

RECOMENDACIÓN UIT-R BT.1367-1

Sistema de transmisión en serie por fibra digital para señales conformes a las Recomendaciones UIT-R BT.656*, UIT-R BT.799 y UIT-R BT.1120*****

(Cuestión UIT-R 42/6)

(1998-2007)

Cometido

En la presente Recomendación se proporciona información sobre la utilización de cable de fibra óptica monomodo y multimodo para transportar en serie los datos definidos en las Recomendaciones UIT-R BT.656, UIT-R BT.799 y UIT-R BT.1120 (270 Mbit/s a 2,97 Gbit/s).

En la Recomendación se informa también sobre los conectores que deberían utilizarse.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que el desarrollo de los medios de producción digitales ha dado lugar a un aumento de la utilización de las interfaces digitales en serie;
- b) que la adopción de un enfoque digital compatible en todo el mundo permitirá la fabricación de equipo con muchas características comunes, hará posible realizar economías de explotación y facilitará el intercambio internacional de programas;
- c) que, a fin de lograr los objetivos mencionados, se ha alcanzado un acuerdo sobre los parámetros fundamentales de codificación de televisión digital para estudios que se materializan en las Recomendaciones UIT-R BT.601 y UIT-R BT.709;
- d) que, para conseguir los objetivos mencionados, se han concertado acuerdos sobre la transmisión de señales digitales eléctricas en serie, los cuales se plasman en las Recomendaciones UIT-R BT.656, UIT-R BT.799 y UIT-R BT.1120;
- e) que, en la aplicación práctica de las Recomendaciones UIT-R BT.656, UIT-R BT.799 y UIT-R BT.1120 conviene definir también las interfaces en forma de interfaz óptica;
- f) que, en comparación con las interfaces eléctricas, las interfaces ópticas ofrecen una mayor inmunidad contra el ruido para las señales que han de transmitirse y permiten transmitir señales a distancias más largas,

* Recomendación UIT-R BT.656 – Interfaces para las señales de vídeo con componentes digitales en sistemas de televisión de 525 líneas y 625 líneas que funcionan en el nivel 4:2:2 de la Recomendación UIT-R BT.601.

** Recomendación UIT-R BT.799 – Interfaces para las señales de vídeo con componentes digitales en sistemas de televisión de 525 líneas y 625 líneas que funcionan en el nivel 4:4:4 de la Recomendación UIT-R BT.601.

*** Recomendación UIT-R BT.1120 – Interfaces digitales para las señales de estudio de TVAD.

recomienda

1 que en el caso en que las interfaces ópticas deban adaptarse a las disposiciones de las Recomendaciones UIT-R BT.656, UIT-R BT.799 y UIT-R BT.1120, se ajusten al Anexo 1.

Anexo 1

1 Introducción

El cumplimiento de la presente Recomendación es voluntario. No obstante, la Recomendación puede contener ciertas disposiciones obligatorias (para garantizar, por ejemplo, la compatibilidad o aplicabilidad) y el cumplimiento de la Recomendación se logra cuando se cumplen todas esas disposiciones obligatorias.

El término «deberá» o cualquier otra palabra que conlleve la idea de obligatoriedad, por ejemplo «tendrá que», así como los correspondientes equivalentes de negación, se utilizan en la formulación de requisitos. La utilización de dichas palabras no debe interpretarse en el sentido de que obliguen a parte alguna a aplicar la presente Recomendación.

2 Referencias normativas

Las siguientes Normas/Recomendaciones contienen disposiciones que, mediante referencia en el presente texto, constituyen disposiciones de esta Recomendación:

- Recomendación UIT-R BT.656.
- Recomendación UIT-R BT.799.
- Recomendación UIT-R BT.1120.
- CEI 61169-8 (2007-2) – Parte 8: *Sectional specification – RF coaxial connectors with inner diameter of outer conductor 6.5 mm (0.256 in) with bayonet lock-characteristic impedance 50 Ω (type BNC), Annex A (Normative) Information for interface dimensions of 75 Ω characteristic impedance connector with unspecified reflection factor*¹.
- Recomendación UIT-T G.651 (1998) – Características de un cable de fibra óptica multimodo de índice gradual de 50/125 μm.
- Recomendación UIT-T G.652 (2005) – Características de las fibras y cables ópticos monomodo.
- CEI 60793-2-10 – Parte 2-10: *Product specifications – Sectional specification for category A1 multi-mode fibres*.
- CEI 60825-1 (2001-08) *including Amendment 1, Safety of Laser Products, Equipment Classification Requirements, and User's Guide*.
- CEI 61754-20 (2002-08) *Fibre Optic Connector Interfaces – Parte 20: Type LC Connector Family*.

En la Parte 2 de este documento pueden verse las referencias normativas de CEI y el UIT-T: <http://www.itu.int/md/R03-WP6A-C-0149/en>.

¹ Hay que señalar que el título de esta referencia normativa puede inducir a error. La presente Recomendación hace necesario utilizar el conector de 75 Ω definido en esta referencia.

3 Especificaciones de sistemas de transmisión óptica

(En el Apéndice G se definen los términos relativos a la fibra utilizados en la presente Recomendación o las correspondientes referencias normativas.)

3.1 Montaje y conectores de las unidades transmisora y receptora

3.1.1 Los conectores del dominio óptico preferidos para las unidades Tx y Rx y sus correspondientes secciones de cable de entrada y salida deberán ser del tipo LC/PC, de conformidad con la Norma CEI 61754-20-1.

Opcionalmente, podría detallarse la aplicación de otros tipos de conectores específicos, tales como SC, ST, FC y MU.

3.1.2 El pulido del conector óptico preferido de las unidades Tx y Rx debe ser el tipo PC.

Opcionalmente, podría especificarse otro tipo de aplicación de pulidos para conectores específicos, tales como SPC, UPC y APC, siempre que el pulido se indique claramente en la etiqueta del caso, según se describe en los § 3.3.1 y 3.5.

En la documentación de producto correspondiente a las unidades Tx/Rx debería especificarse detalladamente el pulido requerido del conector óptico.

NOTA – Aunque los conectores con pulido en ángulo (esto es, APC) y los conectores con pulido en plano (esto es, PC, SPC, UPC) del mismo tipo (por ejemplo, LC) pueden acoplarse mecánicamente, no son ópticamente compatibles. Así pues, convendría que los diseñadores de sistemas y los instaladores de sistemas garanticen la compatibilidad del cable, del tipo del conector y del pulido en toda la instalación.

3.1.3 Un pequeño acoplamiento en espiral de fibra monomodo, según se especifica en la Recomendación UIT-T G.652, deberá utilizarse para conectar la fuente luminosa de la unidad Tx a su conector óptico de salida, si la fuente luminosa no se ha instalado e interconectado físicamente en un receptáculo.

Resulta aceptable recurrir a un pequeño acoplamiento en espiral de fibra monomodo de 50/125, según se especifica en la Recomendación UIT-T G.651, si la idea es destinar exclusivamente la unidad Tx a aplicaciones del enlace multimodo.

En la unidad Tx o en la correspondiente documentación de productos deberá indicarse el tipo de terminación helicoidal, de haberla, que se ha instalado.

3.1.4 Se utilizará un pequeño acoplamiento en espiral de fibra monomodo de 62,5/125, según se especifica en la Norma CEI 60793-2-10, para conectar la unidad de recepción óptica Rx a su conector de entrada óptica, si dicho receptor no se ha instalado y conectado físicamente en un receptáculo.

En la unidad Rx o en la correspondiente documentación de producto deberá indicarse el tipo de terminación helicoidal, de haberla, que se ha instalado.

3.2 Unidad de transmisión para enlaces de potencia baja (corto alcance), potencia media (alcance medio) o potencia elevada (gran alcance)

3.2.1 La unidad de transmisión deberá producir una señal de salida óptica que varíe respecto a la intensidad, con arreglo a los parámetros de enlace de potencia baja (corto alcance), potencia media (alcance medio) o potencia elevada (largo alcance) pertinentes, que se indican en el Cuadro 1, cuando sea modulada mediante una señal eléctrica definida en la Recomendación UIT-R BT.656, la Recomendación UIT-R BT.799 o la Recomendación UIT-R BT.1120.

En el informativo Apéndice D se consignan varios ejemplos de calidad de funcionamiento de la transmisión a distancia máxima para aplicaciones de baja potencia (corto alcance), potencia media (alcance medio) y potencia elevada (largo alcance).

