



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

**UIT-T**

SECTOR DE NORMALIZACIÓN  
DE LAS TELECOMUNICACIONES  
DE LA UIT

**G.651**

(02/98)

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

Características de los medios de transmisión – Cables de  
fibra óptica

---

**Características de un cable de fibra óptica  
multimodo de índice gradual de 50/125  $\mu\text{m}$**

Recomendación UIT-T G.651

(Anteriormente Recomendación del CCITT)

---

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

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100–G.199
<b>SISTEMAS INTERNACIONALES ANALÓGICOS DE PORTADORAS</b>	
CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES A TODOS LOS SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORAS	G.200–G.299
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES DE PORTADORAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.300–G.399
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES EN RADIOENLACES O POR SATÉLITE E INTERCONEXIÓN CON LOS SISTEMAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.400–G.449
COORDINACIÓN DE LA RADIOTELEFONÍA Y LA TELEFONÍA EN LÍNEA	G.450–G.499
<b>EQUIPOS DE PRUEBAS</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN</b>	
Generalidades	G.600–G.609
Cables de pares simétricos	G.610–G.619
Cables terrestres de pares coaxiales	G.620–G.629
Cables submarinos	G.630–G.649
<b>Cables de fibra óptica</b>	<b>G.650–G.659</b>
Características de los componentes y los subsistemas ópticos	G.660–G.699
<b>SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DIGITAL</b>	
EQUIPOS TERMINALES	G.700–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900–G.999

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

## **RECOMENDACIÓN UIT-T G.651**

### **CARACTERÍSTICAS DE UN CABLE DE FIBRA ÓPTICA MULTIMODO DE ÍNDICE GRADUAL DE 50/125 $\mu\text{m}$**

#### **Resumen**

Esta Recomendación trata de las propiedades geométricas y de transmisión de las fibras multimodo que tienen un diámetro nominal del núcleo de 50  $\mu\text{m}$  y un diámetro nominal del revestimiento cubierta de 125  $\mu\text{m}$ . En las cláusulas 6 y 2 se incluyen los métodos de prueba y los términos utilizados en la presente Recomendación.

#### **Orígenes**

La Recomendación UIT-T G.651, ha sido revisada por la Comisión de Estudio 15 (1997-2000) del UIT-T y fue aprobada por el procedimiento de la Resolución N.º 1 de la CMNT el 10 de febrero de 1998.

## PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Conferencia Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (CMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución N.º 1 de la CMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

## NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

## PROPIEDAD INTELECTUAL

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

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

© UIT 1998

Es propiedad. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse o utilizarse, de ninguna forma o por ningún medio, sea éste electrónico o mecánico, de fotocopia o de microfilm, sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

## ÍNDICE

### Página

1	Campo de aplicación .....	1
2	Definiciones.....	1
3	Características de la fibra .....	3
3.1	Características geométricas de la fibra.....	4
3.1.1	Diámetro del núcleo .....	4
3.1.2	Diámetro del revestimiento .....	4
3.1.3	Error de concentricidad .....	4
3.1.4	No circularidad.....	4
3.2	Propiedades ópticas de la fibra.....	4
3.2.1	Perfil del índice de refracción .....	4
3.2.2	Apertura numérica.....	4
3.3	Propiedades de los materiales de la fibra .....	5
3.3.1	Materiales de la fibra.....	5
3.3.2	Materiales protectores .....	5
3.3.3	Nivel de prueba mecánica de recepción.....	5
4	Especificaciones de los largos de fabricación .....	5
4.1	Coefficiente de atenuación .....	5
4.2	Respuesta en banda de base.....	6
4.2.1	Respuesta en amplitud en la anchura de banda de distorsión modal .....	6
4.2.2	Anchura de banda de distorsión modal: respuesta de fase.....	6
4.2.3	Dispersión cromática.....	6
5	Secciones elementales de cable.....	7
5.1	Atenuación.....	7
5.2	Respuesta en banda base (anchura de banda óptica global a $-3$ dB).....	7
5.2.1	Anchura de banda de distorsión modal .....	8
6	Métodos de prueba .....	9
6.1	Método de prueba de referencia y métodos de prueba alternativos para la medición de parámetros geométricos y ópticos.....	9
6.1.1	Consideraciones generales .....	9
6.1.2	Factor de calidad intrínseca.....	9
6.1.3	Características geométricas.....	9
6.2	Métodos de prueba de referencia para parámetros geométricos y método de prueba alternativo para la apertura numérica: técnica del campo próximo refractado.....	10
6.2.1	Consideraciones generales .....	10
6.2.2	Apertura numérica teórica máxima y diferencia de índice de refracción.....	11

6.2.3	Equipo de prueba.....	12
6.2.4	Preparación de la fibra sometida a prueba .....	12
6.2.5	Procedimiento .....	13
6.2.6	Presentación de los resultados.....	14
6.3	Método de prueba alternativo para parámetros geométricos: técnica de campo próximo transmitido .....	14
6.3.1	Consideraciones generales .....	14
6.3.2	Aparatos de prueba.....	15
6.3.3	Procedimiento .....	16
6.3.4	Presentación de los resultados.....	16
6.4	Método de prueba de referencia para la apertura numérica: distribución luminosa en el campo lejano.....	17
6.4.1	Objetivo.....	17
6.4.2	Preparación del espécimen.....	17
6.4.3	Equipo .....	17
6.4.4	Procedimiento .....	18
6.4.5	Resultados .....	18
6.4.6	Presentación de los resultados.....	19
6.5	Método de prueba de referencia y métodos de prueba alternativos para las mediciones de atenuación.....	19
6.5.1	Objetivos .....	19
6.5.2	Definición.....	19
6.5.3	Descripción .....	19
6.5.4	Campo de aplicación.....	20
6.6	Método de prueba de referencia: la técnica de fibra cortada.....	20
6.6.1	Condiciones de inyección.....	20
6.6.2	Equipo y procedimiento .....	22
6.6.3	Presentación de los resultados.....	24
6.7	Primer método de medición alternativo: técnica de la pérdida de inserción.....	24
6.7.1	Condiciones de inyección.....	24
6.7.2	Equipo y procedimiento .....	25
6.7.3	Presentación de los resultados.....	26
6.8	Segundo método de medición alternativo: técnica del retroesparcimiento.....	26
6.8.1	Condiciones de inyección.....	26
6.8.2	Equipo y procedimiento .....	26
6.8.3	Presentación de los resultados.....	27
6.9	Método de prueba de referencia para mediciones de la respuesta de banda de base..	29
6.9.1	Objetivos .....	29

