



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

**UIT-T**

SECTOR DE NORMALIZACIÓN  
DE LAS TELECOMUNICACIONES  
DE LA UIT

**G.650.1**

(06/2004)

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

Características de los medios de transmisión – Cables de  
fibra óptica

---

**Definiciones y métodos de prueba de los  
atributos lineales y determinísticos de fibras y  
cables monomodo**

Recomendación UIT-T G.650.1

---

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

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100–G.199
CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES A TODOS LOS SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORAS	G.200–G.299
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES DE PORTADORAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.300–G.399
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES EN RADIOENLACES O POR SATÉLITE E INTERCONEXIÓN CON LOS SISTEMAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.400–G.449
COORDINACIÓN DE LA RADIOTELEFONÍA Y LA TELEFONÍA EN LÍNEA	G.450–G.499
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.600–G.699
Generalidades	G.600–G.609
Cables de pares simétricos	G.610–G.619
Cables terrestres de pares coaxiales	G.620–G.629
Cables submarinos	G.630–G.649
<b>Cables de fibra óptica</b>	<b>G.650–G.659</b>
Características de los componentes y los subsistemas ópticos	G.660–G.699
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.700–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900–G.999
CALIDAD DE SERVICIO Y DE TRANSMISIÓN – ASPECTOS GENÉRICOS Y ASPECTOS RELACIONADOS AL USUARIO	G.1000–G.1999
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.6000–G.6999
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.7000–G.7999
REDES DIGITALES	G.8000–G.8999

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

## **Recomendación UIT-T G.650.1**

### **Definiciones y métodos de prueba de los atributos lineales y determinísticos de fibras y cables monomodo**

#### **Resumen**

Esta Recomendación contiene definiciones de los parámetros lineales y determinísticos de fibras ópticas y cables monomodo. También contiene métodos de prueba de referencia y métodos de prueba alternativos para la caracterización de dichos parámetros.

Estos métodos de prueba son apropiados en particular para medir en la fábrica los atributos lineales y determinísticos de fibras y cables monomodo. Algunos se pueden utilizar igualmente para caracterizar componentes ópticos discretos.

#### **Orígenes**

La Recomendación UIT-T G.650.1 fue aprobada el 13 de junio de 2004 por la Comisión de Estudio 15 (2001-2004) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

#### **Historia**

- 1993 Se suprimen las definiciones y los métodos de prueba de las Recomendaciones sobre fibras ópticas monomodo, como por ejemplo de la Rec. UIT-T G.652, que se utilizan para producir la versión inicial de la Rec. UIT-T G.650.
- 1997 La segunda versión de la Rec. UIT-T G.650 añade definiciones y métodos de prueba para la dispersión por modo de polarización, así como los apéndices I, II y III. También se añade la determinación mejorada de la longitud de onda de corte (ahora 5.3.1.3.4).
- 2000 La tercera versión estableció métodos de prueba de referencia y alternativos para la dispersión por modo de polarización, se modificaron las definiciones y los métodos de prueba para el error de concentricidad del núcleo (3.4 y 5.2), y se añadió 5.1.4 y los apéndices IV, V y VI.
- 2002 A fin de facilitar el mantenimiento, la Rec. UIT-T G.650 se dividió en varias Recomendaciones con un contenido más limitado. La Rec. UIT-T G.650.2 contiene definiciones y métodos de prueba de los atributos estadísticos y no lineales de fibras y cables monomodo.
- 2004 En la segunda versión de la Rec. UIT-T G.650.1 se incorpora el tercer método de prueba alternativo "Modelización de la atenuación espectral" (cláusula 5.4.4) y el nuevo apéndice III "Ejemplo de modelo de matriz". Estos textos se han tomado de las Recomendaciones para fibras monomodo y se han incorporado en esta Rec. UIT-T G.650.1, así como los procedimientos de adaptación de la dispersión cromática (anexo A).

## PREFACIO

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

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

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

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

## NOTA

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

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

## PROPIEDAD INTELECTUAL

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

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

© UIT 2005

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

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
1 Alcance .....	1
2 Referencias .....	1
2.1 Referencias normativas .....	1
2.2 Referencias informativas .....	1
3 Términos y definiciones .....	2
3.1 Definiciones generales.....	2
3.2 Características mecánicas.....	2
3.3 Características del campo modal .....	2
3.4 Características del revestimiento .....	3
3.5 Definiciones relativas a la dispersión cromática .....	4
3.6 Otras características.....	4
4 Abreviaturas y acrónimos .....	6
5 Métodos de prueba.....	7
5.1 Métodos de prueba para el diámetro del campo modal.....	7
5.2 Métodos de prueba para el diámetro del revestimiento, el error de concentricidad del campo modal y la no circularidad del revestimiento .....	14
5.3 Métodos de prueba para la longitud de onda de corte.....	24
5.4 Métodos de prueba para la atenuación .....	33
5.5 Métodos de prueba para la dispersión cromática .....	45
5.6 Métodos de prueba mecánica de recepción.....	53
Anexo A – Ajuste de la dispersión cromática.....	57
A.1 Consideraciones generales.....	57
A.2 Definición de las ecuaciones y los coeficientes de ajuste .....	57
A.3 Procedimiento de ajuste.....	58
Apéndice I – Métodos de interpolación de longitud de onda de corte.....	58
I.1 Método del error negativo limitado .....	58
I.2 Método de los mínimos cuadrados .....	60
Apéndice II – Método de prueba para la medición de la uniformidad de la dispersión cromática basada en la técnica de retrodispersión.....	61
II.1 Generalidades .....	61
II.2 Aparatos de prueba .....	61
II.3 Procedimiento de medición .....	62
II.4 Presentación de los resultados .....	65
II.5 Referencias .....	65
Apéndice III – Ejemplo de modelo de matriz .....	65
BIBLIOGRAFÍA .....	67



## Recomendación UIT-T G.650.1

### Definiciones y métodos de prueba de los atributos lineales y determinísticos de fibras y cables monomodo

#### 1 Alcance

Esta Recomendación contiene definiciones y métodos de prueba adecuados principalmente para mediciones de fabricación de los atributos lineales y determinísticos de fibras ópticas y cables monomodo descritos en las Recomendaciones UIT-T G.652, G.653, G.654, G.655 y G.656. En general, las definiciones y los métodos de prueba aquí descritos no son apropiados para las fibras multimodo que son objeto de la Rec. UIT-T G.651. Algunos de los métodos de prueba (se indicará especialmente) también se pueden utilizar para caracterizar componentes ópticos discretos, como los que se describen en la Rec. UIT-T G.671. La Rec. UIT-T G.650.2 contiene definiciones y métodos de prueba de los atributos estadísticos y no lineales.

#### 2 Referencias

##### 2.1 Referencias normativas

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes. En esta Recomendación, la referencia a un documento, en tanto que autónomo, no le otorga el rango de una Recomendación.

##### 2.2 Referencias informativas

- [1] Recomendación UIT-T G.652 (2003), *Características de las fibras y cables ópticos monomodo*.
- [2] Recomendación UIT-T G.653 (2003), *Características de los cables y fibras ópticas monomodo con dispersión desplazada*.
- [3] Recomendación UIT-T G.654 (2004), *Características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado*.
- [4] Recomendación UIT-T G.655 (2003), *Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula*.
- [5] Recomendación UIT-T G.651 (1998), *Características de un cable de fibra óptica multimodo de índice gradual de 50/125  $\mu\text{m}$* .
- [6] Recomendación UIT-T G.671 (2002), *Características de transmisión de los componentes y subsistemas ópticos*.
- [7] CEI 60793-1-42 (2001-07), *Optical fibres – Part 1-42: Measurement methods and test procedures – Chromatic dispersion. Annex C, Differential phase shift test method*.

### 3 Términos y definiciones

En esta Recomendación se definen los términos siguientes.

#### 3.1 Definiciones generales

**3.1.1 perfil de índice de refracción:** Índice de refracción a lo largo de un diámetro de la fibra.

**3.1.2 método de prueba de referencia (RTM, *reference test method*):** Método por el que se mide una característica de una clase específica de fibra óptica o de cable de fibra óptica de una manera que se ajusta estrictamente a la definición de esta característica, que permite obtener resultados precisos, reproducibles y asimilables a la utilización práctica.

**3.1.3 método de prueba alternativo (ATM, *alternative test method*):** Método por el que se mide una característica de una clase específica de fibra óptica o de cable de fibra óptica de una manera que se ajusta a la definición de esta característica, que permite obtener resultados reproducibles y asimilables al método de prueba de referencia y a la utilización práctica.

**3.1.4 supresor de modos de revestimiento:** Dispositivo que favorece la conversión de los modos de revestimiento en modos de radiación.

**3.1.5 filtro de modos:** Dispositivo diseñado para aceptar o rechazar un modo o unos modos determinados.

#### 3.2 Características mecánicas

**3.2.1 recubrimiento primario:** Una o más capas de material de recubrimiento de protección aplicadas al revestimiento de la fibra durante el proceso de estirado o después para preservar la integridad de la superficie del revestimiento y proporcionar la protección mínima requerida (por ejemplo, un recubrimiento de protección de 250  $\mu\text{m}$ ).

**3.2.2 recubrimiento secundario:** Una o más capas de material de recubrimiento aplicadas sobre una o más fibras con recubrimiento primario para dar una protección adicional necesaria o disponer las fibras juntas en una estructura particular (por ejemplo, un recubrimiento "tampón" de 900  $\mu\text{m}$ , "envoltura apretada" o un recubrimiento de cinta).

**3.2.3 nivel de prueba de resistencia mecánica:** Valor especificado de resistencia a la tracción o de deformación a la que se somete un tramo completo de fibra durante un breve periodo de tiempo especificado. Esto se hace normalmente de manera secuencial en todo el largo de la fibra.

**3.2.4 parámetro de corrosión por tensión:** El parámetro  $n$  de corrosión por tensión (sensibilidad) es un coeficiente adimensional que refleja empíricamente el efecto de la tensión aplicada en la agravación de las grietas. Depende de la temperatura ambiente, de la humedad y de otras condiciones ambientales.

Para este parámetro puede darse un valor estático y un valor dinámico.

El valor estático  $n_s$  es la pendiente, con signo menos, del gráfico de la fatiga estática en coordenadas doblemente logarítmicas, que representa el fallo en función de la tensión aplicada.

El valor dinámico es  $n_d$ , siendo  $1/(n_d + 1)$  la pendiente del gráfico de la fatiga dinámica en coordenadas doblemente logarítmicas, que representa el fallo en función de la tasa de tensión aplicada.

NOTA – No es indispensable que  $n$  sea un número entero.

#### 3.3 Características del campo modal

**3.3.1 campo modal:** El campo modal es la distribución de campo monomodal del modo  $LP_{01}$  que produce una distribución de intensidad espacial en la fibra.

**3.3.2 diámetro del campo modal (MFD, *mode field diameter*):** El diámetro del campo modal (MFD)  $2w$  representa una medida del alcance transversal de la intensidad de campo electromagnético del modo en una sección transversal, y se define a partir de la distribución de intensidad de campo lejano  $F^2(\theta)$ , siendo  $\theta$  el ángulo de campo lejano, mediante la siguiente ecuación:

$$2w = \frac{\lambda}{\pi} \left[ \frac{2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} F^2(\theta) \sin\theta \cos\theta d\theta}{\int_0^{\frac{\pi}{2}} F^2(\theta) \sin^3\theta \cos\theta d\theta} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3-1)$$

**3.3.3 centro del campo modal:** El centro del campo modal es la posición del centroide de la distribución espacial de intensidad en la fibra.

NOTA 1 – El centroide está situado en  $r_c$ , y es la integral normalizada del vector de posición  $r$ , ponderada según la intensidad:

$$r_c = \frac{\iint_{Area} r I(r) dA}{\iint_{Area} I(r) dA} \quad (3-2)$$

NOTA 2 – La correspondencia entre la posición del centroide que se ha definido y la posición del máximo de la distribución espacial de intensidad queda en estudio.

**3.3.4 error de concetricidad del campo modal:** Distancia entre el centro del campo modal y el centro de la superficie del revestimiento.

**3.3.5 no circularidad del campo modal:** Como normalmente no es necesario medir la no circularidad del campo modal para fines de aceptación, no es necesaria en este contexto una definición de la no circularidad del campo modal.

### 3.4 Características del revestimiento

**3.4.1 revestimiento:** El elemento de vidrio exterior en la sección transversal de la fibra.

**3.4.2 centro del revestimiento:** El centro del revestimiento es el centro del círculo que circunscribe más completamente el contorno del revestimiento.

NOTA – Debe especificarse el método más apropiado. En I.2/G.651 [5] se describe un método posible.

**3.4.3 diámetro del revestimiento:** Diámetro del círculo de referencia para el centro del revestimiento.

**3.4.4 desviación del diámetro de la superficie del revestimiento:** Diferencia entre los valores real y nominal del diámetro del revestimiento.

**3.4.5 campo de tolerancia del revestimiento:** En una sección transversal de la fibra óptica, región entre el círculo que circunscribe el límite exterior del revestimiento y el mayor círculo, concéntrico con el primero, que corresponde al límite exterior del revestimiento. Ambos círculos tendrán el mismo centro que el revestimiento.

**3.4.6 no circularidad del revestimiento:** Diferencia entre los diámetros de los dos círculos definidos por el campo de tolerancia del revestimiento, dividida por el diámetro nominal del revestimiento.

**3.4.7 centro del núcleo:** El centro del núcleo es el centro del círculo que mejor corresponde a los puntos con un nivel constante del diagrama de intensidad de campo cercano emitido desde la región central de la fibra, utilizando longitudes de onda superiores o inferiores a la longitud de onda de corte de la fibra.

NOTA 1 – Este nivel constante debe elegirse entre el 5% y el 50% de la máxima intensidad del campo cercano.

NOTA 2 – Normalmente el centro del núcleo representa una buena aproximación al centro del campo modal.

**3.4.8 error de concentricidad del núcleo:** Es la distancia entre el centro del núcleo y el centro del revestimiento.

### 3.5 Definiciones relativas a la dispersión cromática

**3.5.1 dispersión cromática:** Diseminación de un impulso luminoso en una fibra óptica por las diferentes velocidades de grupo de las diferentes longitudes de onda que componen el espectro de la fuente.

**3.5.2 retardo de grupo:** Tiempo que un impulso luminoso necesita para recorrer una unidad de longitud de la fibra. El símbolo de este retardo de grupo en función de la longitud de onda es  $\tau(\lambda)$ . Generalmente se expresa en ps/km.

**3.5.3 coeficiente de dispersión cromática:** Variación del retardo de grupo de un impulso luminoso en una unidad de longitud de fibra causada por una unidad de variación de longitud de onda. Por tanto, el símbolo del coeficiente de dispersión cromática es  $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ . Generalmente se expresa en ps/nm  $\times$  km.

**3.5.4 pendiente de dispersión cromática:** Pendiente del coeficiente de dispersión cromática en función de la curva de longitud de onda a la longitud de onda. La definición de la pendiente de dispersión es  $S(\lambda) = dD/d\lambda$ .

**3.5.5 longitud de onda de dispersión nula:** Longitud de onda a la que desaparece la dispersión cromática.

**3.5.6 pendiente de dispersión cero:** La pendiente de dispersión cromática en el valor de longitud de onda de cero dispersión.

### 3.6 Otras características

**3.6.1 longitud de onda de corte:** La longitud de onda de corte teórica es la longitud de onda más pequeña a la que puede propagarse un modo único en una fibra monomodo. Este parámetro puede calcularse a partir del perfil del índice de refracción de la fibra. A longitudes de onda inferiores a la longitud de onda de corte teórica, pueden propagarse varios modos y la fibra ya no es monomodo, sino multimodo.

En las fibras ópticas, el cambio de comportamiento multimodo a monomodo no se produce a una longitud de onda determinada, sino de forma suave a lo largo de una gama de longitudes de onda. Por consiguiente, para determinar la calidad de funcionamiento de la fibra en una red de telecomunicaciones, la longitud de onda de corte teórica es menos útil que la longitud de onda umbral real para la calidad de funcionamiento monomodo cuando la fibra está en funcionamiento. De esta forma, se introducirá un parámetro más efectivo denominado longitud de onda de corte para especificaciones de fibra monomodo, que se define a continuación:

La longitud de onda de corte se define como la longitud de onda mayor que aquella para la cual la relación entre la potencia total, incluida la de los modos de orden superior inyectados, y la potencia del modo fundamental disminuye a menos de 0,1 dB. Con arreglo a esta definición, el modo de segundo orden (LP<sub>11</sub>) sufre 19,3 dB más atenuación que el modo fundamental (LP<sub>01</sub>) con la misma excitación.

Como la longitud de onda de corte depende de la longitud de la fibra, de los pliegues y la deformación, el valor resultante de la longitud de onda de corte será diferente para una fibra instalada en cable y para una fibra corta y no cableada. Por consiguiente, hay tres tipos de longitud de onda de corte definidos: **longitud de onda de corte del cable**, **longitud de onda de corte de la fibra**, y **longitud de onda de corte del cable puente**.

**longitud de onda de corte del cable**  $\lambda_{cc}$  – La longitud de onda de corte de un cable se mide antes de la instalación en un tramo de cable de 22 m prácticamente recto que se prepara descubriendo 1 m de fibra con recubrimiento primario, donde en cada uno de los extremos descubierto se incorpora un bucle de 40 mm de radio. Alternativamente, este parámetro puede medirse en 22 m de fibra no cableada con recubrimiento primario holgadamente constreñida en bucles de radio  $> 140$  mm, incorporando un bucle de 40 mm de radio en cada extremo.

Pueden utilizarse configuraciones alternativas si se demuestra que los resultados empíricos son equivalentes dentro de 10 nm, o bien son mayores que los obtenidos con las configuraciones de muestra. Por ejemplo, dos bucles de 40 mm de radio en un largo de 2 metros de fibra no cableada satisfacen el criterio equivalente en algunos diseños de fibra y de cable.

**longitud de onda de corte de la fibra**  $\lambda_c$  – La longitud de onda de corte de una fibra se mide en una fibra con recubrimiento primario no cableada en la siguiente configuración: 2 metros, con un bucle de 140 mm de radio (o equivalente, por ejemplo, mandril dividido) holgadamente constreñido, manteniendo el resto de la fibra prácticamente recto.

**longitud de onda de corte del cable puente**  $\lambda_{cj}$  – La longitud de onda de corte de un cable puente se mide en un cable puente en la siguiente configuración: 2 metros, con un bucle de x mm de radio (algunas Administraciones especifican un radio x de 76 mm) o un equivalente (por ejemplo, mandril dividido), manteniendo el resto del cable puente recto.

A fin de evitar aumentos no deseados del ruido y de la dispersión, la longitud de onda de corte  $\lambda_{cc}$  del tramo de cable más corto (incluidos los tramos de reparación, si los hubiere) debe ser inferior al menor valor previsto de la longitud de onda del sistema,  $\lambda_s$ :

$$\lambda_{cc} < \lambda_s \quad (3-3)$$

Con esto se asegura que cada sección de cable será suficientemente monomodal. En todo empalme que no sea perfecto se producirá alguna potencia de un modo de orden superior ( $LP_{11}$ ) y, normalmente, las fibras monomodo permiten la propagación de este modo en una distancia corta (de unos cuantos metros, según las condiciones de instalación). En consecuencia, hay que especificar una distancia mínima entre las uniones (o empalmes), a fin de que la fibra sea lo suficientemente larga para atenuar el modo  $LP_{11}$  antes de que éste llegue a la unión siguiente. Si se cumple la desigualdad (3-3) para la sección de cable más corta, se cumplirá automáticamente para todas las secciones de cables de mayor longitud, y el sistema tendrá un comportamiento monomodal cualquiera que sea la longitud de la sección elemental de cable.

La longitud de onda de corte de la fibra y el diámetro del campo modal pueden combinarse para estimar una sensibilidad a la flexión de la fibra. Una elevada longitud de onda de corte y un pequeño diámetro del campo modal producen una fibra más resistente a la flexión, lo cual explica por qué es deseable a menudo especificar valores superiores de la longitud de onda de corte  $\lambda_c$ , aun si el límite superior de este parámetro supera la longitud de onda de trabajo. Todas las técnicas de instalación prácticas y diseños de cable asegurarán una longitud de onda de corte del cable por debajo de la longitud de onda de trabajo.

Dado que la especificación de la longitud de onda de corte del cable,  $\lambda_{cc}$ , es una forma más directa de asegurar el funcionamiento monomodal de un cable, se prefiere especificar este valor y no la longitud de onda de corte de la fibra,  $\lambda_c$ . Sin embargo, cuando las circunstancias no permitan especificar fácilmente  $\lambda_{cc}$ , (por ejemplo, en un cable de una sola fibra, tales como rabillos de fibra,

puentes o cables que hay que instalar de una manera considerablemente diferente que en el método de prueba de referencia (RTM de la  $\lambda_{cc}$ ), se podrá especificar un límite superior de  $\lambda_{cj}$  o  $\lambda_c$ . Esta opción se trata en las Recomendaciones UIT-T G.652 [1], G.653 [2], G.654 [3] y G.655 [4].

**3.6.2 atenuación:** La atenuación  $A(\lambda)$  a una longitud de onda  $\lambda$  entre dos secciones 1 y 2 transversales de una fibra, separadas por una distancia  $L$ , se define como sigue:

$$A(\lambda) = 10 \log \frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)} \text{ (dB)} \quad (3-4)$$

donde  $P_1(\lambda)$  es la potencia óptica que atraviesa la sección transversal 1, y  $P_2(\lambda)$  la potencia óptica que atraviesa la sección transversal 2 a la longitud de onda  $\lambda$ .

Se puede definir una atenuación por unidad de longitud para una fibra uniforme, o un coeficiente de atenuación independiente de la longitud de fibra:

$$a(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{L} \text{ (dB/unidad de longitud)} \quad (3-5)$$

#### 4 Abreviaturas y acrónimos

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

ATM	Método de prueba alternativo ( <i>alternative test method</i> )
DGD	Retardo de grupo diferencial ( <i>differential group delay</i> )
DWDM	Multiplexación por división en longitud de onda densa ( <i>dense wavelength division multiplexing</i> )
ECL	Láser de cavidad externa ( <i>external cavity laser</i> )
FWHM	Anchura espectral entre puntos de amplitud mitad ( <i>full width at half maximum</i> )
Gpa	GigaPascal
LD	Diodo láser ( <i>laser diode</i> )
LED	Diodo fotoemisor ( <i>light emitting diode</i> )
MFCE	Error de concentricidad de campo modal ( <i>mode field concentricity error</i> )
MFD	Diámetro del campo modal ( <i>mode field diameter</i> )
NFP	Diagrama de campo próximo ( <i>near-field pattern</i> )
OTDR	Reflectómetro óptico en el ámbito temporal ( <i>optical time domain reflectometer</i> )
PMD	Dispersión por modo de polarización ( <i>polarization mode dispersion</i> )
PS	Pantalla esférica de Poincaré ( <i>Poincaré-sphere</i> )
PSP	Estado de polarización principal ( <i>principal state of polarization</i> )
RTM	Método de prueba de referencia ( <i>reference test method</i> )
SOP	Estado de polarización ( <i>state of polarization</i> )
TBD	Por determinar ( <i>to be determined</i> )
WDM	Multiplexación por división en longitud de onda ( <i>wavelength division multiplexing</i> )

## 5 Métodos de prueba

En esta cláusula se indican normalmente, para cada parámetro, tanto el método de prueba de referencia (RTM, *reference test method*) como uno o varios métodos de prueba alternativos (ATM, *alternative test method*), entendiéndose que tanto el RTM como los ATM pueden resultar adecuados para los fines normales de aceptación de productos. Sin embargo, si al emplear un ATM surgiese cualquier discrepancia, se recomienda emplear el RTM para obtener los resultados de medición definitivos.

NOTA – El aparato y el procedimiento indicados abarcan solamente las características básicas esenciales de los métodos de prueba. Se supone que la instrumentación detallada incluirá todas las medidas necesarias para asegurar la estabilidad, la eliminación del ruido, la relación señal/ruido, etc.

### 5.1 Métodos de prueba para el diámetro del campo modal

#### 5.1.1 Método de prueba de referencia: Exploración de campo lejano

##### 5.1.1.1 Generalidades

El diámetro del campo modal se determina a partir de la distribución de intensidad de campo lejano  $F^2(\theta)$ , de acuerdo con la definición que aparece en 3.3.2. Los límites de integración presentados son 0 y  $\pi/2$ , pero se entiende que esta notación implica acotar las integrales en el límite del argumento creciente. Aunque el máximo valor físico del argumento  $\theta$  es  $\pi/2$ , los integrandos se aproximan rápidamente a cero antes de alcanzar este valor. En 5.1.1.2.6 se discute el error relativo en la determinación del diámetro del campo modal, que resulta de esta acotación.

##### 5.1.1.2 Aparato de prueba

En la figura 1 se presenta un diagrama esquemático del aparato de prueba.

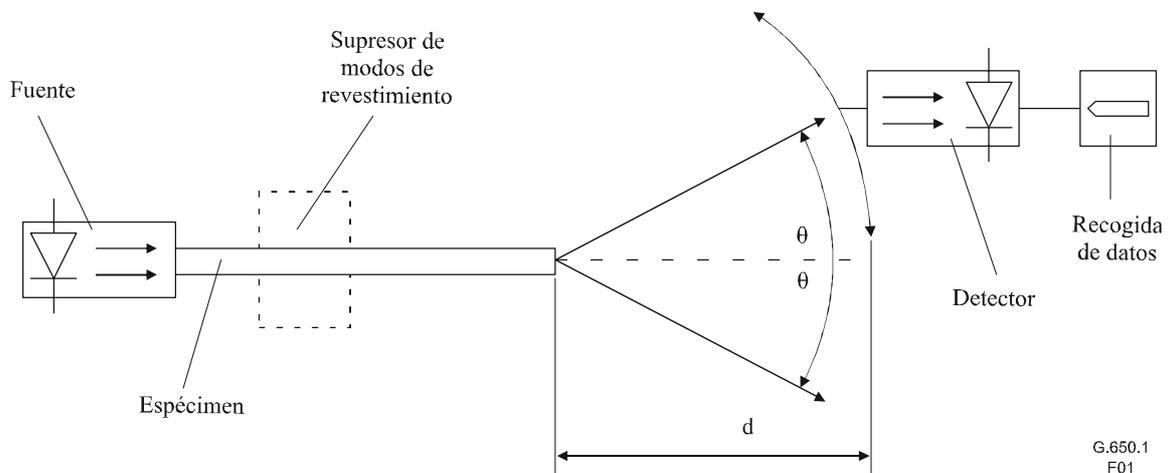


Figura 1/G.650.1 – Configuración de prueba típica de la exploración de campo lejano

##### 5.1.1.2.1 Fuente luminosa

La fuente luminosa será estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. Las características espectrales de la fuente deben elegirse de manera que se excluya el funcionamiento multimodo. La anchura espectral entre puntos de amplitud mitad (FWHM, *full width half maximum*) no será superior a 10 nm.