CUADRO 1

Especificaciones de la señal a la salida de la unidad de transmisión

	Enlace de potencia elevada (largo alcance)	Enlace de potencia media (alcance medio)	Enlace de baja potencia (corto alcance)	
Fibra del circuito de transmisión ⁽¹⁾	SM (9,0/125 μm)	SM (9,0/125 μm)	SM (9,0/125 μm)	MM ⁽²⁾ (50,0/125 μm , 62,5/125 μm)
Tipo de fuente luminosa ^{(3), (4)}	Láser	Láser	Láser	Láser o diodo emisor de luz ^{(5), (6)}
Longitud de onda óptica	1 310 nm \pm 40 nm	1 310 nm \pm 40 nm	1 310 nm \pm 40 nm	1 310 nm \pm 40 nm
	1 550 nm \pm 40 nm	1 550 nm \pm 40 nm	1 550 nm \pm 40 nm	850 nm \pm 30 nm
Anchura máxima de la raya espectral entre puntos de potencia mitad	\leq 1 nm	\leq 2 nm	\leq 8 nm	\leq 30 nm
Potencia óptica máxima ⁽⁷⁾	+10 dBm	0 dBm	-3 dBm	
Potencia óptica mínima ⁽⁷⁾	0 dBm	-3 dBm	-12 dBm	
Tasa de extinción mínima ⁽⁸⁾	5:1 (10:1, preferida)			
Tiempos de subida y de caída para la Recomendación UIT-R BT.656, y la Recomendación UIT-R BT.799 ⁽⁹⁾	Según se define en las Recomendaciones UIT-R BT.656 y UIT-R BT.799 para la señal eléctrica < 1,5 ns (20% a 80%)			
Tiempo de subida y de caída para la Recomendación UIT-R BT.1120	Según se define en la Recomendación UIT-R BT.1120 para la señal eléctrica 1,5 Gbit/s < 270 ps (20% a 80%) y la señal eléctrica para 3,0 Gbit/s < 135 ps (20%-80%)			
Fluctuación de fase intrínseca máxima (óptica)	Según se especifica en las Recomendaciones UIT-R BT.656, UIT-R BT.799, UIT-R BT.1120			
Potencia reflejada máxima	-14 dB			
Función de transferencia eléctrica/óptica	Intensidad máxima lógica «1»/intensidad mínima lógica «0»			

(1) La especificación de fibra óptica se define en la Norma CEI 60793-2 (2003-10).

(2) Véase la Recomendación UIT-T G.651 y la Norma CEI 60793-2-10 – Parte 2-10: *Product specifications – Sectional specification for category A1 multi-mode fibres, for optional MM fibre type.*

(3) Todos los láseres son de clase 1, según se define en la Norma CEI 60825-1 (2001-08).

(4) Durante las operaciones de mantenimiento, explotación y servicio deberá figurar de manera claramente visible en el equipo una etiqueta de alerta sobre el láser utilizado. En dicha etiqueta los bordes del texto y los símbolos deberán figurar en negro en fondo amarillo. En la etiqueta de alerta sobre el láser utilizado deberá tenerse en cuenta lo siguiente:

(5) Los diodos emisores de luz pueden no funcionar de manera fiable a las velocidades binarias más elevadas que se especifican en las Recomendaciones UIT-R BT.656, UIT-R BT.799 y UIT-R BT.1120.

(6) En las unidades Tx se señalará mediante marcado que deberán utilizarse únicamente en aplicaciones de enlaces de transmisión multimodo, si tal fuera el caso.

(7) El término «potencia» permite a la potencia media medida con un medidor de potencia en el que se visualizan valores medios.

(8) Se trata de la relación entre la potencia máxima y la mínima a la salida del transmisor.

(9) Los tiempos de subida y de caída se miden utilizando filtros Bessel-Thompson de cuarto orden con un punto de 3 dB a $0,75 \times$ velocidad de datos en MHz, esto es $0,75 \times 270 \text{ Mbit/s} = 203 \text{ MHz}$.



Para mayor información consúltese el Apéndice C.

3.3 Etiquetado de unidades transmisoras

3.3.1 Las unidades transmisoras deberán marcarse con etiquetas en que se indicarán la aplicación (potencia baja, potencia media, potencia elevada), el pulido del conector, los tipos de plataforma que dichas unidades soportan y la longitud de onda que utilizan. Las etiquetas deberían tener el siguiente formato: <aplicación>-<pulido>-<tipo de señal>-<longitud de onda>.

- El elemento <aplicación> adoptará los siguientes valores:
- H, si se trata de aplicaciones de enlace de potencia elevada (largo alcance)
- M, si se trata de aplicaciones de enlace de potencia media (alcance medio)
- L, si se trata de aplicaciones de enlace de baja potencia (corto alcance)
- El elemento <pulido> adoptará los siguientes valores:
- PC, tratándose de conectores de contacto físico (con pulido en plano) – preferidos
- SPC, tratándose de conectores de contacto superfísico (pulido en plano) – opcional
- UPC, tratándose de conectores de contacto ultrafísico (pulimiento en plano) – opcional
- APC, tratándose de conectores de contacto físico angular (pulimiento en ángulo) – opcional
- Para cada tipo de señal soportada, el elemento <tipo de señal> adoptará los siguientes valores:
- S, para indicar que se soporta la Recomendación UIT -R BT.656
- P, para indicar que se soporta la Recomendación UIT-R BT.799
- H, para indicar que se soporta la Recomendación UIT-R BT.1120
- El elemento <longitud de onda> adoptará los siguientes valores:
- 850 para transmisores de 850 nm
- 1 310 para transmisores de 1 310 nm
- 1 550 para transmisores de 1 550 nm
- 1 310–1 550, para transmisores de 1 310-1 550 nm

NOTA 1 – El equipo diseñado con arreglo a las anteriores revisiones de la presente Recomendación puede no ser conforme con el requisito de etiquetado reseñado.

3.4 Unidad de recepción

La unidad receptora deberá emitir una señal eléctrica conforme con las Recomendaciones UIT-R BT.656, UIT-R BT.799 y UIT-R BT.1120 al recibir una señal óptica como la especificada en el Cuadro 2.

CUADRO 2

Especificaciones de la señal óptica a la entrada del receptor

Fibra del circuito de transmisión	Monomodo	Multimodo ⁽¹⁾
Potencia de sobrecarga mínima a la entrada ^{(2), (3)}	-7,5 dBm, 0 dBm, valor preferido	
Potencia mínima a la entrada	20 dBm (144 Mbit/s-1,5 Gbit/s) -17 dBm (3 Gbit/s)	
Umbral de daños en el detector ⁽³⁾	+1 dBm (mínimo)	

⁽¹⁾ No se recomienda la fibra multimodo para las aplicaciones de enlace de potencia elevada (largo alcance) o potencia media (alcance medio) en el caso de la Recomendación UIT-R BT.1120.

⁽²⁾ Dentro de la gama de valores a la entrada del receptor, se recomienda un valor mínimo BER < 10⁻¹². La meta deseada es una BER < 10⁻¹⁴.

⁽³⁾ Dependiendo de la implementación del producto, tal vez haya necesidad de utilizar atenuadores ópticos para atender a los niveles especificados de sobrecarga y de daño en el receptor. Para mayor información, véanse los informativos Apéndices E y F.

3.5 Etiquetado de la unidad de recepción

Los receptores deberán marcarse con etiquetas en que se indicarán el pulido del colector y los tipos de plataforma que soportan. El formato de las etiquetas deberá ser el siguiente: <pulido>-<tipo de señal>-<gama de longitud de onda>.

- a) El elemento <pulimiento> adoptará los siguientes valores:
 - PC, tratándose de conectores de contacto físico (pulimiento en plano) – preferido
 - SPC, tratándose de conectores de contacto superfísico (pulimiento en plano) – opcional
 - UPC, tratándose de conectores de contacto ultrafísico (pulimiento en plano) – opcional
 - APC, tratándose de conectores de contacto físico angular (pulimiento en ángulo) – opcional
- b) Para cada tipo de señal de soporte, el elemento <tipo de señal> adoptará los siguientes valores:
 - S, para indicar que se soporta la Recomendación UIT-R BT.656
 - P, para indicar que se soporta la Recomendación UIT-R BT.799
 - H, para indicar que se soporta la Recomendación UIT-R BT.1120
- c) El elemento <gama de longitudes de onda> adoptará los siguientes valores:
 - 850 para transmisores de 850 nm
 - 1 310 para transmisores de 1 310 nm
 - 1 550 para transmisores de 1 550 nm
 - 1 310-1 550 para transmisores de 1 310-1 550 nm

Ejemplo: Un receptor pulido PC que soporte señales de la Recomendación UIT-R BT.656 sólo a una longitud de onda de 850 nm se marca con la etiqueta PC-S-850.

