



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.650

(03/93)

**CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS
DE TRANSMISIÓN**

**DEFINICIÓN Y MÉTODOS DE PRUEBA
DE LOS PARÁMETROS PERTINENTES
DE LAS FIBRAS MONOMODO**

Recomendación UIT-T G.650

(Anteriormente «Recomendación del CCITT»)

PREFACIO

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

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

La Recomendación UIT-T G.650, preparada por la Comisión de Estudio XV (1988-1993) del UIT-T, fue aprobada por la CMNT (Helsinki, 1-12 de marzo de 1993).

NOTAS

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

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

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

© UIT 1994

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

ÍNDICE

	<i>Página</i>
1	Definición y métodos de prueba de los parámetros pertinentes de las fibras monomodo..... 1
1.1	Definiciones generales..... 1
1.2	Características mecánicas 1
1.3	Características del campo modal 2
1.4	Características del revestimiento 3
1.5	Definiciones relativas a la dispersión cromática..... 4
1.6	Otras características 4
2	Métodos de prueba para las fibras monomodo..... 5
2.1	Métodos de prueba para el diámetro del campo modal 5
2.2	Métodos de prueba para el diámetro del revestimiento, el error de concentricidad del campo modal y la no circularidad del revestimiento 10
2.3	Métodos de prueba para la longitud de onda de corte 19
2.4	Métodos de prueba para la atenuación..... 25
2.5	Métodos de prueba para la dispersión cromática..... 34
2.6	Métodos de prueba mecánica de recepción 42

DEFINICIÓN Y MÉTODOS DE PRUEBA DE LOS PARÁMETROS PERTINENTES DE LAS FIBRAS MONOMODO

(Helsinki, 1993)

El CCITT,

considerando

- (a) que en las redes de telecomunicaciones se utilizan ampliamente fibras monomodo de diferentes modelos;
- (b) que ya se han formulado tres Recomendaciones (G.652, G.653 y G.654) sobre diferentes cables de fibra óptica;
- (c) que la definición de los parámetros pertinentes indicados en dichas Recomendaciones, así como los métodos de prueba para verificar las diversas características, están estrechamente relacionados con las propias Recomendaciones;
- (d) que estos métodos de prueba y definiciones sólo difieren en unos pocos detalles de una Recomendación a otra;
- (e) que en el futuro podrían elaborarse nuevas Recomendaciones sobre los cables de fibra óptica monomodo de diferentes modelos, referentes en esencia a los mismos métodos de prueba y definiciones,

recomienda

que, en el caso de los cables de fibra óptica monomodo de que tratan las Recomendaciones G.652, G.653 y G.654, se apliquen las definiciones de los parámetros pertinentes que aparecen en la cláusula 1 y los métodos de prueba de dichos parámetros descritos en la cláusula 2.

1 Definición y métodos de prueba de los parámetros pertinentes de las fibras monomodo

A los efectos de esta Recomendación, son aplicables las definiciones siguientes.

1.1 Definiciones generales

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

1.1.2 método de prueba de referencia (RTM, *reference test method*): Método en el que se mide una característica recomendada de una clase específica de fibra óptica o de cable de fibra óptica de una manera estrictamente de acuerdo con la definición de esta característica y dan resultados precisos, reproducibles y que pueden relacionarse con el uso práctico.

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

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

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

1.2 Características mecánicas

1.2.1 recubrimiento primario: Una o más capas de material de recubrimiento de protección aplicadas al revestimiento de la fibra durante el proceso de estirado o después para preservar la integridad de la superficie del revestimiento y proporcionar una cantidad mínima de protección requerida (por ejemplo, un recubrimiento de protección de 250 µm).

1.2.2 recubrimiento secundario: Una o más capas de material de recubrimiento aplicadas sobre una o más fibras con recubrimiento primario para dar una protección adicional necesaria o disponer las fibras juntas en una estructura particular (por ejemplo, un recubrimiento «tampón» de 900 µm, «envoltura apretada» o un recubrimiento de cinta).

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

1.2.4 parámetro de corrosión por tensión: El parámetro n de corrosión por tensión (susceptibilidad) es un coeficiente adimensional relacionado empíricamente con la dependencia del crecimiento de las grietas respecto a la tensión aplicada. Depende de la temperatura ambiente, de la humedad y de otras condiciones ambientales.

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

El valor estático n_s es el valor, con signo menos, de la pendiente del gráfico en coordenadas doblemente logarítmicas de la fatiga estática, representada por la relación entre tiempo de fallo y tensión aplicada.

El valor dinámico es n_d , siendo $1/(n_d + 1)$ la pendiente del gráfico en coordenadas doblemente logarítmicas de la fatiga dinámica, representada por la relación entre tensión de fallo y tasa de tensión aplicada.

NOTA – n no tiene por qué ser un valor entero.

1.3 Características del campo modal

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

1.3.2 diámetro del campo modal (MFD, mode field diameter): El diámetro del campo modal $2w$ se define a partir de la distribución de intensidad de campo lejano $F^2(q)$ [$q = (1/\lambda) \cdot \sin \theta$, siendo θ el ángulo de campo lejano y λ la longitud de onda], mediante la siguiente ecuación:

$$2w = (2/\pi) [2 \int_0^\infty q^3 F^2(q) dq / \int_0^\infty q F^2(q) dq]^{-1/2} \quad (1-1)$$

Los límites de integración son 0 e ∞ , 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 $1/\lambda$, los integrandos tienden rápidamente a 0 antes de que se alcance dicho valor.

NOTA – Esta definición se refiere estrictamente a una configuración de medición basada en la exploración de campo lejano. A partir de la ecuación (1-1) pueden obtenerse ecuaciones equivalentes para el MFD en el caso de las siguientes configuraciones de mediciones alternativas:

1) *Técnica de apertura variable:* Si $\alpha(x)$ es la función de transmisión de apertura complementaria (siendo $x = D \cdot \tan \theta$ el radio de apertura y D la distancia entre la apertura y la fibra), el MFD viene dado por:

$$2w = (2/\pi) [4 \int_0^\infty \alpha(x) q dq]^{-1/2} \quad (1-2)$$

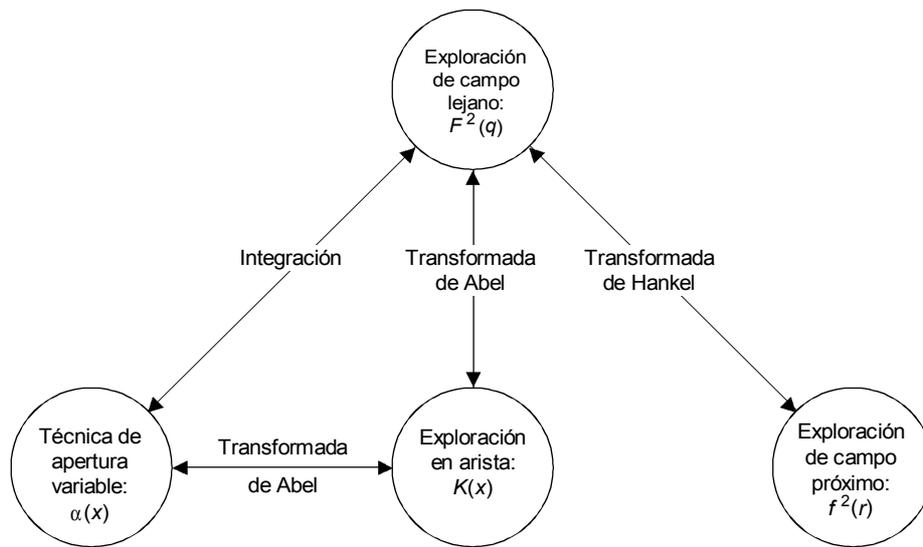
2) *Exploración en arista:* Si $K(x)$ es la función de transmisión de potencia de arista (siendo $x = D \tan \theta$ el desplazamiento lateral en arista y D la distancia entre la arista y la fibra), el MFD viene dado por:

$$2w = (2/\pi) [4 \int_0^\infty [dK(x)/dx] q^2 dq / \int_0^\infty [dK(x)/dx] dq]^{-1/2} \quad (1-3)$$

3) *Exploración de campo próximo:* Si $f^2(r)$ es la distribución de intensidad del campo próximo (siendo r la coordenada radial), el MFD viene dado por:

$$2w = 2 [2 \int_0^\infty r f^2(r) dr / \int_0^\infty r [df(r)/dr]^2 dr]^{1/2} \quad (1-4)$$

La equivalencia matemática de estas definiciones resulta de las relaciones de transformación entre los resultados de medición obtenidos en diferentes realizaciones prácticas. En la Figura 1 aparecen las diversas relaciones matemáticas.



T1507590-92/d01

FIGURA 1/G.650

Relaciones matemáticas entre las realizaciones prácticas de medición

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

NOTAS

1 El centroide está situado en \bar{r}_c , y es la integral normalizada del vector de posición \bar{r} , ponderada según la intensidad:

$$\bar{r}_c = \frac{\iint_{\text{ÁREA}} \bar{r} I(\bar{r}) dA}{\iint_{\text{ÁREA}} I(\bar{r}) dA} \quad (1-5)$$

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

1.3.4 error de concentricidad del campo modal: Distancia entre el centro del campo modal y el centro de la superficie del revestimiento.

1.3.5 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 1.4.1/G.652, G.653 y G.654), no es necesaria en este contexto una definición de la no circularidad del campo modal.

1.4 Características del revestimiento

1.4.1 revestimiento: Región más externa de índice de refracción constante en la sección transversal de la fibra.

1.4.2 centro del revestimiento: En una sección transversal de la fibra óptica, centro del círculo que mejor corresponde al límite exterior del revestimiento.

NOTA – Debe especificarse el método de mejor ajuste. Un método posible se describe en el Apéndice I a la sección I del Anexo B/G.651.

1.4.3 diámetro del revestimiento: Diámetro del círculo que define el centro del revestimiento.

1.4.4 desviación del diámetro de la superficie del revestimiento: diferencia entre los valores real y nominal del diámetro del revestimiento.

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

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

1.5 Definiciones relativas a la dispersión cromática

1.5.1 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.

1.5.2 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).

1.5.3 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.

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

1.5.5 desplazamiento de la longitud de onda de la fuente (sólo para las fibras de la Recomendación G.653): Diferencia absoluta entre la longitud de onda de trabajo de la fuente y 1550 nm.

1.5.6 desplazamiento de la dispersión (sólo para las fibras de la Recomendación G.653): Desplazamiento absoluto de la longitud de onda de dispersión nula con respecto a 1550 nm.

1.6 Otras características

1.6.1 longitud de onda de corte: La longitud de onda de corte es la longitud de onda mayor que aquella para la cual la relación entre la potencia total, incluida la de los modos de orden superior inyectados, y la potencia del modo fundamental disminuye hasta alcanzar un valor inferior a cierto valor especificado, estando los modos excitados de manera prácticamente uniforme.

NOTAS

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. Con arreglo a esta definición, la atenuación del modo LP₁₁ en la muestra de prueba es de 19,3 dB a la longitud de onda de corte.

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.

3 En 1.5/G.652 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 :

$$\lambda_{cc} < \lambda_s \quad (1-6)$$

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 (LP₁₁) 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 LP₁₁ antes de que éste llegue a la unión siguiente. Si se cumple la desigualdad (1-6) 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 (1-6). Valores más elevados de λ_c se traducen en un confinamiento más estricto del modo LP₀₁, 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 (< 20 m) 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.

Las Recomendaciones G.652, G.653 y G.654 tratan del caso a).

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

$$A(\lambda) = 10 \log [P_1(\lambda) / P_2(\lambda)] \quad (\text{dB}) \quad (1-7)$$

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:

$$\alpha(\lambda) = A(\lambda) / L \quad (\text{dB/unidad de longitud}) \quad (1-8)$$

que es independiente de la longitud de la fibra.

2 Métodos de prueba para las fibras monomodo

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

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

2.1 Métodos de prueba para el diámetro del campo modal

2.1.1 Método de prueba de referencia: exploración de campo lejano

2.1.1.1 Generalidades

El diámetro del campo modal se determina a partir de la distribución de intensidad de campo lejano $F^2(q)$, de acuerdo con la definición que aparece en 1.3.2.

2.1.1.2 Aparato de prueba

2.1.1.2.1 Fuente luminosa

La fuente luminosa será estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. Las características espectrales de la fuente deben elegirse de manera que se excluya el funcionamiento multimodo.

2.1.1.2.2 Modulación

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

2.1.1.2.3 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.