### **5.1.1.2.2 Modulación**

Suele modularse la fuente luminosa para mejorar la relación señal/ruido en el receptor. De adoptarse este procedimiento, el detector debe conectarse a un sistema de procesamiento de señales sincronizado con la frecuencia de modulación de la fuente. La característica de sensibilidad del sistema de detección debe ser prácticamente lineal.

### **5.1.1.2.3 Condiciones de inyección**

Las condiciones de inyección empleadas deben ser suficientes para excitar el modo fundamental ( $LP_{01}$ ). Ejemplos de técnicas de inyección adecuadas:

- a) la unión con una fibra;
- b) la inyección con un sistema óptico adecuado.

Se tendrá cuidado de que no se propaguen modos de orden superior. En algunos casos será necesario introducir un bucle de radio adecuado u otro filtro de modos para suprimir los modos de orden superior.

### **5.1.1.2.4 Supresores de modos de revestimiento**

Se tomarán precauciones para evitar la propagación y detección de modos de revestimiento.

### **5.1.1.2.5 Espécimen**

El espécimen será un tramo corto de la fibra óptica a medir. Se retirará el recubrimiento primario de la sección de la fibra inserta en el supresor de modos, si se utiliza. Los extremos de la fibra estarán limpios, lisos y perpendiculares a los ejes de la fibra. Se recomienda que las caras terminales estén limpias y sean planas y perpendiculares a los ejes de la fibra, con una tolerancia de  $1^\circ$ .

### **5.1.1.2.6 Aparato de exploración**

Se utilizará un mecanismo para explorar la distribución de intensidad de campo lejano (por ejemplo, un fotodetector de exploración con apertura de micro-orificio o un fotodetector de exploración de rabillo de fibra). El detector debe estar al menos a 10 mm del extremo de la fibra y la superficie activa del detector no debe subtender un ángulo demasiado grande en el campo lejano. Esto puede conseguirse colocando el detector a una distancia del extremo de fibra superior a  $40wb/\lambda$ , donde  $2w$  es el diámetro del campo modal previsto de la fibra que ha de medirse y  $b$  es el diámetro de la superficie activa del detector.

La gama dinámica mínima de la medición debe ser de 50 dB, lo que corresponde a un semiángulo de exploración máximo de  $20^\circ$  y  $25^\circ$ , o superior, para las fibras conformes a las Recomendaciones UIT-T G.652 [1] y G.653 [2], respectivamente.

NOTA 1 – La reducción de estas condiciones de gama dinámica (o del semiángulo de exploración máximo) puede producir errores. Por ejemplo, si se restringen los valores de las fibras G.652 a 30 dB y  $12,5^\circ$ , y los valores de las fibras G.653 a 40 dB y  $20^\circ$ , en la determinación del MFD podría resultar un error relativo superior al 1%.

NOTA 2 – Para las fibras G.654 cabe hacer las mismas consideraciones que para las fibras G.652.

### **5.1.1.2.7 Detector**

Se utilizará un detector adecuado, que debe tener una característica de sensibilidad lineal.

### **5.1.1.2.8 Amplificador**

Se utilizará un amplificador para poder aumentar el nivel de señal.

### **5.1.1.2.9 Recogida de datos**

El nivel de señal medido se registrará y procesará con arreglo a la técnica utilizada.

### 5.1.1.3 Procedimiento de 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 dispositivo de salida apropiado.

Debe seguirse el siguiente procedimiento: medir la intensidad de campo lejano  $F^2(\theta)$  haciendo una exploración del detector en pasos fijos no superiores a  $0,5^\circ$  y calcular el diámetro del campo modal por la ecuación 3-1.

### 5.1.1.4 Presentación de los resultados

- a) Configuración de prueba, gama dinámica del sistema de medición, algoritmos de procesamiento, y una descripción de los dispositivos de exploración utilizados (incluido el ángulo de exploración).
- b) Condiciones de inyección.
- c) Longitud de onda y anchura espectral de la fuente entre puntos de amplitud mitad de la fuente.
- d) Identificación y longitud de la fibra.
- e) Tipo de supresor de modos de revestimiento.
- f) Tipo y dimensiones del detector.
- g) Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando es necesario).
- h) Indicación de exactitud y repetibilidad.
- i) Diámetro del campo modal.

## 5.1.2 Primer método de prueba alternativo: Técnica de apertura variable

### 5.1.2.1 Generalidades

El diámetro del campo modal se determina a partir de la función de transmisión de potencia complementaria,  $a(x)$ , (donde  $x = D \cdot \tan \theta$  es el radio de apertura y  $D$  la distancia entre la apertura y la fibra):

$$2w = (\lambda / \pi D) \left[ \int_0^\infty a(x) \frac{x}{(x^2 + D^2)^2} dx \right]^{-1/2} \quad (5-1)$$

La equivalencia matemática de las ecuaciones 3-1 y 5-1 es válida en la aproximación de pequeños ángulos  $\theta$ . En esta aproximación, la ecuación 5-1 puede obtenerse de la ecuación 3-1 por integración.

### 5.1.2.2 Aparato de prueba

#### 5.1.2.2.1 Fuente luminosa (igual que 5.1.1.2.1)

#### 5.1.2.2.2 Modulación (igual que 5.1.1.2.2)

#### 5.1.2.2.3 Condiciones de inyección (igual que 5.1.1.2.3)

#### 5.1.2.2.4 Supresor de modo de revestimiento (igual que 5.1.1.2.4)

#### 5.1.2.2.5 Espécimen (igual que 5.1.1.2.5)

#### 5.1.2.2.6 Aparato de apertura

Debe utilizarse un mecanismo que tenga como mínimo 12 aperturas en la gama de semiángulos de apertura numérica de 0,02 a 0,25 (0,4 en el caso de las fibras consideradas en la Rec. UIT-T G.653 [2]). La señal luminosa transmitida por la apertura es captada y enfocada hacia el detector.

NOTA – La apertura numérica (NA, *numerical aperture*) de los dispositivos ópticos de captación debe ser lo suficientemente elevada para no afectar los resultados de la medición.

**5.1.2.2.7 Detector** (igual que 5.1.1.2.7)

**5.1.2.2.8 Amplificador** (igual que 5.1.1.2.8)

**5.1.2.2.9 Registro de datos** (igual que 5.1.1.2.9)

### 5.1.2.3 Procedimiento de medición

El extremo de inyección de la fibra deberá alinearse con el haz de inyección y el extremo de salida de la fibra se alineará con el dispositivo de salida apropiado.

Debe aplicarse el siguiente procedimiento: se mide la potencia transmitida por cada apertura,  $P(x)$ , y se determina la función de transmisión de apertura complementaria mediante la siguiente fórmula:

$$a(x) = 1 - \frac{P(x)}{P_{\text{máx}}} \quad (5-2)$$

donde  $P_{\text{máx}}$  es la potencia transmitida por la mayor apertura y  $x$  es el radio de la apertura. El diámetro del campo modal se calcula a partir de la ecuación 5-1.

### 5.1.2.4 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes pormenores:

- a) configuración de prueba, gama dinámica del sistema de medición, algoritmos de procesamiento y descripción del conjunto de apertura utilizado (incluyendo la apertura numérica);
- b) condiciones de inyección;
- c) longitud de onda y anchura espectral de la fuente entre puntos de amplitud mitad de la fuente;
- d) identificación y longitud de la fibra;
- e) tipo de supresor de modos de revestimiento;
- f) tipo y dimensiones del detector;
- g) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando sea necesario);
- h) indicación de exactitud y repetibilidad;
- i) diámetro del campo modal.

## 5.1.3 Segundo método de prueba alternativo: Exploración de campo próximo

### 5.1.3.1 Generalidades

El diámetro del campo modal se determina a partir de la distribución de intensidad de campo próximo  $f^2(r)$  (siendo  $r$  la coordenada radial):

$$2w = 2 \left[ \frac{\int_0^{\infty} r f^2(r) dr}{\int_0^{\infty} r \left[ \frac{df(r)}{dr} \right]^2 dr} \right]^{1/2} \quad (5-3)$$

La equivalencia matemática de las ecuaciones 3-1 y 5-3 es válida en la aproximación de pequeños ángulos  $\theta$ . En esta aproximación, el campo próximo  $f(r)$  y el campo lejano  $F(\theta)$  forman un par de Hankel. Por medio de la transformada de Hankel es posible pasar de la ecuación 3-1 a la ecuación 5-3 y viceversa.

### **5.1.3.2 Aparato de prueba**

**5.1.3.2.1 Fuente luminosa** (igual que 5.1.1.2.1)

**5.1.3.2.2 Modulación** (igual que 5.1.1.2.2)

**5.1.3.2.3 Condiciones de inyección** (igual que 5.1.1.2.3)

**5.1.3.2.4 Supresores de modos de revestimiento** (igual que 5.1.1.2.4)

**5.1.3.2.5 Espécimen** (igual que 5.1.1.2.5)

### **5.1.3.2.6 Aparato de exploración**

Se empleará un dispositivo óptico de ampliación (por ejemplo, un objetivo de microscopio) para ampliar y enfocar una imagen del campo próximo de la fibra en el plano de un detector de exploración (por ejemplo, un fotodetector de exploración con una apertura de micro-orificio y un fotodetector de rabillo de exploración). La apertura numérica y la ampliación se seleccionarán de manera compatible con la resolución espacial deseada. Para la calibración, el aumento del dispositivo óptico debe haberse medido explorando la longitud de un espécimen cuyas dimensiones son conocidas independientemente con suficiente exactitud.

**5.1.3.2.7 Detector** (igual que 5.1.1.2.7)

**5.1.3.2.8 Amplificador** (igual que 5.1.1.2.8)

**5.1.3.2.9 Registro de datos** (igual que 5.1.1.2.9)

### **5.1.3.3 Procedimiento de 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 dispositivo de salida apropiado.

Debe aplicarse el siguiente procedimiento: el campo próximo de la fibra es ampliado por el dispositivo óptico de aumento y se enfoca en el plano del detector. El enfoque se efectuará con la máxima exactitud a fin de reducir los errores dimensionales debidos a la exploración de una imagen desenfocada. Se explora la distribución de intensidad de campo próximo,  $f^2(r)$  y se calcula el diámetro del campo modal por la ecuación 5-3. Otra posibilidad sería transformar la distribución de intensidad de campo próximo  $f^2(r)$  en el dominio del campo lejano utilizando una transformada de Hankel y el campo transformado resultante  $F^2(\theta)$  puede utilizarse para calcular el diámetro del campo modal por la ecuación 3-1.

NOTA – Distinguir la coordenada radial  $r$  en la cara extrema de la fibra y la coordenada radial  $M_r$  del detector de exploración en el plano de imagen, siendo  $M$  el aumento.

### **5.1.3.4 Presentación de los resultados**

- a) Configuración de prueba, gama dinámica del sistema de medición, algoritmo de procesamiento y descripción del dispositivo de exploración utilizado (incluida la apertura numérica).
- b) Condiciones de inyección.
- c) Longitud de onda y anchura espectral de la fuente entre puntos de amplitud mitad de la fuente.
- d) Identificación y longitud de la fibra.
- e) Tipo de supresor de modos de revestimiento.

- f) Ampliación del aparato.
- g) Tipo y dimensiones del detector.
- h) Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando sea necesario).
- i) Indicación de exactitud y repetibilidad.
- j) Diámetro del campo modal.

#### 5.1.4 Tercer método de prueba alternativo: Diferencia de retrodispersión bidireccional

##### 5.1.4.1 Generalidades

El diámetro del campo modal se determina a partir de la diferencia de retrodispersión bidireccional a través de un empalme con una fibra de zona muerta con un diámetro de campo modal conocido:

$$w_s = w_d 10^{\frac{g(L_d - L_s) + f}{20}} \quad (5-4)$$

donde:

$w_d$  es el diámetro del campo modal de la fibra de zona muerta

$w_s$  es el diámetro del campo modal de la fibra espécimen

$L_d$  es el cambio que se produce en la retrodispersión (dB) a través del empalme cuando se mide desde la fibra de zona muerta

$L_s$  es el cambio que se produce en la retrodispersión (dB) a través del empalme cuando se mide desde la fibra espécimen

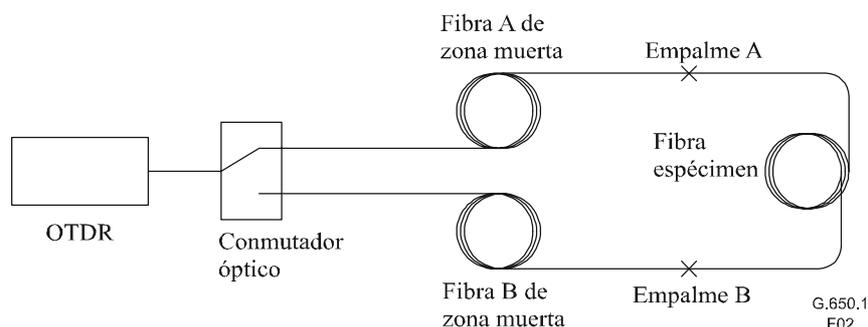
$g$  es un factor de ajuste que depende de la longitud de onda y del diseño de la fibra

$f$  es un factor de ajuste que depende de la longitud de onda y del diseño de la fibra

##### 5.1.4.2 Aparatos de prueba

Es idéntico a 5.4.2.2, pero con los requisitos adicionales siguientes:

En la figura 2 se muestra un diagrama esquemático de un aparato que utiliza un conmutador óptico. La utilización de dicho aparato es facultativa.



**Figura 2/G.650.1 – Aparato facultativo para la retrodispersión bidireccional**

Es necesario conocer la longitud de onda de la fuente del reflectómetro óptico en el dominio del tiempo con una precisión de 2 nm. Una variación de 2 nm introduce un error de aproximadamente 0,02  $\mu\text{m}$  para medidas comprendidas entre 1310 nm y 1550 nm.

La fibra de zona muerta debe ser suficientemente larga para evitar que la región de zona muerta incluya la unión a tope con la fibra espécimen. Para cada longitud de onda para la que se necesiten medidas se mide la MFD de la fibra de zona muerta utilizando el RTM, o el primero o segundo

método alternativo. La fibra de zona muerta tiene normalmente el mismo diseño que la fibra en prueba.

El empalme o la unión a tope deben ser suficientemente estables durante el tiempo necesario para realizar la medida, de tal forma que los resultados no se vean afectados. Para minimizar las reflexiones cuando se utiliza una unión a tope, se recomienda aplicar un fluido de adaptación de índice.

### 5.1.4.3 Procedimiento de medición

Este procedimiento tiene dos partes. La primera corresponde al procedimiento para una fibra y una longitud de onda dadas, conocidos los factores de ajuste  $g$  y  $f$ . El segundo es el procedimiento para cualificar un tipo de fibra y un diseño dados para una longitud de onda determinada. El procedimiento de homologación incluye el cálculo correcto de los factores de ajuste,  $g$  y  $f$ , que permiten la corrección de la variación nominal de la longitud de onda del reflectómetro óptico en el ámbito temporal (OTDR, *optical time domain reflectometer*) nominal. Cuando  $g$  y  $f$  son desconocidos y no es viable la determinación exacta, pueden asumirse valores nominales de 1 y 0 respectivamente.

#### 5.1.4.3.1 Medición de una fibra a una longitud de onda determinada

- Alinear la fibra de modo que la luz se inyecte en la fibra espécimen desde la fibra A de zona muerta (desde el OTDR a través del empalme A hasta la fibra espécimen tal como se muestra en la figura 2).
- Medir el cambio de la retrodispersión a través del empalme (el empalme A de la figura 2) (evitar reflexiones) y registrar el valor como  $L_d$ .
- Alinear la fibra de modo que la luz se inyecte desde la fibra espécimen a la fibra A de zona muerta (desde el OTDR, a través del empalme B hasta la fibra espécimen, y a través del empalme A, tal como se indica en la figura 2).
- Medir el cambio de la retrodispersión a través del empalme (el empalme A de la figura 2) (evitar reflexiones) y registrar este valor como  $L_s$ .
- Calcular el diámetro del campo modal conforme a la ecuación 5-4.

#### 5.1.4.3.2 Cualificación de un tipo de fibra, un determinado diseño y una determinada longitud de onda

- Se selecciona una muestra de fibras del tipo y diseño que se desea medir y para las que se ha medido el diámetro del campo,  $w_s$ , a la longitud de onda deseada utilizando el método de prueba de referencia, o el primer o segundo método alternativo, de tal forma que en la muestra estén representados los rangos de valores del diámetro de campo modal para el tipo de fibra y diseño elegidos.
- Se completa el procedimiento de 5.1.4.3.1, desde a) hasta d), a fin de determinar los cambios que se producen en la retrodispersión a través de los empalmes  $L_d$  y  $L_s$ .
- Se calcula  $20 \log_{10} \left( \frac{w_s}{w_d} \right)$  para cada fibra y se realiza una regresión lineal de la misma en función de  $(L_d - L_s)$  para determinar  $g$  (pendiente) y  $f$  (intercepción).
- Se selecciona un segundo conjunto de muestras de fibras, independiente del primer conjunto, a fin de determinar  $g$  y  $f$ , para los cuales también se ha medido el diámetro de campo modal a la longitud de onda deseada utilizando el método de prueba de referencia o el primer o segundo método alternativo.
- Se realiza enteramente el procedimiento de 5.1.4.3.1, utilizando los valores  $g$  y  $f$  calculados en c) para determinar el diámetro de campo modal,  $w_s$ . Se determina la diferencia respecto

al valor medido con el método de prueba de referencia o el primer o segundo método alternativo.

- f) Se calcula la diferencia media (polarización), y la desviación típica de las diferencias ( $\sigma_d$ ) a fin de determinar si se ha demostrado la equivalencia.
- g) Puede obtenerse una medida aceptable de la equivalencia calculando el nivel de equivalencia, B, donde  $B = |\text{polarización}| + 2 \sigma_d/\sqrt{n}$ , siendo n el tamaño de la muestra. Un valor típico del límite superior de B es  $0,1 \mu\text{m}$ .
- h) Si B supera el límite superior, se recomienda que se realicen ajustes al procedimiento tales como mejorar el empalme o la unión a tope.

#### 5.1.4.4 Presentación de resultados

Para cada fibra medida:

- a) Longitud de onda nominal.
- b) Valor del diámetro del campo modal.
- c) Identificación de la fibra.

Información que debe estar disponible:

- d) Descripción del aparato.
- e) Datos de cualificación para cada tipo de fibra, diseño y longitud de onda.
- f) Indicación de la precisión y repetibilidad.

## 5.2 Métodos de prueba para el diámetro del revestimiento, el error de concentricidad del campo modal y la no circularidad del revestimiento

### 5.2.1 Método de prueba de referencia: Técnica de la imagen del campo próximo transmitido

#### 5.2.1.1 Generalidades

Los parámetros geométricos se determinan a partir de la distribución de intensidad de campo próximo, de acuerdo con las definiciones dadas en 3.4.3, 3.4.6 y 3.4.8.

#### 5.2.1.2 Aparato de prueba

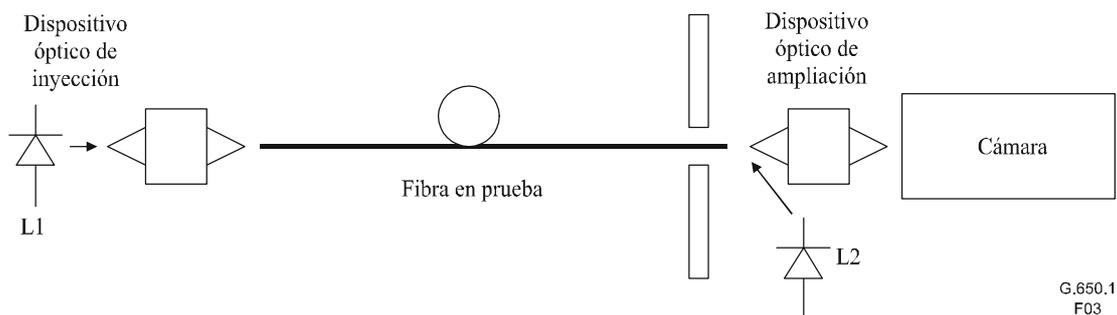


Figura 3/G.650.1 – Esquema del aparato de prueba

#### 5.2.1.2.1 Fuentes de luz

Es necesario que la fuente de luz L1 para la iluminación del núcleo se pueda ajustar en intensidad y sea estable en posición durante un periodo de tiempo suficientemente largo para que se complete el procedimiento de medida. Pueden utilizarse longitudes de onda superiores o inferiores a la longitud de onda de corte de la fibra. Para iluminar el revestimiento se utiliza una segunda fuente de luz, L2, de características similares.

#### **5.2.1.2.2 Condiciones de inyección**

Los dispositivos ópticos de inyección se disponen de tal forma que la luz desborde la fibra uniformemente, tanto espacial como angularmente. En el extremo de salida, el revestimiento se ilumina uniformemente.

NOTA – Las condiciones de inyección desde la fuente L1 serán tales que se produzca una distribución del campo espacial circularmente simétrica a la salida de la fibra.

#### **5.2.1.2.3 Supresor de modos de revestimiento**

La luz del modo de revestimiento se suprime del espécimen cerca del extremo de entrada. Si la fibra en pruebas tiene un recubrimiento primario con un índice de refracción superior al del sílice, el revestimiento actúa como un supresor de modos de revestimiento.

#### **5.2.1.2.4 Espécimen**

El espécimen consiste en un tramo corto de la fibra óptica a medir. Los extremos de la fibra estarán limpios, lisos y perpendiculares al eje de la fibra.

#### **5.2.1.2.5 Dispositivo óptico de ampliación**

El dispositivo óptico de ampliación consiste en un sistema óptico (por ejemplo, un objetivo de microscopio) que amplía el campo próximo de salida del espécimen y lo enfoca sobre el plano del detector de exploración. La apertura numérica, y por ende el poder de resolución del dispositivo óptico, debe ser compatible con la exactitud de medición requerida y, en todo caso, no inferior a 0,3. La ampliación se elige de modo que sea compatible con la resolución espacial deseada y se registra.

#### **5.2.1.2.6 Detector**

Se utilizan cámaras de vídeo de CCD, vidicones de exploración u otros dispositivos de reconocimiento de patrones o de intensidad a fin de detectar la imagen de salida de campo cercano ampliada y transmitirla a un monitor de vídeo. El digitalizador del vídeo digitaliza la imagen para un ulterior análisis computerizado. El sistema de vídeo debe ser suficientemente lineal como para que después de la calibración, la incertidumbre de la medida no sea superior a lo exigido.

#### **5.2.1.2.7 Monitor de imagen vídeo**

Se utilizará un monitor de vídeo para visualizar la imagen detectada. En la pantalla del monitor aparece normalmente un diagrama, por ejemplo un retículo de referencia, que ayuda al operador a centrar la imagen de la fibra espécimen. Se puede utilizar la alineación y el enfoque controlados por la computadora.

#### **5.2.1.2.8 Sistema de datos**

Las medidas, las adquisiciones de datos y los cálculos se realizan mediante una computadora. Puede utilizarse una impresora para disponer de copias impresas de la información y de los resultados de las mediciones.

### **5.2.1.3 Procedimiento de medición**

#### **5.2.1.3.1 Calibración**

La calibración se realiza conforme a los procedimientos de CEI 60745.

#### **5.2.1.3.2 Medición**

El espécimen preparado debe coincidir con el extremo de entrada para conseguir las condiciones de inyección especificadas. La imagen de campo cercano del extremo de salida se enfoca y se centra en el monitor. La intensidad de la iluminación de la imagen del núcleo en el extremo de entrada y la

intensidad de la iluminación de la imagen del revestimiento en el extremo de salida se ajustan de acuerdo con una norma establecida y propia del equipo de prueba utilizado.

La imagen de vídeo digitalizada de la salida se registra y los puntos que representen el borde de la imagen del revestimiento y el borde de la imagen del núcleo se determinan y se registran en cuadros donde se representan los bordes. Los niveles de decisión de los límites de la imagen de campo cercano son los siguientes:

Límites de la imagen del núcleo: este nivel se elige entre el 5% y el 50% de la máxima intensidad de campo cercano.

Límites de la imagen del revestimiento: se pueden utilizar distintos medios para determinar el límite del revestimiento, según el método de iluminación. En la práctica debe utilizarse el mismo método utilizado para la calibración.

### 5.2.1.3.3 Cálculos

Los datos básicos del núcleo y de los bordes del revestimiento se acomodan para producir formas suaves y matemáticamente cerradas a fin de hacer la mejor estimación posible de los bordes reales. A su vez, estas formas suaves y matemáticamente cerradas se acomodan a un círculo a fin de determinar las características geométricas, incluida la desviación de primer orden de la forma circular ideal de cada borde límite. Dichos valores y la representación matemática del borde se utilizan para determinar los parámetros de la forma siguiente:

- $X_{co}$ ,  $Y_{co}$  ( $\mu\text{m}$ ), centro del núcleo ajustado;
- $R_{cl}$  ( $\mu\text{m}$ ), radio de revestimiento ajustado;
- $X_{cl}$ ,  $Y_{cl}$  ( $\mu\text{m}$ ), centro del revestimiento ajustado;
- $R_{míncl}$  ( $\mu\text{m}$ ) distancia mínima desde el borde del revestimiento al centro;
- $R_{máxcl}$  ( $\mu\text{m}$ ) distancia máxima desde el borde del revestimiento al centro;
- Diámetro del revestimiento ( $\mu\text{m}$ ) =  $2R_{cl}$ ;
- No circularidad del revestimiento (%) =  $100(R_{máxcl} - R_{míncl})/R_{cl}$ ;
- Error de concentricidad del núcleo ( $\mu\text{m}$ ) =  $[(X_{cl} - X_{co})^2 + (Y_{cl} - Y_{co})^2]^{1/2}$ .

Las formas matemáticamente cerradas y suaves utilizadas para representar los bordes son necesarias a fin de permitir una variación de la curvatura igual o superior a la de una elipse. Para formas no elípticas, los datos pueden convertirse en coordenadas polares alrededor de un centro estimado aproximadamente antes de ajustar el radio en función de la posición angular.