3.6 Especificaciones del circuito y del conector de fibra óptica

3.6.1 Opciones en cuanto al tipo de fibra óptica

El usuario puede utilizar fibra monomodo para aplicaciones de potencia media/alcance medio y fibra monomodo a multimodo para aplicaciones de enlace de baja potencia/corto alcance, si desea establecer un circuito óptico punto a punto entre los conectores ópticos del transmisor y el receptor. Un circuito punto a punto puede consistir en una o varias secciones interconectadas en serie del tipo seleccionado de fibra óptica y que formen parte de cables, puentes, y/o tramos de conexión provisional. La combinación de diferentes tipos de fibra en las múltiples secciones de un circuito punto a punto es físicamente posible, pero resulta inaceptable desde el punto de vista técnico y no es conforme con la presente Recomendación.

La fibra óptica monomodo deberá ser acorde con la Recomendación UIT-T G.652 (1997-04; Características de las fibras y cables ópticos monomodo), y presentar una atenuación máxima de 0,35 dB por km a 1 310 nm y de 0,25 dB por km a 1 550 nm.

La fibra óptica multimodo deberá ser conforme con la Norma CEI 60793-2-10 – Parte 2-10: *Product specifications – Sectional specification for category A1 multi-mode fibres* o la Recomendación UIT-T G.651 (fibra de índice graduado en 50/125 micras [GI]), y presentar una atenuación de 1,5 dB por km a 1 310 nm y de 3,75 dB por km a 850 nm.

NOTA – Tratándose de fibras multimodo, la distancia máxima puede venir limitada por la dispersión de la señal, lo que puede expresarse como producto de la velocidad binaria y la longitud. Por lo que hace a la fibra de 50/125, los valores típicos del producto de la velocidad binaria y la longitud se encuentran comprendidos en la gama de 500 MHz*km a 2 GHz*km y los valores típicos de la fibra de 62,5/125 en la gama de 200 MHz*km a 400 MHz*km, respectivamente. Estos valores pueden variar con la longitud de onda. Así pues, la dispersión de las fibras específicas multimodo puede optimizarse en relación con las diferentes longitudes de ondas que se consideren.

Pérdida de retorno del conector óptico

Los conectores ópticos deberán presentar las siguientes pérdidas ópticas de retorno y las medidas correspondientes habrán de efectuarse a 23° C \pm 5° C, de conformidad con la Norma CEI 60793-1-40 (2001-07) *Measurement methods and test procedures – Attenuation*.

CUADRO 3

Pérdida de retorno del conector óptico

Tipo de fibra	Pérdida de retorno mínima
Multimodo, 62,5/125 ó 50/125 micras	20 dB
Monomodo, 8-10/125 micras	26 dB

NOTA 1 – Los valores de la pérdida de retorno mínima se especifican de modo tal que se tomen en consideración múltiples reflexiones en línea.

Apéndice A

Definición de términos sobre el medio de transmisión óptica y los conectores

A.1 Montajes de fibra óptica y de cable

Los cables contienen una o más fibras ópticas dentro de una misma cubierta, dispuestas en configuración de haces o de cintas. El número de fibras para los cables de alta densidad lo decidirá el diseñador, teniendo en cuenta el espacio disponible en el conducto y la necesidad de una gestión adecuada al cable de fibra óptica.

Los puentes, cables de conexión y alargadores de los circuitos de fibra son cables de fibra óptica para fines especiales que contienen una o más fibras, envueltas cada una de ellas en una cubierta protectora.

Los cables híbridos ópticos/de cobre son montajes de una o más fibras multimodo y/o monomodo que van encubiertas, y de dos o más hilos o trenzados de cobre aislados eléctricamente. Se fabrican para aplicaciones especiales tales como la interconexión de cabezales de cámara y estaciones de base.

Las terminaciones helicoidales son fibras únicas revestidas de un material plástico, pero sin cubierta de protección. Se fabrican para instalarlas en equipos terminales con el fin de prolongar un circuito de fibra desde un receptáculo del panel de interconexión hasta un dispositivo óptico ubicado dentro de equipo. La terminación se verifica en el extremo del panel de interconexión en una interfaz conectora apropiada (véase los § 0.3 y 3.1.4).

A.2 Componentes de conexión óptica

Los conectores se instalan en ambos extremos de toda fibra, cable de conexión única, dúplex o múltiple y cable multifibra con cubierta. Los conectores se instalan también en un extremo de los terminales helicoidales, mientras que el otro extremo se fija físicamente a los dispositivos Tx y Rx ópticos ubicados en el interior del equipo del usuario.

Los adaptadores se instalan en los paneles de interconexión de bastidor o pared en armarios de telecomunicaciones y salas de equipo para la adaptación de fibras terminadas en conectores. Son el equivalente óptico de los conectores BNC de doble cara o de los adaptadores de panel utilizados para interconectar tramos en tándem de cable coaxial. Los adaptadores constituyen el medio mecánico que sirve para empalmar con precisión los manguitos de extensión de los conectores de fibra, y se utilizan para circuitos ya instalados compuestos de tramos conectados en serie de cables de fibra multimodo o monomodo o terminaciones helicoidales.

Los adaptadores permiten asimismo adaptar una fuente luminosa monomodo de un latiguillo helicoidal a una entrada de circuito de transmisión multimodo, y una salida de circuito de transmisión monomodo al terminal helicoidal de entrada de un receptor óptico multimodo. La práctica seguida por la industria de telecomunicaciones permite utilizar terminales helicoidales monomodo en una unidad Tx para la interfaz con los circuitos de fibra multimodo. En una unidad Rx los terminales helicoidales multimodo pueden utilizarse para recibir señales ópticas procedentes de circuitos de fibra monomodo.

Los receptáculos se instalan en el equipo terminal para establecer la interfaz entre el Tx y el Rx ópticos internos y circuitos de cableado de los locales (planta exterior). Un receptáculo puede ocupar físicamente la mitad de un adaptador, mientras que las fuentes luminosas o los fotodiodos se instalan físicamente en la otra mitad. Esos receptáculos pueden estar montados físicamente en las

tarjetas de circuitos impresos del Tx o el Rx. Cuando se monta un transductor E/O u O/E multimodo o monomodo en una placa de circuito impreso que no pueda situarse físicamente en el tablero de interfaz, la interconexión con el receptáculo del tablero se efectúa mediante una terminación helicoidal (véase los § 3.1.3 y 3.1.4).

Apéndice B

Opciones de funcionamiento y de diseño del circuito de transmisión óptica

B.1 Criterios de selección de las unidades Tx y Rx

El balance de potencia de un enlace de transmisión de fibra óptica es la diferencia aritmética entre la potencia de salida mínima de la fuente óptica, que se indica en el Cuadro 1, y la potencia de entrada máxima al receptor óptico, que figura en el Cuadro 2. El balance de potencia mínimo necesario para la transmisión de una señal entre el equipo de origen y de destino es igual a la atenuación de la fibra a la longitud de onda de transmisión deseada, más la suma de las pérdidas evaluadas o especificadas en todos los puntos de empalme y en los conectores, suma que puede llegar hasta 0,5 dB por empalme o conexión. Se aconseja que el diseñador del sistema incluya una pérdida para casos imprevistos comprendida entre 3 dB y 6 dB al determinar el balance de pérdidas de un circuito multisección largo.

Los costes superiores de las unidades Tx y Rx monomodo necesarios para hacer frente a un balance de pérdidas específico puede equilibrarse utilizando fibra multimodo de menor coste en todo el circuito. No obstante, la «anchura de banda mínima» de las fibras multimodo (expresada como valor máximo de «anchura de banda-kilómetro» en la especificación de la fibra) obliga a la utilización de una fibra monomodo en cualquier enlace de potencia media/alcance medio que pueda requerirse para transportar las señales especificadas en la Recomendación UIT-R BT.1120. Esta opción requerida en cuanto al tipo de fibra no tiene equivalente en los cálculos de la pérdida en circuitos de transmisión coaxial.

La utilización de la fibra multimodo en circuitos de enlace de baja potencia (corto alcance) redundará, por otra parte, en una calidad de funcionamiento menor que la correspondiente a la fibra monomodo a estas velocidades.

