c)^2 + (y_i - b_c)^2 - R_c^2 \right]^2 \\ &= \sum_i \left(x_i^2 + y_i^2 - 2a_c x_i - 2b_c y_i + z \right)^2 \end{aligned}$$

La anulación de las tres derivadas parciales de M respecto de a_c, b_c y z arroja un sistema de tres ecuaciones lineales que reviste la forma matricial siguiente:

$$\begin{bmatrix} 2 \sum_i x_i^2 & 2 \sum_i x_i y_i & - \sum_i x_i \\ 2 \sum_i x_i y_i & 2 \sum_i y_i^2 & - \sum_i y_i \\ 2 \sum_i x_i & 2 \sum_i y_i & - N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_c \\ b_c \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_i m_i x_i \\ \sum_i m_i y_i \\ \sum_i m_i \end{bmatrix}$$

Las sumas se efectúan de $i = 1$ a $i = N$, siendo

N el número total de puntos medidos.

La inversión numérica de este sistema da los valores de a_c, b_c y z , lo que permite deducir el de R_c .

El centro del núcleo es el punto de coordenadas a_c y b_c , y su diámetro es $D_c = 2 R_c$.

I.B.2 Centro y diámetro del revestimiento

El mismo procedimiento de cálculo y las mismas definiciones que para el núcleo permiten determinar:

- las coordenadas del centro del revestimiento a_g y b_g ,
- el radio del revestimiento R_g .

Reemplazada por una versión más reciente

El centro del revestimiento es el punto de coordenadas a_g y b_g y su diámetro es $D_g = 2 R_g$.

Sección II Método de prueba de referencia y métodos de prueba alternativos para las mediciones de atenuación

B.1 Introducción

B.1.1 Objetivos

Las mediciones de atenuación tienen por objeto proporcionar un medio que permita asignar cierto valor del coeficiente de atenuación a un largo de fibra de modo que los valores de atenuación de cada tramo puedan sumarse para determinar la atenuación total de un cable compuesto de varios tramos concatenados.

B.1.2 Definición

La **atenuación A** (λ) a una longitud de onda λ entre dos secciones transversales 1 y 2 de una fibra separadas por una distancia L se define por:

$$A(\lambda) = 10 \log \frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)} \quad (\text{dB})$$

donde $P_1(\lambda)$ es la potencia óptica que atraviesa la sección transversal 1 y $P_2(\lambda)$ es la potencia óptica que atraviesa la sección transversal 2 a la longitud de onda λ . Para una fibra uniforme en condición de equilibrio, es posible calcular la atenuación por unidad de longitud, o el coeficiente de atenuación

$$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{L} \left[\frac{\text{dB}}{\text{unidad de longitud}} \right]$$

que es independiente de la longitud elegida de la fibra.

NOTA – Los valores de atenuación especificados para los largos de fabricación deben medirse a la temperatura ambiente (es decir, un valor único en la gama de +10° C a +35° C).

B.1.3 Descripción

Se han sugerido tres métodos para las mediciones de atenuación.

B.1.3.1 La técnica de la fibra cortada es una aplicación directa de la definición, en la cual se miden los niveles de potencia P_1 y P_2 en dos puntos de la fibra sin modificar las condiciones de entrada. P_2 es la potencia que sale por el extremo de la guía y P_1 es la potencia que emerge de un punto cercano al de entrada, después de cortada la fibra.

B.1.3.2 La técnica de la pérdida de inserción es en principio similar a la técnica de la fibra cortada, pero P_1 es la potencia que emerge de la salida del sistema de inyección. La atenuación medida es la suma de la atenuación de largo de fibra insertado y la atenuación causada por la conexión entre el sistema de inyección y la fibra medida. Es necesario corregir el resultado para tener en cuenta las pérdidas de la conexión.

B.1.3.3 La técnica del retroesparcimiento es una manera indirecta de determinar la atenuación midiendo las potencias retroesparcidas a través de dos secciones transversales de la fibra.

B.1.4 Campo de aplicación

En general, se ha reconocido que la técnica de la fibra cortada es la que da resultados más exactos. Pero en muchas situaciones su naturaleza destructiva constituye una desventaja.

Con la técnica de la pérdida de inserción se evita cortar una parte de la fibra, si bien a expensas de la exactitud.

La técnica del retroesparcimiento es un método no destructivo, aplicado en un solo extremo, pero está limitada en su alcance, y a veces también en su exactitud.

Reemplazada por una versión más reciente

Analizadas las ventajas y los inconvenientes de los tres métodos, se ha elegido la técnica de la fibra cortada como método de prueba de referencia.

B.2 Método de prueba de referencia: la técnica de fibra cortada

B.2.1 Condiciones de inyección

B.2.1.1 Definición de las condiciones de inyección

Las condiciones de inyección son de capital importancia a la hora de determinar si se han cumplido los objetivos especificados. Las condiciones de inyección deben reflejar aproximadamente la distribución de modos en equilibrio (EMD, *equilibrium mode distribution*) que se supone existe cuando la distribución de potencia de los diagramas de campo a la salida de la fibra es esencialmente independiente de la longitud de ésta.