Se puede utilizar un filtrado activo, o retirar los puntos de datos que representan el efecto perjudicial de los cortes, para dejar los puntos que se adaptan a la forma matemática. La elección de la curva, del equipamiento, del método de corte y del algoritmo de filtrado son interactivos en su contribución a la calidad de los resultados de la medida del revestimiento.

### 5.2.1.4 Presentación de los resultados

Para cada medida se presenta:

- a) Identificación de la fibra.
- b) Parámetros: diámetro del revestimiento, no circularidad del revestimiento y error de concentricidad del núcleo.

La información que debe de quedar disponible es la siguiente:

- a) Configuración de prueba.
- b) Condiciones de inyección.
- c) Características espectrales.
- d) Factor de amplificación.

- e) Tipo y dimensión del detector.
- f) Indicación de la precisión y de la repetibilidad, incluidos los datos de calibración.

## 5.2.2 Primer método de prueba alternativo: Técnica del campo próximo refractado

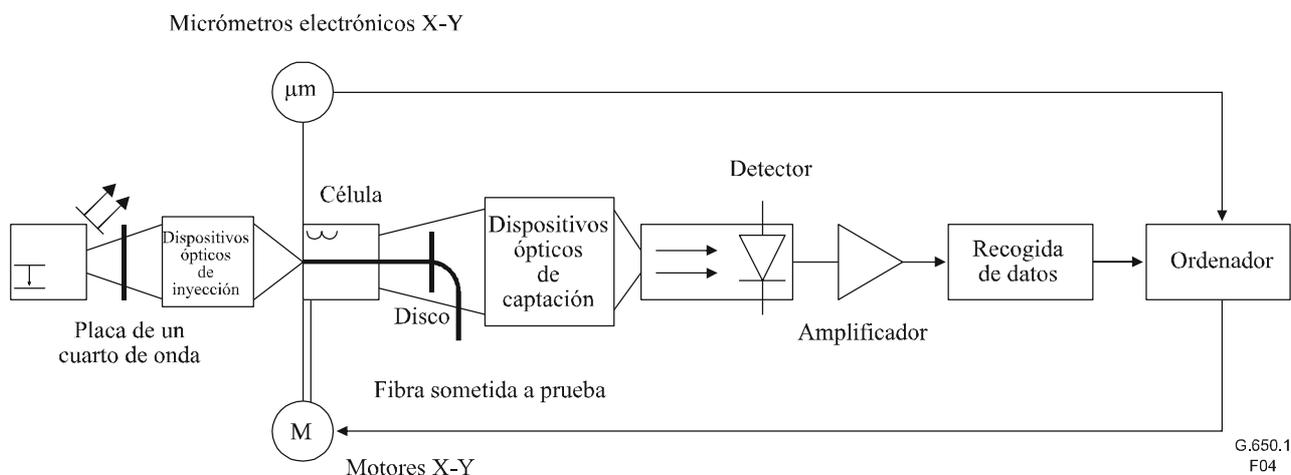
### 5.2.2.1 Generalidades

La medición del campo próximo refractado da directamente la distribución del índice de refracción en toda la sección transversal de la fibra (núcleo y revestimiento). Las características geométricas de la fibra pueden obtenerse a partir de la distribución del índice de refracción, utilizando los algoritmos adecuados.

### 5.2.2.2 Aparato de prueba

En la figura 4 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 fluido 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 resolución óptica, y por tanto la posibilidad de resolver detalles de la geometría de la fibra, depende del tamaño del punto luminoso enfocado. Este tamaño depende de la apertura numérica de la lente de enfoque y del tamaño del disco. Sin embargo, se puede determinar con mucha más precisión la posición de los rasgos más acusados, según el tamaño del escalón en los sistemas de motores por pasos, o según la exactitud del control de posición en los sistemas analógicos.



**Figura 4/G.650.1 – Configuración de prueba típica de la técnica de campo próximo refractado**

#### 5.2.2.2.1 Fuente

Se necesita un láser estable, por ejemplo un láser HeNe, con una potencia de 1 milivatio aproximadamente en el modo TEM<sub>00</sub>.

Se introduce una placa de un cuarto de onda para pasar de la polarización lineal a la polarización circular del haz, porque la reflectividad de la luz en una interfaz aire-vidrio depende mucho del ángulo y de la polarización.

#### 5.2.2.2.2 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  $1^\circ$  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  $1,0 \mu\text{m}$ . El equipo permite la exploración del punto enfocado a lo largo del diámetro de la fibra.

#### **5.2.2.2.3 Célula**

La célula debe contener un fluido con un índice de refracción ligeramente mayor que el del revestimiento de la fibra. La posición de la célula será controlada por motores X-Y activados por el computador y detectada por micrómetros X-Y.

#### **5.2.2.2.4 Detección**

La luz refractada se capta mediante dispositivos ópticos adecuados 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.

#### **5.2.2.2.5 Registro de datos**

La distribución de intensidad medida puede registrarse, procesarse y presentarse de forma adecuada, de acuerdo con la técnica de exploración y con los requisitos de especificación. Se utilizará un ordenador para activar los motores X-Y para registrar la posición X-Y de la célula y los correspondientes niveles de potencia y para procesar los datos medidos.

### **5.2.2.3 Procedimiento**

Véase el diagrama del aparato de prueba (figura 4).

#### **5.2.2.3.1 Preparación de la fibra sometida a prueba**

Se requiere un tramo de fibra de 2 m aproximadamente.

Quitar el recubrimiento primario de la fibra en la sección sumergida en la célula de fluido.

Los extremos de la fibra deben estar limpios y tener una superficie suave, y deben ser perpendiculares al eje de la fibra.

#### **5.2.2.3.2 Calibración del equipo**

El equipo se calibra con la fibra fuera de la célula de fluido. 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 fluido 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 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.

Pueden seguirse procedimientos de calibración más adecuados utilizando una varilla fina de índice de refracción conocido y constante o una fibra multimodo y multipasos, cuando los diferentes valores de índices de refracción son conocidos con mucha exactitud. Esta última técnica también puede emplearse para comprobar la linealidad del aparato. A este respecto, quizá también resulte útil controlar la temperatura del fluido en la célula de fluido.

#### **5.2.2.3.3 Exploración de barrido**

El extremo de inyección de la fibra que debe medirse se introduce en la célula fluida y, al mismo tiempo, se centra el haz láser y se enfoca en la cara externa de la fibra.

El disco se centra en el cono de salida. Los modos refractados que atraviesan el disco se recogen y se enfocan sobre el detector.

El punto de láser enfocado se explora a través de la sección cruzada de la fibra, obteniéndose directamente una distribución bidimensional del índice de refracción de la fibra. A partir de esta distribución se calculan las características geométricas.

#### **5.2.2.3.4 Características geométricas**

Una vez efectuada la exploración de barrido del índice de refracción, se obtiene el contorno del núcleo tomando los puntos de la interfaz núcleo-revestimiento cuyo índice de refracción coincide con el valor medio entre los índices de refracción promediados del núcleo y del revestimiento, respectivamente. El contorno de revestimiento se determina de manera similar, pero en la interfaz del fluido que coincide con el índice del revestimiento. Se efectuará un análisis de geometría coherente con los términos de la cláusula 3, comenzando a partir de los datos de contorno del núcleo y del revestimiento. De la medida del perfil del índice se obtiene el error de concentricidad núcleo.

#### **5.2.2.4 Presentación de los resultados**

- a) Configuración de prueba e indicación de la técnica de exploración utilizada.
- b) Identificación de la fibra.
- c) Diámetro del revestimiento.
- d) Error de concentricidad del núcleo.
- e) No circularidad del revestimiento.
- f) Diámetro del núcleo (si es necesario).
- g) Exploración de barrido a través de la totalidad de la fibra (si es necesario).
- h) Indicación de exactitud y repetibilidad.
- i) Temperatura de la célula y condiciones ambientales (si es necesario).

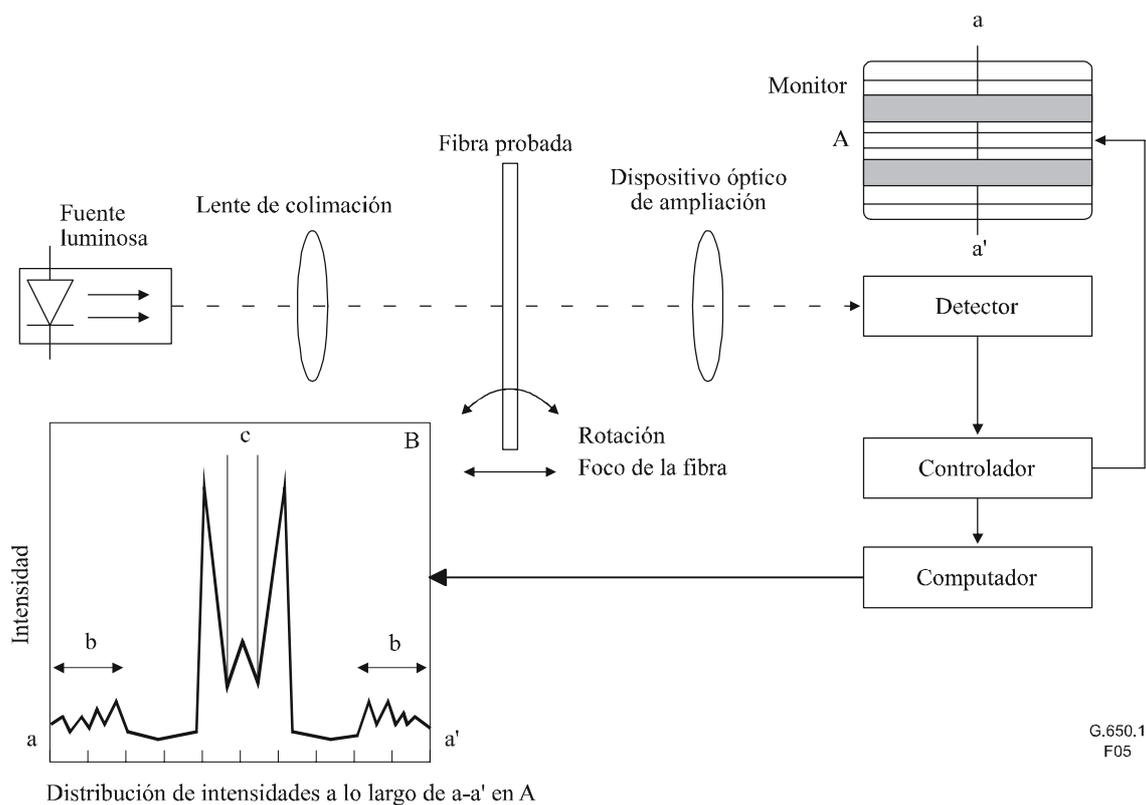
### **5.2.3 Segundo método de prueba alternativo: Técnica de visión lateral**

#### **5.2.3.1 Generalidades**

El método de visión lateral se aplica a las fibras monomodo para determinar los parámetros geométricos (error de concentricidad del núcleo, diámetro del revestimiento y no circularidad del revestimiento) midiendo la distribución de intensidades de la luz que se refracta dentro de la fibra.

#### **5.2.3.2 Aparato de prueba**

En la figura 5 se representa el aparato de prueba.



**Figura 5/G.650.1 – Diagrama esquemático del sistema de medición de visión lateral**

#### 5.2.3.2.1 Fuente luminosa

La luz emitida debe ser colimada, ajustable en intensidad y estable en cuanto a la posición, la intensidad y la longitud de onda durante un periodo suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. Puede utilizarse una fuente luminosa estable y de gran intensidad, tal como un diodo fotoemisor (LED, *light emitting diode*).

#### 5.2.3.2.2 Espécimen

El espécimen a medir será un tramo corto de fibra monomodo. Se retirará el recubrimiento primario de la fibra de la sección observada de la misma. La superficie de la fibra se mantendrá limpia durante la medición.

#### 5.2.3.2.3 Dispositivo óptico de ampliación

El dispositivo óptico de ampliación consistirá en un sistema óptico (por ejemplo, un objetivo de microscopio) que amplía la distribución de intensidad de la luz refractada dentro de la fibra sobre el plano de detector de exploración. El plano de observación se dispondrá a una distancia fija delante del eje de la fibra. La ampliación se elegirá de modo que sea compatible con la resolución espacial deseada, y se registrará.

#### 5.2.3.2.4 Detector

Se utilizará un detector apropiado para determinar la distribución de intensidad ampliada en el plano de observación a lo largo de la línea perpendicular al eje de la fibra. Puede utilizarse un vidicón o un dispositivo acoplado por carga. Es preciso que el detector tenga características lineales en la gama de medición requerida. La resolución del detector será compatible con la resolución espacial deseada.

### 5.2.3.2.5 Procesamiento de los datos

Se utilizará un computador con soporte lógico apropiado para el análisis de las distribuciones de intensidad.

### 5.2.3.3 Procedimiento de medición

#### 5.2.3.3.1 Calibración del equipo

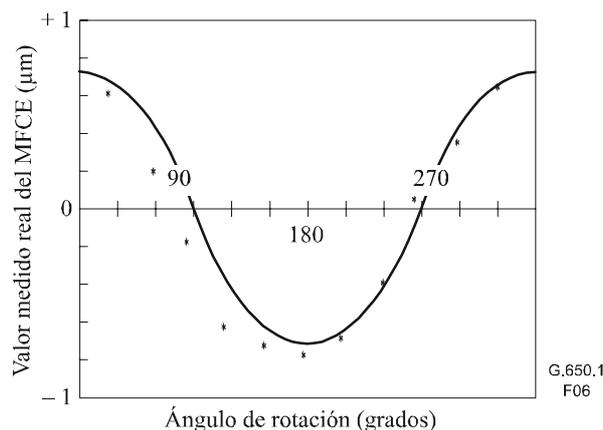
Para la calibración del equipo, la ampliación del dispositivo óptico se medirá explorando la longitud de un espécimen cuyas dimensiones se conozcan ya con exactitud suficiente. Se registrará esta ampliación.

#### 5.2.3.3.2 Medición

La fibra a prueba se fija en el portamuestras y se pone en el sistema de medición. Se ajusta la fibra de manera que su eje sea perpendicular al eje óptico del sistema de medición.

Se registran las distribuciones de intensidad en el plano de observación a lo largo de la línea perpendicular a la fibra (a-a' en A, en la figura 5) (representadas en B) para diferentes direcciones de observación, girando la fibra en torno a su eje mientras se mantiene constante la distancia entre el eje de la fibra y el plano de observación. El diámetro del revestimiento y la posición central de la fibra se determinan analizando la simetría de la distribución de intensidad radial en la imagen ampliada (representada como b en B). La posición central del núcleo se determina analizando la distribución de intensidades de la luz convergida (representada como c). La distancia entre la posición central de la fibra y la del núcleo corresponde al valor observado nominal del error de concentricidad de núcleo.

Como se muestra en la figura 6, el error de concentricidad de núcleo real se calcula ajustando la función sinusoidal a los valores del error de concentricidad del campo modal obtenidos de forma experimental (véase la nota 2 de 3.4.7) y representados en función del ángulo de rotación, como el producto de la máxima amplitud de la función sinusoidal y el factor de ampliación con respecto al efecto lente debido a la estructura cilíndrica de la fibra. El diámetro del revestimiento se evalúa como valor promediado de los diámetros medidos de la fibra para cada ángulo de rotación, que dan lugar a valores de los diámetros máximo y mínimo para determinar el valor de la no circularidad del revestimiento con arreglo a la definición.



**Figura 6/G.650.1 – Valor medido del error de concentricidad de núcleo en función del ángulo de rotación**

#### 5.2.3.4 Presentación de los resultados

- Configuración de prueba.
- Identificación de la fibra.

- c) Características espectrales de la fuente.
- d) Indicación de repetibilidad y exactitud.
- e) Representación del error de concentricidad de núcleo en función del ángulo de rotación.
- f) Error de concentricidad de núcleo, diámetro del revestimiento y no circularidad del revestimiento.
- g) Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).

#### 5.2.4 Tercer método de prueba alternativo: Técnica de imagen del campo próximo transmitido

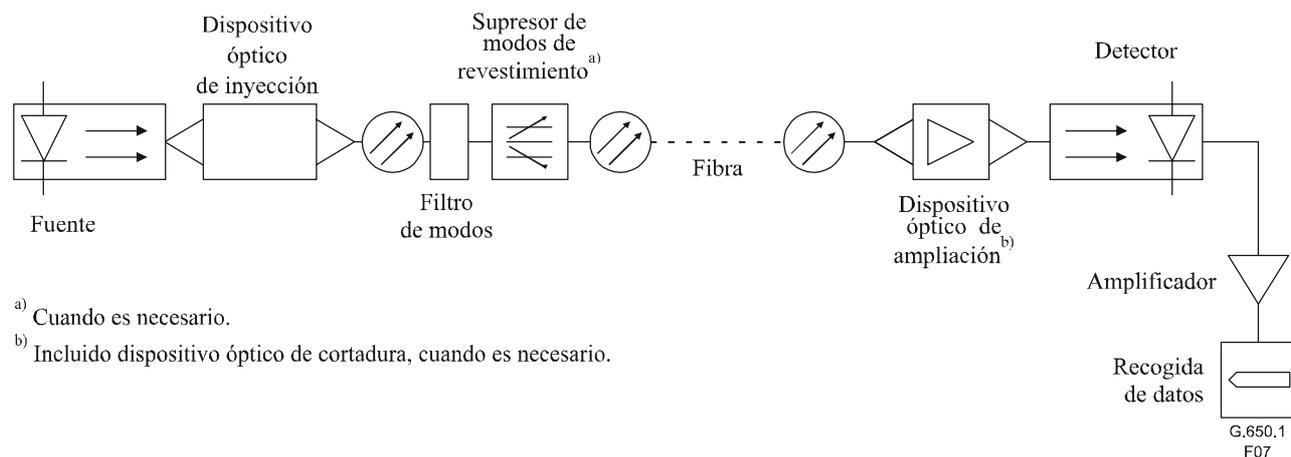
##### 5.2.4.1 Generalidades

Los parámetros geométricos se determinan a partir de la distribución de intensidad de campo próximo, de acuerdo con las definiciones dadas en 3.4.3, 3.4.6 y 3.4.8.

Dado que la concentricidad del campo modal es una buena aproximación de la concentricidad del núcleo, este método puede utilizarse para evaluar el error de concentricidad del núcleo.

##### 5.2.4.2 Aparato de prueba

En la figura 7 se representa el aparato de prueba.



**Figura 7/G.650.1 – Configuración de prueba típica de la técnica de campo próximo transmitido**

##### 5.2.4.2.1 Fuente luminosa

Para iluminar el núcleo se utilizará una fuente luminosa de longitud de onda nominal de 1310 nm (para las fibras definidas en la Rec. UIT-T G.652 [1]) ó 1550 nm (para las fibras definidas en las Recomendaciones UIT-T G.653 y G.654). Dicha fuente será ajustable en intensidad y estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. Las características espectrales de esta fuente deben elegirse de manera que se excluya el funcionamiento multimodo. Si es necesario, puede utilizarse una segunda fuente luminosa de características similares para iluminar el revestimiento. Las características espectrales de la segunda fuente luminosa no deben causar desenfoco de la imagen.

##### 5.2.4.2.2 Condiciones de inyección

El dispositivo óptico de inyección, que se dispondrá de modo que cubra completamente la fibra, enfocará un haz de luz sobre el extremo de entrada plano de la fibra.

### **5.2.4.2.3 Filtro de modos**

En la medición es necesario garantizar el funcionamiento monomodo en la longitud de onda de medición. En estos casos puede ser necesario introducir una curvatura para eliminar el modo  $LP_{11}$ .

### **5.2.4.2.4 Supresor de modos de revestimiento**

Se empleará un supresor de modos de revestimiento adecuado para eliminar la potencia óptica que se propaga por el revestimiento. Cuando se miden solamente las características geométricas del revestimiento, no debe utilizarse este supresor de modos de revestimiento.

### **5.2.4.2.5 Espécimen**

El espécimen consistirá en un tramo corto de la fibra óptica a medir. Los extremos de la fibra estarán limpios, lisos y perpendiculares al eje de la fibra.

### **5.2.4.2.6 Dispositivo óptico de ampliación**

El dispositivo óptico de ampliación consistirá en un sistema óptico (por ejemplo, un objetivo de microscopio) que amplía el campo próximo de salida del espécimen, y lo enfoca sobre el plano del detector de exploración. La apertura numérica, y por ende el poder de resolución del dispositivo óptico, será compatible con la exactitud de medición requerida y no inferior a 0,3. La ampliación se elegirá de modo que sea compatible con la resolución espacial deseada y se registrará.

### **5.2.4.2.7 Detector**

Se utilizará un detector apropiado que proporcione la intensidad punto a punto del diagrama (o diagramas) de campo próximo transmitido. Por ejemplo, podrá utilizarse cualquiera de las siguientes técnicas:

- a) fotodetector de exploración con abertura de micro-orificio;
- b) espejo de exploración con abertura de micro-orificio fijo y fotodetector;
- c) vidicon de exploración, dispositivos acoplados por carga u otros dispositivos de reconocimiento de diagrama/intensidad.

El detector tendrá un comportamiento lineal (o será linealizado) en la gama de intensidades encontrada.

### **5.2.4.2.8 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.

### **5.2.4.2.9 Registro de datos**

La distribución de intensidad medida puede registrarse y presentarse en forma adecuada, con arreglo a la técnica de exploración y los requisitos de especificación.

## **5.2.4.3 Procedimiento de medición**

### **5.2.4.3.1 Calibración del equipo**

Para la calibración del equipo, la ampliación del dispositivo óptico se medirá explorando la imagen de un espécimen cuyas dimensiones se conozcan ya con exactitud suficiente.

Se registrará esta ampliación.

### 5.2.4.3.2 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 ampliación. Para las mediciones de campo próximo, la imagen (o imágenes) enfocada del extremo de salida de la fibra será explorada por el detector de acuerdo con los requisitos de especificación. El enfoque se efectuará con la máxima exactitud, a fin de reducir los errores de dimensión debidos a la exploración de una imagen desenfocada. Después se calculan los parámetros geométricos deseados de acuerdo con las definiciones.

Se están estudiando algoritmos para la definición de bordes y el cálculo de parámetros geométricos.

### 5.2.4.4 Presentación de los resultados

- a) Configuración de prueba, con indicación de la técnica de exploración utilizada.
- b) Condiciones de inyección.
- c) Características espectrales de la fuente (o fuentes).
- d) Identificación y longitud de la fibra.
- e) Tipo de filtro de modos (en su caso).
- f) Ampliación del dispositivo óptico.
- g) Tipo y dimensiones del detector de exploración.
- h) Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando sea necesario).
- i) Indicación de exactitud y repetibilidad.
- j) Parámetros dimensionales resultantes, como diámetros del revestimiento, no circularidades del revestimiento, error de concentricidad del campo modal, etc.

## 5.3 Métodos de prueba para la longitud de onda de corte

### 5.3.1 Método de prueba de referencia para la longitud de onda de corte ( $\lambda_c$ ) de la fibra con recubrimiento primario y método de prueba de referencia para la longitud de onda de corte ( $\lambda_{cj}$ ) de los cables puente: Técnica de la potencia transmitida

#### 5.3.1.1 Generalidades

La medición de la longitud de onda de corte de fibras monomodo tiene por objeto asegurar un funcionamiento monomodo eficaz por encima de una longitud de onda especificada.

La técnica de la potencia transmitida utiliza la variación con la longitud de onda de la potencia transmitida de un tramo corto de la fibra que se prueba, en condiciones definidas, comparada con una potencia transmitida de referencia. Hay dos formas posibles de obtener esta potencia de referencia:

- a) la fibra de prueba con un bucle de radio más pequeño; o
- b) un tramo corto (1 a 2 m) de fibra multimodo.

NOTA – La presencia de un recubrimiento primario en la fibra no afecta normalmente a la longitud de onda de corte. Sin embargo, la presencia de un recubrimiento secundario puede provocar una longitud de onda de corte notablemente más corta que la de la fibra que sólo tiene un recubrimiento primario.

La medición puede realizarse sobre una fibra con recubrimiento secundario si dicho recubrimiento se ha examinado y se ha confirmado que no afecta de manera significativa a la longitud de onda de corte, y además se ha aplicado adecuadamente.

### **5.3.1.2 Aparato de prueba**

#### **5.3.1.2.1 Fuente luminosa**

Se utilizará una fuente luminosa de anchura espectral a amplitud mitad que no exceda de 10 nm (FWHM), estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para aplicarse el procedimiento de medición completo.

#### **5.3.1.2.2 Modulación**

Suele modularse la fuente luminosa para mejorar la relación señal/ruido en el receptor. De adoptarse este procedimiento, el detector debe conectarse a un sistema de procesamiento de señales sincronizado con la frecuencia de modulación de la fuente. El sistema de detección debe ser prácticamente lineal.

#### **5.3.1.2.3 Condiciones de inyección**

Las condiciones de inyección deben usarse de tal forma que exciten de una manera prácticamente uniforme los modos  $LP_{01}$  y  $LP_{11}$ . Por ejemplo, podrían ser técnicas de inyección adecuadas:

- a) la unión con una fibra multimodo; o
- b) la inyección con una mancha luminosa suficientemente ancha (dispositivo óptico de gran apertura numérica).

#### **5.3.1.2.4 Supresor de modos de revestimiento**

El supresor de modos de revestimiento es un dispositivo que favorece la conversión de modos de revestimiento en modos de radiación: se suprimen de la fibra los modos propagados por el revestimiento. Debe tenerse cuidado para evitar que se afecte a la propagación del modo  $LP_{11}$ .

#### **5.3.1.2.5 Detector óptico**

Se utilizará un detector adecuado que intercepte toda la radiación que emerge de la fibra. La respuesta espectral debe ser compatible con las características espectrales de la fuente. El detector debe ser uniforme y tener sensibilidad lineal.

### **5.3.1.3 Procedimiento de medición**

#### **5.3.1.3.1 Muestra de prueba normalizada**

La medición se efectuará con un tramo de fibra de 2 m. La fibra se inserta en el equipo de prueba y se flexiona para formar un bucle poco apretado. El bucle dará la vuelta completa a un círculo de 140 mm de radio. El resto de la fibra estará prácticamente libre de tensiones externas. Aunque se permiten algunas curvaturas ocasionales de mayor radio, no deben introducir cambios significativos en el resultado de la medición. Se registrará la potencia de salida  $P_1(\lambda)$  en función de  $\lambda$  en una gama suficientemente amplia alrededor de la longitud de onda de corte esperada.

#### **5.3.1.3.2 Transmisión a través de la muestra de referencia**

Puede utilizarse el método a) o el b).