2.1.1.2.4 Supresores de modos de revestimiento

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

2.1.1.2.5 Espécimen

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

2.1.1.2.6 Aparato de exploración

Se utilizará un mecanismo para explorar la distribución de intensidad de campo lejano (por ejemplo, un fotodetector de exploración con abertura de micro-orificio o un fotodetector de exploración con extremo de tallo de fibra). El detector debe estar al menos a 10 milímetros 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 $2wb/\lambda$, donde $2w$ es el diámetro del campo modal previsto de la fibra que ha de medirse y b es el diámetro de la superficie activa del detector.

La gama dinámica mínima de la medición debe ser de 50 dB, lo que corresponde a un semiángulo de exploración máximo de 20° y 25° , o superior, para las fibras conformes a las Recomendaciones G.652 y G.653, respectivamente.

NOTAS

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

2 Para las fibras de la Recomendación G.654 cabe hacer las mismas consideraciones que para las fibras de la Recomendación G.652.

2.1.1.2.7 Detector

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

2.1.1.2.8 Amplificador

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

2.1.1.2.9 Recogida de datos

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

2.1.1.3 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 el siguiente procedimiento: 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 (1-1).

2.1.1.4 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes pormenores:

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

2.1.2 Primer método de prueba alternativo: técnica de apertura variable

2.1.2.1 Generalidades

El diámetro del campo modal se determina a partir de la función de transmisión de potencia complementaria, $\alpha(x)$, de acuerdo con 1.3.2.

2.1.2.2 Aparato de prueba

2.1.2.2.1 Fuente luminosa (como 2.1.1.2.1)

2.1.2.2.2 Modulación (como 2.1.1.2.2)

2.1.2.2.3 Condiciones de inyección (como 2.1.1.2.3)

2.1.2.2.4 Supresor de modo de revestimiento (como 2.1.1.2.4)

2.1.2.2.5 Espécimen (como 2.1.1.2.5)

2.1.2.2.6 Aparato 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 0,25 (0,4 en el caso de las fibras consideradas en la Recomendación G.653). La señal luminosa transmitida por la apertura es captada y enfocada hacia el detector.

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

2.1.2.2.7 Detector (como 2.1.1.2.7)

2.1.2.2.8 Amplificador (como 2.1.1.2.8)

2.1.2.2.9 Adquisición de datos (como 2.1.1.2.9)

2.1.2.3 Procedimiento de medición

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

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

$$\alpha(x) = 1 - \frac{P(x)}{P_{m\acute{a}x}} \quad (2-1)$$

donde $P_{m\acute{a}x}$ es la potencia transmitida por la mayor apertura y x es el radio de la apertura. El diámetro del campo modal se calcula a partir de la ecuación (1-2).

2.1.2.4 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes pormenores:

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

2.1.3 Segundo método de prueba alternativo: exploración en arista

2.1.3.1 Generalidades

El diámetro del campo modal se determina a partir de la función de transmisión de potencia de arista $K(x)$ de acuerdo con 1.3.2.

2.1.3.2 Aparato de prueba

2.1.3.2.1 Fuente luminosa (como 2.1.1.2.1)

2.1.3.2.2 Modulación (como 2.1.1.2.2)

2.1.3.2.3 Condiciones de inyección (como 2.1.1.2.3)

2.1.3.2.4 Supresores de modos de revestimiento (como 2.1.1.2.4)

2.1.3.2.5 Espécimen (como 2.1.1.2.5)

2.1.3.2.6 Aparato de exploración

Se precisa un mecanismo para realizar una exploración lineal en arista en dirección ortogonal al eje de la fibra y al borde de la arista. La señal luminosa transmitida por la arista es captada y enfocada hacia el detector. Para las fibras de que trata la Recomendación G.653 los dispositivos ópticos de captación deben tener una apertura numérica (NA) de 0,4 o superior.

NOTA – La NA de los dispositivos ópticos de captación debe ser lo suficientemente elevada como para no afectar los resultados de la medición.

2.1.3.2.7 Detector (como 2.1.1.2.7)

2.1.3.2.8 Amplificador (como 2.1.1.2.8)

2.1.3.2.9 Adquisición de datos (como 2.1.1.2.9)

2.1.3.3 Procedimiento de medición

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

Debe aplicarse el siguiente procedimiento: se mide la potencia transmitida por la arista en función de la posición de la arista. Se diferencia esta función, $K(x)$, y se determina el diámetro del campo modal a partir de la ecuación (1-3).

2.1.3.4 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes pormenores:

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

2.1.4 Tercer método de prueba alternativo: exploración de campo próximo

2.1.4.1 Generalidades

El diámetro del campo modal se determina a partir de la distribución de campo próximo $f^2(r)$ de acuerdo con 1.3.2.

2.1.4.2 Aparato de prueba

2.1.4.2.1 Fuente luminosa (como 2.1.1.2.1)

2.1.4.2.2 Modulación (como 2.1.1.2.2)

2.1.4.2.3 Condiciones de inyección (como 2.1.1.2.3)

2.1.4.2.4 Supresor de modos de revestimiento (como 2.1.1.2.4)

2.1.4.2.5 Espécimen (como 2.1.1.2.5)

2.1.4.2.6 Aparato de exploración

Deben utilizarse dispositivos ópticos de ampliación (por ejemplo, un objetivo de microscopio) para ampliar y enfocar una imagen del campo próximo de la fibra sobre el plano de un detector de exploración (por ejemplo, un fotodetector de exploración con apertura de micro-orificio 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 un espécimen cuyas dimensiones se conozcan independientemente con suficiente exactitud.

2.1.4.2.7 Detector (como 2.1.1.2.7)

2.1.4.2.8 Amplificador (como 2.1.1.2.8)

2.1.4.2.9 Recogida de datos (como 2.1.1.2.9)

2.1.4.3 Procedimiento de medición

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

Se aplicará el siguiente procedimiento: 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 a partir de la ecuación (1-4). De forma alternativa, la distribución de intensidades de campo próximo $f^2(r)$ puede transformarse en el dominio de campo lejano mediante la transformada de Hankel y el campo lejano transformado resultante $F^2(q)$, puede utilizarse para determinar el diámetro del campo modal a partir de la ecuación (1-1).

2.1.4.4 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes pormenores:

- a) configuración de prueba, gama dinámica del sistema de medición, algoritmos de procesamiento y descripción de imaginización y exploración utilizados;
- b) condiciones de inyección;
- c) longitud de onda y anchura espectral de la fuente entre puntos de amplitud mitad;
- d) identificación y longitud de la fibra;
- e) tipo de supresor de modos de revestimiento y filtro (si se aplica);
- f) ampliación óptica del equipo;
- g) tipo y dimensiones del detector;
- h) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (cuando es necesario);
- i) indicación de exactitud y repetibilidad;
- j) diámetro del campo modal.

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

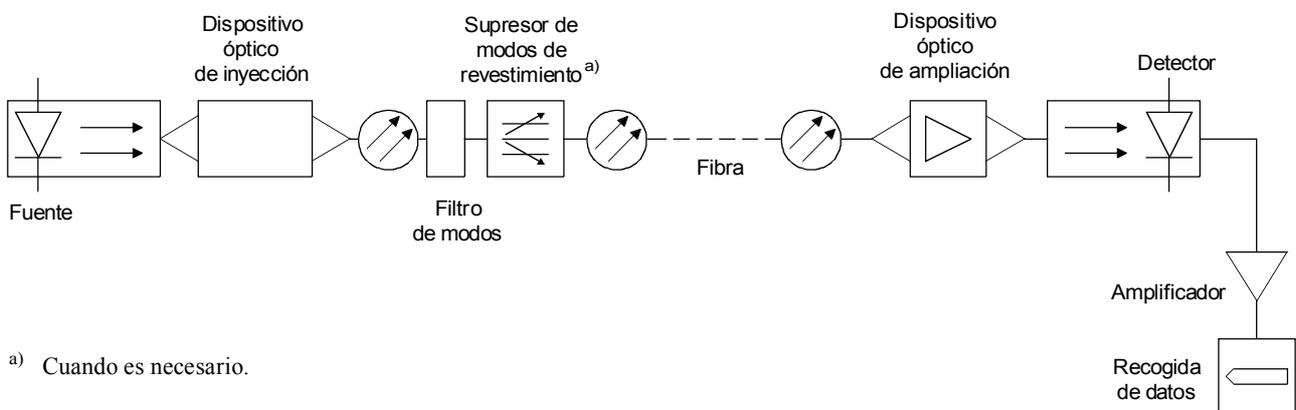
2.2.1 Método de prueba de referencia: técnica del campo próximo transmitido

2.2.1.1 Generalidades

Los parámetros geométricos se determinan a partir de la distribución de intensidad de campo próximo, de acuerdo con las definiciones dadas en 1.3.4, 1.4.3 y 1.4.6.

2.2.1.2 Aparato de prueba

La Figura 2 muestra un diagrama esquemático del aparato de prueba.



a) Cuando es necesario.

T1507600-92/d02

FIGURA 2/G.650

Configuración de prueba típica de la técnica de campo próximo transmitido

2.2.1.2.1 Fuente luminosa

Para iluminar el núcleo se utilizará una fuente luminosa de longitud de onda nominal de 1300 nm o 1550 nm, para las fibras de que tratan la Recomendación G.652 o las Recomendaciones G.653 y G.654, respectivamente. Dicha fuente será ajustable en intensidad y estable en posición, intensidad y longitud de onda durante un periodo de tiempo suficientemente largo para aplicar el procedimiento de medición completo. Las características espectrales de esta fuente deben elegirse de manera que se excluya el funcionamiento multimodo. Si es necesario, puede utilizarse una segunda fuente luminosa de características similares para iluminar el revestimiento. Las características espectrales de la segunda fuente luminosa no deben causar desenfoque de la imagen.

2.2.1.2.2 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.

2.2.1.2.3 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} .

2.2.1.2.4 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.

2.2.1.2.5 Espécimen

El espécimen consistirá en 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.

2.2.1.2.6 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.

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

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

2.2.1.2.8 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.

2.2.1.2.9 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.

2.2.1.3 Procedimiento de medición

2.2.1.3.1 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.

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

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

2.2.1.4 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes pormenores:

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

2.2.2 Primer método de prueba alternativo: técnica del campo próximo refractado

2.2.2.1 Generalidades

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

2.2.2.2 Aparato de prueba

En la Figura 3 se muestra un diagrama esquemático de la medición. La técnica consiste en la exploración de un punto luminoso enfocado a través del extremo de la fibra. El dispositivo óptico de inyección se dispone de forma que desborde la apertura numérica de la fibra. El extremo de la fibra se sumerge en un fluido de índice ligeramente superior al del revestimiento. Parte de la luz es guiada por la fibra y el resto aparece como un cono hueco fuera de la fibra. Se coloca un disco sobre el eje del núcleo para asegurarse de que sólo llegue al detector la luz refractada.

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

2.2.2.2.1 Fuente

Se necesita un láser estable, tal como un láser HeNe, con una potencia de 1 milivatio aproximadamente en el modo TEM₀₀.

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

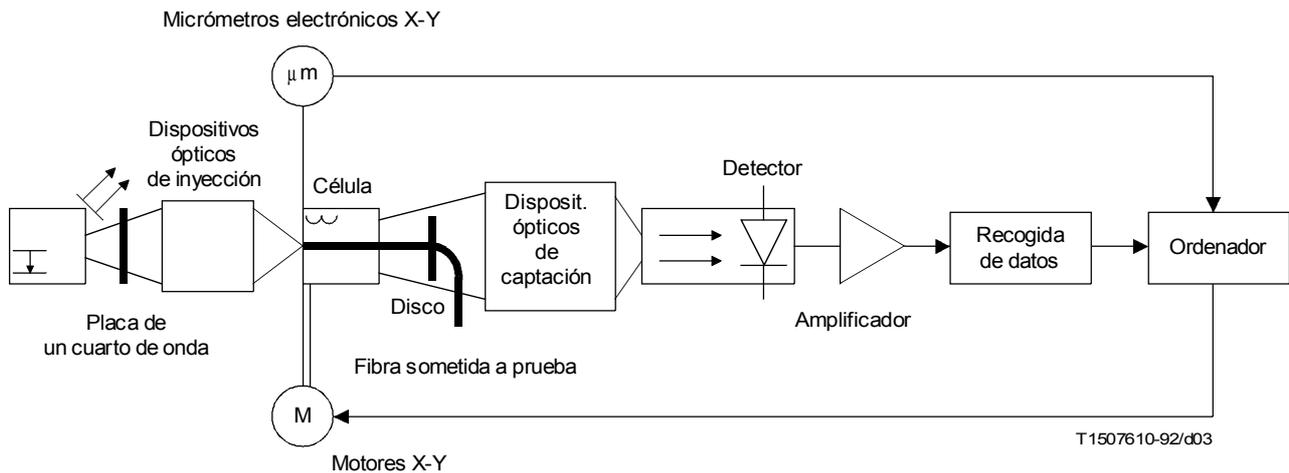


FIGURA 3/G.650

Configuración de prueba típica de la técnica de campo próximo refractado

2.2.2.2.2 Condiciones de inyección

El dispositivo óptico de inyección, que se dispone de forma que desborde la apertura numérica de la fibra, enfoca un haz luminoso sobre el extremo plano de la fibra. El eje óptico del haz luminoso no debe estar a más de 1° del eje de la fibra. La resolución del equipo la determina el tamaño del punto enfocado, que debe ser lo más pequeño posible para hacer máxima la resolución, por ejemplo, inferior a $1,0 \mu\text{m}$. El equipo permite la exploración del punto enfocado a lo largo del diámetro de la fibra.

