



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

CCITT

COMITÉ CONSULTIVO
INTERNACIONAL
TELEGRÁFICO Y TELEFÓNICO

G.652

(11/1988)

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

Equipos de pruebas

Características de los medios de transmisión

Cables de fibra óptica

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

Reedición de la Recomendación G.652 del CCITT
publicada en el Libro Azul, Fascículo III.3 (1988)

NOTAS

1 La Recomendación G.652 del CCITT se publicó en el fascículo III.3 del Libro Azul. Este fichero es un extracto del Libro Azul. Aunque la presentación y disposición del texto son ligeramente diferentes de la versión del Libro Azul, el contenido del fichero es idéntico a la citada versión y los derechos de autor siguen siendo los mismos (véase a continuación).

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

Recomendación G.652

CARACTERÍSTICAS DE UN CABLE DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO

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

El CCITT,

considerando

- (a) que los cables de fibra óptica monomodo se utilizan ampliamente en las redes de telecomunicación;
- (b) que las aplicaciones potenciales previstas pueden exigir varios tipos de fibras monomodo que difieran en:
 - las características geométricas,
 - la longitud de onda de trabajo,
 - la dispersión de atenuación, la longitud de onda de corte y otras características ópticas,
 - los aspectos mecánicos y ambientales;
- (c) que podrán prepararse Recomendaciones sobre diferentes tipos de fibras monomodo cuando hayan progresado suficientemente los estudios sobre su utilización práctica,

recomienda

una fibra monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en torno a 1300 nm, optimizada para uso en la región de longitud de onda de 1300 nm, y que puede utilizarse también a longitudes de onda en la región de 1550 nm (en las que la fibra no está optimizada).

Esta fibra puede utilizarse para transmisión analógica y digital.

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

El significado de los términos empleados en esta Recomendación se expone en el anexo A, y las directrices que han de seguirse en las mediciones para verificar las diversas características se indican en el anexo B. Los anexos A y B podrían convertirse en Recomendaciones separadas a medida que se adopten otras Recomendaciones sobre fibras monomodo.

1 Características de la fibra

En este § 1 sólo se recomiendan las características de la fibra que proporcionan una mínima estructura de diseño esencial para la fabricación de fibras. De éstas, la longitud de onda de corte de la fibra cableada puede verse apreciablemente afectada por la fabricación o la instalación del cable. Además, las características recomendadas se aplicarán igualmente a las fibras individuales, a las fibras incorporadas en un cable enrollado en un tambor, y a las fibras en cables instalados.

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

1.1 Diámetro del campo modal

El valor nominal del diámetro del campo modal a 1300 nm estará en la gama de 9 a 10 μm . La desviación del diámetro del campo modal no deberá exceder de $\pm 10\%$ de su valor nominal.

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

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

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

1.2 *Diámetro del revestimiento*

El valor nominal recomendado del diámetro del revestimiento es 125 μm . La desviación del diámetro del revestimiento no debe exceder de $\pm 2,4\%$ ($\pm 3 \mu\text{m}$).

Con determinadas técnicas de empalme y ciertos requisitos de pérdida por empalme, pueden ser apropiadas otras tolerancias.

1.3 *Error de concentricidad del campo modal*

El error de concentricidad para el campo modal no debe exceder de 1 μm .

Nota 1 – Con determinadas técnicas de empalme y ciertos requisitos de pérdida por empalme, pueden ser apropiadas tolerancias de hasta 3 μm .

Nota 2 – El error de concentricidad del campo modal y el error de concentricidad del núcleo, representado por la iluminación transmitida utilizando longitudes de onda diferentes de 1300 nm (incluida la luz blanca), son equivalentes. En general, la desviación del centro del perfil del índice de refracción y el eje del revestimiento representa también el error de concentricidad del campo modal, pero si apareciese alguna diferencia entre el error de concentricidad del campo modal, medido de acuerdo con el método de prueba de referencia (MPR), y el error de concentricidad del núcleo, el primero constituirá la referencia.

1.4 *No circularidad*

1.4.1 *No circularidad del campo modal*

En la práctica, la no circularidad del campo modal de las fibras que tienen campos modales nominalmente circulares es lo suficientemente baja como para que la propagación y los empalmes no se vean afectados. En consecuencia, no se considera necesario recomendar un valor determinado de no circularidad del campo modal. En general, no es necesario medir la no circularidad del campo modal con fines de aceptación.

1.4.2 *No circularidad del revestimiento*

La no circularidad del revestimiento debe ser inferior al 2%. Con determinadas técnicas de empalme y ciertos requisitos de pérdida por empalme, pueden ser apropiadas otras tolerancias.

1.5 *Longitud de onda de corte*

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

- la longitud de onda de corte λ_c de una fibra con revestimiento primario, de acuerdo con el MPR de la fibra correspondiente;
- la longitud de onda de corte λ_{cc} de una fibra cableada en condición de instalación, de acuerdo con el MTR del cable correspondiente.

La correlación de los valores medidos de λ_c y λ_{cc} depende del diseño específico de la fibra y del cable, así como de las condiciones de prueba. Aunque en general no puede establecerse fácilmente la relación cuantitativa $\lambda_{cc} < \lambda_c$, es de suma importancia garantizar la transmisión monomodo en el largo mínimo de cable entre empalmes a la longitud de onda de funcionamiento mínima del sistema. Esto puede conseguirse de dos formas:

- recomendando que λ_c sea inferior a 1280 nm; cuando resulta adecuado un límite inferior, λ_c debe ser superior a 1100 nm;
- recomendando que λ_{cc} sea inferior a 1270 nm.

Nota – Debe asegurarse un margen de longitud de onda suficiente entre la mínima longitud de onda de trabajo admisible del sistema λ_s de 1270 nm, y la máxima longitud de onda de corte admisible del cable λ_{cc} . Varias Administraciones están a favor de un máximo de λ_{cc} de 1260 nm para tener en cuenta las variaciones de muestreo de la fibra y las variaciones de la longitud de onda de la fuente debidas a la tolerancia, temperatura y efectos de envejecimiento.

No es necesario invocar ambas especificaciones: los usuarios pueden elegir entre especificar λ_c o λ_{cc} según sus necesidades específicas y las aplicaciones previstas. En el último caso, se entiende que λ_c puede ser superior a 1280 nm.

En el caso en que el usuario elija especificar λ_c como en 1), no es necesario medir λ_{cc} .

En el caso en que el usuario elija especificar λ_{cc} , puede permitirse que λ_{cc} sea superior a la mínima longitud de onda de trabajo del sistema, basándose en los efectos de la fabricación e instalación del cable para obtener valores de λ_{cc} por debajo de la mínima longitud de onda de trabajo del sistema para el largo de cable más pequeño entre dos uniones.

En el caso en que el usuario elija especificar λ_{cc} , puede ser suficiente una prueba de aptitud para verificar que se cumpla el requisito de λ_{cc} .

1.6 *Características de pérdida a 1550 nm*

A fin de asegurar un funcionamiento con bajas pérdidas de las fibras instaladas optimizadas a 1300 nm en la región de longitudes de onda de 1550 nm, el incremento de la pérdida para 100 vueltas de fibra holgadamente enrolladas con un radio de 37,5 mm y medida a 1550 nm será inferior a 1,0 dB.

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

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

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

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

Nota 5 – La cláusula sobre la pérdida por flexión a 1550 nm se refiere al montaje de las fibras en las instalaciones reales de sistemas de fibras monomodo. La influencia de los radios de curvatura relacionados con el trenzado de fibras monomodo cableadas, sobre la característica de pérdida, se incluye en la especificación de pérdida de la fibra cableada.

Nota 6 – Cuando se requieran pruebas de rutina para facilitar la medición de la sensibilidad a la flexión a una longitud de onda de 1550 nm, en lugar de 100 vueltas puede utilizarse un bucle de pequeño diámetro de una o varias vueltas. En este caso, el diámetro del bucle, el número de vueltas y la máxima pérdida admisible por flexión para la prueba con el bucle de una sola vuelta, o de varias vueltas, debe elegirse de modo que corresponda con la cláusula sobre la pérdida de 1,0 dB para la prueba con 100 vueltas dispuestas con un radio de 37,5 mm.

1.7 *Propiedades de los materiales de la fibra*

1.7.1 *Materiales de la fibra*

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

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

1.7.2 *Materiales protectores*

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

1.8 *Perfil del índice de refracción*

Generalmente no es necesario conocer el perfil del índice de refracción de la fibra; si se desea medirlo, puede utilizarse el método de prueba de referencia de la Recomendación G.651.

1.9 *Ejemplos de directrices de diseño de la fibra*

El Suplemento N.º 33 da un ejemplo de directrices de diseño para fibras con revestimientos adaptados utilizadas por dos organizaciones.

2 Especificaciones de los largos de fabricación

Como las características geométricas y ópticas de las fibras indicadas en el § 1 son apenas afectadas por el proceso de cableado, este § 2 formulará recomendaciones pertinentes sobre todo a las características de transmisión de los largos de fabricación cableados.

Las condiciones de prueba y del ambiente son de gran importancia, y se describen en las secciones sobre métodos de prueba.

2.1 Coeficiente de atenuación

Los cables de fibra óptica tratados en esta Recomendación tienen, generalmente, coeficientes de atenuación inferiores a 1,0 dB/km en la región de longitudes de onda de 1300 nm e inferiores a 0,5 dB en la de 1550 nm.

Nota – Los valores más bajos del coeficiente de atenuación dependen del proceso de fabricación, de la composición y el diseño de la fibra, y del diseño del cable. Se han obtenido valores comprendidos entre 0,3 y 0,4 dB/km en la región de 1300 nm y entre 0,15 y 0,25 dB/km en la de 1550 nm.

2.2 Coeficiente de dispersión cromática

El máximo coeficiente de dispersión cromática deberá especificarse por:

- la gama permitida de longitudes de onda de dispersión nula entre $\lambda_{omin} = 1295$ nm y $\lambda_{omax} = 1322$ nm;
- el valor máximo $S_{omax} = 0,095$ ps/(nm² · km) de la pendiente con dispersión nula.

Los límites del coeficiente de dispersión cromática para cualquier longitud de onda λ dentro de la gama 1270-1340 nm deberá calcularse por:

$$D_1(\lambda) = \frac{S_{omax}}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_{omin}^4}{\lambda^3} \right]$$

$$D_2(\lambda) = \frac{S_{omax}}{4} \left[\lambda - \frac{\lambda_{omax}^4}{\lambda^3} \right]$$

Nota 1 – Los valores de λ_{omin} , λ_{omax} y S_{omax} arrojan magnitudes del coeficiente de dispersión $|D_1|$ y $|D_2|$ iguales o inferiores a los máximos coeficientes de dispersión cromática del siguiente cuadro:

Longitud de onda (nm)	Máxima coeficiente de dispersión cromática [ps/(nm.km)]
1285 – 1330	3,5
1270 – 1340	6
1550	20

(A 1285 nm, se presenta una excepción, ya que el valor $|D_2|$ es de 3,67 ps/(nm · km). Se obtendría un valor menor reduciendo S_{omax} y λ_{omax} ; esto requiere ulterior estudio.)

