



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.692

(10/98)

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 sistemas multicanales
con amplificadores ópticos**

Recomendación UIT-T G.692

(Anteriormente Recomendación del CCITT)

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

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100–G.199
SISTEMAS INTERNACIONALES ANALÓGICOS DE PORTADORAS	
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	
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	
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
SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DIGITAL	
EQUIPOS TERMINALES	G.700–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900–G.999

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

INTERFACES ÓPTICAS PARA SISTEMAS MULTICANALES CON AMPLIFICADORES ÓPTICOS

Resumen

Esta Recomendación especifica las interfaces de los sistemas de línea ópticos multicanales a fin de conseguir compatibilidad transversal entre dichos sistemas.

La presente Recomendación define los parámetros de las interfaces de los sistemas de cuatro, ocho y dieciséis velocidades binarias de hasta STM-16 sobre fibra óptica, tal como se describe en las Recomendaciones G.652, G.653 y G.655, con una distancia entre amplificadores de 80 km, 120 km y 160 km y un objetivo de distancia entre regeneradores de hasta 640 km. Para facilitar la selección de las frecuencias centrales de los canales se especifica una rejilla de frecuencias con su referencia a 193,1 THz con separaciones entre canales que son múltiplos enteros de 50 GHz y 100 GHz.

Orígenes

La Recomendación UIT-T G.692 ha sido preparada por la Comisión de Estudio 15 (1997-2000) del UIT-T y fue aprobada por el procedimiento de la Resolución N.º 1 de la CMNT el 23 de octubre de 1998.

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 Conferencia Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (CMNT), 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 N.º 1 de la CMNT.

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.

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 1999

Es propiedad. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse o utilizarse, de ninguna forma o por ningún medio, sea éste electrónico o mecánico, de fotocopia o de microfilm, sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

Página

1	Alcance.....	1
2	Referencias.....	1
3	Terminología.....	2
4	Abreviaturas.....	3
5	Clasificación de las interfaces ópticas.....	3
5.1	Aplicaciones.....	3
5.1.1	Códigos de aplicación para sistemas sin amplificadores de línea.....	3
5.1.2	Códigos de aplicación para sistemas con amplificadores de línea.....	4
5.2	Implementación.....	5
5.2.1	Configuraciones de referencia.....	5
5.2.2	Implementaciones del canal de supervisión óptico.....	6
6	Definición de parámetros.....	7
6.1	Salidas de los transmisores.....	7
6.1.1	Características espectrales.....	7
6.1.2	Potencia inyectada media.....	7
6.1.3	Relación de extinción.....	7
6.1.4	Plantilla del diagrama en ojo.....	7
6.1.5	Frecuencia central.....	7
6.1.6	Separación de canales.....	8
6.1.7	Desviación de la frecuencia central.....	8
6.2	Puertos de entrada de canal.....	8
6.3	Interfaces ópticas en los puntos MPI-S y S'.....	8
6.3.1	Diafonía óptica en el lado de transmisión.....	8
6.3.2	Potencia de salida de canal.....	8
6.3.3	Potencia inyectada total.....	8
6.3.4	Relación señal/ruido óptica de canal.....	9
6.3.5	Diferencia máxima de la potencia de canal en el punto MPI-S o en el punto S'.....	9
6.4	Trayecto óptico.....	9
6.4.1	Atenuación.....	9
6.4.2	Dispersión.....	9
6.4.3	Reflexiones.....	10
6.5	Parámetros de los amplificadores ópticos de línea.....	10
6.5.1	Variación de ganancia multicanal.....	10
6.5.2	Desviación de ganancia multicanal.....	10

	Página	
6.5.3	Diferencia de cambio de ganancia multicanal.....	10
6.5.4	Potencia recibida total.....	10
6.5.5	Potencia inyectada total.....	10
6.5.6	Figura de ruido espontáneo de la señal.....	10
6.6	Interfaces ópticas en los puntos MPI-R y R'.....	10
6.6.1	Potencia de entrada media de canal.....	10
6.6.2	Potencia total de entrada media.....	11
6.6.3	Relación señal/ruido óptica de canal.....	11
6.6.4	Diafonía óptica en los puntos MPI-R y R'.....	11
6.6.5	Diferencia máxima de la potencia de canal en el punto MPI-R o el punto R'.....	11
6.7	Puertos de salida de canal.....	11
6.7.1	Diafonía óptica en los puertos de salida de canal.....	11
6.8	Entrada de los el receptores.....	11
6.8.1	Sensibilidad del receptor.....	11
6.8.2	Sobrecarga del receptor.....	11
6.8.3	Penalización del trayecto óptico.....	12
6.8.4	Reflectancia del receptor.....	12
6.8.5	Relación señal/ruido óptica.....	12
6.8.6	Gama de longitudes de onda del receptor.....	12
6.9	Parámetros del canal de supervisión óptico.....	12
6.9.1	Longitudes de onda del canal de supervisión óptico.....	12
7	Valor de los parámetros de la interfaz óptica.....	12
Anexo A – Frecuencias centrales nominales.....		14
Anexo B – Enfoques alternativos para el canal de supervisión óptico.....		16
B.1	OSC a 1480 nm.....	16
B.2	OSC en la banda de 1310 nm.....	16
B.3	OSC en la anchura de banda de ganancia del EDFA.....	16
Apéndice I – Metodología para determinar los niveles de potencia óptica.....		17
I.1	Potencia de canal.....	17
I.1.1	Potencia mínima de canal.....	17
I.1.2	Potencia máxima de canal.....	18
I.1.3	Gama máxima para la potencia de canal.....	19
I.2	Potencia total máxima.....	19

Apéndice II – Selección de la separación mínima de canales y de la frecuencia de referencia de la rejilla del plan de multiplexación por división de longitud de onda (WDM)....	19
II.1 Separación de 50/100 GHz y referencia de 193,10 THz.....	19
II.2 Referencia absoluta de frecuencia (AFR).....	20
II.2.1 Precisión de la AFR	20
II.2.2 Estabilidad de la AFR	20
Apéndice III – Propuesta de asignación de las frecuencias de canal para aplicaciones basadas en fibras G.652/G.655	21
Apéndice IV – Propuesta de asignación de las frecuencias de canal para aplicaciones basadas en fibras G.653.....	22
Apéndice V – Metodología de asignación de canales para aplicaciones basadas en fibras de tipo G.653 con una separación irregular de canales	24
V.1 Determinación de las frecuencias de canal con separación irregular.....	24
V.1.1 Condiciones básicas de diseño	24
V.1.2 Determinación del intervalo entre frecuencias.....	25
V.1.3 Anchura de banda óptica para una asignación de frecuencia con separación irregular.....	26
V.2 Asignación de frecuencia a canales con separación irregular y un intervalo de frecuencia de 25 GHz.....	27
V.3 Asignación de frecuencias a canales con separación irregular y un intervalo de frecuencia de 50 GHz.....	27
V.4 Asignación de frecuencias a canales con separación irregular y un intervalo de frecuencia de 100 GHz.....	28
V.5 Impacto de la separación irregular sobre otros parámetros.....	28
V.5.1 Desviación de frecuencia para separación irregular con desplazamiento de frecuencia.....	28
V.5.2 Niveles de potencia	29
V.6 Bibliografía.....	29
Apéndice VI – Utilización de la pre-igualación en el punto MPI-S.....	29
Apéndice VII – Ampliación de la Recomendación G.692 para incluir la transmisión bidireccional mediante WDM	30
Apéndice VIII – Ampliación de la Recomendación G.692 para incluir la transmisión de 16 y de 32 o más canales.....	31
Apéndice IX – Ampliación de la Recomendación G.692 para incluir la velocidad de transmisión STM-64.....	31

Recomendación G.692

INTERFACES ÓPTICAS PARA SISTEMAS MULTICANALES CON AMPLIFICADORES ÓPTICOS

(Ginebra, 1998)

1 Alcance

Esta Recomendación se aplica a las interfaces ópticas de los sistemas de línea ópticos digitales con amplificadores ópticos para aplicaciones terrestres de larga distancia. Esta Recomendación define y proporciona valores para los parámetros de las interfaces ópticas de sistemas entre centrales y de larga distancia con un objetivo de distancia de 160 km sin amplificadores de línea y con un objetivo de distancia de 640 km con amplificadores de línea. La nueva Recomendación G.681 describe las configuraciones de referencia de los sistemas y de sus bloques funcionales.

El objetivo de esta Recomendación es proporcionar especificaciones de los amplificadores ópticos para sistemas SDH y para equipos de amplificadores ópticos a fin de conseguir sistemas multicanal con compatibilidad transversal. En la etapa actual de desarrollo no ha sido posible finalizar todas las especificaciones necesarias para conseguir sistemas con una compatibilidad transversal total. No obstante, la versión inicial de esta Recomendación ha sido publicada debido al interés de la industria y a la aparición de las primeras realizaciones de estos sistemas. El desarrollo de una especificación completa queda pendiente de versiones ulteriores de esta Recomendación.

Esta Recomendación se aplica principalmente a sistemas multicanales punto a punto. No se han considerado aspectos específicos de sistemas ópticos de extracción e inserción.

Esta Recomendación pretende describir sistemas de línea ópticos con las características siguientes:

- número máximo de canales: 4, 8, 16, 32 o más;
- tipos de señales: STM-4, STM-16 y STM-64;
- transmisión sobre una única fibra: unidireccional o bidireccional.

En función de la evolución de la tecnología y de los mercados, algunas de las características antes descritas no han quedado totalmente caracterizadas y quedan en estudio. Algunos aspectos de sistemas de 16 y 32 canales, STM-64 y posiblemente la transmisión bidireccional, quedan en estudio. Algunos aspectos de los sistemas relativos a la transmisión bidireccional (apéndice VII) y la transmisión de 16 y de 32 canales (apéndice VIII) y la transmisión de STM-64 (apéndice IX), están incluidos en los apéndices indicados.

Esta Recomendación se ha elaborado en base a la experiencia existente con amplificadores de fibra óptica de silicio dopado con erbio [EDFA, *erbium-doped (silica-based fibre) amplifiers*] trabajando en la región de longitud de onda de 1550 nm. Esta Recomendación no excluye la incorporación futura de nuevos amplificadores ópticos que trabajen en regiones de longitud de onda diferentes, incluida la región de 1310 nm.

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.

- Recomendación UIT-T G.652 (1997), *Características de un cable de fibra óptica monomodo.*
- Recomendación UIT-T G.653 (1997), *Características de los cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada.*
- Recomendación UIT-T G.655 (1996), *Características de un cable de fibra óptica monomodo con dispersión no nula.*
- Recomendación UIT-T G.661 (1998), *Definición y métodos de prueba de los parámetros genéricos pertinentes de los dispositivos y subsistemas amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.662 (1998), *Características genéricas de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos.*
- Recomendación UIT-T G.663 (1996), *Aspectos relacionados con la aplicación de los dispositivos y subsistemas de amplificadores de fibra óptica.*
- Recomendación UIT-T G.671 (1996), *Características de transmisión de los componentes ópticos pasivos.*
- Recomendación UIT-T G.681 (1996), *Características funcionales de los sistemas de línea intercentrales y de larga distancia que utilizan amplificadores ópticos, incluida la multiplexación óptica.*
- Recomendación UIT-T G.707 (1996), *Interfaz de nodo de la red para la jerarquía digital síncrona.*
- Recomendación UIT-T G.783 (1997), *Características de los bloques funcionales del equipo de la jerarquía digital síncrona.*
- 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.*
- Recomendación UIT-T G.957 (1995), *Interfaces ópticas para equipos y sistemas basados en la jerarquía digital síncrona.*
- Publicación 60825-1 de la CEI (1993), *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide.*
- Publicación 61291-4 de la CEI Ed.1.0 (trabajo en curso), *Performance specification template on optical amplifiers – Part 4: Optical fibre amplifiers for multichannel applications.*

3 Terminología

En esta Recomendación se definen los términos siguientes.

