

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.698.1

(11/2009)

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

Características de los medios de transmisión y de los
sistemas ópticos – Características de los sistemas ópticos

**Aplicaciones multicanal de multiplexación
por división en longitud de onda densa con
interfaces ópticas monocanal**

Recomendación UIT-T G.698.1

UIT-T



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
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN Y DE LOS SISTEMAS ÓPTICOS	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.639
Sistemas ópticos en el espacio libre	G.640–G.649
Cables de fibra óptica	G.650–G.659
Características de los componentes y los subsistemas ópticos	G.660–G.679
Características de los sistemas ópticos	G.680–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 MULTIMEDIOS – ASPECTOS GENÉRICOS Y ASPECTOS RELACIONADOS AL USUARIO	G.1000–G.1999
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.6000–G.6999
DATOS SOBRE CAPA DE TRANSPORTE – ASPECTOS GENÉRICOS	G.7000–G.7999
ASPECTOS RELATIVOS A LOS PROTOCOLOS EN MODO PAQUETE SOBRE LA CAPA DE TRANSPORTE	G.8000–G.8999
REDES DE ACCESO	G.9000–G.9999

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

Recomendación UIT-T G.698.1

Aplicaciones multicanal de multiplexación por división en longitud de onda densa con interfaces ópticas monocanal

Resumen

La Recomendación UIT-T G.698.1 proporciona valores de parámetros ópticos para interfaces de capa física de sistemas de multiplexación por división en longitud de onda densa (DWDM) destinados a aplicaciones en áreas metropolitanas. Las aplicaciones se definen utilizando parámetros de interfaz óptica en los puntos de conexión monocanal entre los transmisores ópticos y el multiplexador óptico así como entre los receptores ópticos y el demultiplexador óptico en el sistema DWDM. En esta Recomendación se utiliza una metodología que fija conjuntamente la atenuación máxima del multiplexor/demultiplexor y de la fibra y, por consiguiente, no especifica explícitamente la longitud máxima del enlace por fibra. Esta Recomendación incluye aplicaciones unidireccionales de DWDM a 2,5 y 10 Gbit/s con separación de frecuencia entre los canales de 100 GHz, así como aplicaciones a 10 Gbit/s con separación de frecuencias entre los canales de 50 GHz.

Esta versión más reciente de la Recomendación UIT-T G.698.1 incluye la utilización del multiplexor óptico de adición-sustracción (OADM) en el enlace negro.

Historia

Edición	Recomendación	Aprobación	Comisión de Estudio	ID único*
1.0	ITU-T G.698.1	2005-06-29	15	11.1002/1000/8523
2.0	ITU-T G.698.1	2006-12-14	15	11.1002/1000/8980
3.0	ITU-T G.698.1	2009-11-13	15	11.1002/1000/10395

* Para acceder a la Recomendación, sírvase digitar el URL <http://handle.itu.int/> en el campo de dirección del navegador, seguido por el identificador único de la Recomendación. Por ejemplo, <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>.

PREFACIO

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones y de las tecnologías de la información y la comunicación. El Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-T) 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 no 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 en la dirección <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© UIT 2015

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 Términos definidos en otros documentos.....	2
3.2 Términos definidos en esta Recomendación	2
4 Abreviaturas, siglas o acrónimos	3
5 Clasificación de interfaces ópticas.....	3
5.1 Aplicaciones	3
5.2 Puntos de referencia	4
5.3 Nomenclatura	7
5.4 Interfaces monocanal en los puntos de referencia S_S y R_S	8
6 Compatibilidad transversal	9
7 Definiciones de los parámetros.....	9
7.1 Información general.....	10
7.2 Interfaz en el punto S_S	11
7.3 Parámetros del trayecto óptico (un solo tramo) del punto S_S al R_S	12
7.4 Interfaz en el punto R_S	15
8 Valor de los parámetros	16
9 Consideraciones sobre la seguridad óptica	22
Apéndice I – Número de OADM soportados en el enlace.....	23
I.1 Introducción	23
I.2 Pérdida de inserción de canal máxima	23
I.3 Rizado máximo.....	23
I.4 Dispersión cromática máxima	24
I.5 Reflejos.....	24
I.6 Retardo de grupo diferencial máximo	24
I.7 Diafonía interferométrica máxima	25
Bibliografía	26

Recomendación UIT-T G.698.1

Aplicaciones multicanal de multiplexación por división en longitud de onda densa con interfaces ópticas monocanal

1 Alcance

El objetivo de la presente Recomendación es proporcionar especificaciones de interfaces ópticas para realizar sistemas de multiplexación por división en longitud de onda densa (DWDM, *dense wavelength division multiplexing*) con compatibilidad transversal destinados primordialmente a aplicaciones en áreas metropolitanas.

Esta Recomendación define y proporciona valores para parámetros de interfaces ópticas monocanal de aplicaciones DWDM físicas punto a punto y en anillo (con distancia de transmisión entre 30 km y 80 km) en fibras ópticas monocanal mediante el uso del "enlace negro".

Quedan fuera del alcance de la presente Recomendación las aplicaciones que contienen amplificadores ópticos en el enlace negro.

Esta Recomendación describe sistemas DWDM con las siguientes características:

- Espaciamiento de frecuencia entre canales: 50 GHz y mayores (especificados en [UIT-T G.694.1]).
- Velocidad binaria de canal de señalización: hasta 10 Gbit/s.

Las especificaciones están organizadas de acuerdo con los códigos de aplicación.

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.

- [UIT-T G.652] Recomendación UIT-T G.652 (2005), *Características de las fibras y cables ópticos monomodo.*
- [UIT-T G.653] Recomendación UIT-T G.653 (2006), *Características de los cables y fibras ópticas monomodo con dispersión desplazada.*
- [UIT-T G.655] Recomendación UIT-T G.655 (2006), *Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nula.*
- [UIT-T G.664] Recomendación UIT-T G.664 (2006), *Procedimientos y requisitos de seguridad óptica para sistemas ópticos de transporte.*
- [UIT-T G.671] Recomendación UIT-T G.671 (2009), *Características de transmisión de los componentes y subsistemas ópticos.*
- [UIT-T G.691] Recomendación UIT-T G.691 (2006), *Interfaces ópticas para los sistemas monocanal STM-64 y otros sistemas de la jerarquía digital síncrona con amplificadores ópticos.*

- [UIT-T G.692] Recomendación UIT-T G.692 (1998), *Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos*.
- [UIT-T G.694.1] Recomendación UIT-T G.694.1 (2002), *Planes espectrales para aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda: Plan de frecuencias con multiplexación por división de longitud de onda densa*.
- [UIT-T G.698.2] Recomendación UIT-T G.698.2 (2009), *Aplicaciones multicanal de la multiplexación por división en longitud de onda densa con amplificación e interfaces ópticas monocal*.
- [UIT-T G.709] Recomendación UIT-T G.709/Y.1331 (2003), *Interfaces para la red óptica de transporte (OTN)*.
- [UIT-T G.957] Recomendación UIT-T G.957 (2006), *Interfaces ópticas para equipos y sistemas relacionados con la jerarquía digital síncrona*.
- [UIT-T G.959.1] Recomendación UIT-T G.959.1 (2008), *Interfaces de capa física de red óptica de transporte*.
- [CEI 60825-1] CEI 60825-1 (2007), *Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements*.
- [CEI 60825-2] CEI 60825-2 (2007), *Safety of laser products – Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCS)*.

3 Términos y definiciones

3.1 Términos definidos en otros documentos

En esta Recomendación se utilizan los términos siguientes definidos en otros documentos:

- 3.1.1 pérdida de inserción de canal** [UIT-T G.671]
- 3.1.2 espaciamiento de canal o separación entre canales** [UIT-T G.671]
- 3.1.3 OTUk completamente normalizada** [UIT-T G.709]
- 3.1.4 multiplexación por división en longitud de onda densa** (DWDM, *dense wavelength division multiplexing*) [UIT-T G.671]
- 3.1.5 retardo de grupo diferencial** [UIT-T G.671]
- 3.1.6 plan de frecuencias** [UIT-T G.694.1]
- 3.1.7 ingeniería conjunta** [UIT-T G.957]
- 3.1.8 señal afluente óptica** [UIT-T G.959.1]
- 3.1.9 clase de señal afluente óptica NRZ 10G** [UIT-T G.959.1]
- 3.1.10 clase de señal afluente óptica NRZ 2,5G** [UIT-T G.959.1]
- 3.1.11 reflectancia** [UIT-T G.671]
- 3.1.12 rizado** [UIT-T G.671]
- 3.1.13 compatibilidad transversal** [UIT-T G.957]

3.2 Términos definidos en esta Recomendación

No se define ningún término en esta Recomendación.

4 Abreviaturas, siglas o acrónimos

En esta Recomendación se utilizan las siguientes abreviaturas, siglas o acrónimos.

ASE	Emisión espontánea amplificada (<i>amplified spontaneous emission</i>)
BER	Tasa de errores en los bits (<i>bit error ratio</i>)
DGD	Retardo diferencial de grupo (<i>differential group delay</i>)
EX	Tasa de extinción (<i>extinction ratio</i>)
FEC	Corrección de errores hacia adelante (<i>forward error correction</i>)
NA	No aplicable (<i>not applicable</i>)
NE	Elemento de red (<i>network element</i>)
NRZ	Sin retorno a cero (<i>non-return to zero</i>)
OA	Amplificador óptico (<i>optical amplifier</i>)
OADM	Multiplexor óptico de adición-sustracción (<i>optical add-drop multiplexer</i>)
OD	Demultiplexor óptico (<i>optical demultiplexer</i>)
OM	Multiplexor óptico (<i>optical multiplexer</i>)
ONE	Elemento óptico de red (<i>optical network element</i>)
OTU _k	Unidad k de transporte de canal óptico completamente normalizada (<i>completely standardized optical channel transport unit – k</i>)
PMD	Dispersión por modo de polarización (<i>polarization mode dispersion</i>)
RP _R	Punto de referencia de enlace en la entrada compuesta del elemento de red DWDM (<i>link reference point at the DWDM network element aggregate input</i>)
RP _S	Punto de referencia de enlace en la salida compuesta del elemento de red DWDM (<i>link reference point at the DWDM network element aggregate output</i>)
R _S	Punto de referencia monocanal en la salida afluyente del elemento de red DWDM (<i>single channel reference point at the DWDM network element tributary output</i>)
S _S	Punto de referencia monocanal en la entrada afluyente del elemento de red DWDM (<i>single channel reference point at the DWDM network element tributary input</i>)
WDM	Multiplexación por división en longitud de onda (<i>wavelength division multiplexing</i>)

5 Clasificación de interfaces ópticas

5.1 Aplicaciones

Esta Recomendación proporciona los parámetros y valores de capa física para interfaces monocanal de sistemas ópticos multicanal DWDM en aplicaciones físicas punto a punto. Estos sistemas DWDM con interfaces monocanal están diseñados principalmente para ser usados por una variedad de clientes, servicios y protocolos en redes de áreas metropolitanas.