2.2.2.2.3 Célula

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

2.2.2.2.4 Detección

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

2.2.2.2.5 Recogida de datos

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

2.2.2.3 Procedimiento

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

2.2.2.3.1 Preparación de la fibra sometida a prueba

Se requiere un largo de fibra de $0,5 \text{ m}$ aproximadamente.

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

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

2.2.2.3.2 Calibración del equipo

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

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

2.2.2.3.3 Exploración de barrido

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

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

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

2.2.2.3.4 Características geométricas

Una vez efectuada la exploración de barrido del índice de refracción, se obtiene el contorno del núcleo tomando los puntos del interfaz núcleo-revestimiento de índice de refracción coincidente con el valor medio entre los índices de refracción promediados del núcleo y del revestimiento, respectivamente. El contorno de revestimiento se determina de manera similar, pero en el interfaz del fluido que coincide con el índice del revestimiento. Se efectuará un análisis de geometría coherente con los términos de la cláusula 1, comenzando a partir de los datos de contorno del núcleo y del revestimiento. El error de concentricidad del campo de modos se calculará mediante el error de concentricidad núcleo/revestimiento.

2.2.2.4 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes pormenores:

- a) configuración de prueba e indicación de la técnica de exploración utilizada;
- b) identificación de la fibra;
- c) diámetro del revestimiento;
- d) error de concentricidad del campo de modos;
- e) no circularidad del revestimiento;
- f) diámetro del núcleo (si es necesario);
- g) exploración de barrido a través de la totalidad de la fibra (si es necesario);
- h) indicación de exactitud y repetibilidad;
- i) temperatura de la célula y condiciones ambientales (si es necesario).

2.2.3 Segundo método de prueba alternativo: técnica de visión lateral

2.2.3.1 Generalidades

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

2.2.3.2 Aparato de prueba

La Figura 4 muestra un diagrama esquemático del aparato de prueba.

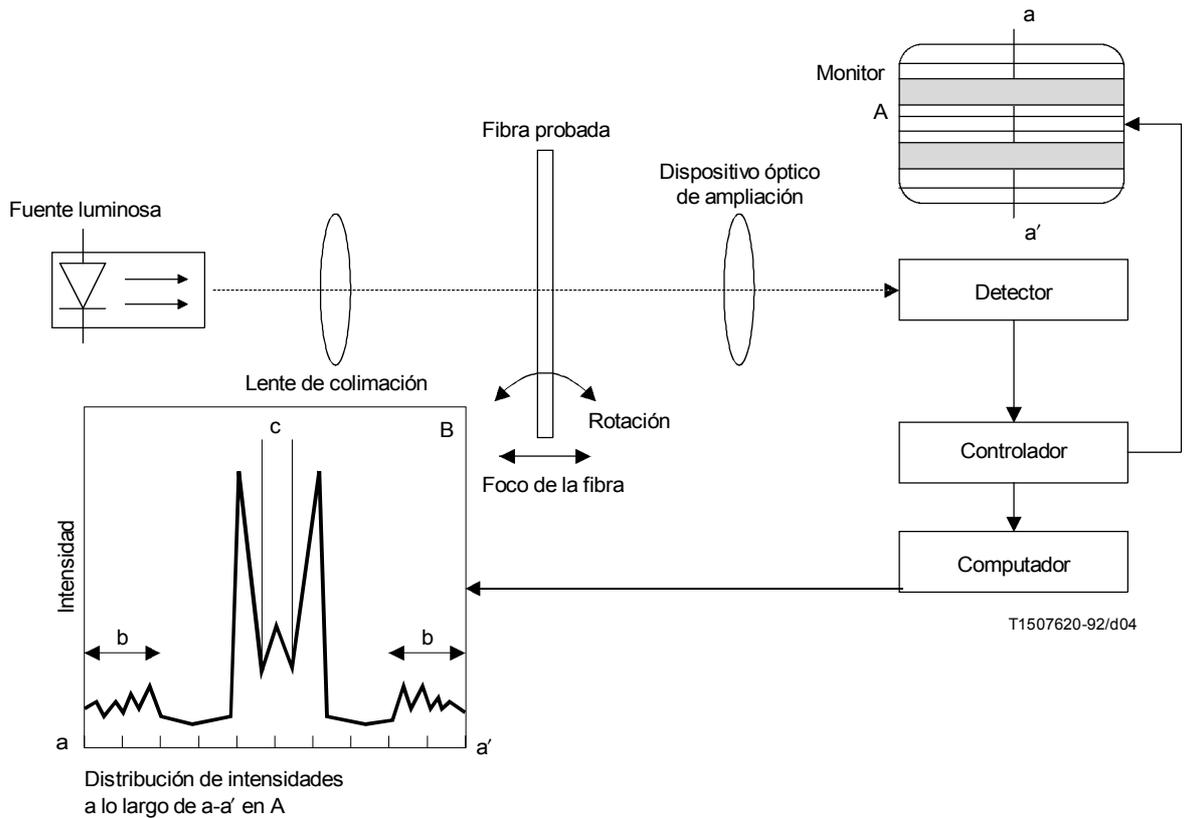


FIGURA 4/G.650

Diagrama esquemático del sistema de medición de visión lateral

2.2.3.2.1 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, *light emission diode*).

2.2.3.2.2 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.

2.2.3.2.3 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.

2.2.3.2.4 Detector

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

2.2.3.2.5 Procesamiento de los datos

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

2.2.3.3 Procedimiento de medición

2.2.3.3.1 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.

2.2.3.3.2 Medición

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

Se registran las distribuciones de intensidad en el plano de observación a lo largo de la línea perpendicular a la fibra (a-a' en A, en la Figura 4) (presentadas como B) para diferentes direcciones de observación, girando la fibra en torno a su eje mientras se mantiene constante la distancia entre el eje de la fibra y el plano de observación. El diámetro del revestimiento y la posición central de la fibra se determinan analizando la simetría del diagrama de difracción (presentado como b en 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 MFCE.

Como se muestra en la Figura 5, ajustando la función sinusoidal a los valores experimentales obtenidos del MFCE representado en función del ángulo de rotación, el MFCE 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.

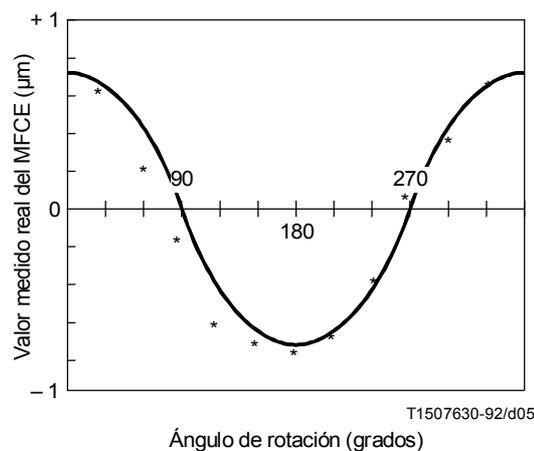


FIGURA 5/G.560
Valor medido del MFCE en función del ángulo de rotación

2.2.3.4 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes pormenores:

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

2.2.4 Tercer método de prueba alternativo: técnica de imagen del campo próximo transmitido

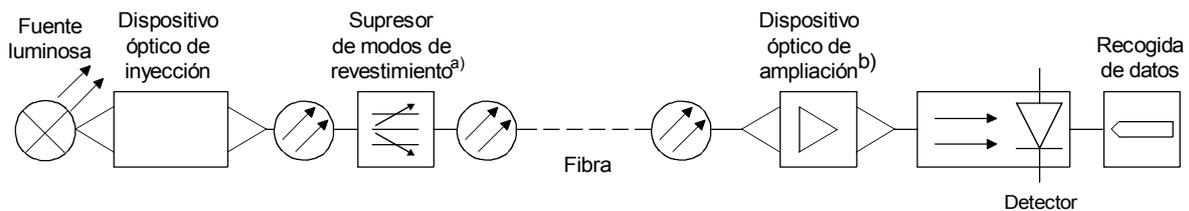
2.2.4.1 Generalidades

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.

2.2.4.2 Aparato de prueba

La Figura 6 muestra un diagrama esquemático del aparato de prueba.



a) Cuando es necesario.

b) Incluye dispositivo óptico de recorte de imágenes, cuando es necesario.

T1507640-92/d06

FIGURA 6/G.650

Configuración típica de la técnica de imagen del campo próximo transmitido

2.2.4.2.1 Fuente luminosa

La fuente luminosa para iluminar el núcleo será ajustable en intensidad y estable en posición e 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.

2.2.4.2.2 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.

2.2.4.2.3 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.

2.2.4.2.4 Espécimen

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

2.2.4.2.5 Dispositivo óptico de ampliación

El dispositivo óptico de ampliación consistirá en un sistema óptico (por ejemplo, un objetivo de microscopio) que amplía el campo de salida del espécimen. 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.

2.2.4.2.6 Detección

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

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

2.2.4.2.7 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.

2.2.4.3 Procedimiento de medición

2.2.4.3.1 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.

2.2.4.3.2 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. 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.

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

2.2.4.4 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes pormenores:

- 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, tales como diámetro del revestimiento, no circularidades del revestimiento, error de concentricidad del campo modal, etc.

2.3 Métodos de prueba para la longitud de onda de corte

2.3.1 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

2.3.1.1 Generalidades

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

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

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

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

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

2.3.1.2 Aparato de prueba

2.3.1.2.1 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.

2.3.1.2.2 Modulación

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

2.3.1.2.3 Condiciones de inyección

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

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

2.3.1.2.4 Supresor de modos de revestimiento

El supresor de modos de revestimiento es un dispositivo que favorece la conversión de modos de revestimiento en modos de radiación; como resultado, los modos propagados por el revestimiento son suprimidos de la fibra. Debe tenerse cuidado para evitar que se afecte a la propagación del modo LP_{11} .

2.3.1.2.5 Detector óptico

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

2.3.1.3 Procedimiento de medición

2.3.1.3.1 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.

2.3.1.3.2 Transmisión a través de la muestra de referencia

Puede utilizarse el método a) o el b).

- a) Utilizando la muestra de prueba, y manteniendo fijas las condiciones de inyección, se mide una potencia pequeña de salida $P_2(\lambda)$ en la misma gama de longitudes de onda con un bucle al menos de radio suficientemente o 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 1 – La presencia de modos de fuga puede producir rizado en el espectro de transmisión de la fibra multimodo de referencia, lo que afecta al resultado de la medición. A fin de reducir este efecto, la inyección de la luz puede limitarse de modo que sólo comprenda el 70% del diámetro del núcleo y la apertura numérica de la fibra multimodo; otra posibilidad consiste en utilizar un filtro de modo adecuado.