B.2 Características de transmisión de las fibras multimodo y monomodo

Las distancias a las que puedan transmitirse sin errores señales digitales por fibras multimodo y monomodo presentan límites en cuanto a la longitud del circuito por causa del «efecto acantilado» debido a fenómenos de dispersión «modal» y «cromática», respectivamente. Las fibras multimodo aceptan entradas de rayos ópticos (modos) múltiples de fuentes luminosas con los ángulos máximos de incidencia definidos por el «cono de aceptación» (apertura numérica – NA) de la fibra. Los retardos de propagación de los rayos por impulsos reflejados entre un extremo y otro del núcleo aumentan con la distancia. La distancia de «efecto acantilado» de la fibra multimodo, calculada a partir de sus características de «anchura de banda-kilómetro» (véase lo anterior), es aquella a la que la señal deja de ser recuperable, debido al hecho de que el instante de llegada de los impulsos transportados por rayos múltiples oculta los puntos de transición de la señal o se superpone a los impulsos de intervalos unitarios de señales adyacentes.

Contrariamente a lo que piensa el público, incluso las fuentes luminosas de láser semiconductor más caras no emiten luz en una única longitud de onda. Cada rayo transmitido por el núcleo de 8,0 a 10,0 micras experimenta retardos de propagación en cada longitud de onda a la salida del láser comprendida en la anchura máxima de la raya espectral de 8 nm (Cuadro 1). El punto de «efecto acantilado» de la fibra monomodo, que se encuentra muchos kilómetros fibra abajo, está a la distancia a la que el instante de llegada de los impulsos transportados al extremo de la longitud de onda espectral oculta los puntos de transición de la señal, o se superpone a los impulsos de intervalos unitarios de señales adyacentes.

B.3 Limitación del procesamiento de la señal digital del transductor E/O

Los diseñadores deben ser conscientes de que las señales digitales en serie especificadas en las Recomendaciones UIT-R BT.656 y UIT-R BT.799 pueden contener una energía considerable de baja frecuencia.

Apéndice C

Información sobre seguridad del láser

Se considera que la radiación visible y no visible de los diodos de láser y los LED utilizados en los sistemas de comunicaciones de fibra óptica es una aplicación segura de la tecnología láser. La salida luminosa se limita exclusivamente al núcleo de la fibra interconectada, y no se filtra a través de la cubierta o la protección externa. Si se desconecta la terminación helicoidal de una fuente luminosa sólo hay una remota posibilidad de que la vista resulte dañada en el caso extremadamente improbable de que una persona mire directamente a la fibra a corta distancia durante un largo periodo de tiempo.

Las publicaciones de la CEI proporcionan orientación sobre las prácticas que deben seguirse en el trabajo con sistemas de comunicaciones de fibra óptica. Contienen asimismo información sobre los requisitos de etiquetado de módulos que contengan fuentes luminosas láser/diodo emisor de luz acopladas con el exterior a través de una terminación helicoidal o un conector óptico.

Apéndice D

Gama de distancias máximas de transmisión

Las gamas de distancias máximas de transmisión para aplicaciones de enlace de baja potencia (corto alcance), potencia media (alcance medio), y elevada potencia (largo alcance), pueden calcularse restando los niveles de potencia a la salida del transmisor de los niveles mínimos de potencia a la entrada del receptor. Acto seguido, esta diferencia se multiplica por el factor de pérdida de fibra a la longitud de onda considerada (véanse los Cuadros 4 a 6).

En este análisis de pérdida no se toman en consideración las pérdidas debidas a empalmes o conectores, que ascienden típicamente a 0,1 dB cada una de ellas para la fibra monomodo y a 0,5 dB para la fibra multimodo. No se incluyen factores de pérdida distintos de la pérdida de fibra, por lo cual estos cálculos sólo ofrecen orientación en lo que concierne a las aplicaciones.

CUADRO 4

**Aplicaciones de enlace de baja potencia (corto alcance) –
Distancia máxima de transmisión**

	Fibra monomodo				Fibra multimodo			
	Con una potencia mínima a la salida		Con una potencia máxima a la salida		Con una potencia mínima a la salida		Con una potencia máxima a la salida	
Longitud de onda	1 310 nm	1 550 nm	1 310 nm	1 550 nm	850 nm	1 310 nm	850 nm	1 310 nm
Pérdida de fibra (dB/km)	0,35	0,25	0,35	0,25	3,75	1,5	3,75	1,5
Potencia de salida (dBm)	-12		-3		-12		-3	
Potencia mínima a la entrada (dBm) (143 Mbit/s ~ 1,5 Gbit/s)	-20		-20		-20		-20	
Potencia mínima a la entrada (dBm) (3 Gbit/s)	-27		-27		-27		-27	
Balance de pérdidas (dB) (143 Mbit/s ~ 1,5 Gbit/s)	8		17		8		17	
Balance de pérdidas (dB) (3 Gbit/s)	5		14		5		14	
Distancia aprox. (km) (143 Mbit/s ~ 1,5 Gbit/s)	22	32	48	68	2	5	5	11
Distancia aprox. (km) (3 Gbit/s)	14	20	40	56	1	2	3	8

NOTA 1 – Tratándose de aplicaciones de fibra multimodo, la distancia máxima puede verse limitada por la dispersión de la señal expresada como el producto de la velocidad binaria por la longitud.

CUADRO 5

**Aplicaciones de enlace de potencia media (enlace medio) –
Distancia máxima de transmisión**

	Fibra monomodo			
	Con potencia mínima a la salida		Con potencia máxima a la salida	
Longitud de onda	1 310 nm	1 550 nm	1 310 nm	1 550 nm
Pérdida de fibra (dB/km)	0,35	0,25	0,35	0,25
Potencia a la salida (dBm)	-3		0	
Potencia mínima a la entrada (dBm) (143 Mbit/s ~ 1,5 Gbit/s)	-25		-25	
Potencia mínima a la entrada (dBm) (3 Gbit/s)	-27		-27	
Balance de pérdidas (dB) (143 Mbit/s ~ 1,5 Gbit/s)	17		20	
Balance de pérdidas (dB) (3 Gbit/s)	14		17	
Distancia (km) (143 Mbit/s ~ 1,5 Gbit/s)	49	68	57	80
Distancia (km) (3 Gbit/s)	40	56	49	68

CUADRO 6

**Aplicaciones de enlace de elevada potencia (largo alcance) –
Distancia máxima de transmisión**

	Fibra monomodo			
	Con potencia mínima a la salida		Con potencia máxima a la salida	
Longitud de onda	1 310 nm	1 550 nm	1 310 nm	1 550 nm
Pérdida de fibra (dB/km)	0,35	0,25	0,35	0,25
Potencia a la salida (dBm)	0		+10	
Potencia mínima a la entrada (dBm) (143 Mbit/s ~ 1,5 Gbit/s)	-25		-25	
Potencia mínima a la entrada (dBm) (3 Gbit/s)	-27		-27	
Balance de pérdidas (dB) (143 Mbit/s ~ 1,5 Gbit/s)	20		30	
Balance de pérdidas (dB) (3 Gbit/s)	17		27	
Distancia (km) (143 Mbit/s ~ 1,5 Gbit/s)	57	80	86	120
Distancia (km) (3 Gbit/s)	49	68	77	108

Apéndice E

Distancia mínima de transmisión

La gama de distancias mínimas de transmisión define la interconexión más corta que es posible soportar sin distorsión de la señal y que puede calcularse restando el nivel máximo y mínimo de potencia de transmisión a la salida del nivel de potencia máxima a la entrada (sobrecarga mínima a la entrada) del receptor.

A continuación, esta diferencia se redondea a cero si es negativa y el balance mínimo de pérdidas resultante se multiplica por el factor de pérdida de fibra a la longitud de onda de que se trate (véanse los Cuadros 7 a 9).

Los receptores diseñados con una potencia máxima a la entrada de $-7,5$ dBm requerirán cierto grado de atenuación cuando se utilicen de forma adosada con transmisores de baja potencia, potencia media, o elevada potencia explotados al mayor nivel de potencia para evitar distorsiones de la señal y posibles errores en los bits.

Los Cuadros 7 a 9 revelan que:

- se requerirá una atenuación de 4,5 dB para evitar distorsiones, cuando el receptor se conecte a un transmisor de baja potencia explotado al mayor nivel de potencia;
- se requerirá una atenuación de 7,5 dB para evitar distorsiones cuando el receptor se conecte a un transmisor de potencia media explotado al mayor nivel de potencia;
- se requerirá una atenuación de 17,5 dB para evitar distorsiones cuando el receptor se conecte a un transmisor de elevada potencia explotado al mayor nivel de potencia.

Las instalaciones de sistemas típicas deberán presentar como mínimo este grado de atenuación debida a la pérdida de fibra.

