

Unión Internacional de Telecomunicaciones

**UIT-T**

SECTOR DE NORMALIZACIÓN  
DE LAS TELECOMUNICACIONES  
DE LA UIT

**G.697**

(02/2012)

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

---

**Supervisión óptica para sistemas de  
multiplexación por división en longitud de onda  
densa**

Recomendación UIT-T G.697

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
<b>Características de los sistemas ópticos</b>	<b>G.680–G.699</b>
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.697

### Supervisión óptica para sistemas de multiplexación por división en longitud de onda densa

#### Resumen

La Recomendación UIT-T G.697 define la supervisión óptica (OM) que puede ser útil a los sistemas de multiplexación por división en longitud de onda densa (DWDM) para llevar a cabo las siguientes actividades:

- Gestión de configuración para la activación de sistemas y canales, adición de nuevos canales, etc.
- Gestión de fallos para detectar y aislar fallos.
- Gestión de degradación para mantener el sistema en funcionamiento y para detectar degradaciones antes que se produzca un fallo.

La tecnología DWDM está avanzando a ritmo veloz, aumentando continuamente la cantidad de canales, la velocidad de canal y los límites de alcance. Los sistemas DWDM de tramos múltiples de larga distancia pueden transportar señales ópticas miles de kilómetros sin regeneración o terminaciones eléctricas.

Esta tendencia continuada impulsa la importancia creciente de la supervisión óptica, que es el tema de esta Recomendación.

La presente edición de esta Recomendación facilita información sobre los cambios de potencia de los canales ópticos debidos a variaciones de la ganancia y a mediciones de la relación señal óptica/ruido (OSNR) e incluye nuevos apéndices sobre las posibles ubicaciones de los equipos de medición y la codificación de parámetros.

#### Historia

Edición	Recomendación	Aprobación	Comisión de Estudio
1.0	ITU-T G.697	2004-06-13	15
2.0	ITU-T G.697	2009-11-13	15
2.1	ITU-T G.697 (2009) Cor. 1	2011-02-25	15
3.0	ITU-T G.697	2012-02-13	15

## 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 2013

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

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
1 Alcance .....	1
2 Referencias .....	1
2.1 Referencias normativas .....	1
3 Términos y definiciones .....	2
3.1 Términos definidos en otros documentos.....	2
3.2 Términos definidos en esta Recomendación .....	2
4 Abreviaturas y acrónimos .....	3
5 Panorama general de la supervisión óptica.....	4
6 Clasificación de los métodos de supervisión .....	5
6.1 Supervisión de la señal .....	5
6.2 Supervisión del equipo (métodos indirectos) .....	6
6.3 Equipo de supervisión incorporado .....	6
6.4 Equipo de supervisión externo .....	6
7 Degradaciones ópticas .....	7
8 Parámetros de supervisión óptica .....	8
9 Correlación entre los efectos de degradación y la degradación de los parámetros de supervisión óptica .....	9
9.1 Variación de atenuación .....	9
9.2 Desviación de frecuencia (o longitud de onda) del valor nominal.....	9
9.3 Variaciones de potencia del canal óptico debido a variaciones de ganancia.....	9
10 Aplicaciones .....	9
11 Consideraciones sobre seguridad óptica.....	10
Apéndice I – Gravedad de las degradaciones ópticas .....	11
Apéndice II – Valor X de gravedad de penalización .....	13
Apéndice III – Calidad de funcionamiento de la supervisión óptica .....	14
III.1 Medición de la OSNR .....	16
III.2 Medición del factor Q.....	20
Apéndice IV – Posibles ubicaciones para equipos de supervisión pertinentes y sus funciones relativas en diversos elementos ópticos de red .....	24
IV.1 Introducción.....	24
IV.2 Puntos de supervisión incorporados .....	25
IV.3 Puntos de supervisión externos .....	26
Apéndice V – Codificación de parámetros .....	28
V.1 ID de longitud de onda (32 bits).....	28
V.2 Origen del ID de parámetro (8 bits) .....	29
V.3 ID de parámetro (8 bits) .....	29

	<b>Página</b>
V.4 Valor de los parámetros (32 bits) .....	29
Bibliografía .....	30

## **Introducción**

Las redes ópticas totalmente regeneradas presentaban, tradicionalmente, conversiones ópticas a eléctricas en todos los elementos de red. La calidad de funcionamiento de transmisión se mide en la capa eléctrica con parámetros de calidad tales como los segundos con errores (ES) y segundos con muchos errores (SES). Puesto que la jerarquía digital síncrona (SDH) tiene tana incorporada en su estructura de trama para medir la característica de error en las capas de sección, línea y trayecto, es relativamente simple medir la calidad de funcionamiento de la red en todos los elementos de red dentro de una red SDH totalmente regenerada. Las redes ópticas actuales incluyen, típicamente, muchos elementos transparentes ópticos entre los puntos de regeneración eléctricos. Esto hace necesario efectuar la comprobación de la calidad de funcionamiento en el dominio óptico para evaluar el comportamiento del canal óptico (OCh).

Asimismo, la tecnología DWDM está avanzando a ritmo veloz, ampliando continuamente la cantidad de canales, velocidad de canal y límites de alcance. Los sistemas DWDM de múltiples tramos y larga distancia pueden transportar señales ópticas miles de kilómetros sin regeneración o terminaciones eléctricas. Esto reduce la cantidad de puntos de comprobación eléctrica.

La Recomendación UIT-T G.697 constituye el paso inicial para abordar estas necesidades a través de la supervisión óptica.





## Recomendación UIT-T G.697

### Supervisión óptica para sistemas de multiplexación por división en longitud de onda densa

#### 1 Alcance

El propósito de esta Recomendación es indicar un conjunto mínimo, pero no exhaustivo, de los parámetros ópticos que se pueden utilizar para efectuar las funciones de supervisión óptica en sistemas de multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM) y en elementos ópticos de red (por ejemplo, multiplexores ópticos de incorporación/extracción reconfigurables (ROADM), en particular los relacionados con los elementos de red sin conversiones óptica-eléctrica-óptica. Para llevar a cabo este objetivo, esta Recomendación:

- 1) indica los métodos para medir la degradación de la señal óptica;
- 2) clasifica estos métodos por tipo;
- 3) define los parámetros ópticos adecuados para detectar degradaciones de la señal óptica; y
- 4) describe las aplicaciones o condiciones en las que pueden ser pertinentes dichos parámetros ópticos.

La presente Recomendación se refiere a sistemas DWDM y a los elementos ópticos de red con canales ópticos y velocidades binarias de hasta 10 Gbit/s aproximadamente que utilizan codificaciones de línea con retorno a cero (RZ) y sin retorno a cero (NRZ). Las velocidades superiores a 10 Gbit/s y los sistemas que emplean otros formatos de modulación se dejan para un estudio ulterior.

#### 2 Referencias

##### 2.1 Referencias normativas

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.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 fibra y cables monomodo.*
- [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.663] Recomendación UIT-T G.663 (2000), *Aspectos relacionados con la aplicación de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos.*

- [UIT-T G.664] Recomendación UIT-T G.664 (2006), *Procedimientos y requisitos de seguridad óptica para sistemas ópticos de transporte*.
- [UIT-T G.692] Recomendación UIT-T G.692 (1998), *Interfaces ópticas para sistemas multicanales con amplificadores ópticos*.
- [UIT-T O.201] Recomendación UIT-T O.201 (2003), *Equipo de prueba del factor Q para evaluar la calidad de transmisión de los canales ópticos*.