	<b>Página</b>
6.10 Método de prueba de referencia .....	30
6.10.1 Aparato de prueba .....	30
6.10.2 Procedimiento .....	31
6.10.3 Presentación de los resultados.....	32
Apéndice I – Algoritmo para los parámetros geométricos .....	33
I.1 Centro y diámetro del núcleo .....	33
I.2 Centro y diámetro del revestimiento .....	33



## Recomendación G.651

### CARACTERÍSTICAS DE UN CABLE DE FIBRA ÓPTICA MULTIMODO DE ÍNDICE GRADUAL DE 50/125 $\mu\text{m}$

(Málaga-Torremolinos, 1984; modificada en Melbourne, 1988, Helsinki, 1993; revisada en 1998)

#### 1 Campo de aplicación

Esta Recomendación se ocupa de las fibras multimodo de índice gradual que pueden utilizarse en la región de 850 nm o en la región de 1300 nm o, alternativamente, pueden utilizarse simultáneamente en ambas regiones de longitud de onda. Esta fibra puede utilizarse para la transmisión analógica y digital. Sus características geométricas, ópticas, de transmisión y mecánicas se describen a continuación.

#### 2 Definiciones

**2.1 método de prueba alternativo:** 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.

**2.2 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:

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

donde:

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

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

$\alpha$  es el coeficiente de atenuación en dB/km si  $z$  viene en km.

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

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

Esto presupone que  $\alpha$  es independiente de  $z$ .

**2.3 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.

**2.4 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 guiaoondas, dispersión debida al perfil de índice. La dispersión por polarización no produce efectos apreciables en las fibras circularmente simétricas.

**2.5 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).

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

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

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

**2.9 superficie del núcleo:** El diámetro del núcleo de una fibra óptica multimodo se define a partir del perfil del índice de refracción como aquel diámetro que pasando a través del centro del núcleo intersecta el perfil del índice en los puntos  $n_3$  tal que:

$$n_3 = n_2 + k(n_1 - n_2)$$

donde:

$n_2$  índice de refracción del revestimiento homogéneo,

$n_1$  índice de refracción máximo,

$k$  es una constante normalmente llamada "factor  $k$ ".

El perfil del índice de refracción puede medirse mediante técnicas de perfilado, tales como la medida de campo próximo refractado (RNF, *refracted near-field*) o la interferometría transversal (TI, *transverse interferometry*), y mediante mediciones del campo próximo de un núcleo completamente iluminado, tal como se hace en la medición de campo próximo transmitido (TNF, *transmitted near-field*).

Se recomienda que se utilice un ajuste de la curva con las técnicas de perfilado de índice y de TNF a fin de mejorar la precisión de la medición del diámetro del núcleo.

NOTA 1 – Típicamente, el valor de  $k = 0,025$  para los métodos de perfilado ajustado o para el método de TNF desajustado es equivalente a  $k = 0$  para el método de TNF ajustado.

NOTA 2 – Para fibras con perfil de índice de refracción con una región de transición gradual en el límite entre el núcleo y el revestimiento, un valor de  $k = 0,05$  para el método de TNF no ajustado, es equivalente a  $k = 0$  para el método de TNF ajustado.

**2.10 centro del núcleo (o 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).

NOTA 1 – Estos centros pueden no coincidir.

NOTA 2 – Debe especificarse el método de mejor ajuste.

**2.11 diámetro del núcleo (o del revestimiento):** Diámetro del círculo que define el centro del núcleo (o del revestimiento).

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

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

**2.14 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).

**2.15 apertura numérica teórica máxima:** 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:

$$NA_{r \max} = \left( n_1^2 - n_2^2 \right)^{1/2}$$

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 2.19) y  $NA_{r \max}$  se da en 6.2.2.

**2.16 filtro de modos:** Dispositivo diseñado para aceptar o rechazar uno o varios modos determinados.

**2.17 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.

**2.18 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).

**2.19 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.

**2.20 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.

**2.21 método de prueba de referencia:** 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.

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

### 3 Características de la fibra

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

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

### 3.1 Características geométricas de la fibra

#### 3.1.1 Diámetro del núcleo

El valor nominal recomendado del diámetro del núcleo es 50  $\mu\text{m}$ .

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

#### 3.1.2 Diámetro del revestimiento

El valor nominal recomendado del diámetro del revestimiento es 125  $\mu\text{m}$ .

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

#### 3.1.3 Error de concentricidad

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

#### 3.1.4 No circularidad

##### 3.1.4.1 No circularidad del núcleo

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

##### 3.1.4.2 No circularidad del revestimiento

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

### 3.2 Propiedades ópticas de la fibra

#### 3.2.1 Perfil del índice de refracción

El índice de refracción de las fibras a las que se hace referencia en esta Recomendación es el siguiente:

$$d(x) = 1 - x^g$$

donde:

$$d(x) = \frac{n(x) - n(1)}{n(0) - n(1)}$$

y  $n(x)$  = índice de refracción en  $x$

$$x = r/a \quad (0 \leq r \leq a)$$

$a$  = radio del núcleo

$$1 \leq g < 3$$

#### 3.2.2 Apertura numérica

El valor óptimo de la apertura numérica (NA, *numerical aperture*) 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 nominales empleados corrientemente en la práctica son 0,20 ó 0,23.

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

### **3.3 Propiedades de los materiales de la fibra**

#### **3.3.1 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.

#### **3.3.2 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.

#### **3.3.3 Nivel de prueba mecánica de recepción**

La tensión de prueba  $\sigma_p$  será por lo menos de 0,35 GPa, lo que corresponde a una deformación de prueba de aproximadamente 0,5%. A menudo, la tensión de prueba especificada es de 0,69 GPa.

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

## **4 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.

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.

### **4.1 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.

NOTA 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.

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

## 4.2 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.

### 4.2.1 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  $200 \text{ MHz} \cdot \text{km}$  en las regiones de  $850 \text{ nm}$  y de  $1300 \text{ nm}$ , aunque no necesariamente al mismo tiempo.

NOTA 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  $1000 \text{ MHz} \cdot \text{km}$  en la región de  $850 \text{ nm}$  y de  $2000 \text{ MHz} \cdot \text{km}$  en la región de  $1300 \text{ nm}$ .

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

### 4.2.2 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.

### 4.2.3 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.

NOTA 1 – En el caso de fibras multimodo, el mecanismo de dispersión cromática predominante es la dispersión debida al material.

NOTA 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	$\leq 120$
1300	$\leq 6$

NOTA 3 – Las condiciones de inyección serán conformes con las utilizadas para la medición de la respuesta en banda de base, véase 6.10.1.2.

## 5 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 la cláusula 4 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 deben ser leídas teniendo presente la naturaleza estadística de los diversos parámetros.

### 5.1 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:

- $\alpha_n$  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).