B.2.1.2 Técnicas de inyección

En la Figura B.6 se muestra un montaje genérico para conseguir la inyección con distribución de modos en equilibrio (EMD).

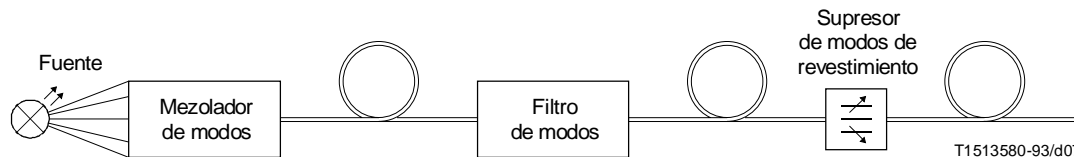


FIGURA B.6/G.651

Condiciones de inyección genéricas

B.2.1.2.1 Supresor de modos propagados por el revestimiento

Favorece la conversión de los modos que se propagan por el revestimiento en modos de radiación; como resultado desaparecen en la fibra los modos que se propagan por su revestimiento.

B.2.1.2.2 Filtro de modos

Es un dispositivo utilizado para seleccionar, rechazar o atenuar uno o varios modos determinados; debe asegurar el establecimiento de una distribución de modos próxima a la EMD.

B.2.1.2.3 Mezclador de modos

Es un dispositivo utilizado para inducir la transferencia de energía entre modos en una fibra óptica, y debe proporcionar una distribución de modos que sea independiente de las características de la fuente.

NOTA – Pueden utilizarse disposiciones ópticas adecuadas que produzcan una distribución próxima a la distribución de modos en equilibrio directamente en el extremo de entrada de la fibra sometida a prueba. En este caso se necesita un dispositivo único para la realización de las tres funciones de la Figura B.6.

B.2.1.3 Ejemplo

Con una fibra de 50/125 μm homogénea de índice gradual y baja atenuación, que tiene una apertura numérica de 0,2 y se utiliza a 850 nm, puede obtenerse una aproximación de la distribución de modos en equilibrio si después del punto de corte se observan las siguientes características:

- el valor de la anchura al 50% del haz luminoso, medida desde el campo próximo, es 26 μm ;
- la apertura numérica para el valor de anchura al 50%, medida desde el campo lejano, es 0,11 μm .

Se supone que los esquemas de campo próximo y de campo lejano tienen forma aproximadamente gaussiana.

Reemplazada por una versión más reciente

Para obtener este equilibrio de la distribución modal puede utilizarse el montaje mostrado en la Figura B.6.

El haz de inyección incide con el extremo de inyección de la fibra en forma de un punto centrado en el núcleo de la fibra con la intensidad luminosa con una anchura al 50% de campo próximo no inferior a $70\ \mu\text{m}$ y una apertura numérica para la anchura al 50% de campo lejano no inferior a 0,3 a través de la zona central de $70\ \mu\text{m}$ central del cono (para fibras con $NA < 0,25$).

El eje del haz de inyección coincide con el eje de la fibra.

El mezclador de modos debe comprender una configuración de fibras adecuada (por ejemplo, secuencia escalón-gradual-escalón o una secuencia de flexión).

El filtro de modo adopta la forma de un mandril en torno al cual se arrolla la fibra sometida a prueba, con baja tensión y en una longitud del mandril no superior a 20 mm.

El diámetro del mandril puede diferir de una fibra a otra; son comunes los valores en la gama de 18 a 22 mm, con cinco vueltas de fibra.

El diámetro exacto del mandril lo determina el fabricante de la fibra o cable, de manera que los diagramas de campo próximo y de campo lejano en los dos metros de fibra siguientes al filtro de modo y al supresor de modos propagados por el revestimiento sean los mismos que se obtienen con un largo de fibra o de fibras empalmadas (normalmente superior a 5 km) dotado de una distribución de modos estable.

A menudo, el supresor de modos propagados por el revestimiento consiste en un material que tiene un índice de refracción igual o superior al del revestimiento de la fibra.

B.2.2 Equipo y procedimiento

B.2.2.1 Tipos de mediciones

Se pueden efectuar mediciones a una o más longitudes de onda específicas, aunque también es posible que se requiera la respuesta espectral en una gama de longitudes de onda. En las Figuras B.7 y B.8 se presentan, a título de ejemplo, equipos de prueba adecuados.