### 3 Términos y definiciones

#### 3.1 Términos definidos en otros documentos

Esta Recomendación utiliza los siguientes términos definidos en [UIT-T G.650.2]:

- Dispersión de Brillouin estimulada (SBS)

Esta Recomendación utiliza los siguientes términos definidos en [UIT-T G.663]:

- Dispersión por modo de polarización (PMD) (primer orden y órdenes superiores)
- Mezcla de cuatro ondas (FWM)
- Ruido por emisión espontánea amplificada (ASE) en amplificación óptica
- Dispersión cromática
- Reflexiones (véase reflectancia)
- Modulación de fase cruzada (XPM)
- Automodulación de fase (SPM)
- Dispersión de Raman estimulada (SRS)

Esta Recomendación utiliza el siguiente término definido en [UIT-T G.692]:

- Desviación de frecuencia (o de longitud de onda) del valor nominal (véase desviación de frecuencia central)

Esta Recomendación utiliza el siguiente término definido en [UIT-T O.201]:

- Factor Q

Esta Recomendación utiliza los siguientes términos definidos en [b-UIT-T G.Sup39]:

- Relación señal óptica/ruido (OSNR)
- Diafonía entre canales
- Diafonía interferométrica

#### 3.2 Términos definidos en esta Recomendación

En la presente Recomendación, se definen los siguientes términos:

**3.2.1 pendiente de la dispersión cromática:** Pendiente de la curva del coeficiente de dispersión cromática en función de la longitud de onda.

**3.2.2 redes ópticas totalmente regeneradas:** Redes ópticas en las que se efectúa la conversión o/e/o en cada elemento de red utilizando regeneración 3R.

**3.2.3 elemento de red óptico transparente:** Elemento de red óptico en el que no hay conversión óptica/eléctrica/óptica de la señal óptica.

#### 4 Abreviaturas y acrónimos

En esta Recomendación se utilizan las siguientes abreviaturas y acrónimos:

3R	Regeneración de potencia, forma y temporización ( <i>re-amplification, reshaping and retiming</i> )
ASE	Emisión espontánea amplificada ( <i>amplified spontaneous emission</i> )
BER	Tasa de errores en los bits ( <i>bit error ratio</i> )
DCM	Módulo de compensación de dispersión ( <i>dispersion compensation module</i> )
Demux	Demultiplexor ( <i>demultiplexer</i> )
DWDM	Multiplexación por división en longitud de onda densa ( <i>dense wavelength division multiplexing</i> )
EME	Equipo de supervisión incorporado ( <i>embedded monitoring equipment</i> )
EMP	Punto externo de supervisión ( <i>external monitoring point</i> )
ES	Segundo con errores ( <i>errored second</i> )
ESR	Tasa de segundos con error ( <i>errored second ratio</i> )
FWM	Mezcla de cuatro ondas ( <i>four-wave mixing</i> )
Mux	Multiplexor ( <i>multiplexer</i> )
NOC	Centro de explotación de la red ( <i>network operations centre</i> )
NRZ	Sin retorno a cero ( <i>non-return to zero</i> )
OA	Amplificación óptica ( <i>optical amplification</i> )
OADM	Multiplexor óptico de incorporación/extracción ( <i>optical add-drop multiplexer</i> )
OD	Demultiplexación óptica ( <i>optical demultiplexing</i> )
OLA	Amplificador de línea óptica ( <i>optical line amplifier</i> )
OM	Supervisión óptica ( <i>optical monitoring</i> )
OM	Multiplexación óptica ( <i>optical multiplexing</i> )
ONE	Elemento de red óptico ( <i>optical network element</i> )
OSA	Analizador de espectro óptico ( <i>optical spectrum analyser</i> )
OSNR	Relación señal óptica/ruido ( <i>optical signal-to-noise ratio</i> )
OTN	Red óptica de transporte ( <i>optical transport network</i> )
PDL	Pérdidas dependientes de la polarización ( <i>polarization-dependent loss</i> )
PMD	Dispersión por modo de polarización ( <i>polarization mode dispersion</i> )
ROADM	Multiplexor óptico de incorporación/extracción reconfigurable ( <i>reconfigurable optical add-drop multiplexer</i> )
RZ	Retorno a cero ( <i>return to zero</i> )
SBS	Dispersión de Brillouin estimulada ( <i>stimulated Brillouin scattering</i> )
SDH	Jerarquía digital síncrona ( <i>synchronous digital hierarchy</i> )
SES	Segundo con muchos errores ( <i>severely errored second</i> )
SESR	Tasa de segundos con muchos errores ( <i>severely errored second ratio</i> )
SLA	Acuerdo de nivel de servicio ( <i>service level agreement</i> )

SPM	Automodulación de fase ( <i>self phase modulation</i> )
SRS	Dispersión de Raman estimulada ( <i>stimulated Raman scattering</i> )
XPM	Modulación de fase cruzada ( <i>cross phase modulation</i> )

## 5 Panorama general de la supervisión óptica

La gestión de las redes SDH existentes depende de parámetros digitales de comprobación tales como tasa de errores en los bits (BER), tasa de segundos con errores (ESR) y tasa de segundos con muchos errores (SESR) que se miden en la capa eléctrica (en regeneradores 3R), como se describe en [b-UIT-T G.826].

Un método similar se utiliza en la red óptica de transporte (que utiliza alineación de trama UIT-T G.709) para la supervisión de las conexiones de extremo a extremo y las conexiones ópticas en el nivel eléctrico.

Si bien estos métodos proporcionan una medición fiable de la calidad de funcionamiento de extremo a extremo de un canal óptico, no pueden ser aplicados dentro de un dominio óptico transparente, en los que no se disponen de regeneradores 3R para terminar la tara de trama. De modo tal que no pueden proporcionar la información suficiente para determinar el origen de los problemas en redes DWDM complejas.

Además, el rápido avance de la tecnología óptica da origen a velocidades de transmisión y cantidad de canales en constante aumento y a conexiones totalmente ópticas más extensas dentro de un dominio óptico.

Esto da lugar a una influencia creciente de distorsiones lineales y no lineales, que hacen que el sistema utilizado deba soportar tareas complejas en aumento.

Una solución óptima para una red óptica de transporte combina:

- Diseño de red adecuado para limitar las fuentes de ruido y los efectos de la dispersión e intermodulación.
- Alarmas adecuadas para los componentes ópticos activos dentro de la red para la detección y localización de fallos.
- La utilización de una supervisión óptica apropiada en toda la red para controlar los parámetros ópticos más críticos.

Estas tres acciones no pueden garantizar individualmente una calidad óptica adecuada, pero cuando se combinan, proporcionan una solución apropiada para la gestión de redes ópticas de transporte.

Un nivel apropiado de supervisión óptica permite cierta visibilidad dentro de las redes ópticas que aseguran que los trayectos de canal están configurados adecuadamente y que los parámetros ópticos son apropiados para la entrega fiable del servicio. La recopilación de datos de supervisión óptica en un centro de explotación de la red (NOC) hace más sencilla la gestión de redes DWDM complejas.

Los objetivos de la supervisión óptica son: detectar anomalías, defectos, degradaciones y fallos que afectan la calidad de la capa óptica. Los parámetros ópticos que se han de comprobar deben ser establecidos y definidos conforme a requisitos específicos.

La capacidad de mejorar la comprobación de extremo a extremo con supervisión distribuida puede tener ventajas económicas y de fiabilidad para la gestión de configuración y gestión de fallos/degradación pues algunos defectos, degradaciones y fallos que afectan la calidad de la capa óptica se detectan y aíslan con mayor facilidad mediante supervisión óptica.

Los efectos de envejecimiento y las variaciones de ruido debidas a la temperatura y la humedad son deficiencias que pueden degradar seriamente la calidad de la transmisión de la señal. La supervisión óptica hace posible detectar estas degradaciones de un modo fiable.

La supervisión óptica es un proceso activo que puede ayudar a gestionar los acuerdos de nivel de servicio y reducir los costos operacionales (aunque a menudo a expensas de un aumento en los costos de los equipos). La importancia de la supervisión óptica es creciente pues mantiene un alto grado de fiabilidad de equipo, junto con la posibilidad de diagnosticar rápidamente degradaciones y averías, así como localizar y reparar problemas de red. Este método se torna más interesante a medida que aumenta la complejidad de la red.