3.1 canal de supervisión óptico (OSC, *optical supervisory channel*): Un canal al que se accede en cada amplificador óptico de la línea que se utiliza con fines de mantenimiento incluida (pero no limitado a) la información de alarmas en ubicaciones distantes, las comunicaciones necesarias para la localización de fallos y el canal de órdenes. El canal de supervisión óptico no se utiliza para transportar tráfico real.

3.2 trayecto (óptico) principal: Planta de fibra entre el punto MPI-S del equipo transmisor y el punto MPI-R del equipo receptor. El trayecto principal no incluye ningún trayecto auxiliar.

3.3 interfaces de trayecto principal: Interfaces con la planta de fibra especificada en esta Recomendación.

4 Abreviaturas

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

AFR	Referencia absoluta de frecuencia (<i>absolute frequency reference</i>)
ASE	Emisión espontánea amplificada (<i>amplified spontaneous emission</i>)
BER	Tasa de errores en los bits (<i>bit-error ratio</i>)
EDFA	Amplificador de fibra con dopaje de erbio (<i>erbium-doped fibre amplifier</i>)
FWM	Mezcla de cuatro ondas (<i>four-wave mixing</i>)
MPI	Interferencia de trayectos múltiples (<i>multiple path interference</i>)
MPI-R	Interfaz del trayecto principal en el receptor (<i>main path interface at the receiver</i>)
MPI-S	Interfaz del trayecto principal en el transmisor (<i>main path interface at the transmitter</i>)
NF	Figura de ruido (<i>noise figure</i>)
OA	Amplificador óptico (<i>optical amplifier</i>)
OD	Demultiplexor óptico (<i>optical demultiplexer</i>)
OEO	Convertidor eléctrico-óptico-eléctrico (<i>optical-electrical-optical converter</i>)
OM	Multiplexor óptico (<i>optical multiplexer</i>)
OSC	Canal de supervisión óptico (<i>optical supervisory channel</i>)
OSNR	Relación señal a ruido óptica (<i>optical signal-to-noise ratio</i>)
PMD	Dispersión del modo de polarización (<i>polarisation mode dispersion</i>)
RX	Receptor óptico (<i>optical receiver</i>)
SBS	Dispersión de Brillouin estimulada (<i>stimulated Brillouin scattering</i>)
SDH	Jerarquía digital síncrona (<i>synchronous digital hierarchy</i>)
SNR	Relación señal a ruido (<i>signal-to-noise ratio</i>)
SPM	Modulación de autofase (<i>self phase modulation</i>)
STM-N	Módulo de transporte síncrono de nivel N (<i>synchronous transport module level N</i>)
TX	Transmisor óptico (<i>optical transmitter</i>)
WDM	Multiplexación por división de longitud de onda (<i>wavelength division multiplexing</i>)
XPM	Modulación de fase cruzada (<i>cross-phase modulation</i>)

5 Clasificación de las interfaces ópticas

5.1 Aplicaciones

Esta Recomendación trata de sistemas multicanales para aplicaciones terrestres de larga distancia con una distancia objetivo total y separación discreta de amplificadores tal como se describe en los párrafos siguientes.

5.1.1 Códigos de aplicación para sistemas sin amplificadores de línea

Estas aplicaciones constan de 4, 8 ó 16 canales ópticos que se multiplexan ópticamente. Cada canal puede ser un sistema STM-4 o STM-16, incluyendo una combinación simultánea de canales de

distinta velocidad binaria. Las distancia objetivo de estos sistemas es de 80 km, 120 km y 160 km sobre fibras G.652, G.653 y G.655. Los códigos de aplicación con fibra G.653 quedan en estudio. Los códigos de aplicación para sistemas sin amplificadores de línea se resumen en el cuadro 1.

Los códigos de aplicación del cuadro 1 se han construido como sigue:

- $nWx-y.z$

donde, para cada código de aplicación:

- n es el número máximo de longitudes de onda.
- W es una letra que indica la longitud del vano, siendo:
 - L indica larga distancia;
 - V indica muy larga distancia;
 - U indica distancia ultra larga.
- x es el número máximo de vanos permitidos para el código de aplicación ($x = 1$ para sistemas sin amplificadores de línea. En este caso se omite).
- y es la velocidad binaria máxima (nivel STM) de las señales.
- z es el tipo de fibra, siendo:
 - 2 indica fibra del tipo G.652.
 - 3 indica fibra del tipo G.653.
 - 5 indica fibra del tipo G.655.

Un sistema bidireccional se indica mediante la adición de la letra B delante del código de aplicación:

- $B-nWx-y.z$

Cuadro 1/G.692 – Códigos de aplicación para sistemas multicanal sin amplificadores de línea

Aplicación	larga distancia (distancia objetivo 80 km)	muy larga distancia (distancia objetivo 120 km)	Distancia ultra larga (distancia objetivo 160 km)
sistemas de 4 canales	4L-y.z	4V-y.z	4U-y.z
sistemas de 8 canales	8L-y.z	8V-y.z	8U-y.z
sistemas de 16 canales	16L-y.z	16V-y.z	16U-y.z ^{d)}
a) Las distancias objetivo se utilizan sólo a efectos de clasificación y no para la especificación. b) $y = 4$ ó 16 . c) $z = 2, 3$ ó 5 . d) La viabilidad de esta aplicación queda en estudio.			

5.1.2 Códigos de aplicación para sistemas con amplificadores de línea

Estas aplicaciones constan también de 4, 8 ó 16 canales ópticos que se multiplexan ópticamente. La separaciones objetivo entre los amplificadores ópticos de línea es nominalmente de 80 km y 120 km, siendo la distancia total a partir de la cual se necesita regeneración de 360 km a 640 km cuando se utilizan fibras G.652, G.653 y G.655. A fin de limitar las posibles combinaciones de estas distancias, éstas se reducen a las aplicaciones que se muestran en el cuadro 2.

Los códigos de aplicación para sistemas con amplificadores de línea se resumen en el cuadro 2.

Cuadro 2/G.692 – Códigos de aplicación para sistemas multicanal con amplificadores de línea

Aplicación	Vanos de larga distancia (distancia objetivo 80 km)		Vanos de muy larga distancia (distancia objetivo 120 km)	
	5	8	3	5
Número de vanos	5	8	3	5
sistemas de 4 canales	4L5-y.z	4L8-y.z	4V3-y.z	4V5-y.z
sistemas de 8 canales	8L5-y.z	8L8-y.z	8V3-y.z	8V5-y.z ^{a)}
sistemas de 16 canales	16L5-y.z	16L8-y.z	16V3-y.z	16V5-y.z ^{a)}
a) La viabilidad de este código de aplicación queda en estudio. b) Las distancias objetivo se utilizan sólo a efectos de clasificación y no para especificación. c) y = 4 ó 16. d) z = 2, 3 ó 5.				

Los sistemas del tipo nL5 y nV3 no son subconjuntos de los sistemas nL8 y nV5 respectivamente, ya que los sistemas nL8 y nV5 requieren distintas tecnologías (incluido amplificadores ópticos de bajo ruido y requisitos más estrictos de dispersión), lo cual puede constituir un reto significativamente mayor y puede no conseguirse para todo tipo de fibras.

Los códigos de aplicación se basan en velocidades binarias de canal de hasta un STM-16 por canal. Para sistemas con velocidades binarias superiores, tal como STM-64, será necesario evaluar de nuevo los códigos de aplicación. Los valores exactos quedan en estudio.

Debe señalarse que, por ejemplo, un sistema de 4 canales no puede potenciarse a un sistema de 8 canales. Esta opción sólo existe en sistemas de 8 canales subequipados. Ello significa que si una entidad de explotación u operador elige la opción de potenciar un sistema de 4 canales, por ejemplo, a un sistema a 8 canales, no sólo tiene que determinar cual debe ser la desviación de frecuencia central en línea con un sistema de 8 canales, sino también el resto de parámetros relevantes.

5.2 Implementación

5.2.1 Configuraciones de referencia

La figura 1 ilustra la configuración de referencia para un sistema G.692 con un número n de canales, con los siguientes los puntos de referencia:

- $S_1 \dots S_n$ son los puntos de referencia sobre la fibra óptica a la salida de los conectores ópticos de los transmisores de los canales 1... n respectivamente.
- $R_{M1} \dots R_{Mn}$ son los puntos de referencia sobre la fibra óptica justamente antes de los conectores ópticos de entrada OM/OA de los canales 1... n respectivamente.
- MPI-S es un punto de referencia sobre la fibra óptica inmediatamente a continuación de los conectores ópticos de salida OM/OA.
- S' es un punto de referencia inmediatamente a continuación del conector óptico de salida OA de línea
- R' es un punto de referencia inmediatamente anterior al conector óptico de entrada OA de línea.
- MPI-R es un punto de referencia sobre la fibra óptica inmediatamente anterior al conector óptico de entrada OA/OD.
- $S_{D1} \dots S_{Dn}$ son los puntos de referencia en los conectores ópticos de salida OA/OD.
- $R_1 \dots R_n$ son los puntos de referencia a la entrada de los conectores ópticos del receptor.

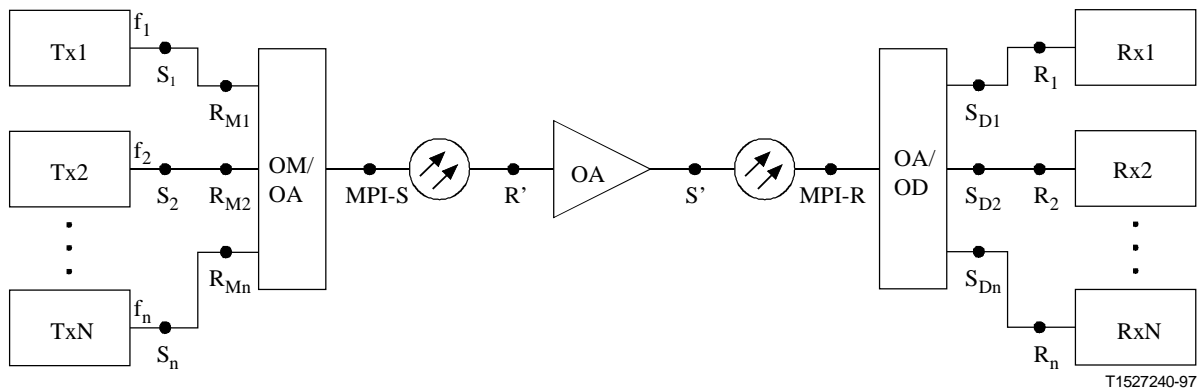


Figura 1/G.692 – Representación de las interfaces de un sistema de línea óptica

NOTA 1 – La atenuación de la híbrida del OSC utilizada posiblemente para acceder al OSC no debe considerarse en el presupuesto de potencia del trayecto óptico.

NOTA 2 – Cuando se utiliza una combinación de transmisor del tipo G.957 y de respondedor óptico, tal como se muestra en la figura 2 con el fin de implementar un transmisor óptico G.692, los puntos de referencia S_n , que se definen en esta Recomendación se sitúan inmediatamente después de los conectores ópticos de salida del respondedor óptico. En este caso, la interfaz entre el transmisor del tipo G.957 y el respondedor se elige de forma adecuada a partir de las especificaciones del punto S de la Recomendación G.957.