El método de especificación utilizado en esta Recomendación es el llamado "enlace negro", lo que significa que se especifican parámetros de interfaz óptica solamente para señales afluentes ópticas (monocanal). Se proporcionan otras especificaciones para los parámetros del enlace negro, tales como atenuación máxima, dispersión cromática, rizado y dispersión por modo de polarización. Este enfoque hace posible la compatibilidad transversal en el punto monocanal utilizando una configuración de multiplexación en longitud de onda directa, pero no permite la compatibilidad transversal en los puntos multicanal. En este método el OM y el OD se tratan como un solo conjunto de dispositivos ópticos, y pueden incluirse los OADM.

En la presente Recomendación sólo se consideran aquellas aplicaciones DWDM en las que el enlace negro no contiene amplificadores ópticos.

5.2 Puntos de referencia

5.2.1 Aplicaciones unidireccionales

La Figura 5-1 muestra un conjunto de puntos de referencia, para el método "enlace negro" lineal, para conexión monocanal (S_S y R_S) entre transmisores (Tx, *transmitters*) y receptores (Rx, *receivers*). Los elementos de red DWDM incluyen aquí un OM y un OD, que se utilizan como un par con el elemento opuesto, y también pueden incluir uno o más OADM.

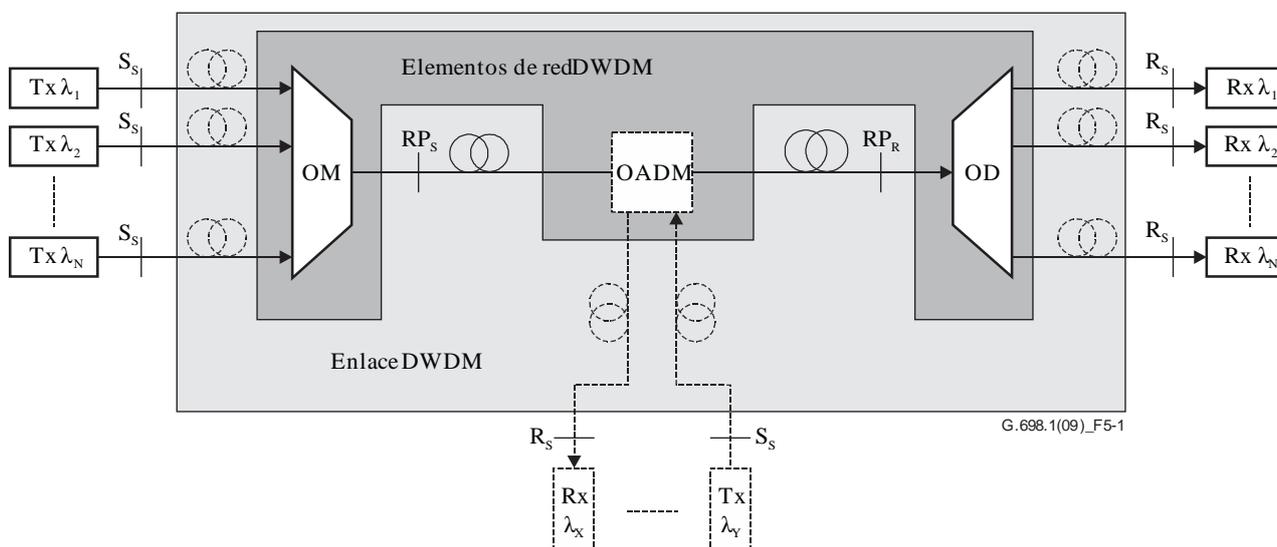


Figura 5-1 – Método "enlace negro" lineal

Como se muestra en la Figura 5-1, cuando el transmisor o el receptor están a cierta distancia del OM, el OD o el OADM, la fibra entre el punto S_S o R_S y el elemento de red DWDM se considera parte del enlace negro.

En la Figura 5-2 se muestra el conjunto de puntos de referencia correspondiente al método "enlace negro" en anillo para la conexión monocanal (S_S y R_S) entre transmisores (Tx) y receptores (Rx). Los elementos de red DWDM incluyen dos o más OADM conectados en un anillo.

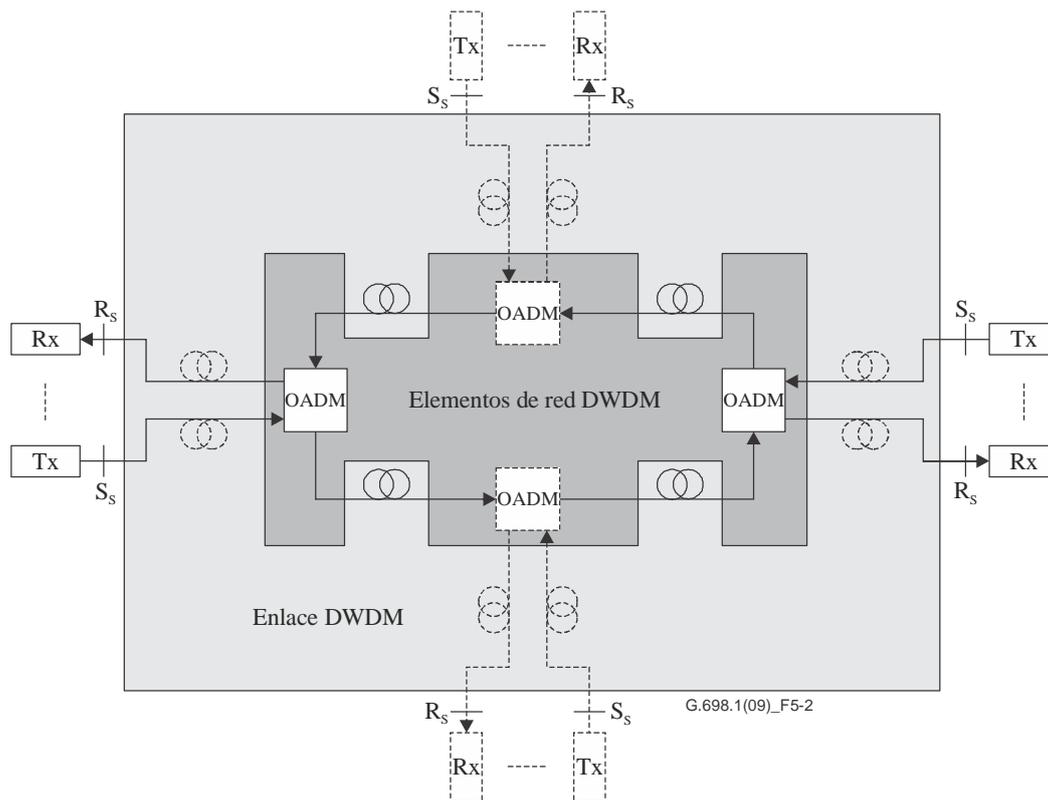


Figura 5-2 – Método "enlace negro" en anillo

Estos modelos de referencia no incluyen amplificadores ópticos en el sistema DWDM. Los puntos de referencia de las Figuras 5-1 y 5-2 se definen del modo siguiente:

- S_S es un punto de referencia monocanal en la entrada afluyente del elemento de red DWDM;
- R_S es un punto de referencia monocanal en la salida afluyente del elemento de red DWDM;
- RP_S es un punto de referencia de enlace en la salida compuesta del elemento de red DWDM;
- RP_R es un punto de referencia de enlace en la entrada compuesta del elemento de red DWDM.

Los puntos de referencia monocanal S_S y R_S se aplican, con el método "enlace negro" (lineal o en anillo), a sistemas donde todos los trayectos entre S_S y su correspondiente R_S deben ajustarse a los valores de parámetro del código de aplicación.

Obsérvese que los puntos RP_S y RP_R se definen solamente con objeto de proporcionar información del enlace por fibra y no para proporcionar las características de la señal en esos puntos.

5.2.2 Aplicaciones bidireccionales

Aunque esta Recomendación no contiene aplicaciones bidireccionales, cabe esperar que se añadirán en una futura revisión. En la Figura 5-3 se muestra un conjunto de puntos de referencia del método "enlace negro" lineal bidireccional monofibra para conexión monocanal (S_S y R_S) entre transmisores (Tx) y receptores (Rx). En este caso, el elemento de red DWDM incluye un OM/OD que se utiliza como un par con el elemento opuesto y también pueden incluir uno o más OADM.