2.3.1.3.3 Cálculos

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

$$R(\lambda) = 10 \log [P_1(\lambda) / P_i(\lambda)] \quad (2-2)$$

donde

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

NOTA – 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 2.3.1.2.3, $R(\lambda)$ da también la atenuación del modo LP_{11} $A(\lambda)$ en dB, en la muestra que se prueba:

$$A(\lambda) = 10 \log [(P_1(\lambda) / P_2(\lambda) - 1) / 2] \quad (2-3)$$

2.3.1.3.4 Determinación de la longitud de onda 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 7).

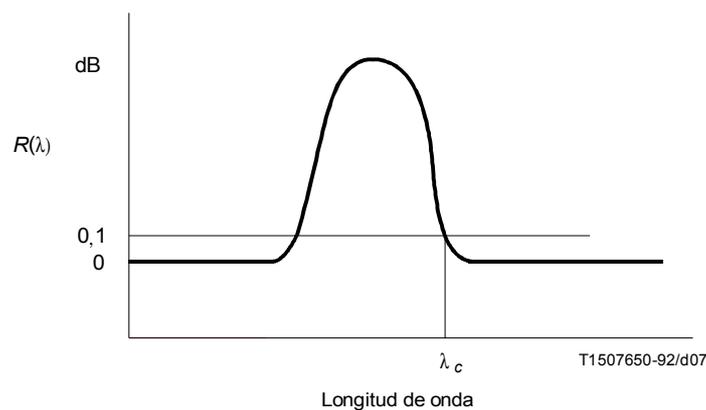


FIGURA 7/G.650

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

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 8).

NOTA – Según la definición, la atenuación del modo LP₁₁ en la muestra sometida a prueba es 19,3 dB a la longitud de onda de corte.

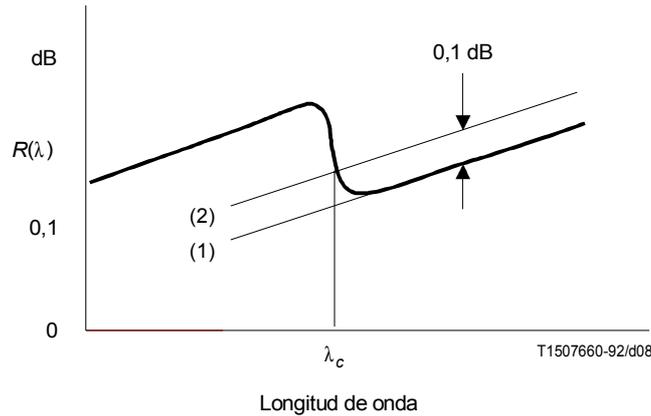


FIGURA 8/G.650
Representación típica de la longitud de onda de corte
utilizando una referencia multimodo

2.3.1.4 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes pormenores:

- configuración de prueba;
- condición de inyección;
- tipo de muestra de referencia;
- temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario);
- identificación de la fibra;
- gama de longitudes de onda de medición;
- longitud de onda de corte;
- representación de $R(\lambda)$ (si es necesario).

2.3.2 Método de prueba alternativo para λ_c : técnica del mandril dividido

2.3.2.1 Generalidades (como 2.3.1.1)

2.3.2.2 Aparato de prueba

2.3.2.2.1 Fuente luminosa (como 2.3.1.2.1)

2.3.2.2.2 Modulación (como 2.3.1.2.2)

2.3.2.2.3 Condiciones de inyección (como 2.3.1.2.3)

2.3.2.2.4 Supresor de modos de revestimiento (como 2.3.1.2.4)

2.3.2.2.5 Detector óptico (como 2.3.1.2.5)

2.3.2.3 Procedimiento de medición

2.3.2.3.1 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 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 9, el mandril semicircular inferior se desplaza para eliminar cualquier holgura del bucle de fibra, sin que haya que desplazar el dispositivo óptico de inyección o recepción y sin aplicar a la muestra de fibra ninguna tensión mecánica significativa.

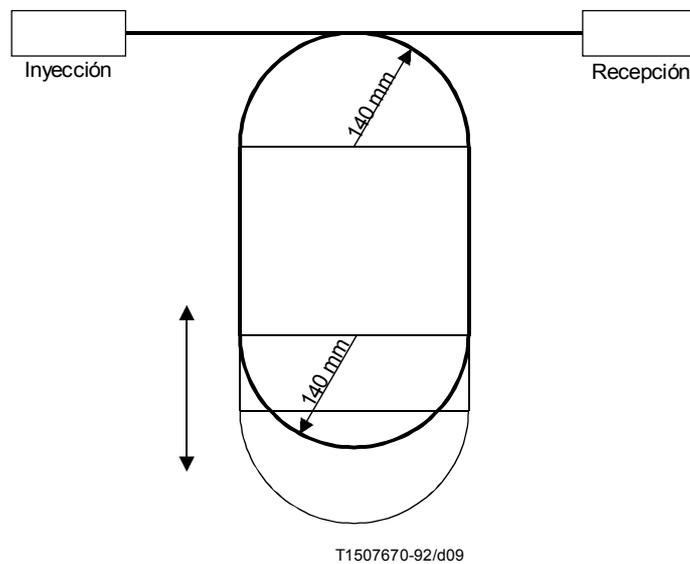


FIGURA 9/G6.50

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

2.3.2.3.2 Transmisión a través de la muestra de referencia (como 2.3.1.3.2)

2.3.2.3.3 Cálculos (como 2.3.1.3.3)

2.3.2.3.4 Determinación de la longitud de onda de corte (como 2.3.1.3.4)

2.3.2.4 Presentación de los resultados (como 2.3.1.4)

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

2.3.3.1 Generalidades

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.

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

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

2.3.3.2 Aparato de prueba

2.3.3.2.1 Fuente luminosa (igual que 2.3.1.2.1)

2.3.3.2.2 Modulación (igual que 2.3.1.2.2)

2.3.3.2.3 Condiciones de inyección (igual que 2.3.1.2.3)

2.3.3.2.4 Supresor de modos de revestimiento (igual que 2.3.1.2.4)

2.3.3.2.5 Detector óptico (igual que 2.3.1.2.5)

2.3.3.3 Procedimiento de medición

2.3.3.3.1 Muestra de prueba normalizada

La medición se efectuará con un tramo de fibra monomodo en cable. Se preparará un tramo de cable de 22 m, dejando expuesto en cada extremo 1 m de fibra no cableada, y los 20 m restantes de cable se tenderán sin ninguna curvatura que pueda afectar el valor de la medición. Para simular los efectos de un organizador de empalmes, se hará un bucle de $X = 40$ mm de radio en cada tramo de fibra no cableada (véase la Figura 10). La fibra no cableada se instala con el recubrimiento secundario (si está presente) intacto. 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 – Los bucles tienen por objeto simular las condiciones de instalación.

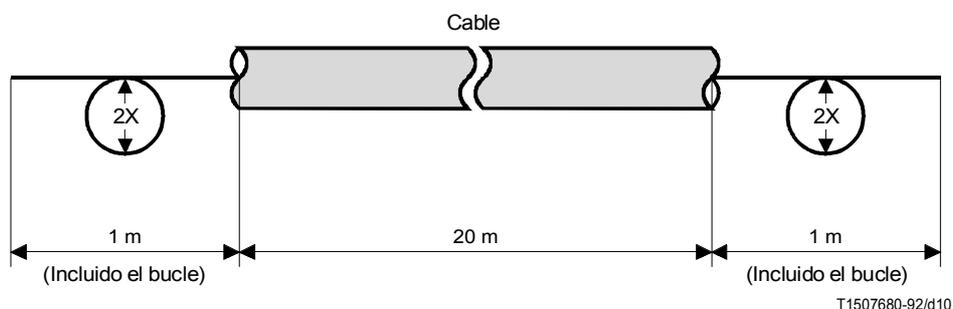


FIGURA 10/G.650

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

2.3.3.3.2 Transmisión por la muestra de referencia (igual que 2.3.1.3.2)

2.3.3.3.3 Cálculos

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

$$R(\lambda) = 10 \log [P_1(\lambda)/P_i(\lambda)] \quad (2-4)$$

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

2.3.3.3.4 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 7). 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 8).

2.3.3.4 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 (si es necesario);
- h) representación gráfica de $R(\lambda)$ (si es necesario).

2.3.4 Método de prueba alternativo para la longitud de onda de corte (λ_{cc}) de la fibra cableada

2.3.4.1 Generalidades

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

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

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

2.3.4.2 Aparato de prueba

2.3.4.2.1 Fuente luminosa (igual que 2.3.1.2.1)

2.3.4.2.2 Modulación (igual que 2.3.1.2.2)

2.3.4.2.3 Condiciones de inyección (igual que 2.3.1.2.3)

2.3.4.2.4 Supresor de modos de revestimiento (igual que 2.3.1.2.4)

2.3.4.2.5 Detector óptico (igual que 2.3.1.2.5)

2.3.4.3 Procedimiento de medición

2.3.4.3.1 Muestra de prueba normalizada

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

En cada extremo de la fibra se crea un bucle de $X = 40$ mm de radio (véase la Figura 11). 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 prevista, λ_{cc} .

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

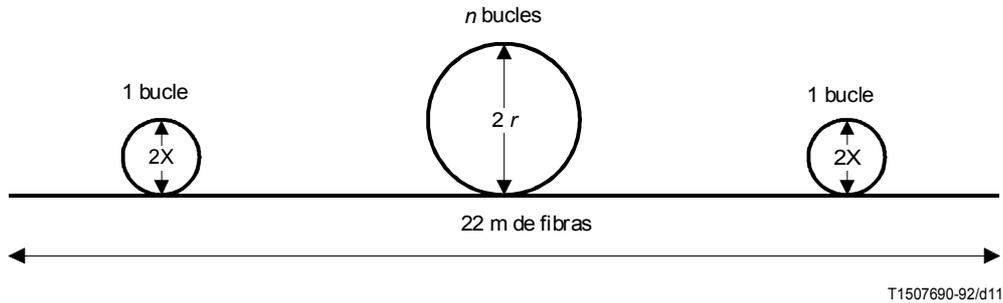


FIGURA 11/G.650
Condición de instalación para la medición de λ_{cc} en fibras sin cablear

2.3.4.3.2 Transmisión por la muestra de referencia (igual que 2.3.1.3.2)

2.3.4.3.3 Cálculos (igual que 2.3.1.3.3)

2.3.4.3.4 Determinación de la longitud de onda de corte de la fibra cableada (igual que 2.3.3.3.4)

2.3.4.4 Presentación de los resultados

Igual que 2.3.3.4 y además:

- i) valor de r .

2.4 Métodos de prueba para la atenuación

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

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°C a 35°C).

2.4.1 Método de prueba de referencia: técnica de la fibra cortada

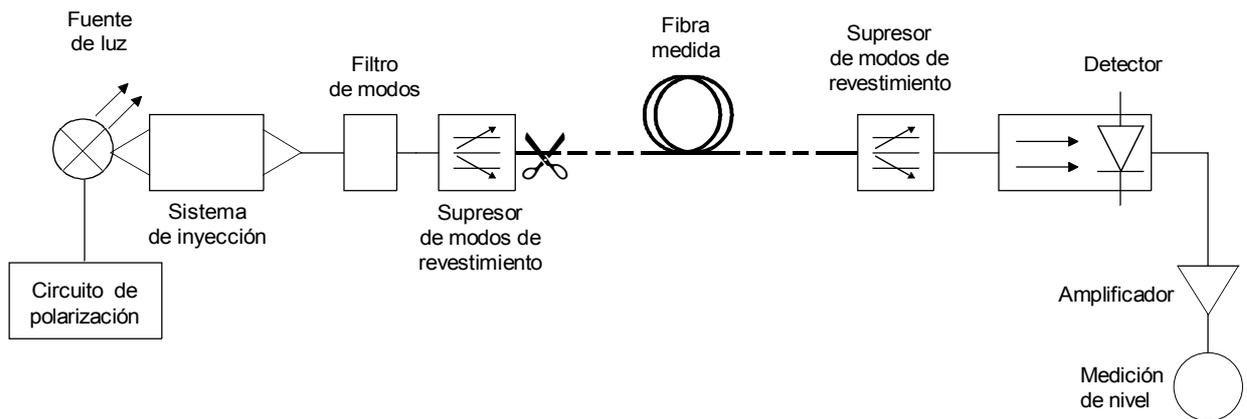
2.4.1.1 Generalidades

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

2.4.1.2 Aparato de prueba

Las mediciones pueden efectuarse a una o más longitudes de onda puntuales, o bien puede requerirse una respuesta espectral en una gama de longitudes de onda. La Figura 12 presenta como ejemplos diagramas de equipos de prueba adecuados.