NOTA 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.

NOTA 2 – La fórmula anterior no incluye la pérdida de los conectores de equipos.

NOTA 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.).

NOTA 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.

### 5.2 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),

$B_{\text{modal}}$  es la anchura de banda de distorsión modal,

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

NOTA 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.

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

NOTA 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:

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

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).

### 5.2.1 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:

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

donde:

$B_{\text{modal}_{\text{total}}}$  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, 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,

$\gamma$  es el factor de concatenación de anchura de banda de distorsión modal.

NOTA – El valor de  $\gamma$ , factor de concatenación de anchura de banda de distorsión modal, está generalmente comprendido entre 0,5 a 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  $\gamma$  que ha de aplicarse puede hallarse empíricamente y, normalmente, puede obtenerse del fabricante del cable o de las fibras.

## **6 Métodos de prueba**

Por regla general, se indican en esta cláusula 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.

### **6.1 Método de prueba de referencia y métodos de prueba alternativos para la medición de parámetros geométricos y ópticos**

#### **6.1.1 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.

#### **6.1.2 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 (IQF, *intrinsic quality factor*) 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 3. 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.

#### **6.1.3 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.

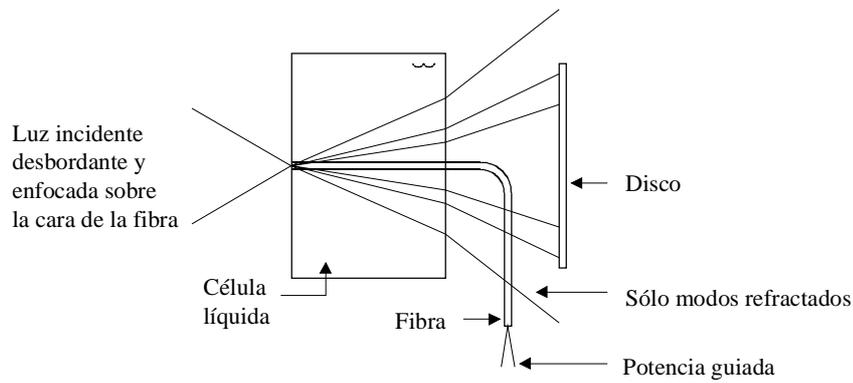
## **6.2 Métodos de prueba de referencia para parámetros geométricos y método de prueba alternativo para la apertura numérica: técnica del campo próximo refractado**

### **6.2.1 Consideraciones generales**

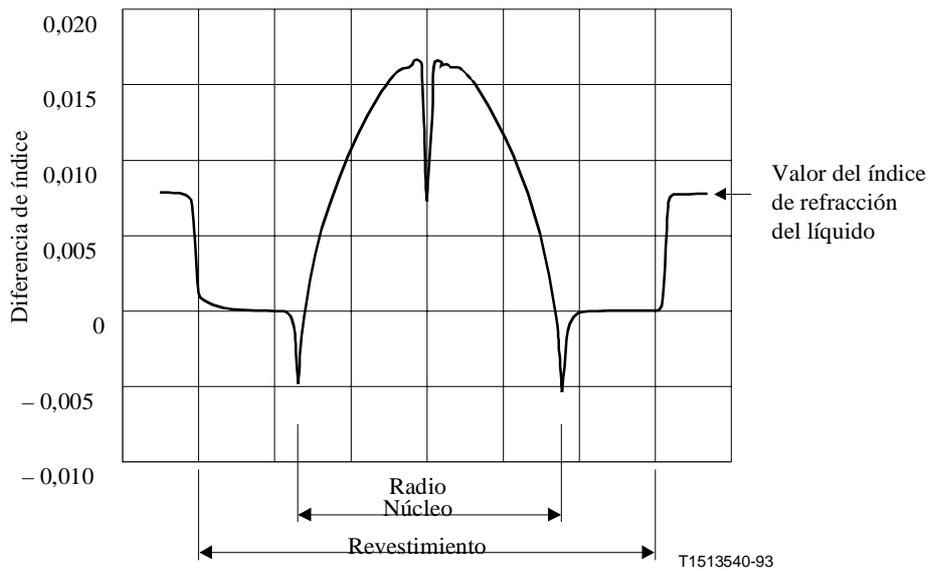
La medición del campo próximo refractado es simple, segura y da directamente la variación del índice de refracción en toda la sección transversal de la fibra (núcleo y revestimiento). La medición puede hacerse con buena resolución y calibrarse para obtener valores absolutos del índice de refracción.

En la figura 1 a) 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 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 1 b) 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. Ésta 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 1/G.651 – Técnica del campo próximo refractado**

### 6.2.2 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  $NA_{f\text{ máx}}$ ,  $\Delta n$  y  $\Delta$ .

La máxima apertura numérica teórica  $NA_{f\text{ máx}}$  determinada de esta forma puede ser superior a la apertura numérica NA obtenida a 850 nm, utilizando el método de prueba de referencia. Esto puede relacionarse con la máxima apertura numérica teórica,  $NA_{f\text{ máx}}$ , obtenida a 540 ó 633 nm, utilizando el método de prueba alternativo con la siguiente expresión:

$$NA = K \cdot NA_{f\text{ máx}}$$

donde  $k = 0,95$  cuando la medida del perfil se realiza a 540 nm y  $k = 0,96$  cuando la medida del perfil se realiza a 633 nm.

### 6.2.3 Equipo de prueba

En la figura 2 se muestra un diagrama esquemático del equipo de prueba.

#### 6.2.3.1 Fuente

Se necesita un láser estable con una potencia de algunos milivatios en el modo TEM<sub>00</sub>.

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.