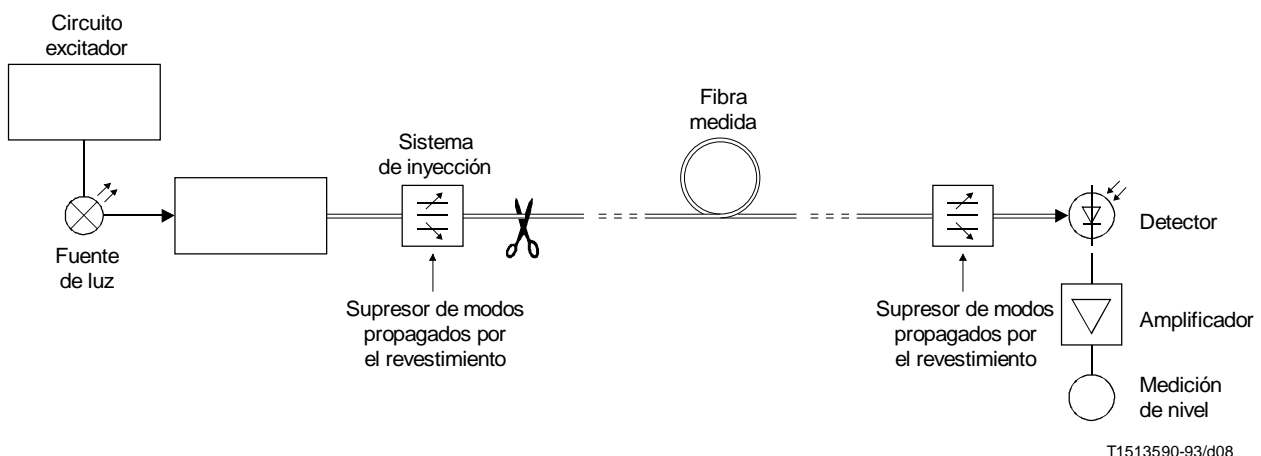


FIGURA B.7/G.651

Montaje del equipo de prueba utilizado para realizar mediciones de atenuación en longitudes de onda discretas

Reemplazada por una versión más reciente

Montaje del equipo de prueba utilizado para realizar mediciones de atenuación en una gama de longitudes de onda

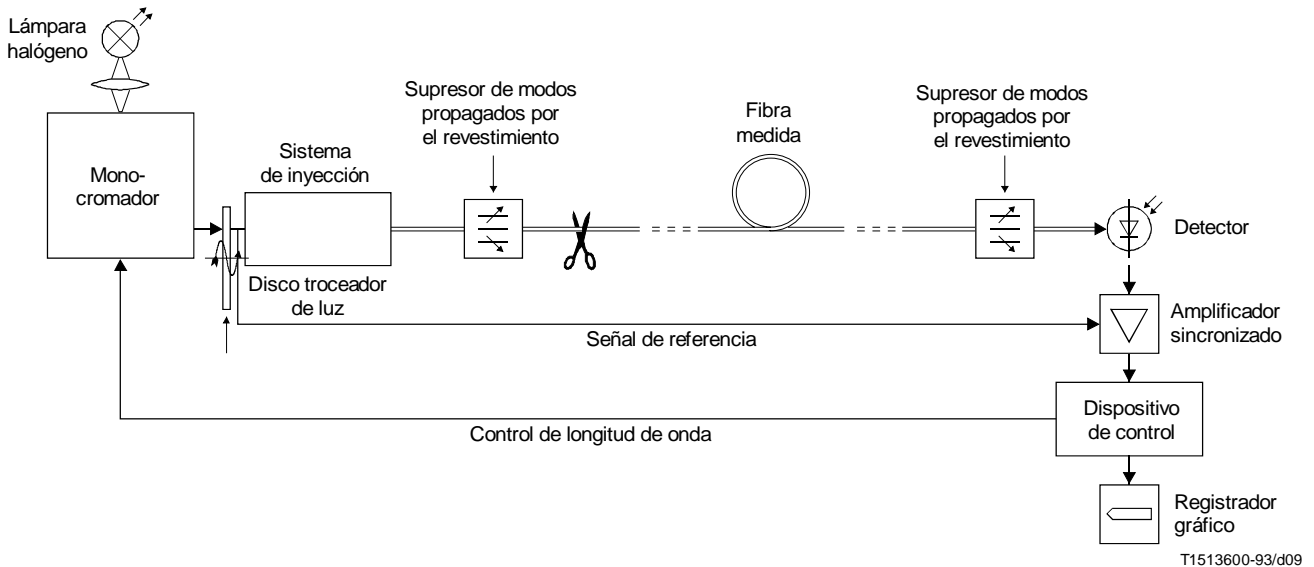


FIGURA B.8/G.651

Técnica de la fibra cortada

B.2.2.2 Fuente óptica

Debe utilizarse una fuente de radiación adecuada, como una lámpara, un láser o un diodo fotoemisor (LED, *light emitting diode*). La elección de la fuente depende del tipo de medición. La fuente debe ser estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para que pueda aplicarse el procedimiento de medición completo. La anchura espectral entre puntos al 50% de amplitud deberá especificarse de modo que sea pequeña en comparación con cualquier propiedad de la atenuación espectral de la fibra.

La fibra debe estar alineada con el cono de inyección, o conectada coaxialmente con una fibra de inyección.

B.2.2.3 Detector óptico

Se utilizará un detector de gran superficie a fin de que toda la radiación en el cono (o conos) de salida sea interceptada. La respuesta espectral debe ser compatible con las características espectrales de la fuente. La detección debe ser uniforme y tener características lineales.

Es costumbre modular la fuente de luz para mejorar la relación señal/ruido en el receptor. Si se emplea este procedimiento, el detector debe estar asociado a un sistema de tratamiento sincronizado con la frecuencia de modulación de la fuente. La sensibilidad del sistema de detección debe ser prácticamente lineal.