Nota 2 – El uso de estas ecuaciones en la región de los 1550 nm debe considerarse con cautela.

Nota 3 – Para sistemas de alta capacidad (por ejemplo, de 4 × 140 Mbit/s o más) o de gran longitud, puede ser necesario especificar una gama más estrecha de λ_{omin} , λ_{omax} o, de ser posible, elegir un valor menor para S_{omax} .

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

3 Secciones elementales de cable

Una sección elemental de cable incluye normalmente varios largos de fabricación empalmados. Los requisitos aplicables a los largos de fabricación se indican en el § 2. Los parámetros de transmisión de las secciones elementales de

cable deben tener en cuenta no sólo el comportamiento de los distintos largos de cable, sino también, entre otras cosas, factores tales como las pérdidas por empalmes y por conectores (si se aplican).

3.1 *Atenuación*

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

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

donde

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

L_n = longitud de la n -ésima fibra

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

a_s = pérdida media por empalme

x = número de empalmes de la sección elemental de cable

a_c = pérdida media por conector de línea

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

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

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

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

3.2 *Dispersión cromática*

Se puede obtener la dispersión cromática expresada en ps a partir de los coeficientes de dispersión total de los largos de fabricación, suponiendo una dependencia lineal de la longitud y respetando los signos de los coeficientes y las características de la fuente del sistema (véase el § 2.2).

ANEXO A

(a la Recomendación G.652)

Significado de los términos utilizados en la Recomendación

Los términos incluidos en este anexo son específicos de las fibras monomodo. Otros términos empleados en la presente Recomendación tienen el significado que se indica en el anexo A a la Recomendación G.651.

A.1 **diámetro del campo modal (DCM)**

El diámetro del campo modal $2w$ se determina aplicando una de las definiciones siguientes. Los límites de integración indicados son de 0 a ∞ , pero se entiende que esta notación implica que las integrales se truncan en el límite del argumento creciente. Si bien el valor físico máximo del argumento q es $\frac{1}{\lambda}$, los integrandos se aproximan rápidamente a cero antes de que se alcance este valor.

- i) **DOMINIO DE CAMPO LEJANO:** En este dominio son posibles tres realizaciones prácticas de medición diferentes:
 - a) **EXPLORACIÓN DE CAMPO LEJANO:** Se mide la distribución de intensidad de campo lejano $F^2(q)$ en función del ángulo de campo lejano q , y el diámetro del campo modal (DCM) a la longitud de onda λ viene dado por:

$$2w = \frac{2}{\pi} \left[\frac{\int_0^{\infty} q^3 F^2(q) dq}{\int_0^{\infty} q F^2(q) dq} \right]^{-1/2}, \text{ donde } q = \frac{1}{\lambda} \text{ sen } \theta \quad (1)$$

- b) **EXPLORACIÓN EN ARISTA:** Se mide la función de transmisión de potencia de arista $K(x)$ en función del desplazamiento lateral en arista x , con el plano de la arista situado a una distancia D de la fibra, y el DCM viene dado por:

$$2w = \frac{2}{\pi} \left[\frac{\int_0^{\infty} K'(x) q^2 dq}{\int_0^{\infty} K'(x) dq} \right]^{-1/2}, \text{ donde } x = D \tan \theta, K'(x) = \frac{dK(x)}{dx} \text{ y } q = \frac{1}{\lambda} \text{ sen } \theta \quad (2)$$

- c) **TÉCNICA DE APERTURA VARIABLE:** Se mide la función de transmisión de potencia con apertura complementaria $a(x)$ en función del radio de apertura x , con el plano de la apertura situado a una distancia D de la fibra, y el DCM viene dado por:

$$2w = \frac{2}{\pi} \left[4 \int_0^{\infty} a(x) q dq \right]^{-1/2}, \text{ donde } x = D \tan \theta \text{ y } q = \frac{1}{\lambda} \text{ sen } \theta \quad (3)$$

- ii) **DOMINIO DE UNIÓN DESPLAZADA:** Se mide el coeficiente de transmisión de potencia $T(\delta)$ en función del desplazamiento transversal δ , y

$$2w = 2 \left[-2 \frac{T(0)}{\left[\frac{d^2 T}{d\delta^2} \right]_{\delta=0}} \right]^{1/2} \quad (4)$$

- iii) **DOMINIO DE CAMPO PRÓXIMO:** Se mide la distribución de intensidad de campo próximo $f^2(r)$ en función de la coordenada radial r , y

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

Nota – La equivalencia matemática de estas definiciones resulta de las relaciones de transformación entre los resultados de medición obtenidos mediante las diferentes realizaciones prácticas. Estas se resumen en la figura A-1/G.652.

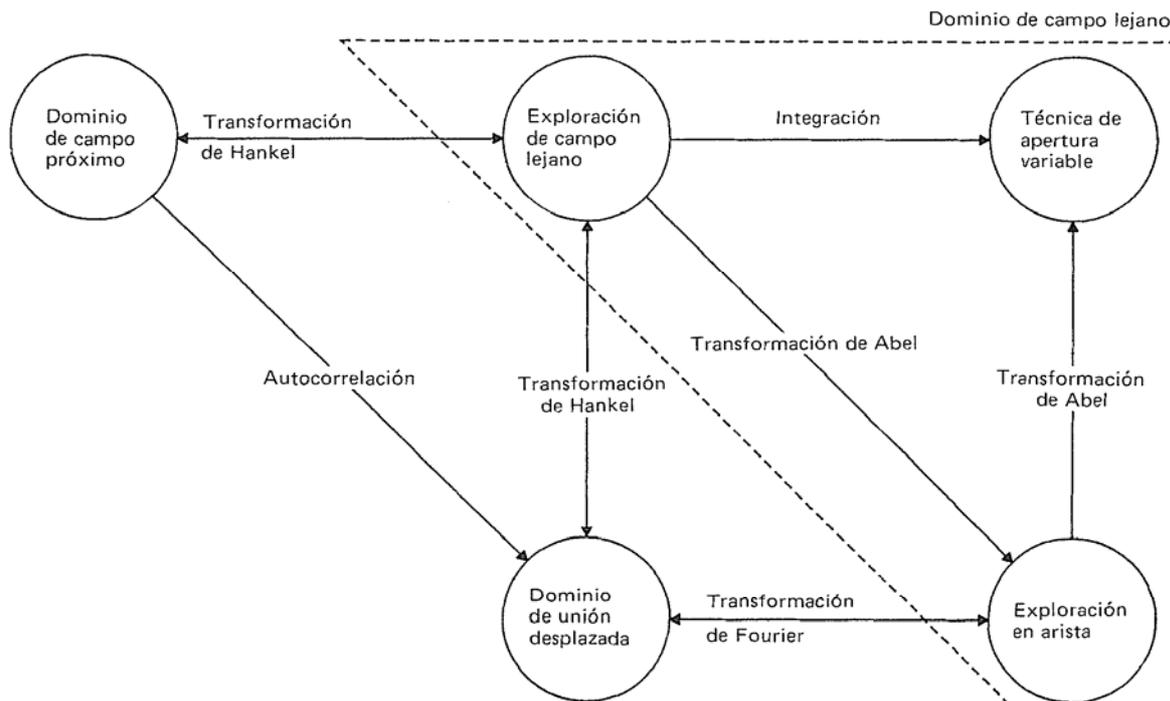


FIGURA A-1/G.652

Relaciones matemáticas entre las realizaciones prácticas de medición

T1501221-88

A.2 superficie del revestimiento

Superficie exterior del vidrio que cubre la fibra óptica.

A.3 centro de la superficie del revestimiento

En una sección transversal de la fibra óptica, posición del centro del círculo que mejor corresponde al lugar geométrico de la superficie del revestimiento en dicha sección transversal.

Nota – Debe especificarse el método de mejor ajuste, que actualmente está en estudio.

A.4 diámetro de la superficie del revestimiento

Diámetro del círculo que define el centro del revestimiento.

Nota – En una fibra nominalmente circular, el diámetro de la superficie del revestimiento, para cualquier orientación de la sección transversal, es la mayor distancia a través del revestimiento.

A.5 no circularidad de la superficie del revestimiento

Diferencia entre máximo diámetro de la superficie del revestimiento $D_{m\acute{a}x}$ y el mínimo diámetro de la superficie del revestimiento $D_{m\acute{i}n}$ (con respecto al centro común de la superficie del revestimiento), dividido entre el diámetro nominal del revestimiento D , es decir,

$$No\ circularidad = (D_{m\acute{a}x} - D_{m\acute{i}n}) / D$$

Nota – Los diámetros máximo y mínimo de la superficie del revestimiento son, respectivamente, la mayor y la menor distancias entre las dos intersecciones de una línea que pasa por el centro del revestimiento con la superficie del revestimiento.

A.6 **campo modal**

El campo modal es la distribución de campo monomodal que produce una distribución de intensidad espacial en la fibra.

A.7 **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 \bar{r}_c , que es la integral del vector de posición \vec{r} normalizada y ponderada por la intensidad:

$$\bar{r}_c = \iint_{\text{ÁREA}} \vec{r} I(\vec{r}) dA \Big/ \iint_{\text{ÁREA}} I(\vec{r}) dA$$

Nota 2 – Para las fibras consideradas en esta Recomendación, la correspondencia entre la posición del centroide que se ha definido y la posición del máximo de la distribución espacial de intensidad requiere ulterior estudio.

A.8 **error de concentricidad del campo modal**

Distancia entre el centro del campo modal y el centro de la superficie del revestimiento.

A.9 **no circularidad del campo modal**

Como normalmente no es necesario medir la no circularidad del campo modal para fines de aceptación (como se indica en el § 1.4.1), no es necesaria en este contexto una definición de la no circularidad del campo modal.

A.10 **longitud de onda de corte**

La longitud de onda de corte es la longitud de onda mayor que aquélla 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 hasta alcanzar un valor inferior a cierto valor especificado, estando los modos excitados de manera prácticamente uniforme.

Nota 1 – Por definición se elige como valor especificado 0,1 dB para un largo de fibra de 2 metros sustancialmente recto que incluye un bucle de una sola vuelta con un radio de 140 mm.

Nota 2 – La longitud de onda de corte definida en esta Recomendación es diferente en general de la longitud de onda de corte teórica calculable a partir del perfil del índice de refracción de la fibra. La longitud de onda de corte teórica es un parámetro menos útil en la determinación del funcionamiento de la fibra en una red de telecomunicación.