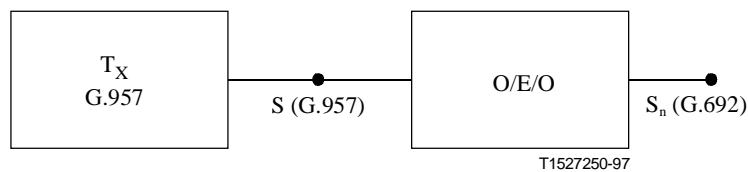


Figura 2/G.692 – Posible implementación de un transmisor G.692 utilizando un transmisor G.957 y un respondedor

La presente Recomendación especifica la posibilidad de que exista atenuación entre los puntos de referencia S_n y R_{Mn} . El valor mínimo de dicha atenuación es 0. Igualmente, puede existir una pérdida entre los puntos S_{Dn} y R_n . También es posible que los OM/OA y/o los OA/OD no incluyan un OA. Además, existe la posibilidad de que los transmisores y los OM/OA (e igualmente los OA/OD y los receptores) estén integrados; en este caso, no habrá acceso a las interfaces en los puntos de referencia S_n , R_{Mn} , S_{Dn} y R_n .

5.2.2 Implementaciones del canal de supervisión óptico

Los sistemas de línea óptica descritos en esta Recomendación que utilizan amplificadores de línea precisan de un canal de supervisión (OSC) adicional. Este canal debe poder ser accedido en cada amplificador. En los amplificadores de línea óptica realizados mediante la tecnología de amplificadores de fibra dopados con erbio (EDFA), el canal de supervisión óptico puede situarse fuera de la anchura de banda de ganancia utilizable del EDFA ("OSC fuera de banda") o dentro de la anchura de banda de ganancia utilizable del EDFA ("OSC dentro de banda"). Existen soluciones transaccionales para cada una de estas opciones. En la subcláusula B.3 se indica la opción de OSC dentro de banda.

La longitud de onda nominal preferida del canal de supervisión óptico fuera de banda es 1510 nm. Actualmente, los componentes para la longitud de onda de 1510 nm (por ejemplo, diodos láser,

filtros, etc.) son de disponibilidad limitada. Hasta que dichos componentes alcancen su madurez y están ampliamente disponibles, pueden utilizarse las longitudes de onda alternativas de 1480 nm o una longitud de onda en la banda de 1310 nm. En las subcláusulas B.1 y B.2 se indican estos OSC alternativos.

La selección de la banda de 1310 nm puede impedir la utilización de dicha anchura de banda para tráfico alternativo. Dos amplificadores que funcionen con un OSC de diferente longitud de onda no serán, en general, compatibles transversalmente.

6 Definición de parámetros

Se enumeran a continuación los parámetros aplicables a la presente Recomendación. Muchos de ellos se definen en la Recomendación G.957 y en esos casos en la definición se hace una referencia a dicha Recomendación. Se incluye información adicional a de las definiciones de la Recomendación G.957 sobre los sistemas multicanal.

Los parámetros definidos en las subcláusulas 6.4.1, 6.4.2, 6.4.3 y 6.8.3 son suficientes para definir sistemas multicanales con compatibilidad transversal para cada tipo de fibra óptica (G.652, G.653, G.655) y para los códigos de aplicación considerados en la presente Recomendación. Sin embargo, y de acuerdo con el propósito de esta Recomendación, todos los parámetros que se definen en la cláusula 6 deben de dar lugar a sistemas compatibles transversalmente.

6.1 Salidas de los transmisores

Estos parámetros se aplican a la salida de los transmisores de cada canal correspondientes a los puntos S_n de las figuras 1 y 2.

6.1.1 Características espectrales

Las características espectrales incluyen una anchura máxima de -20 dB y una mínima relación de supresión de modos laterales definida en la Recomendación G.957.

6.1.2 Potencia inyectada media

En la Recomendación G.957 se especifican los valores máximo y mínimo de la potencia inyectada media.

6.1.3 Relación de extinción

La relación de extinción se define en la Recomendación G.957.

6.1.4 Plantilla del diagrama en ojo

Queda en estudio.

6.1.5 Frecuencia central

Para separaciones de canales de 50 GHz en una fibra, las frecuencias de canal permitidas se basan en una rejilla de 50 GHz con una frecuencia de referencia de 193,10 THz. Para separaciones de canales de 100 GHz o más en una fibra, las frecuencias de canal permitidas se basan en una rejilla de 100 GHz con una frecuencia de referencia de 193,10 THz. En el anexo A se muestra el cuadro de las frecuencias de 50 y 100 GHz de la rejilla de la región de ganancia del EDFA. Los puntos extremos tienen una finalidad ilustrativa, no normativa.

En el cuadro III.1 del apéndice III se incluyen las posibles frecuencias centrales de canal para aplicaciones realizadas sobre fibras del tipo G.652/G.655.

En el cuadro IV.1 del apéndice IV se incluyen las posibles frecuencias centrales de canal para aplicaciones realizadas sobre fibras del tipo G.653.

6.1.6 Separación de canales

La separación de canales nominal es la diferencia entre las frecuencias de canales adyacentes. La separación entre canales puede ser regular o irregular. La separación irregular entre canales puede utilizarse para mitigar los efectos de la FWM en fibras de tipo G.653; en el apéndice V se presenta una metodología para la asignación de canales.

6.1.7 Desviación de la frecuencia central

La desviación de la frecuencia central se define como la diferencia entre la frecuencia central nominal y la frecuencia central real.

En la desviación de frecuencia central se encuentran todos los procesos que afectan al valor instantáneo de la frecuencia central de la fuente en un intervalo de medida apropiado a la velocidad binaria del canal. Estos procesos incluyen la velocidad de la fuente, la anchura de banda de la información, el ensanchamiento debido al SPM y efectos debidos a la temperatura y al envejecimiento.

El cuadro 3 proporciona los valores máximos de desviación de frecuencia central asociada con cada separación de canales.

Cuadro 3/G.692 – Desviación de la frecuencia central en función de la separación de los canales

Separación de canales GHz (n)	50	100	n ≥ 200
Desviación máxima de la frecuencia central ± GHz	En estudio	En estudio	n/5

En sistemas con separación irregular de canales, los canales que se encuentran en los límites entre diferentes distancias de canales, tendrán la desviación más restrictiva de ambas.

6.2 Puertos de entrada de canal

Estos parámetros se aplican a las entradas del OM/OA correspondiente a los puntos R_{Mn} de la figura 1.

6.3 Interfaces ópticas en los puntos MPI-S y S'

Estos parámetros se aplican a las interfaces ópticas en los puntos MPI-S y S' de la figura 1.

6.3.1 Diafonía óptica en el lado de transmisión

Queda en estudio.

6.3.2 Potencia de salida de canal

La potencia de salida de canal es la potencia óptica media inyectada de canal. Incluye el ruido de la emisión espontánea amplificada (ASE) en la banda del canal.

6.3.3 Potencia inyectada total

La potencia inyectada total es la potencia óptica media máxima inyectada en el punto MPI-S o en el punto S'.

6.3.4 Relación señal/ruido óptica de canal

Queda en estudio.

6.3.5 Diferencia máxima de la potencia de canal en el punto MPI-S o en el punto S'

La diferencia máxima de la potencia de canal es la diferencia existente entre la mayor y la menor de las potencias inyectadas que están presentes de forma simultánea para una misma aplicación en una anchura de banda de resolución óptica determinada, independientemente del número de canales.

6.4 Trayecto óptico

Para garantizar la calidad de funcionamiento de todas las aplicaciones que se enumeran en el cuadro 1, es necesario especificar las características del trayecto óptico entre los puntos de referencia MPI-S y MPI-R, así como entre R' y S' respectivamente, tal como se muestra en la figura 1.

6.4.1 Atenuación

La atenuación se define en la Recomendación G.957. Las gamas de atenuación definidas para las distancias objetivo se basan en la hipótesis de una pérdida de la fibra instalada de 0,28 dB/km (incluidos los empalmes y el margen del cable) en la región de 1530-1565 nm. Esta atenuación de la fibra implica un valor de 11 dB para una distancia objetivo de 40 km. La gama de valores de atenuación para distancias múltiples de 40 km son los correspondientes múltiplos de 11 dB. En la práctica, estos valores pueden no ser aplicables a todos los cables de fibra, en cuyo caso las distancias reales alcanzables pueden ser más cortas.

El cuadro 4 contiene la gama de valores de atenuación para sistemas sin amplificadores ópticos de línea. El cuadro 5 contiene los valores de atenuación para sistemas con amplificadores ópticos de línea.

Cuadro 4/G.692 – Gama de valores de atenuación para códigos de aplicación sin amplificadores ópticos de línea

Código de aplicación	nL-y.z	nV-y.z	nU-y.z
Gama de atenuación: – máxima – mínima	22 dB En estudio	33 dB En estudio	44 dB En estudio

Cuadro 5/G.692 – Gama de valores de atenuación para códigos de aplicación con amplificadores ópticos de línea

Código de aplicación	nLx-y.z	nVx-y.z
Gama de atenuación (entre los OA) – máxima – mínima	22 dB En estudio	33 dB En estudio

6.4.2 Dispersión

La dispersión incluye efectos de dispersión cromática, que se define en la Recomendación G.957, y dispersión del modo de polarización. Los límites de dispersión requeridos para distancias objetivo sobre fibras G.652 se basan en la hipótesis de 20 ps/(nm.km). Los límites de dispersión de la fibra G.655 quedan en estudio.

El cuadro 6 contiene la gama de valores de dispersión para sistemas sin amplificadores ópticos de línea y sistemas con amplificadores ópticos de línea en fibras G.652.

Cuadro 6/G.692 – Dispersión máxima para aplicaciones sobre fibra G.652

Código de aplicación	L	V	U	nV3-y.2	nL5-y.2	nV5-y.2	nL8-y.2
Dispersión máxima (ps/nm)	1600	2400	3200	7200	8000	12 000	12 800

NOTA – Para sistemas STM-16 y valores de dispersión superiores a 10 000 ps/nm, pueden ser necesarias técnicas de acomodación. La atenuación debida a dichas técnicas no está incluida en las gamas de atenuación especificadas en 6.4.1.

6.4.3 Reflexiones

Los parámetros de reflexión incluyen la pérdida de retorno óptico mínima y la reflectancia discreta máxima que se definen en la Recomendación G.957.

6.5 Parámetros de los amplificadores ópticos de línea

Estos parámetros sólo se aplican a sistemas con amplificadores de línea.

6.5.1 Variación de ganancia multicanal

Este parámetro se define en CEI 61291-4.

6.5.2 Desviación de ganancia multicanal

Este parámetro se define en CEI 61291-4.

6.5.3 Diferencia de cambio de ganancia multicanal

Este parámetro se define en CEI 61291-4.

6.5.4 Potencia recibida total

Este parámetro es la potencia de entrada media máxima en el punto R' de la figura 1.

6.5.5 Potencia inyectada total

Este parámetro es la potencia de entrada media máxima en el punto S' de la figura 1.

6.5.6 Figura de ruido espontáneo de la señal

Este parámetro se define en la Recomendación G.661.

6.6 Interfaces ópticas en los puntos MPI-R y R'

Estos parámetros se aplican a las interfaces ópticas en los puntos MPI-R y R' de la figura 1. Los valores máximos y mínimos de estos parámetros se especifican con independencia del número de canales presentes.

6.6.1 Potencia de entrada media de canal

La potencia de entrada media de canal es la potencia de entrada media de canal máxima y mínima medida en el punto MPI-R o en el punto R'.