- a) Utilizando la muestra de prueba, y manteniendo fijas las condiciones de inyección, se mide una potencia de salida  $P_2(\lambda)$  en la misma gama de longitudes de onda; la muestra debe tener como mínimo un bucle de radio suficientemente reducido para filtrar el modo  $LP_{11}$ . Un valor típico del radio para este bucle es 30 mm.
- b) Con un tramo corto (1 a 2 m) de fibra multimodo, se mide una potencia de salida  $P_3(\lambda)$  en la misma gama de longitudes de onda.

NOTA – La presencia de modos de fuga puede producir rizado en el espectro de transmisión de la fibra multimodo de referencia, lo que afecta al resultado de la medición. A fin de reducir este efecto, la inyección de la luz puede limitarse de modo que sólo comprenda el 70% del diámetro del núcleo y la apertura numérica de la fibra multimodo; otra posibilidad consiste en utilizar un filtro de modo adecuado.

### 5.3.1.3.3 Cálculos

La atenuación espectral del espécimen de prueba, con relación a la potencia de referencia, es:

$$a(\lambda) = 10 \log \frac{P_1(\lambda)}{P_c(\lambda)} \quad (5-5)$$

donde  $i = 2$  ó  $3$  para el método a) o b) respectivamente.

Suponiendo una representación en línea recta de la región de longitud de onda superior, la desviación de los modos de orden superior con respecto al modo fundamental es:

$$\Delta a(\lambda) = a(\lambda) - (A_u + B_u \lambda) \quad (5-6)$$

$A_u$  y  $B_u$  se determinan de manera que  $(A_u + B_u \lambda)$  represente la parte de la curva de atenuación espectral a longitudes de onda por encima de la región en la que la atenuación de los modos de orden superior se acelera (región de transición). En el método a),  $A_u$  y  $B_u$  pueden fijarse a cero. Véanse las figuras 8a y 9a.

NOTA – En el método a), el bucle pequeño constituye un filtro de modo que elimina todos los modos, con excepción del fundamental, que se propagan a longitudes de onda superiores a una longitud de onda situada a unas cuantas decenas de nm por debajo de la longitud de onda de corte  $\lambda_c$ . A longitudes de onda de más de unas centenas de nm por encima de  $\lambda_c$ , el bucle puede producir una gran atenuación del modo fundamental.  $a(\lambda)$  es igual a la relación logarítmica entre la potencia total que emerge de la muestra, incluida la del modo LP<sub>11</sub>, y la potencia del modo fundamental. Cuando los modos son excitados uniformemente de acuerdo con 5.3.1.2.3,  $a(\lambda)$  da también la atenuación del modo LP<sub>11</sub>  $A(\lambda)$  en dB, en la muestra que se prueba:

$$A(\lambda) = 10 \log \left[ \left( \frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)} - 1 \right) / 2 \right] \quad (5-7)$$

### 5.3.1.3.4 Determinación de la longitud de onda de corte

En la región de transición, la potencia de modo de orden superior se reduce al aumentar la longitud de onda. La longitud de onda de la fibra,  $\lambda_c$  se define como la longitud de onda a la que la potencia de modo de orden superior con respecto a la potencia de modo fundamental,  $\Delta a(\lambda)$ , se ha reducido a 0,1 dB.

Las figuras 8b y 9b ilustran las "jorobas" que a veces aparecen cerca de la longitud de onda de corte. En ausencia de jorobas (véanse las figuras 8a y 9a), la determinación exacta de  $\lambda_c$  puede conseguirse sin algoritmos. Opcionalmente, para mejorar la precisión, pueden utilizarse algoritmos de ajuste basados en las siguientes ecuaciones cuando aparecen jorobas. El apéndice I contiene ejemplos de tales algoritmos.

$$\gamma(\lambda) = 10 \log \left[ -\frac{10}{A} \log \left( \frac{10^{\Delta a(\lambda)/10} - 1}{\rho} \right) \right] \quad (5-8)$$

$$A = 10 \log \left[ \rho / (10^{0,01} - 1) \right] \quad (5-9)$$

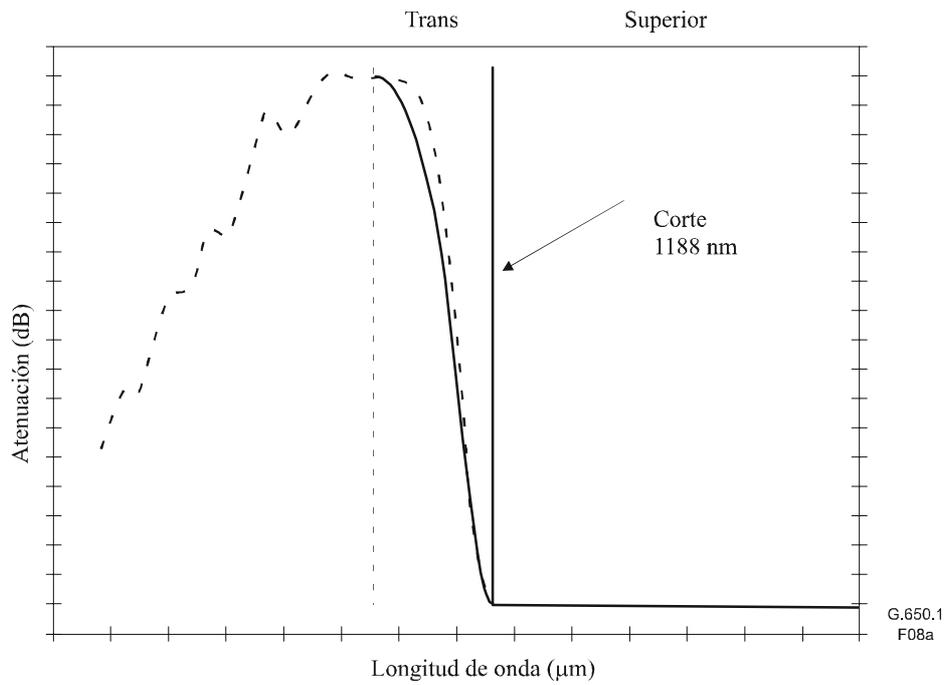
A menos que se indique otra cosa,  $\rho = 2$ . (5-10)

Cuando los coeficientes de:

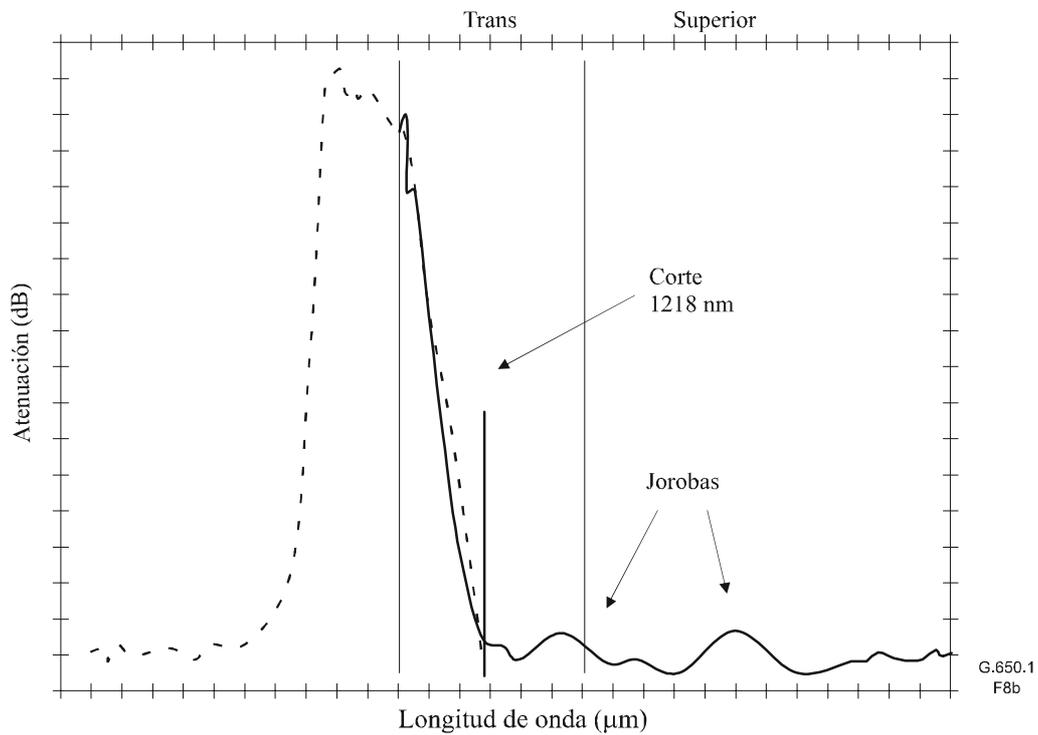
$$A_t + B_t \lambda = -Y(\lambda) \quad (5-11)$$

se determinan para longitudes de onda de la región de transición:

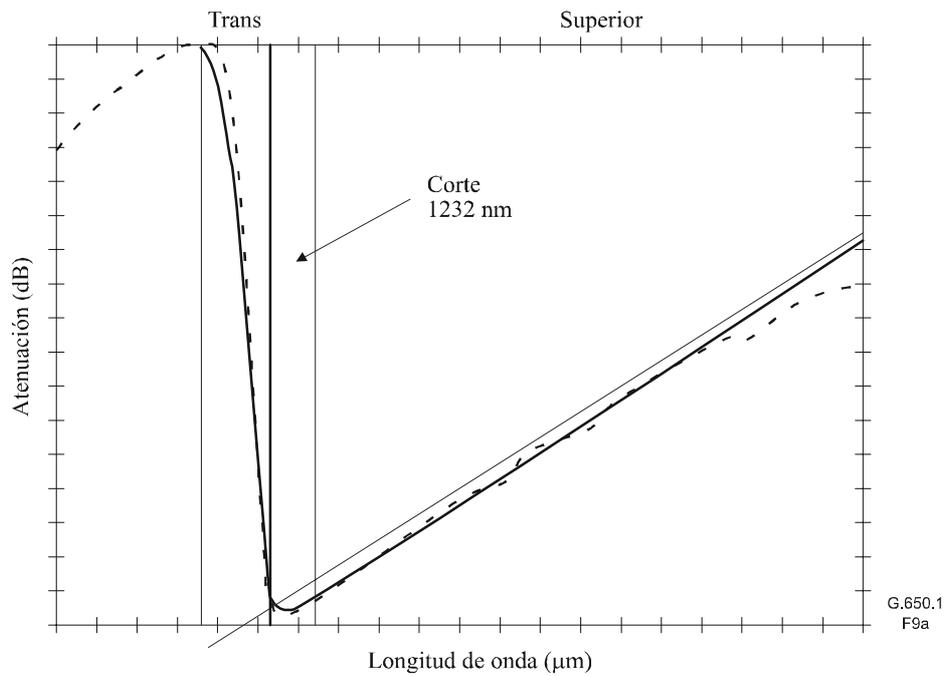
$$\lambda_c = -\frac{A_t}{B_t} \quad (5-12)$$



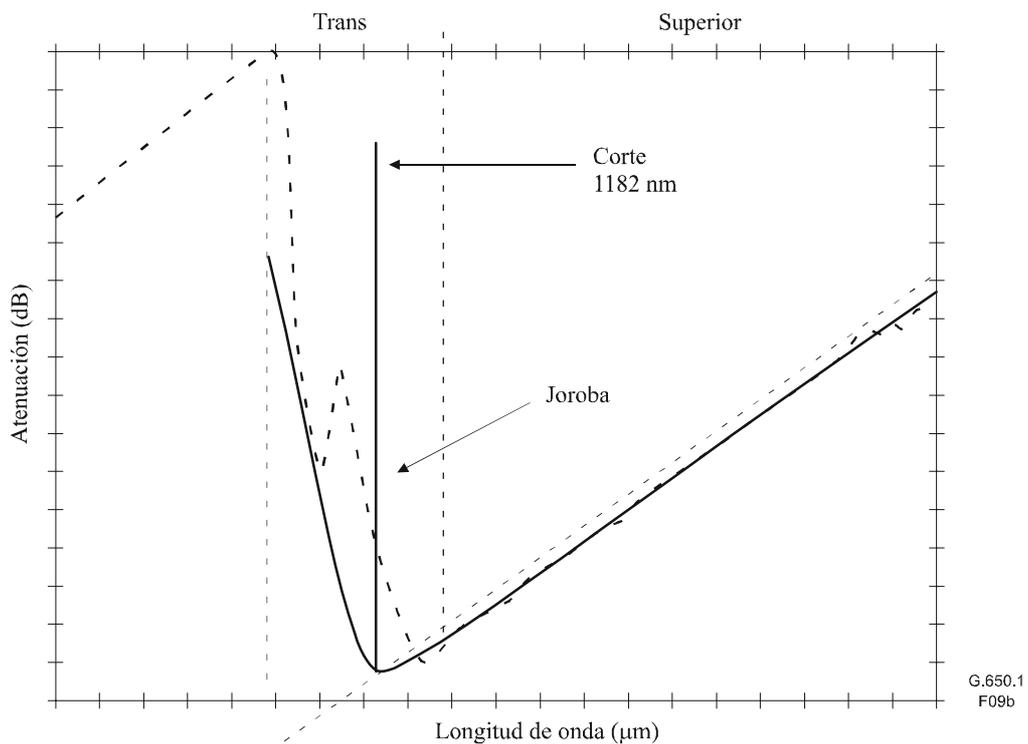
**Figura 8a/G.650.1 – Representación de la longitud de onda de corte de referencia monomodo**



**Figura 8b/G.650.1 – Representación de la longitud de onda de corte de referencia monomodo con jorobas**



**Figura 9a/G.650.1 – Representación de la longitud de onda de corte de referencia multimodo**



**Figura 9b/G.650.1 – Representación de la longitud de onda de corte de referencia multimodo con joroba**

NOTA – Según la definición, la atenuación de modo  $LP_{11}$  en la muestra sometida a prueba es 19,3 dB a la longitud de onda de corte.

#### 5.3.1.4 Longitud de onda de corte del cable puente

La longitud de onda de corte del cable puente se mide con los aparatos, los procedimientos y los cálculos de la longitud de onda de corte, con las siguientes excepciones:

- 1) El cable puente se mide con los recubrimientos secundarios que se utilizan en las aplicaciones.
- 2) Se especifica un radio de curvatura de X mm.

NOTA – Algunas Administraciones especifican un radio X de 76 mm.

#### 5.3.1.5 Presentación de los resultados

- a) Configuración de prueba.
- b) Condición de inyección.
- c) Tipo de muestra de referencia.
- d) Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).
- e) Identificación de la fibra.
- f) Gama de longitudes de onda de medición.
- g) Longitud de onda de corte.
- h) Representación de  $a(\lambda)$  (si es necesario).
- i) Tipo de medición, es decir, longitud de onda de corte o longitud de onda de corte del cable puente.
- j) Radio de curvatura (para la longitud de onda de corte del cable puente solamente).
- k) Método de interpolación (si se utiliza).

### 5.3.2 Método de prueba alternativo para $\lambda_c$ : Técnica del mandril dividido

#### 5.3.2.1 Generalidades (igual que 5.3.1.1)

#### 5.3.2.2 Aparato de prueba

##### 5.3.2.2.1 Fuente luminosa (igual que 5.3.1.2.1)

##### 5.3.2.2.2 Modulación (igual que 5.3.1.2.2)

##### 5.3.2.2.3 Condiciones de inyección (igual que 5.3.1.2.3)

##### 5.3.2.2.4 Supresor de modos de revestimiento (igual que 5.3.1.2.4)

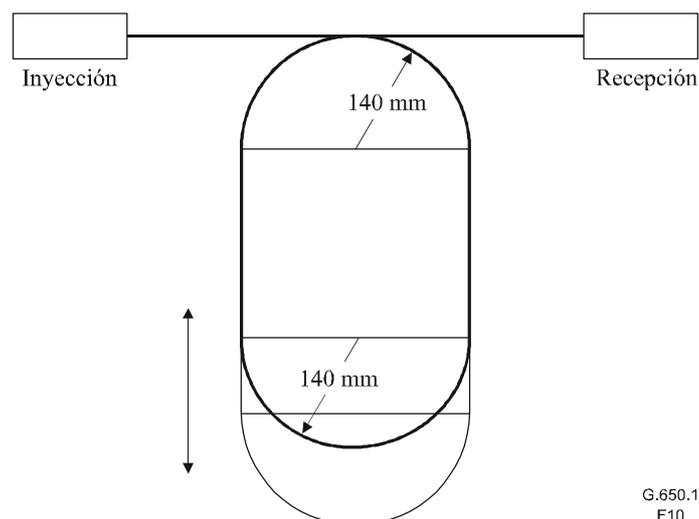
##### 5.3.2.2.5 Detector óptico (igual que 5.3.1.2.5)

#### 5.3.2.3 Procedimiento de medición

##### 5.3.2.3.1 Muestra de prueba normalizada

La medición se efectuará con un tramo de fibra de 2 m. La fibra se inserta en el equipo de prueba y se curva para formar un bucle poco apretado. El bucle contendrá una vuelta completa (360 grados) compuesta por dos arcos (180 grados cada uno) de 140 mm de radio unidos por tangentes. El resto de la fibra estará prácticamente libre de tensiones externas. Aunque se permiten algunas curvaturas ocasionales de mayor radio, no deben introducir cambios significativos en el resultado de la medición. Se registrará la potencia de salida,  $P_1(\lambda)$ , en función de  $\lambda$  en una gama suficientemente amplia alrededor de la longitud de onda de corte esperada.

Como se ve en la figura 10, el mandril semicircular inferior se desplaza para eliminar cualquier holgura del bucle de fibra, sin que haya que desplazar el dispositivo óptico de inyección o recepción y sin aplicar a la muestra de fibra ninguna tensión mecánica significativa.



**Figura 10/G.650.1 – Instalación de la fibra: Longitud de onda de corte por la técnica del mandril dividido**

**5.3.2.3.2 Transmisión a través de la muestra de referencia** (igual que 5.3.1.3.2)

**5.3.2.3.3 Cálculos** (igual que 5.3.1.3.3)

**5.3.2.3.4 Determinación de la longitud de onda de corte** (igual que 5.3.1.3.4)

**5.3.2.4 Presentación de los resultados** (igual que 5.3.1.5)

**5.3.3 Método de prueba de referencia para la longitud de onda de corte de fibra cableada ( $\lambda_{cc}$ ): Técnica de la potencia transmitida**

**5.3.3.1 Generalidades**

Esta medición de la longitud de onda de corte para fibras monomodo cableadas en condiciones de instalación, que simulan tramos mínimos de cable de la infraestructura exterior, tiene por objeto asegurar un funcionamiento monomodo eficaz por encima de una longitud de onda especificada.

La técnica de la potencia transmitida utiliza la variación con la longitud de onda de la potencia transmitida del cable de fibra sometido a prueba, en condiciones definidas, por comparación con una potencia transmitida de referencia. Hay dos formas posibles de obtener esa potencia de referencia:

- a) la fibra cableada de prueba con un bucle de radio más pequeño;
- b) un tramo corto (1 a 2 m) de fibra multimodo.

**5.3.3.2 Aparato de prueba**

**5.3.3.2.1 Fuente luminosa** (igual que 5.3.1.2.1)

**5.3.3.2.2 Modulación** (igual que 5.3.1.2.2)

**5.3.3.2.3 Condiciones de inyección** (igual que 5.3.1.2.3)

**5.3.3.2.4 Supresor de modos de revestimiento** (igual que 5.3.1.2.4)

**5.3.3.2.5 Detector óptico** (igual que 5.3.1.2.5)

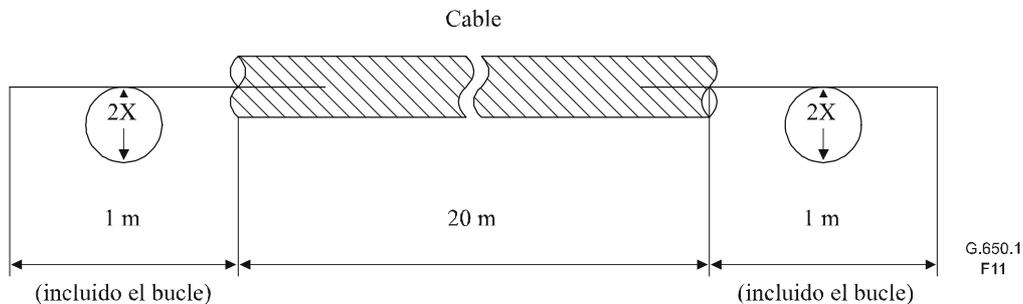
**5.3.3.3 Procedimiento de medición**

**5.3.3.3.1 Muestra de prueba normalizada**

La medición se efectuará con un tramo de fibra monomodo en cable. Se preparará un tramo de cable de 22 m, dejando expuesto en cada extremo 1 m de fibra no cableada, y los 20 m restantes de cable

se tenderán sin ninguna curvatura que pueda afectar el valor de la medición. Para simular los efectos de un organizador de empalmes, se hará un bucle de  $X = 40$  mm de radio en cada tramo de fibra no cableada (véase la figura 11). La fibra no cableada se instala con el recubrimiento secundario (si está presente) intacto. Aunque se permiten algunas curvaturas ocasionales de mayor radio en la fibra o el cable, no deben introducir cambios significativos en las mediciones. Se registrará la potencia de salida  $P_1(\lambda)$  en función de  $\lambda$  en una gama suficientemente amplia alrededor de la longitud de onda de corte esperada.

NOTA – Los bucles tienen por objeto simular las condiciones de instalación.



**Figura 11/G.650.1 – Condición de instalación para la medición de la longitud de onda de corte de una fibra cableada**

#### 5.3.3.3.2 Transmisión por la muestra de referencia (igual que 5.3.1.3.2)

#### 5.3.3.3.3 Cálculos

La relación logarítmica entre las potencias transmitidas  $P_1(\lambda)$  y  $P_i(\lambda)$  se calcula mediante la expresión

$$R(\lambda) = 10 \log \frac{P_1(\lambda)}{P_i(\lambda)} \quad (5-13)$$

donde  $i = 2$  ó  $3$  para el método a) o b), respectivamente.

#### 5.3.3.3.4 Determinación de la longitud de onda de corte de la fibra cableada

Los cálculos y el método para determinar la longitud de onda de corte del cable,  $\lambda_{cc}$  son los mismos que para la longitud de onda de corte de la fibra. Véanse 5.3.1.3.3 y 5.3.1.3.4.

#### 5.3.3.4 Presentación de los resultados

- Configuración de prueba.
- Condición de inyección.
- Tipo de muestra de referencia.
- Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).
- Identificación de la fibra y del cable.
- Gama de longitudes de onda de medición.
- Longitud de onda de corte de la fibra cableada, y representación gráfica de  $R(\lambda)$  (si es necesario).
- Representación gráfica de  $R(\lambda)$  (si es necesario).

## 5.3.4 Método de prueba alternativo para la longitud de onda de corte ( $\lambda_{cc}$ ) de la fibra cableada

### 5.3.4.1 Generalidades

La medición de la longitud de onda de corte se lleva a cabo en fibras monomodo sin cablear en unas condiciones de instalación que aseguran que los resultados para  $\lambda_{cc}$  son coherentes con los resultados obtenidos en las mediciones llevadas a cabo en fibras cableadas.

Este método utiliza la variación en la longitud de onda de la potencia transmitida sobre un tramo corto de la fibra sometida a prueba, en condiciones definidas, por comparación con una potencia transmitida de referencia. Hay dos formas posibles de obtener esa potencia de referencia:

- la fibra de prueba con un bucle de radio más pequeño; o
- un tramo corto (1 a 2 m) de fibra multimodo.

### 5.3.4.2 Aparato de prueba

5.3.4.2.1 Fuente luminosa (igual que 5.3.1.2.1)

5.3.4.2.2 Modulación (igual que 5.3.1.2.2)

5.3.4.2.3 Condiciones de inyección (igual que 5.3.1.2.3)

5.3.4.2.4 Supresor de modos de revestimiento (igual que 5.3.1.2.4)

5.3.4.2.5 Detector óptico (igual que 5.3.1.2.5)

### 5.3.4.3 Procedimiento de medición

#### 5.3.4.3.1 Muestra de prueba normalizada

La medición se efectuará con un tramo de fibra monomodo sin cablear. La fibra no cableada se instala con el recubrimiento secundario (si está presente) intacto. Se inserta un tramo de fibra de 22 m en el aparato de prueba; los 20 m internos se flexionan para formar bucles no sometidos a tensión de un radio  $r \geq 140$  mm.

En cada extremo de la fibra se crea un bucle de  $X = 40$  mm de radio (véase la figura 12). Se registrará la potencia de salida  $P_1(\lambda)$  en función de  $\lambda$  en una gama suficientemente amplia alrededor de la longitud de onda de corte prevista,  $\lambda_{cc}$ .

NOTA – Los bucles tienen por objeto simular las condiciones de instalación.

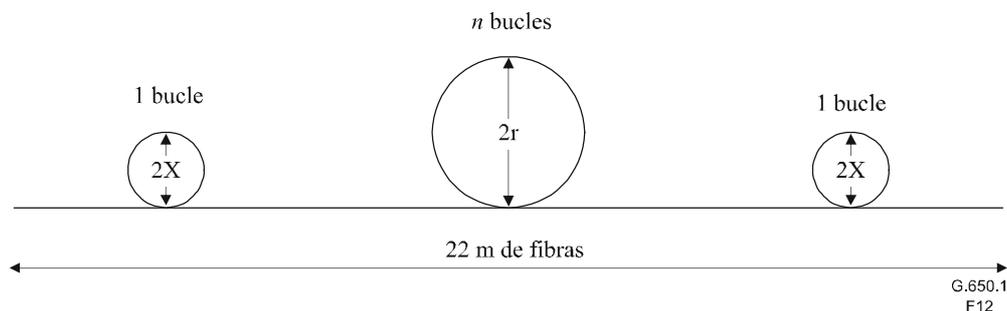


Figura 12/G.650.1 – Condición de instalación para la medición de  $\lambda_{cc}$  en fibras sin cablear

5.3.4.3.2 Transmisión por la muestra de referencia (igual que 5.3.1.3.2)

5.3.4.3.3 Cálculos (igual que 5.3.1.3.3)

5.3.4.3.4 Determinación de la longitud de onda de corte de la fibra cableada (igual que 5.3.3.3.4)

#### **5.3.4.4 Presentación de los resultados**

Igual que 5.3.3.4 y además:

- Valor de r.

#### **5.4 Métodos de prueba para la atenuación**

Las pruebas de atenuación están destinadas a proporcionar un medio por el cual pueda asignarse un cierto valor de atenuación a un tramo de fibra, de modo que los valores de atenuación individuales puedan sumarse para determinar la atenuación total de un tramo concatenado.