#### 6.2.3.2 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.

#### 6.2.3.3 Célula líquida

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

#### 6.2.3.4 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.

### 6.2.4 Preparación de la fibra sometida a prueba

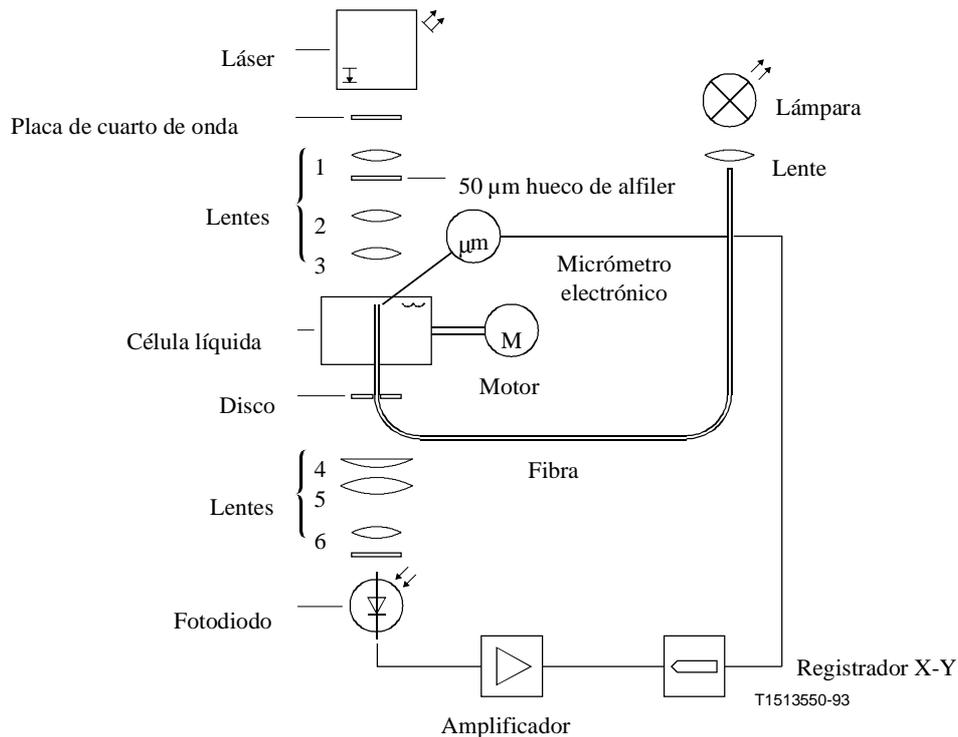
Se requiere un largo de fibra de 1 m aproximadamente.

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.

## 6.2.5 Procedimiento

Véase el diagrama esquemático del aparato de prueba (figura 2).



**Figura 2/G.651 – Disposición típica del montaje de prueba con la técnica del campo próximo refractados**

### 6.2.5.1 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.

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.

### 6.2.5.2 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.

### 6.2.6 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 núcleo;<sup>1</sup>
  - vi) diámetro del revestimiento<sup>1</sup>;
  - 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:  $\Delta n$ ;
  - xii) diferencia de índice relativa:  $\Delta$ .
- d) Indicación de la exactitud y la repetibilidad.
- e) Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).

## 6.3 Método de prueba alternativo para parámetros geométricos: técnica de campo próximo transmitido

### 6.3.1 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.

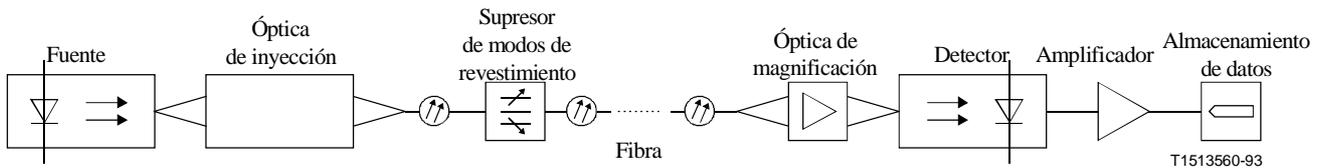
Cuando se miden las características geométricas de la fibra, puede aplicarse la plantilla de campo próximo de cuatro círculos concéntricos a una imagen agrandada de la fibra detectada por métodos de evaluación objetiva, apropiados para lograr un alto grado de exactitud y reproducibilidad. Se señala,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

---

<sup>1</sup> Véase el apéndice I.

### 6.3.2 Aparatos de prueba

En la figura 3 se representa un esquema del aparato de prueba.



**Figura 3/G.651 – Configuración de prueba típica de la técnica de campo próximo**

#### 6.3.2.1 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 total entre puntos de amplitud mitad (FWHM, *full width half maximum*). Si es necesario, se utilizará una segunda fuente luminosa para iluminar el revestimiento.

#### 6.3.2.2 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  $\mu\text{m}$  de índice gradual, las condiciones de inyección desbordante se obtienen con un cono luminoso cuya anchura total entre puntos de amplitud mitad medida desde el campo próximo sea superior a 70  $\mu\text{m}$  y cuya anchura en la apertura numérica (NA), medida desde el campo lejano sea mayor que una NA de 0,3.

#### 6.3.2.3 Supresor de modos propagados por el revestimiento

Se empleará un supresor adecuado de los modos propagados por el revestimiento para suprimir la potencia óptica que se propaga por el revestimiento y para asegurar 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 modos de los propagados por el revestimiento no podrá estar presente.

#### 6.3.2.4 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.

#### 6.3.2.5 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.

#### **6.3.2.6 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) vidicón 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.

#### **6.3.2.7 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.

#### **6.3.2.8 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.

### **6.3.3 Procedimiento**

#### **6.3.3.1 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.

#### **6.3.3.2 Medición**

El extremo de inyección de la fibra se alinearán con el haz de inyección, y el extremo de salida de la fibra se alinearán 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.

#### **6.3.4 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 total entre puntos de amplitud mitad de la (o de las) fuente(s);
- 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;
  - 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 revestimiento<sup>1</sup>, no circularidad del núcleo y del revestimiento, error de concentricidad núcleo/revestimiento, etc.

## **6.4 Método de prueba de referencia para la apertura numérica: distribución luminosa en el campo lejano**

### **6.4.1 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.

### **6.4.2 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.

### **6.4.3 Equipo**

#### **6.4.3.1 Fuente luminosa**

Se empleará una fuente luminosa no coherente, ajustable en intensidad y estable en posición, intensidad (variaciones menores al 10%) y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para completar el procedimiento de medición. La longitud de onda central será de  $850 \text{ nm} \pm 25 \text{ nm}$ .

#### **6.4.3.2 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.)

#### **6.4.3.3 Condiciones de inyección**

Véase 6.3.2.2.

#### **6.4.3.4 Supresor de modos de revestimiento**

Véase 6.3.2.3.

#### **6.4.3.5 Visualización**

Por ejemplo, registrador XY, pantalla.

---

<sup>1</sup> Véase el apéndice I.

## 6.4.4 Procedimiento

### 6.4.4.1 Principio de la medición (figura 4)

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.

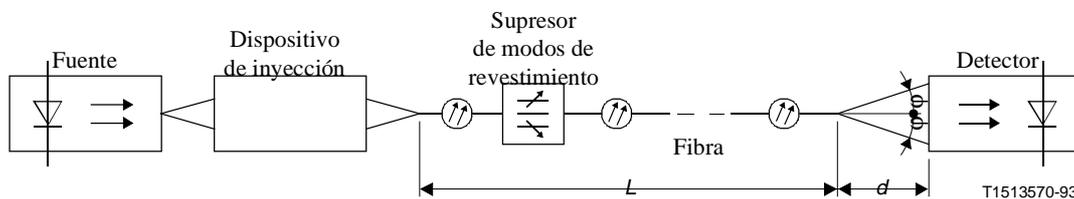


Figura 4/G.651 – Principio de medición de la distribución en el campo lejano transmitido

### 6.4.4.2 Preparación

Se fija la muestra en el portamuestras y se le inyecta la luz de conformidad con 6.4.3.3.