6.6.2 Potencia total de entrada media

La potencia total de entrada media es la potencia total de entrada media máxima medida en el punto MPI-R o en el punto R'.

6.6.3 Relación señal/ruido óptica de canal

Queda en estudio.

6.6.4 Diafonía óptica en los puntos MPI-R y R'

Queda en estudio.

6.6.5 Diferencia máxima de la potencia de canal en el punto MPI-R o el punto R'

La diferencia máxima de la potencia de canal es la diferencia entre los valores mayor y menor de la potencia de entrada de canal que, con independencia del número de canales de la aplicación, están presentes simultáneamente en una anchura de banda de resolución óptica determinada.

6.7 Puertos de salida de canal

Estos parámetros se aplican a las salidas del OA/OD correspondientes a los puntos S_{Dn} de la figura 1.

6.7.1 Diafonía óptica en los puertos de salida de canal

La diafonía óptica se define como la relación entre el nivel de potencia perjudicial total combinada debida a señales procedentes de los restantes canales, funcionando en condiciones específicas, y el nivel de potencia nominal de la señal deseada, medida en el punto de referencia de salida de cada canal $S_{D1} \dots S_{Dn}$, según se muestra en la figura 1, dentro de la anchura de banda resultante del demultiplexor óptico y del receptor óptico, expresada en dB.

6.8 Entrada de los el receptores

Los parámetros que se describen a continuación hacen referencia a la entrada de cada uno de los receptores y corresponden a los puntos R_n de la figura 1.

6.8.1 Sensibilidad del receptor

La sensibilidad del receptor se define como el valor mínimo de la potencia media recibida en el punto R_n para lograr una BER de 1×10^{-12} . Tiene en cuenta las penalizaciones de potencia causadas por la utilización del transmisor en condiciones de funcionamiento normalizado con los valores del caso más desfavorables de la relación de extinción, de los tiempos de establecimiento y caída del impulso, de las pérdidas de retorno ópticas en los puntos S_n , de las degradaciones en el conector del receptor, la diafonía, el ruido del amplificador óptico y la tolerancia de las medidas. La sensibilidad del receptor no incluye la penalización de potencia asociada a la dispersión, a la fluctuación de fase o a las reflexiones del trayecto óptico; estos efectos se especifican por separado en la asignación de la máxima penalización del trayecto óptico. Los efectos debidos al envejecimiento no se especifican por separado ya que normalmente éstos se perciben en función de la relación existente entre el momento de inicio de la vida del equipo, la temperatura nominal de trabajo del mismo y el final de su vida útil, siendo deseable que, en el caso más desfavorable, su impacto esté comprendido entre 2 y 4 dB. La sensibilidad del receptor especificada en esta Recomendación corresponde al caso más desfavorable de un equipo al final de su vida útil.

6.8.2 Sobrecarga del receptor

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

6.8.3 Penalización del trayecto óptico

Por definir.

6.8.4 Reflectancia del receptor

La reflectancia del receptor se define en la Recomendación G.957.

6.8.5 Relación señal/ruido óptica

Es el valor mínimo de la relación señal/ruido para obtener una BER de 1×10^{-12} .

6.8.6 Gama de longitudes de onda del receptor

La gama de longitudes de onda del receptor se define como la gama aceptable de longitudes de onda en el punto R_n . Este gama debe ser lo suficientemente amplia como para cubrir toda la gama de frecuencias centrales en la banda de paso del amplificador óptico.

6.9 Parámetros del canal de supervisión óptico

6.9.1 Longitudes de onda del canal de supervisión óptico

La longitud de onda del canal de supervisión óptico es aquella en la que éste transmite. Su valor nominal es 1510 ± 10 nm ($198,5 \pm 1,4$ THz). En el anexo B se especifican otras longitudes de onda.

7 Valor de los parámetros de la interfaz óptica

El cuadro 7 identifica los parámetros que se requieren en las diversas interfaces (véase la figura 1) de un sistema de comunicación óptica a fin de garantizar la compatibilidad transversal. En principio, debe haber un cuadro para cada código de aplicación. Sin embargo, en la etapa actual de desarrollo de esta Recomendación, se ha elaborado un solo cuadro. En el cuadro 7 se enumeran las subcláusulas relevantes que describen las definiciones de dichos parámetros y los valores de los mismos. Si no se incluyen valores es porque éstos quedan en estudio.

Cuadro 7/G.692 – Cuadro de valores para las interfaces ópticas

Código de aplicación	Valor	Unidades	Nota (subcláusula)
Número de canales			5.1
Velocidad/formato de los canales			5.1
Salida de los transmisores			
Características espectrales			6.1.1
Potencia inyectada media		dBm	6.1.2
Relación de extinción			6.1.3
Plantilla del diagrama en ojo			6.1.4
Frecuencia central		GHz	6.1.5
Separación de canales		GHz	6.1.6
Desviación de la frecuencia central		GHz	6.1.7
Puertos de entrada de canal			6.2
NOTA – Estos parámetros quedan en estudio.			

Cuadro 7/G.692 – Cuadro de valores para las interfaces ópticas (fin)

Código de aplicación	Valor	Unidades	Nota (subcláusula)
Interfaces ópticas en los puntos MPI-S y S'			
Diafonía óptica en el lado de transmisión		dB	6.3.1
Potencia de salida de canal		dBm	6.3.2
Potencia inyectada total máxima		dBm	6.3.3
Relación señal/ruido de canal		dB	6.3.4
Diferencia máxima de la potencia de canal en el punto MPI-S o en el punto S'		dB	6.3.5
Amplificador de línea óptico			
Variación de ganancia		dB	6.5.1
Desviación de ganancia		dB/dB	6.5.2
Diferencia de ganancia		dB	6.5.3
Potencia recibida total máxima		dBm	6.5.4
Potencia inyectada total máxima		dBm	6.5.5
Figura de ruido espontáneo de la señal		dB	6.5.6
Trayecto óptico			
Atenuación		dB	6.4.1
Dispersión		ps/nm	6.4.2
Reflectancia discreta máxima		dB	6.4.3
Pérdida de retorno mínima		dB	6.4.3
Interfaces ópticas en los puntos MPI-R y R'			
Potencia de entrada media de canal			6.6.1
– máxima		dBm	
– mínima		dBm	
Potencia total de entrada media			6.6.2
– máxima		dBm	
Relación señal/ruido de canal		dB	6.6.3
Diafonía óptica		dB	6.6.4
Diferencia máxima de potencia de canal en el punto MPI-R o en el punto R'		dB	6.6.5
Puertos de salida de canal			6.7
Diafonía óptica en los puertos de salida de canal		dB	6.7.1
NOTA – Los parámetros adicionales que no se definen en 6.7 quedan en estudio.			
Entradas del receptor			
Sensibilidad del receptor		dBm	6.8.1
Sobrecarga del receptor		dBm	6.8.2
Penalización del trayecto óptico		dB	6.8.3
Reflectancia del receptor		dB	6.8.4
Relación señal/ruido óptica		dB	6.8.5
Longitud de onda del receptor mínima		nm	6.8.6
Longitud de onda del receptor máxima		nm	6.8.6

ANEXO A

Frecuencias centrales nominales

El cuadro A.1 enumera las frecuencias centrales en base a separación mínima de canales de 50 GHz referenciados con respecto a la frecuencia de 193,10 THz. Nótese que el valor de "c" (velocidad de la luz) que debería utilizarse para la conversión entre frecuencia y longitud de onda es de $2,99792458 \times 10^8$ m/s.

Cuadro A.1/G.692 – Frecuencias centrales nominales

Frecuencias centrales nominales (THz) para separaciones de 50 GHz	Frecuencias centrales nominales (THz) para separaciones de 100 GHz y superiores	Longitudes de onda central nominal (nm)
196,10	196,10	1528,77
196,05	–	1529,16
196,00	196,00	1529,55
195,95	–	1529,94
195,90	195,90	1530,33
195,85	–	1530,72
195,80	195,80	1531,12
195,75	–	1531,51
195,70	195,70	1531,90
195,65	–	1532,29
195,60	195,60	1532,68
195,55	–	1533,07
195,50	195,50	1533,47
195,45	–	1533,86
195,40	195,40	1534,25
195,35	–	1534,64
195,30	195,30	1535,04
195,25	–	1535,43
195,20	195,20	1535,82
195,15	–	1536,22
195,10	195,10	1536,61
195,05	–	1537,00
195,00	195,00	1537,40
194,95	–	1537,79
194,90	194,90	1538,19
194,85	–	1538,58
194,80	194,80	1538,98
194,75	–	1539,37
194,70	194,70	1539,77

Cuadro A.1/G.692 – Frecuencias centrales nominales (continuación)

Frecuencias centrales nominales (THz) para separaciones de 50 GHz	Frecuencias centrales nominales (THz) para separaciones de 100 GHz y superiores	Longitudes de onda central nominal (nm)
194,65	–	1540,16
194,60	194,60	1540,56
194,55	–	1540,95
194,50	194,50	1541,35
194,45	–	1541,75
194,40	194,40	1542,14
194,35	–	1542,54
194,30	194,30	1542,94
194,25	–	1543,33
194,20	194,20	1543,73
194,15	–	1544,13
194,10	194,10	1544,53
194,05	–	1544,92
194,00	194,00	1545,32
193,95	–	1545,72
193,90	193,90	1546,12
193,85	–	1546,52
193,80	193,80	1546,92
193,75	–	1547,32
193,70	193,70	1547,72
193,65	–	1548,11
193,60	193,60	1548,51
193,55	–	1548,91
193,50	193,50	1549,32
193,45	–	1549,72
193,40	193,40	1550,12
193,35	–	1550,52
193,30	193,30	1550,92
193,25	–	1551,32
193,20	193,20	1551,72
193,15	–	1552,12
193,10	193,10	1552,52
193,05	–	1552,93
193,00	193,00	1553,33
192,95	–	1553,73
192,90	192,90	1554,13

Cuadro A.1/G.692 – Frecuencias centrales nominales (fin)

Frecuencias centrales nominales (THz) para separaciones de 50 GHz	Frecuencias centrales nominales (THz) para separaciones de 100 GHz y superiores	Longitudes de onda central nominal (nm)
192,85	–	1554,54
192,80	192,80	1554,94
192,75	–	1555,34
192,70	192,70	1555,75
192,65	–	1556,15
192,60	192,60	1556,55
192,55	–	1556,96
192,50	192,50	1557,36
192,45	–	1557,77
192,40	192,40	1558,17
192,35	–	1558,58
192,30	192,30	1558,98
192,25	–	1559,39
192,20	192,20	1559,79
192,15	–	1560,20
192,10	192,10	1560,61

NOTA – Los valores extremos de este cuadro sólo tienen carácter ilustrativo. Está previsto que los sistemas multicanales evolucionen de forma que incluyan frecuencias más allá de esos límites.

ANEXO B

Enfoques alternativos para el canal de supervisión óptico

Dos amplificadores que trabajen con OSC de distintas longitudes de onda, no gozarán en general de compatibilidad transversal.

B.1 OSC a 1480 nm

La longitud de onda debe ser 1480 ± 10 nm ($202,6 \pm 1,4$ THz).

Se utiliza el mismo enfoque que para los sistemas monocanales.

B.2 OSC en la banda de 1310 nm

Se utiliza el mismo enfoque que para sistemas monocanal. Los límites de esta gama de longitud de onda quedan en estudio.