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

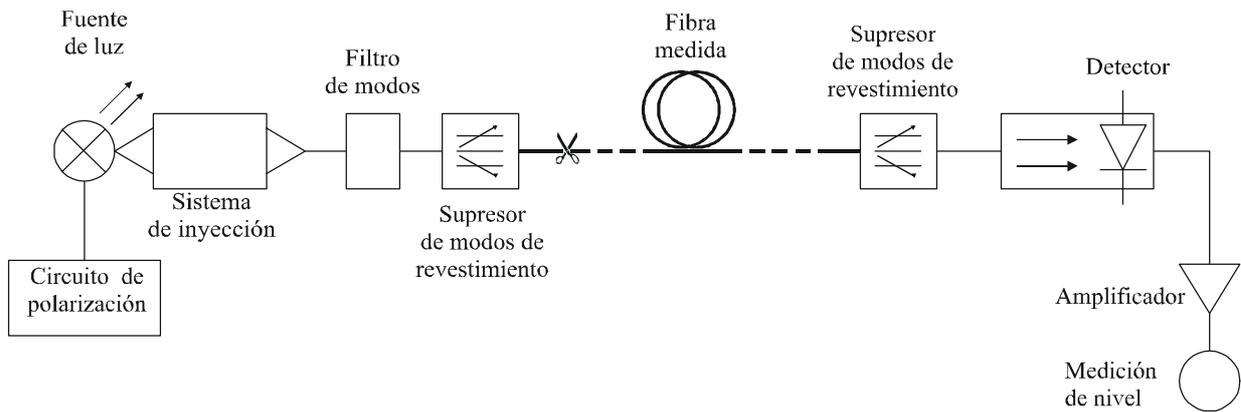
#### **5.4.1 Método de prueba de referencia: Técnica de la fibra cortada**

##### **5.4.1.1 Generalidades**

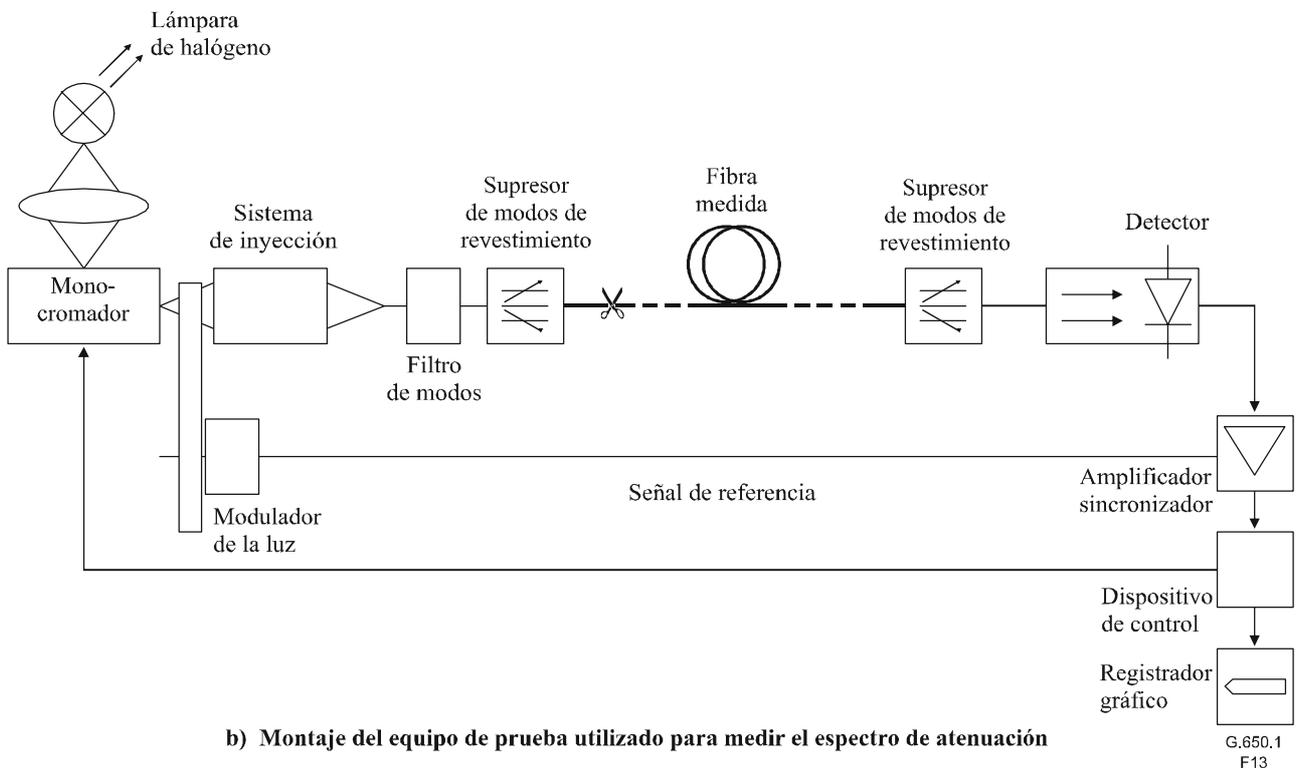
La técnica de la fibra cortada es una aplicación directa de esta definición, en la cual los niveles de potencia  $P_1$  y  $P_2$  se miden en dos puntos de la fibra sin modificar las condiciones de entrada.  $P_2$  es la potencia que sale del extremo lejano de la fibra y  $P_1$  la potencia que sale de un punto próximo a la entrada después del corte de la fibra.

##### **5.4.1.2 Aparato de prueba**

Las mediciones pueden efectuarse a una o más longitudes de onda puntuales, o bien puede requerirse una respuesta espectral en una gama de longitudes de onda. La figura 13 presenta como ejemplos diagramas de equipos de prueba adecuados para obtener una medición de atenuación o para medir el espectro de atenuación, respectivamente.



a) Montaje del equipo de prueba para realizar una medición de atenuación



b) Montaje del equipo de prueba utilizado para medir el espectro de atenuación

G.650.1  
F13

**Figura 13/G.650.1 – Técnica de la fibra cortada**

#### 5.4.1.2.1 Fuente óptica

Se utilizará una fuente de radiación apropiada, como una lámpara, un láser o un diodo fotoemisor. La elección de la fuente depende del tipo de medición. La fuente ha de ser estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. La anchura espectral a amplitud mitad (FWHM) se especificará de modo que la anchura de raya sea estrecha en relación con cualquiera de las características de atenuación espectral de la fibra.

#### 5.4.1.2.2 Modulación

Suele modularse la fuente luminosa para mejorar la relación señal/ruido en el receptor. De adoptarse este procedimiento, el detector debe conectarse a un sistema de procesamiento de señales

sincronizado con la frecuencia de modulación de la fuente luminosa. La sensibilidad del sistema de detección debe ser prácticamente lineal.

#### **5.4.1.2.3 Condiciones de inyección**

Las condiciones de inyección empleadas deben ser suficientes para excitar el modo fundamental. Ejemplos de técnicas de inyección adecuadas:

- a) la unión con una fibra;
- b) la inyección con un sistema óptico apropiado.

#### **5.4.1.2.4 Filtro de modos**

Se tendrá cuidado de que no se propaguen modos de orden superior por el tramo cortado. En algunos casos será necesario introducir una curvatura para suprimir los modos de orden superior.

#### **5.4.1.2.5 Supresor de modos de revestimiento**

El supresor de modos de revestimiento es un dispositivo que favorece la conversión de modos de revestimiento en modos de radiación; como resultado, los modos de revestimiento son suprimidos de la fibra.

#### **5.4.1.2.6 Detector óptico**

Se utilizará un detector adecuado que intercepte toda la radiación que emerge de la fibra. La respuesta espectral debe ser compatible con las características espectrales de la fuente. El detector debe ser uniforme y tener una característica de sensibilidad lineal.

### **5.4.1.3 Procedimiento de medición**

#### **5.4.1.3.1 Preparación de la fibra sometida a prueba**

Los extremos de la fibra estarán muy limpios y lisos, y serán perpendiculares al eje de la fibra. Las mediciones en fibras que no forman parte de cables deberán efectuarse con la fibra suelta en el tambor, para que la superficie de éste no produzca efectos de microflexión.

#### **5.4.1.3.2 Procedimiento**

- 1) La fibra que ha de probarse se coloca en la configuración de prueba. Se registra la potencia de salida  $P_2$ .
- 2) Manteniendo fijas las condiciones de inyección, se corta la fibra a la longitud de corte escogida (por ejemplo, a 2 m del punto de inyección). Si es necesario utilizar un supresor de modos de revestimiento, se reajusta este dispositivo y se registra la potencia de salida  $P_1$  del tramo de fibra cortada.
- 3) La atenuación de la fibra entre los puntos en que se han medido  $P_1$  y  $P_2$  puede calcularse a partir de las ecuaciones definitorias 3-4 y 3-5, utilizando los valores hallados de  $P_1$  y  $P_2$ .

#### **5.4.1.4 Presentación de los resultados**

- a) Configuración de prueba, incluido tipo de fuente, longitud de onda y anchura espectral de amplitud mitad.
- b) Identificación de la fibra.
- c) Longitud de la muestra.
- d) Atenuación de la muestra, en dB.
- e) Coeficiente de atenuación, en dB/km.
- f) Indicación de exactitud y repetibilidad.
- g) Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).

## **5.4.2 Primer método de prueba alternativo: Técnica de retrodispersión**

### **5.4.2.1 Generalidades**

Se describe un método de prueba del coeficiente de atenuación de una fibra óptica monomodo basado en mediciones de retrodispersión bidireccionales. Esta técnica puede también aplicarse para comprobar la uniformidad de la atenuación, la continuidad óptica, las discontinuidades físicas, las pérdidas en el empalme y la longitud de la fibra.

Pueden adoptarse mediciones de retrodispersión unidireccionales en determinados casos, por ejemplo, verificación de la variación de la pendiente de retrodispersión en las fibras cableadas.

Los procedimientos para la calibración del equipo de retrodispersión figuran en CEI 61746 Ed.1.0-86/118/CDV.

### **5.4.2.2 Aparato de prueba**

#### **5.4.2.2.1 Consideraciones generales**

La señal óptica retrodispersada será normalmente de bajo nivel, cercana al nivel de ruido. Por eso, para mejorar la relación señal/ruido y la gama de medición dinámica suele utilizarse una fuente luminosa de alta potencia en relación con el procesamiento de la señal detectada. También podría ser necesario ajustar la anchura de los impulsos con el fin de obtener una solución intermedia entre la resolución y la gama dinámica.

Asimismo, se tendrá cuidado de que no se propaguen modos de orden superior.

En la figura 14a se muestra un ejemplo del equipo.

#### **5.4.2.2.2 Fuente óptica**

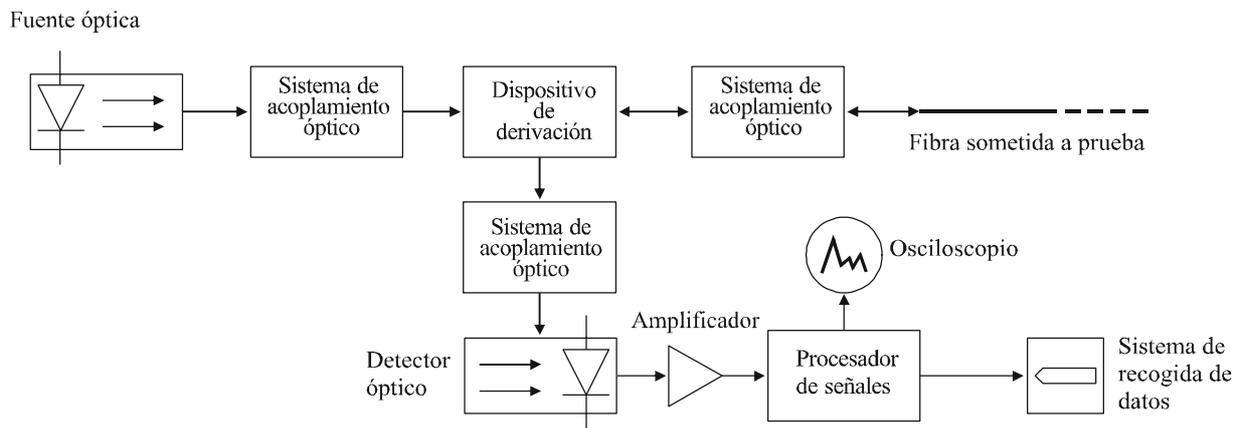
Utilizar una fuente óptica de alta potencia de longitudes de onda adecuadas (registrarlas). La anchura de los impulsos y la frecuencia de repetición deben ser consecuentes con la resolución deseada y la longitud de la fibra.

#### **5.4.2.2.3 Sistema de acoplamiento óptico**

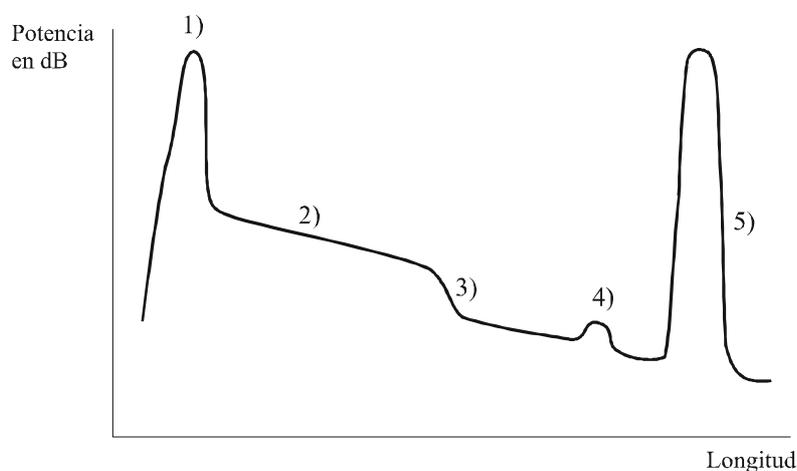
Se utilizará un sistema óptico para un acoplamiento eficaz del haz a la fibra probada, al dispositivo de derivación o al detector óptico. Pueden añadirse diversos dispositivos, tales como materiales de adaptación de índices, para reducir las reflexiones de Fresnel.

#### **5.4.2.2.4 Dispositivo de derivación**

Es necesario un dispositivo de derivación para acoplar la radiación de la fuente a la fibra y la radiación retrodispersada al detector, aunque evitando un acoplamiento fuente-detector directo. Evitar el uso de dispositivos con propiedades dependientes de la polarización.



a) Esquema del aparato



G.650.1  
F14

b) Ejemplo de curva de pérdida de retrodispersión bidireccional

**Figura 14/G.650.1 – Técnica de retrodispersión**

#### 5.4.2.2.5 Detector óptico

Se utilizará un detector que permita interceptar la máxima potencia retroesparcida posible. La respuesta del detector será compatible con los niveles y longitudes de onda de la señal detectada. Para las mediciones de atenuación, la respuesta del detector será prácticamente lineal.

#### 5.4.2.2.6 Amplificador

Un amplificador apropiado seguirá al detector óptico, de modo que el nivel de señal sea el adecuado para el procesamiento de la misma. La anchura de banda de amplificador constituirá un compromiso entre la resolución temporal y la reducción del ruido.

#### 5.4.2.2.7 Procesador de la señal

Se requiere un procesador de la señal para mejorar la relación señal/ruido, para calcular la curva de atenuación a partir de las dos curvas de pérdida de retrodispersión unidireccional y para proporcionar una respuesta logarítmica en el sistema de detección. Pueden conectarse al procesador de la señal un osciloscopio para la observación directa de la traza de retrodispersión y un sistema de recogida de datos para almacenar los resultados de medición.

#### 5.4.2.2.8 Supresor de modos de revestimiento

Véase 5.4.1.2.5.

#### 5.4.2.2.9 Configuración de la muestra de fibra

La medición puede efectuarse con la fibra en un cierto número de configuraciones (por ejemplo, como fibra cableada, en un carrete de transporte adecuado o como requiera el método de prueba de referencia).

#### 5.4.2.3 Procedimiento de medición

- a) Alinear la fibra probada con el sistema de acoplamiento óptico.
- b) Medir dos curvas de pérdida por retrodispersión unidireccional, una desde cada extremo de la fibra. La figura 14b muestra un ejemplo de dicha curva unidireccional. Cada curva de pérdida por retrodispersión es analizada por el procesador de la señal y se registra en una escala logarítmica, evitando las partes situadas en los dos extremos de las curvas, debido a las reflexiones de los dispositivos de acoplamiento y de derivación y las causadas por los extremos de la fibra (véanse las áreas 1) y 5) de la figura 14b).
- c) Evaluar la longitud,  $L_f$ , de la fibra desde el intervalo de tiempo comprendido entre los dos extremos de la curva de pérdida por retrodispersión,  $T_f$ , y el índice de retardo de grupo,  $N$  de la fibra, como sigue:  $L_f = c \cdot T_f / N$  (siendo  $c$  la velocidad de la luz en el espacio libre).
- d) Obtener la curva de pérdida por retrodispersión bidireccional utilizando las dos curvas de pérdida por retrodispersión unidireccional medida y registrada, según el procedimiento descrito a continuación:

Sean  $a(x)$  y  $b(z)$  las funciones que describen las dos curvas de pérdida por retrodispersión bidireccional en dB, siendo  $x$  y  $z$  las distancias desde los extremos de la fibra más próximas al lugar de inyección respectivo. La curva de pérdida por retrodispersión bidireccional viene dada por:

$$y(x) = \frac{a(x) - b(L_f - x)}{2} \quad (5-14)$$

- e) Obtener el coeficiente de atenuación de extremo a extremo de la fibra según el procedimiento descrito a continuación:

El coeficiente de atenuación,  $A(x_0, x_1)$  para un segmento de fibra definido por las posiciones extremas  $x_0$  y  $x_1$  (con  $x_0 < x_1$ ) viene dado por:

$$A(x_0, x_1) = \frac{y(x_0) - y(x_1)}{x_1 - x_0} \quad (5-15)$$

Esta expresión puede evaluarse por ajuste lineal de mínimos cuadrados de los datos entre  $x_0$  y  $x_1$ .

El coeficiente de atenuación de extremo a extremo de la fibra se determina del mismo modo que en la ecuación 5-15 con los puntos de datos lo más próximo posible a las posiciones extremas. Sin embargo, estos puntos deben hallarse fuera del área de la zona muerta y del área de reflexión de extremo (véase la figura 14b, áreas 1) y 5).

#### 5.4.2.4 Presentación de los resultados

- a) Configuración de prueba.
- b) Clase de procesamiento de señales utilizado.
- c) Fecha de la prueba.
- d) Identificación y longitud del espécimen de prueba.
- e) Anchura de los impulsos.

- f) Longitud(es) de onda de prueba.
- g) Coeficiente de atenuación de extremo a extremo de la fibra en dB/km.
- h) Curva de pérdida por retrodispersión bidireccional.

NOTA – Las mediciones de retrodispersión unidireccionales se obtienen con la función  $a(x)$  solamente. El análisis completo de las curvas de pérdida por retrodispersión unidireccional registradas (figura 14b) muestra que, independientemente de las mediciones de atenuación, pueden supervisarse muchos fenómenos utilizando la técnica del retrodispersión, entre ellos:

- 1) reflexión originada por los dispositivos de derivación y de acoplamiento en el extremo de entrada de la fibra;
- 2) zona de pendiente de retrodispersión invariante;
- 3) discontinuidad debida a defecto local, empalme o acoplamiento;
- 4) variación de la pendiente de retrodispersión con la longitud;
- 5) fluctuación en el extremo de salida de la fibra;
- 6) variación de la atenuación, por ejemplo con la temperatura.

### **5.4.3 Segundo método de prueba alternativo: Técnica de la pérdida de inserción**

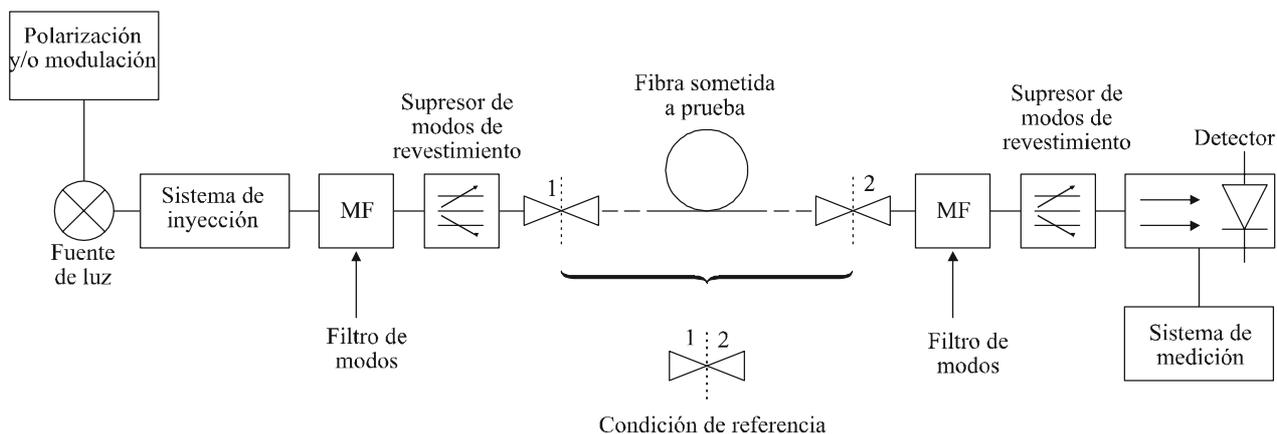
#### **5.4.3.1 Generalidades**

La técnica de la pérdida de inserción consiste en evaluar la pérdida de potencia debida a la inserción de la fibra sometida a prueba entre un sistema de inyección y un sistema de recepción previamente interconectados (condición de referencia). Las potencias  $P_1$  y  $P_2$  se evalúan así de una forma menos directa que con el método de la fibra cortada. Por tanto, el método no está destinado a su empleo con largos de fabricación de fibras y cables.

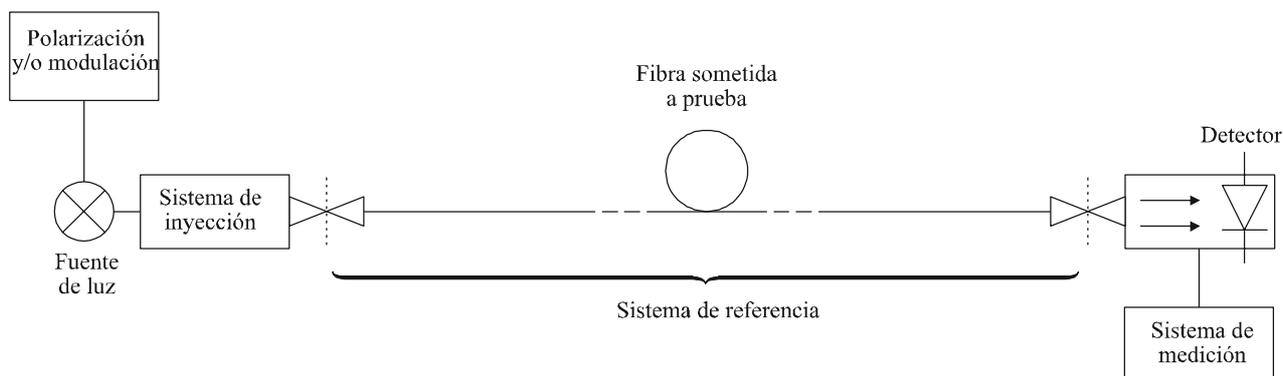
La técnica de la pérdida de inserción es menos exacta que la de la fibra cortada, pero no requiere la destrucción de la fibra sometida a prueba ni los semiconectores posiblemente fijados en ambos extremos, por lo que es particularmente apta en condiciones de funcionamiento real, destinándose sobre todo a su empleo con tramos de cable unidos mediante conectores.

Se considerarán dos opciones en esta técnica (véase la figura 15), que difieren en la naturaleza de los sistemas de inyección y recepción, como se indica más adelante. Son posibles condiciones de medición intermedias entre las de la opción a) y la opción b), que se tratan en la nota 2 de 5.4.3.3.2.

En la opción a), la calidad de los semiconectores posiblemente fijados en la fibra sometida a prueba (y, en general, la calidad de los dispositivos de interconexión utilizados) influye en los resultados; en la opción b), esta influencia es casi nula. En consecuencia, la opción b) es por lo general más exacta y más adecuada cuando sólo se necesita la atenuación efectiva de la fibra. Por el contrario, cuando la sección de fibra sometida a prueba dispone de semiconectores y ha de ponerse en cascada con otros elementos, los resultados de la opción a) son más significativos ya que tienen en cuenta la desviación de los semiconectores con respecto a la pérdida nominal.



Opción a)



Opción b)

G.650.1  
F15

Figura 15/G.650.1 – Técnica de la pérdida de inserción

### 5.4.3.2 Aparato de prueba

En la figura 15 se representa el aparato de prueba. Las mediciones pueden efectuarse a una o más longitudes de onda, o bien puede requerirse una respuesta espectral en una gama de longitudes de onda.

#### 5.4.3.2.1 Fuente óptica

Se utilizará un fuente de radiación apropiada, de intensidad estable, como una lámpara, un láser o un diodo fotoemisor. Si se emplea una fuente de amplio espectro, deberá ir seguida de un dispositivo de selección de longitud de onda (o bien insertarse este dispositivo antes del detector). En cualquier caso se conocerá la longitud de onda nominal de la fuente (teniendo en cuenta, posiblemente, el dispositivo de selección de longitud de onda).

La anchura espectral entre puntos de amplitud mitad (FWHM) debe ser estrecha en relación con cualquiera de las características de atenuación espectral de la fibra.

#### **5.4.3.2.2 Modulación**

Véase 5.4.1.2.2.

#### **5.4.3.2.3 Condiciones de inyección**

##### **Para la opción a)**

La fuente se acopla a un tramo corto de fibra monomodo que tiene las mismas características nominales que la fibra sometida a prueba y que dispone de un filtro de modos y un supresor de modos de revestimiento (véase más adelante).

La citada fibra monomodo se acopla a la fibra que ha de probarse con un dispositivo de acoplamiento muy preciso, para minimizar las pérdidas de acoplamiento y garantizar unos resultados significativos. Si la fibra sometida a prueba dispone de un semiconector, se fijará a la fibra de inyección un semiconector compatible de alta calidad.

##### **Para la opción b)**

La fuente se acopla a la fibra sometida a prueba mediante un sistema óptico adecuado de manera que el punto luminoso inyectado en la cara extrema de entrada de la fibra tenga una intensidad de campo próximo y de campo lejano casi uniforme, dentro del diámetro del campo modal y la intensidad de campo lejano de la fibra a prueba.