### 6.4.4.3 Medición

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

### 6.4.5 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 6.4.3.3 (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:

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

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

La apertura numérica es:

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

#### 6.4.6 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 cono de inyección);
- c) longitud de onda y anchura espectral total entre puntos de amplitud mitad de la fuente;
- d) tipo de supresor de modos de revestimiento (si se utiliza);
- e) condiciones de exploración;
- f) identificación y longitud de la fibra;
- g) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario);
- h) indicación de exactitud y repetibilidad;
- i) apertura numérica resultante.

#### 6.5 Método de prueba de referencia y métodos de prueba alternativos para las mediciones de atenuación

##### 6.5.1 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.

##### 6.5.2 Definición

La **atenuación**  $A(\lambda)$  a una longitud de onda  $\lambda$  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  $\lambda$ . 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).

##### 6.5.3 Descripción

Se han sugerido tres métodos para las mediciones de atenuación.

- 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.
- 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.

- 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.

#### **6.5.4 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.

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.

### **6.6 Método de prueba de referencia: la técnica de fibra cortada**

#### **6.6.1 Condiciones de inyección**

##### **6.6.1.1 Definición de las condiciones de inyección**

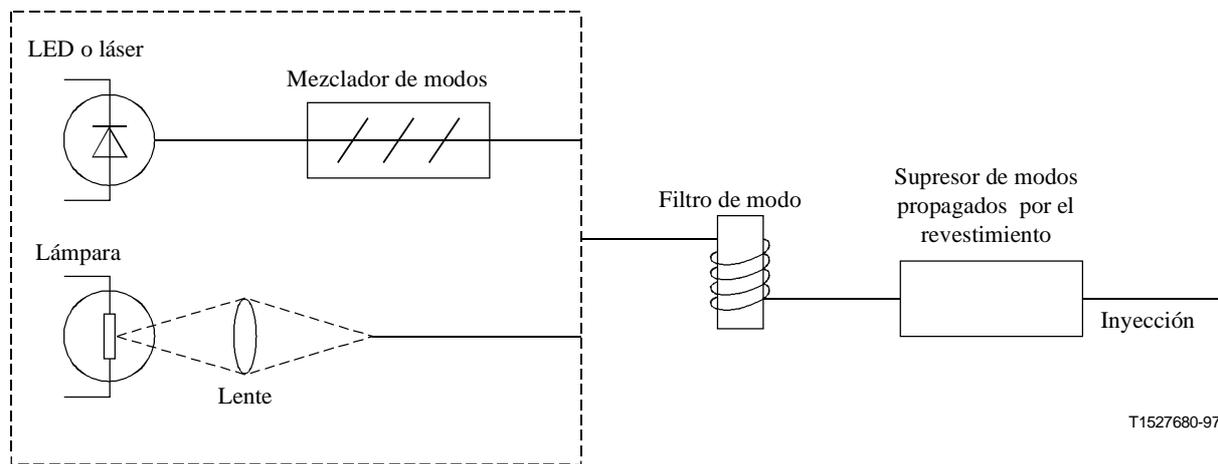
Las condiciones de inyección son de capital importancia a la hora de determinar si se han cumplido los objetivos especificados. Las condiciones de inyección deben reflejar aproximadamente la distribución de modos en equilibrio (EDM, *equilibrium mode distribution*) que se supone existe cuando la distribución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

##### **6.6.1.2 Técnicas de inyección**

Existen dos técnicas comúnmente utilizadas para producir condiciones estacionarias de inyección en las mediciones de atenuación:

- a) filtros de modos,
- b) inyección mediante dispositivos ópticos geoméricamente dispuestos.

Mediante una utilización cuidadosa de cada una de ellas, pueden obtenerse resultados comparables. En la figura 5 se representa un ejemplo genérico de montaje para la inyección utilizando un filtro de modo.



**Figura 5/G.651 – Montaje para la inyección**

### 6.6.1.2.1 Supresor de modos propagados por el revestimiento

El supresor de modos propagados por el revestimiento garantiza que los modos de radiación propagados por la región del revestimiento no se detectarán después de haber recorrido una distancia corta a lo largo de la fibra. El supresor de modos propagados por el revestimiento a menudo consiste en un material con un índice de refracción igual o mayor que el del revestimiento de la fibra. Este puede ser un fluido de adaptación de índice aplicado directamente cerca de los extremos de la fibra no revestida: en algunas circunstancias, el propio revestimiento de la fibra podrá realizar esta función.

### 6.6.1.2.2 Mezclador de modos

Antes del filtro de modos debe inyectarse una distribución de potencia uniforme. Para una fuente del tipo LED o láser que no lo hace así, es necesario utilizar un mezclador de modos. El mezclador de modos incluye una configuración de fibras adecuada (por ejemplo, secuencia de perfil de índice de refracción del tipo escalón-gradual-escalón).

### 6.6.1.3 Ejemplos de condiciones de inyección

#### 6.6.1.3.1 Filtros de modo

Normalmente se utilizan dos tipos de filtros de modo:

- *Filtro de modos de fibra ficticia*

Se elige una fibra de un tipo similar a la fibra de prueba. La fibra debe ser de longitud suficiente (típicamente igual o mayor que 1 km) de forma que la distribución de potencia transportada por la fibra se encuentre en estado estacionario.

- *Filtro de modos enrollado en mandril*

El filtro de modo tiene la forma de un mandril alrededor del cual se dan algunas vueltas (típicamente tres o cinco vueltas) de la fibra en prueba con una tensión baja. El diámetro del mandril se selecciona de forma que se garantice que los modos transitorios que se excitan en la fibra bajo prueba se atenúan hasta alcanzar el estado estacionario. Se utiliza una medición de campo lejano para comparar la distribución de potencia que existe a una distancia grande de la fibra de prueba (mayor de 1 km), que ha sido excitada mediante una fuente con desbordamiento uniforme, con la distribución de potencia que existe en la fibra a una distancia corta del mandril. El diámetro del mandril debe ser tal que a una distancia corta se

produzca una distribución de campo lejano que se aproxime a la distribución de potencia del campo lejano que se produce a una distancia grande.

La apertura numérica del diagrama de radiación a corta distancia estar comprendida entre el 94% y el 100% de la apertura numérica a una distancia larga.