B.3 OSC en la anchura de banda de ganancia del EDFA

La opción de OSC dentro de banda está destinada a aplicaciones en las que se transportan varias longitudes de onda a través de uno o más amplificadores de línea a la mayor distancia posible entre

amplificadores y con una gran capacidad por canal. Para estas aplicaciones, los EDFA hacen uso de su máxima potencia de bombeo manteniéndose dentro de los límites de fiabilidad del láser de bombeo.

APÉNDICE I

Metodología para determinar los niveles de potencia óptica

Este apéndice proporciona información adicional sobre la selección de la potencia óptica máxima y mínima de canal, así como sobre la potencia máxima total.

I.1 Potencia de canal

I.1.1 Potencia mínima de canal

Este apéndice describe una metodología que puede utilizarse para obtener la potencia óptica mínima de canal al final de la vida útil, necesaria para mantener la relación señal/ruido óptica deseada (OSNR, *optical signal-to-noise ratio*). A fin de relacionar la OSNR con la BER, debe tenerse en cuenta el proceso de detección, que es diferente en sistemas con amplificadores y en sistemas sin amplificadores. La relación con la BER es una característica del receptor, que no está incluida en la metodología de diseño. La potencia óptica mínima de canal que resulta es independiente del número de canales (es decir, de las longitudes de onda) y puede utilizarse para sistemas de un solo canal o sistemas multicanales. Esta metodología es de especial interés en sistemas con amplificadores de línea, pero también puede utilizarse para sistemas con preamplificadores.

Este apéndice describe como los efectos de la emisión espontánea amplificada (ASE) limitan la potencia óptica mínima de canal para sistemas con amplificadores ópticos de un solo canal o multicanales.

En un amplificador óptico la potencia de la ASE por unidad de frecuencia para viene dada por:

$$P_{ASE} = 2N_{SP}(G - 1)h\nu \quad (I-1)$$

donde $N_{SP} \geq 1$ es el factor de ruido espontáneo, G es la ganancia interna, h es la constante de Planck y ν es la frecuencia óptica. La figura de ruido del amplificador externo viene dada (en dB) por:

$$NF = 10 \text{ Log} \left[2N_{SP} - \frac{2N_{SP} - 1}{G} \right] + \eta_{IN} \quad (I-2)$$

donde η_{IN} es la pérdida por acoplamiento de entrada en dB. Si se hace la hipótesis simplificadora de que la potencia total de salida (incluida la potencia de ASE acumulada) es la misma después de cada amplificador y que la ganancia es $G \gg 1$, la relación señal/ruido óptica es aproximadamente:

$$OSNR = P_{out} - L - NF - 10 \text{ Log } N - 10 \text{ Log} [h\nu\Delta\nu_0] \quad (I-3)$$

donde P_{out} es la potencia de salida (por canal) en dBm, L es la atenuación del vano entre amplificadores en dB, NF es la figura de ruido externa en dB, $\Delta\nu_0$, es la anchura de banda óptica, N es el número de vanos de la cadena, habiéndose supuesto que todos los vanos tienen la misma atenuación. En la banda de $1,55 \mu\text{m}$, $10 \text{ Log} (h\nu\Delta\nu_0) = -58$ dBm en la anchura de banda óptica de $0,1 \text{ nm}$. Este enfoque puede aplicarse a un sistema en el que las atenuaciones de los distintos vanos difieran, siempre que todas las atenuaciones sean iguales o menores que L , obteniéndose así el caso más desfavorables de OSNR.

La relación anterior proporciona una predicción práctica y útil ya que la OSNR a la entrada del receptor (punto R_n de la figura 1) es el promedio del valor cuadrático medio de N fuentes de ruido

efectivas, de forma que las pequeñas diferencias entre la atenuación que sufre la potencia de salida en los distintos vanos tiende a un valor promedio. La hipótesis de que $G \gg 1$ es cierta para la mayoría de los sistemas con amplificadores.

La ecuación (I-3) puede utilizarse para estimar la potencia óptica mínima (P_{out}) necesaria para mantener una ONSR objetivo. Esta potencia de salida mínima debe medirse en el punto S' a la salida de los amplificadores tal como se indica en la figura 1. Dado que éste es un valor límite para la potencia mínima (de canal) y es independiente del número de canales, puede utilizarse tanto para sistemas monocanales como multicanales. En caso de que varíe la potencia de los canales y la potencia de éstos sea igual o superior a la potencia mínima, todas las OSNR serán también iguales o mayores que el valor mínimo requerido.

En sistemas WDM reales, la potencia de salida de canal variará debido a diferentes niveles de ganancia, pudiendo también existir diferencias en las figuras de ruido de los distintos amplificadores y de los distintos canales. Además, probablemente las pérdidas del vano no serán las mismas para todos. No obstante, la ecuación (I-3) es útil para establecer los niveles mínimos de potencia de canal, ya que sólo es necesario considerar el caso más desfavorable (es decir, con todas las pérdidas de vano iguales al valor más elevado y teniendo en cuenta el canal con la potencia de salida más baja).

I.1.2 Potencia máxima de canal

Las limitaciones de los niveles de potencia óptica máxima pueden deberse a los efectos no lineales de la fibra o a consideraciones relativas a la seguridad de los láser. Si la máxima potencia de salida total (incluida la ASE) se fija al valor límite del láser de clase 3A, P_{3A} la potencia nominal máxima de cada canal, $P_{chm\acute{a}x}$, está relacionada con el número de canales según la fórmula siguiente:

$$P_{chm\acute{a}x} = P_{3A} - 10 \text{ Log}(M), \quad (\text{I-4})$$

donde M es el número de canales en funcionamiento. Esta ecuación tiene una finalidad ilustrativa ya que la potencia de salida puede ser diferente en cada canal siempre que la potencia de salida sea inferior a P_{3A} . Esta limitación es válida para sistemas con amplificadores de línea y sistemas sin amplificadores de línea tal como se describe en la presente Recomendación.

En algunos casos, las no linealidades de la fibra imponen límites más restrictivos sobre el nivel de potencia de salida que las consideraciones de seguridad de los láser. En concreto, la modulación de autofase (SPM, *self phase modulation*), la modulación de fase cruzada (XPM, *cross-phase modulation*) y la dispersión de Brillouin estimulada (SBS, *stimulated Brioullin scattering*) limitan la potencia máxima de canal. Los límites que sobre la potencia óptica imponen la SPM y la SBS no dependen del número de canales presentes y, en el caso de la SPM, sólo se ven afectados los sistemas basados en fibras G.652 y G.655. Sin embargo, la XPM sólo afecta a sistemas multicanal y se hace más relevante en sistemas con separaciones reducidas entre canales. Las degradaciones producidas por la XPM son más significativas en sistemas con fibra G.652, en comparación con lo que ocurre en los que tienen fibras G.653 y G.655. La máxima potencia de salida permitida para cada canal debida a limitaciones derivadas de la XPM y SPM varía en función del código de aplicación empleado y depende del número de vanos y de la longitud objetivo de los mismos.

Los límites sobre la potencia óptica máxima de canal que provoca la SBS requieren ulteriores estudios y no se tratan en esta Recomendación. La mezcla de cuatro ondas (FWM, *four-wave mixing*) sólo afecta a sistemas multicanales y no presenta una limitación práctica en sistemas con fibras G.652 y G.655. Tampoco la dispersión estimulada de Raman presenta una limitación práctica en las fibras G.652 en los sistemas multicanales descritos en esta Recomendación. El impacto de la dispersión estimulada de Raman en algunos sistemas multicanal con separaciones de canales distintas con fibras G.653 queda en estudio.

I.1.3 Gama máxima para la potencia de canal

Los tres límites del nivel de potencia que se definen en I.1.1 y I.1.2 determinan la gama máxima de niveles de potencia de canal. La potencia mínima de canal no depende del número de canales presentes, mientras que potencia máxima de canal sí depende del número de canales presentes. A modo de ejemplo, si hay ocho canales, el nivel máximo viene dado por el límite de SPM aplicable para el código de aplicación de que se trate. Sólo se podrá obtener una potencia de canal relativamente alta cuando haya pocos canales, produciéndose una reducción en el nivel de potencia de canal cuando se añaden canales adicionales. No obstante, ello depende de la realización práctica de los amplificadores de fibra óptica.

I.2 Potencia total máxima

La potencia total de salida requerida de los amplificadores ópticos puede estimarse mediante la fórmula siguiente:

$$P_{tot} = \sum P_{out} + N \cdot BW_{eff} \cdot h\nu \cdot 10^{(NF+L)/10} \quad (I-5)$$

Donde NF y L vienen dados en dB y los demás términos en unidades lineales. El último término es la potencia ASE total acumulada y BW_{eff} es la anchura de banda ASE efectiva definida como la potencia ASE total dividida por la densidad de potencia ASE. Esta anchura de banda es de unos 20-30 nm para un amplificador y de aproximadamente 15 nm para una cadena de hasta diez amplificadores, en tanto en cuanto la ganancia de la señal se mantenga cercana a la ganancia espectral máxima del amplificador. Esta aproximación es suficiente siempre que la potencia total esté determinada por la potencia de la señal.

APÉNDICE II

Selección de la separación mínima de canales y de la frecuencia de referencia de la rejilla del plan de multiplexación por división de longitud de onda (WDM)

Este apéndice contiene un resumen de las discusiones que han resultado en la elección de 100 GHz, y subsiguientemente de 50 GHz, como separación de canales, así como alguna información relacionada con la elección de la referencia absoluta de frecuencia (AFR, *absolute frequency reference*).

II.1 Separación de 50/100 GHz y referencia de 193,10 THz

La frecuencia de referencia de rejilla de 193,10 THz se ha elegido en parte para no establecer una frecuencia de referencia absoluta en base a una situación particular (la selección de una AFR en concreto será función de las diversas aplicaciones posibles). No obstante, el valor de 193,10 THz está próximo a varias de las propuestas de AFR.

Se ha elegido una separación mínima de canales de 100 GHz, y subsiguientemente de 50 GHz, en base a las consideraciones siguientes:

En primer lugar, se ha acordado que la separación de canales sea múltiplo de 25 GHz. Se ha determinado que una separación de 100 GHz, y subsiguientemente de 50 GHz, proporciona la flexibilidad necesaria para satisfacer varios requisitos de aplicación de la Recomendación G.692. Los múltiplos de la separación de canal mínima pueden cumplir con estos requisitos en lo que se refiere al espectro de ganancia utilizable del EDFA y a la capacidad.

Se han discutido las limitaciones tecnológicas (es decir, tolerancia de filtros y de fuentes) para determinar una separación mínima de canales. Este enfoque trata de hacer el mejor uso de la tecnología y de no imponer limitaciones asociadas con aplicaciones específicas. En base a estas consideraciones, la separación mínima de canales podía ser 125 GHz y 150 GHz. La elección de 100 GHz, y subsiguientemente de 50 GHz, como separación mínima de canales sugiere que, a la vista de la previsión de evolución tecnológica, estas separaciones sólo se consiguen en un subconjunto de las aplicaciones G.692.

II.2 Referencia absoluta de frecuencia (AFR)

Es una referencia a una frecuencia óptica que proporciona una señal óptica con una precisión de frecuencia igual o superior a (*) y con una estabilidad de frecuencia igual o superior a (*), estando ambos parámetros verificados mediante una frecuencia ideal normalizada, como por ejemplo, las normas nacionales o las normas recomendadas por el Comité Internacional de pesos y medidas (CIPM, *international committee for weights and measures*), incluida una referencia de He-Ne estabilizado con yodo y He-Ne estabilizado con metano.