Nota 3 – En el § 1.5 se describen dos tipos de longitud de onda de corte:

- i) λ_c , cuyo valor se determina por el método de prueba de referencia (o por un método de prueba alternativo);
- ii) λ_{cc} , cuyo valor se determina por un método análogo al método de prueba de referencia, pero sobre un largo de fibra cableada.

A fin de evitar aumentos no deseados del ruido y de la dispersión, la longitud de onda de corte λ_{cc} de la menor longitud de cable (incluidos los largos de reparación, si los hubiere) debe ser inferior al menor valor previsto de la longitud de onda del sistema, λ_s :

$$\lambda_{cc} < \lambda_s \quad (1)$$

Con esto se asegura que cada sección de cable individual sea 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 (1) para la sección de cable más corta, con tanta más razón se cumplirá 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.

Al especificar $\lambda_{cc} < \lambda_s$ para el largo mínimo de cable (incluidos los bucles propios del empalme) se asegura el funcionamiento monomodal. Sin embargo, por lo general es más cómodo medir λ_c , para lo cual sólo se necesita una fibra cableada de dos metros de longitud. λ_c depende del tipo de fibra, de la longitud y del radio de curvatura, y λ_{cc} depende además de la estructura del cable considerado. Por tanto, la relación entre λ_c y λ_{cc} depende del diseño de la fibra y del diseño del cable. En general, λ_c es mayor que λ_{cc} en varias decenas de nm; λ_c puede incluso ser mayor que la longitud de onda del sistema, sin que deje de cumplirse la desigualdad (1). Valores más elevados de λ_c se traducen en un confinamiento más estricto del modo LP_{01} , lo que contribuye a reducir las posibles pérdidas por flexión en la región de longitudes de onda de 1550 nm.

Los pequeños largos de fibra (<20m) se utilizan frecuentemente para la conexión con fuentes y detectores, y se utilizan también como puentes para interconexiones. La longitud de onda de corte de estas fibras, cuando están instaladas, debe ser también inferior a λ_s . Entre los medios para evitar el ruido modal en este caso se hallan:

- a) seleccionar sólo fibras de λ_c suficientemente bajas para estas aplicaciones;
- b) instalación de estas fibras con flexiones de pequeño radio.

A.11 **dispersión cromática**

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

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

A.12 **coeficiente de dispersión cromática**

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

A.13 **pendiente de dispersión nula**

Pendiente del coeficiente de dispersión cromática en función de la curva de longitud de onda a la longitud de onda de dispersión nula.

A.14 **longitud de onda de dispersión nula**

Longitud de onda a la que desaparece la dispersión cromática.

ANEXO B

(a la Recomendación G.652)

Métodos de prueba para las fibras monomodo

En este anexo se indican en general, para cada parámetro, tanto el método de prueba de referencia (MPR) como uno o varios métodos de prueba alternativos, (MPA), entendiéndose que tanto el MPR como los MPA pueden resultar adecuados para los fines normales de aceptación de productos. Sin embargo, si al emplear un MPA surgiese cualquier discrepancia, se recomienda emplear el MPR para obtener los resultados de medición definitivos.

B.1 – Sección I – Métodos de prueba para el diámetro de campo modal de las fibras monomodo

B.1.1 *Método de prueba de referencia para el diámetro del campo modal de la fibra monomodo*

B.1.1.1 *Objetivo*

El diámetro del campo modal puede determinarse, en el dominio de campo lejano, a partir de la distribución de intensidad de campo lejano $F^2(q)$, de la función de transmisión en arista $K(x)$, o de la función de transmisión de potencia de apertura complementaria $\alpha(x)$; en el dominio de unión desplazada, a partir del cuadrado de la función de autocorrelación $T(\delta)$; y en el dominio de campo próximo, a partir de la distribución de intensidad de campo

próximo $f^2(r)$, de acuerdo con las definiciones equivalentes que aparecen en el § A.1 del anexo A a la Recomendación G.652.

B.1.1.2 *Aparato de prueba*

B.1.1.2.1 *Generalidades*

Para las mediciones de campo próximo, es necesario que el dispositivo óptico de ampliación cree una imagen del extremo de salida de la fibra en el plano del detector. Para las mediciones de unión desplazada, se necesita un medio para desplazar la cara del extremo de una fibra respecto de la de otra. Para las tres mediciones de campo lejano, son necesarios dispositivos de exploración adecuados.

B.1.1.2.2 *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.

B.1.1.2.3 *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.

B.1.1.2.4 *Condiciones de inyección*

Las condiciones de inyección empleadas deben ser suficientes para excitar el modo fundamental (LP_{01}). Por ejemplo, podrían ser 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. A tal fin puede que haga falta introducir un bucle de radio adecuado u otro filtro de modos para suprimir los modos de orden superior.

B.1.1.2.5 *Supresores de modos de revestimiento*

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

B.1.1.2.6 *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 sean planas y perpendiculares a los ejes de la fibra, con una tolerancia de 1° . Para la técnica de unión desplazada, la fibra se cortará en dos mitades aproximadamente iguales.

B.1.1.2.7 *Equipo de descentrado o exploración*

Debido a que las fibras especificadas en la Recomendación G.653 se caracterizan por tener distribuciones de intensidad de campo cercano más estrechas y distribuciones de intensidad de campo lejano más anchas que las especificadas en la Recomendación G.652, deberán tomarse las precauciones adicionales enumeradas más abajo.

Se utilizará uno de los siguientes dispositivos:

I *Dominio de campo lejano*

a) *Sistema de exploración de campo lejano*

Se utilizará un mecanismo para explorar la distribución de intensidad de campo lejano (por ejemplo, un fotodetector de exploración con abertura de microorificio o un fotodetector de exploración con extremo de tallo de fibra). La exploración puede ser angular o lineal. El detector debe estar al menos a 20 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 $20wb/\lambda$ donde $2w$ es el diámetro del campo modal previsto de la fibra a medir, y b el diámetro de la superficie activa del detector. El semiángulo de exploración deberá ser de 25° o más. Alternativamente, la exploración deberá extenderse, por lo menos hasta un valor de -50 dB con respecto a la intensidad del ángulo cero.

b) *Conjunto de arista*

Se necesita un mecanismo para explorar una arista linealmente, en una dirección ortogonal al eje de la fibra y al borde de la arista. La luz transmitida por la arista es captada y enfocada hacia el detector. El dispositivo de colección debe tener una AN de 0,4 o más.

c) *Conjunto de apertura*

Debe utilizarse un mecanismo que comprenda al menos 12 aperturas que cubran la gama de semiángulos de apertura numérica de 0,02 a 0,4. La luz transmitida por la apertura es captada y enfocada hacia el detector.

II *Dominio de unión desplazada*

Unión desplazada

La unión se construirá de manera que pueda ajustarse el desplazamiento relativo de los ejes de la fibra. Se recomienda disponer de un aparato que permita medir el desplazamiento con una precisión de 0,1 μm . La potencia óptica transmitida a través de la unión pasante es medida por un detector. Se tendrá particular cuidado con la precisión y exactitud del equipo de descentrado.

III *Dominio de campo próximo*

Dispositivo óptico de imaginización de campo próximo

Se utilizará un dispositivo óptico de ampliación (por ejemplo, un objetivo de microscopio) para agrandar 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 abertura de microorificio, o un fotodetector de exploración de tallo de fibra). La apertura numérica y la ampliación serán tales que resulten compatibles con la resolución espacial deseada. Para la calibración, se medirá la ampliación del dispositivo óptico explorando la longitud de una muestra cuyas dimensiones se conozcan independientemente con suficiente exactitud.

Nota – La apertura numérica del dispositivo óptico de recogida debe ser suficientemente grande para que no afecte a los resultados de medición.

B.1.1.2.8 *Detector*

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

B.1.1.2.9 *Amplificador*

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

B.1.1.2.10 *Recogida de datos*

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

B.1.1.2.11 *Procedimiento de medición*

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

Debe seguirse uno de los siguientes procedimientos:

I *Dominio de campo lejano*

- Haciendo una exploración del detector en pasos fijos se mide la distribución de intensidad en campo lejano, $F^2(q)$, y se calcula el diámetro del campo modal por la ecuación (1) del § A.1 del anexo A.
- Se mide la potencia transmitida por la arista en función de la posición de la arista. Esta función, $K(x)$ es diferenciada, y el diámetro del campo modal se determina por la ecuación (2) del § A.1 del anexo A.
- Se mide la potencia transmitida por cada apertura, $P(x)$, y se determina la función de transmisión de apertura complementaria, $a(x)$, por:

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

donde $P_{\text{máx}}$ es la potencia transmitida por la apertura más grande y x es el radio de apertura. El diámetro del campo modal se calcula por la ecuación (3) del § A.1 del anexo A.

II *Dominio de unión desplazada*

Desplazando por pasos la unión en sentido transversal, se mide el coeficiente de transmisión de potencia $T(\delta)$, y el diámetro de campo de modo se calcula por la ecuación (4) del § A.1 del anexo A.

III *Dominio de campo próximo*

El campo próximo de la fibra se agranda por medio del dispositivo óptico de aumento y se enfoca en el plano del detector. Este enfoque se realizará con la máxima exactitud, para 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) del § A.1 del anexo A. En lugar de ello, la distribución de intensidades de campo próximo $f^2(r)$ puede transformarse en el dominio de campo lejano mediante una transformación de Hankel, y el campo lejano transformado resultante, $F^2(q)$, puede utilizarse para calcular el diámetro del campo de modo por la ecuación (1) del § A.1 del anexo A.

B.1.1.2.12 *Presentación de los resultados*

Se indicarán los siguientes detalles:

- a) Técnica de medición utilizada, incluidos la configuración de prueba, la gama dinámica del sistema de medición, los algoritmos de procesamiento y una descripción de los dispositivos de imaginización, desplazamiento o exploración utilizados (incluyendo el ángulo de exploración o la AN, en su caso).
- b) Si se utiliza la técnica de unión desplazada, debe indicarse el método de ajuste utilizado.
- c) Condiciones de inyección.
- d) Longitud de onda y anchura espectral de la fuente entre puntos de amplitud mitad de la fuente.
- e) Identificación y longitud de la fibra.
- f) Tipo de supresor de modos de revestimiento y filtro (si se aplica).
- g) Ampliación óptica del equipo (si se aplica).
- h) Tipo y dimensiones del detector.
- i) Temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando es necesario).
- j) Indicación de exactitud y repetibilidad.
- k) Diámetro del campo modal.

Nota – Al igual que con otros métodos de prueba, el equipo y el procedimiento anteriormente indicados corresponden únicamente a las características básicas del método de prueba de referencia. Se supone que la instrumentación detallada incorporará todas las medidas necesarias para garantizar la estabilidad, la eliminación del ruido, la relación señal/ruido necesaria, etc.