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



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

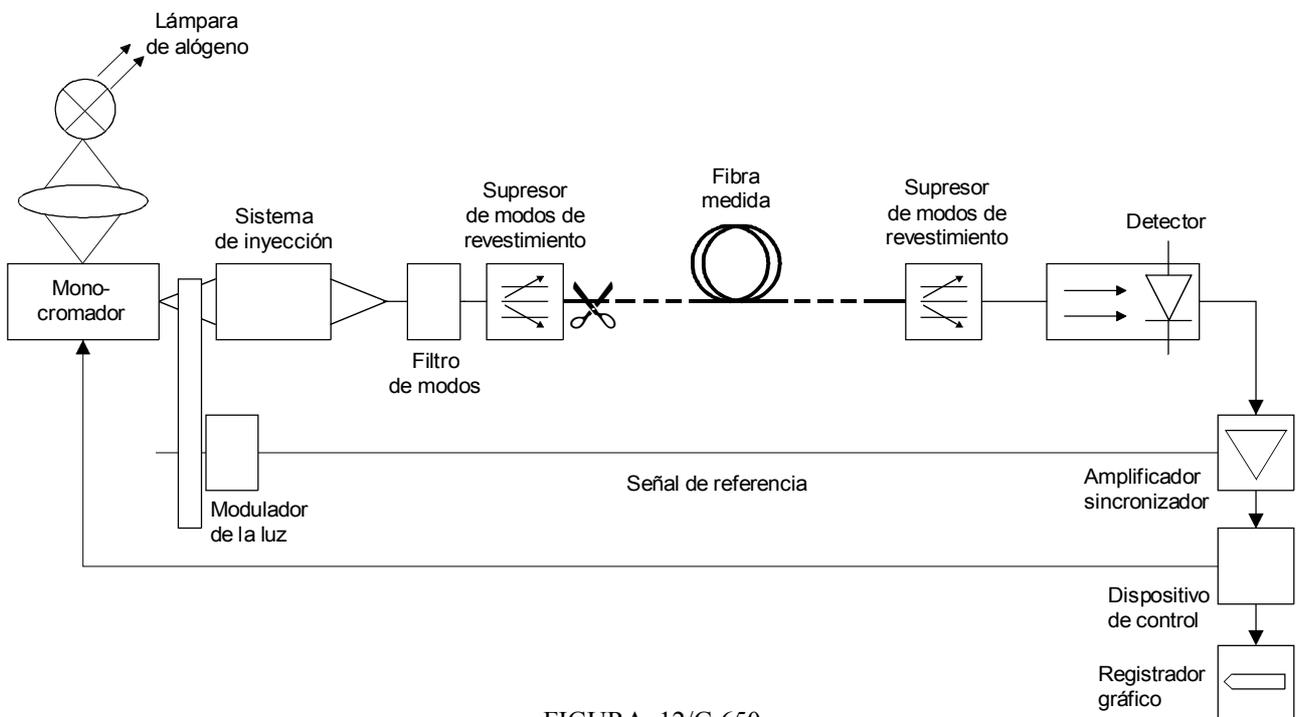


FIGURA 12/G.650
Técnica de la fibra cortada

T1507700-92/d12

2.4.1.2.1 Fuente óptica

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

2.4.1.2.2 Modulación

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

2.4.1.2.3 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.

2.4.1.2.4 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.

2.4.1.2.5 Supresor de modos de revestimiento

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

2.4.1.2.6 Detector óptico

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

2.4.1.3 Procedimiento de medición

2.4.1.3.1 Preparación de la fibra que ha de probarse

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.

2.4.1.3.2 Procedimiento

- 1) La fibra que ha de probarse se coloca en la configuración de prueba. Se registra la potencia de salida P_2 .
- 2) Manteniendo fijas las condiciones de inyección, se corta la fibra a la longitud de corte escogida (por ejemplo, a 2 m del punto de inyección). Si es necesario utilizar un supresor de modos de revestimiento, se reajusta este dispositivo y se registra la potencia de salida P_1 del tramo de fibra cortada.
- 3) La atenuación de la fibra entre los puntos en que se han medido P_1 y P_2 puede calcularse a partir de las ecuaciones definitorias (1-7) y (1-8), utilizando los valores hallados de P_1 y P_2 .

2.4.1.4 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes pormenores:

- a) configuración de prueba, incluido tipo de fuente, longitud de onda y anchura espectral de amplitud mitad;
- b) identificación de la fibra;
- c) longitud de la muestra;
- d) atenuación de la muestra, en dB;
- e) coeficiente de atenuación, en dB/km;
- f) indicación de exactitud y repetibilidad;
- g) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).

2.4.2 Primer método de prueba alternativo: técnica de retroesparcimiento

2.4.2.1 Generalidades

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.

2.4.2.2 Aparato de prueba

2.4.2.2.1 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 con el 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 el diagrama a) de la Figura 13 se muestra un ejemplo del equipo.

2.4.2.2.2 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.

2.4.2.2.3 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.

2.4.2.2.4 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.

2.4.2.2.5 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 de amplificador se escogerá con un compromiso entre la resolución temporal y la reducción del ruido.

2.4.2.2.6 Supresor de modos de revestimiento

Véase 2.4.1.2.5.

2.4.2.3 Procedimiento de medición

- 1) La fibra que se 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. El diagrama b) de la Figura 13 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:

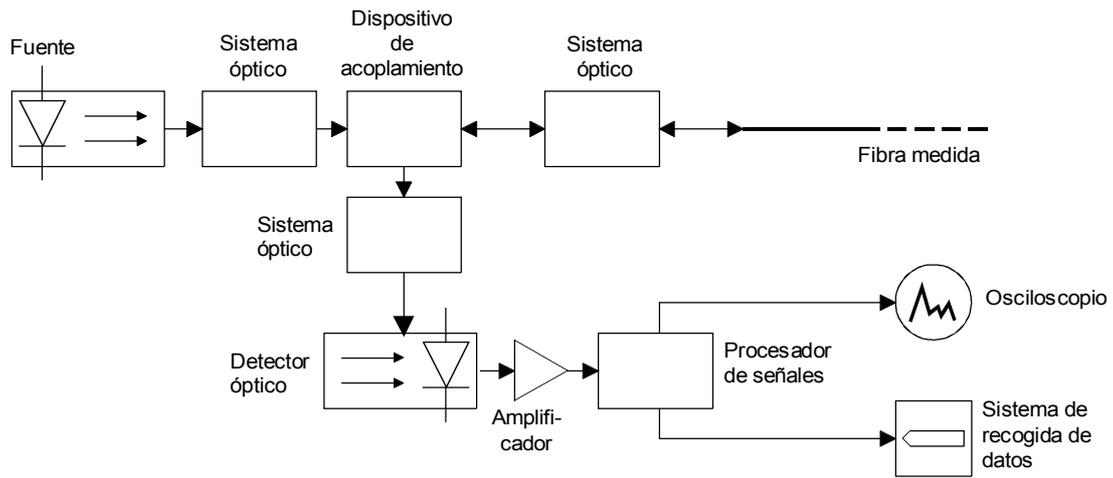
$$A_{A \rightarrow B}(\lambda) = \frac{1}{2} (V_A - V_B) \quad \text{dB} \quad (2-5)$$

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

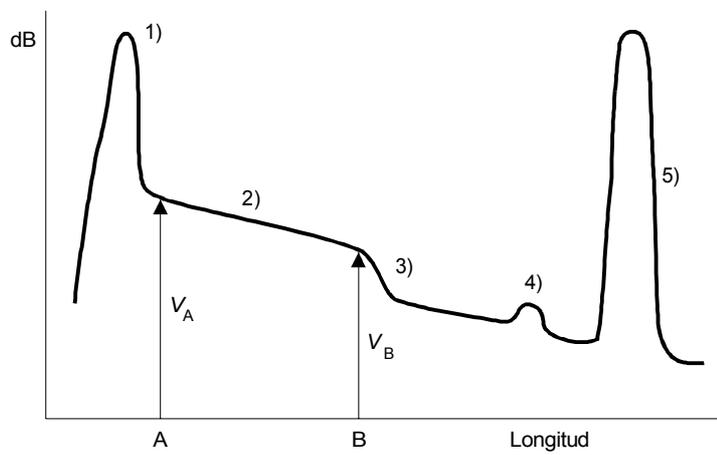
NOTA – Debe prestarse atención a las condiciones de esparcimiento en los puntos A y B cuando se calcula la atenuación de esta manera.

- 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.

a) Esquema del aparato



b) Ejemplo de curva de potencia retroesparcida



T1507710-92d/13

FIGURA 13/G.650
Técnica de retroesparcimiento

2.4.2.4 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes pormenores:

- tipos y características de medición;
- técnicas de inyección;
- configuración de prueba;
- humedad relativa y temperatura de la muestra (cuando es necesario);
- identificación de la fibra;
- 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 [véase el diagrama b) de la Figura 13] muestra que, aparte de la medición de atenuación, pueden supervisarse muchos fenómenos utilizando la técnica del retroesparcimiento:

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

2.4.3 Segundo método de prueba alternativo: técnica de la pérdida de inserción

2.4.3.1 Generalidades

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

La técnica de la pérdida de inserción es menos exacta que la de la fibra cortada, pero presenta la ventaja de no ser destructiva para la fibra sometida a prueba ni para los semiconectores posiblemente fijados en ambos extremos, por lo que es particularmente apta en condiciones de funcionamiento real, destinándose sobre todo a su empleo con tramos de cable conectorizados.

Se considerarán dos opciones en esta técnica (véase la Figura 14), que difieren en la naturaleza de los sistemas de inyección y recepción, como se indica más adelante. Son posibles condiciones de medición intermedias entre las de la opción a) y la opción b), que se tratan en la Nota 2 de 2.4.3.3.

En la opción a), la calidad de los semiconectores posiblemente fijados en la fibra sometida a prueba (y, en general, la calidad de los dispositivos de interconexión utilizados) influye en los resultados; en la opción b), esta influencia es casi nula.

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

2.4.3.2 Aparato de prueba

En la Figura 14 se muestra un diagrama esquemático del aparato de prueba. Las mediciones pueden efectuarse a una o más longitudes de onda, o bien puede requerirse una respuesta espectral en una gama de longitudes de onda.

2.4.3.2.1 Fuente óptica

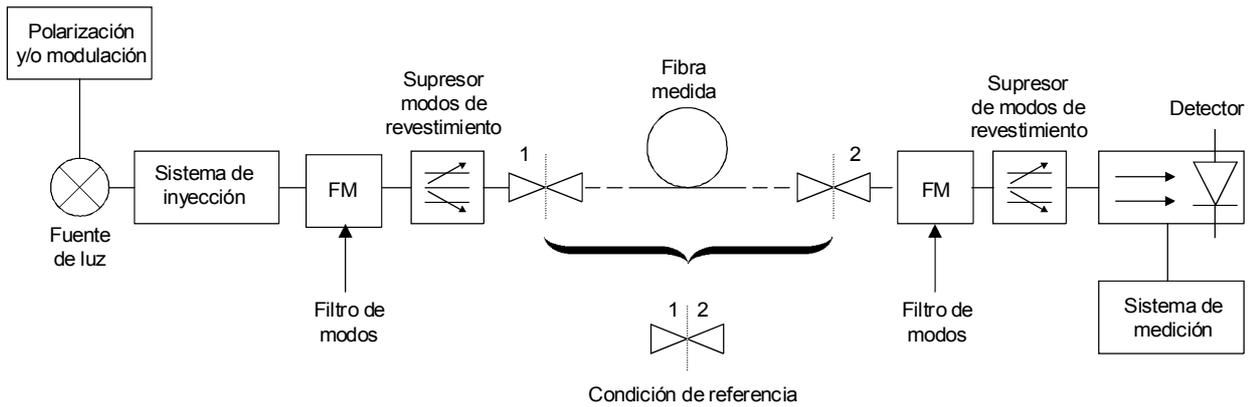
Se utilizará un fuente de radiación apropiada, de intensidad estable, como una lámpara, un láser o un diodo fotoemisor. Si se emplea una fuente de amplio espectro, deberá ir seguida de un dispositivo de selección de longitud de onda (o bien insertarse este dispositivo antes del detector). En cualquier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

La anchura espectral a amplitud mitad debe ser estrecha en relación con cualquiera de las características de atenuación espectral de la fibra.