La AFR puede utilizarse en las aplicaciones siguientes:

- 1) para calibrar equipos de prueba de WDM;
- 2) para proporcionar una frecuencia de referencia para la fabricación y calibración de dispositivos WDM;
- 3) para proporcionar directamente una frecuencia de referencia a sistemas multicanales;
- 4) para controlar y/o mantener frecuencias de fuentes ópticas.

Los requisitos para una AFR pueden expresarse como frecuencia o longitud de onda en el vacío.

NOTA – Los valores numéricos indicados mediante (*) quedan en estudio.

II.2.1 Precisión de la AFR

Es la variación a largo plazo de la frecuencia de una señal AFR con respecto a su frecuencia ideal (largo plazo indica aquí la duración esperada del funcionamiento de la AFR).

NOTA – La precisión de la frecuencia incluye posibles cambios en la misma debido a variaciones en la temperatura y la humedad, así como otros cambios del entorno. También se incluye la facilidad para ser fijada, para ser reproducida y para hacer un seguimiento de la misma con respecto a una frecuencia ideal normalizada.

II.2.2 Estabilidad de la AFR

Queda en estudio.

APÉNDICE III

Propuesta de asignación de las frecuencias de canal para aplicaciones basadas en fibras G.652/G.655

El cuadro III.1 ilustra algunas posibles frecuencias centrales de canal propuestas para fibras G.652 o G.655.

**Cuadro III.1/G.692 – Frecuencias centrales de canal para aplicaciones
basadas en fibras G.652/G.655**

Frecuencia en THz	Separación 100 GHz (8 canales o más)	Separación 200 GHz (4 canales o más)	Separación 400 GHz (sólo 4 canales)	Separación 500/400 GHz (sólo 8 canales)	Separación 600 GHz (sólo 4 canales)	Separación 1000 GHz (sólo 4 canales)	Longitud de onda en el vacío en nm
196,1		*					1528,77
196,0	*						1529,55
195,9	*	*					1530,33
195,8	*						1531,12
195,7	*	*					1531,90
195,6	*						1532,68
195,5	*	*			*	*	1533,47
195,4	*						1534,25
195,3	*	*		*			1535,04
195,2	*						1535,82
195,1	*	*					1536,61
195,0	*						1537,40
194,9	*	*			*		1538,19
194,8	*			*			1538,98
194,7	*	*					1539,77
194,6	*						1540,56
194,5	*	*				*	1541,35
194,4	*						1542,14
194,3	*	*		*	*		1542,94
194,2	*						1543,73
194,1	*	*					1544,53
194,0	*						1545,32
193,9	*	*	*	*			1546,12
193,8	*						1546,92
193,7	*	*		*	*		1547,72
193,6	*						1548,51
193,5	*	*	*			*	1549,32
193,4	*			*			1550,12
193,3	*	*		*			1550,92
193,2	*						1551,72

Cuadro III.1/G.692 – Frecuencias centrales de canal para aplicaciones basadas en fibras G.652/G.655

Frecuencia en THz	Separación 100 GHz (8 canales o más)	Separación 200 GHz (4 canales o más)	Separación 400 GHz (sólo 4 canales)	Separación 500/400 GHz (sólo 8 canales)	Separación 600 GHz (sólo 4 canales)	Separación 1000 GHz (sólo 4 canales)	Longitud de onda en el vacío en nm
193,1	*	*	*		*		1552,52
193,0	*			*			1553,33
192,9	*	*	*				1554,13
192,8	*						1554,94
192,7	*	*	*				1555,75
192,6	*						1556,55
192,5	*	*	*	*	*	*	1557,36
192,4	*						1558,17
192,3	*	*	*				1558,98
192,2	*						1559,79
192,1	*	*		*			1560,61

APÉNDICE IV

Propuesta de asignación de las frecuencias de canal para aplicaciones basadas en fibras G.653

El cuadro IV.1 ilustra algunas posibles frecuencias centrales de canal para aplicaciones con fibra G.653. Algunas aplicaciones pueden limitarse por la mezcla de cuatro ondas si se utiliza la misma separación entre todos los canales. Una forma de mitigar esta situación consiste en utilizar una separación irregular entre canales. En el apéndice V se describe en detalle un método para la separación irregular de canales. Otra forma potencial de mitigar esto consiste, tal como se menciona en el apéndice VII, en combinar la selección de canales con la transmisión WDM bidireccional.

Cuadro IV.1/G.692 – Frecuencias centrales de canal para aplicaciones de 4 u 8 canales en fibras G.653

Frecuencia en THz	Separación de 100 GHz (8 canales o más)	Separación de 200 GHz (4 canales o más)	Separación alterna de 200 GHz (4 o 8 canales) desplazamiento de 25 GHz	Separación alterna de 200 GHz (4 o 8 canales) desplazamiento de 50 GHz	Longitud de onda en el vacío en nm
	Separación irregular en la rejilla de frecuencia nominal		Separación irregular por desplazamiento de la rejilla de frecuencia nominal		
196,1	*				1528,77
196,0	*				1529,55
195,9	*	*			1530,33
195,8	*				1531,12
195,7	*	*			1531,90
195,6	*				1532,68
195,5	*	*			1533,47

Cuadro IV.1/G.692 – Frecuencias centrales de canal para aplicaciones de 4 u 8 canales en fibras G.653 (fin)

Frecuencia en THz	Separación de 100 GHz (8 canales o más)	Separación de 200 GHz (4 canales o más)	Separación alterna de 200 GHz (4 o 8 canales) desplazamiento de 25 GHz	Separación alterna de 200 GHz (4 o 8 canales) desplazamiento de 50 GHz	Longitud de onda en el vacío en nm
	Separación irregular en la rejilla de frecuencia nominal		Separación irregular por desplazamiento de la rejilla de frecuencia nominal		
195,4	*				1534,25
195,3	*	*			1535,04
195,2	*				1535,82
195,1	*	*			1536,61
195,0	*				1537,40
194,9	*	*			1538,19
194,8	*				1538,98
194,7	*	*			1539,77
194,6	*				1540,56
194,5	*	*		(194,45)	1541,35
194,4	*				1542,14
194,3	*	*		(194,2)	1542,94
194,2	*				1543,73
194,1	*	*			1544,53
194,0	*				1545,32
193,9	*	*	*		1546,12
193,8	*				1546,92
193,7	*	*	(193,675)	*	1547,72
193,6	*				1548,51
193,5	*	*	(193,525)		1549,32
193,4	*				1550,12
193,3	*	*	(193,35)	*	1550,92
193,2	*				1551,72
193,1	*	*	*	*	1552,52
193,0	*				1553,33
192,9	*	*	*		1554,13
192,8	*				1554,94
192,7	*	*	(192,625)	(192,75)	1555,75
192,6	*				1556,55
192,5	*	*	*	(192,45)	1557,36
192,4	*				1558,17
192,3	*	*		*	1558,98
192,2	*				1559,79
192,1	*	*			1560,61

APÉNDICE V

Metodología de asignación de canales para aplicaciones basadas en fibras de tipo G.653 con una separación irregular de canales

Introducción

La distancia de transmisión de los sistemas multicanales sobre fibra G.653 se ve severamente restringida por la mezcla de cuatro ondas (FWM, *four-wave mixing*) cuando la separación entre las frecuencias de los canales es constante. Sin embargo, esta limitación puede mitigarse asignando los canales de forma irregular (para más información véase el apéndice II y 3.2/G.663).

La figura V.1 a) muestra un ejemplo de frecuencias asignadas con una separación idéntica, así como la potencia óptica FWM resultante, en la que algunas potencias ópticas FWM se superponen con la potencia óptica de la señal degradando así la calidad de la transmisión. La figura V.1 b) muestra un ejemplo de separación irregular en el que se evita el solapamiento indeseado. Este Apéndice proporciona una metodología de asignación de canal para las fibras G.653 basada en la separación irregular de los canales.

NOTA – La aplicabilidad de esta metodología se confirmó hasta 12 canales, aunque la descripción del texto es aplicable sobre todo a un sistema de 8 canales.

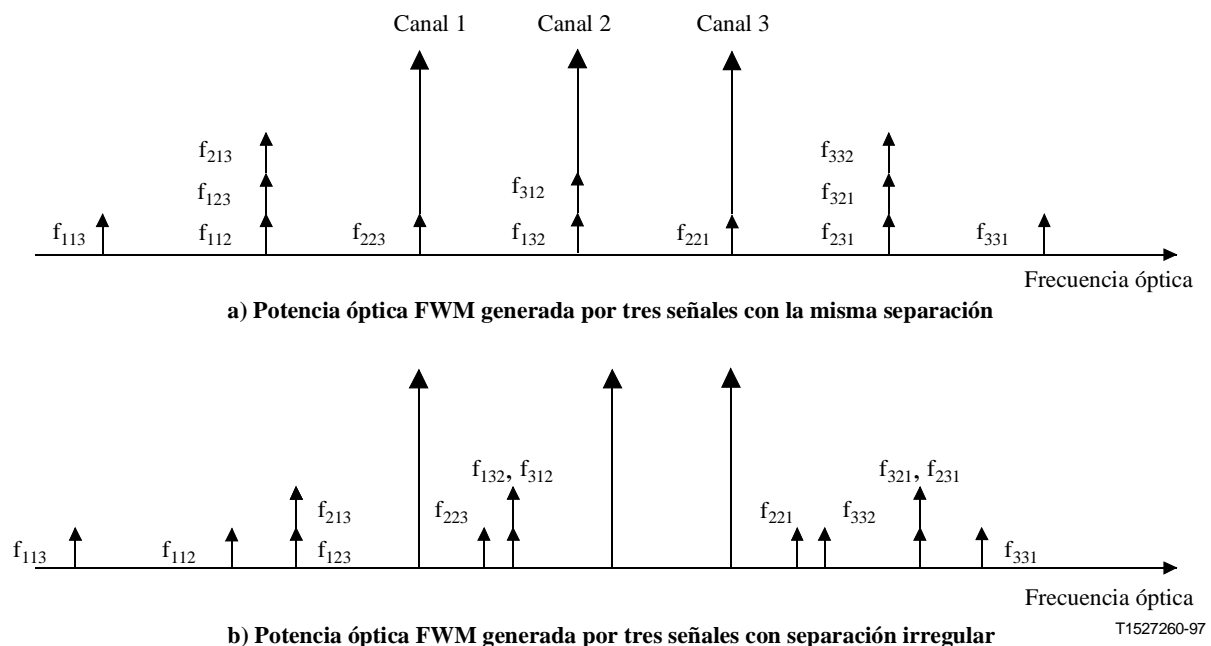


Figura V.1/G.692 – Ejemplo de las frecuencias de la señal y las potencias ópticas FWM resultantes

V.1 Determinación de las frecuencias de canal con separación irregular

V.1.1 Condiciones básicas de diseño

En primer lugar, deben cumplirse las dos condiciones siguientes.

(1-1) Las frecuencias de canal con separación irregular deben estar situadas, al menos el mayor número de ellas que sea posible, en la rejilla de 100 GHz que figura en el anexo A. Si algunas de las frecuencias no pueden estar situadas en la rejilla, deben ubicarse dentro de la gama de control de temperatura de los láseres que cumple con la rejilla.

La condición (1-1) tiene en cuenta fuentes ópticas de utilización habitual en sistemas multicanal de separación constante con fibras G.652 y G.655 y en sistemas multicanal de separación irregular con fibras G.653.

(1-2) Las frecuencias de canal de separación irregular deben elegirse de tal forma que no exista potencia alguna generada por FWM dentro de ningún canal óptico.