La supervisión óptica es un complemento importante para las técnicas de comprobación aplicadas a las capas cliente digitales de la red de capa óptica.

La supervisión óptica es un elemento fundamental en la gestión de redes ópticas en razón que es posible gestionar sólo lo que se puede medir.

Aun cuando la supervisión óptica se aplica (y está en servicio) en muchos sistemas de transmisión óptica actuales, existen diferencias significativas entre los requisitos de este método de supervisión. Esto es debido a la presencia de diseños de sistemas de transmisión y control diferentes y estrategias distintas para la gestión de degradación en los diversos sistemas. Por esta razón, un requisito general en el que un determinado valor de parámetro con una determinada exactitud constituye un indicador fiable de la condición operativa del sistema no puede ser generalizado. Aún dentro de un sistema único los parámetros que son de importancia pueden variar entre diferentes elementos de red y los requisitos de supervisión aún para control interno son distintos para los diversos elementos de red. En consecuencia, un requisito general para la supervisión de determinados parámetros conducirá normalmente a una solución por debajo de la óptima (y, por tanto, no rentable). Por esta razón, siempre se relacionará un esquema de supervisión óptica apropiado con el diseño de sistemas de transmisión y control específicos, reglas de ingeniería y la aplicación de gestión de deficiencias de tal sistema. Sin embargo, en base a la viabilidad desde el punto de vista tecnológico y de las necesidades de los operadores de red, se han identificado algunas alternativas de supervisión, que se describen en la presente Recomendación.

## **6 Clasificación de los métodos de supervisión**

Las siguientes cláusulas describen dos formas diferentes de supervisión de la señal, denominadas método en el dominio del tiempo y método en el dominio de la frecuencia, y explican las diferencias entre supervisión de la señal y comprobación del equipo así como las diferencias entre dispositivos de supervisión incorporados y externos.

### **6.1 Supervisión de la señal**

Las mediciones que figuran en la presente Recomendación son del tipo no intrusivo que permiten efectuar supervisión en servicio de la calidad de la señal óptica.

Las mediciones que se definen en esta Recomendación no incluye la medición de cada una de las degradaciones enumeradas en el Cuadro 1, sino el efecto de dichas degradaciones sobre los parámetros que se pueden medir.

Se puede efectuar una distinción entre los métodos de medición en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia:

#### **6.1.1 Métodos en el dominio del tiempo**

Los métodos que analizan el comportamiento de la señal óptica en el dominio del tiempo tienden a estar más cercanos a la medición de la BER completa que los correspondientes al dominio de la frecuencia. Estos métodos son sensibles a los efectos de la distorsión y ruido. Los osciloscopios de muestreo y los medidores del factor Q que se describen en [UIT-T O.201] son representativos de los métodos de muestreo (métodos síncronos). Sin embargo, los métodos en el dominio del tiempo necesitan, por lo general, demultiplexación óptica, conversión óptica a eléctrica y, en el caso de métodos de muestreo, sincronización a la velocidad binaria. Además, se debe considerar la

diferencia de las características del receptor de referencia comparada con el receptor del sistema y el efecto de la dispersión residual del punto de medición, como figura en la cláusula III.2.

### **6.1.2 Métodos en el dominio de la frecuencia (o longitud de onda)**

Los métodos en el dominio de la frecuencia/longitud de onda de la supervisión óptica analizan las características espectrales de la señal óptica. Estos métodos espectrales tienen en común que no efectúan la muestra de la señal o se sincronizan a la misma, eliminando así por completo el receptor de referencia. Normalmente, emplean algún dispositivo analizador de espectro, que puede ser de resolución variable, y pueden detectar o no todos los canales simultáneamente.

La forma más simple de un análisis espectral es la supervisión de potencia de cada canal. Esto se puede efectuar, por ejemplo, con una retícula de difracción y un sistema de detección para detectar todas las potencias de canal simultáneamente. A expensas de un incremento de complejidad y resolución, este método puede permitir la visualización de la forma de onda precisa del espectro de la señal.

La propiedad fundamental de estos métodos espectrales es que son métodos de promediación que, por definición, no detectan la distorsión del impulso. Esto significa que la supervisión de calidad por métodos espectrales será insensible a todos los efectos debidos a distorsiones.

## **6.2 Supervisión del equipo (métodos indirectos)**

Los métodos indirectos utilizan una correlación empírica entre las averías en el equipo y la calidad de la señal. Las averías en el equipo tales como fallos en la fuente de alimentación, temperatura del láser, etc., se pueden detectar mediante funciones de autocomprobación incorporadas. Estos indicadores dependen muy probablemente del sistema y de la realización.

Los métodos indirectos indican principalmente que el sistema está en funcionamiento, y cuando un parámetro del equipo está fuera de la gama especificada se supone que la calidad también está degradada.

Sin embargo, un parámetro de equipo correcto no es garantía de integridad de la señal, pues puede tener otras degradaciones que afectan la calidad de la señal (por ejemplo, atenuación de la fibra).

## **6.3 Equipo de supervisión incorporado**

El equipo de supervisión incorporado está, por lo general, estrechamente integrado con las funciones de gestión de un elemento de red óptico. Por razones económicas, la supervisión incorporada está usualmente limitada a unos pocos parámetros básicos.

El equipo de supervisión incorporado puede compartir diversos puntos de supervisión ubicados en el mismo elemento de red.

### **6.3.1 Exactitud del equipo de supervisión incorporado**

Es conveniente que la exactitud de los dispositivos de supervisión incorporados sea suficientemente alta como para suministrar una entrada significativa para decisiones de gestión automatizadas, si las hubiera. Esto se obtiene a menudo sin mucha dificultad comparado con un instrumento de prueba de uso general, pues en muchos casos sólo resulta de interés la desviación de un valor nominal conocido, y la gama de funcionamiento normal de los elementos de red es estrecha.

## **6.4 Equipo de supervisión externo**

El equipo de supervisión externo se utiliza normalmente para fines distintos del equipo de supervisión incorporado. Se utilizan normalmente para la medición de parámetros de funcionamiento adicionales más perfeccionados, o cuando se requiere un valor de determinados parámetros de calidad de funcionamiento más exactos.

Las aplicaciones principales son la ubicación de fallos difíciles de encontrar que no pueden ser aislados por los dispositivos de supervisión incorporados, así como pruebas de las funciones y mediciones exactas de los parámetros durante las operaciones de instalación, puesta en servicio o reparación.

A diferencia del equipo de supervisión incorporado, los instrumentos de supervisión externos no están, por lo general, instalados permanentemente sino conectados a petición a segmentos de red críticos y utilizados en un modo interactivo, a menudo controlados a distancia desde un centro de explotación de la red.

#### 6.4.1 Exactitud del equipo de supervisión externo

El equipo de supervisión externo tiene generalmente una exactitud mayor y una gama de medición más amplia que los dispositivos de supervisión incorporados, pues deben proporcionar mediciones absolutas fiables en toda la gama de operación de un sistema de transmisión óptico. Los mayores costos que esto implica se pueden distribuir a través de una amplia diversidad de elementos de red ópticos.

### 7 Degradaciones ópticas

En esta cláusula se enumeran y clasifican las principales degradaciones de los sistemas en la capa óptica que limitan la capacidad del sistema para transportar información.

En el Cuadro 1 figura una lista de las principales degradaciones de sistema posibles.