El diámetro del mandril puede ser distinto para diferentes fibras, en función de la fibra y del tipo de revestimiento. Una disposición típica consiste en diámetros de 15 mm a 40 mm con cinco vueltas de fibra a lo largo de 20 mm de mandril.

### 6.6.1.3.2 Inyección mediante dispositivos ópticos geoméricamente dispuestos

Una inyección en espacio de fase limitada (LPS, *limited phase space*) se define como una inyección que se realiza mediante una disposición geométrica de ésta tal que se ocupa el 70% del diámetro de la fibra de prueba y el 70% de la apertura numérica de la misma. Se consigue así la máxima distribución de potencia inyectada mediante dispositivos ópticos geoméricamente dispuestos que no inyecta potencia en modos de fuga no limitados. Por lo tanto, para una fibra de 50/125  $\mu\text{m}$  multimodo de índice gradual de apertura numérica 0,2, la condición de inyección LPS consiste en una punto de concentración de 35  $\mu\text{m}$  y una apertura numérica de 0,14.

En la figura 6 se muestra un ejemplo de los dispositivos ópticos necesarios para producir la inyección LPS. Es importante garantizar que el eje del haz de inyección coincida con el eje de la fibra, de forma que el cono de luz de concentración y de incidencia estén centrados respecto al núcleo de la fibra. Asimismo, el sistema óptico se dispondrá para unas longitudes de onda de funcionamiento que aseguren unas mediciones adecuadas.

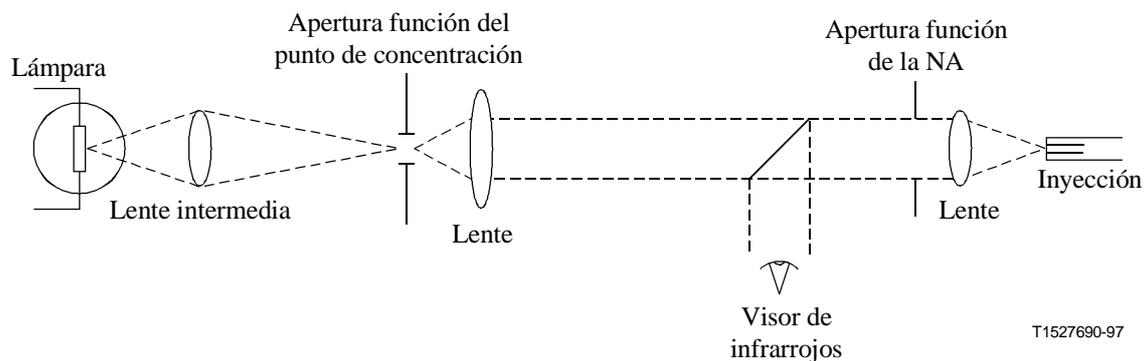
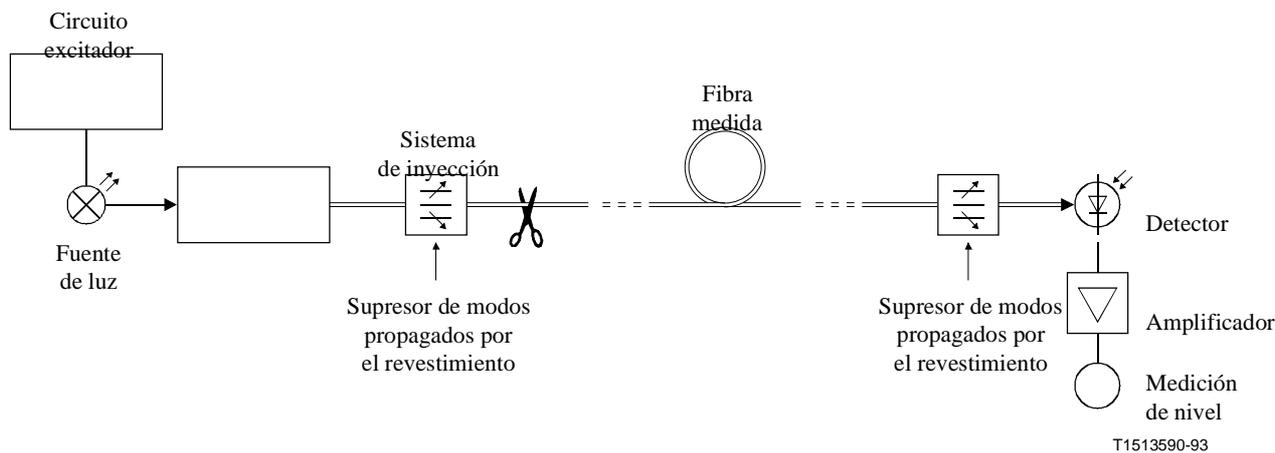


Figura 6/G.651 – Óptica para inyección en espacio de fase limitada

## 6.6.2 Equipo y procedimiento

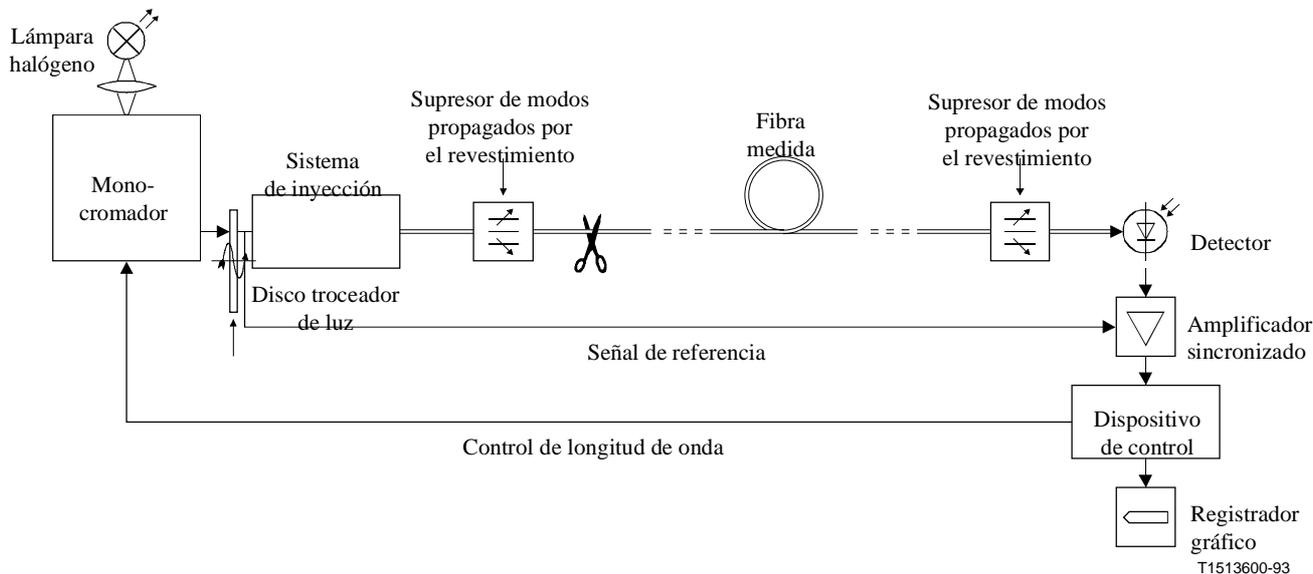
### 6.6.2.1 Tipos de mediciones

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 7 y 8 se presentan, a título de ejemplo, equipos de prueba adecuados.