B.2 – Sección II – Métodos de prueba para las características geométricas, excluido el diámetro del campo modal

B.2.1 *Método de prueba de referencia: técnica del campo próximo transmitido.*

B.2.1.1 *Generalidades*

La técnica del campo próximo transmitido se utilizará para la medición de las características geométricas de las fibras ópticas monomodo. Dichas mediciones se realizan en forma consecutiva con las definiciones pertinentes.

La medición se basa en la exploración de la imagen (o imágenes) ampliada del extremo de salida de la fibra a prueba en la sección (o secciones) transversal en que se coloca el detector.

B.2.1.2 *Aparato de prueba*

La figura B-1/G.652 muestra un diagrama esquemático del aparato de prueba.

B.2.1.2.1 *Fuente luminosa*

Una fuente luminosa de longitud de onda nominal 1550 nm 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.

B.2.1.2.2 *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.

B.2.1.2.3 *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} .

B.2.1.2.4 *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, el supresor de modos de revestimiento no estará presente.

B.2.1.2.5 *Espécimen*

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

B.2.1.2.6 *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.

En los dispositivos ópticos de ampliación podrían utilizarse técnicas de recorte de imágenes para conseguir mediciones exactas.

Nota – La validez de la técnica de recorte de imágenes está en estudio, y necesita ser confirmada.

B.2.1.2.7 *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 microorificio;
- b) espejo de exploración con abertura de microorificio fijo y fotodetector;
- c) vidición 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.

B.2.1.2.8 *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.

B.2.1.2.9 *Recogida 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.

B.2.1.3 *Procedimiento*

B.2.1.3.1 *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.

B.2.1.3.2 *Medición*

El extremo de inyección de la fibra se alineará con el haz de inyección, y el extremo de salida de la fibra se alineará con el eje óptico del dispositivo óptico de ampliación (cuando se utilice). 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.

B.2.1.4 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes detalles:

- configuración de prueba, con indicación de la técnica de exploración utilizada;
- condiciones de inyección;
- características espectrales de la fuente (o fuentes);
- identificación y longitud de la fibra;
- tipo de filtro de modos (en su caso);
- ampliación del dispositivo óptico;
- tipo y dimensiones del detector de exploración;
- temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando sea necesario);
- indicación de exactitud y repetibilidad;
- parámetros dimensionales resultantes, como diámetros del revestimiento, no circularidades del revestimiento, error de concentricidad del campo modal, etc.

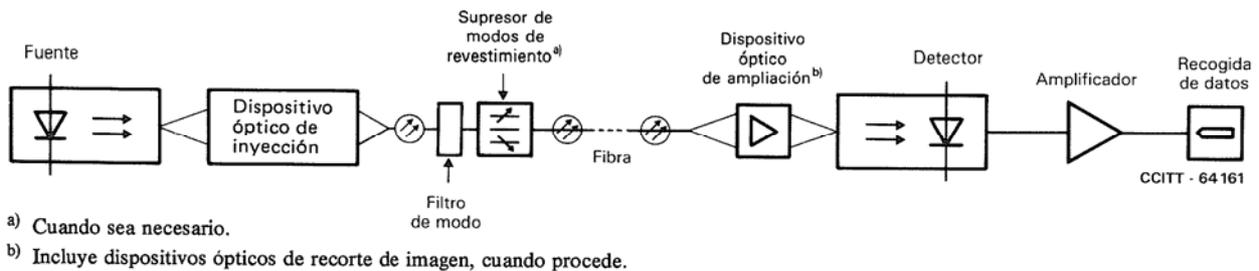


FIGURA B-1/G.652

Configuración de prueba típica de la técnica de campo próximo transmitido

B.2.2 Método de prueba alternativo: técnica del campo próximo refractado

Esta técnica se describe en la Recomendación G.651. Los niveles de decisión en los diversos interfaces de diferencia de índice de refracción se definen como sigue:

Núcleo/revestimiento	50%
Revestimiento/fluido adaptador del índice	50%

Pueden efectuarse análisis geométricos, con arreglo a lo indicado en el anexo A a la Recomendación G.652, por exploración de barrido por cuadrículas del punto luminoso de entrada.

B.2.3 Método de prueba alternativo: método de visión lateral

Es necesario confirmar la validez del método de la vista lateral en cuanto a las fibras de la Recomendación G.653.

B.2.3.1 Objetivo

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

B.2.3.2 *Aparato de prueba*

La figura B-2/G.652 muestra un diagrama esquemático del aparato de prueba.

B.2.3.2.1 *Fuente luminosa*

La luz emitida será colimada, ajustable en intensidad y estable en posición de intensidad y 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).

B.2.3.2.2 *Espécimen*

El espécimen a medir será un tramo corto de la 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.

B.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.

B.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 vidicon o un dispositivo acoplado por carga en la gama de medición requerida. La resolución del detector será compatible con la resolución espacial deseada.

B.2.3.2.5 *Procesamiento de los datos*

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

B.2.3.3 *Procedimiento*

B.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.

B.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 (presentadas como **B**) en el plano de observación a lo largo de la línea perpendicular al eje de la fibra **a**–**Ⓐ** en **A** la figura B-2/G.652 para diferentes direcciones de observación, girando la fibra en torno a su eje, y manteniendo 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 del diagrama de difracción (presentado como **B**). La posición central del núcleo se determina analizando la distribución de intensidades de la luz convergida (presentada como **C**). La distancia entre la posición central de la fibra y la del núcleo corresponde al valor observado nominal del ECCM.

Como se muestra en la figura B-3/G.652, ajustando la función sinusoidal a los valores experimentales obtenidos del ECCM representado en función del ángulo de rotación, el ECCM real se calcula 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.

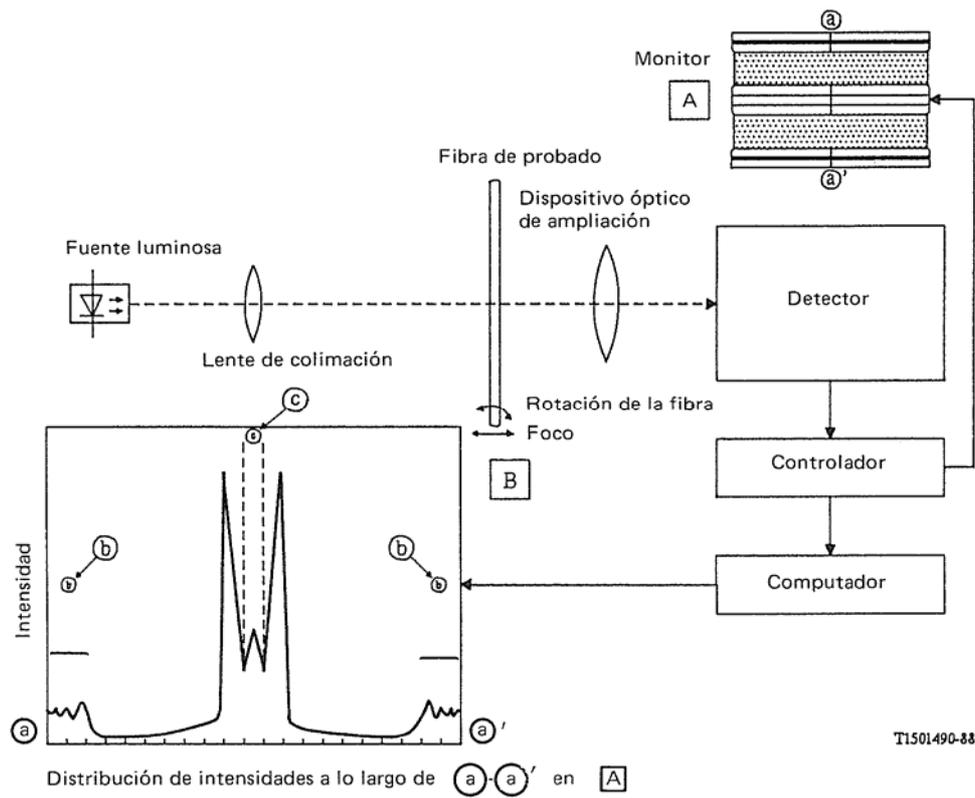


FIGURE B-2/G.652

Diagrama esquemático del sistema de medición

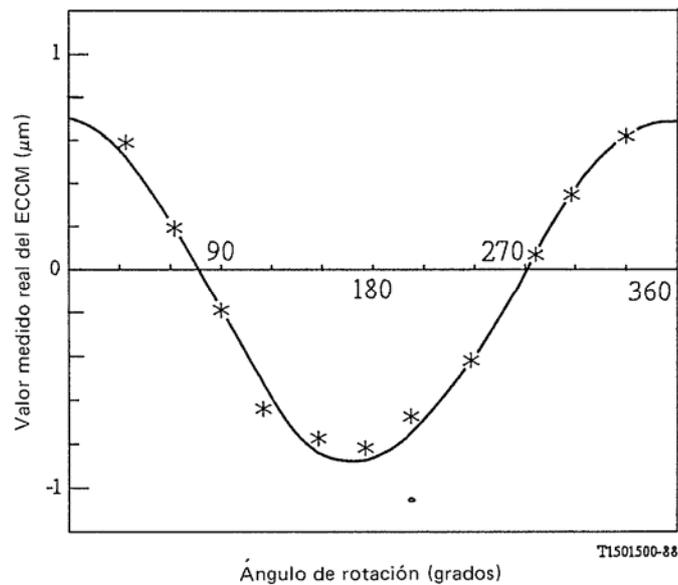


FIGURE B-3/G.652

Valor medido del ECCM en función del ángulo de rotación

B.2.3.3.3 *Presentación de los resultados*

Se indicarán los siguientes detalles:

- a) configuración de prueba;
- b) identificación de la fibra;
- c) características espectrales de la fuente;
- d) indicación de repetibilidad y exactitud;
- e) representación del ECCM en función del ángulo de rotación;
- f) ECCM, diámetro del revestimiento y no circularidad del revestimiento;
- g) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).

B.2.4 *Método de prueba de referencia: técnica de imagen del campo próximo transmitido*

B.2.4.1 *Generalidades*

La técnica de imagen del campo próximo transmitido se utilizará para la medición de las características geométricas de las fibras ópticas monomodo. Dichas mediciones se realizan en forma consecuente con las definiciones pertinentes.

La medición se basa en el análisis de la imagen (o imágenes) ampliada del extremo de salida de la fibra a prueba.

B.2.4.2 *Aparato de prueba*

La figura B-4/G.652 muestra un diagrama esquemático del aparato de prueba.

B.2.4.2.1 *Fuente luminosa*

La fuente luminosa para iluminar el núcleo será ajustable en intensidad y estable en posición de intensidad durante un periodo de tiempo suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. 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 desenfoque de la imagen.