**Cuadro 1 – Degradaciones ópticas**

Variación de la degradación	Frecuencia de ocurrencia relativa	Descripción
Atenuación	Elevada	
Variaciones de la potencia del canal óptico debido a variaciones de ganancia	Elevada	
Desviación de la frecuencia (o longitud de onda) del valor nominal	Elevada	[UIT-T G.692]
Dispersión por modo de polarización (PMD) (primer orden y órdenes superiores)	Media	Apéndice II de [UIT-T G.663]
Mezcla de cuatro ondas (FWM)	Media	Apéndice II de [UIT-T G.663]
Ruido de emisión espontánea amplificada (ASE) en amplificación óptica	Media	Apéndice II de [UIT-T G.663]
Dispersión cromática	Media	Apéndice II de [UIT-T G.663]
Pendiente de dispersión cromática	Media	[UIT-T G.652] [UIT-T G.653] [UIT-T G.655]
Reflexiones	Media	Apéndice III de [UIT-T G.663]
Ruido de láser	Media	
Diafonía entre canales	Media	[b-UIT-T G-Sup.39]
Diafonía interferométrica	Media	[b-UIT-T G-Sup.39]
Modulación de fase cruzada (XPM)	Baja	Apéndice II de [UIT-T G.663]
Automodulación de fase (SPM)	Baja	Apéndice II de [UIT-T G.663]

**Cuadro 1 – Degradaciones ópticas**

Variación de la degradación	Frecuencia de ocurrencia relativa	Descripción
Dispersión de Brillouin estimulada (SBS)	Baja	Apéndice II de [UIT-T G.650.2] Apéndice II de [UIT-T G.663]
Dispersión de Raman estimulada (SRS)	Baja	Apéndice II de [UIT-T G.663]

Todas estas degradaciones pueden ser suficientemente fuertes para producir una degradación profunda en una señal óptica hasta un nivel en que el receptor ya no podrá detectar los datos con una tasa de error razonable. Para cada uno de los defectos existe una curva de penalidad en función de la probabilidad de ocurrencia por unidad de tiempo (véase el Apéndice I).

Los niveles de frecuencia de ocurrencia relativa en el Cuadro 1 son:

- Baja: cuando la probabilidad que el efecto sea suficientemente fuerte como para causar una penalidad de X dB, se produzca a razón de un evento en 10 años aprox.
- Media: cuando la probabilidad que el efecto sea suficientemente fuerte como para causar una penalidad de X dB, se produzca a razón de un evento por año aprox.
- Alta: cuando la probabilidad que el efecto sea suficientemente fuerte como para causar una penalidad de X dB, se produzca a razón de 10 eventos por año aproximadamente.

NOTA 1 – Los valores precedentes se refieren al periodo de régimen permanente de la vida de los sistemas. Un evento podría causar una penalidad de X dB en un canal óptico simple o en un sistema multicanal. En el Apéndice II figuran valores indicativos para la penalidad de X dB.

NOTA 2 – La frecuencia de ocurrencia relativa de las degradaciones ópticas que figuran en el Cuadro 1 se refieren a los canales ópticos con velocidades binarias de hasta aproximadamente 10 Gbit/s. Actualmente, se tiene suficiente experiencia como para preparar un cuadro similar para canales ópticos de hasta 40 Gbit/s. Sin embargo, es probable que las posibles degradaciones producidas por la dispersión cromática y la PMD a esta velocidad tengan un efecto diferente al del caso anterior de canales ópticos de 10 Gbit/s. Estos posibles efectos dependen también del formato de modulación adoptado.

## **8 Parámetros de supervisión óptica**

A continuación figura la lista de los parámetros ópticos que se pueden medir utilizando la tecnología actual en sistemas de transmisión óptica:

- potencia de canal
- potencia total
- relación señal óptica/ruido (OSNR) cuando no está presente una conformación de ruido significativa
- longitud de onda de canal
- factor Q.

El Apéndice III contiene información concerniente a la calidad de funcionamiento que se puede obtener con la tecnología de supervisión actualmente disponible.



## 9 Correlación entre los efectos de degradación y la degradación de los parámetros de supervisión óptica

**Cuadro 2 – Lista de correlación entre las degradaciones señaladas y los parámetros de supervisión**

Parámetros	Potencia total	Potencia de canal	Longitud de onda de canal	OSN R	Factor Q
Variación de atenuación	X	X		X	X
Desviación de frecuencia (o longitud de onda) del valor nominal		X	X	X	X
Variaciones de la potencia del canal óptico debido a variaciones de ganancia		X		X	X

### 9.1 Variación de atenuación

En estudio.

### 9.2 Desviación de frecuencia (o longitud de onda) del valor nominal

Existe una correlación directa entre la relación de "desviación de frecuencia del valor nominal" y el parámetro de supervisión óptica "longitud de onda de canal". La exactitud de medición requerida para la longitud de onda de canal depende de la "desviación de frecuencia central máxima" para el canal. En [UIT-T G.692] se indica un valor para este parámetro de  $n/5$  (donde  $n$  es la separación de canales) para aplicaciones con separación de canales de 200 GHz y superiores, pero no se indican valores para separación de canales inferiores a éste.

### 9.3 Variaciones de potencia del canal óptico debido a variaciones de ganancia

Existe una correlación directa entre la degradación "variaciones de potencia del canal óptico debido a variaciones de ganancia" y el parámetro de supervisión óptica "potencia de canal". Para variaciones lentas en la ganancia del canal, la supervisión de la potencia de canal facilitará información adecuada para determinar la ubicación de la variación de ganancia. No obstante, los sistemas DWDM, para mantener las características de funcionamiento de la transmisión de extremo a extremo, pueden disponer de muchos bucles de control internos, tales como la sintonización de la longitud de onda y el control de la potencia de salida del láser, el control de la potencia de equalización del canal, el control de la ganancia del amplificador y de los transitorios y los controles de la potencia y dispersión del receptor de canal. Estos bucles de control pueden funcionar en escalas temporales de milisegundos o incluso de microsegundos y responderán, o incluso generarán, eventos fotónicos inferiores al segundo que pueden incidir en la calidad de transmisión de extremo a extremo. Puesto que no resulta práctico supervisar la potencia del canal con una granularidad temporal suficientemente pequeña como para capturar esos eventos, es conveniente adquirir los valores máximos y mínimos de los parámetros de entrada y salida de la función de control con una granularidad temporal menos precisa.

## 10 Aplicaciones

En los sistemas DWDM la supervisión óptica puede ser útil en las siguientes actividades:

- i) Gestión de configuración para la activación de sistemas y canales, incorporación de nuevos canales, etc.
- ii) Gestión de fallos para detectar y aislar averías.

- iii) Gestión de degradación para mantener el sistema en funcionamiento y detectar degradaciones antes que se produzca un fallo.

Para llevar a cabo los objetivos precedentes, se deberán considerar una o más de las posibilidades de supervisión siguientes para supervisión interna en sistemas DWDM con los datos resultantes disponibles de una ubicación local o desde una ubicación distante. La alternativa sobre la opción que se ha de utilizar depende de las características específicas del sistema DWDM (por ejemplo, longitud, número de tramos, cantidad de canales, inaccesibilidad de los sitios) así como consideraciones sobre costos/beneficios.

- a) Potencia total a la entrada de las diversas etapas de la amplificación óptica.
- b) Potencia total a la salida de las diversas etapas de la amplificación óptica.
- c) Potencia de canal a la salida del transmisor DWDM antes del multiplexor.
- d) Potencia de canal a la entrada del receptor DWDM después del demultiplexor.
- e) Potencia de canal a la salida de las diversas etapas de la amplificación óptica.
- f) Relación señal óptica/ruido del canal a la salida de las diversas etapas de la amplificación óptica.
- g) Desviación de la longitud de onda del canal al menos en un punto a través del trayecto óptico.

Una desviación a la salida de las diversas etapas de la amplificación óptica permite efectuar un análisis más detallado del estado del canal óptico a través del equipo de medición externo. La inclusión de esta derivación depende de las características específicas del sistema DWDM así como de las consideraciones sobre costos/beneficios.

