



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

**UIT-T**

SECTOR DE NORMALIZACIÓN  
DE LAS TELECOMUNICACIONES  
DE LA UIT

**G.957**

(03/93)

**SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS  
DE LÍNEA DIGITALES**

---

**INTERFACES ÓPTICAS PARA EQUIPOS  
Y SISTEMAS BASADOS EN LA JERARQUÍA  
DIGITAL SÍNCRONA**

**Recomendación UIT-T G.957**

(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.957, revisada 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	Introducción ..... 1
1.1	Abreviaturas..... 1
2	Clasificación de las interfaces ópticas ..... 1
3	Definiciones de los parámetros ..... 3
3.1	Gama de longitudes de onda de funcionamiento del sistema ..... 6
3.2	Transmisor ..... 7
3.3	Trayecto óptico ..... 8
3.4	Receptor ..... 10
4	Valores de los parámetros ópticos para aplicaciones de SDH ..... 11
5	Método de ingeniería óptica ..... 11
5.1	Hipótesis de diseño ..... 11
5.2	Método diseño del caso más desfavorable..... 11
5.3	Método de diseño estadístico ..... 12
5.4	Consideraciones para potenciar el sistema ..... 13
Anexo A	– Consideraciones sobre la longitud de onda de funcionamiento del sistema ..... 13
A.1	Gamas de longitud de onda de funcionamiento determinadas por la atenuación de la fibra ..... 13
A.2	Gamas de longitud de onda de funcionamiento determinadas por la dispersión de la fibra ..... 14
Apéndice I	– Medición de la plantilla del diagrama en ojo de la señal óptica transmitida..... 16
I.1	Montaje de medición ..... 16
I.2	Función de transferencia del receptor óptico de referencia ..... 17
Apéndice II	– Métodos de medición de las reflexiones..... 18
II.1	Reflectómetro óptico de onda continua ..... 19
II.2	Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo ..... 19
Apéndice III	– Posible método para evaluar la contribución del margen de envejecimiento en las especificaciones de sensibilidad del receptor ..... 20
III.1	Sensibilidad del receptor y apertura del ojo..... 20
III.2	Método de prueba <i>S/X</i> ..... 22
Apéndice IV	– Ejemplos de mejora del sistema ..... 24
Referencia	..... 25



# INTERFACES ÓPTICAS PARA EQUIPOS Y SISTEMAS BASADOS EN LA JERARQUÍA DIGITAL SÍNCRONA

(Ginebra, 1990; revisada en Helsinki, 1993)

## 1 Introducción

La presente Recomendación se refiere a las especificaciones de los parámetros de la interfaz óptica para los equipos y sistemas que admiten la jerarquía digital síncrona (SDH) definida en las Recomendaciones G.707, G.708 y G.709 y que funcionan en fibras ópticas monomodo conformes a las Recomendaciones G.652, G.653 y G.654.

El propósito de esta Recomendación es suministrar las especificaciones de interfaces ópticas de los equipos de SDH, descritos en las Recomendaciones G.782 y G.783 y de los sistemas de línea, descritos en la Recomendación G.958, para lograr la compatibilidad transversal (multivendedor) en secciones de cable elementales, es decir, la posibilidad de combinar en una sola sección de fibra óptica equipos procedentes de diversos fabricantes. Sin embargo, también se pretende que las especificaciones de la presente Recomendación estén conformes con la Recomendación G.955 que prevé la compatibilidad longitudinal de equipos de nivel jerárquico y aplicación comparables.

Esta Recomendación se basa en el uso de una fibra óptica para cada dirección. Cualquier otra disposición óptica puede exigir especificaciones diferentes y queda en estudio.

### 1.1 Abreviaturas

A los efectos de esta Recomendación, se utilizan las siguientes abreviaturas:

BER	Tasa de errores en los bits ( <i>bit error ratio</i> )
EX	Relación de extinción ( <i>extinction ratio</i> )
LED	Diodo fotoemisor ( <i>light-emitting diode</i> )
MLM	Modo multilongitudinal ( <i>multi-longitudinal mode</i> )
NA	No aplicable ( <i>not applicable</i> )
NRZ	Sin retorno a cero ( <i>non-return to zero</i> )
ORL	Pérdida de retorno óptica ( <i>optical return loss</i> )
RMS	Valor eficaz; valor cuadrático medio ( <i>root-mean-square</i> )
SDH	Jerarquía digital síncrona ( <i>synchronous digital hierarchy</i> )
SLM	Modo monolongitudinal ( <i>single-longitudinal mode</i> )
STM	Módulo de transporte síncrono ( <i>synchronous-transport module</i> )
UI	Intervalo unitario ( <i>unit interval</i> )
WDM	Multiplexación por división de longitud de onda ( <i>wavelength-division multiplexing</i> )

## 2 Clasificación de las interfaces ópticas

Cabe esperar que se utilicen cables de fibra óptica en los sistemas basados en la SDH para el transporte intercentrales entre estaciones y en las operaciones intracentrales para la conexión de los diversos equipos ubicados en una misma estación. Mediante la adecuada combinación de transmisores y receptores pueden obtenerse balances de potencia para los sistemas de línea de fibra óptica optimizados, en términos de atenuación/dispersión y costes con respecto a las diversas aplicaciones. Sin embargo, para simplificar el desarrollo de los sistemas con compatibilidad transversal, conviene limitar el número de categorías de aplicaciones y los correspondientes conjuntos de especificaciones de interfaces ópticas para la normalización.

Como se muestra en el Cuadro 1, en la presente Recomendación se contemplan tres amplias categorías de aplicación:

- intracentrales, correspondiente a distancias de interconexiones inferiores a 2 km aproximadamente;
- intercentrales a corta distancia, correspondiente a distancias de interconexión de 15 km aproximadamente;
- intercentrales a larga distancia, correspondiente a distancias de interconexión de 40 km aproximadamente en la ventana de 1310 nm y de 60 km aproximadamente en la ventana de 1550 nm.

CUADRO 1/G.957

**Clasificación de las interfaces ópticas basada en la aplicación e indicando los códigos de aplicación**

Aplicación	Intra-centrales	Intercentrales					
		Corta distancia		Larga distancia			
Longitud de onda nominal de la fuente (nm)	1310	1310	1550	1310	1550		
Tipo de fibra	Rec. G.652	Rec. G.652	Rec. G.652	Rec. G.652	Rec. G.652 Rec. G.654	Rec. G.653	
Distancia (km) <sup>a)</sup>	≤ 2	~ 15		~ 40	~ 60		
Nivel STM	STM-1	I-1	S-1.1	S-1.2	L-1.1	L-1.2	L-1.3
	STM-4	I-4	S-4.1	S-4.2	L-4.1	L-4.2	L-4.3
	STM-16	I-16	S-16.1	S-16.2	L-16.1	L-16.2	L-16.3
a) Estas distancias objetivo se utilizan a efectos de clasificación y no de especificación.							

Dentro de cada categoría es posible considerar la utilización de fuentes de 1310 nm nominales en fibras ópticas conformes a la Recomendación G.652 o fuentes de 1550 nm en fibras ópticas conformes a las Recomendaciones G.652, G.653 o G.654. La presente Recomendación trata ambas posibilidades para las dos aplicaciones intercentrales y considera únicamente las fuentes de 1310 nm nominales para la aplicación intracentrales en fibras ópticas conformes a la Recomendación G.652. Dado que las características globales del sistema y los valores especificados de los parámetros ópticos dependen generalmente de la velocidad binaria del sistema, conviene clasificar las interfaces ópticas de la SDH basadas en las aplicaciones consideradas en esta Recomendación, utilizando el conjunto de códigos de aplicación mostrado en el Cuadro 1. El código de aplicación se establece de la forma siguiente:

Aplicación – Nivel STM – Número de sufijo

siendo las designaciones de aplicación: I (intracentrales), S (corta distancia) o L (larga distancia); y siendo el número de sufijo uno de los siguientes:

- (en blanco) o 1 para indicar fuentes de longitud de onda nominal de 1310 nm en fibras ópticas conformes a la Recomendación G.652;
- 2 para indicar fuentes de longitud de onda nominal de 1550 nm en fibras ópticas conformes a la Recomendación G.652 para aplicaciones de corta distancia y en fibras conformes a las Recomendaciones G.652 o G.654 para aplicaciones de larga distancia;
- 3 para indicar fuentes de longitud de onda nominal de 1550 nm en fibras ópticas conformes a la Recomendación G.653.

NOTA – El empleo del término intracentrales no significa que se excluya cualesquiera otras aplicaciones coherentes con el conjunto de parámetros ópticos especificados (por ejemplo, la interfaz de usuario-red de la RDSI de banda ancha – especificación de la capa física definida en la Recomendación I.432).

Las distancias elegidas para los códigos de aplicación del Cuadro 1 se basan en valores de parámetros que puedan obtenerse con la tecnología actual y que se estima que se adaptan a las necesidades de la red. Los códigos de aplicación intracentrales e intercentrales a corta distancia se han propuesto como realizaciones de equipos de bajo coste. Los códigos de aplicación para larga distancia propuestos tienen por objeto lograr la máxima distancia entre repetidores manteniéndose siempre dentro de los límites establecidos por la tecnología actual y por el objetivo de compatibilidad transversal. Las distancias propuestas permiten potenciar los actuales sistemas explotando la región de 1550 nm. Las distancias que figuran en el Cuadro 1 representan las distancias máximas aproximadas entre repetidores. Pueden obtenerse límites de distancia específicos que concuerdan con los límites de atenuación que aparecen en los Cuadros 2 a 4, pero que incluyen las asignaciones correspondientes para conectores adicionales u otros márgenes considerando los valores máximos de atenuación y dispersión de la fibra para cada aplicación mostrada en los Cuadros 2 a 4.

### 3 Definiciones de los parámetros

A efectos de la presente Recomendación, las interfaces del sistema de línea de fibra óptica pueden representarse como se indica en la Figura 1. La Recomendación G.958 contiene configuraciones de referencia más específicas que relacionan las especificaciones de la presente Recomendación con sistemas de línea ópticos reales basados en la jerarquía digital síncrona. En la Figura 1, el punto S es un punto de referencia de la fibra óptica situado inmediatamente después del conector óptico ( $C_{TX}$ ) del transmisor y el punto R es un punto de referencia situado en la fibra óptica inmediatamente antes del conector óptico ( $C_{RX}$ ) del receptor. Si se utilizan conectores adicionales en un repartidor, se considera que forman parte del enlace de fibra óptica y que están situados entre los puntos S y R. En la presente Recomendación, se especifican los parámetros ópticos para el transmisor en el punto S, para el receptor en el punto R y para el trayecto óptico entre los puntos S y R.