**Figura 7/G.651 – Montaje del equipo de prueba utilizado para realizar mediciones de atenuación en longitudes de onda discretas**

**Montaje del equipo de prueba utilizado para obtener la pérdida de espectro**



**Figura 8/G.651 – Técnica de la fibra cortada**

### 6.6.2.2 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 total entre puntos de amplitud mitad 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.

### 6.6.2.3 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.

### 6.6.2.4 Montaje de inyección

Véase 6.6.1.

### 6.6.2.5 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 m 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  $P_2$ .

### 6.6.3 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.

## 6.7 Primer método de medición alternativo: técnica de la pérdida de inserción

### 6.7.1 Condiciones de inyección

Las condiciones de inyección requeridas son similares a las indicadas en 6.6.1.

## 6.7.2 Equipo y procedimiento

### 6.7.2.1 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 9 se muestra el diagrama de una configuración de prueba adecuada [a) calibración, b) medición].

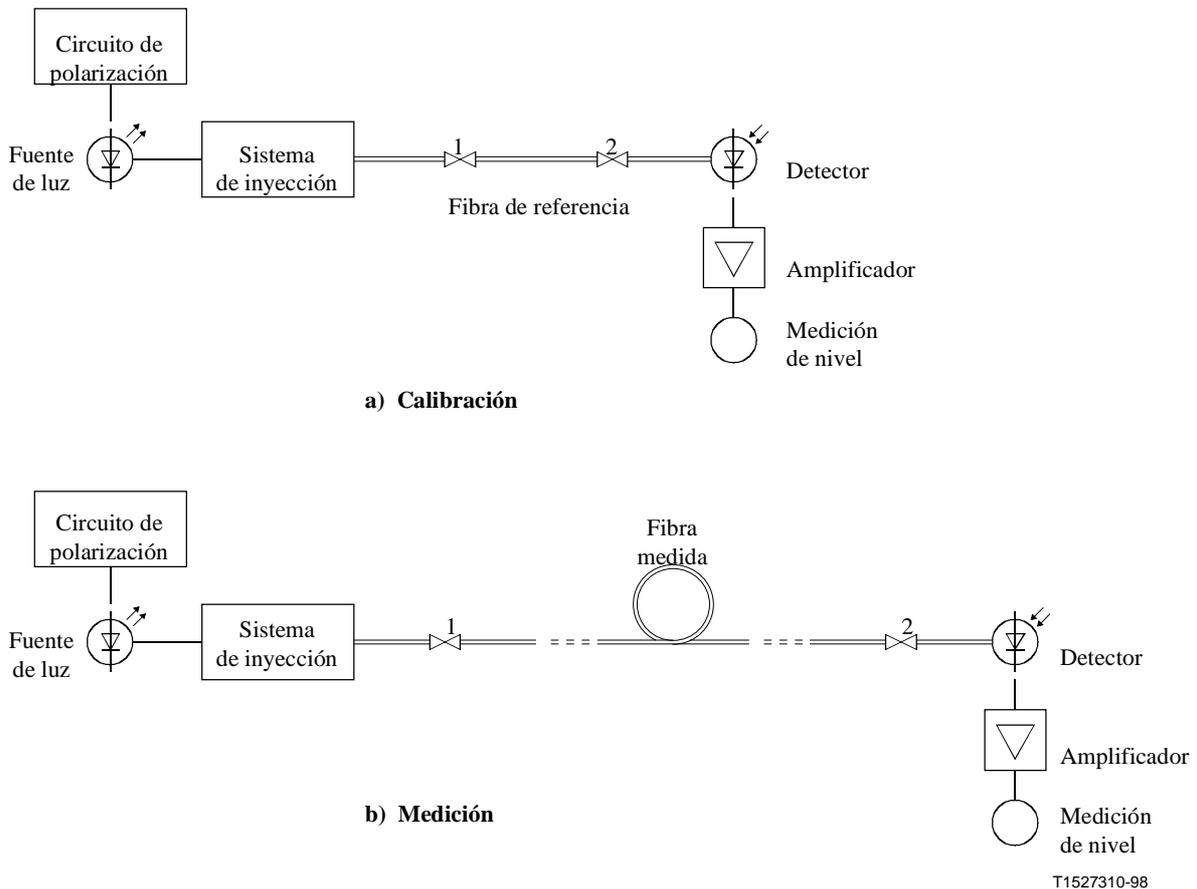


Figura 9/G.651 – Técnica de la pérdida de inserción

### 6.7.2.2 Fuente óptica

Véase 6.6.2.2.

### 6.7.2.3 Detector óptico

Véase 6.6.2.3.

### 6.7.2.4 Montaje de inyección

Véase 6.6.1.

### 6.7.2.5 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.

### 6.7.2.6 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 6.5.2. 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.

### 6.7.3 Presentación de los resultados

Deberán indicarse los siguientes pormenores:

- a) tipo y características 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;
- g) atenuación medida (para la muestra) a la longitud de onda seleccionada;
- h) atenuación del conector y su tolerancia;
- i) atenuación en dB. Es posible, en algunos casos, convertir ésta en un coeficiente de atenuación en dB/km;
- j) 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.

## 6.8 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.

### 6.8.1 Condiciones de inyección

Para la medición de la atenuación pueden aplicarse las técnicas descritas en 6.6.1. 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.

### 6.8.2 Equipo y procedimiento

#### 6.8.2.1 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 10 a).

### 6.8.2.2 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.

### 6.8.2.3 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.

### 6.8.2.4 Montaje de inyección

Véanse 6.6.1 y 6.8.1.

### 6.8.2.5 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 10 b) muestra una curva típica.
- 3) Si la curva registrada tiene una pendiente aproximadamente constante [zona 2 de la figura 10 b)], la atenuación entre dos puntos *A* y *B* de la curva, que corresponden a dos secciones transversales de la fibra, viene dada por

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

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.