B.2.2.4 Montaje de inyección

Véase B.2.1.

B.2.2.5 Procedimiento

- 1) La fibra que se desea medir se introduce en el montaje de medida. Se mide y registra la potencia P_2 .
- 2) Manteniendo constantes las condiciones de inyección, se corta la fibra a cierta distancia (por ejemplo, a 2 metros del punto de inyección). Se mide y registra la potencia P_1 que se obtiene en el punto en que se ha cortado la fibra.
- 3) La atenuación de la fibra entre los puntos en que se han medido las potencias P_1 y P_2 puede calcularse utilizando la fórmula de la definición, introduciendo los valores medidos de P_1 y P_2 .

Reemplazada por una versión más reciente

B.2.3 Presentación de los resultados

Deberán indicarse los siguientes pormenores:

- a) tipo y característica de la medición;
- b) técnica de inyección;
- c) montaje de la prueba;
- d) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando sea necesario);
- e) identificación de la fibra;
- f) longitud de la muestra de fibra y longitud a que se corta la fibra;
- g) atenuación medida (para la muestra) a la longitud de onda seleccionada;
- h) atenuación en dB. Es posible, en algunos casos, convertir ésta en un coeficiente de atenuación en dB/km;
- i) para las mediciones de la pérdida espectral, los resultados deben presentarse en forma de una curva de atenuación en función de la longitud de onda.

B.3 Primer método de medición alternativo: técnica de la pérdida de inserción

B.3.1 Condiciones de inyección

Las condiciones de inyección requeridas son similares a las indicadas en B.2.1.

B.3.2 Equipo y procedimiento

B.3.2.1 Tipos de mediciones

Se pueden realizar mediciones a una o más longitudes de onda discretas, aunque también se puede necesitar una respuesta espectral en una gama de longitudes de onda. En la Figura B.9 se muestra el diagrama de una configuración de prueba adecuada [a) calibración, b) medición].

B.3.2.2 Fuente óptica

Véase B.2.2.2.

B.3.2.3 Detector óptico

Véase B.2.2.3.

B.3.2.4 Montaje de inyección

Véase B.2.1.

B.3.2.5 Dispositivo de acoplamiento

La técnica de la pérdida de inserción requiere un dispositivo muy preciso de acoplamiento de fibra a fibra, para asegurar que las pérdidas de acoplamiento sean mínimas y los resultados fiables.

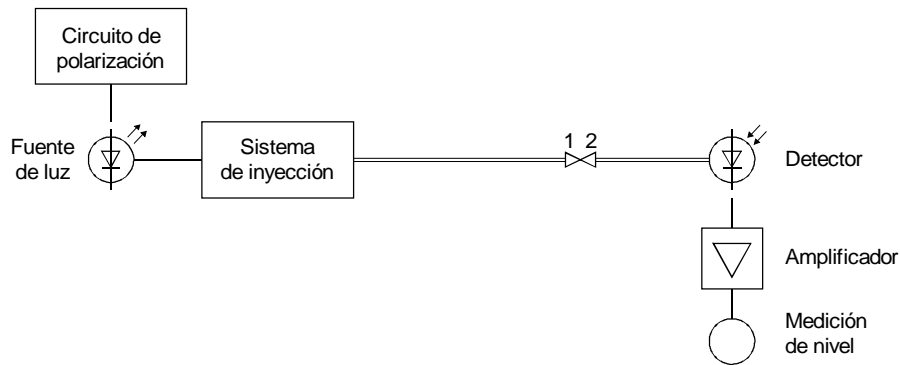
Este dispositivo de acoplamiento puede ser mecánico, con supervisión visual del ajuste, o un conector que asegure que queden alineados los núcleos de las fibras.

B.3.2.6 Procedimiento

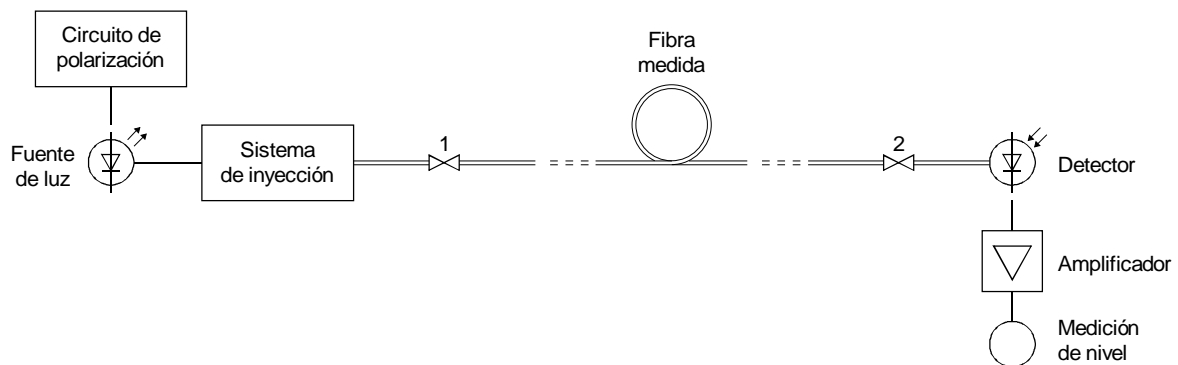
- 1) Se comienza por calibrar el circuito de medición a fin de obtener un nivel de referencia de entrada P_1 .
- 2) La fibra que se desea medir se coloca en el montaje de medida y se ajusta el acoplamiento de modo que se obtenga un nivel máximo en el detector óptico. Se mide y registra la potencia de salida P_2 .
- 3) Se calcula la atenuación como se indica en B.1.2/Sección II. Esta es la suma de la atenuación del largo de fibra insertado y de la atenuación debida a la conexión entre los dispositivos de acoplamiento y la fibra medida.