## **11 Consideraciones sobre seguridad óptica**

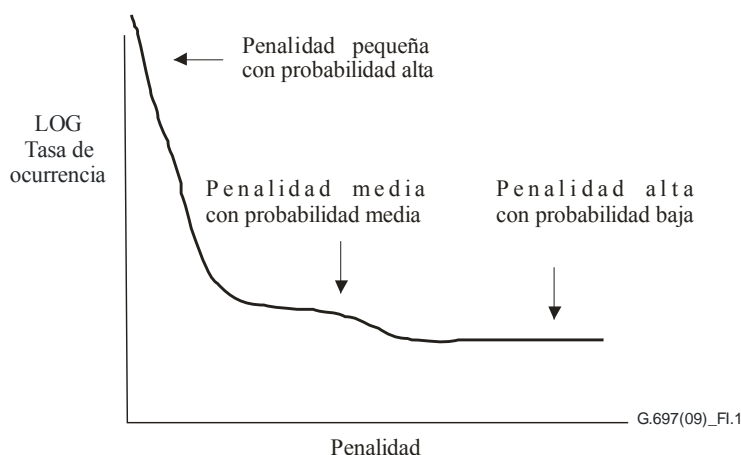
Para consideraciones sobre seguridad óptica, véase [UIT-T G.664].

## Apéndice I

### Gravedad de las degradaciones ópticas

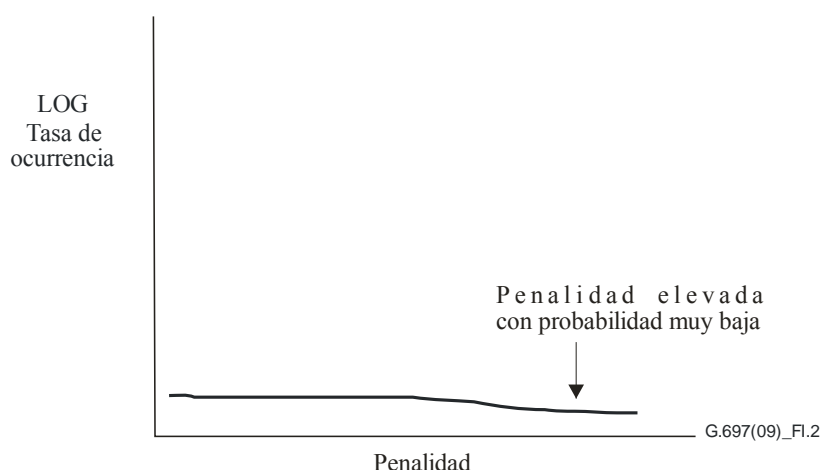
(Este apéndice no es parte integrante de la presente Recomendación.)

Todas las degradaciones ópticas enumeradas en el Cuadro 1 pueden producir una degradación profunda de la señal óptica en el punto de fallo del receptor para que éste pueda detectar los datos con una tasa de error tolerable. Para cualquiera de estas degradaciones, es posible trazar una curva de penalidad en función de la tasa de ocurrencia (la probabilidad de ocurrencia por unidad de tiempo). Una curva típica en el caso de la atenuación podría tener la siguiente forma.



**Figura I.1 – Curva típica de penalidad en función de la tasa de ocurrencia debida a variaciones de la atenuación**

La forma de la curva y los niveles de probabilidad serán, por supuesto, diferentes para cada una de las degradaciones de la lista. En la curva de atenuación son muy probables las pequeñas atenuaciones del orden del 0,1 dB y es mucho menos probable que se produzcan fuertes degradaciones (es decir, 6 dB o mayores). La curva para una degradación diferente tendrá distinta forma. Por ejemplo la SBS podría tener la forma siguiente.



**Figura I.2 – Curva típica de penalidad en función de la tasa de ocurrencia debida a la variación SBS**

Aquí, la tasa de ocurrencia es muy baja (fallo del circuito de vibración o potencia mucho más elevada en la fibra que la esperada) pero la penalidad generada puede ser muy fuerte.

Ya que éste es el caso, el método que se ha tomado en esta Recomendación es definir una penalidad aproximada que se considera para constituir una degradación significativa (por ejemplo, 3 dB) y dar entonces una indicación de la frecuencia con que esto ocurre en una red óptica típica.

## **Apéndice II**

### **Valor X de gravedad de penalización**

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

Un operador, en relación con una red DWDM de 10 000 km sugiere definir un valor X de penalidad igual a 3 dB como el valor que constituye una degradación significativa.

## Apéndice III

### Calidad de funcionamiento de la supervisión óptica

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

Este apéndice contiene información concerniente a la calidad de funcionamiento que se puede obtener con la tecnología de supervisión óptica actualmente disponible. Esta información no se debe interpretar como un requisito o especificación, sino que tiene la intención de ayudar a identificar los casos en que se puede satisfacer (o no) un determinado requisito de calidad de funcionamiento de la supervisión óptica deseada utilizando la tecnología actualmente disponible. Los requisitos para la calidad de funcionamiento de la supervisión óptica sólo se pueden establecer con respecto a una función concreta y para un determinado diseño de sistema y, en la mayoría de los casos, las especificaciones prácticas y el análisis de rentabilidad para una solución de supervisión particular pueden resultar muy diferentes de los datos que figuran a continuación.

En el Cuadro III.1 se suministra información sobre la calidad de funcionamiento de mediciones normalizadas que se podrían obtener con un equipo de medición de bajo costo incorporado en los elementos de red óptica a la entrada del receptor DWDM. En el Cuadro III.2 se suministra información sobre la calidad de funcionamiento de mediciones normalizadas que se podrían obtener con un equipo de medición de bajo costo incorporado en los elementos de red óptica en puntos multicanal donde no hay requisitos para medir la OSNR. En el Cuadro III.3 se suministra la misma información para un equipo de medición de bajo costo incorporado en los elementos de red óptica que pueden medir OSNR. En el Cuadro III.4 figura la calidad de funcionamiento de mediciones para un equipo de medición de alta calidad con costos acorde a las mediciones en una cantidad de lugares en la red muy reducida efectuadas por el personal de mantenimiento.

**Cuadro III.1 – Calidad de funcionamiento de la supervisión óptica incorporada a la entrada del receptor DWDM**

Parámetro	Exactitud	Repetibilidad	Gama de medición
Potencia de canal	$\pm 2$ dB (Nota 1)	$\pm 0,5$ dB	Gama de funcionamiento del receptor (Nota 2)

NOTA 1 – Como ésta es una función común para la totalidad de los receptores DWDM, es evidente que su costo sea rentable. Por esta razón, este valor es inferior al que figura en el Cuadro III.2.

NOTA 2 – Gama de potencia de entrada en la que se supone que el receptor funcionará normalmente.

**Cuadro III.2 – Calidad de funcionamiento de la supervisión óptica incorporada sin OSNR**

Parámetro	Exactitud	Repetibilidad	Gama de medición
Potencia total	±1 dB (Nota 1)	±0,5 dB	(-60 a +5) + pérdida por derivación dBm (Nota 2)
Potencia de canal	±1 dB (Nota 1)	±0,5 dB	(-60 a -10) + pérdida por derivación dBm (Nota 2)

NOTA 1 – Este valor incluye contribuciones de incertidumbre de medición y variación de la pérdida por derivación. En algunos sistemas la variación de la pérdida por derivación puede producir una exactitud menor que ésta, aunque esto se puede compensar mediante calibración (con costo adicional).

NOTA 2 – En razón que los distintos sistemas utilizan derivaciones de supervisión con fracciones de división diferentes (por ejemplo, 5% o 2%) la gama de medición se indica a la salida de la derivación. Para derivar la gama de medición se debe agregar la pérdida por derivación a los valores. Por ejemplo, una derivación del 2% producirá valores 17 dB superiores.