Al trabajar de forma adosada con transmisores de baja potencia explotados al menor nivel de potencia, el receptor puede conectarse hasta con una longitud del enlace de cero metros sin ninguna distorsión, como puede verse en el Cuadro 7.

Los receptores diseñados con una potencia máxima a la entrada de 0 dBm pueden explotarse de forma adosada hasta con una longitud del enlace de cero metros para todas las aplicaciones de transmisión, salvo la constituida por transmisores de elevada potencia (largo alcance) que funcionen a la potencia máxima de salida. Como puede verse en el Cuadro 9, en estas condiciones se requiere una atenuación de al menos 10 dB para evitar distorsiones.

CUADRO 7

**Aplicaciones de enlace de baja potencia (corto alcance) –
Sobrecarga mínima a la entrada**

	Fibra monomodo				Fibra multimodo			
	Con potencia mínima a la salida		Con potencia máxima a la salida		Con potencia mínima a la salida		Con potencia máxima a la salida	
Longitud de onda	1 310 nm	1 550 nm	1 310 nm	1 550 nm	850 nm	1 310 nm	850 nm	1310 nm
Pérdida de fibra (dB/km)	0,35	0,25	0,35	0,25	3,75	1,5	3,75	1,5
Potencia a la salida (dBm)	-25		-25		-25		-25	
Potencia máxima a la entrada (dBm) (sobrecarga mínima a la entrada)	-27		-27		-27		-27	
Balance mínimo de pérdidas (dB)	0/0		4,5/0		0/0		4,5/0	
Distancia mínima del enlace (km)	0	0	13/0	18/0	0	0	1/0	3/0

CUADRO 8

**Aplicaciones de enlace de potencia media (alcance medio) –
Sobrecarga mínima a la entrada**

	Fibra monomodo			
	Con potencia mínima a la salida		Con potencia máxima a la salida	
Longitud de onda	1 310 nm	1 550 nm	1 310 nm	1 550 nm
Pérdida de fibra (dB/km)	0,35	0,25	0,35	0,25
Potencia a la salida (dBm)	-3		0	
Potencia máxima a la entrada (dBm) (sobrecarga mínima a la entrada)	-7,5/0 (preferido)		-7,5/0 (preferido)	
Balance mínimo de pérdida (dB)	4,5/0		7,5/0	
Distancia mínima del enlace (km)	13/0	18/0	21/0	30/0

CUADRO 9

**Aplicaciones de enlace de elevada potencia (largo alcance) –
Sobrecarga mínima a la entrada**

	Fibra monomodo			
	Con potencia mínima a la salida		Con potencia máxima a la salida	
Longitud de onda	1 310 nm	1 550 nm	1 310 nm	1 550 nm
Pérdida de fibra (dB/km)	0,35	0,25	0,35	0,25
Potencia a la salida (dBm)	0		10	
Potencia máxima a la entrada (dBm) (sobrecarga mínima a la entrada)	-7,5/0 (valor preferido)		-7,5/0 (valor preferido)	
Balance mínimo de pérdidas (dB)	7,5/0		17,5/10	
Distancia mínima del enlace (km)	21/0	30/0	50 / 29	70/40

Apéndice F

Umbral de daño

Los umbrales de daño pueden calcularse restando el nivel de potencia a la entrada del receptor que daña su detector del nivel de potencia máximo a la entrada del transmisor.

Los Cuadros 10 a 12 revelan que el equipo diseñado para funcionar de conformidad con la Recomendación UIT-R BT.1367 será plenamente interoperable en todas las condiciones de explotación o combinaciones de aplicaciones de enlace de baja potencia, potencia media o elevada potencia, excepto cuando se trate de transmisores de elevada potencia (largo alcance) que funcionen con la potencia máxima a la salida. Como puede verse en el Cuadro 12, en estas condiciones se requiere una atenuación mínima de 9 dB para evitar que se causen daños al detector.

Hay que señalar que las instalaciones típicas de sistemas presentarán al menos este grado de atenuación debida a la pérdida de fibra.

En caso de que exista el riesgo de que por causas accidentales se realice una transconexión inadecuada de transmisores de alta potencia (largo alcance) en circuitos diseñados para enlaces de baja potencia (corto alcance), deberían diseñarse en el sistema los correspondientes atenuadores o tampones ópticos.

CUADRO 10

**Aplicaciones de enlace de baja potencia (corto alcance) –
Umbrales de daño en el detector**

	Fibra monomodo		Fibra multimodo	
	Con potencia mínima a la salida	Con potencia máxima a la salida	Con potencia mínima a la salida	Con potencia máxima a la salida
Potencia a la salida (dBm)	-12	-3	-12	-3
Daños en el detector (dB)	1	1	1	1
Atenuación mínima requerida para evitar daños en el detector (dB)	0	0	0	0

CUADRO 11

**Aplicaciones de enlace de potencia media (alcance medio) –
Umbrales de daño en el detector**

	Fibra monomodo	
	Con potencia mínima a la salida	Con potencia máxima a la salida
Potencia a la salida (dBm)	-3	0
Daños en el detector (dB)	1	1
Atenuación mínima requerida para evitar daños en el detector (dB)	0	0

CUADRO 12

**Aplicaciones de enlace de elevada potencia (largo alcance) –
Umbrales de daño en el detector**

	Fibra monomodo	
	Con potencia mínima a la salida	Con potencia máxima a la salida
Potencia a la salida (dBm)	0	10
Daños en el detector (dB)	1	1
Atenuación mínima requerida para evitar daños en el detector (dB)	0	9

Apéndice G

Glosario de términos de fibra óptica

(Los términos que aquí se definen se utilizan en la Recomendación y las referencias normativas afines.)

Absorción: La parte de la atenuación óptica en una fibra óptica resultante de la conversión de potencia óptica en calor. Ocasionada por impurezas presentes en una fibra tales como iones de hidroxil, la absorción sólo surte efectos con ciertas longitudes de onda. Junto con la dispersión, la absorción es la causa principal de la atenuación en un guíaondas óptico.

Acoplador (acoplador óptico): Un componente óptico que se utiliza para dividir o combinar potencias de señal óptica. Ejemplos de acoplador: «divisores», «acopladores-T», «2×2», ó «1×2».

Acoplador T: Un acoplador con tres puertos.

Acoplador Y: Una variación en el acoplador T en la cual la luz entrante se divide en dos canales (típicamente un guíaondas plano) que se bifurca en forma de letra Y a partir de la entrada del acoplador.

Adaptador: Dispositivo mecánico diseñado para alinear y empalmar conectores ópticos de fibra. Suele denominarse también acoplador u obturador.

Anchura de banda: La frecuencia más baja posible a la cual la magnitud de la función de transferencia del guíaondas se reduce pasando a 3 dB (potencia óptica) por debajo de su valor de frecuencia cero. Esta reducción suele denominarse «anchura de banda 3 dB». Aunque la anchura de banda sea una función de la longitud del guíaondas, no puede ser directamente proporcional a dicha longitud.

Ángulo crítico: El ángulo mínimo con respecto al eje de la fibra al cual un rayo de luz puede quedar totalmente reflejado en la interfaz núcleo-revestimiento.

Ángulo de aceptación: La mitad del ángulo del cono dentro del cual toda la luz incidente es reflejada internamente por el núcleo de la fibra en la interfaz entre el núcleo y la cubierta. El ángulo de aceptación es igual a $\sin^{-1}(NA)$, donde NA es la apertura numérica.

Ángulo de incidencia: El ángulo formado por el rayo incidente y el perpendicular en una superficie reflectante.

Ángulo de lanzamiento: Ángulo comprendido entre la dirección de propagación de la luz incidente y el eje óptico de un guíaondas óptico.

APC: Abreviatura de «contacto físico angulado». Un tipo de conector de fibra óptica fabricado o pulido con un ángulo de 5° a 15° en la punta del conector para lograr el mínimo posible de retroreflexión.

Apertura numérica (NA): Medida de la gama de ángulos de la luz incidente transmitida a través de una fibra. La NA viene determinada por las diferencias del índice de refracción entre el núcleo y el revestimiento.

Atenuación: La reducción de la potencia óptica media en un guíaondas óptico. Las principales causas de la atenuación son la dispersión y la absorción, así como las pérdidas ópticas que se producen en los conectores y empalmes. Se expresa normalmente en decibelios dB. La atenuación (también conocida como pérdida) se formula de la siguiente forma: $x \text{ dB} = -10 \log_{10} (P_o/P_i)$, donde P_i es la potencia óptica medida a la entrada y P_o es la potencia óptica medida a la salida. Como P_o es inferior a P_i , se coloca un signo negativo antes del número 10 para que x adopte signo positivo.