Reemplazada por una versión más reciente

a) Montaje de calibración



b) Montaje de medición



T1513610-93/d10

FIGURA B.9/G.651
Técnica de la pérdida de inserción

B.3.3 Presentación de los resultados

Deberán indicarse los siguientes pormenores:

- tipo y características de la medición;
- técnica de inyección;
- montaje de la prueba;
- temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando sea necesario);
- identificación de la fibra;
- longitud de la muestra;
- atenuación medida (para la muestra) a la longitud de onda seleccionada;
- atenuación del conector y su tolerancia;
- atenuación en dB. Es posible, en algunos casos, convertir ésta en un coeficiente de atenuación en dB/km;
- para las mediciones de la pérdida espectral, los resultados deben presentarse en forma de una curva de atenuación en función de la longitud de onda.

Reemplazada por una versión más reciente

B.4 Segundo método de medición alternativo: técnica del retroesparcimiento

NOTA – Se describe un procedimiento para medir la atenuación de una muestra homogénea de cable de fibra óptica. Esta técnica puede aplicarse para determinar la continuidad óptica, defectos físicos, la calidad de los empalmes, la luz retroesparcida en cables de fibra óptica y la longitud de la fibra.

B.4.1 Condiciones de inyección

Para la medición de la atenuación pueden aplicarse las técnicas descritas en 2.1. Para otras pruebas, las condiciones de inyección pueden depender de las características que deban medirse.

En todos los casos, a fin de reducir las reflexiones de Fresnel a la entrada de la fibra, pudieran utilizarse varios dispositivos tales como polarizadores o sustancias para la adaptación de índices. Las pérdidas de inserción deben reducirse al mínimo.

B.4.2 Equipo y procedimiento

B.4.2.1 Consideraciones generales

El nivel de la señal óptica retrodifusa será normalmente pequeño y estará próximo al nivel de ruido. Por tanto, a fin de mejorar la relación señal/ruido y la gama de medición dinámica, se acostumbra a utilizar una fuente de luz de alta potencia y aplicar un tratamiento a la señal detectada. Además, cuando se requiera una resolución espacial de gran exactitud quizá sea necesario ajustar la anchura del impulso a fin de obtener un compromiso entre resolución y energía del impulso. Se puede emplear un núcleo especial para reducir al mínimo las reflexiones de Fresnel. Un ejemplo de equipo se muestra en la Figura B.10a).

B.4.2.2 Fuente óptica

Debe utilizarse una fuente óptica estable, de alta potencia y de longitud de onda adecuada, como por ejemplo un láser semiconductor. Se registrará la longitud de onda de la fuente. La anchura del impulso y la frecuencia de repetición deberán elegirse de modo que estén en consonancia con la resolución deseada y la longitud de la fibra. Deben suprimirse los efectos ópticos no lineales de acceso a la fibra medida.

B.4.2.3 Detección óptica

Se utilizará un detector óptico que intercepte la mayor cantidad posible de la potencia óptica retroesparcida. La respuesta del detector será compatible con los niveles y las longitudes de onda de la señal detectada. En las mediciones de atenuación, la respuesta del detector debe ser esencialmente lineal.

Es necesario un tratamiento de la señal para mejorar la relación señal/ruido, y conviene que el sistema de detección presente una respuesta logarítmica.

Después del detector debe haber un amplificador que eleve el nivel de la señal a un valor adecuado para su tratamiento. La anchura de banda del amplificador resultará de un compromiso entre resolución en el tiempo y reducción del ruido.

B.4.2.4 Montaje de inyección

Véanse B.2.1 y B.4.1.

B.4.2.5 Procedimiento

- 1) La fibra que se va a medir se alinea con el dispositivo de acoplamiento.
- 2) La potencia retroesparcida se analiza por medio de un procesador de señales y se registra a escala logarítmica. La Figura B.10 muestra una curva típica.
- 3) Si la curva registrada tiene una pendiente aproximadamente constante [región 2 de la Figura B.10b)], la atenuación entre dos puntos A y B de la curva, que corresponden a dos secciones transversales de la fibra, viene dada por

$$A_{A \rightarrow B}(\lambda) = \frac{1}{2} (V_A - V_B) \quad \text{dB}$$

donde V_A y V_B son los niveles de potencia correspondientes dados en escala logarítmica.