B.2.4.2.2 *Condiciones de inyección*

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

B.2.4.2.3 *Supresor de modos de revestimiento*

Se utilizará 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, el supresor de modos de revestimiento no estará presente.

B.2.4.2.4 *Espécimen*

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

B.2.4.2.5 *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.

En los dispositivos ópticos de ampliación podrían utilizarse técnicas de recorte de imágenes para conseguir mediciones exactas.

B.2.4.2.6 *Detección*

Se examinará y/o analizará la imagen de la fibra. Por ejemplo, podrá utilizarse cualquiera de las siguientes técnicas:

- a) recorte de imágenes¹;
- b) análisis de escala de grises de una imagen electrónicamente registrada.

B.2.4.2.7 *Recogida de datos*

Los datos pueden registrarse, procesarse y presentarse en forma adecuada, con arreglo a la técnica de exploración y los requisitos de especificación.

B.2.4.3 *Procedimiento*

B.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.

B.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.

Deben minimizarse los errores de desenfoque, a fin de reducir los errores de dimensión en las mediciones. Después se calculan los parámetros geométricos deseados.

B.2.4.4 *Presentación de los resultados*

- a) configuración de prueba, con indicación de la técnica utilizada;
- b) condiciones de inyección;
- c) características espectrales de la fuente;
- d) identificación y longitud de la fibra;
- e) ampliación del dispositivo óptico;
- f) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando es necesario);
- g) indicación de exactitud y repetibilidad;
- h) parámetros dimensionales resultantes, como diámetro del revestimiento, no circularidades del revestimiento, error de concentricidad del campo modal, etc.

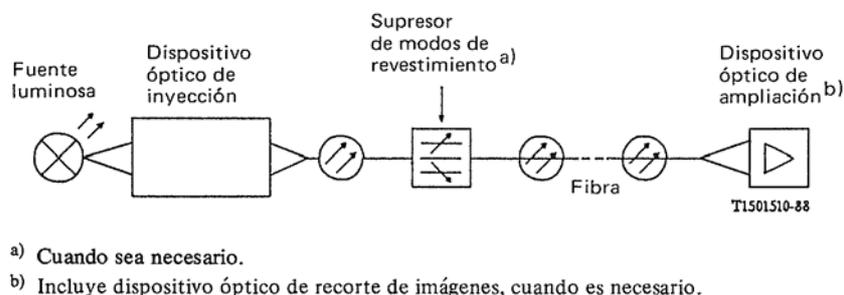


FIGURE B-4/G.652

¹ La validez de la técnica de recorte de imágenes está en estudio, y necesita ser confirmada.

B.3 – Sección III – Método de prueba para la longitud de onda de corte

B.3.1 Método de prueba de referencia para la longitud de onda de corte (λ_c) de la fibra con recubrimiento primario: técnica de la potencia transmitida

B.3.1.1 Objetivo

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.

B.3.1.2 Técnica de la potencia transmitida

Este método 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.

B.3.1.2.1 Aparato de prueba

B.3.1.2.1.1 Fuente luminosa

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

B.3.1.2.1.2 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.

B.3.1.2.1.3 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).

B.3.1.2.1.4 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; como resultado, los modos propagados por el revestimiento son suprimidos de la fibra. Se tendrá cuidado de evitar que se afecte a la propagación del modo LP_{11} .

B.3.1.2.1.5 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.

B.3.1.2.2 Procedimiento

B.3.1.2.2.1 Muestra de prueba normalizada

La medición se efectuará con un largo 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 admiten 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 λ en una gama suficientemente amplia alrededor de la longitud de onda de corte esperada.

Nota – La presencia de un recubrimiento primario por lo general no afecta a la longitud de onda de corte. Por el contrario, la presencia de un recubrimiento secundario puede hacer que la longitud de onda de corte sea sensiblemente más corta que la de la fibra que sólo tiene un recubrimiento primario.

B.3.1.2.2.2 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 con un bucle al menos de radio suficientemente pequeño en la muestra de prueba para filtrar el modo LP_{11} . Un valor típico del radio para este bucle es 30 mm;
- b) con un tramo corto (1-2 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 comprende el 70% del diámetro del núcleo y la apertura numérica de la fibra multimodo; otra posibilidad consiste en utilizar un filtro de modo adecuado.

B.3.1.2.2.3 Cálculos

La relación logarítmica entre las potencias transmitidas $P_1(\lambda)$ y $P_i(\lambda)$ se calcula por la fórmula:

$$R(\lambda) = 10 \log [P_1(\lambda)/P_i(\lambda)]$$

donde

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

Nota 1 – En el método a), el pequeño bucle forma 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 λ_c . A longitudes de onda de más de unas centenas de nm por encima de λ_c , el bucle puede producir una gran atenuación, del modo fundamental. $R(\lambda)$ es igual a la relación logarítmica entre la potencia total que emerge de la muestra, incluida la del modo LP_{11} , y la potencia del modo fundamental. Cuando los modos son excitados uniformemente de acuerdo con el § B.1.2.1.3, $R(\lambda)$ da también la atenuación del modo LP_{11} $A(\lambda)$ en dB, en la muestra que se prueba:

$$A(\lambda) = 10 \log [(P_1(\lambda)/P_2(\lambda) - 1)/2]$$

B.3.1.2.2.4 Determinación de la longitud de onda de corte

Si se utiliza el método a), λ_c se determina como la mayor longitud de onda a la cual $R(\lambda)$ es igual a 0,1 dB (véase la figura B-5/G.652).

Si se utiliza el método b), λ_c se determina por la intersección de la curva de $R(\lambda)$ y la recta (2) desplazada 0,1 dB y paralela a la recta (1) ajustada a la parte de longitud de onda grande de $R(\lambda)$ (véase la figura B-6/G.652).

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

B.3.1.2.2.5 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 $R(\lambda)$ (si es necesario).

B.3.2 Método de prueba alternativo para λ_c : técnica del mandril dividido

B.3.2.1 Objetivo en B.3.2.2.1.5 Detector óptico (igual que B.3.1.1 a B.3.1.2.1.5)

B.3.2.2.2 Procedimiento

B.3.2.2.2.1 Muestra de prueba normalizada

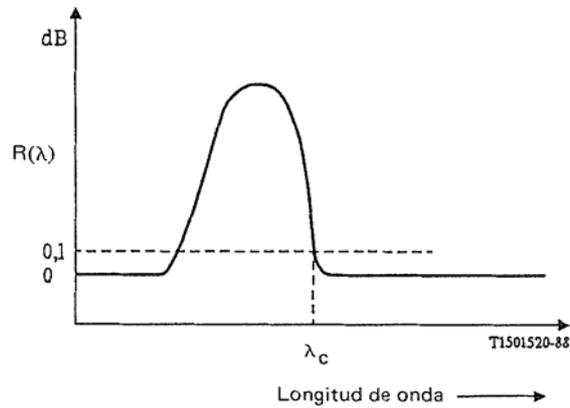


FIGURA B-5/G.652

**Representación típica de la longitud de onda de corte
utilizando una referencia monomodo**

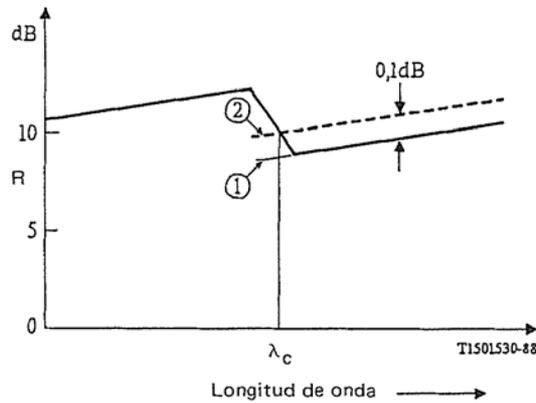


FIGURA B-6/G.652

**Representación típica de la longitud de onda de corte
utilizando una referencia multimodo**

La medición se efectuará con un largo 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 admiten 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 λ en una gama suficientemente amplia alrededor de la longitud de onda de corte esperada.

Como se ve en la figura B-7/G.652, 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.

B.3.2.2.2.2 a B.3.2.2.2.5 (igual que B.3.1.2.2.2 a B.3.1.2.2.5)

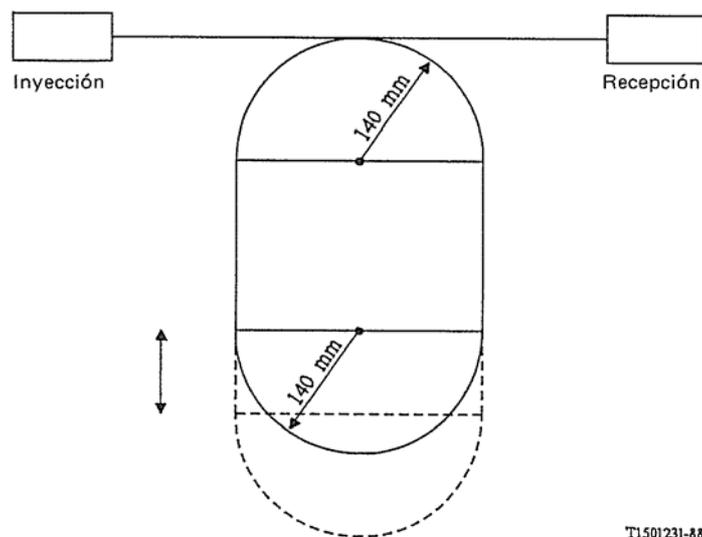


FIGURA B-7/G.652

**Instalación de la fibra:
Longitud de onda de corte por la técnica del mandril dividido**

B.3.3 *Método de prueba de referencia para la longitud de onda de corte de la fibra cableada (λ_{cc}): técnica de la potencia transmitida*

B.3.3.1 *Objetivo*

Esta medición de la longitud de onda de corte, que se efectúa en fibras monomodo cableadas en condiciones de instalación que simulan las longitudes de cable mínimas de la planta externa, tiene por objeto asegurar un funcionamiento monomodo eficaz por encima de una longitud de onda especificada.

B.3.3.2 *Técnica de la potencia transmitida*

Este método 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 metros) de fibra multimodo.

B.3.3.2.1 *Aparato de prueba*

B.3.3.2.1.1 *Fuente luminosa* (igual que B.3.1.2.1.1)

B.3.3.2.1.2 *Modulación* (igual que B.3.1.2.1.2)

B.3.3.2.1.3 *Condiciones de inyección* (igual que B.3.1.2.1.3)

B.3.3.2.1.4 *Supresor de modos de revestimiento* (igual que B.3.1.2.1.4)

B.3.3.2.1.5 *Detector óptico* (igual que B.3.1.2.1.5)

B.3.3.2.2 *Procedimiento*

B.3.3.2.2.1 *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 XX mm de radio en cada tramo de fibra no cableada (véase la figura B-8/G.652). Aunque se admiten 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 λ en una gama suficientemente amplia alrededor de la longitud de onda de corte esperada.