**Cuadro III.3 – Calidad de funcionamiento de la supervisión óptica incorporada con OSNR**

Parámetro	Exactitud	Repetibilidad	Gama de medición
Potencia total	±1 dB (Nota 1)		
Potencia de canal	±1 dB (Nota 1)	±0,5 dB	(-40 a -10) + pérdida por derivación dBm (Nota 2)
Longitud de onda de canal	±75 pm		
OSNR en el que no está presente una configuración de ruido significativa (en una anchura de banda óptica de 0,1 nm)	±1,5 dB	±0,5 dB	Para potencia de canal ≥25 dBm OSNR 10 a 30 dB para ≥100 GHz de separación OSNR 10 a 25 dB para 50 GHz de separación (Nota 3)

NOTA 1 – Este valor incluye contribuciones de incertidumbre de medición y variación de la pérdida por derivación. En algunos sistemas la variación de la pérdida por derivación puede producir una exactitud menor que ésta, aunque esto se puede compensar mediante calibración (con costo adicional).

NOTA 2 – En razón que los distintos sistemas utilizan derivaciones de supervisión con distintas fracciones de división (por ejemplo, 5% o 2%) la gama de medición se indica a la salida de la derivación. Para derivar la gama de medición se debe agregar la pérdida por derivación a los valores. Por ejemplo una derivación del 2% producirá valores 17 dB superiores.

NOTA 3 – Esta gama de medición no se puede obtener en casos donde existe un ensanchamiento espectral significativo debido a los efectos no lineales en el enlace.

**Cuadro III.4 – Calidad de funcionamiento del equipo de supervisión óptica de alta calidad**

Parámetro	Exactitud	Repetibilidad	Gama de medición
Potencia total	$\pm 0,2$ dB (Nota 1)		
Potencia de canal	$\pm 0,4$ dB (Nota 1)	$\pm 0,2$ dB	(-80 a +23) + pérdida por derivación dBm (Nota 2)
Longitud de onda de canal	$\pm 0,5$ pm		
OSNR donde no está presente una conformación de ruido no significativa (en anchura de banda óptica de 0,1 nm)	$\pm 0,4$ dB OSNR < 20 $\pm 0,7$ dB OSNR < 30		0 a 42 dB para separación de 100 GHz 0 a 28 dB para separación de 50 GHz (Nota 3)
Factor Q	$\pm 10\%$	$\pm 5\%$	4 a 14
Otros			

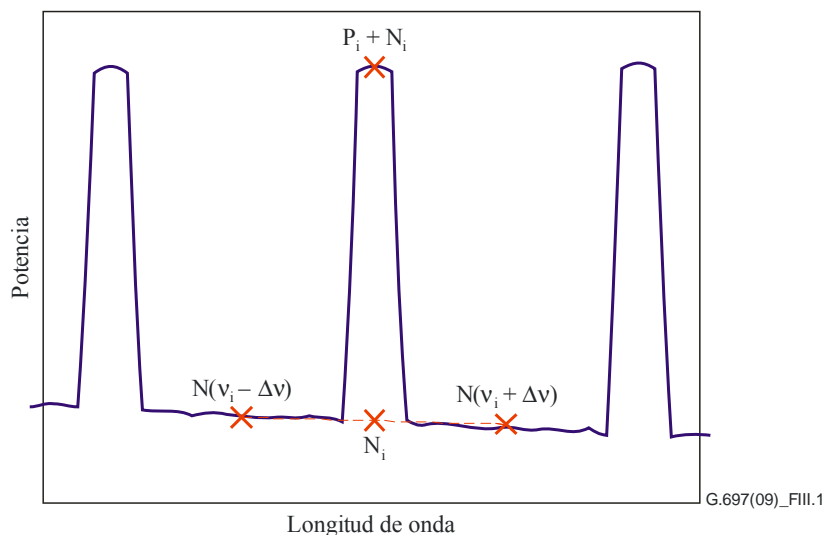
NOTA 1 – Este valor no incluye ninguna contribución por variación de pérdidas por derivación, que tendría que ser compensada por calibración.

NOTA 2 – En razón que los distintos sistemas utilizan derivaciones de supervisión con distintas fracciones de división (por ejemplo, 5% o 2%) la gama de medición se indica a la salida de la derivación. Para derivar la gama de medición se debe agregar la pérdida por derivación a los valores. Por ejemplo una derivación del 2% producirá valores 17 dB superiores.

NOTA 3 – Esta gama de medición no se puede obtener en casos donde existe un ensanchamiento espectral significativo debido a los efectos no lineales en el enlace.

### III.1 Medición de la OSNR

La medición de la OSNR utiliza actualmente el principio de medición de ruido entre canales a fin de estimar el ruido en la longitud de onda de canal. Véase la Figura III.1.

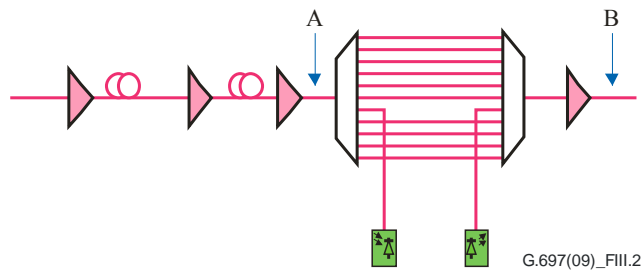


**Figura III.1 – Método de medición de la OSNR**

Este método funciona bien para sistemas punto a punto simples sólo con fibras y amplificadores en el trayecto óptico. Sin embargo, para sistemas DWDM más complejos, la introducción de cualquier elemento, que produce la conformación de ruido entre canales, hace que este método sea inexacto.

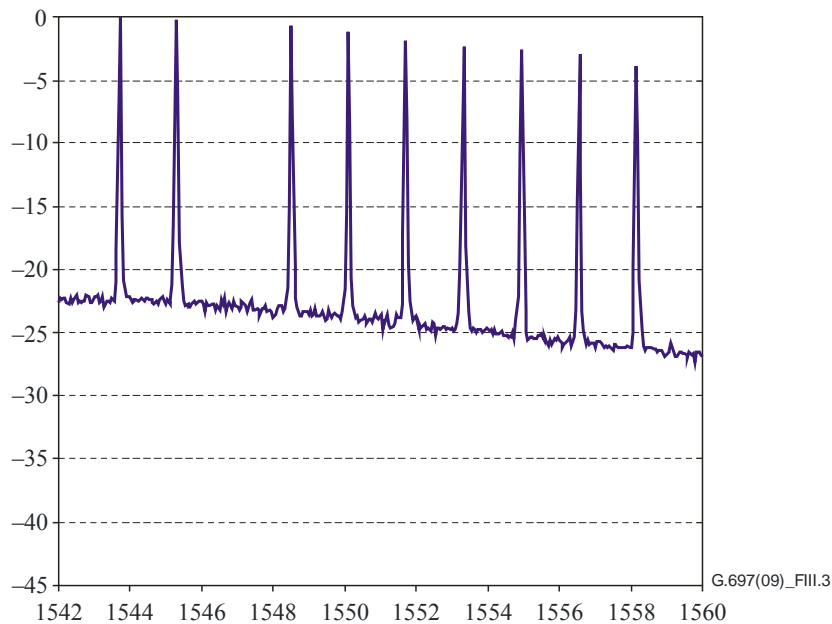
Por ejemplo, en la sección del sistema DWDM que se ilustra en la Figura III.2, hay un multiplexor óptico de incorporación/extracción que está configurado para extraer e incorporar un canal.





**Figura III.2 – Sección de un sistema DWDM con un OADM**

En las Figuras III.3 y III.4 se ilustran los espectros ópticos que se podrían hallar en los puntos A y B, respectivamente.