- 4) Si así se requiere, podrán hacerse mediciones bidireccionales, las cuales serán acompañadas de cálculos numéricos para mejorar la calidad de los resultados y tal vez para permitir una distinción entre los efectos debidos al envejecimiento y los debidos a imperfecciones.

Reemplazada por una versión más reciente

B.4.3 Presentación de los resultados

Deberán indicarse los siguientes pormenores:

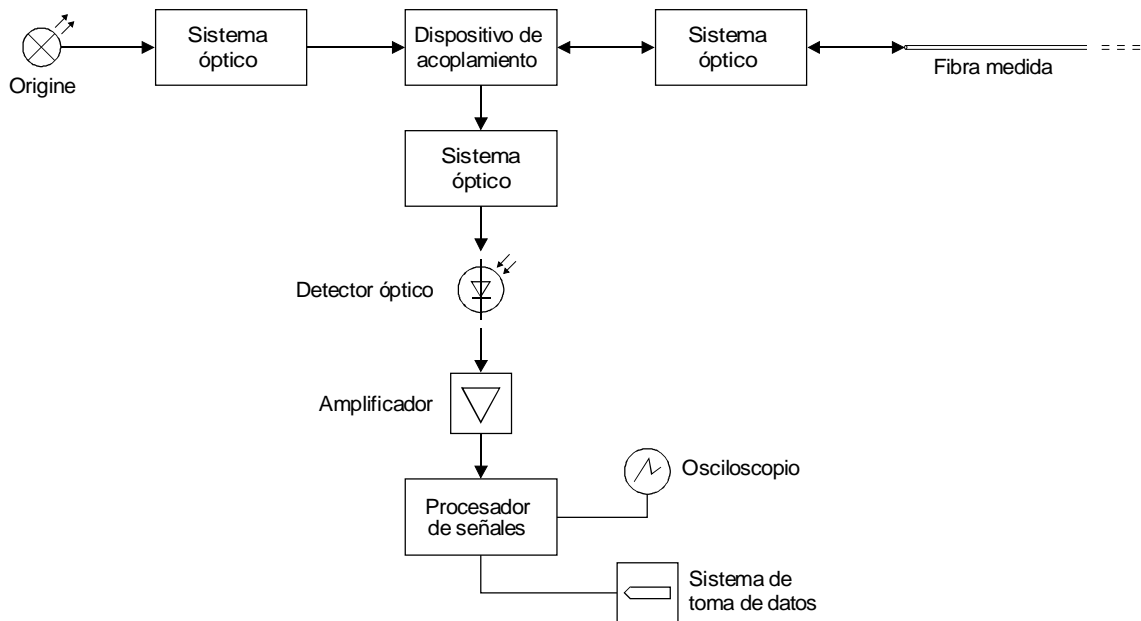
- a) tipos y características de la medición;
- b) técnicas de inyección;
- c) montaje de la prueba;
- d) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando sea necesario);
- e) identificación de la fibra;
- f) longitud de la muestra;
- g) tiempo de subida, anchura, y frecuencia de repetición de los impulsos;
- h) tipo de tratamiento de señal utilizado;
- i) la curva registrada en una escala logarítmica, con la atenuación de la muestra, y en ciertas condiciones el coeficiente de atenuación en dB/km.

Un análisis completo de la curva registrada (Figura B.10) revela que, independientemente de la medición de atenuación, cuando se emplea la técnica del retroesparcimiento pueden supervisarse muchos otros fenómenos, a saber:

- 1) la reflexión causada por el dispositivo de acoplamiento en el extremo de entrada de la fibra;
- 2) la zona de pendiente constante;
- 3) la discontinuidad debida a un defecto local, empalme o acoplamiento;
- 4) la reflexión debida a un defecto dieléctrico;
- 5) la reflexión en el otro extremo de la fibra.

Reemplazada por una versión más reciente

a) Esquema del equipo



b) Ejemplo de curva de potencia retroesparcida

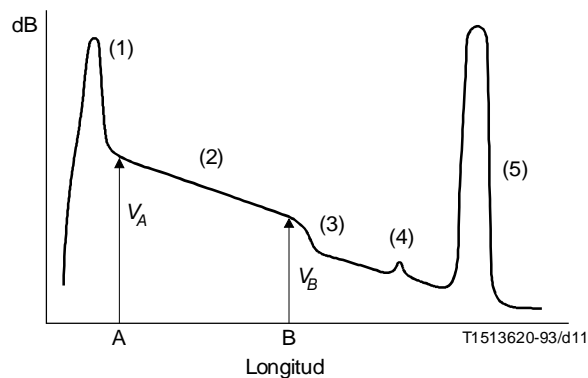


FIGURA B.10/G.651

Técnica del retroesparcimiento

Sección III Método de prueba de referencia para mediciones de la respuesta de banda de base

B.1 Objetivos

La respuesta en banda base de la fibra se puede describir en el dominio del tiempo por medio de su respuesta a los impulsos $g(t)$, o en el dominio de la frecuencia por medio de su respuesta de frecuencia $G(f)$. La función $g(t)$ puede describirse como la función que convolucionada con el impulso de entrada de potencia óptica en la fibra da el impulso de salida de potencia óptica de la fibra. $G(f)$ es la razón, a cualquier frecuencia, entre la modulación sinusoidal de la potencia óptica introducida en la fibra y la modulación sinusoidal de la potencia óptica obtenida a la salida de la fibra.