Atenuador: Un elemento óptico pasivo que reduce la intensidad de la señal óptica que pasa a través de dicho elemento, sin afectar por ello a la señal.

BALANCE de enlace (balance de enlace óptico, balance de pérdida de enlace, balance de potencia): La gama de potencias ópticas a lo largo de la cual un enlace de fibra óptica se explotará con las especificaciones de calidad de funcionamiento especificadas. Se calcula restando la potencia óptica lanzada en una fibra óptica de la sensibilidad mínima del receptor óptico en el punto de extremo del enlace. Un balance de enlace da cuenta típicamente de todos los paneles y puentes interconectados en el sistema considerado y permite que el diseñador verifique su calidad de funcionamiento antes de su instalación.

BER (proporción de bits erróneos): En las aplicaciones digitales, se trata de la tasa de bits recibidos de manera errónea en relación con los bits enviados. En los sistemas de fibra óptica resultan típicas tasas de errores en los bits de un error por mil millones de bits (1×10^{-9}) enviados.

Cable plenum: Se trata de un cable de interiores resistente contra el fuego por lo cual puede instalarse directamente sin necesidad de utilizar conductos en espacios por donde circula el aire, por ejemplo, los que se encuentran encima de techos falsos y por debajo de suelos elevados.

Circuitos integrados fotoelectrónicos (OEIC): Circuitos que combinan las funciones electrónicas y ópticas en una sola microplaqueta.

Coeficiente de atenuación: La tasa de pérdida de potencia óptica con respecto a la distancia recorrida a lo largo de la fibra óptica, que se mide normalmente en decibeles por kilómetro (dB/km) a una longitud de onda dada. Mientras más baja sea esta tasa la fibra será de mejor calidad.

Componentes/circuitos ópticos integrados (IOC): Dispositivos ópticos externos que procesan la señal en la luz transmitida a través de guíaondas. Los IOC contienen guíaondas que estructuran y confinan la luz que se propaga en una región de una o dos dimensiones muy reducidas, del orden de la longitud de onda de la luz. En la fabricación de un IOC un material frecuentemente utilizado es el niobato de litio (LiNbO_2).

Conector de contacto físico: Un tipo de conector óptico que mantiene contacto físico entre fibras montadas en latiguillos, con el fin de reducir a un mínimo los efectos de la reflexión de Fresnel en las caras externas del conector.

Conector SC: Un tipo de conector utilizado en cables de fibra óptica que emplea una sección rectangular que lleva una sección rectangular de plástico moldeado. Consta de un mecanismo de bloqueo «empujar para insertar» y «tirar para retirar» en lugar de un acoplamiento mediante rosca, lo que impide una alineación defectuosa rotacional. Un «click» audible indica que el conector se ha accionado.

Conector ST: Un tipo de conector que se emplea en cable de fibra óptico y permite un acoplamiento con torsión por resorte y bloqueo similar al de los conectores BNC que se utilizan en el cable coaxial.

Corriente fotoeléctrica: La corriente que fluye a través de un dispositivo fotosensible, por ejemplo, un fotodiodo, como resultado de la exposición de este dispositivo a una potencia óptica.

Corriente oscura: La corriente externa que, en condiciones de polarización inversa, fluye en un fotodetector cuando éste no recibe radiación incidente.

Corriente umbral: La corriente impulsora por encima de la cual la amplificación de la onda de luz en un diodo de láser sobrepasa las pérdidas ópticas, lo que hace que se inicie la emisión simulada. La corriente umbral depende en gran medida de la temperatura.

Cubierta primaria: La cubierta de plástico que se aplica directamente a la superficie de la vaina de la fibra durante la fabricación para preservar la integridad de dicha superficie.

Decibel (dB): La unidad de medida estándar que expresa la ganancia o pérdida relativas de potencia óptica o eléctrica en una escala logarítmica con arreglo a la fórmula $dB = 10 \log_{10}(P_1/P_2)$, donde el cociente entre P_1 y P_2 es la relación entre dos niveles de potencia.

Detector: Un transductor que proporciona una corriente eléctrica de salida en respuesta a una potencia óptica incidente. El nivel de la corriente de salida depende de la cantidad de luz recibida y del tipo de dispositivo que se utilice.

Diodo de láser (LD): Diodo semiconductor que emite luz coherente cuando se polariza de forma directa por encima de la corriente umbral.

Diodo de láser de inyección (ILD): Un diodo de láser en el cual la emisión simulada que caracteriza este tipo de dispositivos tiene lugar en una unión de semiconductor preferentemente con polarización directa, por lo cual inyecta electrones y hoyos en la unión.

Diodo emisor de luz (LED): Un dispositivo semiconductor que emite luz incoherente a partir de una unión *p-n* cuando se polariza de forma directa. La luz puede salir del extremo de la tira de la unión o de su superficie, dependiendo de la estructura del dispositivo considerado.

Dispersión: La dispersión temporal de la señal en un guíaondas óptico. La dispersión está integrada por varios componentes: dispersión modal, dispersión material y dispersión de guíaondas. Como resultado de la dispersión del guíaondas óptico, éste filtra con paso bajo las señales transmitidas.

Dispersión cromática: Dispersión de un impulso de luz ocasionado por la diferencia entre índices de refracción a diferentes longitudes de onda. Esta dispersión reduce la anchura de banda efectiva de la fibra, haciendo variar los tiempos de subida/caída de las señales digitales en el receptor óptico.

Dispersión de Rayleigh: Dispersión debida a fluctuaciones del índice de refracción (por falta de homogeneidad en la densidad o composición del material), que son pequeñas si se comparan con la longitud de onda considerada.

Dispersión del guíaondas: El componente de dispersión cromática ocasionado por las diferentes velocidades a las que viaja la luz en el núcleo y el revestimiento de una fibra multimodo.

Dispersión material: Dispersión resultante de una variación de la velocidad de propagación como función de la longitud de onda en una fibra óptica.

Dispersión modal (dispersión multimodo): Dispersión del impulso debido a que los múltiples rayos de luz recorren diferentes distancias a distintas velocidades a lo largo de una fibra óptica.

Dispositivo fotoelectrónico: Cualquier aparato que funcione como un transductor eléctrico-óptico u óptico-eléctrico.

Distorsión intermodal: La distorsión de la forma de una onda en sistemas de fibras multimodo debido a la propagación de la luz en múltiples modos ópticos en tales sistemas y la subsiguiente dispersión temporal de la luz que se propaga en dichos modos.

Distorsión multimodo: La distorsión de la señal en un guíaondas óptico resultante de la superposición de modos con diferentes retardos.

Ducto interno: Un tubo de plástico flexible reforzado diseñado con la idea de:

- instalar conductos internos múltiples dentro de un conducto ancho,
- proteger físicamente un cable de fibra en una bandeja de cable o en una instalación subterránea, o
- conseguir la calificación de «plenum» para un cable de fibra óptica clasificado como «no plenum». El ducto interior es típicamente corrugado y tiene un color brillante para permitir una rápida detección ocular en una bandeja de cable o en una instalación subterránea.

Emisión espontánea: Emisión que se produce cuando hay demasiados electrones en la banda de conducción de un semiconductor. Estos electrones caen espontáneamente en lugares vacíos de la banda de valencia y emiten cada uno de ellos un fotón. La luz emitida es incoherente.

Emisión estimulada: Se trata de un fenómeno que se produce cuando los fotones en un semiconductor estimulan un exceso disponible de portadoras de carga, ocasionando así la emisión de más fotones. La luz emitida es idéntica en longitud de onda y fase a la luz coherente incidente.

Empalme: Unión permanente de dos guías de ondas ópticas.

Empalme de cabo: El resultado de acoplar dos fibras de manera permanente o semipermanente de extremo a extremo y sin utilizar para ello un conector.

Enlace de fibra óptica: Un cable de fibra óptica con conectores fijados a un transmisor (fuente) y un receptor (detector).

Factor de respuesta: La relación entre la salida y la entrada de un detector, relación que se mide normalmente en unidades de amperio por vatio (o microamperios por microvatio).

Fibra de compensación de la dispersión: Una fibra cuya dispersión es la opuesta a otras fibras en un sistema de transmisión, lo que compensa los efectos de dispersión de estas últimas fibras.

Fibra de dispersión desplazada: Un tipo de fibra monomodo diseñada para presentar una dispersión cero a proximidad del valor 1 550 nm. Este tipo de fibra se ajusta muy insuficientemente a las aplicaciones de DWDM, debido a su muy escasa linealidad en la longitud de onda con dispersión cero.