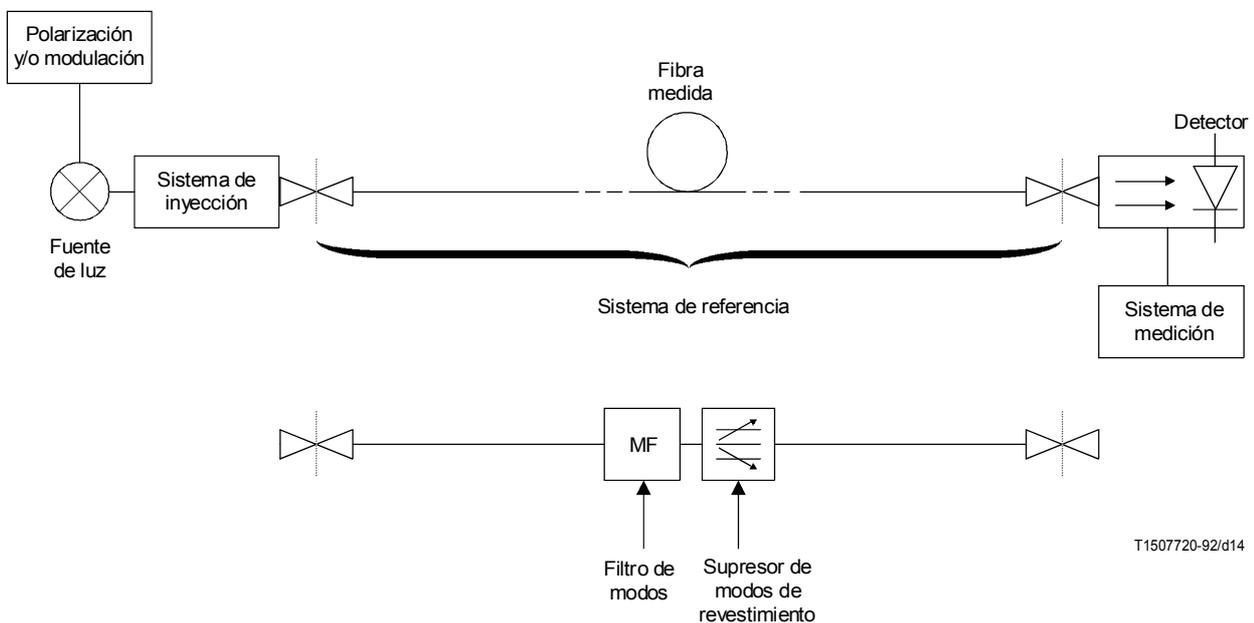
2.4.3.2.2 Modulación

Véase 2.4.1.2.2.

Opción a)



Opción b)



T1507720-92/d14

FIGURA 14/G.650
Técnica de la pérdida de inserción

2.4.3.2.3 Condiciones de inyección

Para la opción a)

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

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

Para la opción b)

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

El sistema puede utilizar lentes y un posicionador de fibra; otra posibilidad es inyectar la luz en una fibra multimodo de índice en escalón que se conecta a la fibra sometida a prueba. Esto se efectúa con cualquier dispositivo de acoplamiento o semiconector compatible con los que terminan la fibra objeto de prueba.

2.4.3.2.4 Sistema de referencia [opción b) únicamente]

Este sistema está formado por un tramo corto de fibra monomodo que tiene las mismas características nominales que la fibra sometida a prueba. La fibra dispone de un filtro de modos y un supresor de modos de revestimiento; ninguno de ambos dispositivos introducirá pérdida alguna en el modo fundamental.

2.4.3.2.5 Filtro de modos

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

2.4.3.2.6 Supresor de modos de revestimiento

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

2.4.3.2.7 Detección óptica

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

Para la opción a)

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

Para el acoplamiento con la fibra a prueba, es aplicable lo indicado en 2.4.3.2.3, opción a).

Para la opción b)

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

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

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

2.4.3.3 Procedimiento de medición

2.4.3.3.1 Preparación de la fibra que ha de probarse

Véase 2.4.1.3.1.

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

2.4.3.3.2 Procedimiento

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

Para la opción a)

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

Para la opción b)

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

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

Para la opción a)

$$A = 10 \log (P_1(\lambda)/P_2(\lambda)) + C_r - C_1 - C_2 \quad (\text{dB}) \quad (2-6a)$$

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

Para la opción b)

$$A = 10 \log (P_1(\lambda)/P_2(\lambda)) \quad (\text{dB}) \quad (2-6b)$$

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

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

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

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

$$A = 10 \log (P_1(\lambda)/P_2(\lambda)) - C_a \quad (\text{dB}) \quad (2-7)$$

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

NOTA 3 – La capacidad intrínseca de la opción a) para evaluar el comportamiento de los semiconectores no implica su utilización siempre que se requiera esta evaluación.

Hay en utilización posibilidades alternativas, aun en un extremo en el que se requiere evaluación de semiconectores, una opción b) montaje con conexión previa de un cordón monomodo a las fibras sometidas a prueba. La pérdida nominal del conector fibracordón debe sustraerse de la pérdida medida.

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

2.4.3.4 Presentación de los resultados

Se presentarán los siguientes pormenores:

- a) disposición del montaje de prueba, incluido tipo de fuente, longitud de onda de la fuente, anchura espectral (FWHM) utilizada en la medición y el tipo de opción [a) o b)];
- b) identificación de la fibra;
- c) longitud de la sección de fibra y condiciones de extremo (presentación de semiconductores);
- d) atenuación de las secciones expresada en dB;
- e) coeficiente de atenuación expresado en dB/km;
- f) indicación de exactitud y repetibilidad (la repetibilidad de la pérdida de conexión se tendrá adecuadamente en cuenta);
- g) temperatura de la muestra y condiciones ambientales (si es necesario).

2.5 Métodos de prueba para la dispersión cromática

2.5.1 Método de prueba de referencia: técnica del desplazamiento de fase

2.5.1.1 Generalidades

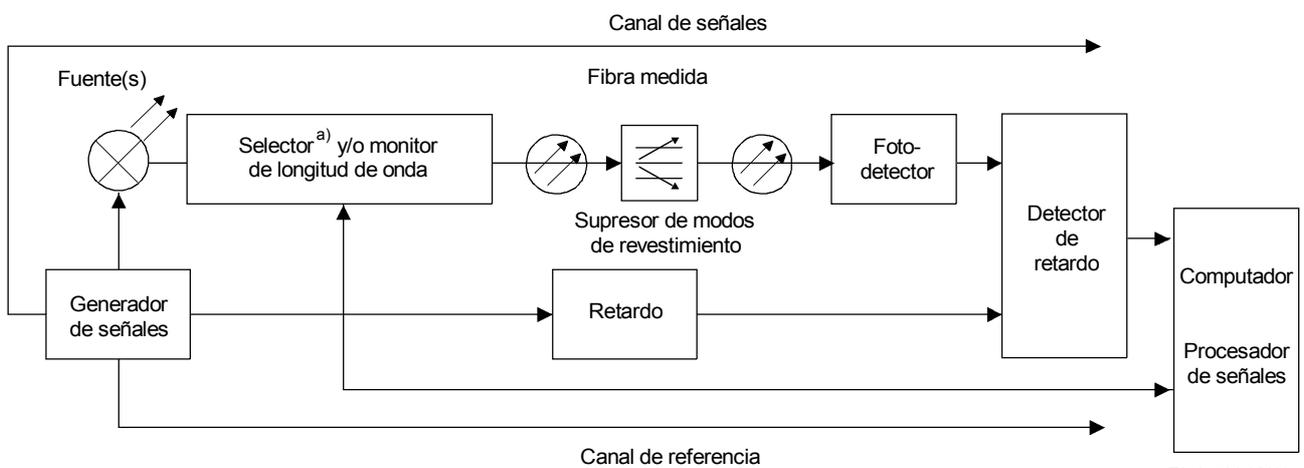
El coeficiente de dispersión cromática de la fibra se obtiene de la medición del retardo de grupo relativo experimentado por las diversas longitudes de onda durante la propagación a través de un largo de fibra conocido.

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

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

2.5.1.2 Aparato de prueba

La Figura 15 muestra un diagrama esquemático del aparato de prueba.



^{a)} Cuando sea necesario.

FIGURA 15/G.650

Montaje típico del aparato de prueba

2.5.1.2.1 Fuente óptica

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

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

2.5.1.2.2 Selección de longitud de onda

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

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

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

2.5.1.2.4 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.

2.5.1.2.5 Detector de retardo

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

2.5.1.2.6 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.

2.5.1.3 Procedimiento de medición

La fibra a prueba se acopla adecuadamente a la fuente y al detector mediante un selector de longitud de onda, un divisor óptico, etc. Si es necesario, puede realizarse una calibración del retardo cromático de la fuente. 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 desplazamiento de fase entre la señal de referencia y la señal de canal en la longitud de onda de trabajo debe medirse con el detector de retardo. Se utiliza un procesamiento de datos apropiado 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 de función de la longitud de onda; puede completarse una curva de ajuste a partir de los valores medidos.

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

2.5.1.3.1 Fibras tratadas en la Recomendación G.652

Los valores medidos del retardo de grupo por unidad de longitud de la fibra en función de la longitud de onda se ajustarán por la expresión de Sellmeier de tres términos.

$$\tau(\lambda) = \tau_0 + \frac{S_0}{8} \left(\lambda - \frac{\lambda_0^2}{\lambda} \right)^2 \quad (2-8)$$

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 por la expresión de Sellmeier diferenciada.

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left(\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right) \quad (2-9)$$

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

NOTAS

1 Estas ecuaciones de $\tau(\lambda)$ y $D(\lambda)$ son suficientemente exactas en la gama 1270-1340 nm, pero menos en la región de 1550 nm. Como la dispersión en esta última región es grande, la menor exactitud puede ser aceptable; si así no fuera, puede mejorarse incluyendo datos de la región de 1550 nm cuando se realice el ajuste. Debe señalarse no obstante que esto puede reducir la exactitud en la región de 1310 nm.

2 Otra posibilidad es medir directamente el coeficiente de dispersión cromática, por ejemplo, por un método de desplazamiento de fase diferencial. En este caso, la ecuación de Sellmeier diferenciada debe ajustarse directamente al coeficiente de dispersión para determinar λ_0 y S_0 .

2.5.1.3.2 Fibras tratadas en la Recomendación G.653

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

$$\tau(\lambda) = \tau_0 + \frac{S_0}{2} (\lambda - \lambda_0)^2 \quad (2-10)$$

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 por la expresión cuadrática diferenciada:

$$D(\lambda) = (\lambda - \lambda_0)S_0 \quad (2-11)$$

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 .

NOTAS

1 Estas ecuaciones de $\tau(\lambda)$ y $D(\lambda)$ son suficientemente exactas en la gama 1500-1600 nm. No pueden emplearse en la región de 1310 nm.

2 Otra posibilidad es medir directamente el coeficiente de dispersión cromática, por ejemplo, por un método de desplazamiento de fase diferencial. En este caso, debe ajustarse directamente una semirrecta al coeficiente de dispersión para determinar λ_0 y S_0 .

2.5.1.3.3 Fibras tratadas en la Recomendación G.654

El retardo de grupo medido por unidad de longitud de la fibra en función de la longitud de onda se ajustará por la expresión cuadrática:

$$\tau(\lambda) = \tau_{1550} + (S_{1550}/2) (\lambda - 1550)^2 + D_{1550} \lambda \quad (2-12)$$

donde τ_{1550} es el retardo de grupo relativo a la longitud de onda $\lambda = 1550$ nm. El coeficiente de dispersión cromática $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ puede determinarse por la expresión cuadrática diferenciada:

$$D(\lambda) = S_{1550} (\lambda - 1550) + D_{1550} \quad (2-13)$$

donde S_{1550} es la pendiente de dispersión (uniforme) para una longitud de onda de 1550 nm, es decir, el valor de la pendiente de dispersión $S_{1550}(\lambda) = dD/d\lambda$ para $\lambda = 1550$ nm. D_{1550} designa los valores de dispersión a $\lambda = 1550$ nm.

NOTAS

1 Estas ecuaciones de $\tau(\lambda)$ y $D(\lambda)$ son suficientemente exactas en la gama 1500-1600 nm. No son aplicables en la región de 1310 nm.

2 Otra posibilidad es medir directamente el coeficiente de dispersión cromática, por ejemplo, por el método de desplazamiento de fase diferencial. En este caso, se ajustará directamente una línea recta al coeficiente de dispersión para determinar S_{1550} y D_{1550} .

2.5.1.4 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes pormenores :

- 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;
- i) procedimiento 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).