Nota – El valor de XX está en estudio. Algunas Administraciones indicaron que es apropiado un valor de 45 mm. Estos bucles tienen por objeto simular las condiciones de instalación, según la práctica de una determinada Administración. Otra posibilidad es eliminar los bucles, si esa es la práctica de la Administración.

B.3.3.2.2.2 *Transmisión por la muestra de referencia* (igual que B.3.1.2.2.2)

B.3.3.2.2.3 *Cálculos*

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

$$R(\lambda) = 10 \log [P_1(\lambda) / P_i(\lambda)] \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

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

B.3.3.2.2.4 *Determinación de la longitud de onda de corte de la fibra cableada*

Si se utiliza el método a), λ_{cc} se determina como la longitud de onda más grande a la que $R(\lambda)$ es igual a 0,1 dB (véase la figura B-5/G.652). Si se utiliza el método b), λ_{cc} viene determinada por la intersección de una representación gráfica de $R(\lambda)$ y una línea recta (2) desplazada 0,1 dB y paralela a la línea recta (1) ajustada a la porción de longitud de onda larga de $R(\lambda)$ (véase la figura B-6/G.652).

B.3.3.2.2.5 *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 y del cable;
- f) gama de longitudes de onda de medición;
- g) longitud de onda de corte de la fibra cableada;
- h) representación gráfica de $R(\lambda)$ (si es necesario).

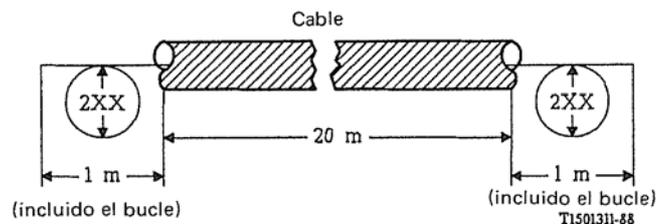


FIGURA B-8/G.652

Condición de instalación para la medición de la longitud de onda de corte de una fibra cableada

B.4 – Sección IV – Métodos de prueba para las mediciones de atenuación

B.4.1 *Introducción*

B.4.1.1 *Objetivos*

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

B.4.1.2 *Definición*

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

$$A(\lambda) = 10 \log [P_1(\lambda)/P_2(\lambda)] \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

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 λ .

Para una fibra uniforme, es posible definir una atenuación por unidad de longitud o un coeficiente de atenuación:

$$\alpha(\lambda) = A(\lambda)/L \quad (\text{dB/unidad de longitud}) \quad (2)$$

que es independiente de la longitud de la fibra.

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

B.4.2 *Método de prueba de referencia: técnica de la fibra cortada*

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 punto de corte de la fibra.

B.4.2.1 *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 B-9/G.652 presenta como ejemplos diagramas de equipos de prueba adecuados.

B.4.2.1.1 *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 la longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. La anchura espectral a amplitud mitad se especificará de modo que la anchura de raya sea estrecha en relación con cualquiera de las características de atenuación espectral de la fibra.

B.4.2.1.2 *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.

B.4.2.1.3 *Condiciones de inyección*

Las condiciones de inyección empleadas deben ser suficientes para excitar el modo fundamental. Por ejemplo, podrían ser técnicas de inyección adecuadas:

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

B.4.2.1.4 *Filtro de modos*

Se tendrá cuidado de que no se propaguen modos de orden superior por el largo de corte. A tal fin puede que haga falta introducir una curvatura para suprimir los modos de orden superior.

B.4.2.1.5 *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.

B.4.2.1.6 *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.

B.4.2.2 *Procedimiento de medición*

B.4.2.2.1 *Preparación de la fibra a probar*

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.

B.4.2.2.2 *Procedimiento*

- 1) La fibra a probar 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 la definición, utilizando los valores hallados de P_1 y P_2 .

B.4.2.2.3 *Presentación de los resultados*

Se indicarán los siguientes detalles:

- a) configuración de prueba, incluido tipo de fuente, longitud de onda y anchura espectral 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).

B.4.3 *Primer método de prueba alternativo: técnica del retroesparcimiento*

Nota – Este método de prueba describe un procedimiento para medir la atenuación de una muestra homogénea de cable de fibra óptica monomodo. La técnica puede aplicarse para comprobar la continuidad óptica, defectos físicos, empalmes, luz retroesparcida de los cables de fibra óptica y la longitud de la fibra.

B.4.3.1 *Condiciones de inyección*

El haz de inyección incidirá coaxialmente sobre el extremo de inyección de la fibra. Pueden utilizarse diversos dispositivos, tales como un adaptador de índices para reducir las reflexiones de Fresnel. Se minimizará la pérdida por acoplamiento.

B.4.3.2 *Equipo y procedimiento*

B.4.3.2.1 *Consideraciones generales*

El nivel de señal de la señal óptica retroesparcida será normalmente pequeño y próximo al nivel de ruido. A fin de mejorar la relación señal/ruido y la gama de medición dinámica suele por tanto utilizarse una fuente luminosa de alta potencia en relación con el procesamiento de la señal detectada. Además, para una resolución espacial exacta puede requerirse el ajuste de la anchura de los impulsos a fin de obtener un compromiso entre la resolución y la energía de los impulsos. Se tendrá especial cuidado de minimizar las reflexiones de Fresnel.

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

En la figura B-10a/G.652 se muestra un ejemplo del equipo.

B.4.3.2.2 *Fuente óptica*

Debe utilizarse una fuente óptica de alta potencia de una longitud de onda adecuada. Deberá registrarse la longitud de onda de la fuente. La anchura de los impulsos y la frecuencia de repetición deben ser consecuentes con la resolución deseada y la longitud de la fibra. En la parte de la fibra que se prueba no deberán producirse efectos ópticos no lineales.

B.4.3.2.3 *Dispositivo de acoplamiento*

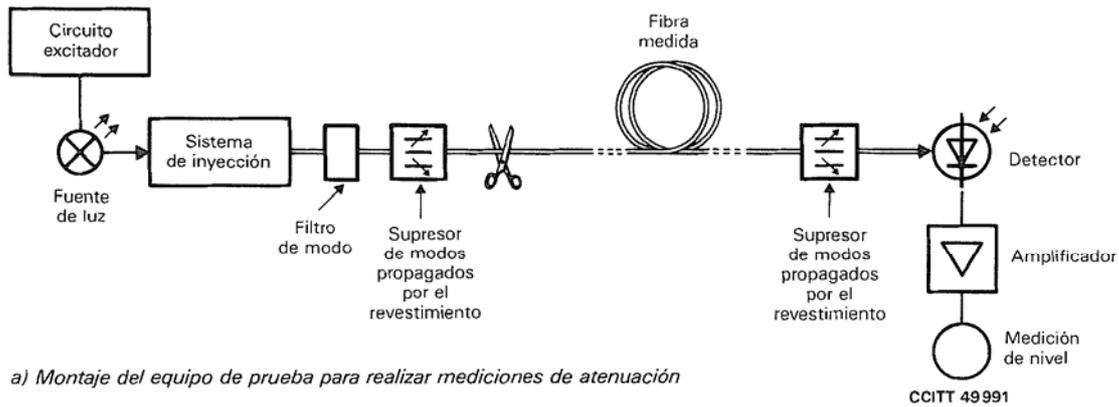
El dispositivo de acoplamiento es necesario para acoplar la radiación de la fuente a la fibra y la radiación retroesparcida al detector, a la vez que se evita un acoplamiento directo de la fuente con el detector. Pueden utilizarse varios dispositivos, pero deben evitarse los dispositivos basados en efectos de polarización.

B.4.3.2.4 *Detección óptica*

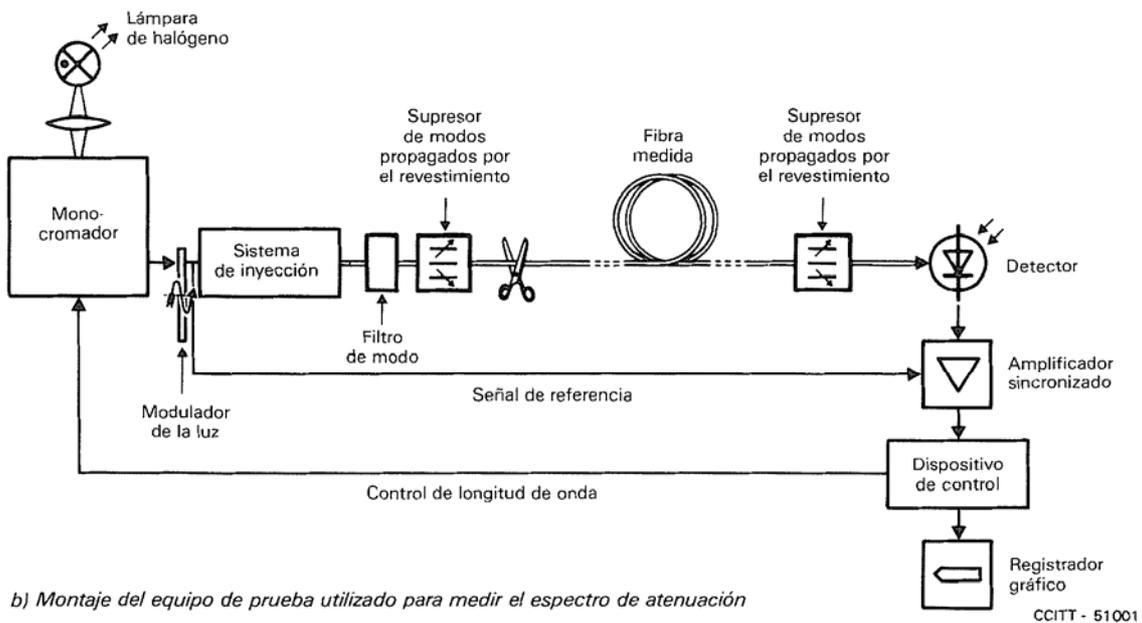
Se utilizará un detector a fin de interceptar la máxima potencia retroesparcida posible. La respuesta del detector será compatible con los niveles y longitudes de onda de la señal detectada. Para las mediciones de atenuación, la respuesta del detector será prácticamente lineal.

Se requiere el procesamiento de la señal para mejorar la relación señal/ruido, y es conveniente disponer de una respuesta logarítmica en el sistema de detección.

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 del amplificador se escogerá como un compromiso entre la resolución temporal y la reducción del ruido.



a) Montaje del equipo de prueba para realizar mediciones de atenuación



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

FIGURA B-9/G.652

Técnica de la fibra cortada

B.4.3.2.5 Supresor de modos de revestimiento

Véase el § B.2.1.5.