El sistema puede utilizar lentes y un posicionador de fibra; otra posibilidad es inyectar la luz en una fibra multimodo de índice en escalón que se conecta a la fibra sometida a prueba.

Esto se efectúa con cualquier dispositivo de acoplamiento o semiconector compatible con los que terminan la fibra objeto de prueba.

#### **5.4.3.2.4 Sistema de referencia (opción b) únicamente)**

Este sistema está formado por un tramo corto de fibra monomodo que tiene las mismas características nominales que la fibra sometida a prueba. La fibra dispone de un filtro de modos y un supresor de modos de revestimiento, que no deberán introducir ninguna pérdida en el modo fundamental.

#### **5.4.3.2.5 Filtro de modos**

El filtro de modos permitirá la propagación a lo largo de la fibra del modo fundamental únicamente. Puede implementarse por ejemplo mediante una curvatura adecuada de la fibra.

#### **5.4.3.2.6 Supresor de modos de revestimiento**

Debe emplearse un supresor de modos de revestimiento que favorezca la conversión de modos de revestimiento en modos de radiación. Este dispositivo no es necesario si la propia fibra no permite la propagación de modos de revestimiento.

#### **5.4.3.2.7 Detección óptica**

La respuesta espectral del detector óptico será compatible con las características espectrales de la fuente. Debe tener características de sensibilidad lineales.

##### **Para la opción a)**

El detector se conecta a una fibra monomodo que tiene las mismas características nominales que la fibra sometida a prueba. La fibra debe disponer de un filtro de modos y de un supresor de modos de revestimiento.

Para el acoplamiento con la fibra a prueba, es aplicable lo indicado en 5.4.3.2.3, opción a).

### Para la opción b)

El extremo de la fibra sometida a prueba se posiciona delante del detector.

Se utilizará un detector adecuado que intercepte toda la radiación que emerge de la fibra. El detector debe ser espacialmente uniforme.

Otra posibilidad es conectar el detector a una fibra multimodo de índice en escalón. Esta fibra se acopla a la fibra sometida a prueba mediante un dispositivo de acoplamiento cualquiera o un semiconector compatible con los que terminan la fibra a prueba.

### 5.4.3.3 Procedimiento de medición

#### 5.4.3.3.1 Preparación de la fibra que ha de probarse

Véase 5.4.1.3.1.

Si la fibra dispone de conectores, es necesario un procedimiento de limpieza adecuado.

#### 5.4.3.3.2 Procedimiento

- 1) Una vez seleccionada la longitud de onda de medición, se mide primero la potencia  $P_1$  de la siguiente manera:

#### Para la opción a)

Se conecta la fibra del sistema de inyección a la fibra del sistema de recepción. Se registra la potencia recibida  $P_1$ .

#### Para la opción b)

Se conecta el sistema de referencia entre los sistemas de inyección y recepción. Se registra la potencia recibida  $P_1$ .

- 2) A continuación se conecta la fibra objeto de prueba entre los sistemas de inyección y de recepción. Se registra entonces la potencia  $P_2$  recibida.
- 3) Finalmente se calcula la atenuación  $A$  de la sección de fibra de la siguiente manera:

#### Para la opción a)

$$A = 10 \log \frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)} + C_r - C_1 - C_2 \text{ (dB)} \quad (5-16a)$$

donde  $C_r$ ,  $C_1$  y  $C_2$  son las pérdidas medias nominales (en dB) de las conexiones en las condiciones de referencia, a la entrada de la fibra objeto de prueba y a su salida, respectivamente.

#### Para la opción b)

$$A = 10 \log \frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)} \text{ (dB)} \quad (5-16b)$$

NOTA 1 – Al utilizar la opción b) se supone que la fibra sometida a prueba no permite la propagación al extremo receptor de modos distintos del fundamental.

NOTA 2 – También son posibles las mediciones de atenuación de la fibra con un montaje de prueba mixto, que utilice un sistema de inyección como el de la opción a) y un sistema de recepción como el de la opción b), o viceversa.

El procedimiento de medición de  $P_1$  es similar en ambos casos al reseñado anteriormente para la opción a); no se precisa sistema de referencia y el sistema de inyección se conecta directamente al sistema de recepción.

La atenuación de la sección de fibra puede calcularse en los dos casos de la siguiente manera:

$$A = 10 \log \frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)} - C_a \text{ (dB)} \quad (5-17)$$

donde  $C_a$  es la pérdida media nominal (en dB) de la conexión entre la fibra sometida a prueba y la parte del montaje de prueba (de lanzamiento o recepción) perteneciente a la opción a).

NOTA 3 – El hecho de que la opción a) permita evaluar el comportamiento de los semiconectores no implica su utilización siempre que se requiera esta evaluación.

También se puede utilizar un montaje de opción b), incluso en un extremo en el que se requiere la evaluación de semiconectores, conectando previamente un cordón monomodo a las fibras sometidas a prueba. La pérdida nominal del conector fibra-cordón debe sustraerse de la pérdida medida.

El aparato de prueba que ha de utilizarse en la práctica debe elegirse de manera que minimice las fuentes de error, teniendo en cuenta la instrumentación disponible y los dispositivos de conexión. El empleo de un montaje híbrido (a-lanzamiento, b-recepción) más un cordón en el extremo receptor suele ser la mejor solución cuando han de evaluarse ambos semiconectores.

#### 5.4.3.4 Presentación de los resultados

- a) Disposición del montaje de prueba, incluido tipo de fuente, longitud de onda de la fuente, anchura espectral (FWHM) utilizada en la medición y el tipo de opción a) o b).
- b) Identificación de la fibra.
- c) Longitud de la sección de fibra y condiciones de extremo (presencia de semiconductores).
- d) Atenuación de las secciones expresada en dB.
- e) Coeficiente de atenuación expresado en dB/km.
- f) Indicación de exactitud y repetibilidad (la repetibilidad de la pérdida de conexión se tendrá adecuadamente en cuenta).
- g) Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).

#### 5.4.4 Tercer método de prueba alternativo: Modelización de la atenuación espectral<sup>1</sup>

##### 5.4.4.1 Generalidades

El coeficiente de atenuación de una fibra a lo largo de un espectro de longitudes de onda puede calcularse mediante una matriz de caracterización  $M$  y un vector  $v$ . El vector contiene los coeficientes de atenuación medidos en unas pocas (3 a 5) longitudes de onda (por ejemplo, 1310 nm, 1360 nm, 1380 nm, 1410 nm, 1550 nm y/o 1625 nm).

Siguiendo un primer método, el proveedor de la fibra o cable proporcionará una matriz característica de su producto, y el modelo de la atenuación espectral es el vector  $w$  que resulta del producto de  $M$  y  $v$ :

$$w = M \cdot v$$

Alternativamente, si se utiliza una matriz genérica, el suministrador proporcionará un vector factor de corrección tal que la ecuación de predicción sea:

$$W = w + e$$

---

<sup>1</sup> El único motivo para incluir la cláusula 5.4.4 es la uniformidad del texto. Está aprobado como enmienda 1 y NO tiene que someterse al procedimiento de aprobación alternativo (AAP).

donde:

$W$  es el vector modificado

$w$  viene dado por la ecuación  $w = M \cdot v$

$e$  es el vector factor de corrección

Una matriz genérica es una matriz de caracterización que puede aplicarse a diversas fibras, diseños y proveedores (presumiblemente en el marco de un único tipo de fibra), y que puede estar determinada por un organismo normalizador, un único cliente/usuario final, o cualquier otra fuente de la industria y a la que pueden recurrir los proveedores para comparar sus productos, resolviéndose la diferencia mediante el vector  $e$ .

#### 5.4.4.2 Aparato de prueba

Puesto que esta técnica presupone un cálculo que utiliza valores previamente determinados, no se necesita ningún aparato específico. Pueden utilizarse cualquiera de los métodos de prueba recomendados (5.4.1 técnica de la fibra cortada; 5.4.2 técnica de retrodispersión; 5.4.3 técnica de la pérdida de inserción) para generar los valores medidos a partir de los cuales se realiza el cálculo.

En caso de conflicto, la medición directa de la atenuación prevalece sobre este método.

#### 5.4.4.3 Procedimiento de cálculo

El coeficiente de atenuación de una fibra a lo largo de un espectro de longitudes de onda puede calcularse mediante la ecuación  $w = M \cdot v$ . El vector  $v$  contiene los coeficientes de atenuación medidos en unas pocas (tres a cinco) longitudes de onda predictivas (por ejemplo, 1310 nm, 1360 nm, 1380 nm, 1410 nm, 1550 nm y/o 1625 nm), para lo cual se utiliza cualquiera de los métodos de prueba de atenuación precedentes. El vector  $w$ , resultado de multiplicar la matriz  $M$  por el vector  $v$ , contiene los coeficientes de atenuación previstos a numerosas longitudes de onda (por ejemplo intervalos de 10 nm de longitud de onda, entre 1240 nm y 1600 nm).

La matriz  $M$  viene dada por:

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

donde  $m$  es el número de longitudes de onda para las que se tienen que estimar los coeficientes de atenuación y  $n$  es el número de longitudes de onda predictivas. En el apéndice III se incluye una matriz de este tipo con fines ilustrativos.

La desviación típica de la diferencia entre los coeficientes de atenuación reales y los previstos para cada longitud de onda debe ser inferior a 0,xx dB/km dentro de la gama de longitudes de onda dada. Puede ser necesario establecer una tolerancia diferente – 0,yy dB/km – si se especifica una gama de longitudes de onda adicional. Los valores de xx, y de (yy), así como las gamas de longitudes de onda deben establecerse previo acuerdo entre el usuario y el fabricante.

Si la estimación se obtiene utilizando la matriz  $M$  específica del proveedor, no es necesario el vector  $e$  de corrección.

Puesto que los elementos  $M$  y  $e$  se obtienen de manera estadística, los elementos del vector  $w$  se tendrán que interpretar como estadísticos. Para indicar la exactitud de los coeficientes de atenuación previstos, los proveedores de fibra darán un vector que contenga la desviación típica de las diferencias entre los coeficientes de atenuación reales y previstos, junto con  $M$  y/o  $e$  (véase 5.4.4.4).

NOTA 1 – Para facilitar la utilización de esta matriz, la fibra deberá medirse periódicamente a las longitudes de onda predictivas. El número de longitudes de onda predictivas debe ser de 3 a 5; muy preferentemente el número menor, si puede conseguirse un grado suficiente de exactitud.

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

#### **5.4.4.4 Presentación de los resultados**

Además de los elementos utilizados por el método de prueba para la medición de los coeficientes de atenuación, se indicarán los siguientes elementos:

- a) La atenuación prevista y la correspondiente longitud de onda.
- b) El método utilizado para obtener los valores del coeficiente de atenuación medidos (si es necesario);
- c) La matriz utilizada para predecir la atenuación espectral, o el vector de corrección si se utiliza una matriz genérica (si es necesario);
- d) El vector que contiene la desviación típica de las diferencias entre los coeficientes de atenuación reales y previstos obtenido durante el cálculo de la matriz (si es necesario).

### **5.5 Métodos de prueba para la dispersión cromática**

La dispersión cromática varía con la longitud de onda. En algunos métodos e implementaciones se mide el retardo de grupo en función de la longitud de onda, y los valores de dispersión cromática y pendiente de dispersión se obtienen de las derivadas de estos datos (con respecto a la longitud de onda). Esta diferenciación se suele hacer después de ajustar los datos a un modelo matemático. Otras implementaciones del método de referencia pueden permitir una medición directa en todas las longitudes de onda consideradas.

Los atributos de dispersión cromática de algunos tipos de fibras se especifican con los parámetros de un determinado modelo. En estos casos, el modelo apropiado para la definición de los parámetros especificados se indica en la Recomendación pertinente. Para otras fibras se especifican valores límite de dispersión para uno o más intervalos de longitud de onda especificados. En estos casos pueden hacerse mediciones directas en los extremos de longitud de onda, pero también puede utilizarse un modelo de adaptación que permita métodos o implementaciones de medición del retardo de grupo, o que permita almacenar una serie reducida de parámetros que se podrán utilizar para calcular la dispersión por interpolación para determinadas longitudes de onda, para las que tal vez no hay valores por medición directa.

En el anexo A se describe en general la adaptación de la dispersión cromática y se indican distintas ecuaciones de adaptación que pueden aplicarse con cualquiera de los métodos de medición o los tipos de fibras.

#### **5.5.1 Método de prueba de referencia: Técnica del desplazamiento de fase**

##### **5.5.1.1 Generalidades**

El coeficiente de dispersión cromática de la fibra se obtiene de la medición del retardo de grupo relativo observado en las diversas longitudes de onda durante la propagación a través de un tramo de fibra conocido.

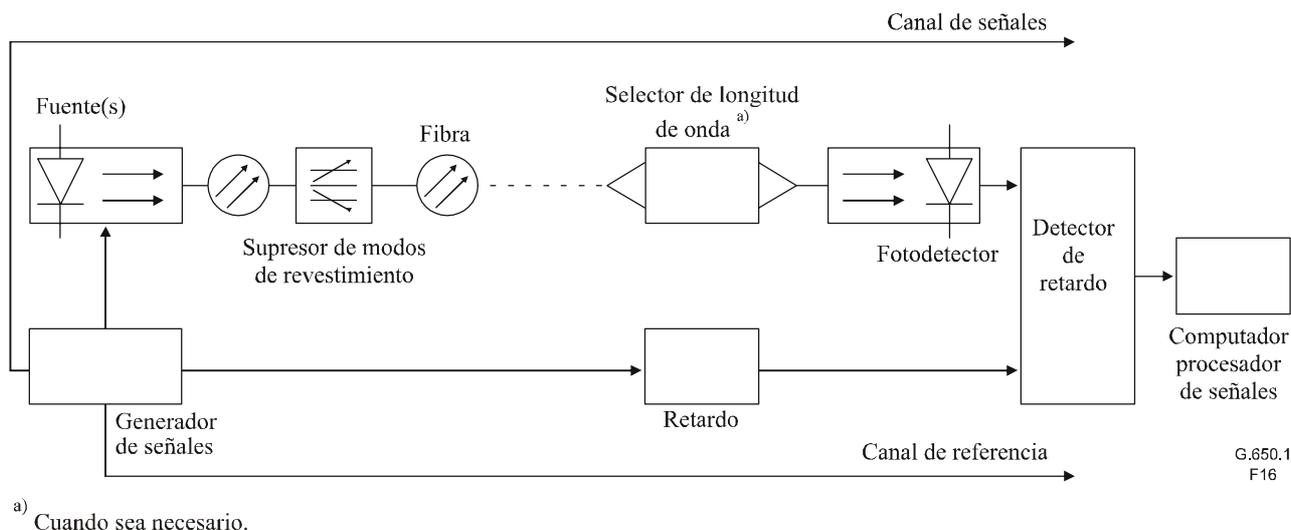
El retardo de grupo puede medirse en el dominio de la frecuencia detectando, grabando y procesando el desplazamiento de fase de una señal moduladora sinusoidal.

La dispersión cromática puede medirse a una longitud de onda fija o en una gama de longitudes de onda.

NOTA – Véase la descripción del desplazamiento de fase diferencial en el documento CEI 60793-1-42, anexo C.

### 5.5.1.2 Aparato de prueba

La figura 16 muestra un diagrama esquemático del aparato de prueba.



**Figura 16/G.650.1 – Montaje típico del aparato de prueba**

#### 5.5.1.2.1 Fuente óptica

La fuente óptica será estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. Pueden utilizarse diodos láser (formaciones de diodos láser (LD-array, *laser diode array*)) diodos láser sintonizables por longitud de onda (WTL, *wavelength tunable laser diodes*) (por ejemplo, un láser de cavidad externa (ECL, *external cavity laser*)), diodos fotoemisores o fuentes de banda ancha (por ejemplo, un láser Nd:YAG con una fibra Raman), según la gama de longitudes de onda de la medición.

En todo caso, la señal moduladora deberá ser tal que garantice una resolución temporal suficiente en la medición del retardo de grupo.

#### 5.5.1.2.2 Selección de longitud de onda

Se utiliza un sistema de selección y supervisión para seleccionar y supervisar la longitud de onda a la cual ha de medirse el retardo de grupo. Como selector de longitud de onda puede utilizarse un conmutador óptico, un monocromador, dispositivos dispersivos, filtros ópticos, acopladores ópticos, conectores, etc., según el tipo de fuentes de luz y el montaje de medición. La selección puede efectuarse conmutando señales eléctricas de excitación de las fuentes de luz para diferentes longitudes de onda.

La supervisión de longitud de onda puede efectuarse con un acoplador de fibras ópticas y un medidor de longitud de onda. El selector y el monitor de longitud de onda pueden utilizarse en el extremo de entrada o en el extremo de salida de la fibra medida.

Si se efectúa un ajuste matemático en los datos, al menos un punto de datos debe hallarse dentro de 100 nm de  $\lambda_0$ .

#### 5.5.1.2.3 Detector

La luz que sale de la fibra medida, de la fibra de referencia, del divisor óptico o de otros dispositivos se acopla a un fotodetector cuya relación señal o ruido y resolución temporal son adecuadas para la medición. El detector va seguido de un amplificador de bajo ruido, si es necesario.

#### 5.5.1.2.4 Canal de referencia

El canal de referencia puede ser una línea de señales eléctricas o una línea de señales ópticas. En este canal puede insertarse un generador de retardo de tiempo. En ciertos casos puede utilizarse la propia fibra probada como línea del canal de referencia.

#### 5.5.1.2.5 Detector de retardo

El detector de retardo medirá el desplazamiento de fase entre la señal de referencia y la señal de canal. Podrá utilizarse un voltímetro vectorial.

#### 5.5.1.2.6 Procesador de señales

Puede añadirse un procesador de señales para reducir el ruido y/o la fluctuación de fase de la forma de onda medida. En caso necesario, puede utilizarse un computador digital para control del equipo, recogida de datos y evaluación numérica de éstos.

#### 5.5.1.3 Procedimiento de medición

La fibra a prueba se acopla adecuadamente a la fuente y al detector mediante un selector de longitud de onda, un divisor óptico, etc. Si es necesario, puede realizarse una calibración del retardo cromático de la fuente. Es necesario adoptar una solución intermedia apropiada entre la resolución de longitud de onda y el nivel de la señal. A menos que la fibra sometida a prueba sea utilizada también como línea del canal de referencia, la temperatura de la fibra debe ser suficientemente estable durante la medición.

El desplazamiento de fase entre la señal de referencia y la señal de canal en la longitud de onda de trabajo debe medirse con el detector de retardo. Se utiliza un procesamiento de datos apropiado para el tipo de modulación a fin de obtener el coeficiente de dispersión cromática en la longitud de onda de trabajo. Si fuera necesario, puede realizarse una exploración espectral del retardo de grupo en función de la longitud de onda. Los valores medidos permiten trazar una curva empírica.

El retardo de tiempo de grupo se deducirá del correspondiente desplazamiento de fase  $\phi$  mediante la relación  $\tau = \phi/(2\pi f)$ , siendo  $f$  la frecuencia de modulación.

#### 5.5.1.4 Presentación de los resultados

- a) Configuración de prueba.
- b) Tipo de modulación utilizada.
- c) Características de la fuente.
- d) Identificación y longitud de la fibra.
- e) Características del selector de longitud de onda (si existe).
- f) Tipo de fotodetector.
- g) Características del detector de retardo.
- h) Modelo utilizado para ajustar los datos del retardo de grupo relativo o los datos de dispersión cromática, y los valores límite de longitud de onda utilizados para ajustar los datos.
- i) Valores de coeficientes de ajuste para cada gama de longitudes de onda utilizada.
- j) Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).

#### 5.5.2 Primer método de prueba alternativo: Técnica interferométrica

##### 5.5.2.1 Generalidades

El método de la prueba interferométrica permite medir la dispersión cromática utilizando un tramo corto de fibra (de varios metros). Este método ofrece la posibilidad de medir la homogeneidad longitudinal de la dispersión cromática de las fibras ópticas. Permite además medir el efecto de

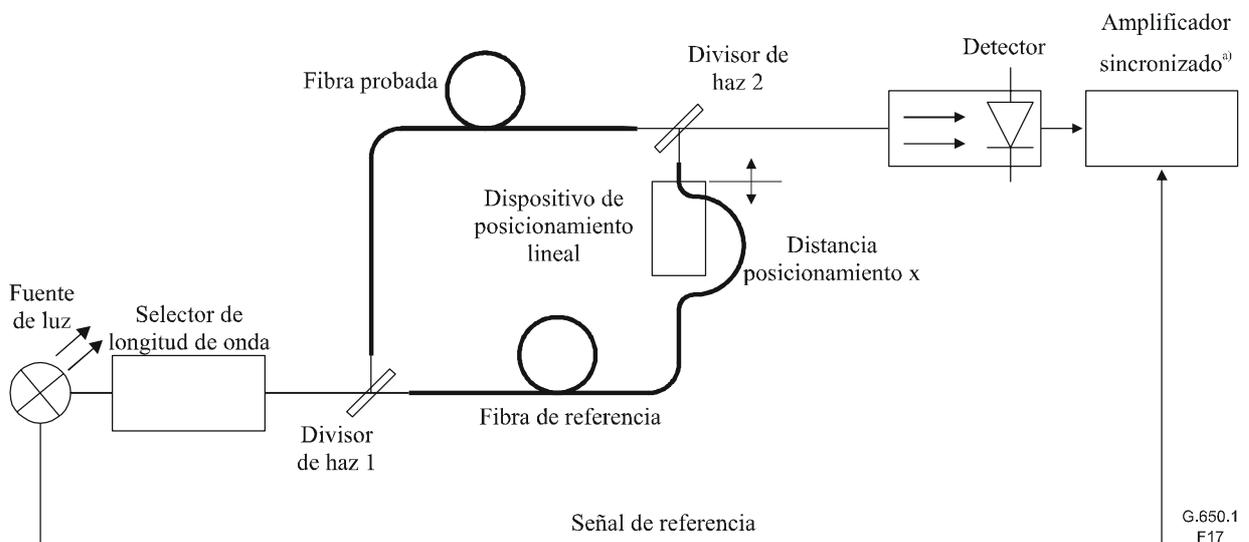
influencias generales o locales, tales como los cambios de temperatura y las pérdidas por microflexión, sobre la dispersión cromática.

Según el principio de medición interferométrica, el retardo entre la muestra probada y el trayecto de referencia, que depende de la longitud de onda, se mide con un interferómetro Mach-Zehnder. El trayecto de referencia puede hallarse en un trayecto aéreo o en una fibra monomodo con un retardo de grupo espectral conocido.

Obsérvese que los valores de dispersión cromática obtenidos mediante la prueba interferométrica con fibras de pocos metros de longitud son extrapolados a largas secciones de fibras, suponiendo una homogeneidad longitudinal de la fibra. Esta hipótesis no es necesariamente aplicable en todos los casos.

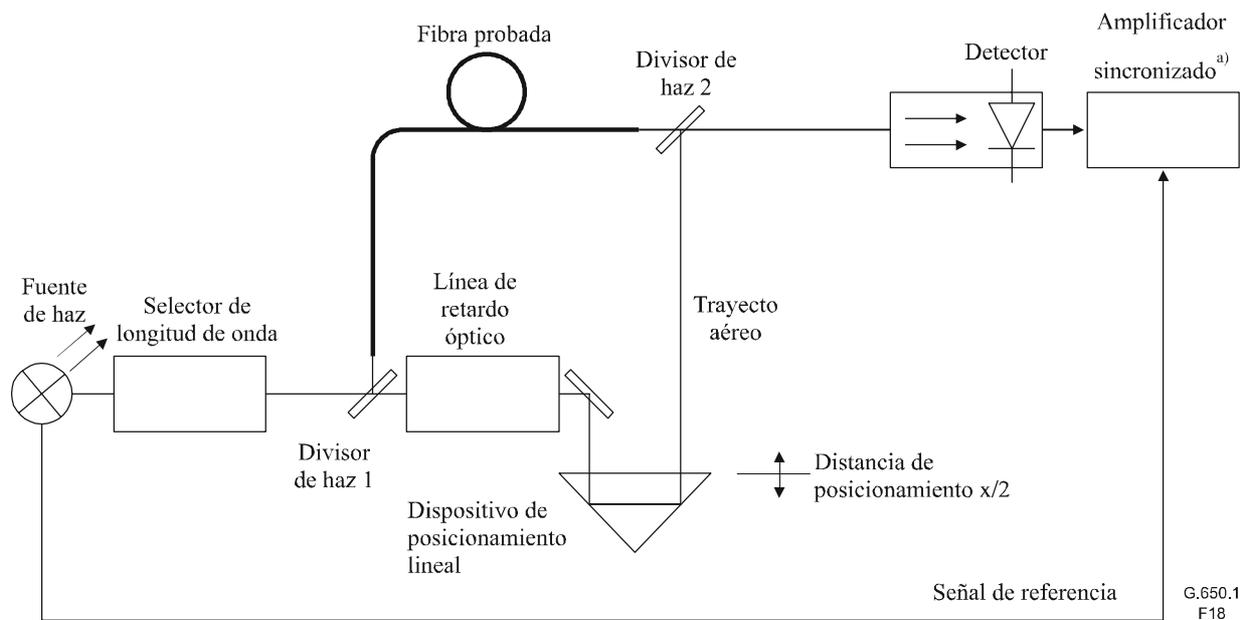
### 5.5.2.2 Aparato de prueba

Las figuras 17 y 18 muestran diagramas esquemáticos del aparato de prueba en los cuales el trayecto de referencia está constituido por una fibra óptica y un trayecto aéreo, respectivamente.



a) Cuando sea necesario.

**Figura 17/G.650.1 – Diagrama del montaje de medición con la fibra de referencia**



<sup>a)</sup> Cuando sea necesario.

**Figura 18/G.650.1 – Diagrama del montaje de medición con la referencia de trayecto aéreo**

#### 5.5.2.2.1 Fuente óptica

La fuente será estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. Debe utilizarse una fuente adecuada, por ejemplo, un láser YAG con fibra Raman o una lámpara y una fuente óptica de diodo fotoemisor, etc. Para la aplicación de técnicas de amplificación sincronizada, basta con una fuente luminosa para modulación a baja frecuencia (50 a 500 Hz).

#### 5.5.2.2.2 Selector de longitud de onda

Se utiliza un selector de longitud de onda para seleccionar la longitud de onda a la cual se mide el retardo del grupo. Puede utilizarse un monocromador, un filtro de interferencia óptica u otro selector de longitud de onda, según el tipo de fuentes ópticas y los sistemas de medición. El selector de longitud de onda puede utilizarse en el extremo de entrada o en el de salida de la fibra probada.