### 6.8.3 Presentación de los resultados

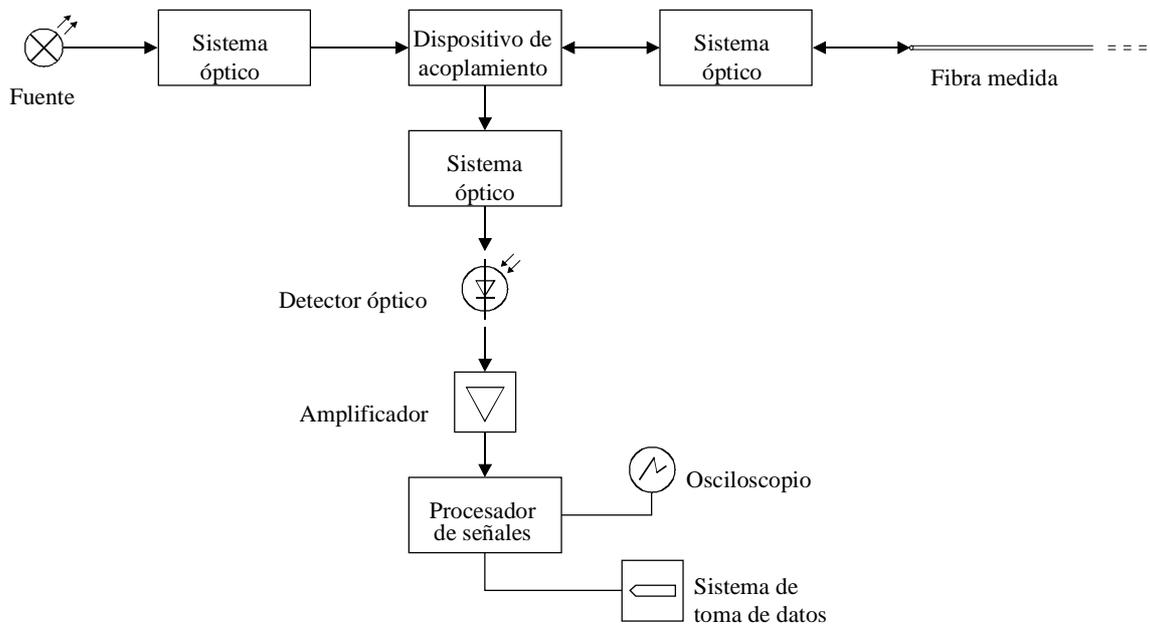
Deberán indicarse los siguientes pormenores:

- 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;

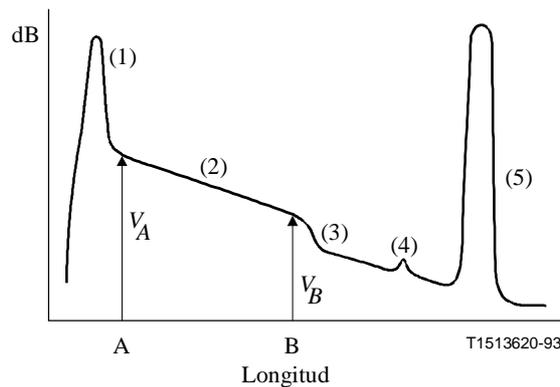
- g) tiempo de subida, anchura, y frecuencia de repetición de los impulsos;
- h) tipo de tratamiento de señal utilizado;
- i) la curva registrada en una escala logarítmica, con la atenuación de la muestra, y en ciertas condiciones el coeficiente de atenuación en dB/km.

Un análisis completo de la curva registrada en la figura 10 b) 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.



a) Esquema del equipo



b) Ejemplo de curva de potencia retroesparcida

**Figura 10/G.651 – Técnica del retroesparcimiento**

## 6.9 Método de prueba de referencia para mediciones de la respuesta de banda de base

### 6.9.1 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 relación, 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.

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.

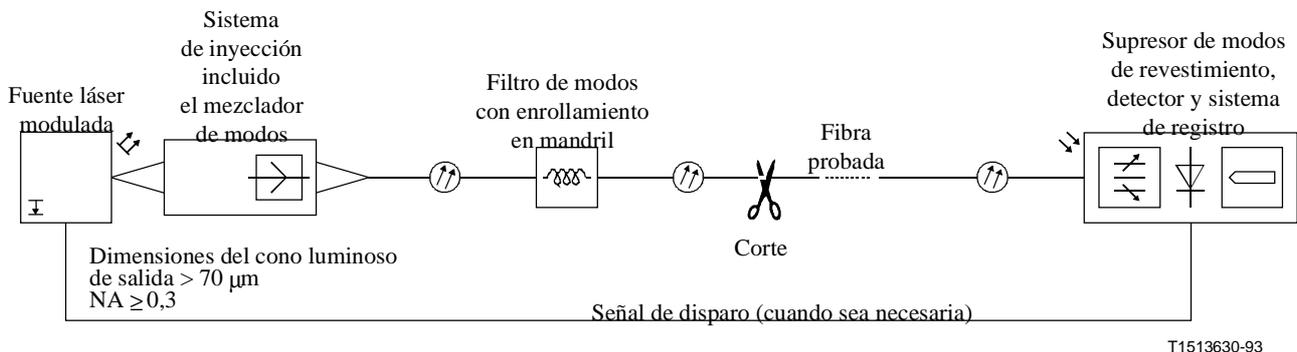
Para minimizar las variaciones de medición asociadas con respuestas en banda de base de forma irregular, puede ajustarse una función gaussiana a la respuesta en banda base  $G(f)$ .

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

## 6.10 Método de prueba de referencia

### 6.10.1 Aparato de prueba

La figura 11 muestra un diagrama esquemático de la configuración de prueba.



**Figura 11/G.651 – Configuración de prueba típica**

#### 6.10.1.1 Fuente luminosa

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

**Cuadro 1/G.651 – Anchura entre raya de intensidad mitad de la fuente luminosa**

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

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.

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.

#### **6.10.1.2 Condiciones de inyección**

La condición de medición adecuada puede obtenerse por 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.

#### **6.10.1.3 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.

#### **6.10.1.4 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.

### **6.10.2 Procedimiento**

#### **6.10.2.1 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.

#### **6.10.2.2 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.

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.

### 6.10.3 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 de la raya 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  $B_{\text{modal}}$  (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:

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

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 de amplitud mitad (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.

## APÉNDICE I

### Algoritmo para los parámetros geométricos

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.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.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  $R_g$ .

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



## **SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T**

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie B	Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación
Serie C	Estadísticas generales de telecomunicaciones
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
<b>Serie G</b>	<b>Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales</b>
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedios
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Transmisiones de señales radiofónicas, de televisión y de otras señales multimedios
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	RGT y mantenimiento de redes: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos
Serie Y	Infraestructura mundial de la información
Serie Z	Lenguajes de programación