B.4.3.2.6 Procedimiento

- 1) La fibra a prueba se alinea con el dispositivo de acoplamiento.
- 2) Se analiza la potencia retroesparcida mediante un procesador de señales y se registra en una escala logarítmica. La figura B-10b/G.652 muestra una curva típica así.
- 3) La atenuación entre dos puntos A y B de la curva correspondiente a dos secciones transversales de la fibra es:

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

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

Nota – Debe prestarse atención a las condiciones de esparcimiento en los puntos A y B cuando se calcula la atenuación de esta manera.

- 4) Si así se requiere, pueden efectuarse mediciones bidireccionales, junto con el cálculo numérico, para mejorar la calidad del resultado y posiblemente poder separar la atenuación del factor de retroesparcimiento.

B.4.3.2.7 *Presentación de los resultados*

Se indicarán los siguientes detalles:

- a) tipos y características de medición;
- b) técnicas de inyección;
- c) configuración de prueba;
- d) humedad relativa y temperatura de la muestra (cuando es necesario);
- e) identificación de la fibra;
- f) longitud de la muestra,
- g) tiempo de subida, anchura y frecuencia de repetición del impulso;
- h) clase de procesamiento de señales utilizado;
- i) la curva registrada en una escala logarítmica, con la atenuación de la muestra y, en ciertas condiciones, el coeficiente de atenuación en dB/km.

Nota – El análisis completo de la curva registrada (figura B-10b/G.652) muestra que, aparte de la medición de atenuación, pueden supervisarse muchos fenómenos utilizando la técnica del retroesparcimiento:

- a) la reflexión originada por el dispositivo de acoplamiento en el extremo de entrada de la fibra;
- b) zona de pendiente constante;
- c) discontinuidad debida a defecto local, empalme o acoplamiento;
- d) reflexión debida a defecto dieléctrico;
- e) reflexión en el extremo de la fibra.

B.4.4 *Segundo método de prueba alternativo: técnica de la pérdida de inserción*

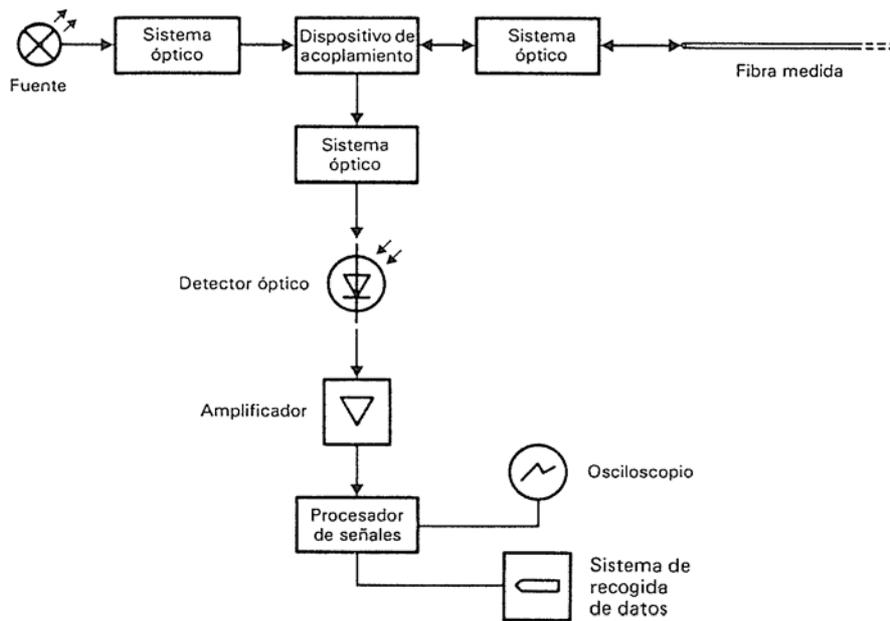
En estudio.

B.5 – Sección V – Métodos de prueba para la medición del coeficiente de dispersión cromática

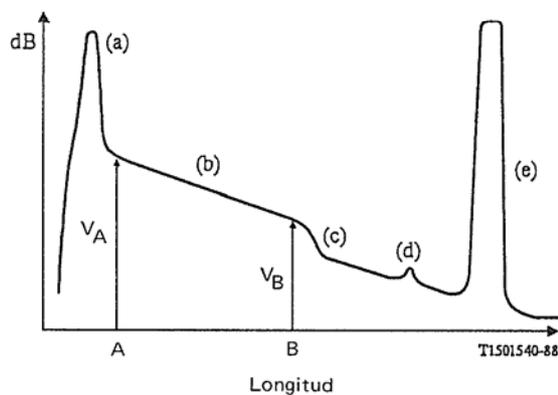
B.5.1 *Método de prueba de referencia para la medición de la dispersión cromática*

B.5.1.1 *Objetivo*

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



a) Esquema del aparato



b) Ejemplo de curva de potencia retroesparcida

FIGURA B-10/G.652

Técnica de retroesparcimiento

El retardo de grupo puede medirse en el dominio del tiempo o en el de la frecuencia, de acuerdo con el tipo de modulación de la fuente.

En el primer caso, se mide el retardo experimentado por los impulsos en diversas longitudes de onda; en el segundo caso, se registra y se procesa el desplazamiento de fase de una señal moduladora sinusoidal para obtener el retardo de tiempo.

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

B.5.1.2 Aparato de prueba

La figura B-11/G.652 muestra un diagrama esquemático del aparato de prueba.

B.5.1.2.1 Fuente

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. Pueden utilizarse diodos láser, diodos fotoemisores o fuentes de banda ancha (por ejemplo, un láser YAG al Nd 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 un tiempo de resolución suficiente en la medición del retardo de grupo.

B.5.1.2.2 Selección de longitud de onda

Se utiliza un selector de longitud de onda para seleccionar la longitud de onda a la cual ha de medirse el retardo de grupo. Puede utilizarse un conmutador óptico, monocromador, dispositivos dispersivos, filtros ópticos, acoplador acústico, conectores, etc., según el tipo de las 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. El selector de longitud de onda puede utilizarse en el extremo de entrada o en el extremo de salida de la fibra medida.

B.5.1.2.3 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 a ruido y resolución temporal son adecuadas para la medición. El detector va seguido de un amplificador de bajo ruido, si es necesario.

B.5.1.2.4 Canal de referencia

El canal de referencia puede consistir en una línea de señales eléctricas o en 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.

B.5.1.2.5 Detector de retardo

El detector de retardo medirá el retardo de tiempo o el desplazamiento de fase entre la señal de canal. En el caso de modulación sinusoidal, podrá utilizarse un voltímetro vectorial. En el caso de modulación por impulsos, podrá utilizarse un osciloscopio de alta velocidad o un osciloscopio de muestreo.

B.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.

B.5.1.3 Procedimiento

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. Debe lograrse un compromiso adecuado 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 o el desplazamiento de fase entre la señal de referencia y la señal de canal en la longitud de onda de trabajo deben 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. En caso necesario, puede realizarse una exploración espectral del retardo de grupo en función de la longitud de onda; puede completarse una curva de ajuste a partir de los valores medidos.

Los valores medidos del retardo de grupo por unidad de longitud de la fibra en función de la longitud de onda deben ajustarse a la expresión cuadrática, con lo que se obtiene:

$$\tau(\lambda) = \tau_0 + \frac{S_0}{2} (\lambda - \lambda_0)^2$$

donde τ_0 es el retardo relativo mínimo a la longitud de onda de dispersión nula λ_0 . El coeficiente de dispersión cromática $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ puede determinarse diferenciando la expresión cuadrática, con lo que se obtiene:

$$D(\lambda) = (\lambda - \lambda_0)S_0$$

donde S_0 es la pendiente de dispersión nula (uniforme), es decir, el valor de la pendiente de dispersión $S(\lambda) = dD/d\lambda$ a la longitud de onda λ_0 .

Nota 1 – Estas ecuaciones de $\tau(\lambda)$ y $D(\lambda)$ son suficientemente exactas en la gama 1500-1600 nm. No se ha previsto utilizarlas en la región de 1300 nm.

Nota 2 – Como otra posibilidad, el coeficiente de dispersión cromática puede medirse directamente, por ejemplo, por un método de desplazamiento de fase diferencial. En este caso, se ajustará directamente una línea recta al coeficiente de dispersión para determinar λ_0 y S_0 .

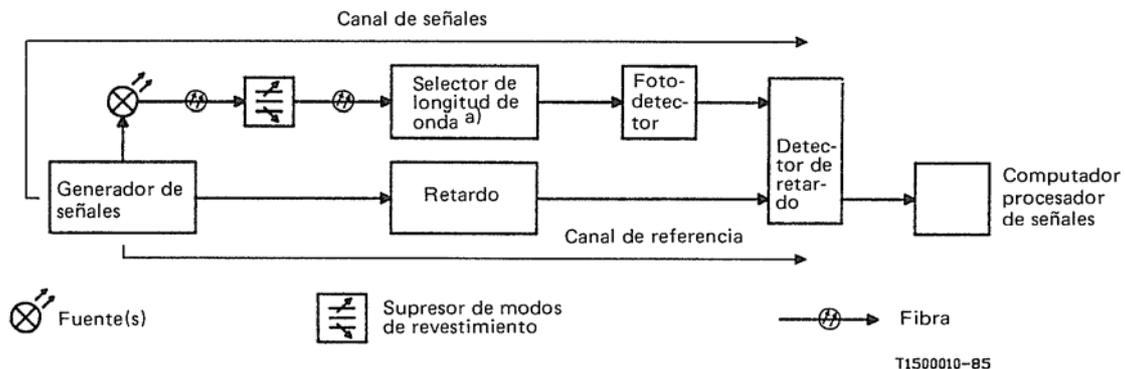
B.5.1.4 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes detalles:

- 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) valores de la longitud de onda de dispersión nula y la pendiente de dispersión nula.

Si se utiliza la técnica del dominio de la frecuencia, el retardo de grupo τ se deducirá del desplazamiento de fase correspondiente mediante la relación $\tau = \phi/(2\pi f)$, siendo f la frecuencia de modulación;

- i) procedimientos de ajuste de los datos de retardo relativo con la gama de longitudes de onda utilizada;
- j) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).



a) Cuando sea necesario.

FIGURA B-11/G.652

Montaje típico del aparato de prueba

B.5.2 Método de prueba alternativo para la medición del coeficiente de dispersión cromática: método de la prueba interferométrica

B.5.2.1 Objetivo

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 microflección, sobre la dispersión cromática.

Según el principio de medición interferométrica, el retardo dependiente de la longitud de onda entre la muestra probada y el trayecto de referencia 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.

Debe señalarse que la extrapolación de los valores de dispersión cromática obtenidos mediante la prueba interferométrica con fibras de pocos metros de longitud, a largas secciones de fibras, presupone la homogeneidad longitudinal de la fibra. Esta hipótesis puede no ser aplicable en todos los casos.