2.5.2 Primer método de prueba alternativo: técnica interferométrica

2.5.2.1 Generalidades

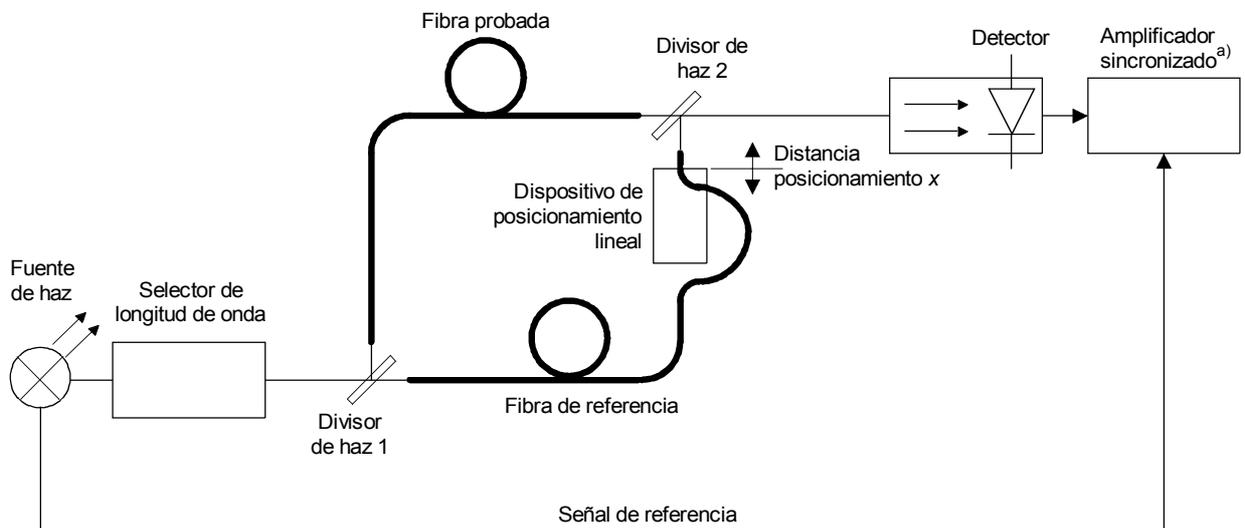
El método de la prueba interferométrica permite medir la dispersión cromática utilizando un tramo corto de fibra (de varios metros). Este método ofrece la posibilidad de medir la homogeneidad longitudinal de la dispersión cromática de las fibras ópticas. Permite además medir el efecto de influencias generales o locales, tales como los cambios de temperatura y las pérdidas por microflexión, sobre la dispersión cromática.

Según el principio de medición interferométrica, el retardo 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.

2.5.2.2 Aparato de prueba

Las Figuras 16 y 17 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.

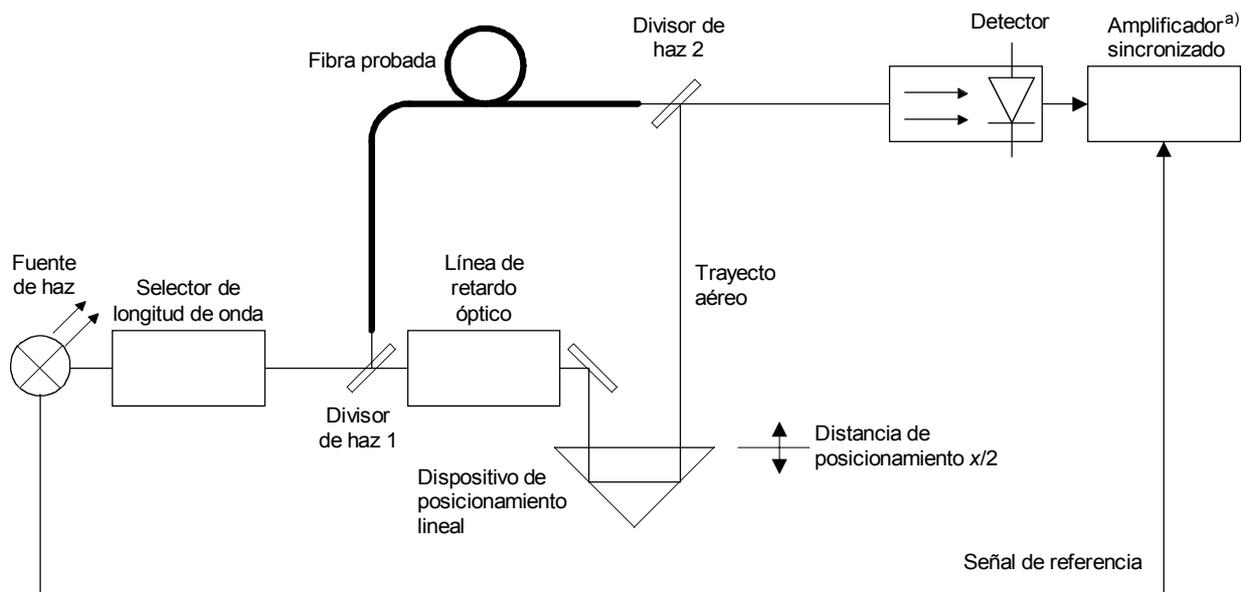


T1507740-92/d16

a) Cuando sea necesario.

FIGURA 16/G.650

Diagrama esquemático del montaje de medición con la fibra de referencia



T1507750-92/d17

a) Cuando sea necesario.

FIGURA 17/G.650

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

2.5.2.2.1 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).

2.5.2.2.2 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.

2.5.2.2.3 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.

2.5.2.2.4 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 .

2.5.2.2.5 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.

2.5.2.2.6 Procesamiento de los datos

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

2.5.2.3 Procedimiento de medición

- 1) La fibra probada se dispone en el montaje de medición (Figuras 16 y 17). 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 18) 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:

$$\Delta t_g(\lambda_i) = (x_0 - x_i)/c_0 \quad (2-14)$$

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.

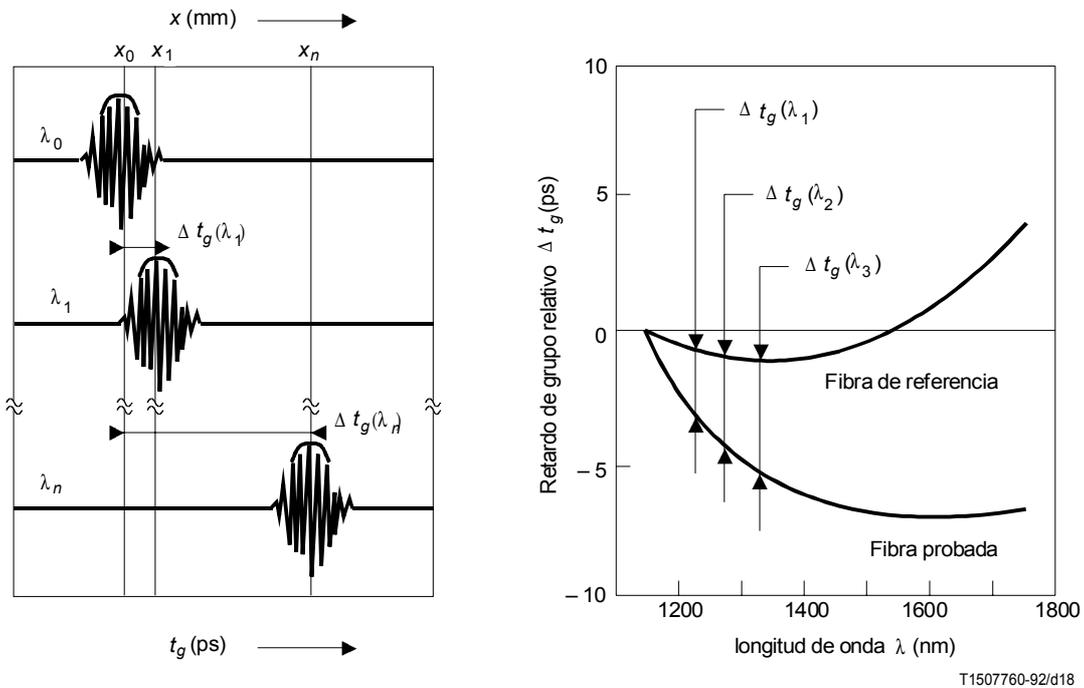


FIGURA 18/G.650

Determinación del retardo de grupo espectral

2.5.2.3.1 Fibras tratadas en la Recomendación G.652

Con los distintos valores de retardo de grupo de la fibra sometida a prueba puede obtenerse una curva de interpolación. Los valores medidos del retardo de grupo por unidad de longitud de la fibra en función de la longitud de onda se ajustarán a la curva representada por la expresión de Sellmeier de tres términos: (2-8).

El coeficiente de dispersión cromática $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ puede determinarse por la expresión de Sellmeier diferenciada (2-9).

NOTA – Las ecuaciones (2-8) y (2-9) de $\tau(\lambda)$ y $D(\lambda)$, respectivamente, son suficientemente exactas en la gama 1270-1340 nm, pero menos en la región de 1550 nm. Como la dispersión en esta última región es grande, la menor exactitud puede ser aceptable. Si así no fuera, puede mejorarse incluyendo datos de la región de 1550 nm cuando se realice el ajuste. Debe señalarse no obstante que esto puede reducir la exactitud en la región de 1310 nm.

2.5.2.3.2 Fibras tratadas en la Recomendación G.653

Los valores medidos del retardo de grupo por unidad de longitud de la fibra en función de la longitud de onda se ajustarán a la curva representada por la expresión cuadrática (2-10). El coeficiente de dispersión cromática $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ puede determinarse por la expresión cuadrática diferenciada (2-11).

NOTA – Las ecuaciones (2-10) y (2-11) de $\tau(\lambda)$ y $D(\lambda)$, respectivamente, son suficientemente exactas en la gama 1500-1600 nm. No pueden utilizarse en la región de 1310 nm.

2.5.2.3.3 Fibras tratadas en la Recomendación G.654

El retardo de grupo medido por unidad de longitud de la fibra en función de la longitud de onda se ajustará por la expresión cuadrática (2-12). El coeficiente de dispersión cromática $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ puede determinarse por la expresión cuadrática diferenciada (2-13).

NOTA – Las ecuaciones (2-12) y (2-13) de $\tau(\lambda)$ y $D(\lambda)$, respectivamente, son suficientemente exactas en la gama 1500-1600 nm. No pueden utilizarse en la región de 1310 nm.

2.5.2.4 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes pormenores:

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

2.5.3 Segundo método de prueba alternativo: técnica de retardo de los impulsos

2.5.3.1 Generalidades

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.

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

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

2.5.3.2 Aparato de prueba

La Figura 15 muestra un diagrama esquemático del aparato de prueba.

2.5.3.2.1 Fuente óptica

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

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

2.5.3.2.2 Selección de longitud de onda

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

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

2.5.3.2.3 Detector

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

2.5.3.2.4 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.

2.5.3.2.5 Detector de retardo

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

2.5.3.2.6 Procesador de señales

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

2.5.3.3 Procedimiento de medición

La fibra a prueba se acopla adecuadamente a la fuente y al detector mediante un selector de longitud de onda, un divisor óptico, etc. Si es necesario, puede realizarse una calibración del retardo cromático de la fuente. 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 entre la señal de referencia y la señal de canal en la longitud de onda de trabajo debe medirse con el detector de retardo. Se utiliza un procesamiento de datos apropiado 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 de función de la longitud de onda; puede completarse una curva de ajuste a partir de los valores medidos.

2.5.3.3.1 Fibras tratadas en la Recomendación G.652

Los valores medidos del retardo de grupo por unidad de longitud de la fibra en función de la longitud de onda se ajustarán por la expresión de Sellmeier de tres términos (2-8).

El coeficiente de dispersión cromática $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ puede determinarse por la expresión de Sellmeier diferenciada (2-9).

NOTA – Las ecuaciones (2-8) y (2-9) de $\tau(\lambda)$ y $D(\lambda)$, respectivamente, son suficientemente exactas en la gama 1270-1340 nm, pero menos en la región de 1550 nm. Como la dispersión en esta última región es grande, la menor exactitud puede ser aceptable; si así no fuera, puede mejorarse incluyendo datos de la región de 1550 nm cuando se realice el ajuste. Debe señalarse no obstante que esto puede reducir la exactitud en la región de 1310 nm.

2.5.3.3.2 Fibras tratadas en la Recomendación G.653

Los valores medidos del retardo de grupo por unidad de longitud de la fibra en función de la longitud de onda se ajustarán por la expresión cuadrática (2-10). El coeficiente de dispersión cromática $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ puede determinarse por la expresión cuadrática diferenciada (2-11).

NOTA – Las ecuaciones (2-10) y (2-11) de $\tau(\lambda)$ y $D(\lambda)$, respectivamente, son suficientemente exactas en la gama 1500-1600 nm. No pueden emplearse en la región de 1310 nm.