La anchura espectral de las fuentes ópticas está limitada por la exactitud de medición de la dispersión y es de unos 2 a 10 nm.

Si se efectúa un ajuste matemático de los datos, al menos un punto de datos debe hallarse dentro de 100 nm de  $\lambda_0$ .

#### 5.5.2.2.3 Detector óptico

El detector óptico debe tener suficiente sensibilidad en la gama de longitudes de onda a la que debe determinarse la dispersión cromática. Si es necesario, podría mejorarse la señal recibida, por ejemplo con un circuito de transimpedancia.

#### 5.5.2.2.4 Equipo de prueba

Para registrar los diagramas de interferencia puede utilizarse un amplificador sincronizado. Para equilibrar la longitud óptica de los dos trayectos del interferómetro se utiliza un dispositivo de posicionamiento lineal en el trayecto de referencia. En cuanto al posicionamiento del dispositivo, es importante asegurarse de su exactitud, uniformidad y estabilidad de movimiento lineal. La variación de la longitud debe hallarse en la gama de 20 a 100 mm, con una exactitud de unos 2  $\mu\text{m}$ .

### 5.5.2.2.5 Espécimen

Como espécimen para la prueba pueden utilizarse fibras monomodo no cableadas y cableadas, con una longitud de 1 a 10 m, determinada con exactitud de  $\pm 1$  mm. La preparación de las caras extremas de las fibras debe realizarse con cierto cuidado.

### 5.5.2.2.6 Procesamiento de los datos

Para el análisis de los diagramas de interferencia debe utilizarse un computador con soporte lógico adecuado.

### 5.5.2.3 Procedimiento de medición

- 1) La fibra probada se dispone en el montaje de medición (figuras 17 y 18). El posicionamiento de las caras extremas de la fibra se efectúa con dispositivos de microposicionamiento tridimensional, optimizando la potencia óptica recibida por el detector. No son posibles errores debidos a modos de revestimiento.
- 2) Para determinar el retardo de grupo se comparan las longitudes ópticas de los dos trayectos del interferómetro con un dispositivo de posicionamiento lineal en el trayecto de referencia, para diferentes longitudes de onda. La diferencia entre la posición  $x_i$  del máximo del diagrama de interferencia para la longitud de onda  $\lambda_i$  y la posición  $x_0$  para la longitud de onda  $\lambda_0$  (figura 19) determina la diferencia de retardo de grupo  $\Delta\tau_g(\lambda_i)$  entre el trayecto de referencia y el trayecto de prueba, por la siguiente expresión:

$$\Delta\tau_g(\lambda_i) = \frac{x_0 - x_i}{c_0} \quad (5-18)$$

donde  $c_0$  es la velocidad de la luz en vacío. El retardo de grupo de la muestra medida se calcula sumando el valor  $\Delta\tau_g(\lambda_i)$  y el retardo de grupo espectral del trayecto de referencia. Dividiendo esta suma por el largo de fibra probado se obtiene el retardo de grupo por unidad de longitud  $\tau(\lambda)$  de la fibra probada.

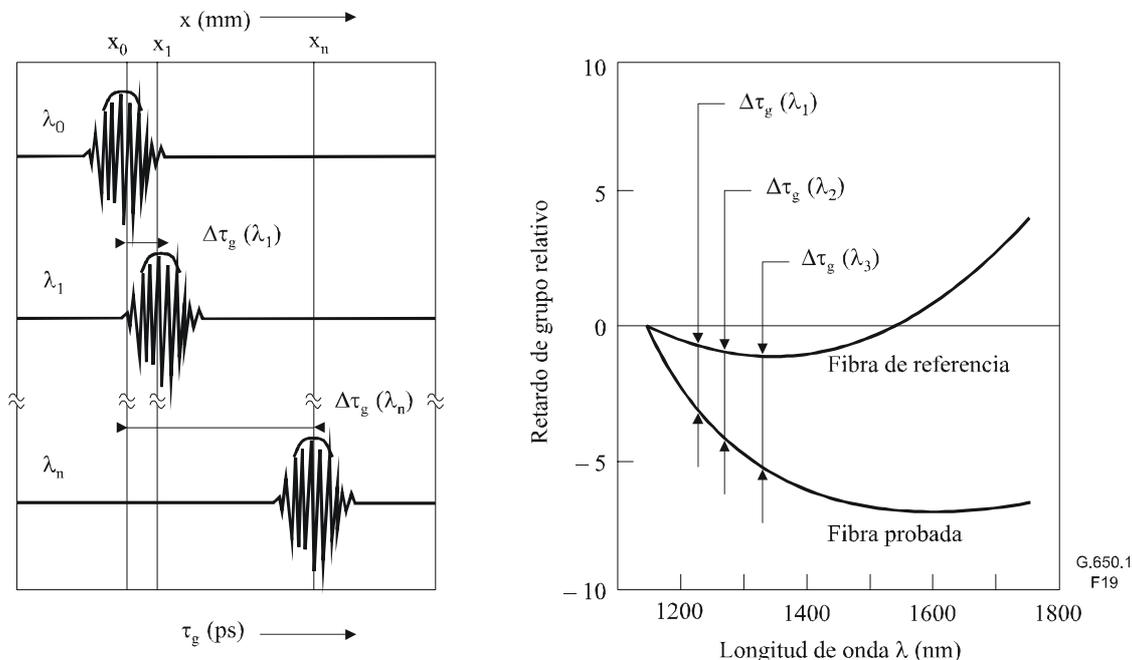


Figura 19/G.650.1 – Determinación del retardo de grupo espectral

#### **5.5.2.4 Presentación de los resultados**

- a) Configuración de prueba.
- b) Características de la fuente.
- c) Identificación y longitud de la fibra.
- d) Características del selector de longitud de onda (si existe).
- e) Tipo del fotodetector.
- f) Modelo utilizado para ajustar los datos del retardo de grupo relativo o los datos de dispersión cromática, y los valores límite de longitud de onda utilizados para ajustar los datos.
- g) Valores de coeficientes de ajuste para cada gama de longitudes de onda utilizada.
- h) Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).

### **5.5.3 Segundo método de prueba alternativo: Técnica de retardo de los impulsos**

#### **5.5.3.1 Generalidades**

El coeficiente de dispersión cromática de la fibra se obtiene de la medición del retardo de grupo relativo observado en las distintas longitudes de onda durante la propagación a través de un largo de fibra conocido.

El retardo de grupo se mide en el dominio del tiempo, detectando, grabando y procesando el retardo experimentado por los impulsos en diversas longitudes de onda.

La dispersión cromática puede medirse a una longitud de onda fija o en una gama de longitudes de onda.

#### **5.5.3.2 Aparato de prueba**

La figura 16 muestra un diagrama esquemático del aparato de prueba.

##### **5.5.3.2.1 Fuente óptica**

La fuente óptica será estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. Pueden utilizarse diodos láser (formaciones de diodos láser (LD-array)), diodos láser sintonizables por longitud de onda (WTL) (por ejemplo, un láser de cavidad externa (ECL)), fuentes de banda ancha (por ejemplo, un láser Nd:YAG con una fibra Raman), según la gama de longitudes de onda de la medición.

En todo caso, la señal moduladora deberá ser tal que garantice una resolución temporal suficiente en la medición del retardo de grupo.

##### **5.5.3.2.2 Selección de longitud de onda**

Se utiliza un sistema de selección y supervisión para seleccionar y supervisar la longitud de onda a la cual ha de medirse el retardo de grupo. Como selector de longitud de onda puede utilizarse un conmutador óptico, un monocromador, dispositivos dispersivos, filtros ópticos, acopladores ópticos, conectores, etc., según el tipo de fuentes de luz y el montaje de medición. La selección puede efectuarse conmutando señales eléctricas de excitación de las fuentes de luz para diferentes longitudes de onda.

La supervisión de longitud de onda puede efectuarse con un acoplador de fibras ópticas y un medidor de longitud de onda. El selector y el monitor de longitud de onda pueden utilizarse en el extremo de entrada o en el extremo de salida de la fibra medida.

Si se efectúa un ajuste matemático en los datos, al menos un punto de datos debe hallarse dentro de 100 nm de  $\lambda_0$ .

### **5.5.3.2.3 Detector**

La luz que sale de la fibra medida, de la fibra de referencia, o del divisor óptico, u otro dispositivo equivalente, se acopla a un fotodetector cuya relación señal o ruido y resolución temporal son adecuadas para la medición. El detector va seguido de un amplificador de bajo ruido, si es necesario.

### **5.5.3.2.4 Canal de referencia**

El canal de referencia puede ser una línea de señales eléctricas o una línea de señales ópticas. En este canal puede insertarse un generador de retardo de tiempo. En ciertos casos puede utilizarse la propia fibra probada como línea del canal de referencia.

### **5.5.3.2.5 Detector de retardo**

El detector de retardo medirá el desplazamiento de fase entre la señal de referencia y la señal de canal. Podrá utilizarse un osciloscopio de alta velocidad o un osciloscopio de muestreo.

### **5.5.3.2.6 Procesador de señales**

Puede añadirse un procesador de señales para reducir el ruido y/o la fluctuación de fase de la forma de onda medida. En caso necesario, puede utilizarse un computador digital para control del equipo, recogida de datos y evaluación numérica de éstos.

## **5.5.3.3 Procedimiento de medición**

La fibra en prueba se acopla adecuadamente a la fuente y al detector mediante un selector de longitud de onda, un divisor óptico, etc. Si es necesario, puede realizarse una calibración del retardo cromático de la fuente. Es necesario adoptar una solución intermedia apropiada entre la resolución de longitud de onda y el nivel de la señal. A menos que la fibra sometida a prueba sea utilizada también como línea del canal de referencia, la temperatura de la fibra debe ser suficientemente estable durante la medición.

El retardo de tiempo entre la señal de referencia y la señal de canal en la longitud de onda de funcionamiento debe medirse con el detector de retardo. Se utiliza un procesamiento de datos apropiado al tipo de modulación a fin de obtener el coeficiente de dispersión cromática en la longitud de onda de trabajo. Si fuera necesario, puede realizarse una exploración espectral del retardo de grupo en función de la longitud de onda. Los valores medidos permiten trazar una curva empírica.

## **5.5.3.4 Presentación de los resultados**

- a) Configuración de prueba.
- b) Tipo de modulación utilizada.
- c) Características de la fuente.
- d) Identificación y longitud de la fibra.
- e) Características del selector de longitud de onda (si existe).
- f) Tipo de fotodetector.
- g) Características del detector de retardo.
- h) Modelo utilizado para ajustar los datos del retardo de grupo relativo o los datos de dispersión cromática, y los valores límite de longitud de onda utilizados para ajustar los datos.
- i) Valores de coeficientes de ajuste para cada gama de longitudes de onda utilizada.
- j) Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).

## 5.6 Métodos de prueba mecánica de recepción

### 5.6.1 Método de prueba de referencia: Tensión longitudinal

#### 5.6.1.1 Generalidades

- a) Este método de prueba describe procedimientos en los que se aplican brevemente cargas de tracción a la totalidad de un largo continuo de fibra. El tramo inicial puede fraccionarse en varios tramos más cortos, considerándose que cada uno de los tramos de menor longitud ha pasado la prueba mecánica de recepción.
- b) En el almacenamiento y en la prueba mecánica se emplean condiciones ambientales normalizadas:  $23 \pm 5^\circ \text{C}$  y  $50 \pm 20\%$  de humedad relativa. El tiempo de almacenamiento antes de la prueba mecánica queda en estudio.
- c) La medición puede basarse en la tensión mecánica  $\sigma$  o en la deformación  $\epsilon$ . Están relacionadas por:

$$\sigma = E(1 + c\epsilon)\epsilon \quad (5-19)$$

donde  $E$  es el módulo de Young con tensión nula y  $c$  es un parámetro (normalmente, entre 3 y 6). La determinación de los parámetros  $E$  y  $c$ , si se precisan, queda en estudio.

- d) La tensión mecánica de la fibra se calcula mediante la tensión  $T$  de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{(1 - F)T}{\pi a^2} \quad (5-20)$$

donde  $2a$  es el diámetro de la fibra de cristal ( $125 \mu\text{m}$ ) y  $F$  es la fracción de la tensión soportada por el recubrimiento.  $F$  viene dada por:

$$F = \frac{\sum_{j=1}^n E_j A_j}{E_g \pi a^2 + \sum_{j=1}^n E_j A_j} \quad (5-21)$$

$n$  es el número de capas de recubrimiento

$E_j$  es el módulo de la  $j$ -ésima capa de recubrimiento

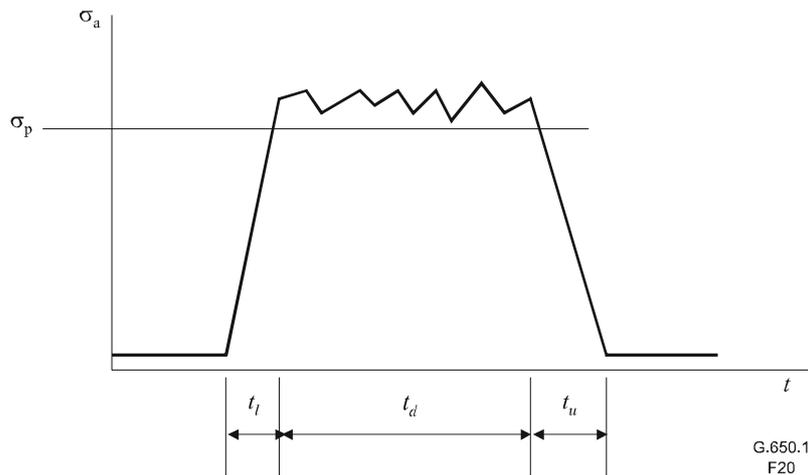
$A_j$  es el área de la sección de corte de la  $j$ -ésima capa de recubrimiento

$E_g$  es el módulo de la fibra de cristal

NOTA – Los módulos de recubrimiento suelen ser caracterizados por los fabricantes.

#### 5.6.1.1.1 Parámetros de la prueba mecánica de recepción

- a) La tensión mecánica de prueba,  $\sigma_p$ , se especifica para controlar la resistencia mecánica de las secciones supervivientes de la fibra. En la figura 20 se ilustra la tensión mecánica aplicada durante la prueba mecánica de recepción,  $\sigma_a$ . Se muestran también los tiempos de carga y descarga,  $t_l$  y  $t_u$ , y el tiempo de aplicación de la misma,  $t_d$ . La carga de tracción se aplicará durante el tiempo más breve posible, pero suficientemente grande para asegurar que el vidrio experimente la tensión mecánica de prueba.
- b) La tensión mecánica aplicada rebasará todas las veces la tensión mecánica de prueba. Se comprobará si el tiempo de descarga es inferior a un valor máximo a convenir entre el usuario y el fabricante para controlar el daño de descarga.



**Figura 20/G.650.1 – Tensión mecánica  $\sigma$  en función del tiempo  $t$ , durante la prueba mecánica de recepción**

### 5.6.1.2 Aparato de prueba

#### 5.6.1.2.1 Requisitos del procedimiento de funcionamiento

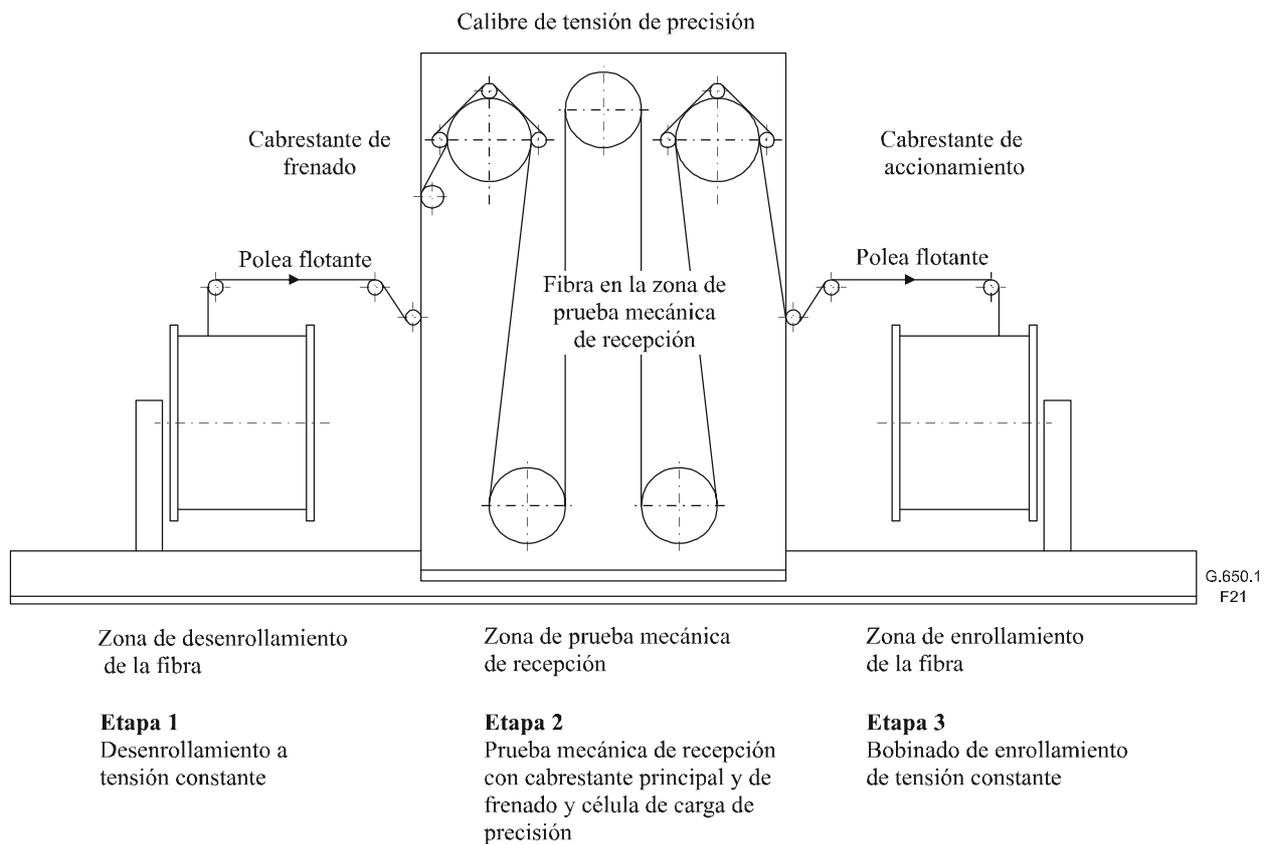
- a) En las zonas de desenrollamiento y de arrollamiento, la fibra se mantiene a una tensión mecánica de valor reducido que, normalmente, no excede del 10% de la tensión de prueba (véase la figura 20).
- b) En la zona de carga, la tensión mecánica de la fibra pasa rápidamente de un valor bajo a la plena tensión mecánica de prueba. El tiempo de carga es  $t_l$ .
- c) En la zona de prueba de recepción, la tensión mecánica de prueba aplicada,  $\sigma_a$ , se mantiene a valores mayores que la tensión mecánica de prueba especificada,  $\sigma_p$ .
- d) En la zona de descarga, la tensión mecánica de la fibra cae desde la tensión aplicada a un valor de tensión bajo. El tiempo de descarga es  $t_u$ .
- e) Se comprueba si el tiempo de descarga es inferior a un valor máximo a convenir por el usuario y el fabricante. Puede variarse cambiando la velocidad de actuación o mediante un diseño adecuado del cabestrante de sujeción.
- f) Los cabrestantes y otras poleas de soporte serán diseñadas y se harán funcionar de manera que no produzcan daño excesivo. Los cabrestantes de sujeción serán capaces de mantener la tensión mecánica aplicada sin producir daño adicional debido al deslizamiento.

#### 5.6.1.2.2 Máquinas de prueba mecánica de recepción

- a) *Máquina de cabrestantes frenados* (figura 21)

La fibra es desenrollada con baja tensión constante. También el rebobinado después de la prueba mecánica de recepción se efectúa con tensión constante. Los niveles de las tensiones de desenrollamiento y arrollamiento son ajustables.

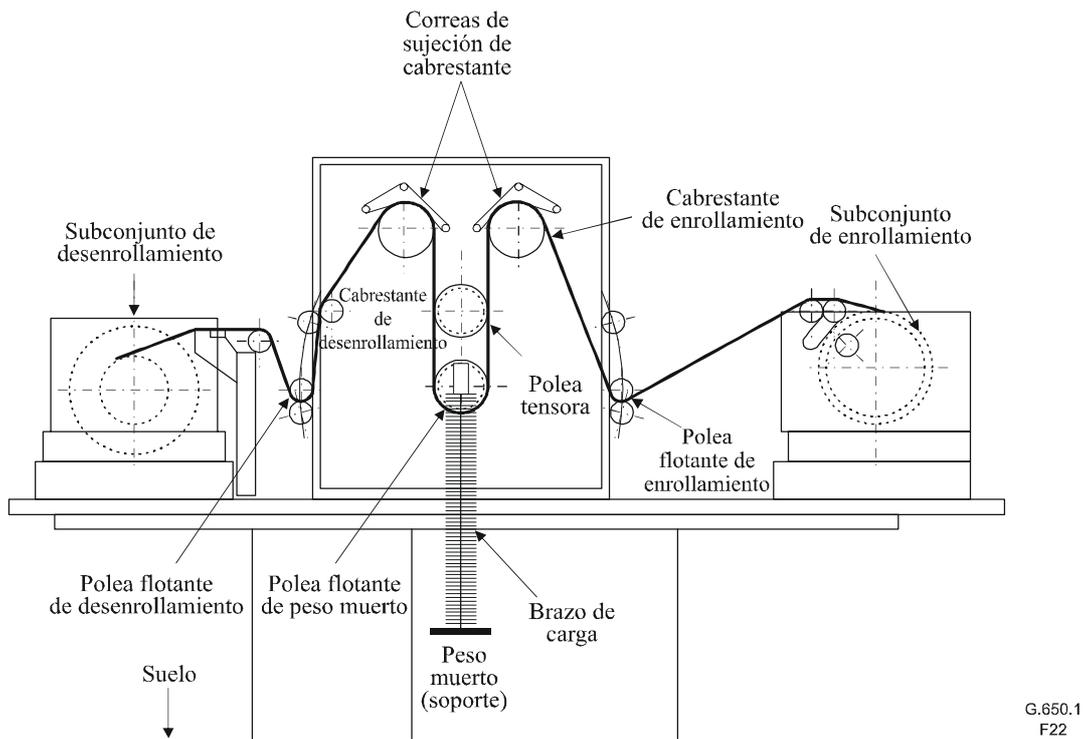
La carga de prueba mecánica de recepción se aplica a la fibra entre los cabrestantes de frenado y de accionamiento creando una diferencia de velocidad entre los cabrestantes. Se utilizan dos correas para evitar el deslizamiento en los cabrestantes. El calibre de tensión de alta precisión mide la carga en la fibra y controla la diferencia de velocidad para conseguir la carga de prueba mecánica de recepción requerida. El nivel de carga y la velocidad de funcionamiento del equipo pueden fijarse independientemente.



**Figura 21/G.650.1 – Configuración típica de una máquina de prueba mecánica de recepción de cabrestantes frenados**

b) *Máquina de peso muerto* (figura 22)

Las poleas flotantes de desenrollamiento y enrollamiento son lo bastante ligeras como para guiar la fibra con una tensión mínima. Los cabrestantes de desenrollamiento y enrollamiento están sincronizados entre sí. Las bandas de sujeción de los cabrestantes evitan que se produzcan deslizamientos en los mismos, sin añadir tensión adicional a la fibra o dañar sus recubrimientos. Un brazo de carga y un peso muerto que reposa sobre una placa se fijan al eje de la polea flotante de peso muerto, para proporcionar la tensión mecánica de prueba de la fibra. Una polea tensora facultativa proporciona un mayor largo de calibre de la fibra, si se necesita.



**Figura 22/G.650.1 – Máquina de prueba mecánica de recepción de peso muerto**

### 5.6.1.3 Procedimiento de medición

#### 5.6.1.3.1 Muestra

- La muestra de prueba será un largo total de fibra óptica menos secciones cortas en los extremos, en las que no pueden cumplirse todos los requisitos, por ejemplo, no puede cumplirse el máximo tiempo de descarga. Se indicará este margen de longitud de extremo, que suele ser menor que 50 m.
- El fallo de la fibra es la rotura en la prueba mecánica. Los métodos de examen incluyen una inspección visual y mediciones OTDR. Una vez eliminadas las zonas rotas, se considera que los largos de fibra restantes han pasado el procedimiento de prueba mecánica de recepción.

#### 5.6.1.3.2 Cálculo

Si la máquina está calibrada en tensión, el esfuerzo mecánico se calcula mediante la ecuación 5-20. La deformación puede obtenerse mediante la ecuación 5-19.

#### 5.6.1.4 Presentación de los resultados

- Descripción general del aparato.
- Identificación de la fibra.
- Tensión mecánica de prueba aplicada media.
- Máximo tiempo de descarga.
- Tiempo de aplicación.
- Margen de longitud de extremo.

## Anexo A

### Ajuste de la dispersión cromática

#### A.1 Consideraciones generales

El resultado de una medición de la dispersión cromática pueden ser valores de dispersión cromática medidos directamente o valores de retardo de grupo en función de la longitud de onda. Los valores de dispersión cromática y la pendiente de dispersión se obtienen de las derivadas de estos datos. Esta diferenciación se hace generalmente después de ajustar los datos a un modelo matemático.

En este anexo se describe en general el ajuste de la dispersión cromática y se indican distintas ecuaciones de ajuste habituales.

NOTA – las características de pendiente de dispersión no son necesariamente condiciones normativas, pero los fabricantes suelen proporcionar valores típicos para facilitar la adaptación de la dispersión.

#### A.2 Definición de las ecuaciones y los coeficientes de ajuste

El cuadro A.1 es una presentación general de los modelos matemáticos ajustados. Se trata de polinomios generales que pueden extenderse a polinomios de grado superior aplicando los mismos principios.

En el cuadro A.2 se indican las ecuaciones correspondientes para la pendiente de dispersión.

En el cuadro A.3 se indica la fórmula de la longitud de onda de dispersión cero y la pendiente correspondiente a esa longitud de onda para los modelos de Sellmeier de tres términos y de polinomio de grado 2.