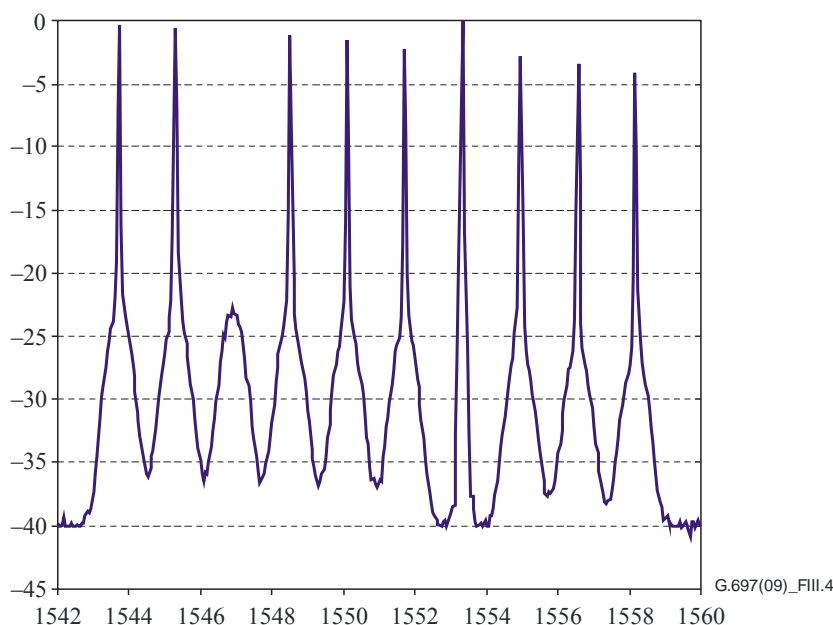
**Figura III.3 – Espectro óptico en el punto A**

Como se puede observar en la Figura III.3, en el punto A el método de medición de la relación señal óptica/ruido (OSNR) ilustrado en la Figura III.1 presenta resultados exactos pues la variación del ruido con la longitud de onda es bastante lenta.

NOTA – El canal 3 de este sistema ficticio de 10 canales no está presente.

La Figura III.4 muestra el espectro después del multiplexor del OADM y un amplificador de potencia. Aquí la situación es completamente diferente. El ruido entre los canales ha sido fuertemente conformado por la función de filtrado combinado del demultiplexor/multiplexor. Como se puede observar a través de la cresta del ruido en la longitud de onda del canal faltante en este ejemplo, hay un ruido unos 15 dB mayor en las longitudes de onda de canal que en los puntos medios entre los canales y, por tanto, la OSNR estimada en este punto es una estimación optimista en unos 15 dB. Sin embargo, para la longitud de onda que ha sido añadida se tiene la situación inversa y el nivel de ruido en los puntos medios es mucho más elevado que el ruido agregado en la longitud de onda del canal. La estimación de la OSNR para este canal es, por tanto, seriamente desfavorable.

[b-IEC 61280-2-9] puede ser una referencia útil para obtener información adicional sobre las mediciones de la OSNR.

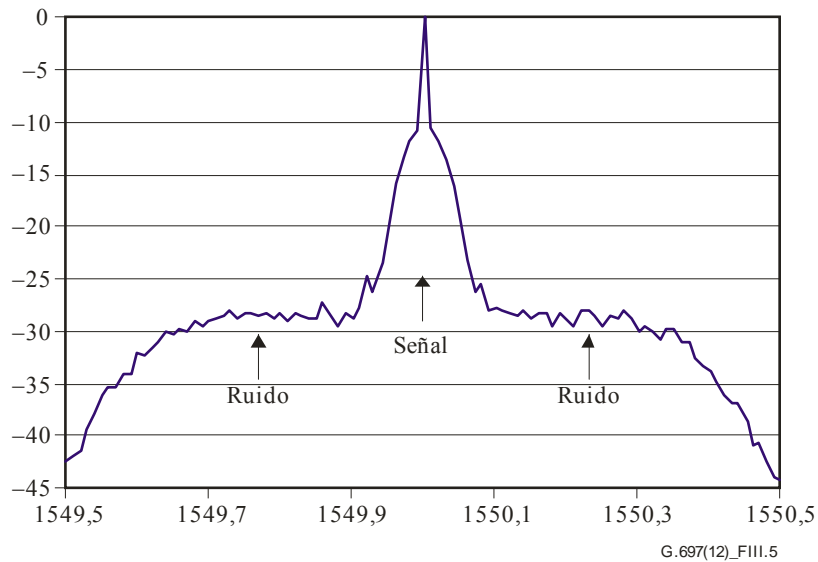


**Figura III.4 – Espectro óptico en el punto B**

Para poder realizar una medición razonable de la OSNR con conformación de ruido, es esencial medir el valor del ruido filtrado en la banda de paso de los filtros ópticos en un sistema (a menudo denominado medición de la OSNR "en banda"). En los apartados siguientes se describen tres métodos de lograrlo.

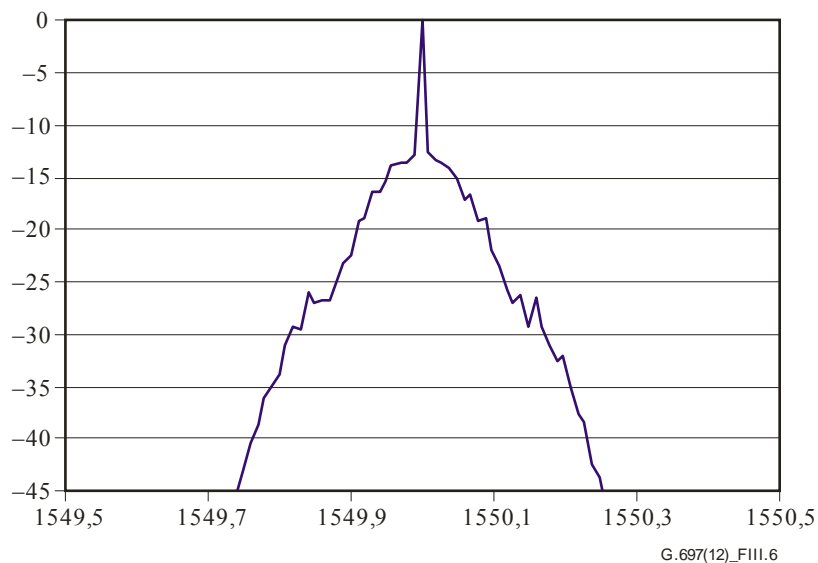
### **III.1.1 Método con un analizador de espectro óptico de banda estrecha**

Cuando el espectro de la señal no ocupa la totalidad de la anchura de banda del canal y la forma del filtro óptico tiene una zona plana, la OSNR se puede medir mediante un analizador de espectro de banda estrecha. La Figura III.5 siguiente muestra un ejemplo con una señal de 10 Gbit/s en un sistema con una separación entre canales de 100 GHz. En este caso, la OSNR se puede estimar midiendo la potencia de la señal y el ruido en la zona plana lejos de la señal. Es preciso medir la señal con una anchura de banda de resolución suficientemente amplia con el fin de detectar toda la potencia de la señal, al mismo tiempo que se mide el ruido con una anchura de banda de resolución suficientemente pequeña para no incluir la señal. Esto puede necesitar anchuras de banda con diferentes resoluciones para cada parte de la medición y escalar la potencia de ruido a partir de la anchura de banda de medición con el valor de referencia habitual de 0,1 nm.



**Figura III.5 – Espectro óptico en el que la señal no ocupa toda la anchura de banda del canal**

Sin embargo, puesto que la velocidad de modulación alcanza un valor comparable a la separación de canales, el espectro de la señal se superpone totalmente con el umbral de ruido como se ilustra en la Figura III.6. En este caso se precisa un método de medición diferente. Asimismo, en el caso en el que la señal atraviesa múltiples filtros ópticos, la función de filtro combinada se torna progresivamente menos plana en su parte superior, dificultando así la determinación precisa del nivel de ruido.