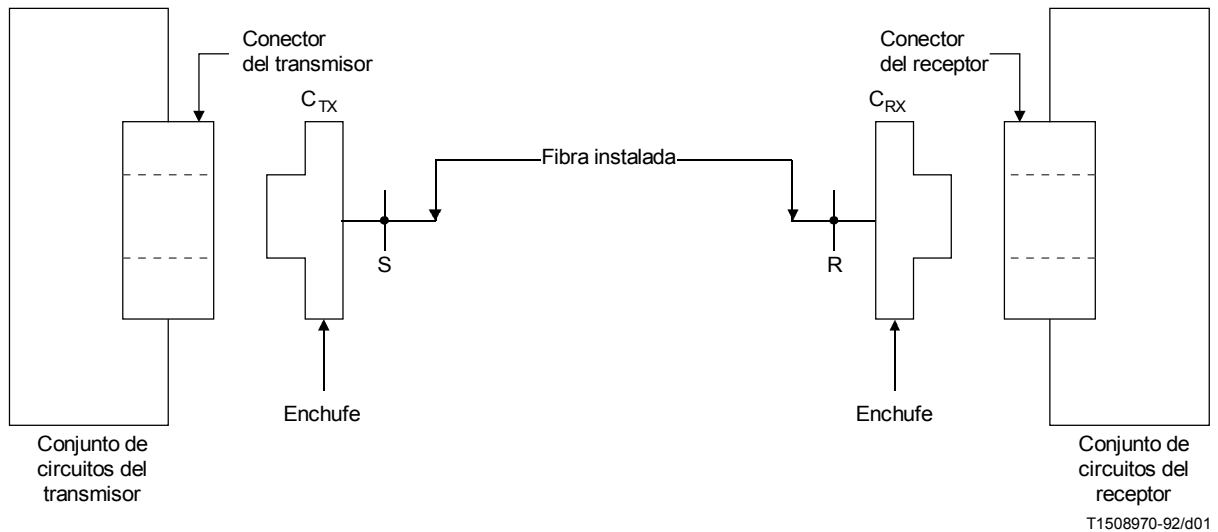


FIGURA 1/G.957

#### Representación de las interfaces del sistema de línea de fibra óptica

Todos los valores de parámetros especificados son valores del caso más desfavorable que se supone se cumplen en toda la gama de condiciones de funcionamiento normalizado (es decir, gamas de temperatura y humedad) e incluyen los efectos de envejecimiento. Deben realizarse más estudios sobre estas condiciones y efectos. Los parámetros se especifican con respecto a un objetivo de diseño de sección óptica de una tasa de errores en los bits (BER) no superior a  $1 \times 10^{-10}$  para el caso extremo de las condiciones de atenuación y dispersión del trayecto óptico en cada aplicación del Cuadro 1.

La codificación de línea óptica utilizada para todas las interfaces del sistema es binaria sin retorno a cero (NRZ), aleatorizada conforme a la Recomendación G.709.

CUADRO 2/G.957

Parámetros especificados para las interfaces ópticas STM-1

	Unidad	Valores													
		I-1	S-1.1	S-1.2	L-1.1	L-1.2	L-1.3								
Señal digital		STM-1 de acuerdo con las Recomendaciones G.707 y G.958													
Velocidad binaria nominal	kbit/s	155 520													
Código de aplicación (Cuadro 1)		1260 <sup>a)</sup> -1360		1430-1576		1430-1580		1280-1335		1480-1580		1534-1566/ 1508-1580		1480-1580	
Gama de longitudes de onda de funcionamiento	nm	1260 <sup>a)</sup> -1360		1430-1576		1430-1580		1280-1335		1480-1580		1534-1566/ 1508-1580		1480-1580	
Transmisor en el punto de referencia S		1260 <sup>a)</sup> -1360		1430-1576		1430-1580		1280-1335		1480-1580		1534-1566/ 1508-1580		1480-1580	
Tipo de fuente		LED													
Características espectrales															
- anchura eficaz máxima ( $\sigma$ )	nm	80													
- anchura a -20 dB máxima	nm	-		-		-		-		-		-		-	
- relación de supresión de modo lateral mínima	dB	-		-		-		-		-		-		-	
Potencia inyectada media															
- máxima	dBm	-8		-8		-8		0		0		0		0	
- mínima	dBm	-15		-15		-15		-5		-5		-5		-5	
Relación de extinción mínima	dB	8,2		8,2		8,2		10		10		10		10	
Trayecto óptico entre S y R															
Gama de atenuación	dB	0-7		0-12		0-12		10-28		10-28		10-28		10-28	
Dispersión máxima	ps/nm	18		25		296		185		185		185/296		185/296	
Pérdida de retorno óptico mínima de la planta de cable en el punto S, incluidos todos los conectores	dB	NA		NA		NA		NA		NA		NA		NA	
Reflectancia discreta máxima entre S y R	dB	NA		NA		NA		NA		NA		NA		NA	
Receptor en el punto de referencia R															
Sensibilidad mínima	dBm	-23		-28		-28		-34		-34		-34		-34	
Sobrecarga mínima	dBm	-8		-8		-8		-10		-10		-10		-10	
Penalización máxima en el trayecto óptico	dB	1		1		1		1		1		1		1	
Reflectancia máxima del receptor medida en el punto R	dB	NA		NA		NA		NA		NA		NA		NA	

a) Algunas Administraciones pueden requerir un límite de 1270 nm.



CUADRO 3/G.957

Parámetros especificados para las interfaces ópticas STM-4

	Unidad	Valores						
		STM-4 de acuerdo con las Recomendaciones G.707 y G.958						
Señal digital	kbit/s	622 080						
Velocidad binaria nominal								
Código de aplicación (Cuadro 1)		I-4	S-4.1	S-4.2	L-4.1	L-4.2	L-4.3	
Gama de longitudes de onda de funcionamiento	nm	1261 <sup>a)</sup> -1360	1293-1334/ 1274-1356	1430-1580	1300-1325/ 1296-1330	1480-1580	1480-1580	
Transmisor en el punto de referencia S								
Tipo de fuente		MLM	LED	SLM	MLM	SLM	SLM	
Características espectrales								
– anchura eficaz máxima ( $\sigma$ )	nm	14,5	35	–	2,0/1,7	–	–	
– anchura a –20 dB máxima	nm	–	–	1	–	1	1	
– relación de supresión de modo lateral mínima	dB	–	–	30	–	30	30	
Potencia inyectada media								
– máxima	dBm	–8	–8	–8	–8	+2	+2	
– mínima	dBm	–15	–15	–15	–15	–3	–3	
Relación de extinción mínima	dB	8,2	8,2	8,2	8,2	10	10	
Trayecto óptico entre S y R								
Gama de atenuación	dB	0-7	0-7	0-12	10-24	10-24	10-24	
Dispersión máxima	ps/nm	13	14	NA	92/109	b)	NA	
Pérdida de retorno óptico mínima de la planta de cable en el punto S, incluidos todos los conectores	dB	NA	NA	24	20	24	20	
Reflectancia discreta máxima entre S y R	dB	NA	NA	–27	–25	–27	–25	
Receptor en el punto de referencia R								
Sensibilidad mínima	dBm	–23	–23	–28	–28	–28	–28	
Sobrecarga mínima	dBm	–8	–8	–8	–8	–8	–8	
Penalización máxima en el trayecto óptico	dB	1	1	1	1	1	1	
Reflectancia máxima del receptor medida en el punto R	dB	NA	NA	–27	–14	–27	–14	

a) Algunas Administraciones pueden requerir un límite de 1270 nm.

b) Véase 3.2.2.

**Parámetros especificados para las interfaces ópticas STM-16**

	Unidad	Valores					
Señal digital Velocidad binaria nominal	kbit/s	STM-16 de acuerdo con las Recomendaciones G.707 y G.958 2 488 320					
Código de aplicación (Cuadro 1)		I-16	S-16.1	S-16.2	L-16.1	L-16.2	L-16.3
Gama de longitudes de onda de funcionamiento	nm	1266 <sup>a)</sup> -1360	1260 <sup>a)</sup> -1360	1430-1580	1280-1335	1500-1580	1500-1580
Transmisor en el punto de referencia S							
Tipo de fuente		MLM	SLM	SLM	SLM	SLM	SLM
Características espectrales							
– anchura eficaz máxima ( $\sigma$ )	nm	4	–	–	–	–	–
– anchura a –20 dB máxima	nm	–	1	< 1 <sup>b)</sup>	1	< 1 <sup>b)</sup>	< 1 <sup>b)</sup>
– relación de supresión de modo lateral mínima	dB	–	30	30	30	30	30
Potencia inyectada media							
– máxima	dBm	–3	0	0	0	+1	0
– mínima	dBm	–10	–5	–5	–5	–4	–5
Relación de extinción mínima	dB	8,2	8,2	8,2	10	8,2	10
Trayecto óptico entre S y R							
Gama de atenuación	dB	0-7	0-12	0-12	10-20	10-20	10-20
Dispersión máxima	ps/nm	12	NA	<sup>b)</sup>	NA	1194 <sup>b)</sup>	<sup>b)</sup>
Pérdida de retorno óptico mínima de la planta de cable en el punto S, incluidos todos los conectores	dB	24	24	24	24	24	24
Reflectancia discreta máxima entre S y R	dB	–27	–27	–27	–27	–27	–27
Receptor en el punto de referencia R							
Sensibilidad mínima	dBm	–18	–18	–18	–26	–26	–26
Sobrecarga mínima	dBm	–3	0	0	–10	–9	–10
Penalización máxima en el trayecto óptico	dB	1	1	1	1	2	1
Reflectancia máxima del receptor medida en el punto R	dB	–27	–27	–27	–27	–27	–27
a) Algunas Administraciones pueden requerir un límite de 1270 nm. b) Véase 3.2.2.							

**3.1 Gama de longitudes de onda de funcionamiento del sistema**

Para proporcionar flexibilidad en la realización de sistemas con compatibilidad transversal y hacer posible una futura utilización de multiplexación por división de longitud de onda (WDM), conviene admitir una gama lo más amplia posible de longitudes de onda de funcionamiento del sistema. La elección de la gama de longitud de onda de funcionamiento para cada una de las aplicaciones que figuran en el Cuadro 1 depende de diversos factores, incluido el tipo de fibra, las características de la fuente, la gama de atenuación del sistema y la dispersión del trayecto óptico. En la presente Recomendación, la especificación de las gamas de longitud de onda de funcionamiento es afectada por las siguientes consideraciones generales. En el Anexo A figuran más detalles sobre la descripción de los aspectos de los sistemas utilizados para establecer los requisitos de la gama de longitudes de onda de funcionamiento en la presente Recomendación.