Reemplazada por una versión más reciente

Las respuestas en banda base en el dominio de la frecuencia y en el dominio del tiempo en un sistema lineal están relacionadas por la ecuación:

$$G(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(t) \exp(-j2\pi ft) dt$$

La respuesta en banda base se presenta en el dominio de la frecuencia.

Si se desea una representación en el dominio del tiempo, es posible obtenerla mediante operaciones matemáticas. Para esto se necesitarían las respuestas de amplitud y de fase.

La respuesta de amplitud se especifica en forma de anchura de banda óptica entre puntos a -3 dB (eléctrica entre puntos a -6 dB) de la curva amplitud/frecuencia. Debe darse también una curva más completa.

Para minimizar las variaciones de medición asociadas con respuestas en banda de base de forma irregular, puede ajustarse una función gaussiana a la respuesta en banda base $G(f)$.

Como la respuesta de fase sólo se requiere en casos especiales, no se recomiendan valores de la misma.

B.2 Método de prueba de referencia

B.2.1 Aparato de prueba

La Figura B.11 muestra un diagrama esquemático de la configuración de prueba.

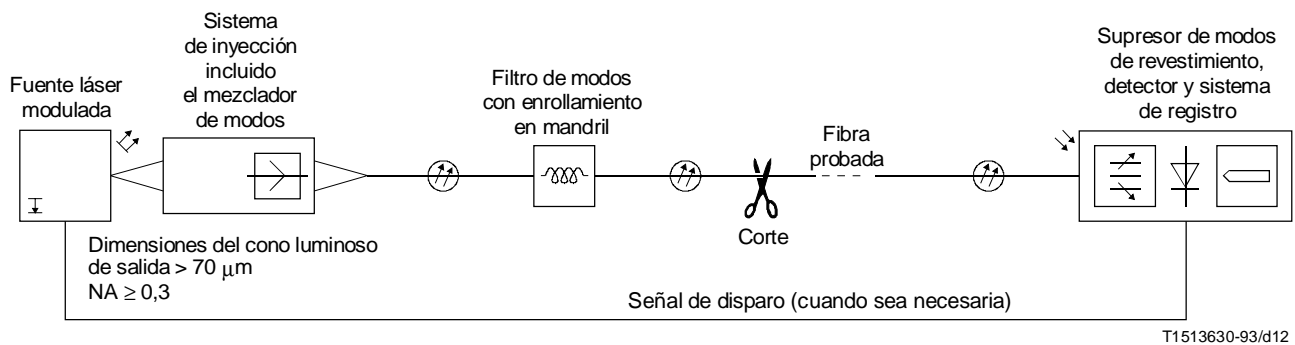


FIGURA B.11/G.651
Configuración de prueba típica

B.2.1.1 Fuente luminosa

Se utilizará una fuente luminosa láser. Debe ser estable en posición, intensidad y longitud de onda. Su longitud de onda central (λ) estará dentro de ± 20 nm del valor nominal elegido entre las gamas indicadas en el Cuadro B.1 y, además, la anchura espectral ($\Delta\lambda$) entre puntos de amplitud mitad no excederá el valor correspondiente indicado en el Cuadro B.1.

CUADRO B.1/G.651

Anchura entre raya de intensidad mitad de la fuente luminosa

λ (nm)	$\Delta\lambda$ (nm)
800-900	5
1200-1350	10

Reemplazada por una versión más reciente

El medio (impulsional o sinusoidal) por el cual se modula el láser ha de poder funcionar a frecuencias más allá de aquellas a las que la respuesta de la fibra medida cae a -3 dB de nivel óptico.

La emisión máxima ha de rebasar sustancialmente la emisión espontánea y la profundidad de modulación ha de ser tan grande como lo permita la relación de extinción, a fin de obtener una relación señal/ruido máxima. Se tendrá cuidado de que la fuente luminosa no fluctúe («chirp»).

Si para la modulación se escoge una forma de onda sinusoidal, la modulación de salida se divide, frecuencia por frecuencia, por la modulación de entrada. Si la forma de onda de modulación escogida es un impulso de múltiples componentes, es necesario, como paso preliminar, efectuar la transformación de Fourier, mediante filtrado analógico o procesamiento digital de la señal recibida.

B.2.1.2 Condiciones de inyección

La condición de medición adecuada puede obtenerse por dos medios:

- a) distribución uniforme de la potencia de los modos (inyección con desbordamiento) con una distribución espacial uniforme mayor que el núcleo de la fibra y una distribución angular lambertiana correspondiente a la apertura numerada de la fibra de prueba;
- b) una inyección en régimen permanente que se aproxime mucho a las condiciones reales de inyección en régimen permanente.

NOTA – Debe tenerse el cuidado de que las condiciones de inyección no limiten la excitación de modos por debajo del régimen permanente, especialmente para longitudes de menos de 2 km.

B.2.1.3 Detector

Se utilizará un fotodiodo de alta velocidad para interceptar el volumen modal total de salida de la fibra.