Para satisfacer (1-2), la distancia entre cualesquiera dos canales debe ser distinta de la de cualquier otra pareja de canales [1]. Ello se debe a que las frecuencias originales f_i , f_j y f_k , por un lado, y la frecuencia de la potencia óptica FWM f_{ijk} se relacionan mediante la ecuación siguiente:

$$f_{ijk} - f_i = f_j - f_k \quad (i, j \neq k) \quad (V-1)$$

Para la selección práctica de las frecuencias, deben utilizarse "intervalos de frecuencia", que se representan como "fs". La distancia entre dos canales cualesquiera es un múltiplo entero de fs ($fs \times n_i$, $i = 1, 2, \dots, N - 1$, donde N es el número canales), pero asegurándose de que todas las separaciones de canales son diferentes. Entonces, fs es igual a la diferencia de frecuencia mínima entre las potencias ópticas FWM y las señales ópticas. El conjunto de enteros n_i debe elegirse para minimizar la anchura de banda óptica que abarca todas las frecuencias.

En el cuadro V.1 y en la referencia [1] se muestran ejemplos de conjuntos de enteros n_i para sistemas de 8 canales que satisfacen la condición (1-2).

Cuadro V.1/G.692 – Conjuntos de valores de n_i para la asignación de 8 canales con separación irregular

n_i mínimo	Conjunto de n_i que minimiza la anchura de banda óptica total	Número de conjuntos	Número de intervalos s ($\sum n_i$)	Ejemplos
1	1,2,3,5,6,7,10	2	34	(1,3,5,6,7,10,2)
2	2,3,4,5,7,8,10	2	39	(2,4,10,3,8,7,5)
	2,3,4,5,6,8,11	2		(3,6,11,5,2,8,4)
	2,3,4,5,6,9,10	4		(2,6,5,10,4,3,9)
	2,3,4,5,6,7,12	14		(3,7,12,2,6,5,4)
3	2,3,4,6,7,8,9	2	43	(3,2,8,4,7,9,6)
	3,4,5,6,7,8,10	10		(3,6,7,4,8,10,5)
4	4,5,6,7,8,9,10	76	49	(8,9,7,6,5,10,4)
5	5,6,7,8,9,10,11	206	56	(9,6,7,10,8,11,5)
6	6,7,8,9,10,11,12	506	63	(6,7,8,9,10,12,11)

Además de las condiciones (1-1) y (1-2), debe tenerse en cuenta la condición (1-3) siguiente.

(1-3) La suma de las diferencias en frecuencia entre cada frecuencia con separación irregular y la frecuencia más próximas de la rejilla debe ser mínima.

V.1.2 Determinación del intervalo entre frecuencias

Para determinar los valores de las frecuencias, debe en primer lugar fijarse cual debe ser el valor mínimo del intervalo entre frecuencias. A fin facilitar la comprensión de como se determina el "intervalo mínimo entre frecuencias", en la figura V.2 a) se simula el caso de transmisión de tres canales a 10 Gbit/s.

Se supone que los tres canales se modulan externamente. En la figura V.2 b) se muestra la penalización en función del valor del intervalo de frecuencia para una BER de 10^{-12} . Los resultados indican que el intervalo de frecuencia debe ser mayor que 20 GHz para penalizaciones menores de 0,5 dB.

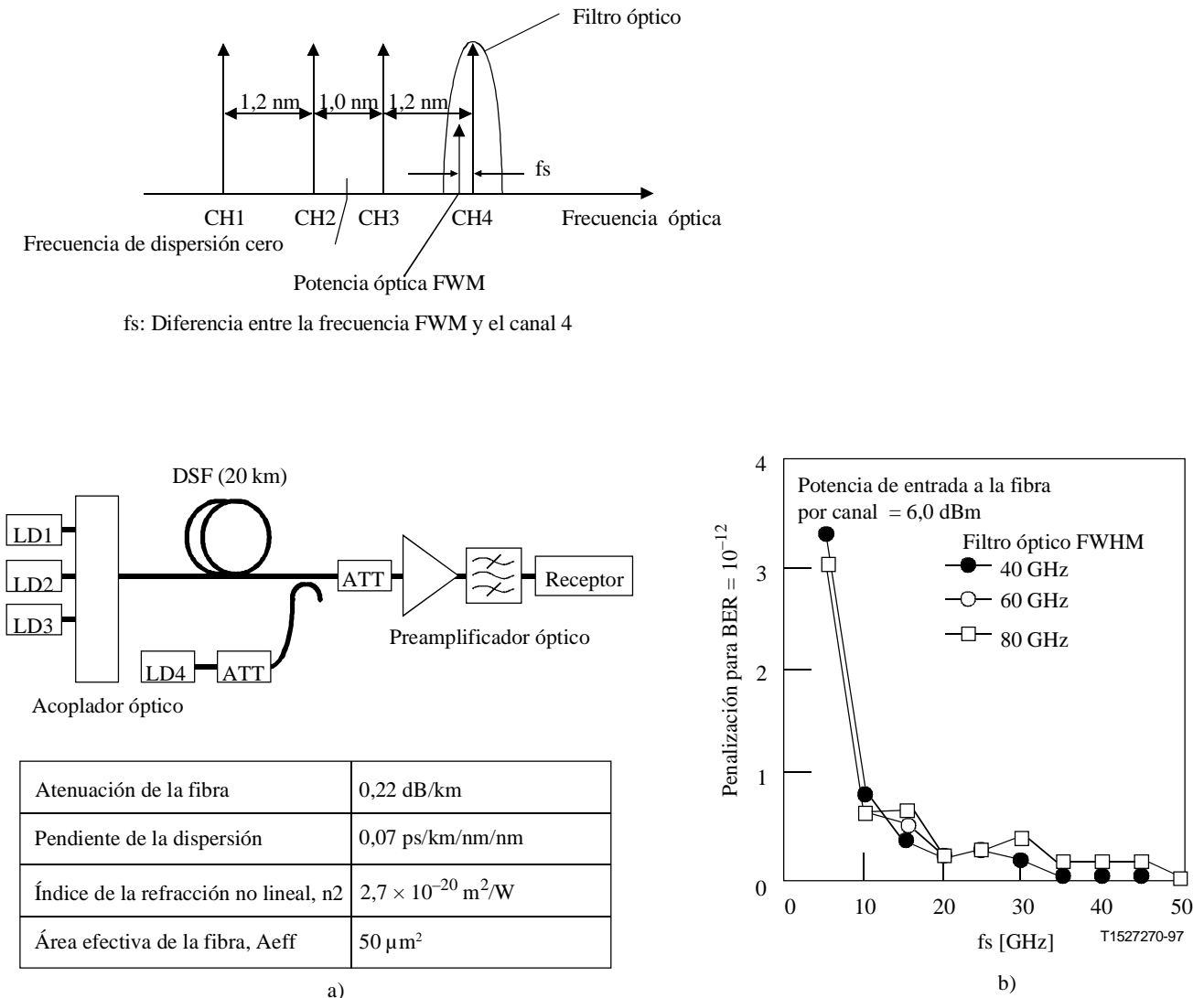


Figura V.2/G.692 – Penalización en función de la frecuencia fs

Además, cuando la frecuencia de la señal óptica fluctúa en Δf , la diferencia de frecuencias se reduce en $4\Delta f$, en el caso más desfavorable como se desprende de la ecuación (V-1). Si se consigue reducir la fluctuación de frecuencia de la fuente a menos de 1 GHz mediante técnicas de estabilización de frecuencia [2], la diferencia entre la señal óptica y la potencia óptica de FWM se reduce de 24 GHz a 20 GHz en el caso más desfavorable, tal como se desprende de la ecuación (V-1). Debido a que la mejor estabilidad de frecuencia que puede conseguirse en la práctica hoy en día con tecnología convencional es de aproximadamente 1 GHz, un cuarto de la rejilla de la separación de frecuencia de 100 GHz, es decir, 25 GHz, es un intervalo de frecuencia mínimo adecuado.

V.1.3 Anchura de banda óptica para una asignación de frecuencia con separación irregular

La anchura de banda óptica necesaria para cada intervalo de frecuencia es la que se muestra en la figura V.3. La anchura de banda óptica requerida puede calcularse mediante el cuadro V.1.

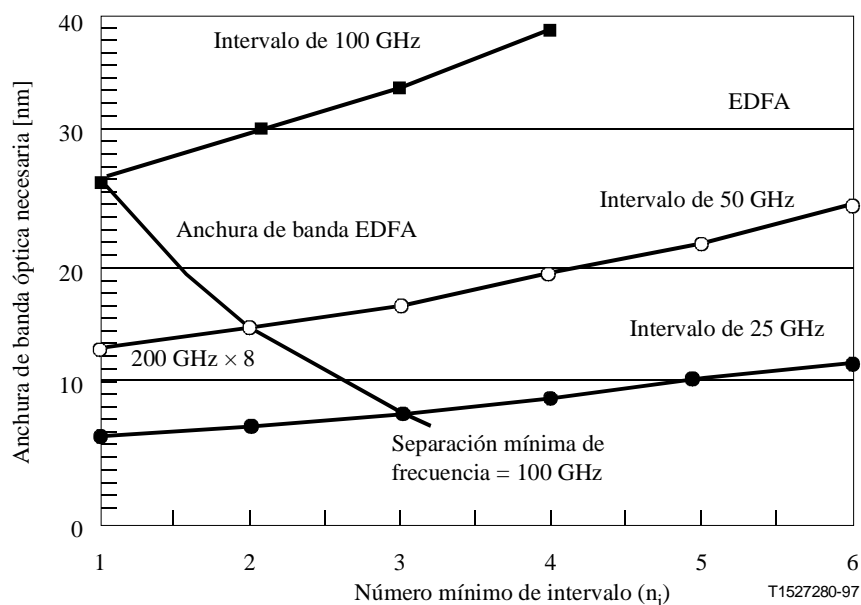


Figura V.3/G.692 – Anchura de banda óptica necesaria

V.2 Asignación de frecuencia a canales con separación irregular y un intervalo de frecuencia de 25 GHz

Las condiciones de diseño para la asignación de frecuencias para una separación irregular e intervalo de frecuencia de 25 GHz son las siguientes:

(2-1) La anchura de banda ocupada debe ser menor que la de un sistema WDM con 8 canales con separación regular de canales a 200 GHz (11,2 nm), de forma que puedan utilizarse amplificadores ópticos con la misma anchura de banda de ganancia.

(2-2) La separación de frecuencia mínima es de 125 GHz.

La separación de frecuencia mínima más grande posible debe estar comprendida en la anchura de banda óptica de forma que se reduzca el efecto de vaciado de bombeo debido a la FWM. Tal como se muestra en la figura V.3, (25 GHz × 5) es, en este caso, la separación de canal mínima.

(2-3) La separación entre canales se determina de conformidad con la regla 25 GHz × M (M = 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11) a fin de que todos los canales se encuentren en la anchura de banda óptica de 11,2 nm. Se selecciona un conjunto que satisfaga la condición de diseño (1-2) y (1-3). Existen 206 combinaciones que cumplen estos requisitos.

(2-4) La diferencia máxima de frecuencia entre cada una de las frecuencias con separación irregular y la frecuencia más próxima de la rejilla de 200 GHz debe ser menor de 75 GHz, de forma que las frecuencias con separación irregular puedan sintonizarse a partir de la frecuencia más próxima de la rejilla de 200 GHz exclusivamente mediante control de la temperatura.

V.3 Asignación de frecuencias a canales con separación irregular y un intervalo de frecuencia de 50 GHz

Las condiciones de diseño para la asignación de frecuencias con separación irregular e intervalo de 50 GHz son las siguientes:

(3-1) La longitud de onda de la señal óptica debe ser menor de 1560 nm y la anchura de banda ocupada debe ser inferior de 20 nm de forma que puedan utilizarse los amplificadores de fibra óptica dopada con Er³⁺ [3].