2.5.3.3.3 Fibras tratadas en la Recomendación G.654

El retardo de grupo medido por unidad de longitud de la fibra en función de la longitud de onda se ajustará por la expresión cuadrática (2-12). El coeficiente de dispersión cromática $D(\lambda) = d\tau/d\lambda$ puede determinarse por la expresión cuadrática (2-13).

NOTA – Las ecuaciones (2-12) y (2-13) de $\tau(\lambda)$ y $D(\lambda)$, respectivamente, son suficientemente exactas en la gama 1500-1600 nm. No son aplicables en la región de 1310 nm.

2.5.3.4 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes pormenores:

- 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.
- i) procedimiento 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).

2.6 Métodos de prueba mecánica de recepción

2.6.1 Método de prueba de referencia: tensión longitudinal

2.6.1.1 Generalidades

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

$$\sigma = E(1 + c\epsilon)\epsilon \quad (2-15)$$

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

d) La tensión mecánica σ se calcula mediante la carga T de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{T}{\pi a^2} \quad (2-16)$$

donde $2a$ es el diámetro de la fibra de cristal (125 μm). Los efectos de la no uniformidad transversal de la fibra y la contribución de los recubrimientos y/o amortiguadores de fibra quedan en estudio.

2.6.1.1.1 Parámetros de la prueba mecánica de recepción

- En la Figura 19 se indica esquemáticamente la relación entre tensión mecánica y tiempo. En ella, σ_p es la tensión mecánica de prueba especificada durante el tiempo especificado de aplicación de la misma t_d , mientras que t_ℓ y t_u son los tiempos de carga y descarga, respectivamente.
- Si se emplea un valor alternativo de tiempo de aplicación de la tensión t_a , podrá utilizarse un valor:

$$\sigma_a = \sigma_p \left[\frac{t_d}{t_a} \right]^{n_d} \quad (2-17)$$

de tensión mecánica de prueba. El valor del parámetro de fatiga dinámica n_d se determina siguiendo un método de prueba de fatiga dinámica. Si no se conociera n_d , podría utilizarse, alternativamente, el parámetro de fatiga estática n_s . Si no se conoce ninguno de los dos parámetros, puede admitirse un valor de 20 para este cálculo.

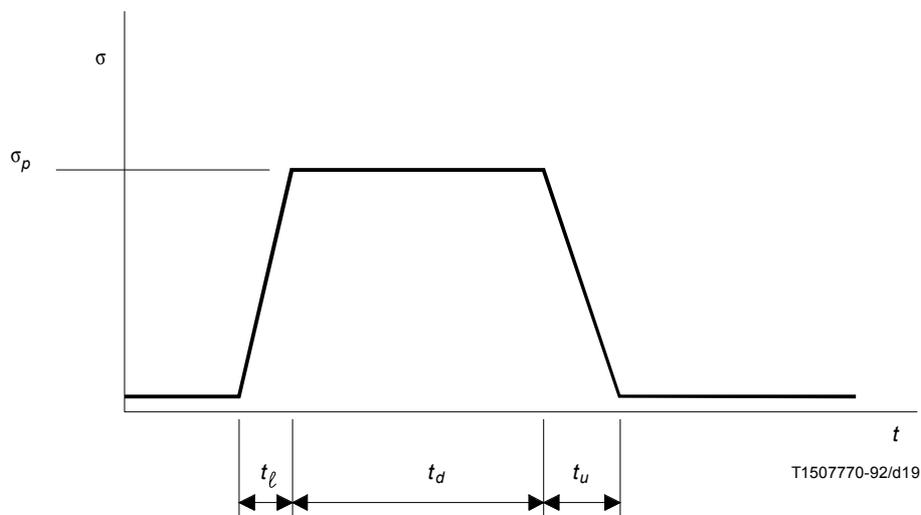


FIGURA 19/G.650
Tensión mecánica s en función del tiempo t , durante la prueba mecánica de recepción

2.6.1.2 Aparato de prueba

2.6.1.2.1 Requisitos del procedimiento de funcionamiento

- En la zona de desenrollamiento, la fibra se mantiene a una tensión mecánica de valor reducido que, normalmente, no excede del 10% de la tensión de prueba.
- En la zona de carga, la tensión mecánica de la fibra pasa rápidamente del valor bajo de la zona de desenrollamiento a la plena tensión mecánica de prueba de la zona de prueba. El tiempo de carga es t_ℓ .

- c) En la zona de prueba de recepción, se aplica la tensión mecánica de prueba σ_p uniformemente a lo largo del tramo de fibra durante un tiempo de aplicación t_d . Un medidor vigila la carga aplicada, que no debe disminuir más de un 5% con respecto a su valor medio. El tiempo de aplicación de la tensión puede ajustarse de acuerdo con el largo de fibra dentro de la zona de prueba mecánica de recepción y la velocidad de la fibra a través de la misma.
- d) En la zona de descarga, la tensión de la fibra cae desde el pleno valor de la zona de prueba de recepción a un valor bajo en la zona de enrollamiento. El tiempo de descarga es t_u .
- e) Los aumentos y las disminuciones de la tensión aplicada deben llevarse a cabo de la manera más lineal posible, y las disminuciones, tan rápido como sea posible.
- f) En la zona de enrollamiento, la fibra se mantiene a una tensión mecánica de valor reducido, que normalmente no excede del 10% de la tensión mecánica de prueba.
- g) La tensión al pasar alrededor de cualquier mandril o cabrestante en la zona de enrollamiento no deberá exceder, normalmente, del 10% de la tensión de prueba.

2.6.1.2.2 Máquinas de prueba mecánica de recepción

a) Máquina de cabrestantes frenados (Figura 20)

Las poleas de guía dirigen la fibra hacia el primer tambor cabrestante y la extraen del último. Se utiliza un recubrimiento de fricción para evitar deslizamientos, pero sin dañar los recubrimientos de la fibra. Los tambores superior e inferior de cada par de cabrestantes están sincronizados mecánicamente. Los cabrestantes superiores están inclinados ligeramente para que la fibra no roce contra sí misma cuando vuelve al tambor inferior.

La tensión mecánica de prueba se aplica accionando el segundo par de cabrestantes mediante un motor de velocidad constante, mientras se frena el primero de manera uniforme.

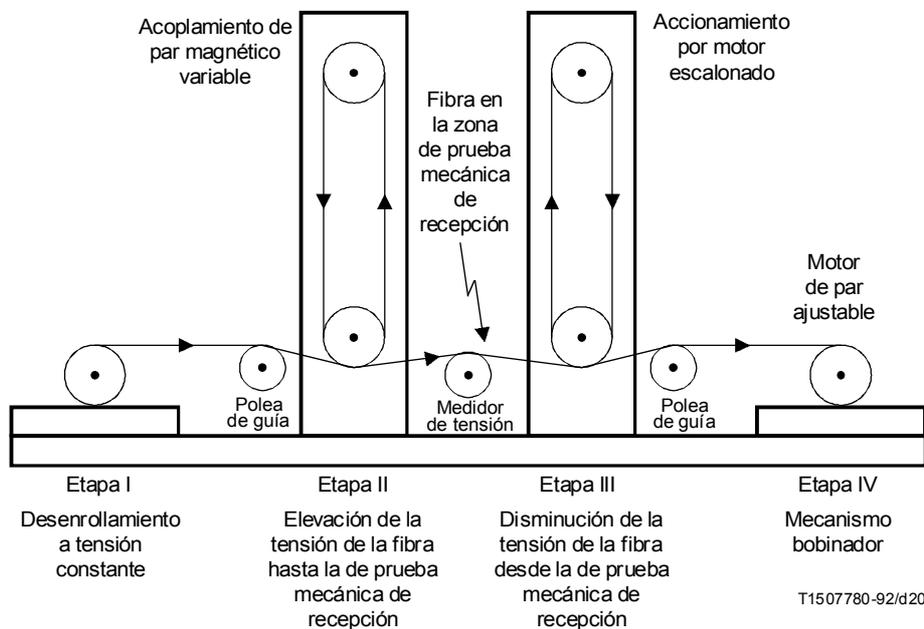


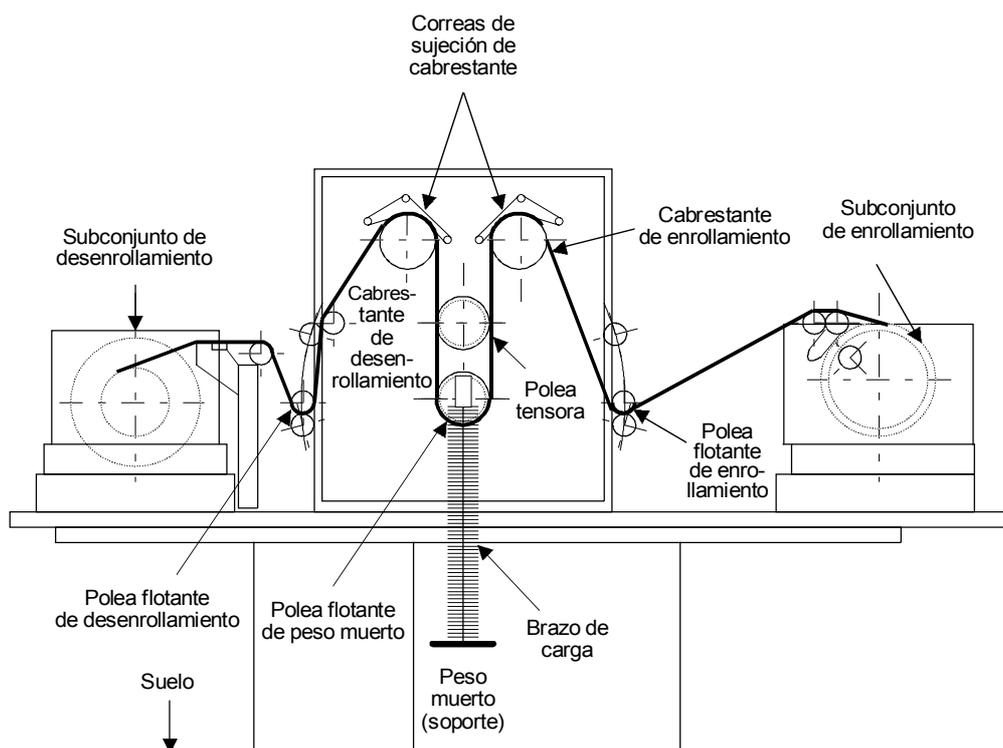
FIGURA 20/G.650

Configuración típica de una máquina de prueba mecánica de recepción de cabrestantes frenados

b) *Máquina de peso muerto* (Figura 21)

Las poleas flotantes de desenrollamiento y enrollamiento son lo bastante ligeras como para guiar la fibra con una tensión mínima. Los cabrestantes de desenrollamiento y enrollamiento están sincronizados entre sí. Las bandas de sujeción de los cabrestantes evitan que se produzcan deslizamientos en los mismos, sin añadir tensión adicional a la fibra o dañar sus recubrimientos.

Un brazo de carga y un peso muerto que reposa sobre una placa se fijan al eje de la polea flotante de peso muerto, para proporcionar la tensión mecánica de prueba de la fibra. Una polea tensora facultativa proporciona un mayor largo de calibre de la fibra, si se necesita.



T1507790-92/d21

FIGURA 21/G.650

Configuración típica de una máquina de prueba mecánica de recepción de peso muerto

2.6.1.3 Procedimiento de medición

2.6.1.3.1 Muestra

- La muestra de prueba será un largo total de fibra óptica menos un máximo de 10 m en cada extremo. Esos extremos pueden no estar sometidos necesariamente a la plena tensión de prueba mecánica y hay que prescindir de ellos.
- El fallo de la fibra después de la prueba mecánica se evidenciará por su rotura total o por un notable estiramiento del recubrimiento en la zona del fallo. Los métodos de examen incluyen un OTDR y, quizás, una inspección visual. Una vez eliminadas las zonas rotas o dañadas, se considera que los largos de fibra supervivientes han pasado el procedimiento de prueba mecánica de recepción.

2.6.1.3.2 Cálculo

Si la máquina está calibrada en tensión, el esfuerzo mecánico se calcula mediante la ecuación (2-16). La deformación puede obtenerse mediante la ecuación (2-15).

2.6.1.4 Presentación de los resultados

Se indicarán los siguientes datos :

- a) descripción general del aparato;
- b) identificación de la fibra;
- c) si difieren de los valores especificados, la tensión mecánica de prueba alternativa (o la deformación de prueba) y el tiempo de aplicación de la tensión alternativa utilizados, junto con el valor del coeficiente de corrosión por tensión dinámica supuesto.