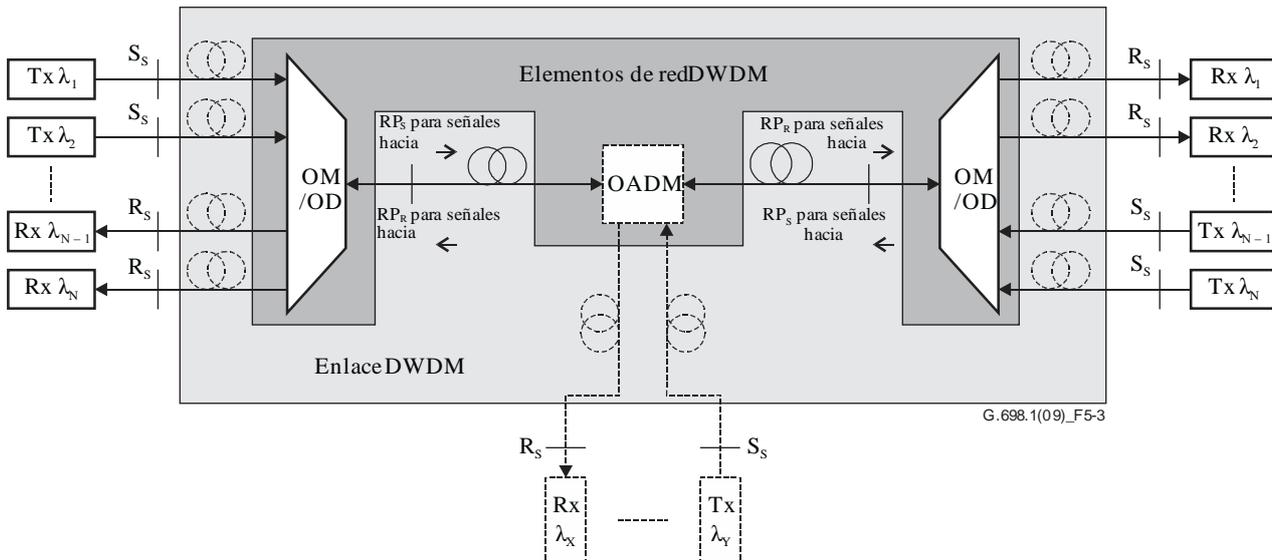


Figura 5-3 – Método "enlace negro" lineal para aplicaciones bidireccionales

En la Figura 5-4 se muestra el conjunto de puntos de referencia correspondiente al método "enlace negro" en anillo bidireccional monofibra para una conexión monocanal (S_s y R_s) entre transmisores (Tx) y receptores (Rx). Los elementos de red DWDM incluyen dos o más OADM conectados en un anillo.

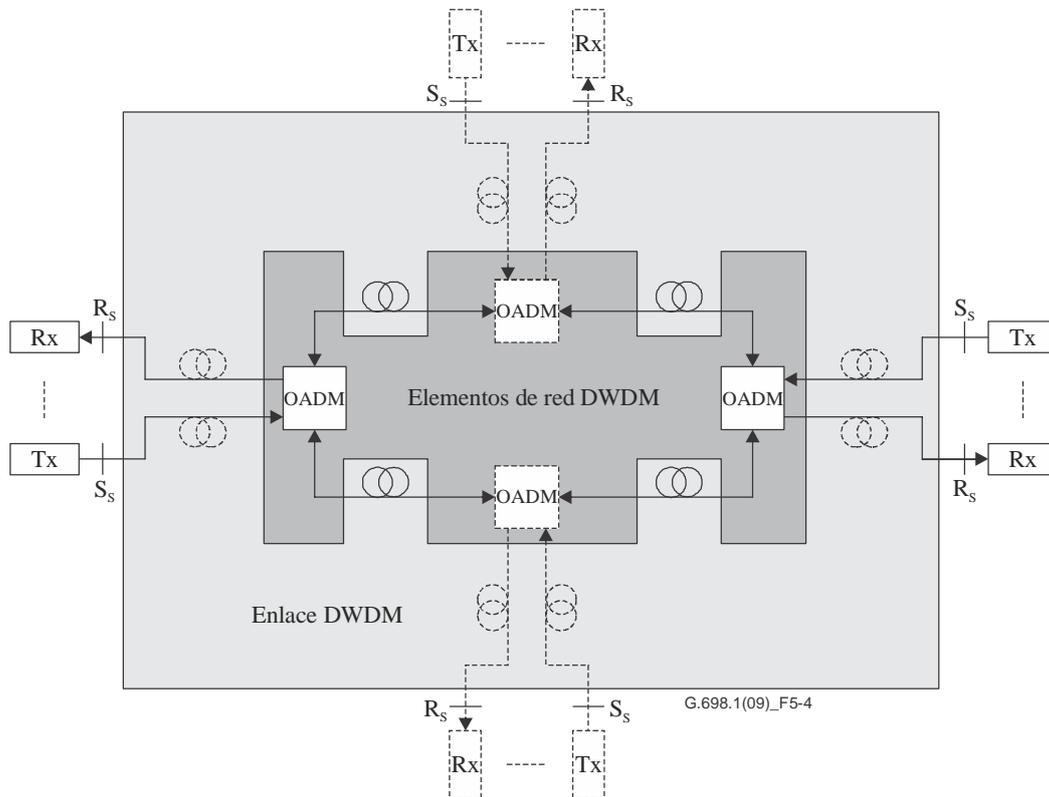


Figura 5-4 – Método "enlace negro" en anillo para aplicaciones bidireccionales

Los puntos de referencia de las Figuras 5-3 y 5-4 se definen en 5.2.1.

5.3 Nomenclatura

El código de la aplicación identifica la red, la implementación y las características arquitecturales de una aplicación.

La notación del código de la aplicación se construye como sigue:

DScW-ytz(v)

donde:

- D** es el indicador de las aplicaciones DWDM.
- S** indica las opciones de la desviación espectral máxima, de modo que:
 - **N** indica desviación espectral restringida;
 - **W** indica desviación espectral amplia.
- c** es el espaciamiento de canal en GHz.
- W** es una letra que indica la distancia del tramo, de modo que:
 - **S** indica tramo corto;
 - **L** indica tramo largo.
- y** indica la clase más alta de señal afluyente óptica soportada:
 - **1** indica NRZ 2,5G;
 - **2** indica NRZ 10G.
- t** es una letra que indica la configuración soportada por el código de aplicación. En la presente versión de la Recomendación, el único valor que se emplea es:
 - **D** significa que el "enlace negro" no contiene amplificadores ópticos.
- z** indica el tipo de fibra, como sigue:
 - **2** indica fibra UIT-T G.652;
 - **3** indica fibra UIT-T G.653;
 - **5** indica fibra UIT-T G.655.
- v** indica la gama operativa de longitudes de onda en bandas espectrales [b-UIT-T G-Sup39):

v	Descriptor	Longitud de onda nominal (nm)
S	Longitud de onda corta	1 460 a 1 530
C	Convencional	1 530 a 1 565
L	Longitud de onda larga	1 565 a 1 625

Si se utiliza más de una banda espectral, v pasa a ser las letras de la banda separadas por "+", por ejemplo, para una aplicación que requiera la utilización de las bandas C y L, v sería "C+L".

NOTA – Las gamas de longitud de onda nominal se indican a efectos de clasificación y no de especificación. La longitud de onda real mínima y máxima para cada aplicación se debería calcular a partir de las frecuencias de canal máxima y mínima para esa aplicación.

Un sistema bidireccional se indica mediante la adición de la letra **B** al principio del código de aplicación. Para los códigos de aplicación DWDM será el siguiente:

B-DScW-ytz(v)

Para algunos códigos de aplicación, se añade un sufijo al final del código. El único sufijo que se ha definido hasta la fecha es:

- **F** para indicar que para transmitir esta aplicación se necesitan bytes FEC como se especifica en [UIT-T G.709].

5.4 Interfaces monocanal en los puntos de referencia Ss y Rs

Las interfaces monocanal descritas en los Cuadros 8-1 a 8-5 tienen por objeto permitir la compatibilidad transversal en las interfaces monocanal en los puntos ingreso/egreso del enlace DWDM (OM, fibra y OD), como se muestran en las Figuras 5-1 a 5-4.

En la cláusula 6 figuran otros requisitos relacionados con la compatibilidad transversal.

El Cuadro 5-1 resume los códigos de aplicación monocanal, estructurados de acuerdo con la nomenclatura de 5.3.

Cuadro 5-1 – Clasificación de aplicaciones

Aplicación	Corto alcance (S)	Largo alcance (L)
Tipo de fibra	G.652, G.653, G.655	G.652, G.653, G.655
Clase de señal afluyente óptica NRZ 2,5G	DN100S-1D2(C), DW100S-1D2(C), DN100S-1D3(L), DW100S-1D3(L), DN100S-1D5(C), DW100S-1D5(C)	DN100L-1D2(C), DW100L-1D2(C), DN100L-1D3(L), DW100L-1D3(L), DN100L-1D5(C), DW100L-1D5(C)
OTU1 con FEC habilitada	DN100S-1D2(C)F, DW100S-1D2(C)F, DN100S-1D3(L)F, DW100S-1D3(L)F, DN100S-1D5(C)F, DW100S-1D5(C)F	DN100L-1D2(C)F, DW100L-1D2(C)F, DN100L-1D3(L)F, DW100L-1D3(L)F, DN100L-1D5(C)F, DW100L-1D5(C)F
Clase de señal afluyente óptica NRZ 10G	DN100S-2D2(C), DW100S-2D2(C), DN100S-2D3(L), DW100S-2D3(L), DN100S-2D5(C), DW100S-2D5(C), DN50S-2D2(C), DN50S-2D3(L), DN50S-2D5(C)	DN100L-2D2(C), DW100L-2D2(C), DN100L-2D3(L), DW100L-2D3(L), DN100L-2D5(C), DW100L-2D5(C), DN50L-2D2(C), DN50L-2D3(L), DN50L-2D5(C)
OTU2 con FEC habilitada	DN100S-2D2(C)F, DW100S-2D2(C)F, DN100S-2D3(L)F, DW100S-2D3(L)F, DN100S-2D5(C)F, DW100S-2D5(C)F, DN50S-2D2(C)F, DN50S-2D3(L)F, DN50S-2D5(C)F	DN100L-2D2(C)F, DW100L-2D2(C)F, DN100L-2D3(L)F, DW100L-2D3(L)F, DN100L-2D5(C)F, DW100L-2D5(C)F, DN50L-2D2(C)F, DN50L-2D3(L)F, DN50L-2D5(C)F

En esta Recomendación, los sistemas multicanal no amplificados con interfaces monocanal se especifican en los Cuadros 8-1 a 8-5.

6 Compatibilidad transversal

Esta Recomendación especifica los parámetros que permiten la compatibilidad transversal (es decir, de múltiples fabricantes) en los puntos de referencia monocanal S_s y R_s de los NE DWDM con "enlace negro".

Los puntos de referencia monocanal S_s y R_s están previstos para hacer compatibles transversalmente múltiples interfaces afluentes de los elementos de red DWDM. En este caso, múltiples transmisores ($Tx \lambda_i$) y receptores ($Rx \lambda_i$) de señales afluentes pueden proceder de diferentes fabricantes. Se señala que los NE DWDM (OM y OD) para el "enlace negro" son de un solo fabricante y se consideran como un solo conjunto de dispositivos ópticos.

La compatibilidad transversal (de múltiples fabricantes) se habilita para todos los puntos de referencia monocanal S_s y R_s del "enlace negro" de los NE DWDM que tengan exactamente el mismo código de aplicación.

La coexistencia de interfaces de afluentes con códigos de aplicación diferentes en el mismo enlace negro es una cuestión de ingeniería conjunta. Hay que prestar una atención particular a los parámetros críticos que deben ser coherentes, por ejemplo, la potencia de salida en el punto S_s y la potencia de entrada en el punto R_s , la velocidad binaria/codificación de línea de S_s , la velocidad binaria/codificación de línea de R_s , etc.

En cuanto al elemento del código de aplicación, que hace referencia a la desviación espectral máxima (indicador **S** en el código de aplicación; véase 5.3), la discordancia entre el indicador del transmisor y el del enlace causará la incompatibilidad cuando el transmisor tenga un código que contiene **W** (desviación espectral amplia) y el enlace contiene **N** (desviación espectral restringida). El resto de las combinaciones son compatibles transversalmente.

7 Definiciones de los parámetros

Los parámetros del Cuadro 7-1 se definen en los puntos de interfaz y las definiciones figuran en las cláusulas que siguen.

Cuadro 7-1 – Parámetros de capa física para aplicaciones DWDM que utilizan el "enlace negro"

Parámetro	Unidades	Definido en
Información general		
Separación mínima entre canales	GHz	7.1.1
Velocidad binaria/codificación de línea de señales afluentes ópticas	–	7.1.2
Tasa máxima de errores en los bits	–	7.1.3
Tipo de fibra	–	7.1.4
Interfaz en el punto S_s		
Potencia media de salida de canal máxima	dBm	7.2.1
Potencia media de salida de canal mínima	dBm	7.2.1
Frecuencia central mínima	THz	7.2.2
Frecuencia central máxima	THz	7.2.2
Desviación espectral máxima	GHz	7.2.3
Relación de supresión en modo lateral mínima	dB	7.2.4
Tasa de extinción de canal mínima	dB	7.2.5
Plantilla del diagrama en ojo	–	7.2.6

Cuadro 7-1 – Parámetros de capa física para aplicaciones DWDM que utilizan el "enlace negro"

Parámetro	Unidades	Definido en
Trayecto óptico del punto S_s al R_s		
Pérdida de inserción de canal máxima	dB	7.3.1
Pérdida de inserción de canal mínima	dB	7.3.1
Rizado máximo	dB	7.3.2
Dispersión cromática máxima	ps/nm	7.3.3
Pérdida de retorno óptica mínima en S _s	dB	7.3.4
Reflectancia discreta máxima entre S _s y R _s	dB	7.3.5
Retardo diferencial de grupo máximo	ps	7.3.6
Diafonía intercanal máxima en R _s	dB	7.3.7
Diafonía interferométrica máxima en R _s	dB	7.3.8
Interfaz en el punto R_s		
Potencia de entrada media máxima	dBm	7.4.1
Sensibilidad del receptor	dBm	7.4.2
Penalización máxima del trayecto óptico	dB	7.4.3
Reflectancia máxima del receptor	dB	7.4.4

7.1 Información general

7.1.1 Separación mínima entre canales

Es la diferencia de frecuencia nominal mínima entre dos canales adyacentes. Las posibles tolerancias de frecuencias reales se consideran en 7.2.3.

7.1.2 Velocidad binaria/codificación de línea de señales afluente ópticas

La clase de señal afluente óptica NRZ 2,5G se aplica a señales digitales continuas con codificación de línea sin retorno a cero de 622 Mbit/s nominales a 2,67 Gbit/s nominales. La clase de señal afluente óptica NRZ 10G se aplica a señales digitales continuas con codificación de línea sin retorno a cero de 2,4 Gbit/s nominales a 10,71 Gbit/s nominales.

7.1.3 Tasa de errores en los bits máxima

Los parámetros se especifican con relación a un objetivo de diseño de sección óptica de una tasa de errores en los bits (BER, *bit error ratio*), que no sea más desfavorable que el valor especificado por el código de aplicación. Este valor se aplica a cada canal óptico en el caso extremo de condiciones de atenuación y dispersión del trayecto óptico en cada aplicación. En el caso de códigos de aplicación que requieran la transmisión de bytes FEC (es decir, que tienen un código con el sufijo F), se requiere satisfacer la BER solamente después de la corrección (si se utiliza ésta). Para los demás códigos de aplicación se requiere satisfacer la BER sin utilizar la FEC.

7.1.4 Tipo de fibra

Los tipos de fibra óptica monomodo se eligen entre los definidos en [UIT-T G.652], [UIT-T G.653], y [UIT-T G.655].

7.2 Interfaz en el punto S_s

7.2.1 Potencia media de salida de canal máxima y mínima

La potencia media de cada canal óptico inyectada en el punto de referencia S_s es la potencia media de una secuencia de datos pseudoaleatoria acoplada al enlace DWDM. Se indica como una gama (máxima y mínima) para optimizar los costos en cierta medida y cubrir márgenes de explotación en condiciones de funcionamiento, degradaciones de los conectores, tolerancias de medición y efectos de envejecimiento normales.

7.2.2 Frecuencia central mínima y máxima

La frecuencia central es la frecuencia monocanal nominal a la que es modulada la información codificada digitalmente del canal óptico considerado, utilizando el código de línea NRZ.

Las frecuencias centrales de todos los canales dentro de una aplicación se basan en el plan de frecuencias para la separación mínima entre canales de la aplicación indicado en [UIT-T G.694.1].

Si bien las frecuencias centrales específicas utilizadas dentro de cada aplicación no se indican en esta Recomendación, las frecuencias centrales nominales de todos los canales dentro de una aplicación deberán ser superiores o iguales a la frecuencia central mínima, e inferiores o iguales a la frecuencia central máxima.

Hay que señalar que el valor de "c" (velocidad de la luz en el vacío) que debe ser utilizado para la conversión entre frecuencia y longitud de onda es $2,99792458 \times 10^8$ m/s.

7.2.3 Desviación espectral máxima

Es la diferencia admisible máxima entre la frecuencia central nominal del canal y los puntos -15 dB del espectro del transmisor que más se aparta de la frecuencia central nominal medida en el punto S_s. Véase la Figura 7-1.

NOTA – La medida de los puntos -15 dB del espectro del transmisor deberá llevarse a cabo con una anchura de banda de resolución nominal de 0,01 nm.

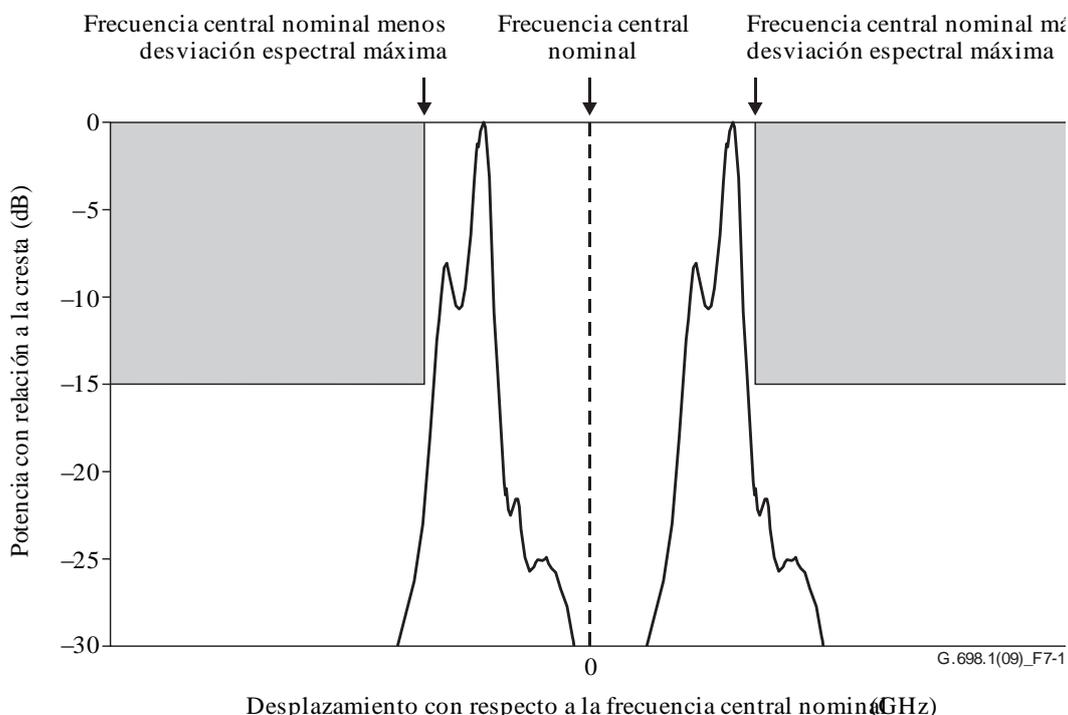


Figura 7-1 – Ilustración de desviación espectral máxima

Este parámetro también define la gama de frecuencias en la cual se ha de cumplir la pérdida de inserción de canal y las especificaciones de rizado.

7.2.4 Relación de supresión en modo lateral mínima

La relación de supresión en modo lateral mínima es el valor mínimo de la relación entre la mayor cresta del espectro total del transmisor y la segunda cresta mayor. La resolución espectral de la medición será mejor que la anchura espectral máxima de la cresta, que se define en [UIT-T G.691]. La segunda cresta mayor puede estar próxima a la cresta principal o muy alejada de ella.

NOTA – En esta definición las crestas espectrales que están separadas de la cresta mayor por la frecuencia de reloj no se consideran modos laterales.

7.2.5 Relación de extinción de canal mínima

La relación de extinción (EX) viene dada por:

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

En la anterior definición de EX, A es el nivel de potencia óptica media en el centro del "1" lógico y B es el nivel de potencia óptica media en el centro del "0" lógico. El convenio adoptado para los niveles lógicos ópticos es:

- emisión de luz para el "1" lógico;
- ausencia de emisión para el "0" lógico.

No es preciso cumplir la relación de extinción de canal mínima en presencia de un filtro Bessel-Thomson de cuarto orden.

7.2.6 Plantilla del diagrama en ojo

La definición y límites de este parámetro figuran en [UIT-T G.959.1].

7.3 Parámetros del trayecto óptico (un solo tramo) del punto Ss al Rs

7.3.1 Pérdida de inserción del canal mínima y máxima

La pérdida de inserción del canal se define en [UIT-T G.671]. Para cualquier canal óptico, la pérdida de inserción del canal es la disminución mínima (o máxima) de la potencia óptica entre los puertos de entrada y de salida del enlace negro para ese canal en la gama de la frecuencia central del canal \pm la desviación espectral máxima.

Se considera que las especificaciones de pérdida de inserción son valores del caso más desfavorable, que incluyen las pérdidas debidas a los pares OM/OD, empalmes, conectores, atenuadores ópticos (en su caso) u otros dispositivos ópticos pasivos y el margen de cable adicional para cubrir las tolerancias para:

- 1) futuras modificaciones de la configuración del cable (empalmes adicionales, mayores longitudes de cable, etc.);
- 2) variaciones de la calidad del funcionamiento del cable de fibra debido a factores ambientales; y
- 3) degradación de los conectores, atenuadores ópticos u otros dispositivos ópticos pasivos entre los puntos S_s y R_s, en su caso.

7.3.2 Rizado máximo

El rizado (de un dispositivo DWDM) se define en [UIT-T G.671]. En esta Recomendación, se aplica a todo el enlace negro desde el punto de referencia S_s hasta el correspondiente R_s. Para cualquier canal óptico, el rizado es la diferencia cresta a cresta de pérdida de inserción entre los puertos de entrada y de salida del enlace negro para el canal en la gama de la frecuencia central del canal \pm la desviación espectral máxima. Véase la Figura 7-2.

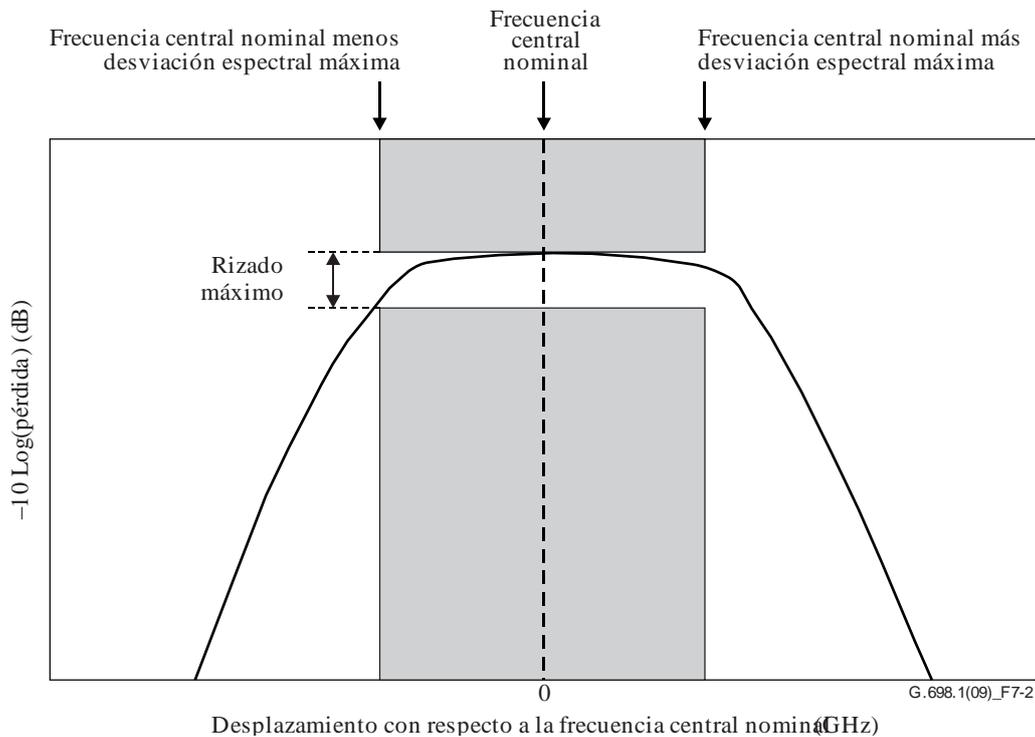


Figura 7-2 – Ilustración del máximo rizado

7.3.3 Máxima dispersión cromática

Este parámetro define el valor máximo de la dispersión cromática del trayecto óptico que el sistema será capaz de admitir, que se considera un valor de dispersión del caso más desfavorable. El criterio del caso más desfavorable en este parámetro tiene por objeto dar ciertos márgenes en un parámetro sensible, así como permitir extender las distancias de transmisión para enlaces de fibra de baja pérdida.

Los valores de la dispersión cromática máxima que figuran en los Cuadros 8-1 a 8-5 se obtuvieron a partir de una estimación para la longitud del enlace máxima soportada por cada código de aplicación calculado a partir de la pérdida de inserción máxima del canal (con un margen para la pérdida de un par OM/OD que se le resta) dividida por 0,21 dB/km. Cuando los valores de dispersión obtenidos con este método se consideraron mayores que los factibles para transmisores ópticos rentables, los valores de dispersión se redujeron de acuerdo con la capacidad tecnológica actual, de modo que estas aplicaciones pueden verse limitadas por los efectos de la dispersión mientras que las otras se verán limitadas por los efectos de la pérdida.

La penalización del trayecto óptico permitida incluye todos los aspectos deterministas debidos a la dispersión cromática así como la penalización debida al retardo diferencial de grupo máximo.

7.3.4 Pérdida de retorno óptica mínima en S_s

Las reflexiones son causadas por 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 en el funcionamiento de la fuente óptica o por múltiples reflexiones que producen ruido interferométrico en el receptor. Las reflexiones en el trayecto óptico se controlan especificando:

- la pérdida de retorno óptica mínima de la planta de cable en el punto de referencia de origen (S_s), incluidos los eventuales conectores; y
- la reflectancia discreta máxima entre el punto de referencia de origen (S_s) y el punto de referencia de recepción (R_s).

La reflectancia representa la reflexión en cualquier punto reflector discreto, mientras que la pérdida de retorno óptica es la relación entre la potencia óptica incidente y la potencia óptica total devuelta

en toda la fibra, incluidas las reflexiones discretas y la retrodispersión distribuida, tal como la dispersión de Rayleigh.

En el Apéndice I de [UIT-T G.957] se describen los métodos de medición de las reflexiones. Para medir la reflectancia y las pérdidas de retorno, se supone que los puntos S_s y R_s coinciden con la cara externa de cada enchufe de conector. Se reconoce que esto no incluye la característica de reflexión real de los respectivos conectores en el sistema operacional. Se supone que estas reflexiones tienen el valor nominal de la reflexión para el tipo específico de conectores utilizado.

7.3.5 Reflectancia discreta máxima entre S_s y R_s

La reflectancia óptica se define como la relación entre la potencia óptica reflejada existente en un punto y la potencia óptica incidente en dicho punto. El control de las reflexiones se trata detalladamente en [UIT-T G.957]. El número máximo de conectores u otros puntos de reflexión discreta que pueden estar incluidos en el trayecto óptico (por ejemplo, en los repartidores, OADM u otros componentes WDM) debe ser tal que permita obtener la atenuación de retorno óptica total especificada. Si no puede hacerse utilizando conectores que satisfagan las reflexiones discretas máximas citadas en los cuadros de la cláusula 8, deben emplearse conectores que tengan mejor característica de reflexión. Como otra posibilidad, debe reducirse el número de conectores. También puede ser necesario limitar el número de conectores o utilizar conectores con característica de reflectancia mejorada a fin de evitar degradaciones inaceptables producidas por múltiples reflexiones.

En los cuadros de la cláusula 8, el valor de reflectancia discreta máxima entre puntos de referencia de origen y puntos de referencia de recepción está destinado a reducir al mínimo los efectos de múltiples reflexiones (por ejemplo, el ruido interferométrico). El valor de reflectancia máxima del receptor se elige de manera que se obtengan penalizaciones aceptables producidas por múltiples reflexiones con todas las configuraciones posibles de sistema que incluyan múltiples conectores, etc. No obstante, los valores de reflectancia discreta máxima entre S_s y R_s de los Cuadros 8-1 a 8-5 pueden no ser los adecuados para garantizar el cumplimiento con la pérdida de retorno óptica mínima en S_s si hay más de unos pocos OADM en un enlace.

Los sistemas que emplean menos conectores o conectores de rendimiento superior producen menos reflexiones múltiples y por consiguiente son capaces de tolerar receptores con una reflectancia superior.

7.3.6 Retardo diferencial de grupo máximo

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

En esta Recomendación, el máximo retardo diferencial de grupo es por definición el valor de DGD que el sistema debe tolerar con una degradación de sensibilidad máxima de 1 dB.

Debido a la naturaleza estadística de la dispersión por modo de polarización (PMD, *polarization mode dispersion*), la relación entre el DGD máximo y el DGD medio sólo puede definirse probabilísticamente. La probabilidad de que el DGD instantáneo supere cualquier valor dado puede deducirse de sus estadísticas de Maxwell. Por tanto, si conocemos el DGD máximo que el sistema puede tolerar, podemos obtener el DGD medio equivalente dividiendo por la relación máximo/medio que corresponde a una probabilidad aceptable. El Cuadro 7-2 da algunos ejemplos de relaciones.

Cuadro 7-2 – Medias y probabilidades de DGD

Relación máximo/medio	Probabilidad de superar el máximo
3,0	$4,2 \times 10^{-5}$
3,5	$7,7 \times 10^{-7}$
4,0	$7,4 \times 10^{-9}$

7.3.7 Diafonía intercanal máxima

Este parámetro impone un requisito al aislamiento de un enlace conforme al criterio de "enlace negro" en el sentido de que, en condiciones de funcionamiento del caso más desfavorable, la diafonía intercanal en cualquier punto de referencia R_S ha de ser inferior al valor de diafonía intercanal máxima.

La diafonía intercanal se define como la relación entre la potencia total de todos los canales perturbadores y la del canal deseado, cuando los canales deseado y perturbadores tienen distintas longitudes de onda.

De manera específica, el aislamiento del enlace deberá ser superior al valor requerido para asegurar que, cuando cualquier canal esté funcionando a la potencia de salida media mínima en el punto S_S y todos los demás estén a la potencia de salida media máxima, la diafonía intercanal en el punto R_S correspondiente sea menor que el valor de diafonía intercanal máxima.

7.3.8 Diafonía interferométrica máxima

Este parámetro impone un requisito al aislamiento de un enlace conforme al criterio de "enlace negro" en el sentido de que, en condiciones de funcionamiento del caso más desfavorable, la diafonía interferométrica en cualquier punto de referencia R_S ha de ser inferior al valor de diafonía interferométrica máxima.

La diafonía interferométrica se define como la relación entre la potencia perturbadora y la potencia deseada en un único canal, cuando la potencia perturbadora es la potencia (excluida la ASE) que permanecería en el canal óptico si se eliminase del enlace la señal deseada y se mantuviesen todas las demás condiciones del enlace.

De manera específica, el aislamiento del enlace deberá ser superior al valor requerido para asegurar que cuando cualquier canal esté funcionando a la potencia de salida media mínima en el punto S_S y todos los demás estén a la potencia de salida media máxima, la diafonía interferométrica en el punto R_S correspondiente sea menor que el valor de diafonía interferométrica máxima.

7.4 Interfaz en el punto R_S

7.4.1 Potencia media de entrada máxima

Es el valor máximo aceptable de la potencia media recibida en el punto R_S para obtener la BER máxima especificada del código de aplicación.

7.4.2 Sensibilidad del receptor

La sensibilidad del receptor se define como el mínimo valor de la potencia media recibida en el punto R_S para obtener una BER de 10^{-12} . Esto se debe cumplir con un transmisor con los valores más desfavorables de la plantilla del diagrama en ojo del transmisor, la tasa de extinción, la pérdida de retorno óptica en el punto S_S , las degradaciones del conector del receptor y las tolerancias de medición. La sensibilidad del receptor no tiene que satisfacerse en presencia de dispersión, reflexiones en el trayecto óptico o diafonía óptica; estos efectos se especifican aparte en la asignación de la penalización máxima del trayecto óptico.

NOTA – La sensibilidad del receptor no tiene que satisfacerse en presencia de fluctuación de fase del transmisor que rebase el límite apropiado de generación de fluctuación de fase (por ejemplo, [b-UIT-T G.8251] para señales afluentes ópticas OTN).

Los efectos de envejecimiento no se especifican por separado porque normalmente es un asunto que ha de tratarse entre el suministrador de la red y el fabricante del equipo.

7.4.3 Penalización máxima del trayecto óptico

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 transmisión por el trayecto. Se manifiesta como un desplazamiento de las curvas BER del sistema hacia niveles de potencia de entrada superiores. Esto corresponde a una penalización del trayecto positiva. Pueden existir penalizaciones del trayecto negativas en algunas circunstancias, pero deben ser pequeñas. (Una penalización del trayecto negativa indica que un diagrama en ojo del transmisor casi perfecto ha sido mejorado parcialmente por las distorsiones dependientes del trayecto.) Teóricamente las curvas BER sólo deben experimentar una traslación, pero no son infrecuentes las variaciones de forma, lo que puede indicar la aparición de valores mínimos de BER. Como la penalización del trayecto es un cambio en la sensibilidad del receptor, se mide a un nivel BER de 10^{-12} .

Para las aplicaciones definidas en esta Recomendación, las penalizaciones en el trayecto están limitadas a un máximo de 1,5 dB para NRZ 2,5G en el caso de sistemas de corto alcance y 2,5 dB en todos los demás casos. Estos límites son superiores a los de otras Recomendaciones debido a la penalización adicional causada por la diafonía óptica.

En el futuro, se podrán introducir sistemas que empleen técnicas de acomodación de la dispersión basadas en la distorsión previa de la señal en el transmisor. En este caso, la penalización en el trayecto en el sentido anterior sólo puede ser definida entre puntos con señales no distorsionadas. Esos puntos, sin embargo, no coinciden con las interfaces del trayecto principal y por ello pueden incluso no ser accesibles. La definición de penalización en el trayecto en este caso requiere estudio ulterior.

El valor medio de las penalizaciones de dispersión aleatoria debidas a la PMD se incluye en la penalización permitida del trayecto. A este respecto, se requiere que la combinación transmisor/receptor tolere un DGD real de 0,3 periodos de bit con una degradación de sensibilidad máxima de 1 dB (con 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 periodo de bit. El DGD real que puede encontrarse en funcionamiento es una propiedad de la fibra/cable aleatoriamente variable y no puede especificarse en esta Recomendación. Este tema se trata más detenidamente en el Apéndice I de [UIT-T G.691].

Hay que señalar que una reducción de la relación señal/ruido debida a la amplificación óptica (si se incluyese en una próxima revisión de esta Recomendación) no se considera penalización del trayecto.

En las aplicaciones que utilizan el "enlace negro", la penalización en el trayecto incluye la penalización por diafonía.

7.4.4 Reflectancia del receptor máxima

Las reflexiones del receptor que vuelven al enlace DWDM son especificadas por la máxima reflectancia admisible del receptor medida en el punto de referencia en R_s . La reflectancia óptica se define en [UIT-T G.671].

8 Valor de los parámetros

Los parámetros y valores de la capa física se indican en los Cuadros 8-1 a 8-5.

Cuadro 8-1 – Parámetros y valores de la capa física para aplicaciones de corta distancia con una separación de 100 GHz, de la clase NRZ 2,5G

Parámetro	Unidades	DN100S-1D2(C)	DN100S-1D3(L)	DN100S-1D5(C)	DW100S-1D2(C)	DW100S-1D3(L)	DW100S-1D5(C)	DN100S-1D2(C)F	DN100S-1D3(L)F	DN100S-1D5(C)F	DW100S-1D2(C)F	DW100S-1D3(L)F	DW100S-1D5(C)F
Información general													
Separación mínima entre canales	GHz	100						100					
Velocidad binaria/codificación de línea de señales afluentes ópticas	–	NRZ 2,5G						NRZ OTU1 FEC habilitada					
Tasa de errores en los bits máxima	–	10 ⁻¹²						10 ⁻¹² (Nota)					
Tipo de fibra	–	G.652, G.653, G.655						G.652, G.653, G.655					
Interfaz en el punto S_s													
Potencia media de salida de canal máxima	dBm	+4						+4					
Potencia media de salida de canal mínima	dBm	0						0					
Frecuencia central mínima	THz	191,5 para (C)			186,0 para (L)			191,5 para (C)			186,0 para (L)		
Frecuencia central máxima	THz	196,2 para (C)			191,5 para (L)			196,2 para (C)			191,5 para (L)		
Desviación espectral máxima	GHz	±12,5			±20			±12,5			±20		
Relación de supresión en modo lateral mínima	dB	30						30					
Relación de extinción de canal mínima	dB	8,2						8,2					
Plantilla del diagrama en ojo	–	NRZ 2,5G según UIT-T G.959.1						NRZ 2,5G según UIT-T G.959.1					
Trayecto óptico del punto S_s al R_s													
Pérdida de inserción de canal máxima	dB	16,5						19,5					
Pérdida de inserción de canal mínima	dB	4						4					
Rizado máximo	dB	2						2					
Dispersión cromática máxima	ps/nm	950						1 200					
Pérdida de retorno óptica mínima en S _s	dB	24						24					
Reflectancia máxima discreta entre S _s y R _s	dB	–27						–27					
Retardo diferencial de grupo máximo	ps	120						120					
Diafonía intercanal máxima	dB	–15						–15					
Diafonía interferométrica máxima	dB	–45						–45					
Interfaz en el punto R_s													
Potencia media de entrada de canal máxima	dBm	0						0					
Sensibilidad del receptor mínima	dBm	–18						–21					
Penalización máxima del trayecto óptico	dB	1,5						1,5					
Reflectancia de receptor máxima	dB	–27						–27					
NOTA – Para estos códigos de aplicación se requiere satisfacer la BER solamente tras la aplicación de la corrección de error (cuando se utiliza ésta). Por tanto, la BER en la entrada del decodificador FEC puede ser muy superior a 10 ⁻¹² .													

Cuadro 8-2 – Parámetros y valores de la capa física para aplicaciones de corta distancia con una separación de 100 GHz, de la clase NRZ 2,5G

Parámetro	Unidades	DN100L-1D2(C)	DN100L-1D3(L)	DN100L-1D5(C)	DW100L-1D2(C)	DW100L-1D3(L)	DW100L-1D5(C)	DN100L-1D2(C)F	DN100L-1D3(L)F	DN100L-1D5(C)F	DW100L-1D2(C)F	DW100L-1D3(L)F	DW100L-1D5(C)F
Información general													
Separación mínima entre canales	GHz	100						100					
Velocidad binaria/codificación de línea de señales afluentes ópticas	–	NRZ 2,5G						NRZ OTU1 FEC habilitada					
Tasa de errores en los bits máxima	–	10 ⁻¹²						10 ⁻¹² (Nota 1)					
Tipo de fibra	–	G.652, G.653, G.655						G.652, G.653, G.655					
Interfaz en el punto S_s													
Potencia media de salida de canal máxima	dBm	+4						+4					
Potencia media de salida de canal mínima	dBm	0						0					
Frecuencia central mínima	THz	191,5 para (C) 186,0 para (L)						191,5 para (C) 186,0 para (L)					
Frecuencia central máxima	THz	196,2 para (C) 191,5 para (L)						196,2 para (C) 191,5 para (L)					
Desviación espectral máxima	GHz	±12,5 ±20						±12,5 ±20					
Relación de supresión en modo lateral mínima	dB	30						30					
Relación de extinción de canal mínima	dB	8,2						8,2					
Plantilla del diagrama en ojo	–	NRZ 2,5G según UIT-T G.959.1						NRZ 2,5G según UIT-T G.959.1					
Trayecto óptico del punto S_s al R_s													
Pérdida de inserción de canal máxima	dB	25,5						28,5					
Pérdida de inserción de canal mínima	dB	13						13					
Rizado máximo	dB	2						2					
Dispersión cromática máxima	ps/nm	1 400 (Nota 2)						1 600					
Pérdida de retorno óptica mínima en S _s	dB	24						24					
Reflectancia máxima discreta entre S _s y R _s	dB	–27						–27					
Retardo diferencial de grupo máximo	ps	120						120					
Diafonía intercanal máxima	dB	–16						–16					
Diafonía interferométrica máxima	dB	–45						–45					
Interfaz en el punto R_s													
Potencia media de entrada de canal máxima	dBm	–9						–9					
Sensibilidad del receptor mínima	dBm	–28						–31					
Penalización máxima del trayecto óptico	dB	2,5						2,5					
Reflectancia de receptor máxima	dB	–27						–27					
NOTA 1 – Para estos códigos de aplicación se requiere satisfacer la BER solamente tras la aplicación de la corrección de error (cuando se utiliza ésta). Por tanto, la BER en la entrada del decodificador FEC puede ser muy superior a 10 ⁻¹² .													
NOTA 2 – En los casos en que la máxima velocidad binaria está limitada a 2,488 Gbit/s (STM 16), se aplica una dispersión cromática máxima de 1 600 ps/nm.													

Cuadro 8-3 – Parámetros y valores de la capa física para aplicaciones de corta distancia con una separación de 100 GHz, de la clase NRZ 10G

Parámetro	Unidades	DN100S-2D2(C)	DN100S-2D3(L)	DN100S-2D5(C)	DW100S-2D2(C)	DW100S-2D3(L)	DW100S-2D5(C)	DN100S-2D2(C)F	DN100S-2D3(L)F	DN100S-2D5(C)F	DW100S-2D2(C)F	DW100S-2D3(L)F	DW100S-2D5(C)F
Información general													
Separación mínima entre canales	GHz	100						100					
Velocidad binaria/codificación de línea de señales afluentes ópticas	–	NRZ 10G						NRZ OTU2 FEC habilitada					
Tasa de errores en los bits máxima	–	10 ⁻¹²						10 ⁻¹² (Nota)					
Tipo de fibra	–	G.652, G.653, G.655						G.652, G.653, G.655					
Interfaz en el punto S_s													
Potencia media de salida de canal máxima	dBm	+3						+3					
Potencia media de salida de canal mínima	dBm	–1						–1					
Frecuencia central mínima	THz	191,5 para (C) 186,0 para (L)						191,5 para (C) 186,0 para (L)					
Frecuencia central máxima	THz	196,2 para (C) 191,5 para (L)						196,2 para (C) 191,5 para (L)					
Desviación espectral máxima	GHz	±12,5 ±20						±12,5 ±20					
Relación de supresión mínima en modo lateral	dB	30						30					
Relación de extinción de canal mínima	dB	8,2						8,2					
Plantilla del diagrama en ojo	–	NRZ 10G región de 1 550 nm según UIT-T G.959.1						NRZ 10G región de 1 550 nm según UIT-T G.959.1					
Trayecto óptico del punto S_s al R_s													
Pérdida de inserción de canal máxima	dB	18,5						21,5					
Pérdida de inserción de canal mínima	dB	10						10					
Rizado máximo	dB	2						2					
Dispersión cromática máxima	ps/nm	1 100						1 400					
Pérdida de retorno óptica mínima en S _s	dB	24						24					
Reflectancia máxima discreta entre S _s y R _s	dB	–27						–27					
Retardo diferencial de grupo máximo	ps	30						30					
Diafonía intercanal máxima	dB	–16						–16					
Diafonía interferométrica máxima	dB	–45						–45					
Interfaz en el punto R_s													
Potencia media de entrada máxima de canal	dBm	–7						–7					
Sensibilidad del receptor mínima	dBm	–22						–22					
Penalización máxima del trayecto óptico	dB	2,5						2,5					
Reflectancia de receptor máxima	dB	–27						–27					
NOTA – Para estos códigos de aplicación se requiere satisfacer la BER solamente tras la aplicación de la corrección de error (cuando se utiliza ésta), por tanto, la BER en la entrada del decodificador FEC puede ser muy superior a 10 ⁻¹² .													

Cuadro 8-4 – Parámetros y valores de la capa física para aplicaciones de larga distancia con una separación de 100 GHz, de la clase NRZ 10G

Parámetro	Unidades	DN100L-2D2(C)	DW100L-2D2(C)	DN100L-2D3(L)	DW100L-2D3(L)	DN100L-2D5(C)	DW100L-2D5(C)	DN100L-2D2(C)F	DW100L-2D2(C)F	DN100L-2D3(L)F	DW100L-2D3(L)F	DN100L-2D5(C)F	DW100L-2D5(C)F
Información general													
Separación mínima entre canales	GHz	100						100					
Velocidad binaria/codificación de línea de señales afluentes ópticas	–	NRZ 10G						NRZ OTU2 FEC habilitada					
Tasa de errores en los bits máxima	–	10 ⁻¹²						10 ⁻¹² (Nota)					
Tipo de fibra	–	G.652, G.653, G.655						G.652, G.653, G.655					
Interfaz en el punto S_s													
Potencia media de salida de canal máxima	dBm	+6						+6					
Potencia media de salida de canal mínima	dBm	+3						+3					
Frecuencia central mínima	THz	191,5 para (C) 186,0 para (L)						191,5 para (C) 186,0 para (L)					
Frecuencia central máxima	THz	196,2 para (C) 191,5 para (L)						196,2 para (C) 191,5 para (L)					
Desviación espectral máxima	GHz	±12,5 ±20						±12,5 ±20					
Relación de supresión mínima en modo lateral	dB	30						30					
Relación de extinción de canal mínima	dB	9						9					
Plantilla del diagrama en ojo	–	NRZ 10G región de 1 550 nm según UIT-T G.959.1						NRZ 10G región de 1 550 nm según UIT-T G.959.1					
Trayecto óptico del punto S_s al R_s													
Pérdida de inserción de canal máxima	dB	24,5						27,5					
Pérdida de inserción de canal mínima	dB	13						13					
Rizado máximo	dB	2						2					
Dispersión cromática máxima	ps/nm	1 600						1 700					
Pérdida de retorno óptica mínima en S _s	dB	24						24					
Reflectancia máxima discreta entre S _s y R _s	dB	–27						–27					
Retardo diferencial de grupo máximo	ps	30						30					
Diafonía intercanal máxima	dB	–16						–16					
Diafonía interferométrica máxima	dB	–45						–45					
Interfaz en el punto R_s													
Potencia media de entrada máxima de canal	dBm	–7						–7					
Sensibilidad del receptor mínima	dBm	–24						–27					
Penalización máxima del trayecto óptico	dB	2,5						2,5					
Reflectancia de receptor máxima	dB	–27						–27					
NOTA – Para estos códigos de aplicación se requiere satisfacer la BER solamente tras la aplicación de la corrección de error (cuando se utiliza ésta), por tanto, la BER en la entrada del decodificador FEC puede ser muy superior a 10 ⁻¹² .													

Cuadro 8-5 – Parámetros y valores de la capa física para aplicaciones con una separación de 50 GHz, de la clase NRZ 10G

Parámetro	Unidades	DN50S-2D2(C)	DN50S-2D3(L)	DN50S-2D5(C)	DN50L-2D2(C)	DN50L-2D3(L)	DN50L-2D5(C)	DN50S-2D2(C)F	DN50S-2D3(L)F	DN50S-2D5(C)F	DN50L-2D2(C)F	DN50L-2D3(L)F	DN50L-2D5(C)F
Información general													
Separación mínima entre canales	GHz	50						50					
Velocidad binaria/codificación de línea de señales afluentes ópticas	–	NRZ 10G						NRZ OTU2 FEC habilitada					
Tasa de errores en los bits máxima	–	10 ⁻¹²						10 ⁻¹² (Nota 1)					
Tipo de fibra	–	G.652, G.653, G.655						G.652, G.653, G.655					
Interfaz en el punto S_s													
Potencia media de salida de canal máxima	dBm	+3		+6	+3		+6	+3		+6	+3		+6
Potencia media de salida de canal mínima	dBm	-1		+3	-1		+3	-1		+3	-1		+3
Frecuencia central mínima	THz	191,5 para (C)			191,5 para (C)			191,5 para (C)			191,5 para (C)		
		186,0 para (L)			186,0 para (L)			186,0 para (L)			186,0 para (L)		
Frecuencia central máxima	THz	196,2 para (C)			196,2 para (C)			196,2 para (C)			196,2 para (C)		
		191,5 para (L)			191,5 para (L)			191,5 para (L)			191,5 para (L)		
Desviación espectral máxima	GHz	±12,5 (±11 Nota 2)						±12,5 (±11 Nota 2)					
Relación de supresión mínima en modo lateral	dB	30						30					
Relación de extinción de canal mínima	dB	8,2		9	8,2		9	8,2		9	8,2		9
Plantilla del diagrama en ojo	–	NRZ 10G región de 1 550 nm según UIT-T G.959.1						NRZ 10G región de 1 550 nm según UIT-T G.959.1					
Trayecto óptico del punto S_s al R_s													
Pérdida de inserción de canal máxima	dB	18,5		24,5	21,5		27,5	18,5		24,5	21,5		27,5
Pérdida de inserción de canal mínima	dB	10		13	10		13	10		13	10		13
Rizado máximo	dB	2			2			2			2		
Dispersión cromática máxima	ps/nm	1 100		1 600	1 400		1 700	1 100		1 600	1 400		1 700
Pérdida de retorno óptica mínima en S _s	dB	24						24					
Reflectancia máxima discreta entre S _s y R _s	dB	-27						-27					
Retardo diferencial de grupo máximo	ps	30						30					
Diafonía intercanal máxima	dB	-16						-16					
Diafonía interferométrica máxima	dB	-45						-45					
Interfaz en el punto R_s													
Potencia media de entrada máxima de canal	dBm	-7						-7					
Sensibilidad del receptor mínima	dBm	-22		-24	-25		-27	-22		-24	-25		-27
Penalización máxima del trayecto óptico	dB	2,5						2,5					
Reflectancia de receptor máxima	dB	-27						-27					
<p>NOTA – Para estos códigos de aplicación se requiere satisfacer la BER solamente tras la aplicación de la corrección de error (cuando se utiliza ésta), por tanto, la BER en la entrada del decodificador FEC puede ser muy superior a 10⁻¹².</p> <p>NOTA 2 – Con el fin de utilizar un transmisor común para esta aplicación y también para los códigos de aplicación de 10 Gbit/s con separación entre canales de 50 GHz de [UIT-T G.698.2], puede ser necesario reducir la desviación espectral máxima del transmisor ±11 GHz. En este caso, la amplitud para la especificación de rizado del enlace en negro puede reducirse a ±11 GHz.</p>													

9 Consideraciones sobre la seguridad óptica

Para las consideraciones sobre la seguridad óptica, véanse [UIT-T G.664], [CEI 60825-1] y [CEI 60825-2].

Apéndice I

Número de OADM soportados en el enlace

(Este apéndice no es parte integrante de esta Recomendación)

I.1 Introducción

El número máximo de OADM que puede soportar un enlace y la longitud máxima del enlace están limitados por parámetros que caracterizan el trayecto óptico entre S_S y R_S (véanse los Cuadros 8-1 a 8-5).

En este apéndice se dan algunas indicaciones sobre la manera de evaluar el número máximo de OADM que puede soportar un enlace, así como la longitud máxima del enlace mismo.

I.2 Pérdida de inserción de canal máxima

El valor de la "pérdida de inserción de canal máxima" de los Cuadros 8-1 a 8-5 incluye la atenuación del equipo OM/OD, de los OADM y de la planta de fibra óptica.

El número máximo de OADM puede calcularse de la siguiente manera:

$$\text{Número de OADM} \leq \frac{\text{péridade inserción de canal máx.} - \text{péridaOM} - \text{péridade fibra total} - \text{péridaOD}}{\text{péridade inserción OADM}}$$

NOTA – La atenuación de un OADM depende en gran medida de su tipo (fijo, reconfigurable, etc.).

Si se conoce el número de OADM requeridos, esta fórmula puede reordenarse para determinar la longitud de fibra máxima:

$$\text{Longitud de fibra máxima} \leq \frac{\text{péridade inserción de canal máx.} - \text{péridaOM} - \text{péridaOADM total} - \text{péridaOD}}{\text{péridade fibra por unidad de longitud (incluido empalmes etc.)}}$$

I.3 Rizado máximo

El rizado máximo también puede limitar en cierta medida el número de OADM en cascada de un sistema DWDM.

La repercusión del rizado depende de qué canales se añaden a las cascadas o se eliminan de las mismas. Si se tratase del mismo canal en todos los emplazamientos (que es una posibilidad real), el rizado del dispositivo tendería a afectar al mismo canal adyacente en cada OADM. Si se quiere mantener una total flexibilidad para añadir y suprimir cualquier canal o grupo de canales en cada OADM (por ejemplo, cuando se utilizan OADM reconfigurables), el número de OADM está limitado de la siguiente manera:

$$\text{Número de OADM} \leq \frac{\text{rizado máximo} - \text{rizadoOM} - \text{rizadoOD}}{\text{rizadoOADM}}$$

El valor del rizado OADM es el rizado visto por cualquier canal que atraviese el OADM.

Sin embargo, hay maneras de reducir esta restricción. Si el sistema DWDM se diseña con una estructura en bandas (un ejemplo puede ser cuatro canales utilizados y dos vacíos, cuatro canales utilizados y dos vacíos, etc.) es posible eliminar un grupo de cuatro canales de una sola vez. En este caso, los filtros OADM tendrían dos canales no utilizados en los que la caída rápida y el rizado del canal adyacente utilizado más cercano al grupo eliminado serán muy pequeños, incrementando así el número de OADM que puede ponerse en cascada antes de que se vea limitado por el rizado.

I.4 Dispersión cromática máxima

Como se indica en 7.3.3, los valores de la dispersión cromática máxima para cada aplicación se han calculado a partir de la pérdida de inserción máxima del canal (con un margen para la pérdida de un par OM/OD que se le resta) dividida por 0,21 dB/km. Cuando los valores de dispersión obtenidos con este método se consideraron mayores que los factibles para transmisores ópticos rentables, los valores de dispersión se redujeron de acuerdo con la capacidad tecnológica actual. Por consiguiente, si la relación entre la dispersión cromática y la pérdida de inserción de cualquier OADM insertado en el enlace es inferior o igual a la de la fibra que sustituye (alrededor de 68 ps/nm/dB en el caso más desfavorable), este parámetro no restringe el número total de OADM en un enlace. Si, por el contrario, esta relación es superior a la de la fibra que sustituye, el número de OADM puede limitar la longitud del enlace máxima para algunos códigos de aplicación (en particular para pares OM/OD con baja pérdida).

En todos los casos (incluso cuando no hay OADM), la longitud del enlace está limitada por la siguiente fórmula:

$$\text{Longitud de fibra máxima} \leq \frac{\text{dispersión cromática máx.} - \text{dispersión OM, OADM y OD total}}{\text{dispersión de fibra por unidad de longitud}}$$

I.5 Reflejos

Como se indica en 7.3.5, el número máximo de conectores u otros puntos de reflexión discreta que pueden incluirse en el trayecto óptico (que incluye cualquier OADM y los conectores asociados) debe ser tal que permita obtener la pérdida de retorno óptica total especificada. Dado que cualquier reflejo de los OADM y los conectores asociados estarán separados por una distancia y una pérdida desconocidas, no se presentan aquí directrices sobre la limitación que pueden imponer al número de OADM en un enlace.

Los valores de reflectancia discreta máxima entre S_s y R_s de los Cuadros 8-1 a 8-5 pueden no ser suficientes para garantizar que se respete la pérdida de retorno óptica mínima en S_s si hay más de un OADM en un enlace.

Si no se obtienen la "pérdida de retorno óptica mínima en S_s " o la "reflectancia discreta máxima entre S_s y R_s ", habrán de emplearse los componentes con mejor calidad de reflejo y/o reducirse el número de puntos de reflectancia discreta. Puede encontrarse información sobre la medición de los reflejos en [b-CEI 61300-3-6].

I.6 Retardo de grupo diferencial máximo

El retardo de grupo diferencial máximo (DGD) de los Cuadros 8-1 a 8-5 es el retardo de grupo diferencial máximo para todo el enlace entre los puntos S_s y R_s .

Puede utilizarse la siguiente ecuación para calcular el DGD máximo de un enlace (con múltiples OADM y secciones de fibra) con una probabilidad definida de que se supere.

$$DGD_{\text{máx}_{\text{enlace}}} = \left[DGD_{\text{máx}_F}^2 + S^2 \sum_i PMD_{O_i}^2 \right]^{1/2}$$

donde:

$DGD_{\text{máx}_{\text{enlace}}}$: es el DGD del enlace máximo (ps)

$DGD_{\text{máx}_F}$: es el DGD del cable de fibra óptica concatenado máximo (ps)

S : es el factor de ajuste Maxwell (véase en el Cuadro 7-2 la relación máximo/medio)

PMD_{O_i} : es el valor de PMD del i ésimo OADM (ps).

Esta ecuación asume que las estadísticas de DGD instantáneo se redondean con una distribución Maxwell, con la probabilidad de que el DGD instantáneo que supere $DGD_{máx_{enlace}}$ se controle con el valor del factor de ajuste Maxwell (relación de máximo/ medio) del Cuadro 7-2.

Pueden encontrarse más detalles al respecto en [b-UIT-T G.650.2] y [b-UIT-T G.696.1]. El valor de $DGD_{máx_F}$ (el DGD máximo debido a la parte de fibra) puede medirse o, si no, puede calcularse un límite superior para una longitud de fibra dada utilizando el coeficiente PMD_{O_i} de la Recomendación sobre la fibra correspondiente.

I.7 Diafonía interferométrica máxima

Puede haber diafonía interferométrica cuando se utiliza un canal más de una vez en un enlace concreto. Si la señal procedente de un canal eliminado no queda completamente extinguida por el OADM en que se ha eliminado, puede interferir con la señal del mismo canal cuando se añade posteriormente. No obstante, si este proceso ocurre dos veces (el canal se elimina, se añade, se elimina y se vuelve a añadir), la señal de la primera fuente quedará extinguida por los dos OADM en que se ha eliminado el canal y la diafonía interferométrica estará dominada por el funcionamiento del último OADM que ha eliminado y añadido ese canal. Este parámetro, por tanto, no restringe el número de OADM en un enlace.

Bibliografía

- [b-UIT-T G-Sup.39] Recomendaciones UIT-T de la serie G – Suplemento 39 (2006), *Consideraciones sobre diseño e ingeniería de sistemas ópticos.*
- [b-UIT-T G.650.2] Recomendación UIT-T G.650.2 (2007), *Definiciones y métodos de prueba de los atributos conexos de las características estadísticas y no lineales de fibras y cables monomodo.*
- [b-UIT-T G.696.1] Recomendación UIT-T G.696.1 (2005), *Aplicaciones de la multiplexación por división en longitud de onda densa en el intradominio longitudinalmente compatibles.*
- [b-UIT-T G.8251] Recomendación UIT-T G.8251 (2001), *Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en la red óptica de transporte.*
- [b-CEI 61300-3-6] CEI 61300-3-6 (2008), *Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 3-6: Examinations and measurements – Return loss.*

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
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 multimedia
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedia
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	Gestión de las telecomunicaciones, incluida la RGT y el mantenimiento de redes
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Terminales y métodos de evaluación subjetivos y objetivos
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, comunicaciones de sistemas abiertos y seguridad
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