Fibra de índice escalonado: Una fibra que se caracteriza por un índice de refracción uniforme dentro del núcleo y una pronunciada reducción del índice de refracción en la interfaz núcleo/revestimiento.

Fibra de índice graduado: Una fibra óptica con un índice de refracción que es función parabólica de la distancia radial respecto al eje de la fibra y que decrece según se pasa del eje al revestimiento.

Fibra de lanzamiento: Una fibra que conecta un láser a un diodo emisor de luz a otra fibra, típicamente un cable puente.

Fibra de mantenimiento de la polarización: Fibra óptica monomodo que mantiene una sola polarización de la luz lanzada a lo largo de toda su longitud. Como este tipo de fibra no hace variar la polarización de la luz, presenta excelentes características de dispersión y resulta muy conveniente para transferir datos a velocidades muy elevadas.

Fibra monomodo: Fibra óptica con un pequeño diámetro nuclear en el cual un solo modo, el modo fundamental, es capaz de propagación. Ese tipo de fibra resulta particularmente adecuada para la transmisión en banda ancha a lo largo de grandes distancias, ya que su anchura de banda queda limitada únicamente por la dispersión cromática.

Fibra monomodo con dispersión desplazada no nula (NZDSF): Una fibra monomodo con dispersión desplazada que presenta un punto de dispersión cero a proximidad de la ventana de 1 550 nm y fuera de la ventana realmente utilizada para transmitir señales, lo que permite maximizar la anchura de banda de la fibra, minimizando al mismo tiempo los efectos no lineales de la fibra sobre la señal que se esté transmitiendo.

Fibra multimodo: Guía de ondas óptica cuyo diámetro nuclear es ancho en comparación con la longitud de onda óptica y en el cual más de un solo modo es capaz de propagación.

Fibra óptica: Cualquier filamento o fibra fabricado con materiales dieléctricos que guíe la luz.

Filtro modal: Utilizado en sistemas de fibra multimodo, un filtro modal extrae modos de orden elevado de la potencia en el extremo de lanzamiento, simulando así la distribución modal de la luz

en una fibra, como sería el caso si se midiera a lo largo de cientos de metros en la fibra. Esta distribución modal se denomina «distribución modal de equilibrio» y resulta útil cuando se prueban receptores ópticos, ya que elimina la necesidad de utilizar largos tramos de fibra en el banco de prueba del receptor.

Fluctuación de longitud de onda: Desplazamiento de la longitud de onda central en un diodo de láser, como consecuencia de la conexión y desconexión de este dispositivo en sistemas ópticos de fibra digital.

Fotodiodo de avalancha (APD): Fotodiodo diseñado para aprovechar la multiplicación por avalancha de la corriente fotoeléctrica. Cuando la tensión con polarización inversa en la unión de los dos electrodos se aproxima al nivel de tensión de ruptura, los pares electrón-hueco generados por los fotones absorbidos adquieren el nivel suficiente de energía para crear por choque con los iones nuevos pares de electrón-hueco, por lo cual se logra una multiplicación o ganancia de la señal.

Fotodiodo: Un diodo semiconductor que produce corriente fotoeléctrica mediante absorción de la luz. Los fotodiodos se utilizan para detectar la potencia óptica y convertirla en corriente eléctrica.

Fotodiodo PIN: Un diodo con una gran región intrínseca situada entre dos regiones de semiconducción: una con carga positiva y la otra con carga negativa. Los fotones que entran a la región intrínseca mencionada crean pares de electrones-hoyos y son barridos por una corriente polarizada, lo que genera una corriente eléctrica en el circuito de carga que varía en función de la intensidad de la luz incidente en la región intrínseca del diodo.

Fotón: Quantum de energía electromagnética.

Fuente de luz coherente: Una fuente luminosa en que la amplitud y las fases de todas las ondas son exactamente idénticas. Los láseres son ejemplos de fuentes luminosas coherentes.

Fuente: Los medios (normalmente diodos emisores de luz o láser) que se utilizan para convertir una señal que transforma información eléctrica en la correspondiente señal óptica, con miras a su transmisión mediante un guíaondas óptico.

Guiaondas: Sustancia que confina y guía una onda electromagnética que se propaga.

Guiaondas de luz: Sinónimo de fibra óptica.

Hilo aramídico: Elemento que proporciona fuerza tensil, apoyo y protección adicional a un paquete de fibras ópticas. Kevlar™ es una marca de hilo de aramida muy utilizado.

Índice de refracción: La relación de la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la misma en un medio denso desde el punto de vista óptico.

Índice de refracción (índice refractivo): La relación entre la velocidad de la luz en el espacio libre y la velocidad de la luz en una fibra óptica. El índice de refracción siempre es mayor o igual a uno.

Intensidad: El cuadrado de la intensidad de campo eléctrico de una onda electromagnética. La intensidad es proporcional a la irradiancia.

Irradiancia: La densidad de potencia de una fuente luminosa en una superficie radiante o en una sección transversal de un guíaondas óptico. La radiación se mide normalmente en vatios por centímetro cuadrado (W/cm^2).

Longitud de onda central: La longitud de onda central nominal de un láser o el punto central entre las dos longitudes de ondas de amplitud mitad de un diodo emisor de luz.

Longitud de onda de corte: La menor longitud de onda a la cual puede funcionar como tal la fibra monomodo.

Longitud de onda de cresta: La longitud de onda a la cual la potencia óptica de una fuente adopta un valor máximo.

Longitud de onda de dispersión nula (punto de dispersión nulo): En una fibra óptica monomodo, la longitud de onda a la cual la dispersión material y la dispersión del guíaondas se cancelan recíprocamente, igualándose así al punto en que la anchura de banda de la fibra se maximiza.

Luz: En los campos de comunicación por láser y óptica, la parte del espectro electromagnético que puede explotarse mediante las técnicas ópticas básicas que se utilizan para el espectro visible, que se extiende desde la región de aproximadamente 0,3 micras próxima a la ultravioleta hasta la región del medio infrarrojo de unas 30 micras.

Luz incoherente: A diferencia de los diodos de láser, que emiten luz coherente, los diodos emisores de luz emiten luz incoherente.

Macropliegue: Desviaciones axiales macroscópicas de una fibra con respecto a una línea recta que hacen que la luz salga de la fibra, lo que redundará en una atenuación óptica.

Manguito: Componente de una conexión de fibra óptica que mantiene rígidamente una fibra en su lugar y contribuye a su alineación.

Material con índice adaptado: Material -a menudo un líquido o un gel- cuyo índice de refracción es prácticamente igual al índice del núcleo. Dicho material puede utilizarse para reducir las reflexiones de Fresnel en una cara externa de la fibra.

Micra: Micrómetro (mm). Una millonésima de metro (1×10^{-6} m).

Micropliegue: Curvaturas de la fibra que entrañan desplazamientos axiales de unos cuantos micrómetros y longitudes de onda espaciales de unos cuantos milímetros. Los micropliegues hacen que la luz salga de la fibra y, por tanto, aumentan la atenuación de la fibra.

Modo: Una sola onda electromagnética que se propaga en un guíaondas óptico.

Modo fundamental: El modo de orden más bajo de un guíaondas óptico.

Modulación en intensidad: Una modalidad en modulación según la cual la intensidad de la potencia óptica de una fuente varía en función de la señal moduladora. La modulación en intensidad se utiliza con frecuencia en los sistemas de transmisión digital en los que los «unos» y los «ceros» digitales se señalan encendiendo y apagando un láser o un diodo de emisión de luz.

Multiplexación por división aproximada de longitud de onda (CWDM): La CWDM combina hasta ocho frecuencias de portadora óptica muy espaciadas en una sola fibra y tiene normalmente un costo más bajo que la multiplexación densa por división de longitud de onda, debido a las tolerancias menos estrictas de los láseres y los acopladores WDM.

Multiplexación por división de la longitud de onda (WDM): Transmisión simultánea de varias señales en un guíaondas óptico a distintas longitudes de onda.

Multiplexación por división en longitud de onda densa (DWDM): La DWDM combina un gran número de longitudes de onda muy poco espaciadas en la región de 1 550 nm en una sola fibra óptica. El espaciamiento de las longitudes de onda se especifica en 100 GHz o 200 GHz.

Nanómetro (nm): Una mil millonésima de metro (1×10^{-9} m).

Núcleo: La región central de una fibra óptica a través de la cual se transmite la luz y que tiene un índice de reflexión más elevado que el revestimiento que la rodea.