(3-2) La separación mínima entre frecuencias es de 150 GHz ($50 \text{ GHz} \times 3$).

Como se menciona en (2-2) de la subcláusula V.2, una separación mínima de más de 100 GHz es adecuada.

(3-3) La separación entre canales se determina de acuerdo con la regla $50 \text{ GHz} \times M$ ($M = 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10$) a fin de minimizar la anchura de banda óptica total y satisfacer las condiciones de diseño de la subcláusula V.1.

V.4 Asignación de frecuencias a canales con separación irregular y un intervalo de frecuencia de 100 GHz

Las condiciones de diseño para la asignación de frecuencias con separación irregular e intervalo de 100 GHz son las siguientes:

(4-1) Las longitudes de onda de la señal óptica deben estar comprendidas entre 1530 nm y 1561 nm de forma que puedan utilizarse los amplificadores de fibra óptica de fluoriduro dopada con Er^{3+} .

(4-2) La señal óptica no debe estar en la longitud de onda próxima a 1549 nm debido a que los amplificadores de fibra óptica de fluoriduro dopada con Er^{3+} sufren una disminución de ganancia en esta región.

(4-3) La separación mínima entre frecuencias es de 200 GHz.

Si la frecuencia mínima de separación es 100 GHz, no existe una asignación de frecuencias que satisfaga las condiciones (4-1) y (4-2). Por lo tanto, 200 GHz es más conveniente como la separación mínima de frecuencia.

(4-4) La separación entre canales se determina de acuerdo con la regla $100 \text{ GHz} \times M$ [$M = (2, 3, 4, 5, 7, 8, 10), (2, 3, 4, 5, 6, 8, 11), (2, 3, 4, 5, 6, 9, 10), (2, 3, 4, 5, 6, 7, 12), (2, 3, 4, 6, 7, 8, 9)$] a fin de minimizar la anchura de banda óptica total y satisfacer las condiciones de diseño (4-2) y (4-3).

V.5 Impacto de la separación irregular sobre otros parámetros

V.5.1 Desviación de frecuencia para separación irregular con desplazamiento de frecuencia

Tal como se ha mencionado en la subcláusula V.1, el intervalo mínimo de frecuencia debe ser mayor de 20 GHz cuando se suponga una velocidad de transmisión de 10 Gbit/s. Ello significa que la diferencia mínima de frecuencia entre una señal óptica y la potencia óptica de la FWM debe ser mayor de 2,0 veces la velocidad de transmisión cuando no hay desviación de frecuencia. Además, cuando la frecuencia de las señales ópticas fluctúa Δf , la diferencia en frecuencia se reduce $4\Delta f$. Por lo tanto, la desviación de frecuencia permitida viene dada por:

$$\Delta f \leq \frac{fs - 2,0 B}{4} \quad (\text{V-1})$$

donde fs es el intervalo de frecuencia.

Cuando la velocidad de transmisión es 2,5 Gbit/s, la desviación de frecuencia permitida es la que se muestra en el cuadro V.2.

Cuadro V.2/G.692 – Desviación de frecuencia permitida (2,5 Gbit/s)

Intervalo de frecuencia	25	50	100
Desviación máxima de la frecuencia central \pm GHz	4-5	11	23

V.5.2 Niveles de potencia

La separación irregular limita la potencia de entrada máxima de la fibra. Su desarrollo queda en estudio.

V.6 Bibliografía

- [1] FORGHIERI (F.), TKACH (R.W.), CHRAPLYVY (A.R.), MARCUSE (D.): Reduction of Four-Wave Mixing Crosstalk in WDM Systems Using Unequally Spaced Channels, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 6, N.º 6, pp. 754-756, 1994.
- [2] ODA (K.), TOBA (H.), NOSU (K.): Long Term Laboratory Test of a Fully-Engineered 128 Channel Optical FDM Distribution System, in *ECOC'93, paper TuP4.3*, pp. 117-120, 1993.
- [3] KASHIWADA (T.), NAKAZATO (K.), OHNISHI (M.), KANAMORI (H.), NISHIMURA (M.): Spectral Gain Behavior of Er-doped Fiber with Extremely High Aluminum Concentration, *OAA '93, MA6-1*, 1993.

APÉNDICE VI

Utilización de la pre-igualación en el punto MPI-S

La pre-igualación puede utilizarse en la interfaz MPI-S a fin de aumentar la variación de ganancia del amplificador de línea y la desviación de ganancia que puede tolerar un sistema que, al mismo tiempo, mantiene un cierta diferencia de niveles en la potencia máxima de los canales. Ello garantiza que el diseño de los amplificadores y los planes de longitudes de onda no se encuentren limitados en exceso.

La pre-igualación compensa en parte la variación de ganancia del amplificador de línea y la desviación de ganancia mediante el esquema siguiente. La potencia de canal más elevada en MPI-S se asigna al canal que tenga la menor ganancia del amplificador de línea, mientras que la potencia de canal más baja en MPI-S se asigna al canal que tenga la mayor ganancia del amplificador de línea. Se especifica la máxima diferencia entre la potencia de dos canales cualesquiera en MPI-S así como la variación de potencia de canal. Ello limita la variación de potencia en MPI-S de cualquier canal, así como la gama de potencias que depende del canal y que están asociadas a los trayectos ópticos entre las interfaces del transmisor S_1 - S_n y la interfaz MPI-S. La pre-igualación se utiliza sobre todo para compensar aquellas tolerancias que variarán sistemáticamente.

Si no se utiliza la pre-igualación, la diferencia de potencia de canal en la interfaz de transmisión MPI-S hace que se reduzca la variación de la ganancia del amplificador y la desviación de ganancia que puede tolerar el sistema. Por lo tanto, en este caso, debe minimizarse la diferencia de potencia de canal en la interfaz MPI-S.

APÉNDICE VII

Ampliación de la Recomendación G.692 para incluir la transmisión bidireccional mediante WDM

La WDM unidireccional consiste en la transmisión de todos los canales ópticos de una fibra simultáneamente en la misma dirección (véase la figura VII.1). La WDM bidireccional consiste en la transmisión de todos los canales ópticos de una fibra simultáneamente en ambas direcciones (véase la figura VII.2).

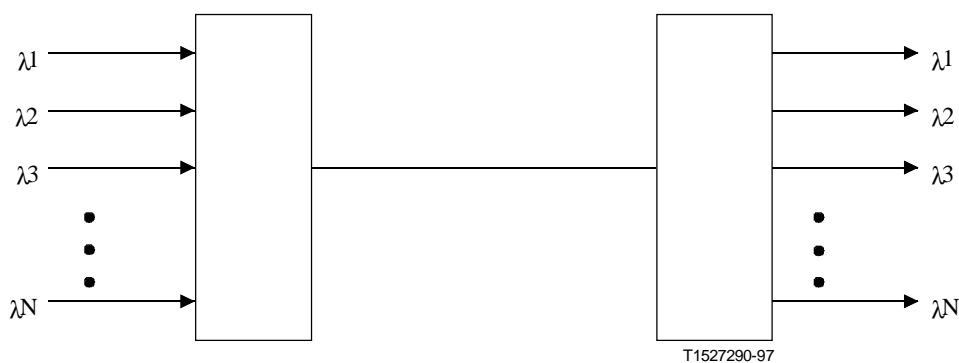


Figura VII.1/G.692 – WDM unidireccional

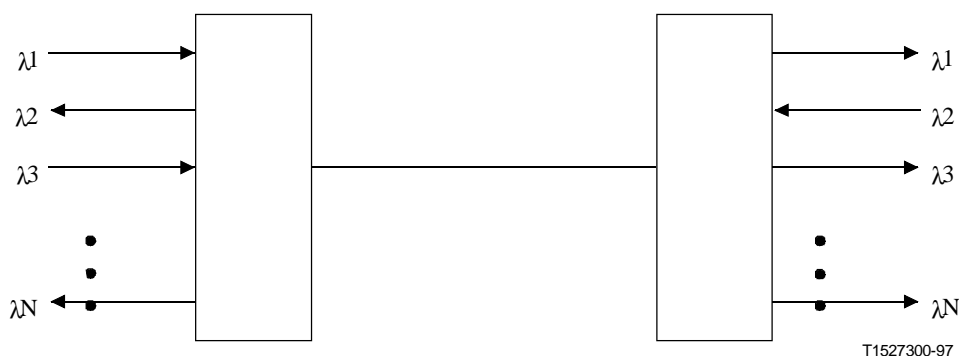


Figura VII.2/G.692 – WDM bidireccional

En general, la WDM bidireccional puede reducir el número de fibras y de amplificadores de línea que se necesitan en comparación con los sistemas que utilizan WDM unidireccional. Un beneficio adicional de la WDM bidireccional es la posible mejora de la calidad en relación con la mezcla de cuatro frecuencias (FWM), en particular cuando se implementa sobre fibra G.653.

El diseño de la WDM bidireccional debe tener en cuenta varios aspectos fundamentales de los sistemas. Debe tomarse las precauciones debidas sobre las reflexiones ópticas a fin de evitar la interferencia por trayectos múltiples (MPI, *multi path interference*). Algunas consideraciones adicionales son las relativas a los tipos y valores de la diafonía, los valores e interdependencia de los niveles de potencia para ambos sentidos de transmisión, la transmisión de OSC y el corte automático de la potencia. Su desarrollo queda en estudio.

La especificación completa de la WDM bidireccional en la presente Recomendación puede requerir que se definan nuevos códigos de aplicación, así como la modificación de algunos de los existentes y la incorporación de nuevas definiciones de parámetros.

APÉNDICE VIII

Ampliación de la Recomendación G.692 para incluir la transmisión de 16 y de 32 o más canales

En base a las necesidades del mercado, el campo de aplicación de la Recomendación G.692 ha sido ampliado a sistemas de línea de larga distancia con 16 y 32 o más canales. Esta ampliación tiene un impacto en los parámetros y en sus correspondientes valores en la mayor parte de la Recomendación G.692. Por ejemplo:

- número y asignación de las frecuencias necesarias;
- separación de frecuencias;
- distancias totales que pueden conseguirse;
- potencia óptica máxima nominal de canal.

Todo ello puede exigir nuevos códigos de aplicación.

Las frecuencias centrales que se presentan en los cuadros III.1 y IV.1 pueden ser utilizadas para asignar 16 y 32 canales; así por ejemplo:

- 16 canales con separación de 100 GHz o 200 GHz; o
- 32 canales con separación de 100 GHz.

Además de las frecuencias centrales y la separación de frecuencias, los sistemas de 16 y de 32 o más (posiblemente con una separación de 50 GHz) canales requieren que se definan otros parámetros ópticos así como los valores asociados a los mismos para. Todo ello queda en estudio.

APÉNDICE IX

Ampliación de la Recomendación G.692 para incluir la velocidad de transmisión STM-64

En base a las necesidades del mercado, el campo de aplicación de la Recomendación G.692 ha sido ampliado a sistemas de línea de larga distancia con velocidad binaria STM-64 (10 Gbit/s). Esta ampliación tiene un impacto en los parámetros y en sus correspondientes valores en la mayor parte de la Recomendación G.692; así por ejemplo, en:

- la distancia total alcanzable de los sistemas multicanal para STM-64; y
- la técnica de acomodación de la dispersión,

lo cual puede generar códigos de aplicación adicionales.

Los sistemas WDM STM-64 sobre fibras G.652 requieren una técnica de acomodación de la dispersión para todos los códigos de aplicación STM-64.

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

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