Las regiones de longitud de onda que permiten el funcionamiento del sistema son parcialmente determinadas por los valores de longitud de onda de corte de la fibra o del cable de fibra. Para las fibras conformes a las Recomendaciones G.652 y G.653 estos valores se han elegido de tal forma que permitan el funcionamiento monomodo del cable de fibra para longitudes de onda de 1270 nm y superiores, si bien algunas Administraciones permiten valores tan bajos como 1260 nm. Para los cables de fibra conformes a la Recomendación G.654, se han propuesto valores de longitud de onda de corte para el funcionamiento monomodo de 1525 nm (provisional) y superiores.

Las regiones de longitud de onda admisibles vienen definidas además por la atenuación de la fibra. Si bien la atenuación por dispersión intrínseca disminuye normalmente al aumentar la longitud de onda, puede aparecer la absorción OH-iónica alrededor de 1385 nm y, en menor medida, alrededor de 1245 nm. Por consiguiente, estas crestas de absorción y la longitud de onda de corte definen una región de longitudes de onda centrada alrededor de 1310 nm. Las fibras con dispersión no desplazada conformes a la Recomendación G.652 están optimizadas para su utilización en esta región de longitudes de onda. Para longitudes de onda mayores, la atenuación por flexión aparece para valores de 1600 nm o superiores y la absorción infrarroja aparece más allá de 1600 nm. Por consiguiente, estas atenuaciones y la cresta de absorción de vapor de agua que aparece a 1385 nm definen una segunda región de longitudes de onda de funcionamiento alrededor de 1550 nm. La Recomendación G.654 para fibras con pérdidas optimizadas se limita únicamente a esta región. Sin embargo, las fibras conformes a la Recomendación G.652 y las fibras con dispersión desplazada conformes a la Recomendación G.653 pueden utilizarse en esta región.

Además de los valores de longitud de onda de corte y de atenuación que determinan las regiones de longitudes de onda de funcionamiento de un modo general, las gamas de longitudes de onda permisibles son determinadas por la interacción de la dispersión de la fibra con las características espectrales del transmisor. Parte de esta gama puede encontrarse dentro o fuera de la gama de longitudes de onda determinada por la atenuación. La superposición de ambas gamas es la gama de longitudes de onda admisibles para el funcionamiento del sistema.

En el caso de redes SDH que utilizan amplificadores de fibra óptica, podría ser necesario limitar las longitudes de onda de funcionamiento de los futuros sistemas de larga distancia.

## **3.2 Transmisor**

### **3.2.1 Tipo de fuente nominal**

Dependiendo de las características de atenuación/dispersión y del nivel jerárquico de cada aplicación del Cuadro 1, los posibles dispositivos transmisores son los diodos fotoemisores (LED, *light emission diode*), los láseres de modo multilongitudinal (MLM) y los láseres de modo monolongitudinal (SLM). Para cada una de las aplicaciones, la presente Recomendación señala un tipo de fuente nominal. Queda entendido que la indicación de un tipo de fuente nominal en esta Recomendación no constituye una exigencia; que los dispositivos SLM pueden emplearse en sustitución en cualquier aplicación que tenga como tipo de fuente nominal un LED o un MLM y que los dispositivos MLM pueden emplearse en cualquier aplicación que tenga como tipo de fuente nominal un LED sin que se produzca ninguna degradación en el comportamiento del sistema.

### **3.2.2 Anchura espectral**

Para los LED y los láseres MLM, la anchura espectral viene especificada por el valor RMS máximo de la anchura en condiciones de funcionamiento normalizado. Se entiende por valor o anchura RMS la desviación típica ( $\sigma$ ) de distribución espectral. El método de medición del valor RMS de la anchura debería tener en cuenta todos los modos que se encuentran a no más de 20 dB por debajo del modo de cresta.

Para láseres SLM, la anchura espectral máxima viene especificada por la anchura total máxima de la cresta de la longitud de onda central, medida 20 dB por debajo de la amplitud máxima de la longitud de onda central en condiciones de funcionamiento normalizado. Además, para el control del ruido de partición de modo en los sistemas SLM, se especifica un valor mínimo para la relación de supresión de modo lateral del láser.

En la actualidad no hay ningún método fiable acordado para la estimación de las penalizaciones de dispersión causadas por la fluctuación del láser y la relación de supresión de modo lateral finito para los láseres SLM. Debido a esta circunstancia, las anchuras espectrales del láser SLM y los valores máximos de dispersión de la fibra para las aplicaciones L-4.2, S-16.2, L-16.2, y L-16.3 están en estudio. Mientras no se complete este estudio no puede garantizarse la compatibilidad transversal de estos sistemas.

Las indicaciones actuales apuntan a que las definiciones de anchura espectral basadas en mediciones espectrales promediadas en el tiempo puedan proporcionar criterios necesarios, pero no suficientes, para dispositivos SLM. No obstante, combinados con pruebas adicionales tales como la indicada a continuación, esos criterios podrían resultar adecuados.

Es posible que sea necesario especificar con mayor exactitud las características dinámicas del láser, especialmente en sistemas de larga distancia. Ello incluye los métodos de medición asociados. Un posible método es una prueba de transmisión de fibra cuya configuración consiste en el transmisor que está siendo probado, las fibras de prueba con una dispersión máxima especificada para la longitud máxima del sistema y un receptor de referencia. Las características dinámicas del transmisor pueden evaluarse mediante una medición de la tasa de errores en los bits.

El método anterior podría adaptarse también a efectos de prueba de aceptación del láser. De este modo, el láser se evaluaría por incorporación en el transmisor de un sistema de transmisión emulado. Los láseres con características espectrales aceptables se identificarían en base a unas características de error satisfactorias del sistema emulado. Cualquier configuración de ese tipo, prevista para su utilización por los fabricantes de láseres, debería ponerse a disposición en una forma que permitiera su calibración periódica y, si fuere necesario, su reparación por un suministrador de equipo de prueba. Estos y otros métodos de caracterización del funcionamiento dinámico del láser quedan en estudio.

### 3.2.3 Potencia inyectada media

La potencia inyectada media en el punto de referencia S es la potencia media de una secuencia de datos pseudoaleatorios acoplada a la fibra mediante el transmisor. Se expresa como una gama para permitir una cierta optimización de los costes y tener en cuenta los márgenes de explotación en condiciones de funcionamiento normalizadas, las degradaciones del conector del transmisor, las tolerancias en las mediciones y los efectos de envejecimiento. Estos valores permiten determinar los valores de sensibilidad y el punto de sobrecarga para el receptor en el punto de referencia R.

Quedan en estudio la posibilidad de obtener diseños de sistemas económicos para aplicaciones de larga distancia que utilizan láseres no refrigerados con valores máximos de la potencia inyectada media que rebasan los que figuran en los Cuadros 2 a 4 y que requieren atenuadores ópticos externos eliminables en secciones de bajas pérdidas.

En caso de que se produzca una avería en el equipo transmisor, por consideraciones de seguridad de la fibra óptica y del láser de acuerdo con [1], debe limitarse la potencia inyectada y el máximo tiempo de exposición posible del personal.

### 3.2.4 Relación de extinción

El convenio adoptado para el nivel lógico óptico es el siguiente:

- la emisión de luz se representa por un «1» lógico,
- la ausencia de emisión se representa por un «0» lógico.

La relación de extinción ( $EX$ ) se define como:

$$EX = 10 \log_{10} (A/B)$$

donde  $A$  es el nivel medio de potencia óptica para un «1» lógico y  $B$  es el nivel medio de potencia óptica para un «0» lógico. Los métodos de medición de la relación de extinción están en estudio.

### 3.2.5 Plantilla del diagrama en ojo

En la presente Recomendación, las características generales de la forma del impulso del transmisor, incluido el tiempo de establecimiento, el tiempo de caída, el sobreimpulso, la suboscilación y la sobreoscilación se especifican en forma de plantilla del diagrama en ojo del transmisor en el punto S, todas estas características deben controlarse para evitar una degradación excesiva de la sensibilidad del receptor. Para evaluar la señal transmitida, es importante considerar además de la abertura del ojo, las limitaciones de sobreimpulso y suboscilación. En la Figura 2 aparecen los parámetros que especifican la plantilla del diagrama en ojo del transmisor. En el Apéndice I se consideran los montajes de medida para determinar la plantilla del diagrama en ojo de la señal óptica transmitida.

## 3.3 Trayecto óptico

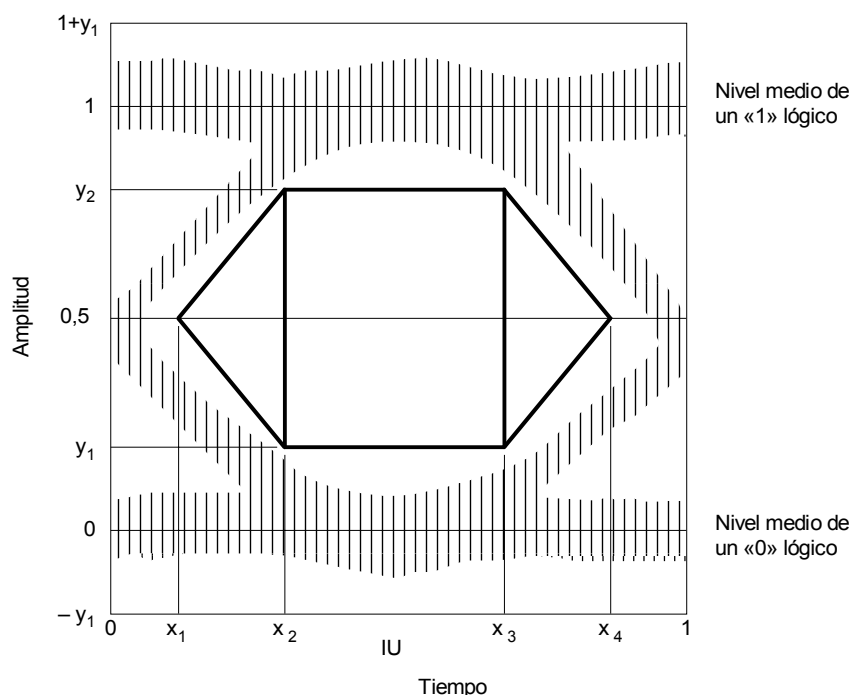
Para asegurar el adecuado comportamiento del sistema en cada una de las aplicaciones consideradas en el Cuadro 1 es necesario especificar las características de atenuación y dispersión del trayecto óptico entre los puntos de referencia S y R.

### 3.3.1 Atenuación

En la presente Recomendación, la atenuación para cada aplicación se especifica como una gama, característica de las distancias de aplicación indicadas en términos generales en el Cuadro 1. Sin embargo, para proporcionar flexibilidad en la realización de sistemas con compatibilidad transversal, en la presente Recomendación se admite una cierta superposición en las gamas de atenuación entre aplicaciones intracentrales y aplicaciones intercentrales de corta distancia y entre aplicaciones intercentrales de corta distancia y aplicaciones intercentrales de larga distancia. Se supone que las especificaciones de atenuación son los valores del caso más desfavorable incluidas las pérdidas de los empalmes, los conectores, atenuadores ópticos (de ser necesarios) o de otros dispositivos ópticos pasivos, así como todo margen del cable adicional para tener en cuenta:

- 1) las futuras modificaciones en la configuración del cable (empalmes adicionales, aumento de la longitud del cable, etc.);

- 2) las variaciones en el comportamiento del cable de fibra debido a factores del entorno; y
- 3) la degradación de algún conector, atenuador óptico (de ser necesarios) o de otro dispositivo óptico pasivo entre los puntos S y R, en caso de existir.



	STM-1	STM-4
$x_1/x_4$	0,15/0,85	0,25/0,75
$x_2/x_3$	0,35/0,65	0,40/0,60
$y_1/y_2$	0,20/0,80	0,20/0,80

	STM-16
$x_3 - x_2$	0,2
$y_1/y_2$	0,25/0,75

T1508980-92/d02

NOTA – En el caso de STM-16,  $x_2$  y  $x_3$  de la plantilla rectangular del diagrama en ojo no tienen que ser por fuerza equidistantes de los ejes verticales respectivos a 0 IU y 1 IU. La desviación posible debe ser objeto de estudio. Dado las frecuencias utilizadas en los sistemas STM-16 y la consiguiente dificultad en realizar este filtro, puede ser necesario revisar ligeramente los valores de los parámetros de STM-16 de acuerdo con la experiencia obtenida.

FIGURA 2/G.957

### Plantilla del diagrama en ojo de la señal óptica transmitida

#### 3.3.2 Dispersión

En los Cuadros 2 a 4 se especifican los valores máximos de dispersión (ps/nm) para los sistemas que se consideran limitados por este parámetro. Estos valores concuerdan con las penalizaciones de trayecto óptico máximas especificadas (por ejemplo, 2 dB para la aplicación L-16.2 y 1 dB para el resto de las aplicaciones). En dichos valores se tiene en cuenta el tipo de transmisor especificado y el coeficiente de dispersión de la fibra en toda la gama de longitudes de onda de funcionamiento.

Para los sistemas que se consideran limitados por la atenuación no se han especificado valores de dispersión máxima y se indican en los Cuadros 2 a 4 con la inscripción NA (no aplicable).

### 3.3.3 Reflexiones

Las reflexiones están causadas por las discontinuidades del índice de refracción a lo largo del trayecto óptico. Si no se controlan, pueden degradar el comportamiento del sistema mediante su efecto perturbación sobre el funcionamiento del láser o mediante reflexiones múltiples que provocan ruido interferométrico en el receptor. En la presente Recomendación, las reflexiones en el trayecto óptico se controlan especificando:

- la pérdida de retorno óptica (ORL) mínima de la planta de cable en el punto S, incluidos todos los conectores, y
- la reflectancia discreta máxima entre los puntos S y R.

Los posibles efectos de las reflexiones en el funcionamiento de fibras únicas que emplean acopladores direccionales no se han considerado en la presente Recomendación y quedan aún en estudio.

En el Apéndice II se describen los métodos de medición de las reflexiones. Para medir la reflectancia y las pérdidas de retorno, se hace coincidir a los puntos S y R con la cara exterior de cada enchufe del conector (véase la Figura 1). Es sabido que esto no incluye la característica real de reflexión de los conectores respectivos en el sistema operacional. Se supone que estas reflexiones tienen el valor nominal de la reflexión para el tipo específico de conector utilizado.

El número máximo de conectores o de otros puntos de reflexión discreta que pueden incluirse en el trayecto óptico (por ejemplo, para repartidores o componentes de WDM) debe ser tal que permita obtener el valor especificado de pérdidas de retorno óptico globales. Si esto no puede lograrse utilizando conectores con la reflexión discreta máxima indicada en los Cuadros 2 a 4, deben utilizarse conectores con una mejor característica de reflexión. Como otra posibilidad, debe reducirse el número de conectores. También puede que sea necesario limitar el número de conectores o utilizar conectores con una característica de reflectancia mejorada para evitar degradaciones inaceptables debido a reflexiones múltiples. Tales efectos pueden ser particularmente significativos en los sistemas de larga distancia STM-16 y STM-4.

En los Cuadros 2 a 4, el valor de  $-27$  dB de reflectancia discreta máxima entre los puntos S y R tiene por objeto reducir al mínimo los efectos de las reflexiones múltiples (por ejemplo, el ruido interferométrico). En los Cuadros 3 y 4, el valor de  $-27$  dB para la reflectancia del receptor máxima asegurará unas penalizaciones aceptables debido a reflexiones múltiples en todas las configuraciones del sistema similares que incorporen conectores múltiples, etc. Los sistemas que utilizan menor número de conectores o conectores de calidad superior producen menos reflexiones múltiples y, en consecuencia, pueden tolerar el funcionamiento con receptores que tengan una mayor reflectancia. Como ejemplo extremo, puede indicarse que si en el sistema existen sólo dos conectores, es aceptable un valor de pérdida de retorno en el receptor de 14 dB.

En los sistemas en que se consideran que los efectos de reflexión no limitan el comportamiento, no se especifican valores para los parámetros de reflexión asociados y esta circunstancia aparece indicada en los Cuadros 2 a 4 por la inscripción NA (no aplicable). Sin embargo, cuando se haga uso de la presente Recomendación para una aplicación en particular, cabe señalar que si se contempla la posibilidad de mejorar el sistema para utilizarlo en otras aplicaciones que tengan requisitos más estrictos, deben utilizarse dichos requisitos más estrictos.

Aún debe estudiarse la posible necesidad de elaborar una especificación de la relación señal/ruido del transmisor en las condiciones más desfavorables de pérdida de retorno óptica para las aplicaciones previstas en los Cuadros 2 a 4.

## 3.4 Receptor

El funcionamiento adecuado del sistema requiere la especificación de la sensibilidad mínima del receptor y del nivel de potencia de sobrecarga mínimo. Esos valores deben ser coherentes con las gamas de potencia inyectada media y de atenuación especificadas para cada aplicación.

### 3.4.1 Sensibilidad del receptor

La sensibilidad del receptor se define como el mínimo valor aceptable de la potencia media recibida en el punto R para lograr una BER de  $1 \times 10^{-10}$ . Tiene en cuenta la penalización de potencia causada por la utilización de un transmisor en condiciones de funcionamiento normalizado con valores del caso más desfavorable de la relación de extinción, de los tiempos de establecimiento y caída del impulso, de las pérdidas de retorno ópticas en el punto S, de las degradaciones en el conector del receptor y de las tolerancias en las mediciones. La sensibilidad del receptor no incluye la penalización de potencia asociada a la dispersión, a la fluctuación de fase o a las reflexiones en el trayecto óptico; estos efectos se especifican de forma separada en la atribución de la penalización máxima del trayecto óptico. Los efectos de envejecimiento no se especifican por separado puesto que normalmente es un asunto que ha de tratarse entre el suministrador de la red y el fabricante del equipo. La gama de márgenes típicos deseable, entre la temperatura nominal

del receptor al principio de la vida útil y la correspondiente al caso más desfavorable al final de ésta es de 2 a 4 dB. En el Apéndice III figura un ejemplo de un método de medición para determinar los efectos del envejecimiento sobre la sensibilidad del receptor. La sensibilidad del receptor especificada en los Cuadros 2 a 4 son valores del caso más desfavorable, al final de la vida útil.

### **3.4.2 Sobrecarga del receptor**

La sobrecarga del receptor es el máximo valor aceptable de la potencia media recibida en el punto R para una BER de  $1 \times 10^{-10}$ .

### **3.4.3 Reflectancia del receptor**

Las reflexiones procedentes del receptor y dirigidas a la planta de cable se especifican mediante la máxima reflectancia permitida del receptor medida en el punto de referencia R.

### **3.4.4 Penalización de potencia en el trayecto óptico**

El receptor debe tolerar cualquier penalización en el trayecto óptico que no exceda de 1 dB (2 dB en el caso de L-16.2) para tener en cuenta la degradación total debida a las reflexiones, a la interferencia entre símbolos, el ruido de partición de modos y a la fluctuación del láser.

## **4 Valores de los parámetros ópticos para aplicaciones de SDH**

Los valores de los parámetros ópticos para las aplicaciones del Cuadro 1 figuran en el Cuadro 2 para STM-1, en el Cuadro 3 para STM-4 y en el Cuadro 4 para STM-16. Los parámetros que definen la plantilla del diagrama en ojo del transmisor en el punto de referencia S para cada uno de los tres niveles jerárquicos, se proporcionan en la Figura 2. Estos cuadros no excluyen la utilización de sistemas que satisfagan los requisitos de más de una aplicación para cualquier velocidad binaria determinada.

## **5 Método de ingeniería óptica**

La selección de las aplicaciones y el conjunto de parámetros ópticos considerados en la presente Recomendación han sido elegidos de tal forma que se mantenga un equilibrio entre las consideraciones de tipo económico y técnico que permita obtener sistemas con compatibilidad transversal que utilizan la jerarquía digital síncrona (SDH). En esta cláusula se describe la utilización de los parámetros de los Cuadros 2 a 4 para obtener un método de diseño de sistema común para la ingeniería de enlaces ópticos de la SDH.

### **5.1 Hipótesis de diseño**

Para abarcar el mayor número de posibilidades de aplicación con el menor número de especificaciones de componentes de interfaz óptica, se suponen tres categorías de interfaz para cada nivel de la SDH. Estas categorías se distinguen más bien por los distintos regímenes de atenuación/dispersión que por limitaciones de distancia explícitas para obtener una mayor flexibilidad en el diseño de la red teniendo en cuenta las restricciones tecnológicas y de coste de las diversas aplicaciones.

En la presente Recomendación se especifican valores de parámetro para el caso más desfavorable, al final de la vida útil, con el fin de proporcionar directrices de diseño sencillas a los planificadores de la red, así como especificaciones explícitas de los componentes a los fabricantes. En consecuencia, no se especifican márgenes de sistemas no asignados ni márgenes de equipos y además se supone que los transmisores, receptores y planta de cable cumplen individualmente las especificaciones y condiciones de funcionamiento normalizado. Es sabido que en algunos casos ello puede resultar en diseños de sistemas más conservadores que los que podrían obtenerse mediante la ingeniería conjunta del enlace óptico, la utilización de métodos de diseño estadísticos, o en aplicaciones y entornos más limitados que los permitidos en condiciones de funcionamiento normalizado.

### **5.2 Método diseño del caso más desfavorable**

Para un método de diseño del caso más desfavorable, los parámetros ópticos de los Cuadros 2 a 4 están relacionados como se muestra en la Figura 3. En aplicaciones con pérdidas limitadas, un integrador de sistema puede determinar el código de aplicación adecuado y el conjunto correspondiente de parámetros ópticos, fijando en primer lugar la atenuación del trayecto óptico total que incluirá todas las fuentes de pérdida de potencia ópticas y todo margen de diseño del cable especificado por el integrador de sistema. En situaciones en que la atenuación del sistema cae en el interior de

la zona de superposición de atenuación de dos aplicaciones, puede aplicarse cualquier conjunto de parámetros ópticos. Los diseños más económicos corresponden por regla general al código de aplicación que tiene una gama de atenuación más estrecha. Para cada instalación, debe verificarse que la penalización del trayecto óptico total, que incluye las degradaciones por dispersión y reflexión combinadas, no rebasa el valor indicado en 3.4.4 y en los Cuadros 2 a 4, puesto que valores más elevados pueden provocar un rápido deterioro del funcionamiento del sistema.

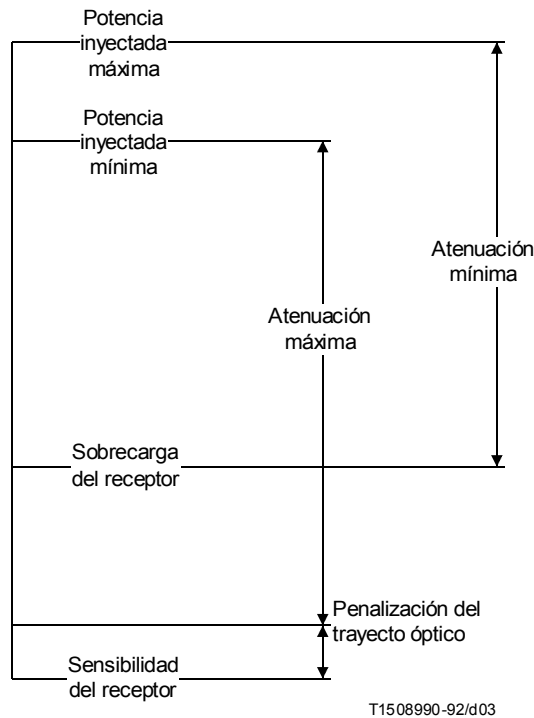


FIGURA 3/G.957

**Relación entre los parámetros ópticos**

Para sistemas con dispersión limitada, el integrador de sistema puede seleccionar un código de aplicación adecuado y el correspondiente conjunto de parámetros ópticos determinando la dispersión total (ps/nm) prevista para la sección de cable elemental que debe diseñarse. Los diseños más económicos corresponden por regla general a la selección de la aplicación que tiene el valor de dispersión máximo más pequeño que rebasa el valor de dispersión determinado para el diseño del sistema. También en este caso debe verificarse la penalización del trayecto óptico total como se ha indicado anteriormente.

**5.3 Método de diseño estadístico**

El método estadístico se basa en el diseño de una sección de cable elemental mejorada, que excede posiblemente de la longitud de la sección obtenida mediante un diseño del caso más desfavorable. Admitiendo cierta probabilidad de que la atenuación o la dispersión entre los puntos S y R sea mayor que los valores especificados para los sistemas, o que no pueda obtenerse un diseño con compatibilidad transversal, pueden lograrse economías en los sistemas ópticos de larga distancia y elevada velocidad binaria reduciendo el número de repetidores.

Al utilizar el método estadístico, los parámetros del subsistema se expresan en términos de distribuciones estadísticas, cuyas características se supone que deben proporcionar los fabricantes. Tales distribuciones pueden tratarse numéricamente (por ejemplo, mediante el método de Monte Carlo) o analíticamente (por ejemplo, medias gaussianas y desviaciones típicas).

Como ejemplos de parámetros que pueden considerarse de naturaleza estadística cabe citar los siguientes:

- atenuación del cable;
- longitud de onda de dispersión nula y pendiente de dispersión nula del cable;
- pérdidas en empalmes y conectores;



- características espectrales del transmisor (longitud de onda central, anchura espectral, etc.);
- ganancia disponible del sistema entre los puntos S y R (por ejemplo, potencia óptica disponible en el punto S y sensibilidad del receptor en el punto R. Puede que sea necesario tratar estos parámetros separadamente para considerar la compatibilidad transversal).

De acuerdo con las prácticas de diseño, cada uno de los anteriores parámetros puede considerarse estadístico o del caso más desfavorable. En un método semiestadístico, a los parámetros supuestamente determinísticos puede considerárseles una distribución de anchura nula alrededor del valor de caso más desfavorable. En la Recomendación G.955 se dan detalles al respecto.

## 5.4 Consideraciones para potenciar el sistema

Para potenciar el sistema existen dos posibilidades:

- 1) Puede ser conveniente potenciar el sistema del método plesiócrono existente al método de SDH (por ejemplo, pasar de un sistema a 139 264 kbit/s compatible con las especificaciones de la Recomendación G.955 a un sistema STM-1 basado en la presente Recomendación).
- 2) Puede ser conveniente potenciar el sistema de un nivel de la SDH a otro (por ejemplo, de STM-1 a STM-4).

No siempre es posible satisfacer ambas posibilidades simultáneamente para las aplicaciones de larga distancia y hay diversidad de opiniones en cuanto al método más adecuado que debe utilizarse para potenciar el sistema. Por ejemplo, para mantener la compatibilidad con los sistemas a 139 264 kbit/s y  $4 \times 139\ 264$  kbit/s conformes a la Recomendación G.955, en la presente Recomendación se toman valores de 28 dB y 24 dB, respectivamente, como valores de atenuación máxima para aplicaciones de larga distancia de STM-1 y STM-4. La diferencia de atenuación máxima para estos dos niveles refleja la amplia disponibilidad actual de receptores STM-4 que cumplen los requisitos de sensibilidad del valor de atenuación inferior en comparación con los receptores STM-4 de coste relativamente alto que cumplen los requisitos de sensibilidad del valor de atenuación más elevado.

En el Apéndice IV se describen dos ejemplos para potenciar el sistema. Además, el 4.3/G.958 trata el tema de ingeniería mixta para cumplir no solamente los requisitos de mejora del sistema sino todos los casos en que las especificaciones de interfaz de esta Recomendación no sean suficientes para cumplir los requisitos de la aplicación específica.

## Anexo A

### Consideraciones sobre la longitud de onda de funcionamiento del sistema

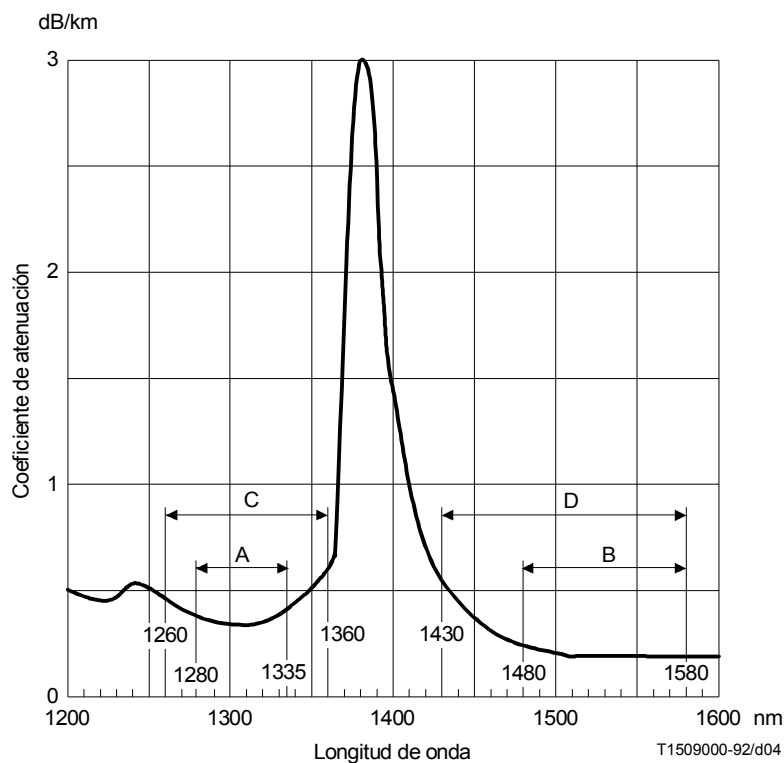
(Este anexo es parte integrante de la presente Recomendación)

En el presente anexo aparece información más detallada sobre la elección de la gama de longitudes de onda de funcionamiento especificada en los Cuadros 2 a 4.

#### A.1 Gammas de longitud de onda de funcionamiento determinadas por la atenuación de la fibra

En la Figura A.1 se muestra la forma general del coeficiente de atenuación utilizado en la presente Recomendación para el cable de fibra instalado. Se incluyen las pérdidas debidas a los empalmes de instalación, los empalmes de reparaciones y la gama de temperaturas de funcionamiento. En la Recomendación G.652 se indica que se han obtenido valores de atenuación del orden de 0,3-0,4 dB/km en la región de 1310 nm y de 0,15-0,25 dB/km en la región de 1550 nm. La variación del coeficiente de atenuación con la longitud de onda y con la temperatura, y las pérdidas debidas a los empalmes, quedan en estudio.

Las gamas de longitudes de onda indicadas en los Cuadros 2 a 4 han sido confirmadas por los datos de los fabricantes de fibras en combinación con hipótesis respecto a un margen total en el que se tienen en cuenta el cableado, los empalmes de instalación, los empalmes de reparación y la gama de temperaturas de funcionamiento. Por ello se consideran apropiados, sólo para cálculos de los sistemas, los siguientes valores del coeficiente de atenuación máxima de referencia: 3,5 dB/km en aplicaciones intracentrales, 0,8 dB/km en aplicaciones de corto alcance, 0,5 dB/km en aplicaciones de largo alcance en 1310 nm y 0,33 dB/km en aplicaciones de largo alcance en 1550 nm. Se indica que, utilizando estos valores del coeficiente de atenuación, pueden alcanzarse las distancias objetivo aproximadas del Cuadro 1.



Las gamas A y B son adecuadas para aplicaciones de larga distancia (L-N.x) y las C y D, para aplicaciones de corta distancia (S-N.x) e intracentrales (I-N).

FIGURA A.1/G.957

**Coefficiente de atenuación espectral típico para el cable de fibra instalado entre S y R**

**A.2 Gamas de longitud de onda de funcionamiento determinadas por la dispersión de la fibra**

En fibras conformes a la Recomendación G.652 la longitud de onda de dispersión nula se encuentra comprendida entre 1300 nm y 1324 nm, de tal forma que desde el punto de vista de la dispersión, la optimización de la fibra se logra en la región de 1310 nm. Estas longitudes de onda y los correspondientes requisitos de pendiente de dispersión nula dan origen al valor absoluto máximo permitido del coeficiente de dispersión indicado en el diagrama a) de la Figura A.2 (coeficiente determinado por las fibras con las longitudes de onda de dispersión nula mínimas y máximas). Sin embargo, las fibras conformes a la Recomendación G.652 pueden utilizarse también en la región de 1550 nm para la cual el coeficiente de dispersión máximo es comparativamente elevado, como muestra el diagrama b) de la Figura A.2.

Para fibras conformes a la Recomendación G.653, la gama permitida de longitudes de onda de dispersión nula se encuentra comprendida entre 1500 nm y 1600 nm, por consiguiente, desde el punto de vista de la dispersión la optimización de la fibra se logra en la región de 1550 nm. De las expresiones analíticas para el coeficiente de dispersión se obtienen los valores permitidos máximos indicados en la Figura A.3. Las fibras conformes a la Recomendación G.653 también pueden utilizarse en la región de 1310 nm para la cual el coeficiente de dispersión es comparativamente elevado. Sin embargo, esta posible aplicación no se considera actualmente en la Recomendación G.957.

Para las fibras conformes a la Recomendación G.654 en la región de 1550 nm, el coeficiente de dispersión es similar pero ligeramente superior al de las fibras conformes a la Recomendación G.652. Este parámetro se encuentra aún en estudio y no se ha tenido en cuenta en los Cuadros 2 a 4.

Para las fibras conformes a la Recomendación G.652 en la región de 1310 nm y para las fibras conformes a la Recomendación G.653 en la región de 1550 nm, la gama de longitudes de onda limitada por la dispersión se elige de tal forma que los valores absolutos del coeficiente de dispersión en las longitudes de onda límite sean aproximadamente iguales. Como puede observarse en los perfiles que aparecen en el diagrama a) de la Figura A.2 y en la Figura A.3, los valores absolutos de la dispersión son inferiores dentro de la gama de longitudes de onda de funcionamiento.

Para fibras conformes a la Recomendación G.654 y también para fibras conformes a la Recomendación G.652 en la región de 1550 nm, puede observarse en el diagrama b) de la Figura A.2 que la dispersión limita la longitud de onda de funcionamiento superior y la atenuación limita la longitud de onda de funcionamiento inferior.

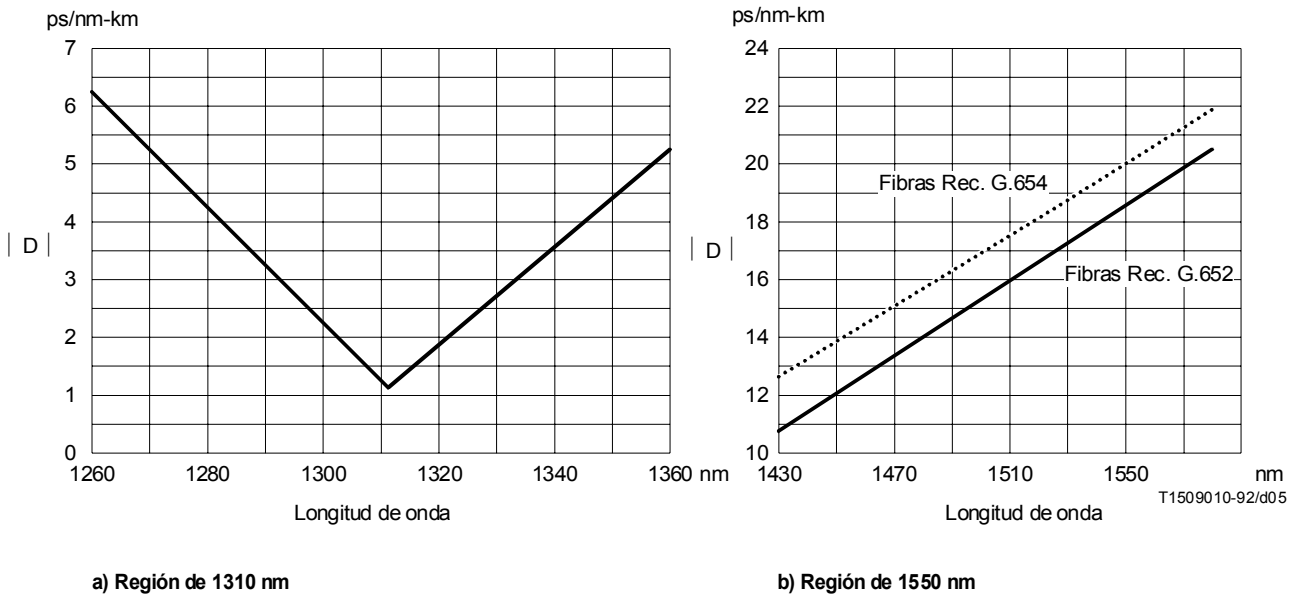


FIGURA A.2/G.957

Valor absoluto máximo,  $|D|$ , del coeficiente de dispersión para las fibras conformes a la Recomendación G.652 (—) y a la Recomendación G.654 (---)



FIGURA A.3/G.957

Valor absoluto máximo,  $|D|$ , del coeficiente de dispersión para las fibras conformes a la Recomendación G.653

La interacción entre el transmisor y la fibra se tiene en cuenta mediante un parámetro epsilon. Dicho parámetro se define como el producto de  $10^{-6}$  por la velocidad binaria (en Mbit/s) por la dispersión del trayecto (en ps/nm) y por el valor eficaz de la anchura espectral (en nm). Para una penalización de potencia de 1 dB debido a la dispersión, epsilon

presenta un valor máximo. Para LED y láseres SLM se ha aplicado un valor de 0,306 únicamente en el caso de interferencia entre símbolos. La anchura de 20 dB para láseres SLM es 6,07 veces el valor eficaz de la anchura. (Para la aplicación L-16.2 únicamente, es necesario aumentar el valor de epsilon a 0,491, lo que corresponde a una penalización de potencia de 2 dB.) En los láseres MLM se aplica un valor máximo de 0,115 en el caso de interferencia entre símbolos añadida al ruido de partición de modos. (Para I-1 e I-4, las grandes anchuras espectrales pueden no registrarse a menudo, pero se mantienen aquí teniendo en cuenta la posible reducción de los costos.) Para la fluctuación de la longitud de onda no se aplica ningún valor conocido a los láseres SLM.

Para una anchura espectral determinada, la dispersión del trayecto óptico viene fijada para un código de aplicación concreto. Tomando la distancia de propagación adecuada que figura en el Cuadro 1 se deduce el coeficiente de dispersión máximo permitido. La dependencia espectral del coeficiente de dispersión determina la gama de longitudes de onda limitada por la dispersión. (Deben realizarse más estudios sobre la utilización del coeficiente de dispersión más allá de las gamas de longitud de onda indicadas en las Recomendaciones G.652, G.653 o G.654.)

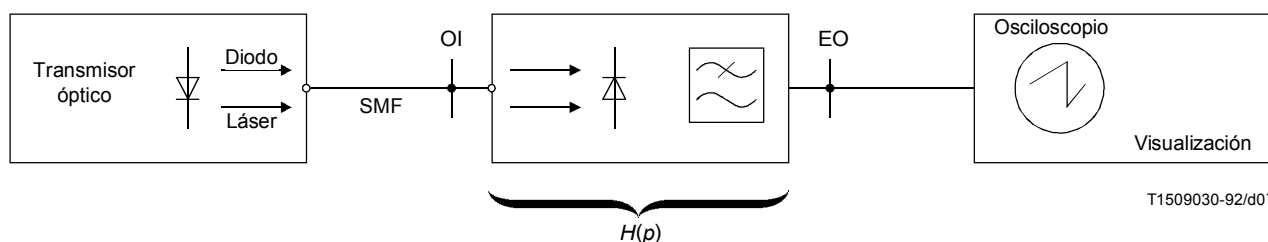
## Apéndice I

### Medición de la plantilla del diagrama en ojo de la señal óptica transmitida

(Este apéndice no es parte integrante de la presente Recomendación)

#### I.1 Montaje de medición

Para asegurar que la señal óptica transmitida se adapta al comportamiento del receptor, se recomienda establecer el montaje de medición que aparece en la Figura I.1 con el fin de determinar el diagrama en ojo de la señal óptica transmitida. Para la adaptación del nivel puede utilizarse un atenuador óptico en el punto de referencia OI, mientras que para la adaptación de ese mismo nivel en el punto de referencia EO puede utilizarse un amplificador eléctrico. Los valores de la plantilla del diagrama en ojo de la Figura 2 incluyen errores de medición tales como el ruido de muestreo del osciloscopio y las desviaciones introducidas en la fabricación del filtro paso bajo.



- $H(p)$  Función de transferencia del receptor óptico de referencia incluidas las funciones de transferencia del diodo fotodetector y del filtro paso bajo  
 SMF Menos de 10 m de fibra óptica de acuerdo con las Recomendaciones G.652, G.653 o G.654  
 OI, EO Puntos de referencia para la entrada óptica (OI) y la salida eléctrica (EO)

FIGURA I.1/G.957  
**Montaje de medición del diagrama en ojo del transmisor**

## I.2 Función de transferencia del receptor óptico de referencia

La función nominal de transferencia del receptor óptico de referencia se caracteriza por una respuesta Bessel-Thomson de cuarto orden, de acuerdo con la expresión:

$$H(p) = \frac{1}{105} (105 + 105 p + 45 p^2 + 10 p^3 + p^4)$$

con

$$p = j \frac{\omega}{\omega_r}, \quad y = 2,1140 p, \quad \omega_r = 1,5 \pi f_0, \quad f_0 = \text{velocidad binaria}$$

La frecuencia de referencia es  $f_r = 0,75 f_0$ . La atenuación nominal a dicha frecuencia es de 3 dB. En el Cuadro I.1 aparecen los valores correspondientes de atenuación y distorsión por retardo de grupo para diversas frecuencias. En la Figura I.2 se muestra un diagrama de circuito simplificado del filtro paso bajo utilizado para medir la plantilla del diagrama en ojo de la señal óptica transmitida.

NOTA – Este diagrama no está destinado a representar el filtro de ruido utilizado en un receptor óptico.

CUADRO I.1/G.957

Valores nominales de la atenuación y de la distorsión por retardo de grupo del receptor óptico de referencia

$ff_0$	$ff_r$	Atenuación (dB)	Distorsión por retardo de grupo (UI)
0,15	0,2	0,1	0
0,3	0,4	0,4	0
0,45	0,6	1,0	0
0,6	0,8	1,9	0,002
0,75	1,0	3,0	0,008
0,9	1,2	4,5	0,025
1,0	1,33	5,7	0,044
1,05	1,4	6,4	0,055
1,2	1,6	8,5	0,10
1,35	1,8	10,9	0,14
1,5	2,0	13,4	0,19
2,0	2,67	21,5	0,30

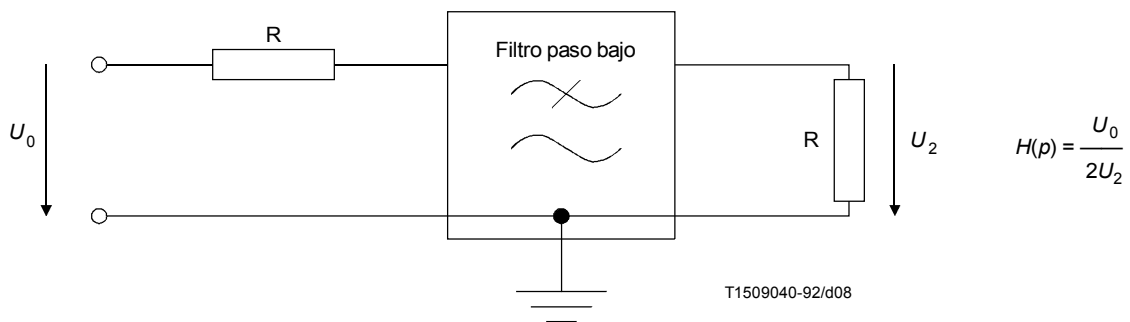


FIGURA I.2/G.957

Filtro receptor paso bajo para la medición del diagrama en ojo del transmisor

Para tener en cuenta las tolerancias de los componentes del receptor óptico de referencia incluido el filtro paso bajo, los valores de atenuación real y atenuación nominal no deben diferir en un valor superior al especificado en el Cuadro I-2. Debe comprobarse la uniformidad del retardo de grupo en la banda de frecuencias inferiores a la frecuencia de referencia. La desviación admisible queda en estudio.

CUADRO I.2/G.957

**Valores de tolerancia de la atenuación del receptor óptico de referencia**

$ff_r$	$\Delta a$ (dB) <sup>a)</sup>		
	STM-1	STM-4	STM-16
0,001 ... 1	± 0,3	± 0,3	± 0,5
1 ... 2	± 0,3 ... ± 2,0	± 0,3 ... ± 2,0	± 0,5 ... ± 3,0

a) Valores provisionales  
 NOTA – Los valores intermedios de  $\Delta a$  deben interpolarse linealmente en una escala de frecuencia logarítmica.

**Apéndice II**  
**Métodos de medición de las reflexiones**

(Este apéndice no es parte integrante de la presente Recomendación)

Se utilizan generalmente dos métodos. El reflectómetro óptico de onda continua (OCWR, *optical continuous reflectometer*) emplea una fuente de luz estable continua o modulada, con un medidor de potencia óptica promediada en el tiempo de alta sensibilidad. Este método es adecuado para medir la pérdida de retorno óptico de la planta de cable en el punto S o la reflectancia del receptor en el punto R. El reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (OTDR, *optical time-domain reflectometer*) hace uso de una fuente de impulsos con un ciclo de trabajo reducido así como de un receptor óptico sensible con resolución temporal. Este último método es adecuado para medir reflectancias discretas entre los puntos S y R o la reflectancia del receptor en el punto R.

Ambos instrumentos utilizan acopladores ópticos 2 × 1, que están disponibles en el mercado. Las instrucciones contenidas en el instrumento pueden sustituir a las que figuran a continuación. Además, se están desarrollando procedimientos de prueba.

A efectos de calibración puede utilizarse un puente de conexión con un reflector terminal conocido. El valor de la reflectancia puede ser casi 0 (obtenida mediante una cuidadosa adaptación del índice y una flexión tensa en la fibra) o aproximadamente -14,5 dB (con un buen corte) o alguna otra reflectancia conocida  $R_0$  (como la obtenida con un corte imperfecto o la aplicación de un recubrimiento de película fina). La conexión entre el puente de conexión y el instrumento debe presentar una reflectancia baja.

## II.1 Reflectómetro óptico de onda continua

En la Figura II.1 aparece la nomenclatura del acoplador; las siguientes mediciones de calibración deben llevarse a cabo una sola vez. La potencia  $P_s$  se mide conectando directamente la fuente óptica al medidor de potencia. A continuación se conecta la fuente a la puerta de salida 3 del acoplador y el medidor de potencia mide el valor de  $P_{32}$  en la puerta de entrada 2. Luego se conecta la fuente a la puerta de entrada 1 y el medidor de potencia mide el valor de  $P_{13}$  en la puerta 3. Por último, se conecta el puente de conexión no reflectante a la puerta 3 y en la puerta 2 se mide el valor de la potencia  $P_0$ .

Para medir la reflectancia del detector, se conecta a la puerta 3 el conector del punto R; para medir la pérdida de retorno total de la planta de cables, se conecta a la puerta 3 el conector del punto S. En ambos casos el medidor de potencia mide el valor de  $P_R$  en la puerta 2. La reflectancia del detector es:

$$R = 10 \log_{10} \frac{P_s (P_R - P_0)}{P_{13} P_{32}}$$

La pérdida de retorno total de la planta de cables es

$$ORL = -R$$

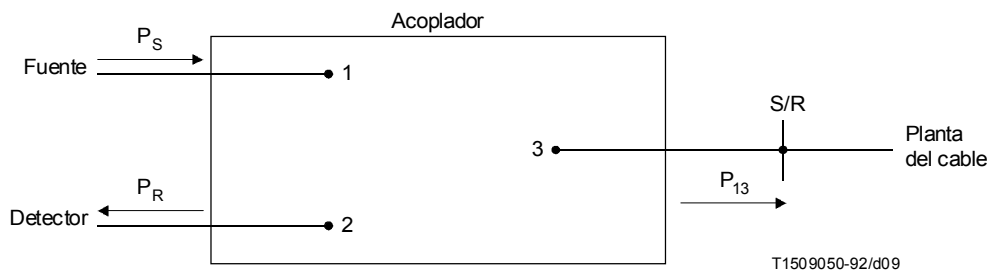


FIGURA II.1/G.957

### Disposición del acoplador para el OTDR y el OCWR

## II.2 Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo

En este caso el acoplador normalmente está incorporado en el instrumento. Se suministra un atenuador óptico variable y un extremo de fibra helicoidal de longitud superior a la de la zona inactiva del instrumento, si no se encuentran incorporados al mismo. La siguiente medición de calibración debe ser realizada una sola vez. Se acopla un puente de conexión de reflectancia conocida  $R_0$  obteniéndose la traza del OTDR que aparece esquemáticamente en la Figura II.2. Se ajusta el atenuador óptico hasta que la cresta de reflexión caiga inmediatamente por debajo del nivel de saturación del instrumento y se anota la altura de la cresta  $H_0$ . A continuación se calcula el factor de calibración.

$$F = R_0 - 10 \log_{10} \left( 10^{\frac{H_0}{5}} - 1 \right)$$

(Midiendo la duración temporal  $D$  del impulso, el coeficiente de retroesparcimiento de la fibra es  $B = F - 10 \log_{10} D$ . Si  $D$  se expresa en ns,  $B$  es aproximadamente  $-80$  dB.)

Para medir la reflectancia discreta máxima entre los puntos S y R, se conecta el OTDR a los puntos S o R. Se anota la altura de la cresta  $H$  para una reflectancia en particular. El valor resultante es

$$R = F + 10 \log_{10} \left( 10^{\frac{H}{5}} - 1 \right)$$

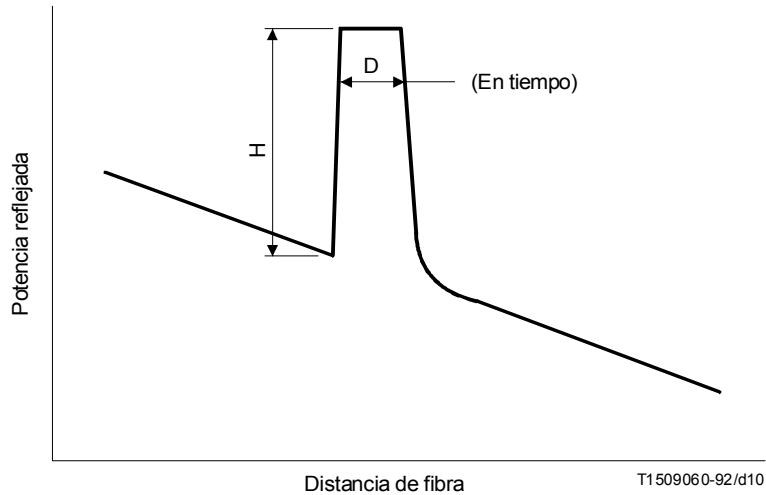


FIGURA II.2/G.957

**Traza del OTDR en un reflector discreto**

**Apéndice III**

**Posible método para evaluar la contribución del margen de envejecimiento en las especificaciones de sensibilidad del receptor**

(Este apéndice no es parte integrante de la presente Recomendación)

El presente apéndice trata de un posible método para determinar los efectos del envejecimiento en las especificaciones de la sensibilidad del receptor utilizadas en esta Recomendación.

**III.1 Sensibilidad del receptor y apertura del ojo**

En la Figura III.1 está representada la apertura del ojo en el receptor en función de la potencia óptica recibida. El valor de la apertura del ojo  $E$ , es el determinado por el diseñador del sistema para que éste funcione con una BER de  $10^{-10}$ . La potencia recibida  $P_2$  corresponde a la necesaria para la máxima apertura del ojo en el receptor. Para un funcionamiento estable del sistema, la potencia óptica recibida se establece normalmente a un nivel superior a  $P_1$ , tal que, al final de la vida útil del sistema, se siga satisfaciendo la apertura del ojo especificada,  $E$ . Así pues,  $P_1$  es la sensibilidad del receptor al final de la vida útil y  $P_0$  es la sensibilidad al comienzo de la misma.  $M$  es el margen entre  $P_1$  y  $P_0$  con el que se tienen en cuenta los efectos del envejecimiento del receptor. El margen para el ojo depende de las características del receptor y sus valores, por ejemplo, pueden ser  $E_1 - E$  y  $E_2 - E$  para receptores diferentes (por ejemplo, de tipo I o de tipo II). No puede obtenerse un margen de ojo apropiado si la potencia recibida es  $P_0$ .



Con respecto a los efectos del envejecimiento sobre el comportamiento del receptor, puede suponerse que la gráfica que relaciona la apertura del ojo con la potencia óptica recibida se desplaza paralelamente a las características iniciales, como indica la Figura III.2. Con objeto de simular los efectos de envejecimiento, también puede suponerse que puede obtenerse la curva desplazada añadiendo una cierta cantidad de ruido de interferencia entre símbolos a la señal correspondiente al valor inicial del margen de ojo. El método de prueba propuesto para evaluar la apertura del ojo mediante esta técnica es la prueba  $S/X$ .

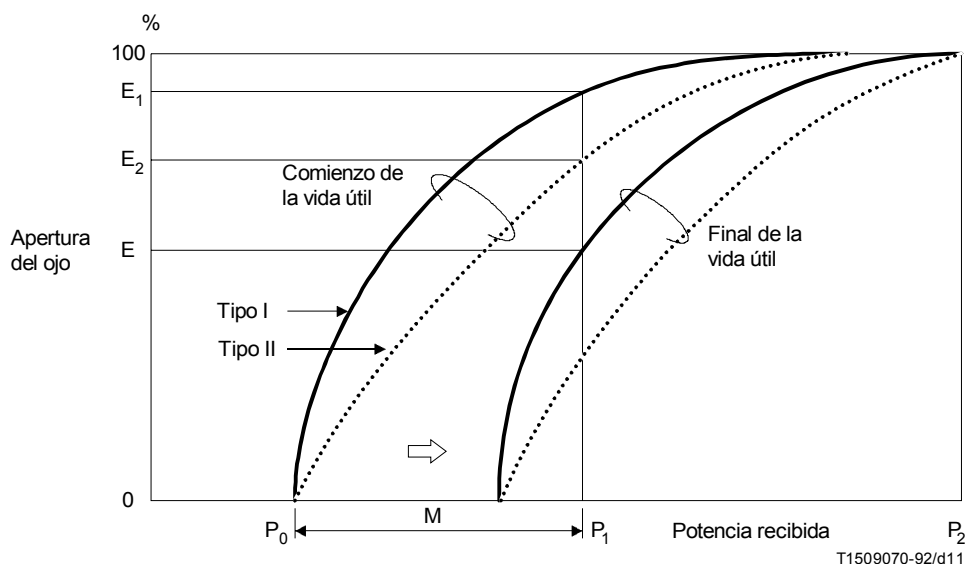


FIGURA III.1/G.957  
Características de la apertura del ojo

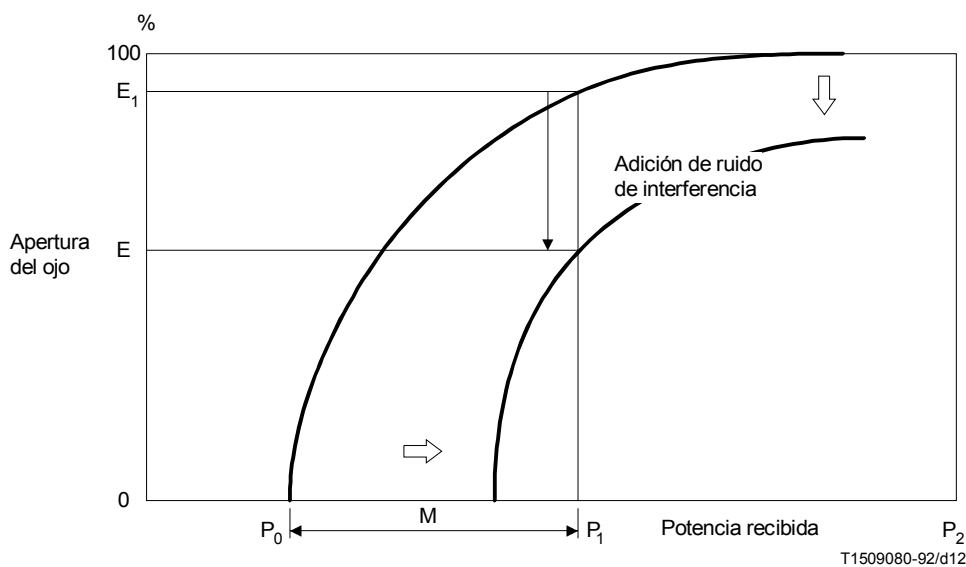


FIGURA III.2/G.957  
Apertura del ojo debida a la interferencia entre símbolos

### III.2 Método de prueba S/X

Para simular el ruido de interferencia entre símbolos, se realiza la prueba S/X utilizando una señal NRZ modulada a baja frecuencia en comparación con la velocidad binaria de funcionamiento del sistema. Esta señal interferente se combina ópticamente con una señal óptica normal y se aplica al receptor probado.

En la prueba S/X, la potencia óptica normal de la señal se ajusta normalmente a  $P_1$ . La potencia óptica del ruido de interferencia,  $X$ , puede determinarse por la relación existente entre la apertura del ojo y la relación S/X cuyas características aparecen en la Figura III.3. A partir de dicha figura, puede calcularse la relación S/X como  $(S/X)_E$  por la relación entre  $E_1$  y  $E$ . El margen de envejecimiento  $M$  y  $(S/X)_E$  vienen dados por:

$$M = P_1 - P_0$$

$$(S/X)_E = \frac{P_1}{X}$$

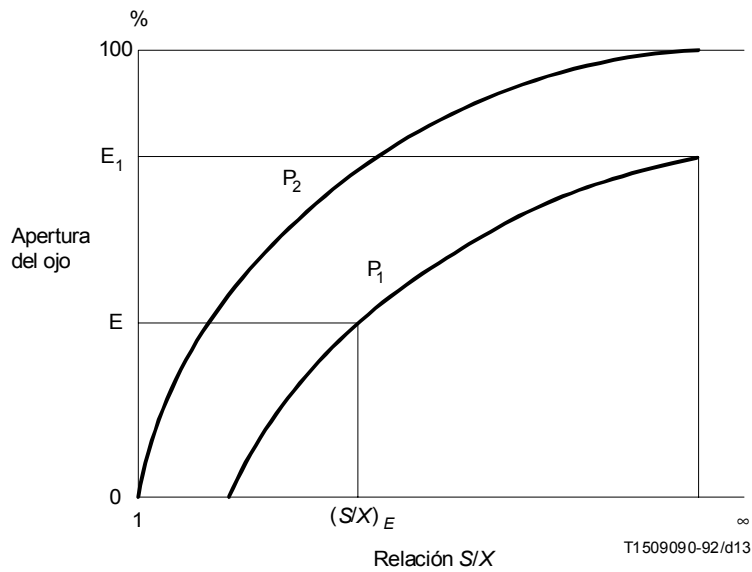


FIGURA III.3/G.957

**Apertura del ojo y relación S/X.  
El parámetro es la potencia normal de la señal**



## Apéndice IV Ejemplos de mejora del sistema

(Este apéndice no es parte integrante de la presente Recomendación)

A continuación figuran dos ejemplos de mejora del sistema:

### Ejemplo 1

Con el fin de obtener diseños optimizados de bajo coste para un nivel jerárquico en particular utilizando componentes ópticos actuales ampliamente disponibles, deben adoptarse los siguientes márgenes de atenuación para las aplicaciones de larga distancia:

- STM-1 28 dB
- STM-4 24 dB
- STM-16 20 dB.

Para pasar de un nivel jerárquico a otro más alto manteniendo en el sistema potenciado la misma separación entre regeneradores que en el sistema original, se dispone de las siguientes opciones:

- i) El diseño original del sistema puede basarse en el valor de atenuación más pequeño (es decir, de nivel jerárquico más elevado) que cabe esperar para el sistema de larga distancia potenciado.
- ii) Si el sistema original funciona en la región de 1310 nm con una fibra conforme a la Recomendación G.652, puede elegirse el sistema potenciado de tal forma que funcione en la región de 1550 nm para obtener una atenuación del cable inferior, si bien con una mayor penalización de dispersión.
- iii) En el sistema potenciado pueden sustituirse componentes que presenten pérdidas relativamente elevadas (por ejemplo, conectores) por componentes con pérdidas inferiores.
- iv) Pueden utilizarse métodos estadísticos de diseño para obtener secciones de cable mejoradas en el sistema potenciado.

### Ejemplo 2

Otro método para potenciar el sistema consiste en utilizar el concepto de un conjunto de grados en los sistemas STM-N de orden superior para las interfaces entre centrales de larga distancia. En el Cuadro IV.1 y en la Figura IV.1 se muestra la clasificación por grados basada en la atenuación máxima. Deben estudiarse los valores de los parámetros para los distintos grados. Al considerar la planificación de la red y los costes, los usuarios pueden aplicar estos grados. Además, el diseño de sistema de grado más elevado debe permitir la incorporación de los futuros avances tecnológicos y las variaciones de las necesidades de servicio.

CUADRO IV.1/G.957

#### Clasificación por grados en aplicaciones de larga distancia

Atenuación máxima	STM-1	STM-4	STM-16
28 dB	Grado 1	Grado 2	Grado 3
24 dB	–	Grado 1	Grado 2
20 dB	–	–	Grado 1

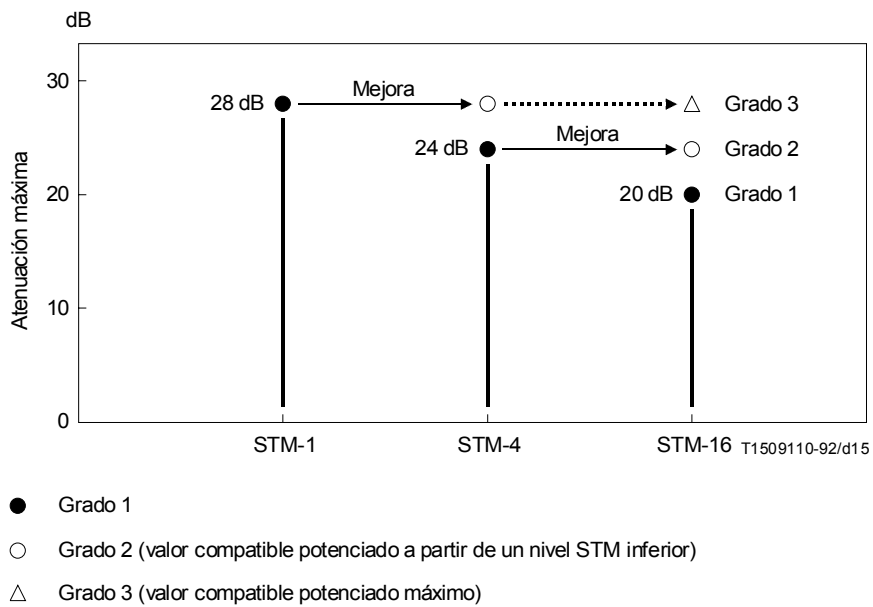


FIGURA IV.1/G.957  
**Atenuaciones máximas para interfaces entre centrales de larga distancia STM-N con 3 grados**

**Referencia**

[1] IEC 825:1984, *Radiation safety of laser products, equipment classification, requirements and user's guide.*