Onda de luz: Ondas electromagnéticas en la región de las frecuencias ópticas que se propagan en un sentido perpendicular al frente de ondas ópticas.

Pérdida de acoplamiento: La pérdida de potencia que se produce cuando la luz que pasa por un dispositivo óptico se acopla a la de otro.

Pérdida de curvatura: La atenuación que se produce en el lugar en que las fibras se curvan en torno a un pequeño radio.

Pérdida de inserción: La atenuación ocasionada por la inserción de un componente óptico, por ejemplo a un conector o a un acoplador, en un sistema de transmisión.

Pérdida de retorno: Véase «Reflectancia».

Pérdida de transmisión: La pérdida total que se produce al transmitir a través de un sistema.

Pérdidas extrínsecas: Pérdidas ocasionadas por imperfecciones en el conector mecánico de dos fibras o por la división de una fibra. Véase "Pérdidas intrínsecas".

Pérdidas intrínsecas: Pérdidas inherentes a los empalmes de fibras ópticas que son ocasionados por las pequeñísimas diferencias entre las fibras empalmadas. Véase «Pérdidas extrínsecas».

Potencia equivalente de ruido (NEP): El valor cuadrático medio de la potencia óptica que se requiere para producir una relación señal-ruido con un valor cuadrático medio de 1. La potencia equivalente de ruido indica el nivel de ruido que define el nivel mínimo detectable de la señal.

Preforma: Una estructura de vidrio de la cual puede extraerse un guíaondas de fibra óptica.

Producto anchura de banda-longitud: Este producto, que se utiliza con el fin de determinar la capacidad de la fibra para transferir una señal con una anchura de banda y a una distancia dadas, es igual al producto de la longitud de la fibra en kilómetros y la anchura de banda máxima 3 dB que la fibra puede sostener en MHz o GHz a una determinada longitud de onda óptica.

Puente: Cable de fibra óptica dotado con conectores y de longitud limitada. Los puentes se utilizan para interconectar equipos de fibra óptica y/o otros cables de fibra óptica.

Radiación monocromática: La radiación que consiste en una sola longitud de onda. En la práctica, la radiación nunca es perfectamente monocromática y en el mejor de los casos consiste en una banda estrecha de longitudes de onda.

Radio de curvatura: El radio más pequeño al cual puede curvarse la fibra óptica o el cable de fibra antes de que se produzca una atenuación excesiva o la fibra se rompa.

Rayo: Una representación geométrica del trayecto de la luz a través de un medio óptico; una línea perpendicular al frente de onda que indica la dirección del flujo de energía radiante.

Rayo axial: Un rayo de luz que pasa a lo largo del eje central de una fibra óptica.

Receptor: Un detector de circuitos electrónicos que transforma las señales ópticas en señales eléctricas.

Receptor PIN-FET: Receptor óptico con un fotodiodo PIN y un amplificador de ruido reducido con gran impedancia a su entrada, en cuya primera etapa se incorpora un transistor de efecto de campo (FET).

Reflectancia: La relación de la potencia retroreflejada y la potencia incidente en la unión/interfaz de un conector u otro componente o dispositivo, y que se mide normalmente en decibelios (dB). La reflectancia adopta valores negativos, por ejemplo, -30 dB. Un conector con una mejor reflectancia adoptaría un valor inferior a los -30 dB mencionados, por ejemplo, -40 dB. En la industria se utilizan los términos «pérdida de retorno», retroREFLEXIÓN y «reflexibilidad» para describir las reflexiones que se producen en un dispositivo, pero dichos términos se expresan en valores positivos.

Reflectómetro óptico temporal (OTDR): Dispositivo que prueba una fibra transmitiendo un impulso óptico a través de ésta y mide a su entrada la retrodispersión y la reflexiones resultantes en función del tiempo. Resulta útil estimar el coeficiente de atenuación en función de la distancia e identificar defectos y otras pérdidas localizadas.

Reflexión: El cambio abrupto de la dirección de un haz de luz que se produce en una interfaz entre dos medios diferentes, cambio que hace que el haz de luz regrese al medio en el que se originó.

Reflexión de Fresnel: La reflexión y la pérdida resultante, de una parte de la luz incidente en una superficie plana situada entre dos medios homogéneos con índices de refracción distintos. La reflexión de Fresnel se produce en las interfaces de aire/vidrio situadas en los extremos de entrada y salida de una fibra óptica. Las pérdidas máximas de reflexión de Fresnel en una interfaz aire/vidrio representa el 4% de la luz incidente.

Reflexión interna total: La reflexión total que se produce cuando la luz incide en una interfaz con ángulos de incidencia mayores que el ángulo crítico.

Refracción: La flexión de un rayo de luz en una interfaz situada entre dos medios distintos o un medio cuyo índice de refracción sea una función continua de la posición (medio con índice graduado).

Relación de acoplamiento: La relación porcentual de la potencia óptica de un puerto a la salida de un acoplador óptico en relación con la potencia total prevaleciente a la salida del acoplador óptico.

Relación de extinción: Por lo que hace a los diodos emisores de luz y a los diodos de láser, la relación de extinción es el cociente entre la potencia emitida por el diodo cuando envía una señal de nivel bajo (potencia mínima) y la potencia transmitida cuando el diodo envía una señal de nivel elevado (potencia máxima).

Repetidor: Un dispositivo o módulo electrónico que recibe una señal óptica, la convierte en forma eléctrica, la amplifica o la reconstruye, y la retransmite en forma óptica.

Retrodispersión: Proceso en virtud del cual una pequeña parte de la luz que se dispersa y es desviada de la dirección original de propagación en el guiaondas óptico experimenta una inversión de su sentido y se propaga directamente hacia atrás en dirección al transmisor.

Revestimiento: El material dieléctrico que rodea el núcleo de una fibra óptica. El revestimiento se caracteriza por un índice de refracción más reducido que el del material del núcleo, por lo cual atrapa la luz en el núcleo y hace que ésta pase a lo largo de la fibra.

Revestimiento AR: Recubrimiento contra la reflexión de la luz. Una película delgada dieléctrica o metálica que se aplica a una superficie óptica para reducir su reflectancia y, por tanto, aumentar su transmitancia.

Ruido modal: Perturbación producida por diodos de láser en fibras multimodo. Esta perturbación se produce cuando las fibras contienen elementos que presentan atenuación modal, debida, por ejemplo, a empalmes imperfectos, y varía en función de la coherencia de la luz del láser.

Sensibilidad del receptor: La potencia óptica mínima que se requiere en un receptor para obtener tasas aceptables de errores en los bits. Tratándose de la transmisión de la señal digital, la potencia óptica media se expresa normalmente en vatios o dBm (decibeles respecto a un milivatio).

Separador: Material utilizado con propósitos de aislamiento mecánico de la fibra óptica y para proteger a ésta de daños físicos. Entre las técnicas de fabricación que cabe citar en este sentido figura la separación mediante entubado ceñido o amplio así como la aplicación de varias capas de separación.

Separador de haz: Dispositivo que se utiliza para dividir o separar un haz óptico en dos o más haces.

Sobrecarga del receptor: La potencia óptica máxima permitida en un receptor para obtener tasas aceptables de errores en los bits. En el caso de la transmisión de una señal digital, la potencia óptica media se expresa normalmente en vatios o dBm (decibeles respecto a un milivatio).

Terminación helicoidal: Un tramo corto de fibra óptica que se utiliza para acoplar componentes ópticos. Por regla general, uno de sus extremos se fija al componente de que se trate y el otro a un conector.

Transmisor: Dispositivo y fuente de utilizar para transformar señales eléctricas en señales ópticas.

Umbral de daño en el detector: El nivel de potencia máxima garantizado que puede recibir el detector sin ser dañado.

UPC/SPC: Abreviatura de «contacto ultra físico/contacto súper físico». Se trata de un tipo de conector de fibra óptica fabricado o pulido con un acabado redondeado convexo, que permite que las fibras toquen un punto elevado cerca del núcleo de la fibra por donde pasa la luz.

Velocidad de datos: El número máximo de bits de información que puede transmitirse por segundo a través de un enlace de transmisión de datos. Suele expresarse en Megabits por segundo (Mbit/s) o Gigabits por segundo (Gbit/s).

Ventana: Término que remite a las gamas de longitudes de onda que satisfacen las propiedades de la fibra óptica. La gama de ventanas para las fibras ópticas son las siguientes: Primera ventana: de 820 a 850 nm, segunda ventana: 1 300 a 1 310 nm, tercera ventana: 1 550 nm.