La anchura de banda del fotodiodo y del dispositivo electrónico siguiente ha de ser suficiente para mantener la relación señal/ruido requerida hasta la frecuencia más alta para la que han de obtenerse resultados. El sistema detector ha de ser lineal con respecto a la potencia de entrada dentro de los límites de medición. En la eventualidad de que el detector tenga una gama lineal inadecuada, tal vez sea necesario insertar un filtro de densidad neutra previamente calibrado a la longitud de onda de funcionamiento para atenuar una señal excesivamente intensa, de modo que el detector funcione siempre en su gama de sensibilidad lineal.

B.2.1.4 Sistema de presentación de salida

El sistema de presentación de la salida ha de ser capaz de registrar o visualizar la amplitud de la modulación de salida con respecto a escalas calibradas ordinarias o logarítmicas de la potencia o la frecuencia. En el caso de modulación por impulsos, un paso intermedio puede comprender el registro de la forma de onda del impulso con respecto a una escala de tiempo calibrada.

B.2.2 Procedimiento

B.2.2.1 Preparación de la fibra para las pruebas

Debe eliminarse el recubrimiento primario de las partes de la fibra que han de introducirse en los supresores de modos propagados por el revestimiento.

Los extremos de la fibra han de estar muy limpios, lisos y perpendiculares al eje de la fibra. Las mediciones en fibras que no forman parte de cables han de efectuarse con la fibra suelta en el tambor para evitar el acoplamiento de modos por inducción desde el exterior.

B.2.2.2 Medición

Se comienza por conectar el emisor y el receptor mediante una guía óptica corta de prueba y la potencia del emisor se ajusta de modo que se obtenga una señal en la gama lineal del receptor. Para uso como método de prueba de referencia en condiciones de explotación, la respuesta específica del instrumento debe almacenarse en esta etapa, para uso ulterior, ya sea bajo forma de respuesta de impulso, o de frecuencia, según convenga.

La fibra a medir se intercala entonces entre el emisor y el receptor, y se mide y registra su salida. Para uso como método de prueba de referencia de fibras independientes, se corta entonces la fibra en un punto a una distancia conveniente del supresor de modos de propagación por el revestimiento (en caso de utilizarse este supresor) del extremo transmisor, o del filtro de modos y, teniendo cuidado de no perturbar las condiciones de inyección, se mide y registra la salida de la fibra cortada. La región de operación del fotodiodo receptor ha de ser igual en todas las etapas, en la medida de lo posible.

Reemplazada por una versión más reciente

Los conjuntos de datos de amplitud en el dominio de la frecuencia, bien obtenidos directamente o por transformación desde el dominio del tiempo, correspondientes a la señal de salida de la fibra medida y a la respuesta específica del instrumento (incluida la fibra cortada) se dividen entonces (o se sustraen, si están presentados en escala logarítmica), frecuencia por frecuencia, la primera por la última, para obtener la respuesta en frecuencia de la fibra.

B.2.3 Presentación de los resultados

Deberán indicarse los siguientes pormenores:

- a) tipo y característica de la medición;
- b) técnica de inyección;
- c) configuración de prueba incluidas la longitud de onda y la anchura espectral entre puntos de amplitud mitad;
- d) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando sea necesario);
- e) identificación de la fibra;
- f) longitud de la muestra;
- g) anchura de banda (incluidos los efectos de dispersión cromática) definida por el punto óptico a -3 dB de la característica de amplitud/frecuencia y, en caso necesario, las características de amplitud/frecuencia y/o de fase, completas;
- h) para el largo de fabricación, el valor, si es necesario, de la anchura de banda referida a 1 km (debe indicarse la fórmula aplicada);
- i) como se especifica en g), la anchura de banda medida incluye los efectos de dispersión modal y de dispersión cromática. En caso necesario, la anchura de banda modal B_{modal} (expresada en MHz) se puede obtener como sigue, suponiendo que tanto el espectro de la fuente como la respuesta en banda de base modal de la fibra tienen forma gaussiana:

$$B_{\text{modal}} = \left[(1/B_T)^2 - (D(\lambda) \Delta\lambda \cdot L \cdot 10^{-6} / 0,44)^2 \right]^{-1/2}$$

donde

B_T es la anchura de banda medida de la fibra,

$D(\lambda)$ es el coeficiente de dispersión cromática [(ps/nm · km)],

$\Delta\lambda$ es la anchura espectral de la fuente luminosa entre puntos al 50% de amplitud (nm),

L es la longitud de la fibra (expresada en km).

NOTA – El equipo y procedimiento anteriormente indicados son aplicables únicamente a las características básicas del método de prueba de referencia. Se supone que la instrumentación detallada incorporará todas las medidas necesarias para garantizar la estabilidad, supresión del ruido, etc. y que, en los procedimientos de procesamiento de datos, con inclusión de muestreo, funciones de ponderación, truncación, etc., se tratará por todos los medios de garantizar un equilibrio satisfactorio entre las ventajas y los inconvenientes de las técnicas escogidas.

En los resultados se incluirán detalles de tales procedimientos junto con información cuantitativa.