**Cuadro A.1/G.650.1 – Definición de los tipos y los coeficientes de ajuste**

Tipo de ajuste	Ecuación del retardo de grupo	Ecuación de datos de dispersión
Sellmeier de tres términos	$A + B \cdot \lambda^2 + C \cdot \lambda^{-2}$	$2 \cdot B \cdot \lambda - 2 \cdot C \cdot \lambda^{-3}$
Sellmeier de cinco términos	$A + B \cdot \lambda^2 + C \cdot \lambda^{-2} + D \cdot \lambda^4 + E \cdot \lambda^{-4}$	$2 \cdot B \cdot \lambda - 2 \cdot C \cdot \lambda^{-3} + 4 \cdot D \cdot \lambda^3 - 4 \cdot E \cdot \lambda^{-5}$
Polinomio grado 2 (cuadrático)	$A + B \cdot \lambda + C \cdot \lambda^2$	$B + 2 \cdot C \cdot \lambda$
Polinomio grado 3 (cúbico)	$A + B \cdot \lambda + C \cdot \lambda^2 + D \cdot \lambda^3$	$B + 2 \cdot C \cdot \lambda + 3 \cdot D \cdot \lambda^2$
Polinomio grado 4	$A + B \cdot \lambda + C \cdot \lambda^2 + D \cdot \lambda^3 + E \cdot \lambda^4$	$B + 2 \cdot C \cdot \lambda + 3 \cdot D \cdot \lambda^2 + 4 \cdot E \cdot \lambda^3$

**Cuadro A.2/G.650.1 – Ecuaciones de la pendiente**

Tipo de ajuste	Ecuación pendiente de dispersión
Sellmeier de tres términos	$2 \cdot B + 6 \cdot C \cdot \lambda^{-4}$
Sellmeier de cinco términos	$2 \cdot B + 6 \cdot C \cdot \lambda^{-4} + 12 \cdot D \cdot \lambda^2 + 20 \cdot E \cdot \lambda^{-6}$
Polinomio grado 2 (cuadrático)	$2 \cdot C$
Polinomio grado 3 (cúbico)	$2 \cdot C + 6 \cdot D \cdot \lambda$
Polinomio grado 4	$2 \cdot C + 6 \cdot D \cdot \lambda + 12 \cdot E \cdot \lambda^2$

**Cuadro A.3/G.650.1 – Longitud de onda de dispersión cero y ecuaciones de la pendiente**

<b>Tipo de ajuste</b>	<b>Long. de onda dispersión cero</b>	<b>Pendiente de dispersión cero</b>
Sellmeier de tres términos	$(C/B)^{1/4}$	8B
Polinomio grado 2 (cuadrático)	$-B/(2C)$	2C

### **A.3 Procedimiento de ajuste**

Para hacer un ajuste natural fiable se debería convertir la abscisa natural (longitudes de onda) en una gama reducida de valores, modificando las coordenadas antes de aplicar el método de regresión por mínimos cuadrados. Después de hacer la regresión es preciso traducir nuevamente los parámetros de ajuste a la escala original de longitud de onda, antes de hacer cualquier derivada.

Se utilizará una implementación apropiada del método de regresión por mínimos cuadrados para resolver el problema de ajuste. Ha de ser un método estable por criterios de ruido y otros errores introducidos durante la medición del retardo de grupo o los datos de dispersión (véase [Press] en la Bibliografía). Según la fuente de los datos de trabajo se utilizarán las ecuaciones del retardo de grupo o la dispersión derivada.

Es importante hacer el ajuste con un número de puntos suficiente. Los resultados de ajuste no serán muy precisos si el número de puntos se aproxima al grado de ajuste.

En caso de ajuste para datos de retardo de grupo, se podrán utilizar las ecuaciones del cuadro A.1 para calcular los datos de dispersión cromática, con los coeficientes que se obtienen en el ajuste. Hay que ser prudente en las extrapolaciones a valores de longitud de onda más allá del ámbito de ajuste, porque en puntos fuera de este ámbito podrían obtenerse ajustes con un comportamiento no físico.

La pendiente de dispersión puede calcularse con las ecuaciones del cuadro A.2, con los coeficientes obtenidos en el ajuste.

## **Apéndice I**

### **Métodos de interpolación de longitud de onda de corte**

En este apéndice se presentan métodos para determinar los coeficientes,  $A_t$  y  $B_t$ , presentados en 5.3.1.3.4, ecuación 5-11.

#### **I.1 Método del error negativo limitado**

El algoritmo se basa en la observación de que las estructuras de transición (jorobas) constan de puntos de datos con una desviación positiva con respecto a la curva ideal esperada. El procedimiento de interpolación se basa en un modelo teórico de la región de transición  $LP_{11}$  y un método de ajuste de los datos al modelo. El procedimiento tiene seis pasos.

Los dos primeros pasos definen la región  $LP_{01}$  región de longitud de onda superior. Los dos pasos siguientes definen la región de transición, en la que la atenuación  $LP_{11}$  empieza a aumentar. El quinto paso caracteriza esta región de acuerdo con un modelo teórico. El último paso calcula la longitud de onda de corte,  $\lambda_c$ , a partir de los parámetros de caracterización.

## Paso 1 – Definir la región de longitud de onda superior

### Longitud de onda inferior de la región

Para la referencia multimodo:

Hallar la longitud de onda de máxima pendiente, longitud de onda a la cual la primera diferencia  $a(\lambda) - a(\lambda + 0,01)$ , es mayor. Para longitudes de onda mayores que la longitud de onda de máxima pendiente, la longitud de onda inferior de la región es la longitud de onda a la que la atenuación es mínima.

Para la referencia de flexión, se simula a continuación el procedimiento para la referencia multimodo:

Determinar la longitud de onda de máxima atenuación. Para longitudes de onda mayores que la longitud de onda de máxima atenuación, la longitud de onda inferior de la región es la longitud de onda a la que es mínima la función siguiente:

$$a(\lambda) - 8 + 8\lambda \quad (\lambda \text{ en } \mu\text{m})$$

### Longitud de onda superior de la región

Longitud de onda inferior de la región más  $0,15 \mu\text{m}$ .

## Paso 2 – Caracterizar la curva de atenuación, $a(\lambda)$ , de la región de longitud de onda superior, como una ecuación lineal de la longitud de onda, $\lambda$

$$a(\lambda) \cong A_u + B_u \lambda \quad (\text{I-1})$$

Procedimientos posibles:

Método de la referencia de flexión:

Fijar  $B_u = 0$

Fijar  $A_u =$  mediana de los valores de atenuación en la región de longitud de onda superior.

Método de la referencia multimodo:

Determinar  $A_u$  y  $B_u$  de manera que la suma de los valores absolutos del error en la región de longitud de onda superior sea mínima, y de manera que todos los errores sean no negativos. Determinar la mediana de los errores en la región de longitud de onda superior y añadir a  $A_u$ .

Determinar el error más negativo en la región de longitudes de ondas superiores  $E$ :

$$E = \text{mín}[a(\lambda) - A_u - B_u \lambda] \quad (\text{I-2})$$

## Paso 3 – Determinar la longitud de onda superior de la región de transición

Empezando en la longitud de onda superior de la región de longitud de onda superior, a partir del paso 1, determinar la máxima longitud de onda a la que la atenuación es  $0,1 \text{ dB}$  mayor que la línea hallada en el paso 2. Fijar la longitud de onda superior de la región de transición a este valor más  $10 \text{ nm}$ .

## Paso 4 – Determinar la longitud de onda inferior de la región de transición

Hay diversos métodos para determinar esta longitud de onda. A continuación se dan ejemplos:

Sea: 
$$\Delta a(\lambda) = a(\lambda) - A_u - B_u(\lambda) \quad (\text{I-3})$$

- a) A partir de la longitud de onda superior de la región de transición, determinada en el paso 3, determinar la longitud de onda correspondiente al máximo local de  $\Delta a(\lambda)$ , donde la diferencia entre este máximo y el mínimo local siguiente (a  $\lambda$  más grande) es mínima.

b) La longitud de onda más grande, por debajo de la longitud de onda superior de la región de transición, de manera que:

$\Delta a(\lambda)$  sea mayor que 2 dB; y

b1) Haya un máximo local para  $\Delta a(\lambda)$ ; o

b2) Haya un mínimo local para  $\Delta a(\lambda) - \Delta a(\lambda + 0,01)$ .

### **Paso 5 – Caracterizar la zona de transición con el modelo y limitaciones para los errores**

El modelo es una regresión lineal de una transformación. Con limitaciones se controlan los errores de regresión negativos para que la transformada inversa de la línea determinada empíricamente no produzca errores de atenuación negativos menores que E, a partir del paso 2. Se pueden utilizar métodos de programación lineal símplex para hacer la proyección empírica de los datos con limitaciones para los errores.

Determinar  $A_t$  y  $B_t$ , a partir de 5.3.1.3.4, ecuación 5-11, de manera que la suma de los valores absolutos de error se reduzca al mínimo y que ningún error sea menor que  $-v(\lambda)$ , siendo  $v(\lambda)$  una función de E, a partir del paso 2:

$$w(\lambda) = 10 \frac{\Delta a(\lambda) - E}{10} \quad (\text{I-4})$$

$$z(\lambda) = 10 \log \left[ -\frac{10}{A} \log \left( \frac{w(\lambda) - 1}{\rho} \right) \right] \quad (\text{I-5})$$

$$v(\lambda) = Y(\lambda) - z(\lambda) \quad (\text{I-6})$$

### **Paso 6 – Evaluar la pendiente de la transición y calcular la longitud de onda de corte, $\lambda_c$**

Si  $B_t$  es mayor que un determinado valor negativo pequeño, por ejemplo  $-1$  a  $-0,1$ , reducir la longitud de onda superior de la región de transición en 10 nm y repetir el paso 5.

En otro caso, calcular  $\lambda_c$ :

$$\lambda_c = -\frac{A_t}{B_t} \quad (\text{I-7})$$

## **I.2 Método de los mínimos cuadrados**

Este algoritmo se basa en la hipótesis de que la estructura que se observa algunas veces en la región de transición es causada por un efecto de interferencia alrededor de la posición de la curva ideal.

El modelo matemático es el mismo utilizado en el método del error negativo limitado.

**Paso 1** – Como en el método del error negativo limitado.

**Paso 2** – Como en el método del error negativo limitado. No se requiere E en la ecuación I-2.

**Paso 3** – Como en el método del error negativo limitado.

**Paso 4** – Como en el método del error negativo limitado.

**Paso 5** – Caracterizar la zona de transición.

El modelo es la mejor aproximación de mínimos cuadrados de una transformación.

Determinar  $A_t$  y  $B_t$ , a partir de 5.3.1.3.4, ecuación 5-11, de manera que la suma de los cuadrados del error se reduzca al mínimo, utilizando las ecuaciones 5-8, 5-9, 5-10 y:

$$W(\lambda) = 10^{\Delta a(\lambda)/10} \quad (\text{I-8})$$

**Paso 6** – Como en el método del error negativo limitado.

## Apéndice II

### Método de prueba para la medición de la uniformidad de la dispersión cromática basada en la técnica de retrodispersión

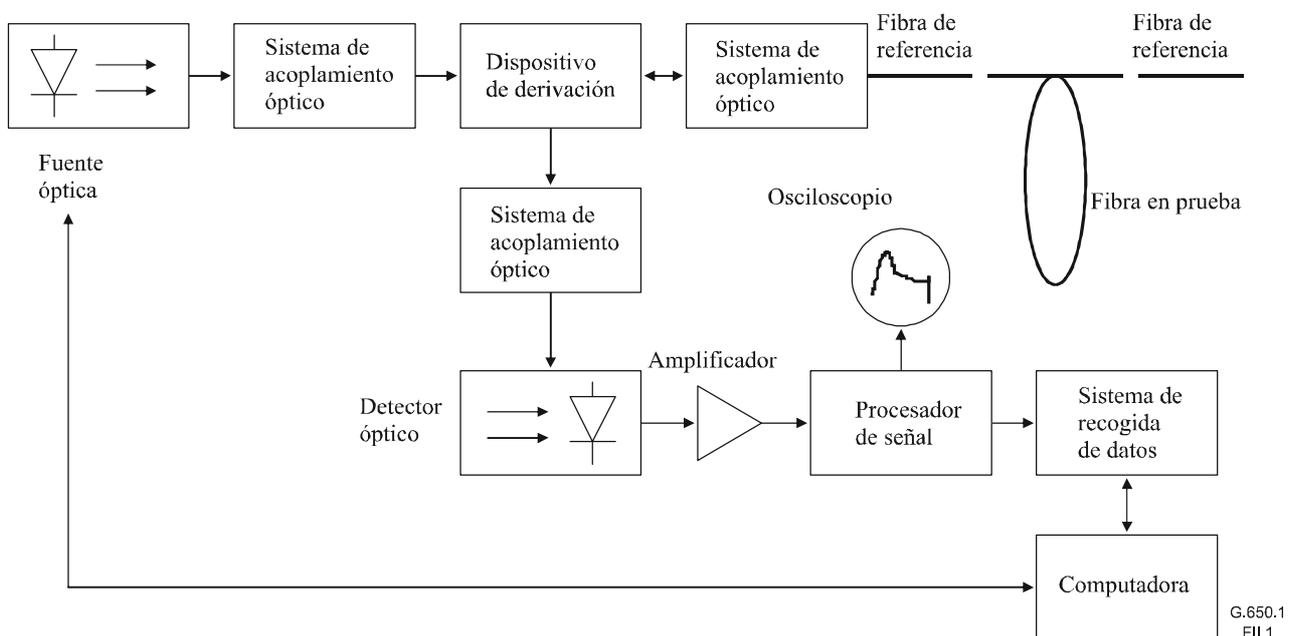
#### II.1 Generalidades

En este apéndice se describe un método de prueba para determinar la uniformidad de la dispersión cromática de un fibra monomodo basado en medidas de la retrodispersión bidireccional. Esta técnica puede evaluar la uniformidad de la dispersión de la guía de ondas y del material de forma individual. Además, puede utilizarse para medir el diámetro del campo modal. En CEI 61746 Ed. 1.0-86/118/CDV se incluyen los procedimientos para calibrar el equipo de retrodispersión.

#### II.2 Aparatos de prueba

##### II.2.1 Consideraciones generales (como en 5.4.2.2.1)

En la figura II.1 se muestra un ejemplo de aparato de prueba.



**Figura II.1/G.650.1 – Esquema del aparato para la medición de la uniformidad de la dispersión cromática**

- II.2.2 Fuente óptica** (como en 5.4.2.2.2)
- II.2.3 Sistema de acoplamiento óptico** (como en 5.4.2.2.3)
- II.2.4 Dispositivo de derivación** (como en 5.4.2.2.4)
- II.2.5 Detector óptico** (como en 5.4.2.2.5)
- II.2.6 Amplificador** (como en 5.4.2.2.6)
- II.2.7 Procesador de señal** (como en 5.4.2.2.7)
- II.2.8 Supresor de modos de revestimiento** (como en 5.4.2.2.8)
- II.2.9 Fibra de referencia**

El perfil del índice de refracción de la fibra de referencia debe ser similar al de la fibra en prueba. Se limita su longitud a fin de mantener una adecuada uniformidad longitudinal, pero debe ser más larga que la zona muerta de entrada de las medidas de retrodispersión. Además, el diámetro del campo modal de la fibra de referencia se mide en función de la longitud de onda. La fibra de referencia puede utilizarse para estimar el valor absoluto del diámetro del campo modal y la diferencia de índice relativo a partir de las medidas de retrodispersión.

### II.3 Procedimiento de medición

- a) Se conectan las fibras a ambos extremos de la fibra de prueba.
- b) Alinear la fibra en prueba con el sistema de acoplamiento óptico.
- c) Se hace como en el apartado b) de 5.4.2.3.
- d) Se hace como en el apartado c) de 5.4.2.3.
- e) Determinar la curva de pérdidas por imperfecciones de la retrodispersión bidireccional a partir de las dos curvas de pérdidas por imperfecciones de la retrodispersión medidas y registradas conforme al procedimiento que se describe a continuación:

Sean  $S_1(x)$  y  $S_2(z)$  las funciones que describen las dos curvas de pérdidas por imperfecciones de la retrodispersión expresadas en dB, donde  $x$  y  $z$  son las distancias desde los extremos de la fibra más próximos a los respectivos puntos de inyección, y  $L = x + z$ . La curva de pérdidas por imperfecciones de la retrodispersión bidireccional viene dada por:

$$I(x, z) = \frac{S_1(x, \lambda) + S_2(L - x, \lambda)}{2} \quad (\text{II-1})$$

- f) Determinar la pérdida por imperfecciones normalizada respecto a la que se produce en una posición  $x_0$  de la fibra de referencia conforme al procedimiento siguiente:

$$\begin{aligned} I_n(x, \lambda) &= I(x, \lambda) - I(x_0, \lambda) \\ &= 20 \log \left\{ \frac{W(x_0, \lambda)}{W(x, \lambda)} \right\} + 10 \log \left[ \left\{ \frac{1 + 0,62\Delta(x)}{1 + 0,62\Delta(x_0)} \right\} \left\{ \frac{50 - \Delta(x)}{50 - \Delta(x_0)} \right\} \right] \\ &= 20 \log \left\{ \frac{W(x_0, \lambda)}{W(x, \lambda)} \right\} + k \end{aligned} \quad (\text{II-2})$$

donde el coeficiente  $k$  se define como:

$$k = 10 \log \left[ \left\{ \frac{1 + 0,62\Delta(x)}{1 + 0,62\Delta(x_0)} \right\} \left\{ \frac{50 - \Delta(x)}{50 - \Delta(x_0)} \right\} \right] \quad (\text{II-3})$$

- g) Determinar la distribución del diámetro del campo modal  $2W(x, \lambda)$  conforme al procedimiento siguiente:

Sea  $2W(x_0, \lambda)$  el diámetro del campo modal en una posición  $x_0$  de la fibra de referencia. La distribución del diámetro del campo modal viene dada por:

$$2W(x, \lambda) = 2W(x_0, \lambda) \cdot 10^{\frac{-I_n(x, \lambda) + k}{20}} \quad (\text{II-4})$$

Si las fibras de referencia y de prueba tiene el mismo perfil del índice y la misma diferencia de índice relativo, el coeficiente  $k$  es igual a 0.

Si la diferencia de índice relativo de la fibra de prueba no es la misma que la de la fibra de referencia, el coeficiente  $k$  se determina mediante la ecuación II-3 y el valor del diámetro del campo modal a una distancia  $x$  de la fibra en pruebas que se ha evaluado previamente.

Si se dispone de los valores de los factores de ajuste  $f$  y  $g$ , que se determinan tal como se describe en el apartado c) de 5.1.4.3.2, la distribución del diámetro del campo modal viene dada por:

$$2W(x, \lambda) = 2W(x_0, \lambda) \cdot 10^{\frac{-g \cdot I_n(x, \lambda) + f}{20}} \quad (\text{II-5})$$

- h) Repetir los procedimientos anteriores para dos o más longitudes de onda diferentes.  
i) Determinar los coeficientes  $g_0$ ,  $g_1$ , y  $g_2$  que satisfacen la ecuación II.6 utilizando los radios del campo modal  $W(x, \lambda)$ :

$$W(x, \lambda) = g_0(x) + g_1(x)\lambda^{1,5} + g_2(x)\lambda^6 \quad (\text{tres o más longitudes de onda}) \quad (\text{II-6})$$

o:

$$W(x, \lambda) = g_0(x) + g_1(x)\lambda^{1,5} \quad (\text{dos o más longitudes de onda}) \quad (\text{II-7})$$

Esta expresión se puede evaluar mediante el ajuste de cuadrados mínimos de los datos  $W(x, \lambda_i)$  ( $i = 1, \dots, n$ ).

- j) Determinar la distribución de la dispersión de la guía de onda  $D_w(x, \lambda)$  en ps/(nm × km) según lo siguiente:

$$D_w(x, \lambda) = \frac{\lambda}{2\pi^2 cn W(x, \lambda)^2} \left\{ 1 - \frac{2\lambda}{W(x, \lambda)} \left( \frac{3}{2} g_1(x)\lambda^{0,5} + 6g_2(x)\lambda^5 \right) \right\} \quad (\text{tres o más longitudes de onda}) \quad (\text{II-8})$$

o:

$$D_w(x, \lambda) = \frac{\lambda}{2\pi^2 cn W(x, \lambda)^2} \left\{ 1 - \frac{3g_1(x)\lambda^{1,5}}{W(x, \lambda)} \right\} \quad (\text{dos o más longitudes de onda}) \quad (\text{II-9})$$

donde  $c$  y  $n$  son la velocidad de la luz en m/s y el índice de refracción máximo del núcleo, respectivamente.

- k) Determinar la distribución de la diferencia de índice relativo  $D(x)$  en % de acuerdo con el procedimiento siguiente:

Si las fibras de prueba y de referencia tienen el mismo perfil de índice, determinar los coeficientes  $c_0$ ,  $c_1$  y  $c_2$  de la fibra de referencia que satisfacen las ecuaciones siguientes utilizando el diámetro del campo modal  $2W(x_0, \lambda)$ , el diámetro del núcleo  $2a(x_0)$  y la longitud de onda de corte  $\lambda_c(x_0)$ :

$$\frac{W(x_0, \lambda)}{a(x_0)} = c_0 + c_1 \left\{ \frac{\lambda}{\lambda_c(x_0)} \right\}^{1,5} + c_2 \left\{ \frac{\lambda}{\lambda_c(x_0)} \right\}^6 \quad (\text{II-10})$$

Calcular las características de la relación  $R_W$  entre los diámetros de campo modal a dos longitudes de onda ( $\lambda_1$  y  $\lambda_2$ ) como una función de la longitud de onda de corte  $\lambda_c$  utilizando los coeficientes  $c_0$ ,  $c_1$  y  $c_2$  antes mencionados.

$$R_W \equiv \frac{2W(\lambda_1)}{2W(\lambda_2)} = \frac{c_0 + c_1 \left( \frac{\lambda_1}{\lambda_c} \right)^{1,5} + c_2 \left( \frac{\lambda_1}{\lambda_c} \right)^6}{c_0 + c_1 \left( \frac{\lambda_2}{\lambda_c} \right)^{1,5} + c_2 \left( \frac{\lambda_2}{\lambda_c} \right)^6} \quad (\text{II-11})$$

Determinar la función aproximada de la relación  $R_W$  entre los diámetros del campo modal para dos longitudes de onda y para la longitud de onda de corte  $\lambda_c$ .

Determinar la distribución de la longitud de onda de corte  $\lambda_c(x)$  aplicando la función aproximada anterior a la relación de las distribuciones del diámetro de campo modal medido.

Determinar la distribución del diámetro del núcleo  $2a(x)$  sustituyendo la distribución del diámetro del campo modal  $2W(x)$  y la distribución de la longitud de onda de corte  $\lambda_c(x)$  en la ecuación II-10.

Determinar la distribución de la diferencia de índice relativo  $D(x)$  en % utilizando la ecuación II-12:

$$\Delta(x) = \left\{ \frac{a(x_0)}{a(x)} \right\}^2 \left\{ \frac{\lambda_c(x)}{\lambda_c(x_0)} \right\}^2 \Delta(x_0) \quad (\text{II-12})$$

- l) Determinar la distribución de la dispersión del material  $D_m(x, \lambda)$  en ps/(nm × km) utilizando la distribución de la diferencia de índice relativo  $D(x)$  anterior.

La ecuación aproximada de la dispersión del material puede obtenerse en función de la longitud de onda y de la diferencia de índice relativo.

La dispersión del material  $D_m(\lambda)$  puede estimarse utilizando las ecuaciones II-13 y II-14:

$$D_m(\lambda) = -\frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n(\lambda)}{d\lambda^2} \quad (\text{II-13})$$

$$n^2(\lambda) - 1 = \sum_{i=1}^k \frac{B_i \lambda^2}{\lambda^2 - A_i^2} \quad (\text{II-14})$$

donde  $A_i$  y  $B_i$  son los coeficientes de Sellmeier, cuyos valores en función del contenido de dopante correspondiente a la diferencia de índice relativo  $D$  figuran en las referencias [II-1] y [II-2].

Calcular una función estimada  $D_m(\lambda)$  de la dispersión del material en función de la diferencia de índice relativo  $D$  utilizando las ecuaciones II-13 y II-14 anteriores.

La dispersión del material en función de la diferencia de índice relativo  $D$  se obtiene de la forma siguiente:

$$D_m(\lambda) = m_1(\lambda) + h \cdot \Delta \cdot m_2(\lambda) \quad (\text{II-15})$$

donde  $h$  es una constante.

Determinar la distribución de la dispersión cromática  $D(x,\lambda)$  en ps/nm  $\times$  km a partir de:

$$D(x,\lambda) = D_m(x,\lambda) + D_w(x,\lambda) \quad (\text{II-16})$$

#### II.4 Presentación de los resultados

- a) Disposición de la configuración de la prueba.
- b) Tipo de procesamiento de señal empleado.
- c) Anchura del impulso.
- d) Longitudes de onda de prueba.
- e) Distribución del diámetro del campo modal en mm.
- f) Distribución de la dispersión cromática en ps/nm  $\times$  km.

#### II.5 Referencias

- [II-1] KOBAYASHI (S.) *et al*: Refractive-index dispersion of doped fused silica, *IOOC 1977*, págs. 309-312, 1977.
- [II-2] FLEMING (J.W.): Material dispersion in lightguide glasses, *Electron. Lett.*, Vol. 14, No. 11, págs. 326-328, 1978.

## Apéndice III<sup>2</sup>

### Ejemplo de modelo de matriz

A continuación se presenta un ejemplo de matriz  $m \times n = 38 \times 3$ , descrita en 5.4.4.3, para las fibras G.652. Cabe señalar que el presente apéndice sólo tiene fines ilustrativos. A continuación se da un ejemplo de elementos de matriz para estimar la atenuación espectral en una gama de 1240 nm a 1600 nm (con paso de 10 nm) utilizando 1310 nm, 1380 nm y 1550 nm como longitudes de onda predictivas que han demostrado ser aplicables<sup>3</sup> para algunas fibras conformes con la Rec. UIT-T G.652:

---

<sup>2</sup> El único motivo para incluir el apéndice III es la uniformidad del texto. Está aprobado como enmienda 1 y NO tiene que someterse al procedimiento de aprobación alternativo (AAP).

<sup>3</sup> HANSON (T.A.): Spectral Attenuation Modelling with Matrix Models, *Conference Digest NPL Optical Fibre Measurement Conference (OFMC'91)*, pp. 8-11, York, Reino Unido, 1991.

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

## BIBLIOGRAFÍA

- [PRESS] PRESS (William H.): Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing, *Cambridge University Press*, segunda edición (1993).





## SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
<b>Serie G</b>	<b>Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales</b>
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedios
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, 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	Gestión de las telecomunicaciones, incluida la RGT y el mantenimiento de redes
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos, comunicaciones de sistemas abiertos y seguridad
Serie Y	Infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo Internet y Redes de la próxima generación
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación