



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.691

(12/2003)

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

Características de los medios de transmisión –
Características de los componentes y los subsistemas
ópticos

**Interfaces ópticas para los sistemas monocanal
STM-64 y otros sistemas de la jerarquía digital
síncrona con amplificadores ópticos**

Recomendación UIT-T G.691

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

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100–G.199
CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES A TODOS LOS SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORAS	G.200–G.299
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES DE PORTADORAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.300–G.399
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES EN RADIOENLACES O POR SATÉLITE E INTERCONEXIÓN CON LOS SISTEMAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.400–G.449
COORDINACIÓN DE LA RADIOTELEFONÍA Y LA TELEFONÍA EN LÍNEA	G.450–G.499
EQUIPOS DE PRUEBAS	G.500–G.599
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.600–G.699
Generalidades	G.600–G.609
Cables de pares simétricos	G.610–G.619
Cables terrestres de pares coaxiales	G.620–G.629
Cables submarinos	G.630–G.649
Cables de fibra óptica	G.650–G.659
Características de los componentes y los subsistemas ópticos	G.660–G.699
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.700–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900–G.999
CALIDAD DE SERVICIO Y DE TRANSMISIÓN – ASPECTOS GENÉRICOS Y ASPECTOS RELACIONADOS AL USUARIO	G.1000–G.1999
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.6000–G.6999
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.7000–G.7999
REDES DIGITALES	G.8000–G.8999

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

Recomendación UIT-T G.691

Interfaces ópticas para los sistemas monocanal STM-64 y otros sistemas de la jerarquía digital síncrona con amplificadores ópticos

Resumen

La presente Recomendación proporciona parámetros y valores para las interfaces ópticas de los sistemas monocanal de largo alcance STM-4, STM-16 y STM-64 que utilizan preamplificadores y/o amplificadores reforzadores ópticos. Además, proporciona parámetros de la interfaz óptica de los sistemas monocanal STM-64 de conexión local y de los sistemas de corto alcance sin amplificación óptica.

Orígenes

La Recomendación UIT-T G.691 fue aprobada el 14 de diciembre de 2003 por la Comisión de Estudio 15 (2001-2004) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

PREFACIO

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

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

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

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

NOTA

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

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

PROPIEDAD INTELECTUAL

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

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

© UIT 2004

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

ÍNDICE

	Página
1 Alcance	1
2 Referencias	1
3 Términos y definiciones	2
3.1 Definiciones.....	2
3.2 Términos definidos en otras Recomendaciones	2
4 Abreviaturas.....	2
5 Clasificación de las interfaces ópticas	4
5.1 Aplicaciones	4
5.2 Configuraciones físicas y de referencia.....	6
6 Definición de los parámetros	7
6.1 Intervalo de longitudes de onda de funcionamiento del sistema.....	7
6.2 El transmisor.....	7
6.3 El trayecto óptico.....	11
6.4 El receptor	13
7 Valores de los parámetros ópticos	14
8 Solución de la ingeniería óptica.....	21
8.1 Hipótesis de diseño	21
8.2 No linealidades	21
8.3 Acomodación de la dispersión.....	21
8.4 Amplificadores independientes	24
8.5 Consideraciones sobre la actualización	24
8.6 Consideraciones sobre seguridad óptica.....	25
Anexo A – Tasa de extinción y penalizaciones sobre la plantilla del diagrama en ojo	26
A.1 Parámetros de medición	26
A.2 Penalización de la tasa de extinción	27
A.3 Penalización de la plantilla del diagrama en ojo	27
A.4 Sensibilidad del receptor	28
Apéndice I – Dispersión por modo de polarización.....	28
I.1 Distribución estadística de la PMD	28
I.2 Penalización del trayecto debida a la PMD.....	29
Apéndice II – Descripción de la SPM como técnica de acomodación de la dispersión	31
II.1 Fundamentos de la SPM.....	31
II.2 Utilización de la automodulación de fase como técnica de acomodación de la dispersión	31
II.3 Corte de la SPM.....	31
II.4 Valores de los parámetros ópticos para las aplicaciones.....	32
II.5 Tipo de fuente.....	32
II.6 Plantilla del diagrama en ojo	32

	Página
II.7 El receptor	32
Apéndice III – Acomodación de la dispersión mediante la DST.....	32
III.1 Introducción.....	32
III.2 Fundamento de la técnica DST.....	33
III.3 Plantilla del diagrama en ojo del receptor óptico, tras la transmisión de la fibra dispersiva	34
III.4 Definición de los parámetros.....	34
III.5 Valores de los parámetros ópticos.....	38
Apéndice IV – Medición del parámetro de fluctuación de la señal de transmisión óptica α ..	39
IV.1 Esquema de la medición.....	39
IV.2 Requisitos técnicos de los equipos de medida.....	39
IV.3 Calibrado	40
IV.4 Procedimiento de medición	41
IV.5 Procesamiento de los datos.....	41
IV.6 Ejemplos e interpretación de los datos	41
Apéndice V – Consideraciones sobre la actualización	42

Recomendación UIT-T G.691

Interfaces ópticas para los sistemas monocal STM-64 y otros sistemas de la jerarquía digital síncrona con amplificadores ópticos

1 Alcance

Esta Recomendación pretende proporcionar las especificaciones de la interfaz óptica que sea horizontalmente compatible (con las distintas marcas) de los sistemas monocal entre centrales STM-4, STM-16 y STM-64 que utilizan preamplificadores y/o amplificadores reforzadores ópticos. Se proporcionan asimismo las especificaciones necesarias para la compatibilidad horizontal de los sistemas monocal de conexión local y de corto alcance que no necesitan amplificación óptica.

La utilización de amplificadores de línea no es objeto de esta Recomendación.

Esta Recomendación esta basada en la utilización de una fibra en cada sentido.

2 Referencias

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

- [1] Recomendación UIT-T G.652 (2003), *Características de las fibras y cables ópticos monomodo.*
- [2] Recomendación UIT-T G.653 (2003), *Características de los cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada.*
- [3] Recomendación UIT-T G.655 (2003), *Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula.*
- [4] Recomendación UIT-T G.662 (1998), *Características genéricas de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos.*
- [5] Recomendación UIT-T G.663 (2000), *Aspectos relacionados con la aplicación de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos.*
- [6] Recomendación UIT-T G.664 (2003), *Procedimientos y requisitos de seguridad óptica para sistemas ópticos de transporte.*
- [7] Recomendación UIT-T G.671 (2002), *Características de transmisión de los componentes y subsistemas ópticos.*
- [8] Recomendación UIT-T G.693 (2003), *Interfaces ópticas para sistemas de conexión local.*
- [9] Recomendación UIT-T G.707/Y.1322 (2003), *Interfaz de nodo de red para la jerarquía digital síncrona.*
- [10] Recomendación UIT-T G.955 (1996), *Sistemas de línea digital basados en las jerarquías de 1544 kbit/s y 2048 kbit/s en cables de fibra óptica.*
- [11] Recomendación UIT-T G.957 (1999), *Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados en la jerarquía digital síncrona.*

[12] Recomendación UIT-T G.959.1 (2003), *Interfaces de capa física de red de transporte óptica*.

3 Términos y definiciones

3.1 Definiciones

En esta Recomendación se definen los términos siguientes.

3.1.1 trayecto (óptico) principal: La planta de fibra óptica entre el punto S del equipo transmisor y el punto R del equipo receptor. El trayecto principal no contiene trayectos auxiliares.

3.1.2 interfaces del trayecto principal: Las interfaces con la planta de fibra definidas en esta Recomendación.

3.1.3 trayecto (óptico) auxiliar: La interconexión óptica entre un transmisor o receptor no amplificado y un dispositivo preamplificador o amplificador reforzador óptico (independiente). Los trayectos auxiliares no se incluyen en el trayecto principal.

3.1.4 transpondedor (óptico): Combinación de transmisor y receptor con conformación de impulso o sin él y con reajuste de la temporización, que convierte una señal óptica en otra mediante una transformación en el dominio eléctrico.

3.2 Términos definidos en otras Recomendaciones

Esta Recomendación utiliza los siguientes términos definidos en otras Recomendaciones del UIT-T:

Amplificador reforzador:	(G.662)
Amplificador de fibra dopada con erbio:	(G.662)
Ingeniería conjunta:	(G.957)
Compatibilidad vertical:	(G.955)
Dispositivo amplificador óptico:	(G.662)
Subsistema amplificador óptico:	(G.662)
Amplificador óptico:	(G.662)
Amplificador de fibra óptica:	(G.662)
Pérdida de retorno óptica:	(G.957)
Receptor amplificado ópticamente:	(G.662)
Transmisor amplificado ópticamente:	(G.662)
Preamplificador:	(G.662)
Puntos de referencia S/R:	(G.955, G.957)
Compatibilidad horizontal:	(G.957)

4 Abreviaturas

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

APD	Fotodiodo de avalancha (<i>avalanche photo diode</i>)
ASE	Emisión espontánea amplificada (<i>amplified spontaneous emission</i>)
ASK	Modulación por desplazamiento de amplitud (<i>amplitude shift keying</i>)
BER	Tasa de errores en los bits (<i>bit error ratio</i>)

DA	Acomodación de dispersión (<i>dispersion accommodation</i>)
DGD	Retardo de grupo diferencial (<i>differential group delay</i>)
DST	Transmisión soportada por dispersión (<i>dispersion supported transmission</i>)
EX	Tasa de extinción (<i>extinction ratio</i>)
FEC	Corrección de errores en recepción (<i>forward error correction</i>)
ffs	En estudio (<i>for further study</i>)
FM	Modulación de frecuencia (<i>frequency modulation</i>)
FSK	Modulación por desplazamiento de frecuencia (<i>frequency shift keying</i>)
FSR	Segmento espectral libre (<i>free spectral range</i>)
FWHM	Anchura entre semimáximos (<i>full width at half maximum</i>)
I	Conexión local (<i>intra-office</i>)
IM	Modulación de intensidad (<i>intensity modulation</i>)
L	Largo alcance (<i>long-haul</i>)
MLM	Modo multilongitudinal (<i>multi-longitudinal mode</i>)
MPI	Interfaz del trayecto principal (<i>main path interface</i>)
MPN	Ruido de partición de modo (<i>mode partition noise</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>)
PCH	Prefluctuación (<i>prechirp</i>)
PDC	Compensador de dispersión pasivo (<i>passive dispersion compensator</i>)
PIN	Tipo "n" intrínsecamente "p" (" <i>p-type</i> " – <i>intrinsic</i> – " <i>n-type</i> ")
PMD	Dispersión por modo de polarización (<i>polarization mode dispersion</i>)
PRBS	Secuencia binaria pseudoaleatoria (<i>pseudo-random binary sequence</i>)
PSP	Estado de polarización principal (<i>principal state of polarization</i>)
RMS	Valor cuadrático medio (<i>root mean square</i>)
S	Corto alcance (<i>short-haul</i>)
SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SLM	Modo monolongitudinal (<i>single-longitudinal mode</i>)
SMSR	Índice de supresión en modo lateral (<i>side mode suppression ratio</i>)
SNR	Relación señal/ruido (<i>signal to noise ratio</i>)
SOP	Estado de polarización (<i>state of polarization</i>)
SPM	Automodulación de fase (<i>self phase modulation</i>)
STM-N	Módulo de transporte síncrono de orden N (<i>synchronous transport module of order N</i>)
U	Ultra largo alcance (<i>ultra long-haul</i>)
V	Muy largo alcance (<i>very long-haul</i>)
WDM	Multiplexación por división en longitud de onda (<i>wavelength division multiplex</i>)

5 Clasificación de las interfaces ópticas

5.1 Aplicaciones

Esta Recomendación define las interfaces ópticas de los sistemas monocanales de línea entre centrales para aplicaciones terrenales de larga distancia de STM-4 a STM-64. Constituye una ampliación de la Rec. UIT-T G.957 basada en la adición de amplificadores ópticos y la incorporación de las velocidades de datos STM-64. Los sistemas con amplificadores de línea no son objeto de la presente Recomendación.

Las definiciones de los códigos de aplicación proceden de la Rec. UIT-T G.957 del siguiente modo:

Aplicación – nivel STM. sufijo numérico,

siendo "aplicación" la distancia objetivo: I- (de conexión local), S- (corto alcance), L- (largo alcance), V- (muy largo alcance) y U- (ultra largo alcance).

El sufijo numérico representa lo siguiente:

- 1 Utilización de fuentes de 1310 nm nominales con fibra G.652 (estándar).
- 2 Utilización de fuentes de 1550 nm nominales con fibra G.652.
- 3 Utilización de fuentes de 1550 nm nominales con fibra G.653 (dispersión desplazada).
- 5 Utilización de fuentes de 1550 nm nominales con fibra G.655 (dispersión desplazada no nula).

En algunos códigos I-64 se añade una "r" tras el sufijo numérico para indicar que se trata de una distancia objetivo reducida. Estos códigos de aplicación, pertenecientes a la familia de conexión local, están limitados por la dispersión. Se puede alcanzar la misma distancia objetivo con otras soluciones técnicas que quedan en estudio (es decir, la solución de la interfaz paralela).

Las distancias objetivo se basan en intervalos de 40 km aproximadamente para 1550 nm y de 20 km para 1310 nm, salvo para aplicaciones de muy corto alcance y de conexión local. Las distancias objetivo se deben utilizar a efectos de clasificación pero no de especificación. Se calculan adoptando las hipótesis de 0,275 dB/km de atenuación de la fibra instalada, incluidos los empalmes y los márgenes del cable en los sistemas de 1550 nm, y de 0,55 dB/km en los sistemas de 1310 nm. A efectos prácticos se definen tramos de atenuación de 11 dB/20 km a 1310 nm y 11 dB/40 km a 1550 nm, salvo para las aplicaciones de muy corto alcance y de conexión local. En la práctica, estos valores no pueden aplicarse a todos los cables de fibra, y las distancias que resulta verosímil alcanzar pueden ser inferiores.

Las especificaciones más importantes son el intervalo de atenuación y la tolerancia máxima a la dispersión, que se calcula como la dispersión máxima de la fibra multiplicada por la distancia objetivo. Esto aumenta la tolerancia de los sistemas, permitiendo asimismo el máximo aprovechamiento de las plantas de fibra de baja atenuación. Los cuadros 1a y 1b resumen los códigos de aplicación descritos en la presente Recomendación.

Cuadro 1a/G.691 – Clasificación de las interfaces ópticas por aplicación, mostrando los códigos de aplicación I

Aplicaciones						
Longitud de onda nominal de la fuente [nm]	1310	1310	1550	1550	1550	1550
Tipo de fibra	G.652	G.652	G.652	G.652	G.653	G.655
Distancia objetivo [km]	0,6	2	2	25	25	25
STM-64	I-64.1r	I-64.1	I-64.2r	I-64.2	I-64.3	I-64.5
Parámetros	G.693	G.693	G.693	G.959.1	G.959.1	G.959.1
Según el código	VSR600-2R1	VSR2000-2R1	VSR2000-2L2	P1I1-2D2	P1I1-2D3	P1I1-2D5
NOTA 1 – Las distancias objetivos son aproximadas y deben utilizarse sólo para clasificación y no para especificación.						
NOTA 2 – Los códigos I, S y L para STM-1, -4 y -16 se definen en la Rec. UIT-T G.957.						

Cuadro 1b/G.691 – Clasificación de las interfaces ópticas por aplicación, mostrando los códigos de aplicación S y L

Aplicaciones							
Longitud de onda nominal de la fuente [nm]	1310	1550	1550	1550	1310	1550	1550
Tipo de fibra	G.652	G.652	G.653	G.655	G.652	G.652	G.653
Distancia objetivo [km]	20	40	40	40	40	80	80
STM-64	S-64.1	S-64.2	S-64.3	S-64.5	L-64.1	L-64.2	L-64.3
Parámetros	G.959.1	G.959.1	G.959.1	G.959.1	G.959.1	Cuadro 5c	Cuadro 5c
Según el código	P1S1-2D1	P1S1-2D2	P1S1-2D3	P1S1-2D5	P1L1-2D1		
NOTA 1 – Las distancias objetivos son aproximadas y deben utilizarse sólo para clasificación y no para especificación.							
NOTA 2 – Los códigos I, S y L para STM-1, -4 y -16 se definen en la Rec. UIT-T G.957.							

**Cuadro 1c/G.691 – Clasificación de las interfaces ópticas por aplicación,
mostrando los códigos de aplicación V y U**

Aplicaciones					
Longitud de onda nominal de la fuente [nm]	1310	1550	1550	1550	1550
Tipo de fibra	G.652	G.652	G.653	G.652	G.653
Distancia objetivo [km]	60	120	120	160	160
STM-1	–	–	–	–	–
STM-4	V-4.1	V-4.2	V-4.3	U-4.2	U-4.3
STM-16	–	V-16.2	V-16.3	U-16.2	U-16.3
Distancia objetivo [km]	60	120	120		
STM-64	–	V-64.2	V-64.3	–	–

NOTA – Las distancias objetivo son aproximadas y deben utilizarse sólo para clasificación y no para especificación.

5.2 Configuraciones físicas y de referencia

El propósito central de la presente Recomendación es la especificación de las "interfaces del trayecto principal" (MPI, *main path interfaces*). Las MPI son las interfaces con la planta de fibra de larga distancia. Las propiedades del trayecto principal determinan los requisitos del equipo terminal. En principio, el equipo terminal puede configurarse de varias maneras para satisfacer los requisitos de las MPI. Esto incumbe a aspectos tales como el grado de integración, el método de dispersión y acomodación, y la utilización de amplificadores ópticos independientes.

Debido a la diversidad de equipos activos y pasivos en el trayecto óptico (amplificadores, multiplexores, etc.), en las Recomendaciones para sistemas monocanal y multicanal con amplificadores ópticos, los puntos de referencia S y R deben interpretarse de un modo genérico, y deben particularizarse para cada sistema concreto. Con objeto de distinguir los puntos S y R de las MPI de otros puntos de referencia (es decir el punto S citado en la Rec. UIT-T G.957), los extremos transmisor y receptor del trayecto principal se denominan MPI-S y MPI-R, respectivamente, cuando se emplean en un sentido genérico.

Los trayectos ópticos de interconexión (latiguillos) entre dispositivos ópticos en el interior del equipo terminal se denominan "trayectos auxiliares". A efectos de esta Recomendación, las interfaces de los sistemas de línea de fibra óptica pueden representarse con arreglo a la figura 1.

En la figura 1, el lado transmisor se ilustra con un equipo conectado por medio de un trayecto auxiliar a un dispositivo auxiliar independiente, mientras que en el lado receptor un equipo con amplificación óptica constituye la interfaz con el trayecto principal.

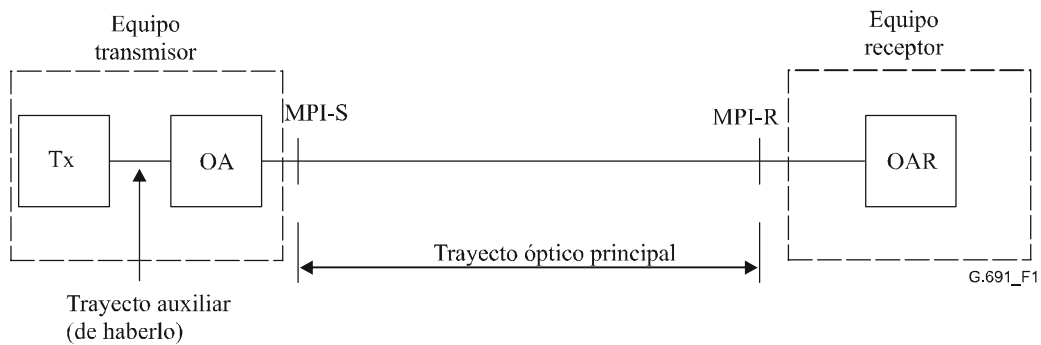


Figura 1/G.691 – Ejemplo de enlace óptico mostrando los puntos de interfaz definidos en esta Recomendación

6 Definición de los parámetros

Los valores de los parámetros se refieren a las condiciones más desfavorables que pueden presentarse en el intervalo de condiciones de funcionamiento normales (es decir, intervalos de temperatura y de humedad), y tienen en cuenta los efectos del envejecimiento. Los parámetros se especifican con relación al objetivo de diseño de la sección óptica de una tasa de errores en los bits (BER, *bit error ratio*) superior a 10^{-12} , para cualquier combinación de parámetros dentro de los intervalos consignados en los cuadros para cada uno de los sistemas especificados.

La codificación de la línea óptica utilizada en las interfaces de los sistemas hasta STM-64 inclusive es binaria sin retorno a cero (NRZ, *non-return to zero*), codificada con arreglo a la Rec. UIT-T G.707/Y.1322.

6.1 Intervalo de longitudes de onda de funcionamiento del sistema

El intervalo de longitudes de onda de funcionamiento del sistema es el máximo intervalo permisible de longitudes de onda de la fuente. La longitud de onda de la fuente puede seleccionarse dentro de este intervalo en función de las diversas configuraciones de los amplificadores y de los diversos defectos de la fibra óptica. El receptor debe tener el mínimo intervalo de longitudes de onda de funcionamiento correspondiente al máximo intervalo permisible de longitudes de onda de la fuente.

El intervalo de longitudes de onda de funcionamiento de los sistemas de transmisión de fibra óptica viene determinado fundamentalmente por las características de atenuación y dispersión de los distintos tipos de fibra y fuente. La Rec. UIT-T G.957 explica detalladamente estos aspectos. En los sistemas de larga distancia con amplificadores ópticos objeto de esta Recomendación, el intervalo de longitud de onda de funcionamiento está restringido además por los propios amplificadores ópticos.

NOTA – Cuando se coloca delante del receptor un filtro de longitud de onda fija o sintonizable, para eliminar la emisión espontánea amplificada (ASE, *amplified spontaneous emission*), puede limitarse la banda de longitudes de onda de funcionamiento, no siendo posible garantizar la compatibilidad horizontal.

6.2 El transmisor

6.2.1 Características espectrales

No cabe esperar que las mediciones espectrales por sí solas garanticen la compatibilidad horizontal, debiendo considerarse estos parámetros necesarios aunque no suficientes a estos efectos. Actualmente se proporcionan pocos valores para los parámetros espectrales. Hasta que no se disponga de estos valores, no se puede garantizar la compatibilidad horizontal en estos sistemas.

6.2.1.1 Máxima anchura espectral para fuentes SLM

Para las fuentes de modo monolongitudinal (SLM, *single-longitudinal mode*), la anchura espectral se define como la anchura total de mayor cresta espectral, medida 20 dB por debajo de la amplitud máxima de la cresta.

La máxima anchura espectral promediada en el tiempo se utiliza principalmente como protección contra la excesiva fluctuación de los láseres modulados directamente. Estas fuentes están destinadas principalmente a aplicaciones de baja dispersión (es decir, STM-4 y sistemas de fibra G.653), aunque también pueden emplearse en ciertos sistemas de alta dispersión.

Los sistemas de alta dispersión (principalmente STM-16, o -64 con fibra G.652) suelen utilizar fuentes con modulador. Concretamente, los sistemas STM-64 con fibra G.652 funcionan en el límite de dispersión típico o en sus proximidades. Los espectros de potencia de sus fuentes deben ser, por consiguiente, prácticamente ideales por definición. La definición de la anchura espectral máxima, aún siendo válida, resulta menos útil que el parámetro de fluctuación que es el más importante para las fuentes con modulador.

6.2.1.2 Máxima anchura espectral para fuentes MLM

El máximo valor cuadrático medio (RMS, *root-mean-square*) o la desviación normal σ (en nm) de la distribución espectral de un láser de modo multilongitudinal (MLM) tiene en cuenta todas las modalidades de láser que no están más de 20 dB por debajo del modo de cresta. Sólo los sistemas con láser MLM a 1310 nm necesitan esta especificación.

6.2.1.3 Parámetro de fluctuación

El parámetro de fluctuación de la frecuencia de la fuente (conocido también como parámetro α) se define como:

$$\alpha = \frac{\frac{d\varphi}{dt}}{\frac{1}{2P} \cdot \frac{dP}{dt}}$$

siendo φ la fase óptica de la señal y P su potencia. Debe observarse que con esta definición, el parámetro de fluctuación no es constante durante el impulso. Por consiguiente, el valor medio del parámetro de fluctuación del impulso puede ser cero, sin que desaparezca la fluctuación.

El valor positivo del parámetro de fluctuación corresponde a un desplazamiento positivo de la frecuencia (hacia el azul) en el frente de subida del impulso, o a un desplazamiento negativo de la frecuencia (hacia el rojo) en el de bajada. El valor típico del parámetro de fluctuación de un modulador es de -1 a $+1$ rad, mientras que el transitorio de conexión de un láser normal puede tener un factor de fluctuación de 10-100 rad.

Los espectros de las fuentes de los diversos sistemas de esta Recomendación funcionan en el límite de la dispersión típica o en su proximidad y deben ser casi ideales. La especificación de la fluctuación de frecuencia se necesita para controlar y describir el comportamiento de la fase de la señal, que es apenas visible en el espectro de potencia definido por los demás parámetros.

El comportamiento de la fase de la señal puede emplearse para optimizar la calidad de funcionamiento de un sistema, por ejemplo mediante la compresión del impulso inducida por la fluctuación. También puede utilizarse para modificar el comportamiento de las no linealidades inducidas por la potencia. Esta interacción es complicada pudiendo variar por consiguiente los intervalos permisibles de este parámetro con el código de aplicación y otros parámetros del sistema.

El apéndice IV contiene un método de prueba de la fluctuación de la fuente.

6.2.1.4 Índice de supresión en modo lateral

El índice de supresión en modo lateral (SMSR, *side mode suppression ratio*) se define como la relación entre el pico de mayor tamaño del espectro total de la fuente y el segundo pico en tamaño. La resolución espectral de la medición deberá ser mejor (o sea, la anchura de banda del filtro óptico deberá ser menor) que la anchura espectral máxima del pico, definida anteriormente. El segundo pico en tamaño puede estar junto al pico mayor o lejos del mismo.

La especificación del SMSR tiene por objeto reducir al mínimo la degradación del BER provocada por el ruido de partición de modo (MPN, *mode partition noise*). Como el MPN es un efecto transitorio de escasa probabilidad, las mediciones del SMSR de señales PRBS o continuas pueden subestimar el MPN. La especificación del SMSR sólo tiene sentido en las fuentes de láser SLM.

6.2.1.5 Densidad de potencia espectral máxima

La densidad de potencia espectral (óptica) máxima se define como el máximo nivel de la potencia promediada en el tiempo por intervalo de 10 MHz, en cualquier punto del espectro de la señal modulada. Por lo tanto, su medición debe hacerse con una resolución mayor (o sea, la anchura de banda del filtro óptico deberá ser menor) que 10 MHz FWHM.

Este parámetro se utiliza para evitar el régimen de dispersión de Brillouin cuando la potencia de la fuente sea grande y la anchura de la línea inherente pueda ser pequeña, como ocurre con las combinaciones láser-modulador-amplificador. Sin embargo, esta especificación es aplicable a todos los tipos de fuente.

6.2.2 Potencia media emitida

La potencia media emitida en el punto MPI-S es la potencia promedio de una secuencia de datos pseudoaleatoria introducida en la fibra por el transmisor. Se define como intervalo en consideración de la posible optimización de los costes y de los márgenes de funcionamiento en condiciones normales de explotación, degradación de los conectores del transmisor, tolerancia de las mediciones y efectos del envejecimiento. Estos valores permiten el cálculo de la sensibilidad del receptor y del punto de sobrecarga en el punto de referencia MPI-R.

En caso de avería del equipo transmisor, la potencia emitida y el máximo tiempo posible de exposición del personal debe limitarse por razones de seguridad al manipular láseres o fibras ópticas.

6.2.3 Tasa de extinción

El valor mínimo admisible de la tasa de extinción (EX, *extinction ratio*) se define como:

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

siendo A el nivel medio de potencia óptica en el centro de un "1" lógico y B el correspondiente al centro de un "0" lógico. El convenio adoptado para los niveles de lógica óptica es:

- emisión de luz para el "1" lógico;
- no emisión para el "0" lógico.

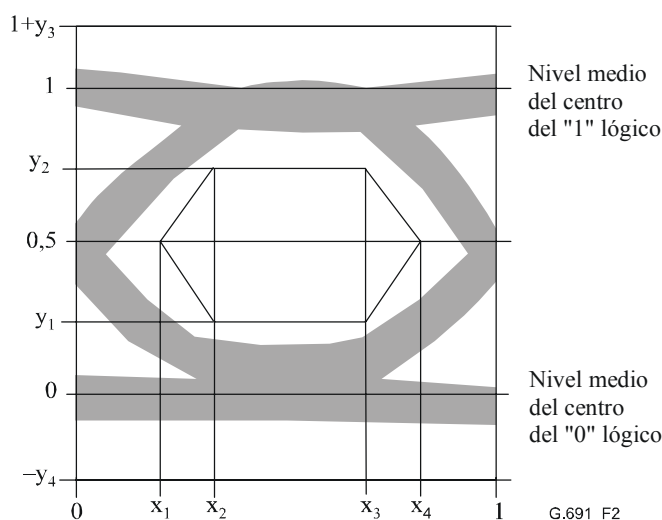
6.2.4 Plantilla del diagrama en ojo

En esta Recomendación, las características genéricas de la forma del impulso transmisor, entre ellas el tiempo de subida, el de bajada, la hipermodulación, la hipomodulación y la sobreoscilación, se especifican como plantilla del diagrama en ojo del transmisor en el punto MPI-S. Estas características deberían controlarse para evitar la excesiva degradación de la sensibilidad del receptor. Para evaluar la señal del transmisor es importante considerar no sólo la apertura del ojo, sino también las limitaciones de la hipermodulación y de la hipomodulación. La figura 2 muestra los parámetros que especifican la plantilla del diagrama en ojo del transmisor. El anexo A describe otros aspectos de la definición de la plantilla en ojo.

En los sistemas que emplean técnicas de acomodación de dispersión basadas en la distorsión previa de la señal, la plantilla del diagrama en ojo en el sentido citado sólo puede definirse en puntos con señales no distorsionadas. Sin embargo, estos puntos no coinciden con las interfaces del trayecto principal y por consiguiente pueden ser inaccesibles. Esta definición queda en estudio.

En los sistemas que emplean efectos no lineales para acomodar la dispersión (actualmente L-64.2b y V-64.2b), la plantilla en ojo puede ser distinta de la que utilizan los sistemas lineales.

Además, en los sistemas que utilizan automodulación de fase (SPM, *self phase modulation*) por su elevada potencia, se necesita una especificación del tiempo mínimo de subida para evitar el corte de la SPM. El tiempo mínimo de subida (entre el 10% y el 90% del valor del impulso sencillo) en los sistemas con niveles de potencia del transmisor de +12 a +15 dBm debe ser 30 ps. Para niveles de potencia inferiores, de +10 a +13 por ejemplo, su valor y la interacción con la fluctuación de la señal quedan en estudio.



	STM-4	STM-16	STM-64 (a, c) (Notas 2 y 3)	STM-64 (b) (Notas 2 y 4)
x_1/x_4	0,25/0,75	–	En estudio	–
x_2/x_3	0,40/0,60	–	En estudio	–
x_3-x_2	–	0,2	En estudio	0,2
y_1/y_2	0,20/0,80	0,25/0,75	En estudio	$\Delta+0,25/\Delta+0,75$ con Δ variable $-0,25 < \Delta < +0,25$
y_3/y_4	0,20/0,20	0,25/0,25	En estudio	0,25/0,25

NOTA 1 – Para STM-16 y STM-64, x_2 y x_3 no necesitan ser equidistantes en la plantilla rectangular con respecto a los ejes verticales 0 UI y 1 UI. El grado de esta desviación queda en estudio. Teniendo en cuenta las frecuencias de los sistemas STM-16 y STM-64 y las subsiguientes dificultades para construir los correspondientes filtros (véase el anexo A), tal vez haya que modificar ligeramente los valores de los parámetros para STM-16 y STM-64 a la vista de los resultados obtenidos.

NOTA 2 – a, b y c indican las técnicas de acomodación de dispersión utilizadas para las aplicaciones de los cuadros 5c y 5d.

NOTA 3 – Incluye L-64.2a, L-64.2c y V-64.2a.

NOTA 4 – Incluye L-64.2b, L-64.3, V-64.2b y V-64.3.

Figura 2/G.691 – Plantilla del diagrama en ojo de la señal óptica transmitida

6.3 El trayecto óptico

Para garantizar la calidad de funcionamiento del sistema en cada una de las aplicaciones del cuadro 1, es necesario especificar las características de atenuación y dispersión del trayecto óptico entre los puntos MPI-S y MPI-R.

6.3.1 La atenuación

En esta Recomendación, la atenuación correspondiente a cada aplicación se especifica como intervalo, lo cual es lógico dada la disparidad de las distancias de las aplicaciones del cuadro 1. La especificación de la atenuación corresponde al caso más desfavorable y tienen en cuenta las pérdidas de los empalmes, conectores, atenuadores ópticos (de haberlos) y demás dispositivos ópticos pasivos, y los márgenes adicionales del cable en previsión de:

- 1) las futuras modificaciones de la configuración del cable (más empalmes, mayor longitud del cable, etc.);
- 2) la alteración de la calidad de funcionamiento del cable de fibra debida a factores medioambientales; y
- 3) la degradación de los conectores, atenuadores ópticos y demás dispositivos ópticos existentes entre los puntos MPI-S y MPI-R.

6.3.2 La dispersión

6.3.2.1 Máxima dispersión cromática

Todos los sistemas contemplados en esta Recomendación son sensibles a la dispersión. Algunos de ellos funcionan incluso más allá del límite "tradicional" de la dispersión cromática, gracias a ciertos métodos de compensación conocidos como técnicas de acomodación de dispersión, véase 8.3. Este parámetro define el valor máximo no compensado de la dispersión cromática del trayecto principal, que el sistema puede soportar.

La máxima tolerancia necesaria a la dispersión de los sistemas se fija en un valor igual a la distancia objetivo multiplicada por $20 \text{ ps/km} \times \text{nm}$ para la fibra G.652 y $3,3 \text{ ps/nm} \times \text{km}$ para G.653 en la región de 1550 nm, así como para la fibra G.652 en la región de 1310 nm. Este valor de la dispersión se acepta como correspondiente al caso más desfavorable para los tipos de fibra pertinentes. El planteamiento del caso más desfavorable para este parámetro tan sensible tiene por objeto proporcionar un margen adicional e incrementar la distancia de transmisión de las plantas de fibra de bajas pérdidas.

La penalización admisible del trayecto óptico tiene en cuenta todos los efectos determinísticos de la dispersión cromática así como la penalización debida a la dispersión media por modo de polarización (PMD, *polarization mode dispersion*). Las variaciones estadísticas de la PMD de primer y segundo orden no se incluyen sin embargo en esta penalización, véase más información en 6.4.3 y en el apéndice I.

6.3.2.2 Dispersión cromática mínima

Los sistemas que emplean sistemas de compensación de la dispersión ya sean activos o pasivos, pueden necesitar que exista una cierta dispersión mínima en el trayecto óptico.

El valor de la dispersión cromática mínima es el mínimo valor de la dispersión con el que el sistema puede funcionar. Esto no excluye los sistemas que pueden funcionar con una dispersión inferior e incluso nula. Al ser desconocida la longitud de onda exacta de funcionamiento del sistema, su valor se determina como el mínimo para la fibra G.652 en la región de longitudes de onda de funcionamiento del sistema.

6.3.2.3 Máximo retardo diferencial de grupo

El retardo diferencial de grupo (DGD, *differential group delay*) es el tiempo de diferencia entre las fracciones del impulso transmitidas en los dos estados principales de polarización de la señal óptica. Para distancias superiores a algunos kilómetros y suponiendo que el acoplamiento del modo de polarización es aleatorio (fuerte), el DGD de la fibra puede modelarse estadísticamente con arreglo a una distribución de Maxwell.

En esta Recomendación, el máximo retardo diferencial de grupo se define como el valor del DGD que el sistema debe tolerar con una degradación máxima de sensibilidad de 1 dB.

Debido a la naturaleza estadística de la PMD, la relación entre los DGD máximo y medio sólo puede definirse probabilísticamente. La probabilidad de que el DGD instantáneo supere cualquier valor puede calcularse a partir de las estadísticas de Maxwell. Por consiguiente, conociendo el máximo DGD que el sistema puede tolerar, podemos calcular el DGD medio equivalente dividiendo por el cociente entre el máximo y el medio que corresponde a una probabilidad aceptable. El cuadro 2 muestra a continuación algunos ejemplos de cocientes.

Cuadro 2/G.691 – Medias y probabilidades del DGD

Cociente entre el máximo y el mínimo	Probabilidad de superar el máximo
3,0	$4,2 \times 10^{-5}$
3,5	$7,7 \times 10^{-7}$
4,0	$7,4 \times 10^{-9}$

6.3.3 Compensación de la dispersión

El límite característico de la dispersión en los sistemas STM-64 que funcionan con fibra G.652 es de 60 km aproximadamente cuando el espectro de la fuente es ideal (limitado por la transformada). Varios sistemas de esta Recomendación funcionan más allá de dicho límite gracias a ciertas técnicas conocidas como técnicas de acomodación de la dispersión (DA, *dispersion accommodation*). Una técnica DA es cualquier método que permita que una fibra de cierto tipo cubra distancias mayores que las que resultan posibles utilizando una señal ideal modulada en intensidad. Estos métodos sólo se utilizan en los sistemas STM-64. La cláusula 8.3 y el texto didáctico de los apéndices III a V contienen información más detallada de las técnicas DA.

6.3.4 Las reflexiones

Las reflexiones están causadas por las discontinuidades del índice de refracción a lo largo del trayecto óptico. Si no se controlan, pueden degradar la calidad de funcionamiento del sistema por su efecto perturbador sobre el funcionamiento de la fuente óptica y del amplificador óptico, o por la presencia de múltiples reflexiones que pueden provocar ruido interferométrico en el receptor. En esta Recomendación, las reflexiones del trayecto óptico se controlan especificando:

- la pérdida de retorno óptica (ORL, *optical return loss*) de la planta del cable en el punto MPI-S, incluyendo los conectores; y
- la reflectancia discreta máxima entre los puntos MPI-S y MPI-R.

La reflectancia representa la reflexión desde cualquier punto simple de reflexión discreta, mientras que la pérdida de retorno es la potencia total de retorno de toda la fibra, incluyendo tanto las reflexiones discretas como la retrodispersión distribuida, como la de Rayleigh.

Los métodos de medición de las reflexiones se describen en el apéndice I/G.957. A los efectos de la medición de la reflectancia y de la pérdida de retorno, se supone que los puntos MPI-S y MPI-R coinciden con la faz terminal de cada conector macho. Es razonable ignorar el comportamiento

reflectante real de los conectores durante el funcionamiento del sistema. Se supone que estas reflexiones tienen el valor nominal correspondiente al tipo específico de conector utilizado.

El máximo número de conectores y de otros puntos de reflexión discreta del trayecto óptico (es decir, los cuadros de distribución o elementos de WDM) debe ser tal que impida sobrepasar la pérdida óptica de retorno especificada. Si esto no puede conseguirse con conectores que no superen los máximos de reflexión discreta de los cuadros 3 a 5, deben utilizarse otros con mejor comportamiento reflectante. Otra solución consiste en reducir el número de conectores. También puede ser necesario limitar el número de conectores o utilizar conectores con mejor comportamiento reflectante para evitar la degradación provocada por las reflexiones múltiples.

En los cuadros 3 a 5, el valor de -27 dB para el máximo de reflectancia discreta entre los puntos MPI-S y MPI-R tiene por objeto minimizar los efectos de las reflexiones múltiples (por ejemplo, el ruido interferométrico). El valor de la reflectancia máxima del receptor se escoge de modo que las penalizaciones de las reflexiones múltiples sean aceptables para todas las configuraciones probables del sistema con múltiples conectores, etc. Los sistemas que utilizan menos conectores o bien conectores de mejor calidad de funcionamiento presentan menos reflexiones múltiples y por consiguiente pueden tolerar receptores de mayor reflectancia.

6.4 El receptor

6.4.1 Sensibilidad

La sensibilidad del receptor se define como el valor mínimo aceptable de la potencia media recibida en el punto MPI-R para obtener una BER de 1×10^{-12} . Tiene en cuenta la penalización sobre la potencia provocada por la utilización del transmisor en condiciones normales de funcionamiento con los valores más desfavorables de la plantilla en ojo del transmisor, la tasa de extinción, la pérdida de retorno óptica en el punto MPI-S, la degradación del conector del receptor y la tolerancia de la medición. La definición de la sensibilidad del receptor en las condiciones más desfavorables se contempla con más detalle en el anexo A.

La sensibilidad del receptor no tiene en cuenta la penalización sobre la potencia asociada con el trayecto, como la dispersión, la fluctuación de fase o las reflexiones. Estos efectos se especifican aparte en la asignación de la penalización máxima del trayecto óptico. Los efectos del envejecimiento no se especifican aparte porque lo normal es que se negocien entre el proveedor de la red y el fabricante de los equipos.

Es conveniente que los márgenes típicos entre un receptor nuevo a temperatura nominal y otro viejo en las condiciones más desfavorables estén en el intervalo de 2 a 4 dB. Las sensibilidades del receptor especificadas en los cuadros 3 a 5 corresponden a las condiciones más desfavorables, y al final de su vida útil.

6.4.2 Sobrecarga

La sobrecarga del receptor es el máximo valor aceptable de la potencia media recibida en el punto MPI-R para una BER de 1×10^{-12} .

6.4.3 Penalización del trayecto

La penalización del trayecto es la reducción aparente de sensibilidad del receptor debida a la distorsión de la forma de onda de la señal durante su propagación por el trayecto. Se manifiesta como un desplazamiento de las curvas BER hacia niveles de potencia de entrada superiores. Esto corresponde a una penalización del trayecto positiva. Puede haber penalizaciones del trayecto negativas en ciertas circunstancias, aunque debería ser pequeña. (Una penalización del trayecto negativa indicaría que la imperfección del diagrama en ojo del receptor imperfecta habría sido mejorada en parte por las distorsiones dependientes del trayecto.) Lo ideal sería que las curvas BER se trasladasen solamente, pero no son raras las variaciones de forma, lo que puede indicar la

aparición de límites inferiores de la BER. Como la penalización del trayecto modifica la sensibilidad del receptor, se mide a un nivel de la BER de 10^{-12} .

Se admite una penalización del trayecto máxima de 1 dB en los sistemas de baja dispersión y 2 dB en los de alta dispersión. Las penalizaciones del trayecto no son proporcionales a las distancias objetivo para evitar sistemas de explotación con grandes penalizaciones.

En los sistemas que emplean técnicas de acomodación de la dispersión basadas en la predistorsión de la señal en el transmisor, la penalización del trayecto en el sentido anterior, sólo puede definirse entre puntos con señales no distorsionadas. Estos puntos, sin embargo, no coinciden con las interfaces del trayecto principal por lo que tal vez no sean accesibles. La definición de la penalización del trayecto en este caso queda en estudio.

El valor medio de las penalizaciones de la dispersión aleatoria debida a la PMD se incluye en la penalización del trayecto permitida. A este respecto, es preciso que el conjunto transmisor/receptor tolere un DGD real de 0,3 bit periodo con una degradación máxima de la sensibilidad de 1 dB (con el 50% de potencia óptica en cada estado principal de polarización). En un receptor bien diseñado, esto corresponde a una penalización de 0,1-0,2 dB para un DGD de 0,1 bit periodo. El DGD real en funcionamiento es una propiedad de la fibra o cable que varía aleatoriamente, y no puede especificarse en la presente Recomendación. Esta cuestión se estudia con más profundidad en el apéndice I.

Obsérvese que la reducción de la SNR debida a la amplificación óptica no se considera penalización del trayecto.

6.4.4 Reflectancia

Las reflexiones entre el receptor y la planta de cable se especifican por la máxima receptancia del permisible del receptor, medida en el punto de referencia MPI-R.

7 Valores de los parámetros ópticos

Los valores de los parámetros ópticos para las aplicaciones del cuadro 1 figuran en los cuadros 3 a 5. Sus definiciones figuran en la cláusula 6. Algunos métodos de medida se describen en los anexos y en los apéndices. Estos cuadros no excluyen el empleo de sistemas que satisfagan requisitos de varios códigos de aplicación.

El equipo terminal puede organizarse en principio de distintas maneras para cumplir los requisitos del trayecto principal. Hay asimismo distintas opciones que aumentan la flexibilidad del código de aplicación básico, que se indica mediante notas.

Se pueden utilizar intervalos de niveles de potencia superiores e inferiores para cumplir requisitos específicos tales como, la posibilidad de actualización, la acomodación de pérdidas superiores, o la compensación de no linealidades ópticas. Estos niveles de potencia no se especifican actualmente en la presente Recomendación.

Los valores actuales de los parámetros ópticos de esta Recomendación se obtienen sin aplicar la FEC en banda con arreglo a la Rec. UIT-T G.707/Y.1322.

Cuadro 3/G.691 – Parámetros especificados para las interfaces ópticas STM-4

Código de aplicación (cuadro 1)	Unidad	V-4.1	V-4.2	V-4.3	U-4.2	U-4.3
Transmisor en el punto de referencia MPI-S		(Nota 1)	(Nota 2)	(Nota 2)	(Nota 3)	(Nota 3)
Intervalo de longitudes de onda de funcionamiento	nm	1290-1330	1530-1565	1530-1565	1530-1565	1530-1565
Potencia media emitida						
– máxima	dBm	4	4	4	15	15
– mínima	dBm	0	0	0	12	12
Características espectrales						
– máxima anchura a –20 dB	nm	En estudio	En estudio	En estudio	En estudio	En estudio
– parámetro de fluctuación, α	rad	NA	NA	NA	NA	NA
– máxima densidad espectral de potencia	mW/10 MHz	En estudio	En estudio	En estudio	En estudio	En estudio
– mínima SMSR	dB	En estudio	En estudio	En estudio	En estudio	En estudio
Mínima EX	dB	10	10	10	10	10
Trayecto óptico principal, entre MPI-S y MPI-R						
Intervalo de atenuación						
– máximo	dB	33	33	33	44	44
– mínimo	dB	22	22	22	33	33
Dispersión cromática						
– máxima	ps/nm	200	2400	400	3200	530
– mínima	ps/nm	NA	NA	NA	NA	NA
Máximo DGD	ps	480	480	480	480	480
Mín. ORL de la planta de cable en MPI-S, incluidos los conectores	dB	24	24	24	24	24
Máxima reflectancia discreta entre MPI-S y MPI-R	dB	–27	–27	–27	–27	–27
Receptor en el punto de referencia MPI-R						
Sensibilidad mínima (BER de 1×10^{-12})	dBm	–34	–34	–34	–34	–33
Sobrecarga mínima	dBm	–18	–18	–18	–18	–18
Máxima penalización del trayecto óptico	dB	1	1	1	2	1
Máxima reflectancia del receptor medida en MPI-R	dB	–27	–27	–27	–27	–27

NOTA 1 – La distancia objetivo sólo se alcanza cuando las pérdidas de la fibra instalada incluidos los empalmes y los márgenes del cable son iguales o menores que 0,55 dB/km.

NOTA 2 – Con las hipótesis de 8.4, es semejante la calidad de funcionamiento del sistema en el caso de un transmisor G.957 y en el de un receptor con un amplificador reforzador.

NOTA 3 – El preamplificador óptico especificado para los sistemas U-16.x ó V-64.x, por ejemplo, puede sustituir al amplificador reforzador óptico. Dicho sistema puede presentar un intervalo de atenuación algo inferior.

Cuadro 4/G.691 – Parámetros especificados para las interfaces ópticas STM-16

Código de aplicación (cuadro 1)	Unidad	V-16.2	V-16.3	U-16.2	U-16.3
		(Notas 1 y 2)	(Notas 1 y 2)		
Transmisor en el punto de referencia MPI-S					
Intervalo de longitudes de onda de funcionamiento	nm	1530-1565	1530-1565	1530-1565	1530-1565
Potencia media emitida					
– máxima	dBm	13	13	15	15
– mínima	dBm	10	10	12	12
Características espectrales					
– máxima anchura a –20 dB	nm	En estudio	En estudio	En estudio	En estudio
– parámetro de fluctuación, α	rad	En estudio	En estudio	En estudio	En estudio
– máxima densidad espectral de potencia	mW/10 MHz	En estudio	En estudio	En estudio	En estudio
– mínima SMSR	dB	En estudio	En estudio	En estudio	En estudio
Mínima EX	dB	8,2	8,2	10	10
Trayecto óptico principal, entre MPI-S y MPI-R					
Intervalo de atenuación					
– máxima	dB	33	33	44	44
– mínima	dB	22	22	33	33
Dispersión cromática					
– máxima	ps/nm	2400	400	3200	530
– mínima	ps/nm	NA	NA	NA	NA
Máximo DGD	ps	120	120	120	120
Mín. ORL de la planta de cable en MPI-S, incluidos los conectores	dB	24	24	24	24
Máxima reflectancia discreta entre MPI-S y MPI-R	dB	–27	–27	–27	–27
Receptor en el punto de referencia MPI-R					
Sensibilidad mínima (BER de 1×10^{-12})	dBm	–25	–24	–34	–33
Sobrecarga mínima	dBm	–9	–9	–18	–18
Máxima penalización del trayecto óptico	dB	2	1	2	1
Máxima reflectancia del receptor medida en MPI-R	dB	–27	–27	–27	–27
<p>NOTA 1 – El preamplificador óptico especificado para los sistemas U-16.x ó V-64.x, por ejemplo, puede sustituir al amplificador reforzador óptico. Dicho sistema puede presentar un intervalo de atenuación algo inferior.</p> <p>NOTA 2 – Con las hipótesis de 8.4, es semejante la calidad de funcionamiento del sistema en el caso de un transmisor G.957 y en el de un receptor con un amplificador reforzador.</p>					

Cuadro 5a/G.691 – Parámetros especificados para las interfaces ópticas STM-64

Código de aplicación (cuadro 1)	Unidad	I-64.1r	I-64.1	I-64.2r	I-64.2	I-64.3	I-64.5
Transmisor en el punto de referencia MPI-S Tipo de fuente Intervalo de longitudes de onda de funcionamiento Potencia media emitida – máxima – mínima Características espectrales – máxima anchura eficaz (σ) – máxima anchura a -20 dB – parámetro de fluctuación, α – máxima densidad espectral de potencia – mínima SMSR Mínima EX Trayecto óptico principal, entre MPI-S y MPI-R Intervalo de atenuación – máximo – mínimo Dispersión cromática – máxima – mínima Compensación de dispersión pasiva – máxima – mínima Máximo DGD Mín. ORL de la planta de cable en MPI-S, incluidos los conectores Máxima reflectancia discreta entre MPI-S y MPI-R Receptor en el punto de referencia MPI-R Sensibilidad mínima (BER de 1×10^{-12}) Sobrecarga mínima Máxima penalización del trayecto óptico Máxima reflectancia del receptor medida en MPI-R	nm dBm dBm nm nm rad mW/10 MHz dB dB dB dB ps/nm ps/nm ps/nm ps/nm ps dB dB dBm dBm dB dB	Parámetros dados en la Rec. UIT-T G.693 según el código VSR600-2R1	Parámetros dados en la Rec. UIT-T G.693 según el código VSR2000-2R1	Parámetros dados en la Rec. UIT-T G.693 según el código VSR2000-2L2	Parámetros dados en la Rec. UIT-T G.959.1 según el código P111-2D2	Parámetros dados en la Rec. UIT-T G.959.1 según el código P111-2D3	Parámetros dados en la Rec. UIT-T G.959.1 según el código P111-2D5
NOTA – Todas las aplicaciones de esta Recomendación utilizan láseres en modo monolongitudinal (SLM) para la fuente, salvo la aplicación I-64.1r que utiliza láseres en modo multilongitudinal (MLM).							

Cuadro 5b/G.691 – Parámetros especificados para las interfaces ópticas STM-64

Código de aplicación (cuadro 1)	Unidad	S-64.1	S-64.2a	S-64.2b	S-64.3a	S-64.3b	S-64.5a	S-64.5b
Transmisor en el punto de referencia MPI-S Intervalo de longitudes de onda de funcionamiento Potencia media emitida – máxima – mínima Características espectrales – máxima anchura a -20 dB – parámetro de fluctuación, α – máxima densidad espectral de potencia – minimum SMSR Mínima EX Trayecto óptico principal, entre MPI-S y MPI-R Intervalo de atenuación – máxima – mínima Dispersión cromática – máxima – mínima Compensación de dispersión pasiva – máxima – mínima Máximo DGD Mín. ORL de la planta de cable en MPI-S, incluidos los conectores Máxima reflectancia discreta entre MPI-S y MPI-R Receptor en el punto de referencia MPI-R Sensibilidad mínima (BER de 1×10^{-12}) Sobrecarga mínima Máxima penalización del trayecto óptico Máxima reflectancia del receptor medida en MPI-R	nm dBm dBm nm rad mW/10 MHz dB dB dB dB dB dB ps/nm ps/nm ps/nm ps/nm ps dB dB dBm dBm dB dB	Parámetros dados en la Rec. UIT-T G.959.1 según el código P1S1-2D1	Parámetros dados en la Rec. UIT-T G.959.1 según el código P1S1-2D2a	Parámetros dados en la Rec. UIT-T G.959.1 según el código P1S1-2D2b	Parámetros dados en la Rec. UIT-T G.959.1 según el código P1S1-2D3a	Parámetros dados en la Rec. UIT-T G.959.1 según el código P1S1-2D3b	Parámetros dados en la Rec. UIT-T G.959.1 según el código P1S1-2D5a	Parámetros dados en la Rec. UIT-T G.959.1 según el código P1S1-2D5b
NOTA – S-64.2a, 3a y 5a tienen niveles de potencia adecuados para los receptores APD; S-64.2b, 3b y 5b tienen niveles de potencia del transmisor adecuados para los receptores PIN.								

Cuadro 5c/G.691 – Parámetros especificados para las interfaces ópticas STM-64

Código de aplicación (cuadro 1)	Unidad	L-64.1	L-64.2a	L-64.2b	L-64.2c	L-64.3
			(Notas 1 y 2)	(Nota 1)	(Nota 1)	
Transmisor en el punto de referencia MPI-S						
Intervalo de longitudes de onda de funcionamiento	nm		1530-1565	1530-1565	1530-1565	1530-1565
Potencia media emitida						
– máxima	dBm		+2	13	+2	13
– mínima	dBm		-2	10	-2	10
Características espectrales						
– máxima anchura a -20 dB	nm		En estudio	En estudio	En estudio	En estudio
– parámetro de fluctuación, α	rad		En estudio	En estudio	En estudio	En estudio
– máxima densidad espectral de potencia	mW/10MHz		En estudio	En estudio	En estudio	En estudio
– minimum SMSR	dB		En estudio	En estudio	En estudio	En estudio
Mínima EX	dB		10	8,2	10	8,2
Trayecto óptico principal, entre MPI-S y MPI-R						
Intervalo de atenuación						
– máximo	dB		22	22	22	22
– mínimo	dB		11	16	11	16
Dispersión cromática						
– máxima	ps/nm		1600	1600	1600	260
– mínima	ps/nm		En estudio	En estudio	En estudio	NA
Compensación de dispersión pasiva						
– máxima	ps/nm		En estudio	NA	NA	NA
– mínima	ps/nm		En estudio	NA	NA	NA
Máximo DGD	ps		30	30	30	30
Mín. ORL de la planta de cable en MPI-S, incluidos los conectores	dB		24	24	24	24
Máxima reflectancia discreta entre MPI-S y MPI-R	dB		-27	-27	-27	-27
Receptor en el punto de referencia MPI-R						
Sensibilidad mínima (BER de 1×10^{-12})	dBm		-26	-14	-26	-13
Sobrecarga mínima	dBm		-9	-3	-9	-3
Máxima penalización del trayecto óptico	dB		2	2	2	1
Máxima reflectancia del receptor medida en MPI-R	dB		-27	-27	-27	-27
NOTA 1 – L-64.2a utiliza PDC como DA, L-64.2b utiliza SPM como DA, y L-64.2c utiliza prefluctuación como DA. NOTA 2 – Véase en 8.3.2 los valores y emplazamiento del PDC.						

Cuadro 5d/G.691 – Parámetros especificados para las interfaces ópticas STM-64

Código de aplicación (cuadro 1)	Unidad	V-64.2a	V-64.2b	V-64.3
		(Notas 1 y 2)	(Nota 2)	
Transmisor en el punto de referencia MPI-S				
Intervalo de longitudes de onda de funcionamiento	nm	1530-1565	1530-1565	1530-1565
Potencia media emitida				
– máxima	dBm	13	15	13
– mínima	dBm	10	12	10
Características espectrales				
– máxima anchura a –20 dB	nm	En estudio	En estudio	En estudio
– parámetro de fluctuación, α	rad	En estudio	En estudio	En estudio
– máxima densidad espectral de potencia	mW/10 MHz	En estudio	En estudio	En estudio
– mínima SMSR	dB	En estudio	En estudio	En estudio
Mínima EX	dB	10	8,2	8,2
Trayecto óptico principal, entre MPI-S y MPI-R				
Intervalo de atenuación				
– máxima	dB	33	33	33
– mínima	dB	22	22	22
Dispersión cromática				
– máxima	ps/nm	2400	2400	400
– mínima	ps/nm	En estudio	En estudio	NA
Compensación de dispersión pasiva				
– máxima	ps/nm	En estudio	En estudio	NA
– mínima	ps/nm	En estudio	En estudio	NA
Máximo DGD	ps	30	30	30
Mín. ORL de la planta de cable en MPI-S, incluidos los conectores	dB	24	24	24
Máxima reflectancia discreta entre MPI-S y MPI-R	dB	–27	–27	–27
Receptor en el punto de referencia MPI-R				
Sensibilidad mínima (BER de 1×10^{-12})	dBm	–25	–23	–24
Sobrecarga mínima	dBm	–9	–7	–9
Máxima penalización del trayecto óptico	dBm	2	2	1
Máxima reflectancia del receptor medida en MPI-R	dB	–27	–27	–27
NOTA 1 – Véase en 8.3.2 los valores y emplazamiento del PDC.				
NOTA 2 – V-64.2a utiliza PDC como DA y V-64.2b utiliza una combinación de SPM y PDC como DA.				

8 Solución de la ingeniería óptica

8.1 Hipótesis de diseño

Esta cláusula trata de los aspectos del diseño presentados en esta Recomendación relacionados por ejemplo con los amplificadores ópticos y la acomodación de la dispersión. La Rec. UIT-T G.957 analiza de forma genérica el planteamiento de las condiciones más desfavorables y el del diseño estadístico.

8.2 No linealidades

La utilización de amplificadores ópticos con potencias ópticas suficientemente elevadas hace posible la aparición de efectos importantes debidos a las no linealidades ópticas. La Rec. UIT-T G.663 contiene un estudio detallado de las mismas.

8.3 Acomodación de la dispersión

El límite normal de la dispersión para los sistemas STM-64 funcionando con fibra G.652 es de 60 km aproximadamente cuando se utiliza un espectro ideal (limitado por la transformada) de la fuente. Varios sistemas de esta Recomendación funcionan más allá de dicho límite gracias a ciertas técnicas conocidas como técnicas de acomodación de la dispersión (DA). Una técnica DA es cualquier método que permita cubrir distancias mayores con una fibra de cierto tipo que las que resultan posibles utilizando una señal ideal modulada en intensidad. Estos métodos sólo se utilizan en los sistemas STM-64.

Actualmente esta Recomendación contiene DA por compensación de dispersión pasiva (PDC, *passive dispersion compensation*), automodulación de fase (SPM, *self phase modulation*), prefluctuación (PCH, *prechirp*) y transmisión soportada por dispersión (DST, *dispersion supported transmission*). La selección del método óptimo queda en estudio.

8.3.1 Principio de diseño

A las velocidades de datos del STM-64 es necesaria la acomodación de la dispersión por encima de los 50 ó 60 km de fibra G.652. Los sistemas S-64.2 están por debajo de este límite y no utilizan DA. Los sistemas L-64.2 aplican algún tipo de DA para compensar la dispersión adicional correspondiente al intervalo 40-80 km. Esta DA puede hacerse de diversas maneras.

Los sistemas L-64.2 emplean métodos de DA activos y pasivos. El método pasivo utiliza un PDC para compensar la dispersión propia de la fibra. Por contra, los métodos activos (SPM, PCH y DST) configuran los parámetros de la interfaz de tal modo que la dispersión quede totalmente compensada. En los sistemas V-64.2, se añade DA pasiva suplementaria para compensar los 40 km adicionales de fibra.

En la práctica, todos los sistemas DA actualmente propuestos compensan la dispersión en un tramo inferior a la longitud total del enlace. Estos sistemas pueden necesitar un mínimo de dispersión en el enlace. Por ello se utiliza el parámetro "dispersión cromática mínima". Cuando se prueban los sistemas DA en conexión directa, algunos de ellos pueden necesitar que se introduzca cierta dispersión en el montaje de la prueba. Esto es equivalente a utilizar atenuadores para no sobrecargar el receptor durante las pruebas en conexión directa.

Es preciso que todos los métodos sean compatibles horizontalmente dentro de su código de aplicación. Sin embargo, no se puede garantizar la compatibilidad horizontal hasta tanto no se hayan definido las características espectrales y los métodos de medida. La compatibilidad horizontal entre los distintos métodos DA queda en estudio.

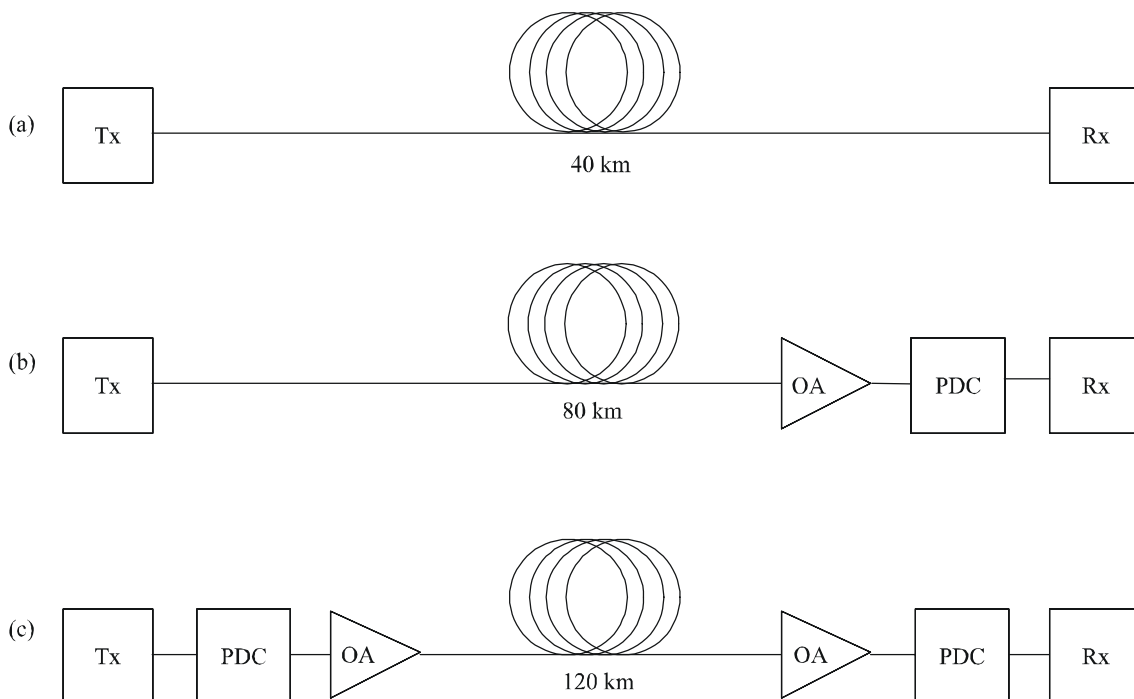
8.3.2 Compensación de dispersión pasiva

Uno de los métodos de superar el límite de la dispersión consiste en añadir compensadores de dispersión pasivos (PDC) al transmisor, al receptor o a ambos. Esta Recomendación no pretende describir todos los tipos de compensadores pasivos.

Se supone que el PDC no se inserta en el trayecto principal, ya que la pérdidas de inserción del dispositivo (actualmente algunos dB) disminuirían el intervalo de atenuación del sistema. Por contra, el PDC se coloca normalmente delante de un amplificador óptico de potencia o detrás de un preamplificador óptico. La ganancia de los amplificadores compensa las pérdidas de inserción de los PDC sin detrimento del balance de potencias del sistema.

Esta descripción no supone ningún nivel de integración específico del transmisor ni del receptor, es decir que puede implementarse como dispositivos independientes o bien como transmisores y receptores integrados y con amplificación óptica.

La filosofía de la utilización de PDC en los sistemas STM-64 es que los sistemas S a 40 km se diseñan sin DA. Para cada código de aplicación de mayor longitud, o sea L-64.2 y V-64.2, se utiliza un PDC cada 40 km adicionales. Véase la figura 3. El valor nominal de la dispersión para cada PDC es entonces -680 ps/nm a 1550 nm. El valor exacto y la posibilidad de sobrecompensación o infracompensación por parte del PDC, quedan en estudio. Teóricamente, el PDC de un sistema L-64.2 sólo necesitaría compensar la diferencia entre la distancia objetivo y el límite normal de dispersión. Sin embargo, esto haría que los márgenes de funcionamiento fuesen pequeños. Debe tenerse en cuenta asimismo que la solución actual facilita además el empleo en los equipos de módulos idénticos a los que utilizan todos los sistemas. Los PDC se definen en la Rec. UIT-T G.671.



G.691_F3

NOTA – Los valores y posición de los PDC quedan en estudio.

Figura 3/G.691 – Esquema de compensación de dispersión pasiva para sistemas sin amplificadores de línea

Si en el lado transmisor se utiliza un PDC, éste crea una predistorsión de la señal antes de su emisión por el trayecto óptico. En este caso, los diagramas en ojo del transmisor especificados en 6.2.4 ya no son aplicables al punto MPI-S. Si la señal no estuviera distorsionada, las especificaciones de los diagramas en ojo serían válidas en dicho punto. La especificación del diagrama en ojo en el punto MPI-S para sistemas predistorsionados queda en estudio.

Como la existencia de un PDC en el lado transmisor supone la utilización de un amplificador reforzador óptico, para compensar las pérdidas introducidas por aquel, los niveles de potencia serán suficientemente elevados para generar SPM y posiblemente otros efectos no lineales de la señal. Sin embargo, el PDC es un compensador lineal de la dispersión y la distorsión no lineal de la señal transmitida puede degradar la compensación lineal de la dispersión si se aplica al transmisor.

Por consiguiente, en el sistema L-64.2, la posición especificada para el PDC está en el receptor. Esto impone la utilización de un preamplificador óptico y de un transmisor no amplificado, impidiendo que el sistema funcione en régimen no lineal.

En el sistema V-64.2, que necesita un amplificador de refuerzo, puede ser necesario adoptar otras medidas para que los efectos no lineales no degraden en exceso la linealidad del compensador de la dispersión si se coloca en el lado transmisor. Esto queda en estudio.

Si se coloca un PDC en la planta de fibra, se considerará parte integrante de su trayecto, y "convirtiendo" normalmente el trayecto G.652 en un trayecto semejante al G.653 si el nivel de potencia transmitida es menor que +10 dBm aproximadamente y si el trayecto óptico tiene un comportamiento lineal. En este caso, el propio sistema se considera un X-xx.3, viniendo dados los requisitos de atenuación y dispersión del trayecto por los códigos de aplicación X-xx.3. La compensación parcial del trayecto se considera ingeniería conjunta y no se trata en la presente Recomendación.

8.3.3 Automodulación de fase

La automodulación de fase (SPM) utiliza el efecto no lineal Kerr en la fibra G.652 para obtener una compresión del impulso que aumente la distancia de transmisión. El apéndice II contiene una descripción didáctica de esta técnica.

Como esta técnica exige que el nivel de potencia de la señal se encuentre en el régimen no lineal de la fibra, el efecto de compensación de la dispersión de la SPM lo provoca el transmisor y tiene lugar en el tramo de fibra más próximo al éste, siempre que la potencia de la señal supere el umbral de no linealidad. Cuando la señal se haya propagado entre 15 y 40 km, aproximadamente, (con los niveles de potencia de los sistemas L- y V-64.2), habrá quedado atenuada no encontrándose por tanto en régimen no lineal. Por lo tanto, el resto de la propagación es lineal. Esto ofrece la posibilidad de combinar SPM en el lado transmisor con un PDC en el lado receptor.

En la propagación del impulso influye también la fluctuación de su frecuencia, que puede utilizarse asimismo para la compresión del impulso. Por lo tanto resulta necesario especificar el parámetro de fluctuación. Para no sobrecompensar la dispersión, el parámetro de fluctuación debe ser próximo a cero cuando se utilice SPM.

La modulación de fase no lineal depende también de la forma del impulso. Esto puede originar distintas plantillas de diagrama en ojo en los sistemas que utilicen SPM en comparación con los lineales. Este aspecto queda en estudio.

8.3.4 Prefluctuación

Otro método utiliza la prefluctuación en el transmisor para obtener el efecto de compresión del impulso y aumentar por consiguiente la distancia de transmisión. Sin embargo, el empleo de un transmisor de elevada potencia en este caso generaría simultáneamente prefluctuación y SPM. Esta combinación originaría la sobrecompensación del sistema para el código de aplicación L-64.

El método de prefluctuación se utiliza por tanto con un transmisor de baja potencia y un receptor preamplificado ópticamente. Esto, sin embargo, exigiría niveles de potencia del transmisor de -1 dBm, que en la actualidad no es fácil de obtener en todos los tipos de transmisor. Los parámetros de la interfaz del transmisor y el receptor para este código de aplicación quedan en estudio.

8.3.5 Técnicas combinadas

La única combinación de técnicas DA actualmente especificada es la de SPM junto con un PDC en el sistema V-64.2. La SPM se utiliza para acomodar la dispersión en los primeros 80 km, como en el sistema L-64.2b básico que utiliza SPM, y los 40 km suplementarios están totalmente compensados por el PDC. Esta última compensación ocurre en el régimen lineal y no debería por tanto sufrir la influencia de la técnica no lineal empleada en la parte inicial del enlace.

Análogamente un sistema DST diseñado para una distancia objetivo de 80 km (DST L-64.2) puede combinarse con un sistema V-64.2 si los 40 km suplementarios se compensan totalmente con un PDC.

8.3.6 Transmisión soportada por dispersión

Otro método, el de la transmisión soportada por dispersión (DST), utiliza una combinación de modulación de intensidad y de frecuencia, en vez de sólo modulación de frecuencia, para compensar la dispersión. En el apéndice III figura una explicación de carácter didáctico y una especificación del método DST aplicado a los sistemas L-64.2 y V-64.2.

8.4 Amplificadores independientes

El amplificador independiente (dispositivo amplificador óptico) puede emplearse en instalaciones nuevas o como medio de actualización de otras. En ambos casos, un amplificador reforzador o preamplificador independiente constituye la interfaz con el trayecto principal en un extremo, como especifica esta Recomendación, encontrándose en el otro un sistema no amplificado (seleccionado de G.957, S-64.x, etc.). Como el propósito del amplificador independiente es incrementar la distancia de transmisión, el integrador del sistema debe verificar que las propiedades del sistema conectado no amplificado permiten efectivamente el funcionamiento en la distancia ampliada. Esto puede exigir los intervalos de longitudes de onda y las características espectrales propuestas en 6.1/G.957 y 6.2.2/G.957 y valores de parámetros suplementarios con arreglo a la presente Recomendación.

Si el sistema original no tuviera las propiedades necesarias para el funcionamiento a larga distancia, podría ampliarse la funcionalidad del amplificador independiente para adaptar estos parámetros haciéndolos compatibles con la presente Recomendación. Por ejemplo, podría utilizarse alguna de las técnicas de acomodación de la dispersión descritas en 8.3, o utilizar un transpondedor para realizar la conversión espectral.

La supervisión de los amplificadores reforzadores o preamplificadores independientes puede realizarse por medio de una interfaz eléctrica con el equipo SDH o mediante acceso directo al sistema de gestión.

8.5 Consideraciones sobre la actualización

Cabe esperar que los requisitos de capacidad de transmisión de los sistemas objeto de la presente Recomendación sean mayores en un futuro próximo. La actualización sería vital para hacer frente a dicha evolución.

Por actualización se entiende cualquier modificación de los equipos destinada a aumentar la calidad de funcionamiento que no necesite nuevas fibras ni realización de obras. La mayor parte de las actualizaciones supone la sustitución de equipos por lo que en estos casos la actualización se realiza, por definición, fuera de servicio. Sin embargo puede recurrirse a la conmutación de

protección para mantener el sistema activo mientras ciertas partes del mismo permanecen fuera de servicio. La calidad de funcionamiento del sistema no suele verse afectada por las actualizaciones.

La corrección de errores en recepción (FEC, *forward error correction*) puede mejorar la BER y proporcionar un margen adicional para el sistema. En los sistemas SDH objeto de esta Recomendación sólo es aplicable la FEC en banda de acuerdo con la Rec. UIT-T G.707/Y.1322. Sin embargo, los valores de los parámetros ópticos especificados para los códigos de aplicación son aplicables cuando la FEC no está activa. Queda en estudio la posible modificación de los valores de los parámetros ópticos cuando la FEC está activa.

La cláusula 8.5.1 contiene una clasificación de los diversos tipos de actualización y 8.5.2 proporciona instrucciones para su puesta en práctica.

8.5.1 Tipos de actualización

8.5.1.1 Actualización para aumentar el alcance

En general, las actualizaciones para aumentar el alcances equivalen a "reutilizar o sustituir los equipos" porque el aumento del alcance exige por ejemplo tramos de atenuación mayores y tolerancias más estrictas de las propiedades espectrales.

8.5.1.2 Actualización para aumentar la velocidad binaria

Incrementar la velocidad binaria para aumentar la capacidad supone también sustituir equipos y por consiguiente interrumpir el servicio a no ser que se recurra a medidas suplementarias (es decir, la conmutación de protección). En todas las banda de longitudes de onda, el espaciamiento de las distancias objetivo para los sistemas interoficina es idéntico (40 km en la banda de 1550 nm y 20 km en la banda de 1310 nm).

El apéndice V proporciona información suplementaria sobre la actualización a sistemas de velocidad binaria superior.

8.5.1.3 Actualización de los sistemas monocanal a multicanal

La actualización de un sistema monocanal a multicanal debe realizarse interrumpiendo el servicio e implica reutilizar o actualizar los equipos. Si se necesita aumentar la capacidad sin interrumpir el servicio, hay que emplear un sistema multicanal desde el principio.

8.5.1.4 Actualización mediante amplificadores ópticos independientes

La utilización de amplificadores ópticos independientes para actualización se rige por los mismos principios de 8.4.

8.5.2 Directrices para la actualización

Efectuar reservas para la actualización de sistemas monocanal o de sistemas multicanal sin amplificadores de línea puede no ser conveniente porque el transmisor amplificado ópticamente y el receptor amplificado ópticamente tienen que sufrir modificaciones importantes o incluso ser reemplazados para actualizar la velocidad binaria, mientras que sólo las fibras pueden seguir siendo utilizadas.

Efectuar reservas para la actualización de los sistemas monocanal a sistemas multicanal puede no ser conveniente, porque sus diseños se inspiran en filosofías totalmente distintas desde diversos puntos de vista, entre ellos el diseño y control del amplificador de fibra, el balance de potencia y, en lo que se refiere a la dispersión, la no linealidad de la fibra y las relaciones señal ruido.

8.6 Consideraciones sobre seguridad óptica

Véase en la Rec. UIT-T G.664 las consideraciones sobre seguridad óptica.

Anexo A

Tasa de extinción y penalizaciones sobre la plantilla del diagrama en ojo

A.1 Parámetros de medición

La especificación de la medición de la plantilla en ojo se divide en dos partes; una para las interfaces STM-4 y STM-16 y otra para las interfaces STM-64.

- i) Para STM-4/STM-16, se adopta el procedimiento de la plantilla del diagrama en ojo y el receptor de referencia descritos en el anexo B/G.957, o sea un filtro Bessel-Thomson de cuarto orden con las frecuencias de corte idóneas para la velocidad binaria en cuestión. Las tolerancias de este receptor de referencia figuran en la última columna (STM-64) del cuadro A.1.
- ii) Para STM-64, se adopta el procedimiento de la plantilla del diagrama en ojo y el receptor óptico de referencia descritos en el anexo B/G.957, o sea un filtro Bessel-Thomson de cuarto orden con las frecuencias de corte idóneas para la STM-64. Sin embargo, para esta velocidad, la función de receptor óptico de referencia se define como la respuesta total en frecuencia de cualquier combinación de los elementos funcionales fotodetector, filtro paso bajo y osciloscopio, junto con los elementos de interconexión entre ellos. Las tolerancias de esta función de transferencia figuran en la última columna (STM-64) del cuadro A.1.

Cuadro A.1/G.691 – Tolerancias de la atenuación del receptor óptico de referencia

f/fr	Δa [dB]		
	STM-4	STM-16	STM-64
0,001 a 1	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,85$
1 a 2 (nota)	$\pm 0,3$ a $\pm 2,0$	$\pm 0,5$ a $\pm 3,0$	$\pm 0,85$ a $\pm 4,0$

NOTA – Los valores intermedios de Δa deben interpolarse linealmente en una escala logarítmica de frecuencias.

La figura A.1 muestra las penalizaciones que pueden derivarse de las imperfecciones de la plantilla del diagrama en ojo y de la tasa de extinción (EX). En dicha figura, la EX es el cociente a/b , y la apertura relativa del ojo es el cociente d/c . La situación ideal es que EX sea infinito y que el ojo sea totalmente abierto y simétrico. En este caso, toda la potencia óptica se puede modular y la penalización de la plantilla del diagrama en ojo y de la EX es 0 dB.

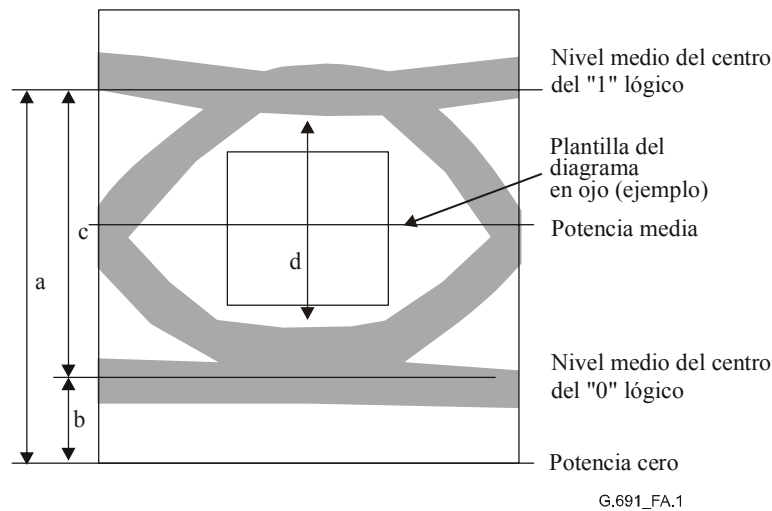


Figura A.1/G.691 – Penalizaciones de la plantilla del diagrama en ojo y de la tasa de extinción

A.2 Penalización de la tasa de extinción

La tasa de extinción hace que una fracción de la potencia no pueda modularse, lo que constituye una penalización sobre la sensibilidad del receptor. El grado exacto de penalización depende de la aplicación y de la implementación del receptor escogida.

A.3 Penalización de la plantilla del diagrama en ojo

Además de la limitación de la EX, el ojo puede cerrarse alejándose de los niveles medios del "0" y del "1" por imperfecciones transitorias de la señal tales como los tiempos de subida y bajada, la hipermodulación, etc. Si la apertura relativa del ojo d/c es menor que 1 se incurre en penalización. La penalización de la plantilla del diagrama en ojo, P_{EM} , puede definirse del siguiente modo:

$$P_{EM} = 10 \log_{10} \left(\frac{d}{c} \right) \quad [\text{dB}]$$

que corresponde a la pérdida de sensibilidad del receptor en comparación con la señal correspondiente al ojo totalmente abierto.

Como la BER es una función extremadamente dependiente de la señal, una simple imperfección puede determinar toda la BER. Por consiguiente las líneas interiores del ojo (abierto) son las que determinan la BER. Incluso las líneas tan infrecuentes que no suelen observarse fácilmente en la medición de la plantilla del diagrama en ojo (debido a que el tiempo de medición es limitado), pueden tener una gran repercusión en la BER.

La actual plantilla del diagrama en ojo admite hasta un 50% de reducción de la apertura del ojo. La penalización real sobre el sistema correspondiente a esta reducción depende de la implementación del sistema. En una situación determinada, la penalización de la plantilla del diagrama en ojo puede estimarse razonablemente como la apertura (vertical) relativa del ojo en el punto de decisión del receptor.

Para evaluar la penalización de la plantilla del diagrama en ojo, el filtro de medición de la plantilla del diagrama en ojo y el procedimiento de medición deben corresponder al comportamiento del receptor utilizado. Como esto no se especifica en detalle, la penalización de la plantilla del diagrama en ojo no constituye una penalización del receptor exacta. Sin embargo, la correspondencia suele ser bastante buena ya que la mayor parte de los diseños de los receptores de ajustan a un procedimiento razonablemente semejante al de medición de la plantilla.

A.4 Sensibilidad del receptor

La penalización de la tasa de extinción y la de la plantilla del diagrama en ojo se suman en dB. Por ejemplo, si la penalización de la EX es 1,3 dB y la de la plantilla del diagrama en ojo es 3 dB, la señal en el caso más desfavorable tendrá una sensibilidad 4,3 dB menor que la correspondiente al transmisor ideal.

De acuerdo con la definición, la sensibilidad del receptor debe medirse en las condiciones más desfavorables. Si no se hace así, la corrección a aplicar por haber realizado las mediciones en condiciones excesivamente benignas puede calcularse a partir de la EX y de la apertura relativa del ojo del transmisor de la prueba. Es preferible este cálculo que realizar la prueba con una señal estrictamente correspondiente al caso más desfavorable, que puede ser difícil de generar.

Apéndice I

Dispersión por modo de polarización

I.1 Distribución estadística de la PMD

Como se explica en 6.3.2.3, el retardo de grupo diferencial (DGD) entre los estados de polarización en una fibra que no conserva la polarización, es una variable aleatoria. Se suele suponer que dicha variable se ajusta a una distribución de Maxwell con la siguiente función de densidad de la probabilidad:

$$f(\Delta\tau) = 32 \frac{\Delta\tau^2}{\pi^2 \langle \Delta\tau \rangle^3} \exp\left(-\frac{4\Delta\tau^2}{\pi \langle \Delta\tau \rangle^2}\right)$$

siendo $\Delta\tau$ el DGD y $\langle \Delta\tau \rangle$ es el DGD medio. La figura I.1 muestra la función de densidad de probabilidad $f(\Delta\tau)$. Sin embargo, en un momento determinado, el sistema experimenta un DGD específico, τ , que es cierta realización de la distribución aleatoria de los valores del DGD, donde la media viene dada por la PMD del enlace. Así pues, el tren de impulsos puede sufrir una diferencia en el retardo inferior o superior a la PMD media del enlace.

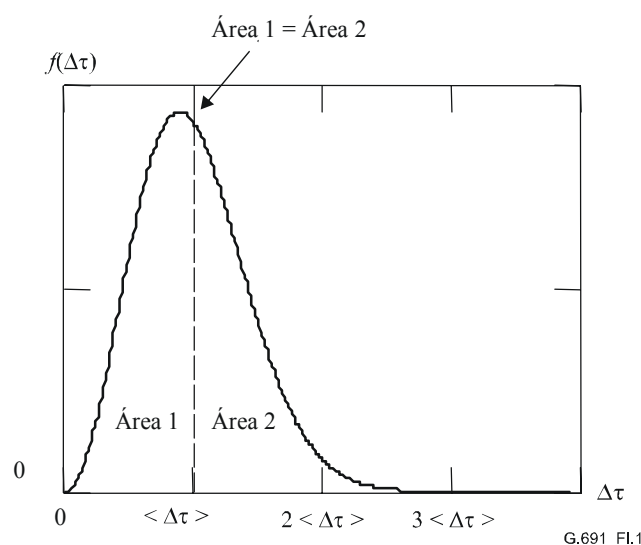


Figura I.1/G.691 – (Ejemplo de) función de distribución de Maxwell – Función de la densidad de probabilidad $f(\Delta\tau)$ vs. retardo diferencial del grupo, $\Delta\tau$

La integración de esta función de densidad de probabilidad entre $\Delta\tau_1$ y $+\infty$ da la probabilidad $P(\Delta\tau \geq \Delta\tau_1)$:

$$P(\Delta\tau \geq \Delta\tau_1) = \int_{\Delta\tau_1}^{\infty} f(\Delta\tau)d(\Delta\tau)$$

Esta probabilidad $P(\Delta\tau \geq \Delta\tau_1)$ viene representada en la figura I.2.

Por ejemplo, si la DGD es mayor que el triple de su valor medio, $\Delta\tau_1 = 3 \langle \Delta\tau \rangle$, puede verse en la figura I.2 que $P(\Delta\tau \geq 3 \langle \Delta\tau \rangle) \approx 4 \times 10^{-5}$.

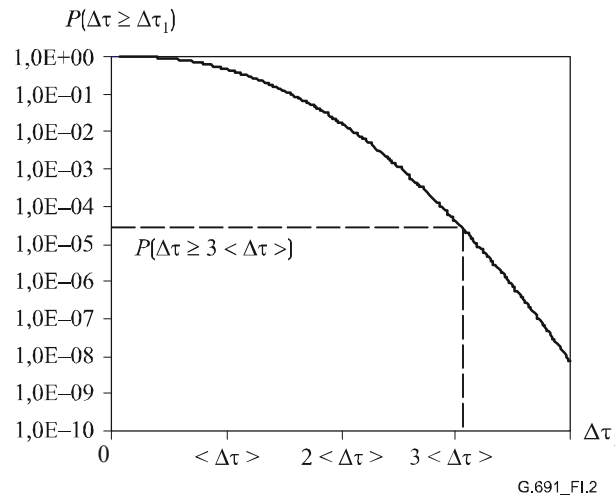


Figura I.2/G.691 – Probabilidad $P(\Delta\tau \geq \Delta\tau_1)$

Las variaciones del DGD dependen de los estados de polarización con que se excita la fibra, la tensión en los diversos puntos de la fibra, las variaciones de la temperatura, etc., siendo por consiguiente bastante lentas. Suponiendo que el DGD tarda un día aproximadamente en variar significativamente, la probabilidad anterior corresponde a un periodo de 70 años aproximadamente entre los momentos de aumento de la PMD al triple de su valor medio.

Sin embargo, los tiempos característicos de variación de la PMD están muy influidos por el entorno de la fibra. Los cables aéreos, por ejemplo, pueden tener tiempos de variación inferiores. Si por el contrario se supone que el tiempo característico es un minuto, la PMD aumentará hasta el triple de su valor medio una vez cada 17 días aproximadamente.

El "tiempo de corte", durante el cual la penalización del trayecto debida a la PMD es elevada, será así mismo del orden del tiempo característico, o sea de un día y de un minuto, respectivamente, en los dos ejemplos anteriores.

I.2 Penalización del trayecto debida a la PMD

Como la penalización del trayecto es una propiedad de la fibra, no puede especificarse en esta Recomendación. Por contra, se considera la cantidad total de PMD del enlace correspondiente a una penalización del trayecto de 1 dB en el caso más desfavorable. El caso más desfavorable se basa en un DGD de 0,3 bit periodo junto con la hipótesis de que ambos estados de polarización principales (PSP, *principal state of polarization*) tengan la misma potencia óptica.

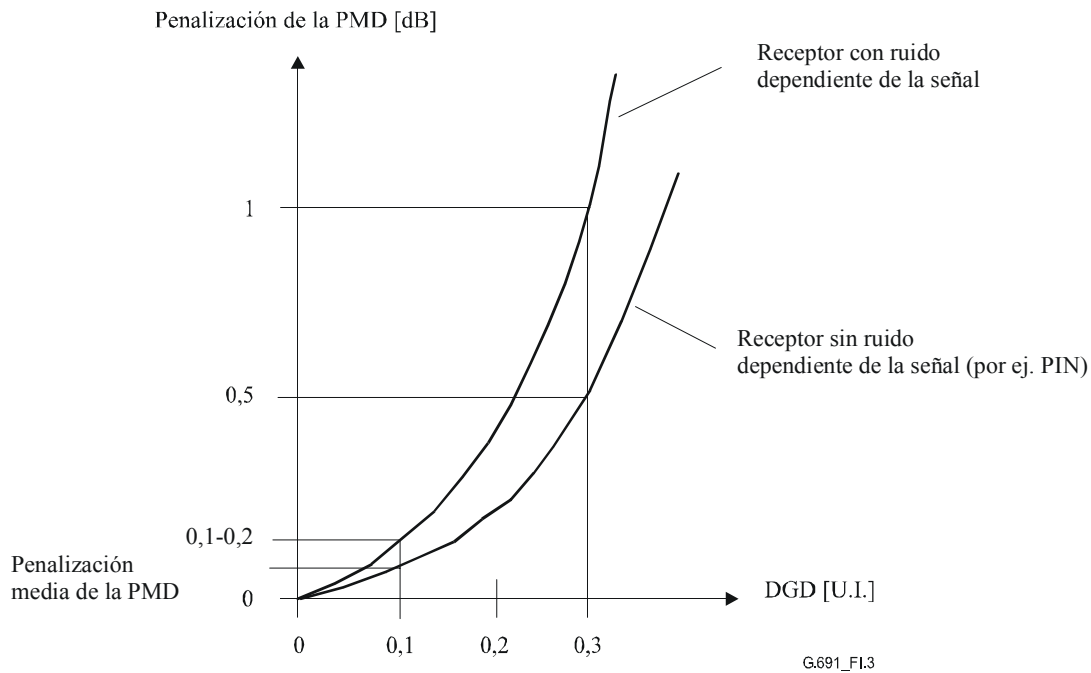


Figura I.3/G.691 – (Ejemplo de la) Dependencia de la penalización del receptor, del DGD real

Se supone que el DGD obedece a una función de distribución de Maxwell (véase la figura I.1). La relación entre el DGD (en concordancia directa con el ensanchamiento del impulso de señal provocado por la PMD, suponiendo la misma potencia óptica en ambos PSP) y la correspondiente penalización del trayecto, es una característica del receptor, y se muestra en la figura I.3. Con hipótesis realistas y un buen diseño del receptor, puede deducirse que un DGD real de 0,3 bit periodo (y el 50% de potencia óptica en cada PSP) producirá una penalización de 0,5 dB aproximadamente en un receptor cuyo ruido sea independiente de la señal (receptor PIN), y hasta 1 dB en un receptor cuyo ruido sea dependiente de la señal (APD o preamplificador).

La máxima PMD permisible de la fibra depende de varias cuestiones, entre ellas:

- la distribución estadística del DGD;
- la probabilidad tolerable de que la penalización sobrepase 0,5 dB (PIN) o 1 dB (por ejemplo, APD);
- la correlación entre las fluctuaciones espaciales de los PSP y las fluctuaciones del DGD;
- la orientación de entrada del estado de la polarización (SOP, *state of polarization*) de la luz emitida por el transmisor láser, en relación con la orientación de los PSP.

Queda en estudio la determinación de una correlación realista entre la máxima PMD y el máximo ensanchamiento del impulso de la señal. Se puede deducir una primera estimación como indica el siguiente ejemplo: Una PMD máxima de 0,1 bit periodo indica una probabilidad de 4×10^{-5} para una penalización del trayecto superior a 1 dB (véanse las figuras I.2 y I.3). Sin embargo, en este ejemplo cabe esperar una probabilidad mucho menor que 4×10^{-5} para una penalización del trayecto > 1 dB por la siguiente razón: cuando cambia la DGD (al variar por ejemplo la tensión o la temperatura) generalmente cambia también la orientación espacial de los PSP. En consecuencia, la orientación del SOP de entrada de la luz del transmisor de láser, variará respecto a la orientación de los PSP. Por consiguiente, los PSP fluctuando espacialmente no transportarán normalmente la misma potencia óptica, lo que se traducirá en una pequeña penalización en el receptor (porque la probabilidad de 4×10^{-5} sólo es válida en la hipótesis de igualdad de potencias en ambos PSP). A la inversa, resulta verosímil que una probabilidad tolerable de 4×10^{-5} para una penalización del trayecto > 1 dB permita una PMD máxima superior a 0,1 bit periodo.

Apéndice II

Descripción de la SPM como técnica de acomodación de la dispersión

II.1 Fundamentos de la SPM

Cuando se utilizan transmisores de alta potencia, como en los sistemas de transmisión de largo alcance sin repetidores, los efectos no lineales tales como la automodulación de fase (SPM) desempeñan un papel importante en la calidad de la transmisión. En los sistemas modulados por intensidad, se introduce una modulación del índice de refracción de la fibra óptica a altas potencias del transmisor, dando lugar a índices de refracción diferentes en los bits "1" y en los "0". La modulación del índice de refracción por los niveles de potencia cambiantes se conoce como efecto Kerr.

La variación de la intensidad óptica de un determinado impulso modula el índice de refracción de la fibra, lo que a su vez provoca la modulación de la fase de la onda óptica. Este proceso se conoce como SPM. La derivada en el tiempo de la fase es la frecuencia y la señal óptica sufrirá una desviación asimétrica de frecuencia desde su centro, de modo que las componentes espectrales en el frente de subida del impulso experimentarán un desplazamiento negativo de la frecuencia, o desplazamiento al rojo, mientras que las componentes espectrales del frente descendente del impulso experimentarán un desplazamiento positivo de la frecuencia, hacia el azul.

En la fibra G.652 a 1550 nm, las componentes desplazadas hacia el rojo se desplazarán más lentamente que las componentes desplazadas hacia el azul. La velocidad de propagación de las componentes espectrales del frente posterior del impulso es por consiguiente mayor que la correspondiente a las del frente anterior, provocando un efecto de dispersión cromática neta reducida, o compresión del impulso, que retrasará la aparición del límite del tramo de transmisión debido a la dispersión cromática.

El máximo desplazamiento de fase introducido por la SPM es proporcional a la potencia óptica emitida por el transmisor, e inversamente proporcional al coeficiente de atenuación y la superficie eficaz del núcleo de la fibra de transmisión.

II.2 Utilización de la automodulación de fase como técnica de acomodación de la dispersión

La compresión del impulso conseguida por la SPM compensa el ensanchamiento provocado por la dispersión de la fibra. Por lo tanto, la SPM puede utilizarse como técnica de acomodación de la dispersión (DA). La utilización de la SPM como técnica de acomodación de la dispersión depende de los siguientes parámetros: potencia de salida del transmisor, coeficiente de atenuación de la fibra, superficie del núcleo de la fibra, índice no lineal de la fibra, longitud de onda del transmisor, prefluctuación del transmisor y dispersión cromática de la fibra.

En los sistemas de 10 Gbit/s con una distancia objetivo de 80 km y con fibras sin dispersión desplazada, la SPM puede utilizarse como técnica de acomodación de la dispersión con potencias de salida del transmisor de hasta +17 dBm, y con fibras de dispersión desplazada hasta +13 dBm con una penalización inferior a +1,5 dB.

II.3 Corte de la SPM

Existe un límite superior de la potencia de salida del transmisor que viene dado por el corte de la SPM. El nivel de potencia de corte de la SPM se define como el nivel de potencia para el que el frente anterior del impulso y su frente posterior coinciden. Si aumentase la potencia del transmisor por encima del nivel de corte de la SPM, se originaría un brusco aumento de la penalización.

Los parámetros dominantes para determinar el nivel de potencia de corte de la SPM son los tiempos de subida y bajada y la tasa de extinción. Ambos parámetros se utilizan para controlar la derivada

temporal de la potencia óptica y por consiguiente la SPM. Los demás parámetros (por ejemplo, el coeficiente de atenuación de la fibra, la superficie eficaz del núcleo, etc.) influyen poco en el nivel de potencia de corte de la SPM en comparación con los anteriores.

II.4 Valores de los parámetros ópticos para las aplicaciones

Si utilizamos SPM en los sistemas STM-64, necesitaremos una descripción más exacta del comportamiento espectral que el simple valor de la anchura espectral de la señal óptica transmitida. El parámetro adicional más importante es la fluctuación de la fuente, normalmente conocido como parámetro α en el caso de fuentes directamente moduladas. Debe observarse que, de especificarse este valor, debe hacerse no sólo para el funcionamiento con poca señal, sino también para el funcionamiento con señal elevada en el régimen óptico no lineal de la fibra.

Existen métodos de medición de este parámetro. Sin embargo, el método más sencillo consiste en medir el comportamiento de la transmisión en combinación con el trayecto óptico relacionado. Esto significa que en principio no es necesario realmente especificar este parámetro, sino un cuadro que recoja los valores del transmisor y del receptor junto con el trayecto. Esto quiere decir que el comportamiento espectral del transmisor se define indirectamente junto con la sensibilidad del receptor y las características del trayecto, que en este caso son la dispersión y la atenuación.

II.5 Tipo de fuente

El tipo de fuente óptica para señales de 10 Gbit/s de tipo L- y V-, moduladas en intensidad es normalmente el láser modulado indirectamente, en el que pueden utilizarse tanto la implementación del modulador Mach-Zehnder como la electroabsorción. Se suele utilizar un amplificador reforzador integrado en el transmisor óptico, para conseguir los niveles de potencia necesarios en el transmisor. Sin embargo, las implementaciones no necesitan ser normalizadas y los únicos valores pertinentes son los consignados en los cuadros 4 y 5. Además de estos valores, se necesita la definición de la plantilla del diagrama en ojo para lograr la compatibilidad horizontal.

II.6 Plantilla del diagrama en ojo

Las características generales de la forma del impulso del transmisor, entre ellas los tiempos de subida y bajada, la hipermodulación y la hipomodulación, que deben controlarse para evitar la degradación, deben especificarse en forma de plantilla de diagrama en ojo. Dicha plantilla es válida en el punto de referencia MPI-S.

II.7 El receptor

En estos sistemas modulados por intensidad, pueden utilizarse implementaciones de receptores de detección directa. La implementación, sin embargo, no tiene por qué ser normalizada. Los valores necesarios de sensibilidad y reflectancia se consignan en los cuadros 4 y 5.

Apéndice III

Acomodación de la dispersión mediante la DST

III.1 Introducción

La transmisión soportada por dispersión (DST) es una técnica activa de acomodación de la dispersión (DA). El transmisor genera una señal óptica convenientemente modulada en frecuencia. La dispersión cromática de la fibra transmisora se utiliza para convertir en el receptor la modulación de la frecuencia óptica en modulación de intensidad. Gracias a este efecto, resulta posible la transmisión más allá del límite típico de dispersión (para modulación ASK convencional con

espectro de la fuente limitado por la transformada). Este apéndice contiene una descripción didáctica de la técnica DST y de los parámetros y valores del sistema DST.

III.2 Fundamento de la técnica DST

El transmisor óptico genera una señal óptica de salida FSK/ASK (o una señal óptica sólo FSK) en el nuevo esquema de transmisión. La fibra dispersiva se utiliza para convertir la parte de señal FSK en el lado transmisor, en señal ASK en el lado receptor, siendo entonces detectada toda la señal ASK en el receptor óptico.

La frecuencia óptica ν es conmutada por la señal binaria entrante entre dos valores desplazados en frecuencia $\Delta\nu$, que corresponde a un desplazamiento de longitud de onda: $\Delta\lambda = \Delta\nu\lambda^2/c$. Debido a la dispersión de la fibra, las distintas componentes de señal con distintas longitudes de onda llegan en distintos momentos a la salida de la fibra de longitud L . La diferencia de tiempo $\Delta\tau$ viene dada por $\Delta\tau = \Delta\lambda D L$. En el lado receptor se genera una señal de nivel 4- (o 3-). La señal original puede recuperarse mediante:

- a) un filtro paso bajo y un circuito de decisión con un solo umbral; o bien mediante
- b) detección de doble umbral con los umbrales P_1 y P_0 y con memoria.

La figura III.1 muestra el principio de la "transmisión por dispersión" para las señales del transmisor a) y las señales del receptor b), siendo I la señal de excitación del transmisor, ν la frecuencia óptica, P_{opt} la potencia óptica de entrada, V_{LP} la tensión a la salida del filtro paso bajo (LP, *low-pass filter*) y V_{dec} la tensión a la salida del circuito de decisión.

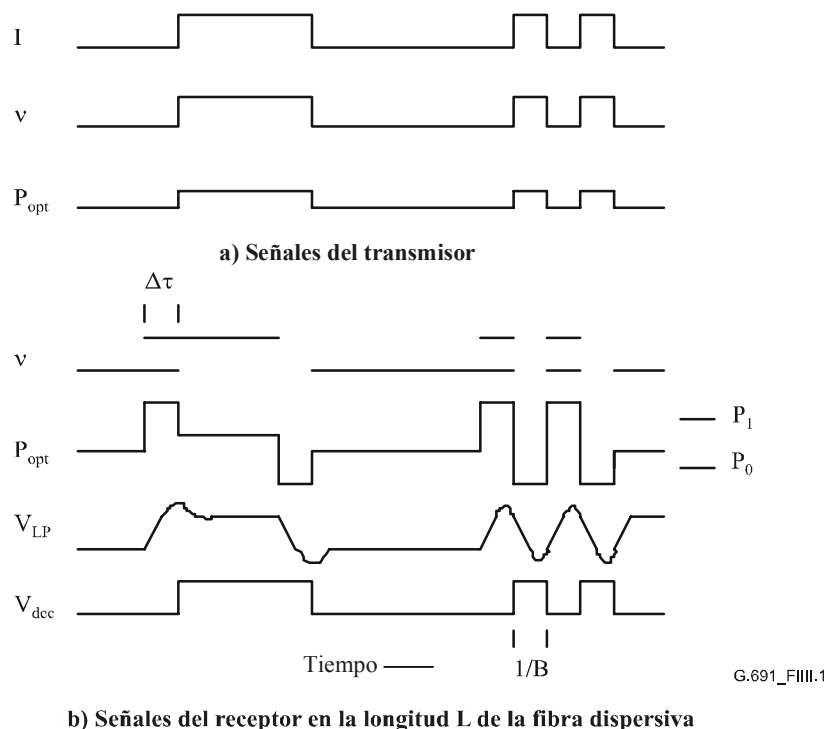


Figura III.1/G.691 – Principio de la transmisión soportada por dispersión; transmisión óptica FSK/ASK

El principio de la DST puede describirse también utilizando el análisis de pequeña señal en el dominio de frecuencias: La fluctuación adiabática (modulación de frecuencia óptica) de la señal óptica transmitida combinada con el efecto de la dispersión cromática de la fibra produce una característica de transferencia similar a la de un filtro paso alto, para las bajas frecuencias. Esta respuesta se puede ecualizar en el dominio eléctrico, por ejemplo mediante un filtro paso bajo (o "filtro DST") en el receptor.

III.3 Plantilla del diagrama en ojo del receptor óptico, tras la transmisión de la fibra dispersiva

En comparación con el diagrama en ojo de dos niveles del receptor con una señal óptica ASK pura, la señal óptica FSK pura presenta un diagrama en ojo de tres niveles en el receptor y la señal compuesta FSK/ASK presenta un diagrama en ojo de cuatro niveles en el receptor, tras la transmisión por la fibra dispersiva, según indican las figuras III.2 a) y b), respectivamente.

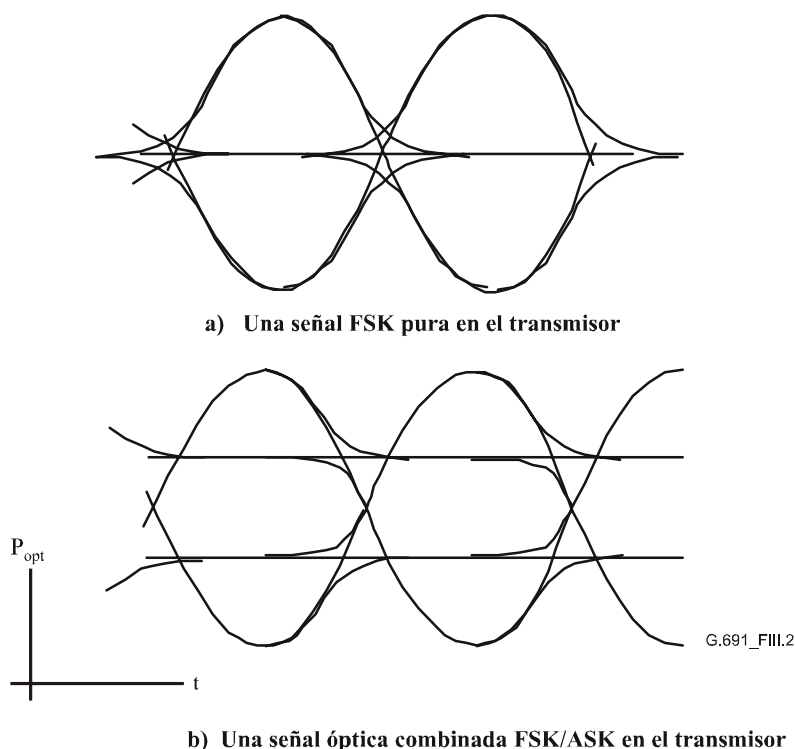


Figura III.2/G.691 – Diagramas en ojo del receptor tras la fibra dispersiva

III.4 Definición de los parámetros

Sólo se definen aquí los parámetros exclusivos de la DST u otros que requieran comentarios. Los restantes parámetros se definen en la cláusula 6 y son totalmente aplicables al método DST salvo que se definan en esta subcláusula.

III.4.1 El transmisor en el punto de referencia MPI-S

III.4.1.1 Desviación de frecuencia

La desviación de frecuencia se utiliza para lograr que la señal transmitida tenga la cantidad apropiada de modulación de frecuencia óptica para el intervalo de transmisión en cuestión.

La desviación de frecuencia $\Delta\nu$ de la señal óptica transmitida en el punto de referencia MPI-S se define como $\Delta\nu = \nu_1 - \nu_0$ siendo ν_1 la frecuencia óptica ν durante la transmisión de la señal que representa un "1" lógico (correspondiente así mismo a un nivel de potencia óptica alto), y ν_0 la

frecuencia óptica durante la transmisión de la señal que representa al "0" lógico (correspondiente así mismo a un nivel de potencia óptica bajo).

III.4.1.1.1 Método de medida

Puede utilizarse el esquema de medida descrito en el apéndice IV. Se evalúan las variables $V^+(t)$ y $V^-(t)$ con arreglo al apéndice IV. La fluctuación de frecuencia en el tiempo $v_c(t) = v(t) - v_r$ viene dada por:

$$v_c(t) = (2\pi)^{-1} \text{FSR} \arcsen\left(\frac{V^-(t)}{V^+(t)}\right)$$

$v_c(t)$ se calcula y se dibuja junto con $P(t)$, compárese con la figura IV.4.

$v_1 - v_r$ se calcula a partir de $v_c(t)$ en el centro del tercer bit del byte A1 (11110110).

$v_{\tilde{0}} - v_r$ se calcula a partir de $v_c(t)$ en el centro del último bit del byte A2 (00101000).

La desviación de frecuencia se calcula como $\Delta v = v_1 - v_{\tilde{0}} = (v_1 - v_r) - (v_{\tilde{0}} - v_r)$.

(La desviación de frecuencia puede calcularse también a partir del diagrama de prueba que muestra la figura II.1/G.957, aunque este procedimiento queda en estudio.)

III.4.1.2 Plantilla del diagrama en ojo del transmisor

Al igual que en los sistemas IM puros, la plantilla del diagrama en ojo se utiliza para especificar las características de la forma del impulso del transmisor y su degradación. Dado que los sistemas DST emplean la modulación de intensidad y la de frecuencia para transmitir la información, se utilizan dos técnicas de medición de la plantilla del diagrama en ojo para caracterizar la señal del transmisor óptico en el punto de referencia MPI-S.

III.4.1.2.1 Plantilla del diagrama en ojo para IM

La definición de la plantilla del diagrama en ojo para IM especifica la parte de la señal modulada en intensidad, y es idéntica a la definición y uso de la plantilla del diagrama en ojo para IM de 6.2.4. Los valores de la plantilla del diagrama en ojo en IM definidos en la figura 2 de 6.2.4, se consignan en el cuadro III.1 a continuación:

Cuadro III.1/G.691 – Valores de la plantilla del diagrama en ojo para IM en los sistemas DST

Plantilla del diagrama en ojo para STM-64 IM (DST)	
x_1/x_4	–
x_2/x_3	–
$x_3 - x_2$	0,2
y_1/y_2	0,3/0,6

III.4.1.2.2 Plantilla en ojo para FM/IM

La plantilla en ojo para FM/IM tiene la función correspondiente para la modulación de frecuencia utilizada para compensar la dispersión del enlace. Así mismo, para visualizar la parte FM de la señal, la prueba de la plantilla FM/IM incluye una determinada conversión FM a IM y una determinada respuesta en frecuencia del receptor de referencia en el esquema de medición de la plantilla en ojo. El esquema de medición de la plantilla en ojo para FM/IM se describe a continuación.

El esquema de medición es semejante al descrito en la figura B.1/G.957. Además, el nuevo esquema de medición incluye:

- i) un elemento dispersivo con una dispersión cromática equivalente a una longitud de fibra definida con arreglo a la Rec. UIT-T G.652; y
- ii) un preamplificador óptico para compensar la atenuación del elemento dispersivo.

Los equipos adicionales i) y ii) se sitúan entre el transmisor objeto de la prueba y la entrada óptica del receptor de referencia. La función de transferencia $H(p)$ del receptor óptico de referencia (véase la figura B.2/G.957) se define como:

$$H(p) = \frac{U_0}{2U_2}$$

Para la medición de la plantilla en ojo para FM/IM se utiliza la siguiente función de transferencia del receptor de referencia:

$$H = H_B \cdot H_D$$

siendo H_B la respuesta Bessel-Thomson response de cuarto orden definida en el anexo B/G.957, y H_D el filtro paso bajo de primer orden definido como:

$$H_D = \left(1 + j \frac{f}{f_g}\right)^{-1} = \left(1 + \frac{f_r}{f_g} p\right)^{-1} = \left(1 + 0,75 \frac{f_0}{f_g} p\right)^{-1} = \left(1 + \frac{0,75}{2,114} \frac{f_0}{f_g} y\right)^{-1}$$

siendo:

$$p = j \frac{\omega}{\omega_r}, y = 2,114 p, \omega_r = 1,5\pi f_0, f_0 = \text{velocidad binaria}, f_r = 0,75 f_0$$

y la frecuencia de corte f_g .

El filtro puede ser físico, aunque como alternativa se propone también realizarlo con soporte lógico, utilizando por ejemplo un PC o un analizador del diagrama en ojo; este aspecto queda en estudio.

Los valores característicos del elemento dispersivo con una dispersión cromática equivalente a una longitud de fibra definida de acuerdo con la Rec. UIT-T G.652 y la frecuencia de corte del receptor f_g utilizada en el esquema de medición se consignan en el cuadro III.2 a continuación:

Cuadro III.2/G.691 – Valores del filtro DST

	Unidad	DST L-64.2/1	DST L-64.2/2	DST V-64.2
Frecuencia de corte del filtro	MHz	2500	2500	1400
Longitud de fibra equivalente a la Rec. UIT-T G.652	km	80	80	120

Tras esta conversión de la señal en el elemento dispersivo e incluyendo la respuesta modificada en frecuencia del receptor de referencia para la medición de la plantilla en ojo, la definición y el procedimiento son idénticos a la definición y uso de la plantilla en ojo para IM de 6.2.4.

El cuadro III.3 recoge los valores de la plantilla en ojo para FM/IM:

Cuadro III.3/G.691 – Valores de la plantilla en ojo para FM/IM en los sistemas DST

Plantilla del diagrama en ojo para STM-64 FM/IM	
x_1/x_4	–
x_2/x_3	–
x_3-x_2	0,2
y_1/y_2	0,3/0,6

III.4.2 Receptor en el punto de referencia MPI-R

III.4.2.1 Sensibilidad mínima

La sensibilidad del receptor se define como el mínimo valor aceptable de la potencia media recibida en el punto MPI-R para obtener una BER de 1×10^{-12} . En los sistemas DST, la definición de sensibilidad del receptor incluye un elemento dispersivo entre MPI-S y MPI-R, cuya dispersión cromática es igual a la mínima dispersión cromática definida para la distancia objetivo considerada, recogiendo los valores en el cuadro III.4. Todos los demás requisitos de la sensibilidad del receptor de 6.4.1 también son aplicables al receptor DST.

Los detalles de la realización del receptor, por ejemplo, la especificación de la función de transferencia de un cierto filtro, no figuran en el cuerpo de esta Recomendación. Sólo la función de transferencia del filtro del esquema de medición de la plantilla en ojo del transmisor, viene normalizada en el anexo B/G.957. Esto no implica que el receptor óptico del sistema de transmisión tenga la misma función de transferencia del filtro.

La misma estrategia es aplicable a los sistemas DST: sólo están normalizadas las funciones de transferencia del filtro de los receptores de referencia para la medición de la plantilla en ojo. La función de transferencia del filtro del receptor óptico del sistema de transmisión no ha de normalizarse. Puede aplicarse un filtro paso bajo al receptor; sin embargo, puede emplearse así mismo una solución diferente basada en un circuito de decisión especializado capaz de detectar diagramas en ojo multinivel.

III.4.2.2 Máxima penalización del trayecto óptico

La definición de penalización del trayecto óptico viene dada en 6.4.3. Esta definición es aplicable así mismo a los sistemas DST, teniendo en cuenta la anterior definición de sensibilidad del receptor en los sistemas DST.

III.5 Valores de los parámetros ópticos

Los valores de los parámetros ópticos se presentan en el cuadro III.4.

Cuadro III.4/G.691 – Valores de los parámetros de las interfaces ópticas STM-64 que utilizan DST

Código de aplicación	Unidad	DST L-64.2/1	DST L-64.2/2	DST V-64.2
Transmisor en el punto de referencia MPI-S				
Intervalo de longitud de onda de funcionamiento	nm	1530-1565	1530-1565	1530-1565
Potencia media emitida				
– máxima	dBm	3	13	17
– mínima	dBm	0	10	14
Características espectrales				
– parámetro de fluctuación máxima α	rad	3,5	3,5	3,5
– frecuencia máxima desviación	GHz	8	8	6
– frecuencia mínima desviación	GHz	7	7	5
– máxima densidad espectral de potencia	mW/MHz	0,02	0,02	0,02
– mínima SMSR	dB	35	35	35
EX mínima	dB	3	3	2
Trayecto óptico principal, entre MPI-S y MPI-R				
Intervalo de atenuación				
– máximo	dB	22	22	33
– mínimo	dB	11	16	22
Dispersión cromática				
– máxima	ps/nm	1600	1600	2400
– mínima	ps/nm	800	800	1600
Compensación de dispersión pasiva				
– máxima	ps/nm	NA	NA	NA
– mínima	ps/nm	NA	NA	NA
DGD máximo	ps	30	30	30
Mín. ORL de la planta de cable en MPI-S, incluidos los conectores	dB	24	24	24
Máxima reflectancia discreta entre MPI-S y MPI-R	dB	-27	-27	-27
Receptor en el punto de referencia MPI-R				
Sensibilidad mínima	dBm	-24	-14	-21
Sobrecarga máxima	dBm	-8	-3	-5
Máxima penalización del trayecto óptico	dB	2	2	2
Máxima reflectancia del receptor medida en MPI-R	dB	-27	-27	-27

Apéndice IV

Medición del parámetro de fluctuación de la señal de transmisión óptica α

Este método se basa en la medición directa en el dominio del tiempo de la potencia y la desviación de frecuencia de la señal de transmisión óptica.

IV.1 Esquema de la medición

El esquema recomendado para la medición del parámetro de fluctuación se basa en el interferómetro óptico de doble haz (por ejemplo, el interferómetro Michelson o el Mach-Zehnder), un convertor óptico de banda ancha y un osciloscopio digital de banda ancha, véase la figura IV.1.

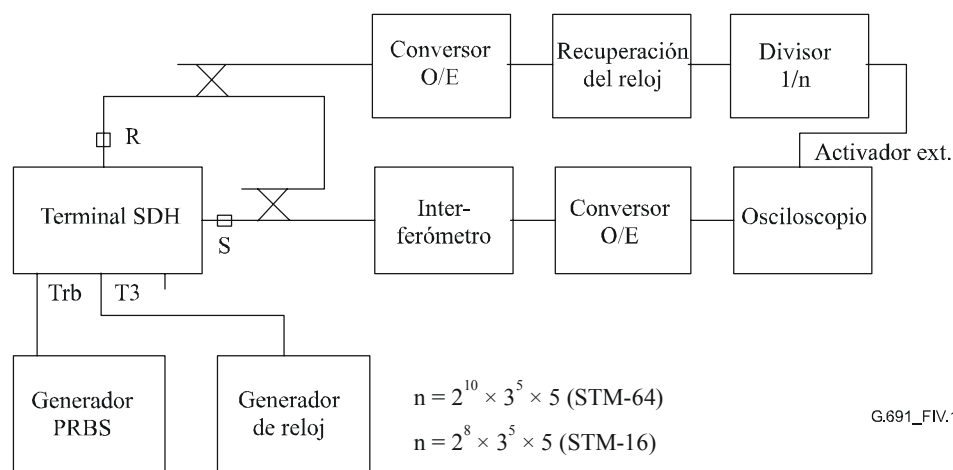


Figura IV.1/G.691 – Esquema de la medición

La salida óptica del transmisor objeto de la prueba se conecta al interferómetro de doble haz en el punto de referencia S. A continuación, la salida del interferómetro se conecta al convertor óptico y la señal eléctrica que sale de éste se registra en el osciloscopio digital de banda ancha. El osciloscopio se activa con una señal de sincronización de cuadro generada subdividiendo la frecuencia de reloj recuperada de la señal óptica recibida.

Para mantener encendido el transmisor durante la medición, una fracción de la luz que llega al interferómetro se inyecta en el puerto del receptor óptico del equipo transmisor. Se conecta un generador de datos PRBS $2^{23}-1$ a los puertos tributarios, configurados en la modalidad de bucle.

IV.2 Requisitos técnicos de los equipos de medida

Interferómetro de doble haz

Segmento espectral libre (FSR, *free spectral range*): Cuatro veces mayor que la fluctuación del transmisor, como mínimo.

Transmisor

Desplazamiento de la longitud de onda: Ajustable. El segmento debe ser igual o mayor que el segmento espectral libre del interferómetro.

El interferómetro de doble haz debe contar con un circuito de control que bloquee la entrada de la señal al interferómetro. Dicho circuito de control debe permitir bloquear la señal de entrada en los puntos de cuadratura A y B, véase la figura IV.2

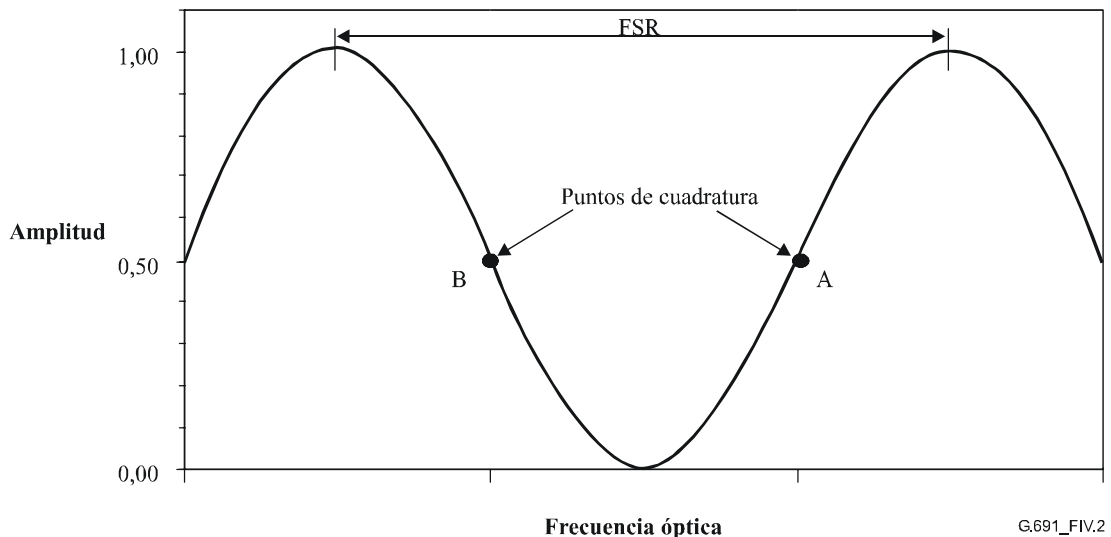


Figura IV.2/G.691 – Dibujo de la función de transferencia del interferómetro de doble haz en el que se muestran los puntos de cuadratura A y B y se define el segmento espectral libre

Respuesta combinada en frecuencia del convertidor óptico y del osciloscopio

Frecuencia de corte inferior a –3 dB: <100 kHz

Frecuencia de corte superior a –3 dB: >20 GHz

El osciloscopio deberá tener una capacidad de memoria de cuatro trazos como mínimo y ejecutar funciones matemáticas avanzadas sobre los trazos o poder transferir los datos medidos a un computador para su procesamiento.

IV.3 Calibrado

El intervalo espectral libre del interferómetro se determina a partir del retardo t_d correspondiente a los dos trayectos ópticos en el interior del interferómetro:

$$FSR = \frac{1}{t_d}$$

t_d puede medirse directamente, detectando la diferencia entre los momentos de llegada de cada haz por medio del osciloscopio, o indirectamente, calculando el retardo con ayuda de una regla. El FSR puede calcularse midiendo la función de transferencia del interferómetro por medio de un analizador de componentes de señal luminosa. El primer cero de la función de transferencia está en una frecuencia igual a $FSR/2$.

El punto de cuadratura del interferómetro se ajusta para que coincida con la longitud de onda del transmisor sintonizando con precisión la FSR. La posición correcta se determina supervisando la potencia media de la señal del transmisor SDH por medio del interferómetro como función de la sintonía fina del FSR. El punto de cuadratura es la posición en que la potencia media que atraviesa el interferómetro equidista de la potencia máxima y de la mínima en una escala lineal. En esta posición el interferómetro estará bloqueado para la señal del transmisor.

IV.4 Procedimiento de medición

- 1) Dispónganse los equipos como muestra la figura IV.1. Aplíquese a la señal la atenuación suficiente para impedir la sobrecarga del receptor.
- 2) Configúrese la entrada tributaria del transmisor en la modalidad de bucle y conéctese el generador PRBS a la primera entrada tributaria.
- 3) Sincronícese el transmisor al reloj recuperado, configurando la fuente de temporización para la señal agregada como T3 (Entrada de reloj externo).
- 4) Calíbrese el interferómetro de doble haz con arreglo a IV.3. Bloquéese el interferómetro en el punto de cuadratura A.
- 5) Ajústese el tiempo de retardo del osciloscopio hasta que los bytes de sincronización de trama A1 A2 de la SDH aparezcan en el osciloscopio. Regístrese la traza de la transición del byte A1 al A2 (11110110 al 00101000) y guárdese en memoria la traza como $V_A(t)$.
- 6) Bloquéese el interferómetro en el punto de cuadratura B.
- 7) Guárdese en memoria la traza de los datos en el osciloscopio como $V_B(t)$.

IV.5 Procesamiento de los datos

El parámetro de fluctuación se calcula a partir de la suma y la diferencia de $V_A(t)$ y $V_B(t)$. Por consiguiente se definen las variables $V^+(t)$ y $V^-(t)$ del siguiente modo:

$$V^+(t) = \frac{V_A(t) + V_B(t)}{2}$$

$$V^-(t) = \frac{V_A(t) - V_B(t)}{2}$$

La intensidad del transmisor variable en el tiempo $P(t)$ es proporcional a $V^+(t)$. El parámetro de fluctuación se calcula como:

$$\alpha(t) = 2 \times FSR \times \frac{V^+(t) \times \arcsin \frac{V^-(t)}{V^+(t)}}{\frac{\partial V^+(t)}{\partial t}}$$

$P(t)$ y $\alpha(t)$ se calculan y se dibujan en la misma gráfica. El parámetro de fluctuación del transmisor se define como el valor de $\alpha(t)$ calculado en el instante en que la intensidad $P(t)$ equidista de los niveles que representan el "0" y el "1" de los datos.

IV.6 Ejemplos e interpretación de los datos

La figura IV.3 muestra un ejemplo de los resultados medidos de las trazas $V_A(t)$ y $V_B(t)$ medidas a partir de una señal PRBS con una velocidad binaria de 10 Gbit/s.

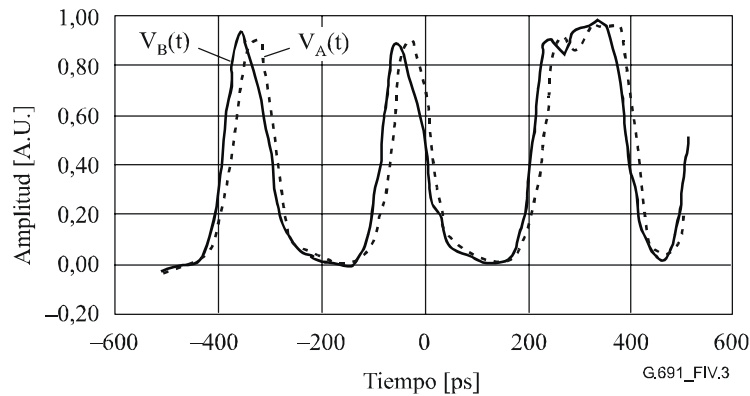


Figura IV.3/G.691 – Trazas de datos de una señal PRBS de 10 Gbit/s medida con el interferómetro ajustado a los puntos de cuadratura A y B, respectivamente

La figura IV.4 muestra una gráfica del cálculo de $P(t)$ y $\alpha(t)$ descrito en el apartado anterior.

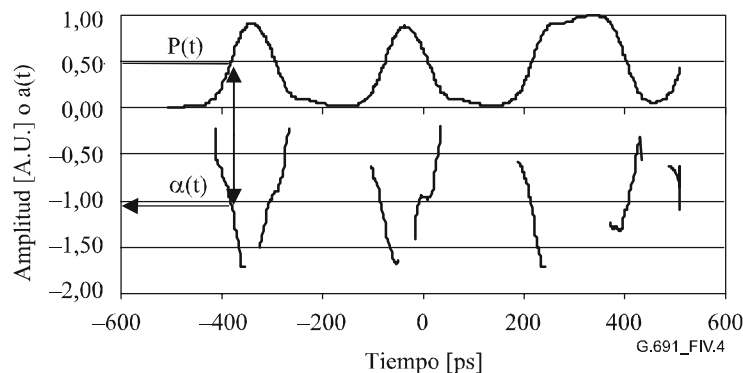


Figura IV.4/G.691 – Gráfica de los valores calculados para $P(t)$ y $\alpha(t)$. Las flechas indican cómo hallar el parámetro de fluctuación

El parámetro de fluctuación puede calcularse sobre los frentes anterior y posterior del impulso de datos. En la figura IV.4, la determinación del parámetro de fluctuación se efectúa sobre el primer frente anterior de los impulsos de la traza. El parámetro de fluctuación varía ligeramente en función de la posición del impulso en la traza. El mínimo y el máximo del parámetro de fluctuación en el dibujo deberán estar dentro de los límites especificados para el sistema.

Queda en estudio la repercusión del parámetro de fluctuación sobre la calidad de funcionamiento del sistema. Queda en estudio asimismo, si el parámetro de fluctuación debe calcularse en base al frente anterior del impulso o al posterior, como media o en el caso más desfavorable.

Apéndice V

Consideraciones sobre la actualización

Un ejemplo de actualización para aumentar la velocidad binaria es la migración de un sistema monocanal amplificado en línea STM-16 a un STM-64. Un STM-16 de 640 km de longitud con siete amplificadores de línea para la regeneración puede migrarse a un STM-64 sustituyendo el amplificador de línea del centro por un regenerador, dejando inalterados el resto de los amplificadores de línea y sus posiciones. La figura V.1 muestra esta actualización.

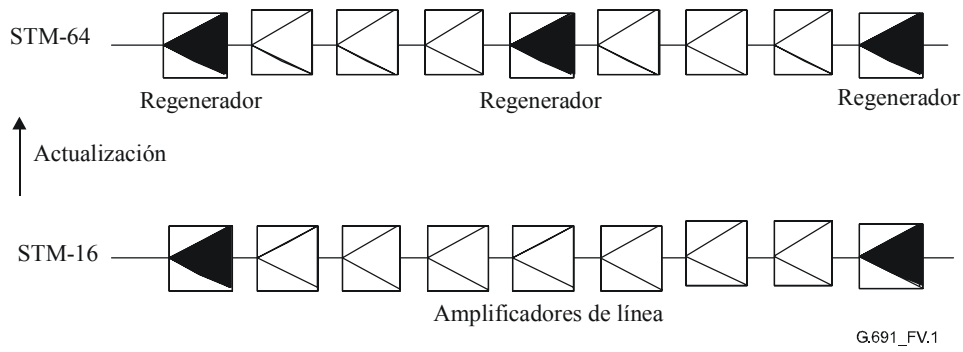


Figura V.1/G.691 – Ejemplo de actualización de STM-16 a STM-64

La actualización de STM-4 a STM-16 no tiene interés práctico porque el sistema STM-4 con amplificadores de línea no serían rentable salvo que se redujera sensiblemente el coste del amplificador de línea.

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

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