B.5.2.2 *Aparato de prueba*

Las figuras B-12/G.652 y B-13/G.652 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.

B.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. La fuente debe ser 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).

B.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 debe ser limitada por la exactitud de medición de la dispersión, y es de unos 2 a 10 nm.

B.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.

B.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 μm .

B.5.2.2.5 *Espécimen*

Como espécimen para la prueba pueden utilizarse fibras monomodo no cableadas y cableadas. La longitud del espécimen debe hallarse en la gama de 1 a 10 m, con una exactitud de ± 1 mm. La preparación de las caras extremas de las fibras debe realizarse con cierto cuidado.

B.5.2.2.6 *Procesamiento de los datos*

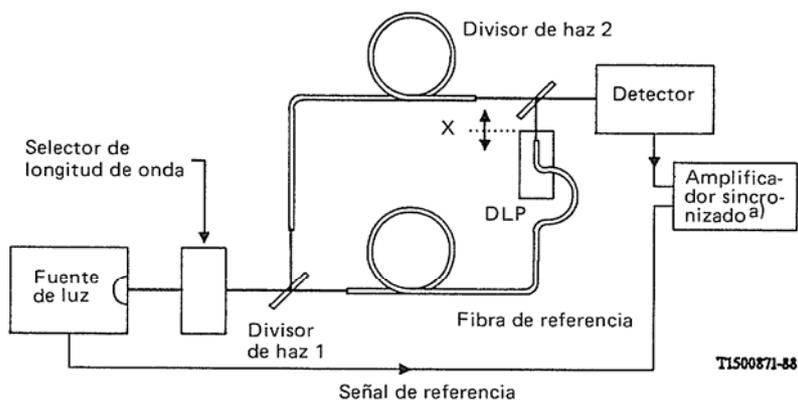
Para el análisis de los diagramas de interferencia debe utilizarse un computador con soporte lógico adecuado.

B.5.2.3 *Procedimiento de prueba*

- 1) La fibra probada se dispone en el montaje de medición (figuras B-12, B-13/G.652). 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) La determinación del retardo de grupo se efectúa equilibrando 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 λ_i y la posición x_0 (figura B-14/G.652) determina la diferencia de retardo de grupo $\Delta t_g(\lambda_i)$ entre el trayecto de referencia y el trayecto de prueba, por la siguiente expresión:

$$\Delta t_g(\lambda_i) = \frac{x_0 - x_i}{c_0}$$

donde c_0 es la velocidad de la luz en el vacío. El retardo de grupo de la muestra medida se calcula sumando el valor $\Delta t_g(\lambda_i)$ 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.

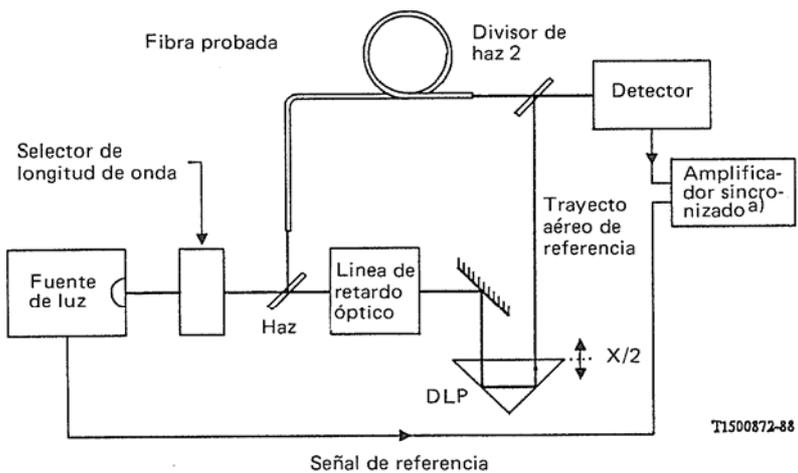


DLP Dispositivo de posicionamiento lineal
 X Distancia de posicionamiento

a) Cuando sea necesario.

FIGURA B-12/G.652

Diagrama esquemático del montaje de medición con la fibra de referencia



DLP Dispositivo de posicionamiento lineal
 X Distancia de posicionamiento

a) Cuando sea necesario.

FIGURA B-13/G.652

Diagrama esquemático del montaje de medición con la referencia de trayecto aéreo

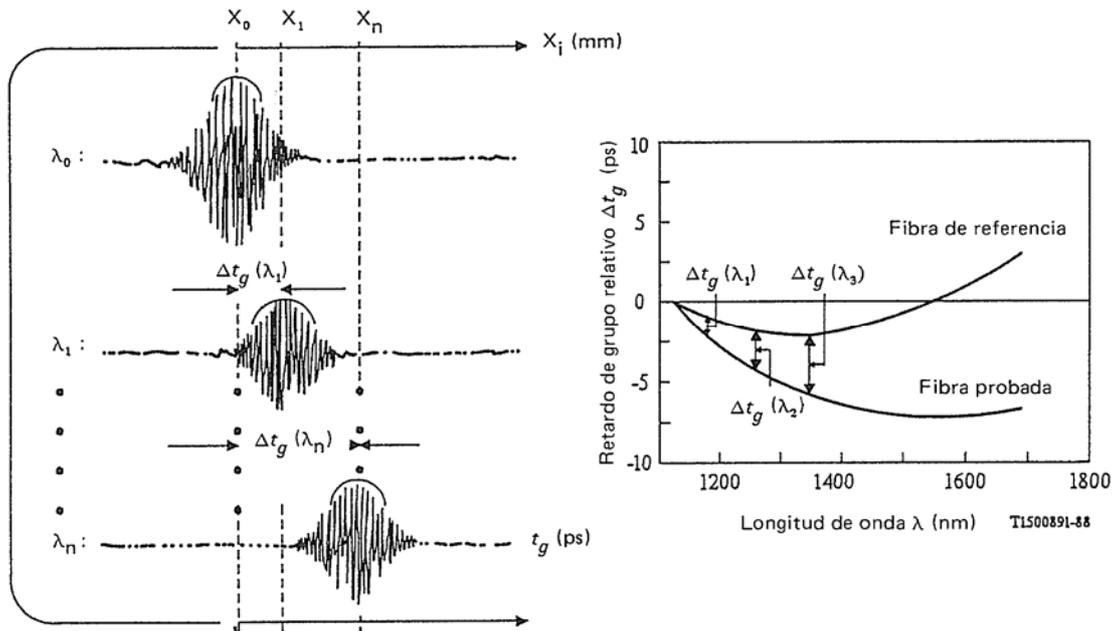


FIGURA B-14/G.652

Determinación del retardo de grupo espectral

Los valores medidos del retardo de grupo por unidad de longitud de la fibra en función de la longitud de onda deben ajustarse por la expresión cuadrática:

$$\tau(\lambda) = \tau_0 + \frac{S_0}{2} (\lambda - \lambda_0)^2$$

donde τ_0 es el retardo relativo mínimo a la longitud de onda de dispersión nula λ_0 . El coeficiente de dispersión cromática $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ puede determinarse diferenciando la expresión cuadrática, con lo que se obtiene:

$$D(\lambda) = (\lambda - \lambda_0)S_0$$

donde S_0 es la pendiente de dispersión nula (uniforme), es decir, el valor de la pendiente de dispersión $S(\lambda) = dD/d\lambda$ a la longitud de onda λ_0 .

Nota – Estas ecuaciones de $\tau(\lambda)$ y $D(\lambda)$ son suficientemente exactas en la gama 1500-1600 nm. No se ha previsto utilizarlas con valores en la región de 1300 nm.

B.5.2.4 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes detalles:

- configuración de prueba;
- características de la fuente;
- identificación y longitud de la fibra;
- características del selector de longitud de onda (si existe);
- tipo del fotodetector;
- valores de la longitud de onda de dispersión nula y la pendiente de dispersión nula;
- procedimiento de ajuste para los datos del retardo relativo, con indicación de la gama de longitudes de onda utilizada;
- temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).

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

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	
Definiciones generales	G.100–G.109
Recomendaciones generales sobre la calidad de transmisión para una conexión telefónica internacional completa	G.110–G.119
Características generales de los sistemas nacionales que forman parte de conexiones internacionales	G.120–G.129
Características generales de la cadena a cuatro hilos formada por los circuitos internacionales y circuitos nacionales de prolongación	G.130–G.139
Características generales de la cadena a cuatro hilos de los circuitos internacionales; tránsito internacional	G.140–G.149
Características generales de los circuitos telefónicos internacionales y circuitos nacionales de prolongación	G.150–G.159
Dispositivos asociados a circuitos telefónicos de larga distancia	G.160–G.169
Aspectos del plan de transmisión relativos a los circuitos especiales y conexiones de la red de conexiones telefónicas internacionales	G.170–G.179
Protección y restablecimiento de sistemas de transmisión	G.180–G.189
Herramientas de soporte lógico para sistemas de transmisión	G.190–G.199
<i>SISTEMAS INTERNACIONALES ANALÓGICOS DE PORTADORAS</i>	
CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES A TODOS LOS SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORAS	
Definiciones y consideraciones generales	G.210–G.219
Recomendaciones generales	G.220–G.229
Equipos de modulación comunes a los diversos sistemas de transmisión por portadoras	G.230–G.239
Empleo de grupos primarios, secundarios, etc.	G.240–G.299
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES DE PORTADORAS EN LÍNEAS METÁLICAS	
Sistemas de portadoras en cable de pares simétricos no cargados que proporcionan grupos primarios o secundarios	G.320–G.329
Sistemas de portadoras en cable de pares coaxiales de 2,6/9,5 mm	G.330–G.339
Sistemas de portadoras en cable de pares coaxiales de 1,2/4,4 mm	G.340–G.349
Recomendaciones complementarias relativas a los sistemas en cable	G.350–G.399
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES EN RADIOENLACES O POR SATÉLITE E INTERCONEXIÓN CON LOS SISTEMAS EN LÍNEAS METÁLICAS	
Recomendaciones generales	G.400–G.419
Interconexión de radioenlaces con sistemas de portadoras en líneas metálicas	G.420–G.429
Circuitos ficticios de referencia	G.430–G.439
Ruido de circuito	G.440–G.449
COORDINACIÓN DE LA RADIOTELEFONÍA Y LA TELEFONÍA EN LÍNEA	
Circuitos radiotelefónicos	G.450–G.469
Enlaces con estaciones móviles	G.470–G.499
<i>EQUIPOS DE PRUEBAS</i>	
<i>CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN</i>	
Generalidades	G.600–G.609
Cables de pares simétricos	G.610–G.619
Cables terrestres de pares coaxiales	G.620–G.629
Cables submarinos	G.630–G.649
Cables de fibra óptica	G.650–G.659

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

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

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