**Figura III.6 – Espectro óptico en el que la señal ocupa toda la anchura de banda del canal**

### III.1.2 Medición de supresión en el dominio del tiempo

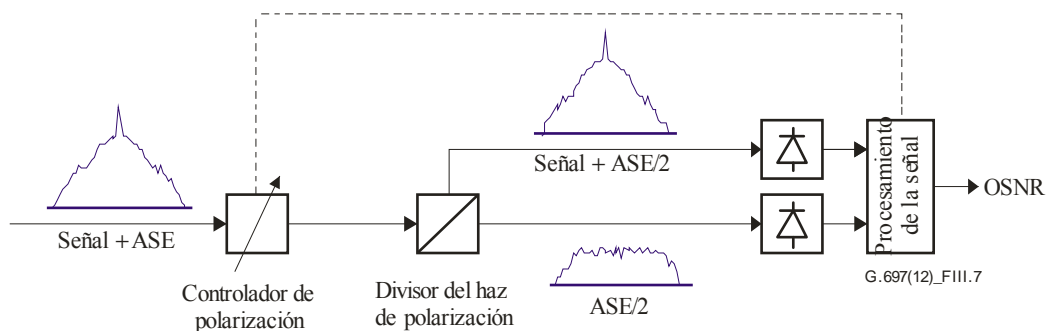
En este método, se introduce y extrae la señal del canal que se ha de medir en el punto de entrada del sistema óptico utilizando un conmutador acústico-óptico. Entonces, se muestrea la señal en el punto de medición mediante un segundo conmutador, ya sea en fase para medir la señal o desfasada para medir la potencia de ruido. Este método requiere conmutadores de supresión acústico-ópticos rápidos o un analizador de espectro óptico (OSA). El nivel medio de la señal en el canal a medir se

mantiene igual al de funcionamiento normal para conservar el punto de operación de los amplificadores.

Los inconvenientes obvios de este método de medición son que precisa insertar equipos en múltiples puntos del sistema y que no se puede usar para medir la OSNR mientras el canal se encuentre en servicio.

### III.1.3 Medición de supresión de polarización

Un método alternativo para separar la señal del ruido consiste en aprovechar que, en cierta forma, la señal de transmisión óptica está polarizada, mientras que el ruido ASE no lo está. En su forma más sencilla, se utiliza una combinación de un controlador de polarización variable y un divisor/filtro de polarización para separar la señal polarizada del ruido sin polarizar como se muestra en la Figura III.7.



**Figura III.7 – Diagrama de bloques del método de supresión de polarización**

Al variar el controlador de polarización situado antes del divisor de polarización, es posible suprimir la señal polarizada y acceder en una salida al ruido no polarizado en la banda, mientras que en la otra salida se muestra la señal más el ruido [b-Rasztovits-Wiech].

Este método de medición presenta cuatro problemas:

- Si el estado de la polarización de la señal en el punto de medición fluctúa rápidamente (que es probable que se produzca por un problema en la fibra aérea) o la señal deja de estar polarizada, entonces resulta muy difícil obtener una buena supresión de la señal.
- Cuando se produce diafonía entre los canales, se puede o no incluir la diafonía en la medición del ruido dependiendo de las polarizaciones relativas de la señal y de la diafonía.
- Las pérdidas que dependen de la polarización pueden dar lugar a errores de medición importantes debido a que la porción de ruido con la misma polarización que la señal tiene una amplitud diferente que el ruido con polarización ortogonal.
- Para una señal multiplexada, existe una señal separada en cada una de las polarizaciones ortogonales por lo que no es posible suprimir la señal mediante un divisor de haz de polarización. Por tanto, no es posible utilizar este método de medición de la OSNR para esas señales.

### III.2 Medición del factor Q

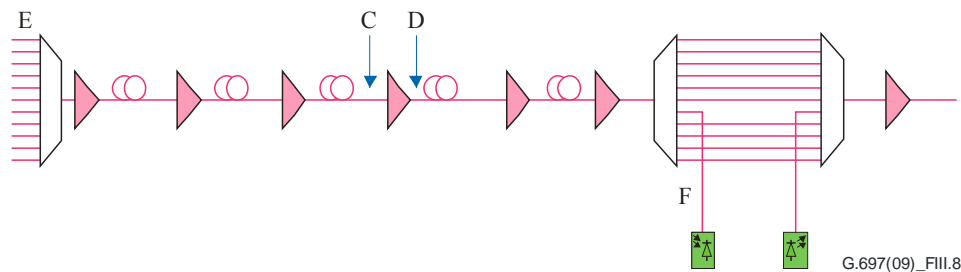
La medición del factor Q ocupa una posición intermedia entre los parámetros ópticos clásicos (potencia, relación señal óptica/ruido (OSNR) y longitud de onda) y los parámetros de calidad de funcionamiento de extremo a extremo digitales basados en la BER.

El factor Q se mide en el dominio del tiempo mediante el análisis de los datos estadísticos de la forma del impulso de la señal óptica. Los detalles completos figuran en [UIT-T O.201]. El factor Q es una medida completa de la calidad de la señal de un canal óptico que tiene en cuenta los efectos

del ruido, filtrado y distorsión lineal/no lineal de la forma del impulso que no es posible obtener sólo con parámetros ópticos simples.

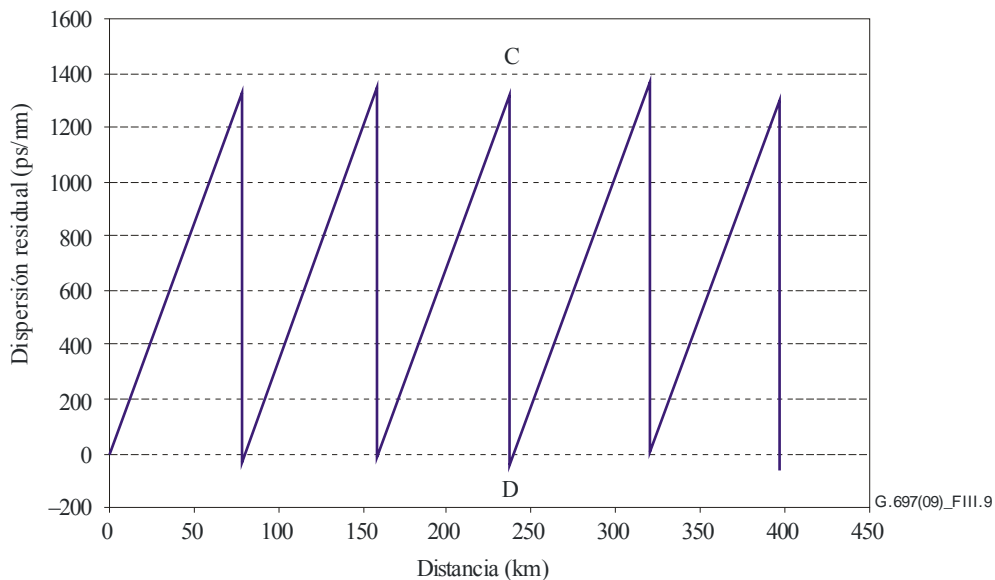
En condiciones ideales (sólo ruido gaussiano aditivo, distorsiones no lineales, etc.), la BER de un canal óptico binario debe ser la misma que la indicada por una medición del factor Q. Sin embargo, estas condiciones ideales rara vez se presentan en sistemas reales y la correlación entre el factor Q de una señal óptica y la BER medida después de una regeneración está influenciada por las diversas características del receptor (anchura de banda de ruido, respuesta del impulso, etc.) en el regenerador comparadas con las del medidor del factor Q.

Un factor adicional que tiene un efecto importante en la validez de una medición del factor Q en cualquier punto de un trayecto óptico es la dispersión residual presente en ese punto. En la Figura III.8 se muestra el diagrama de bloques de un sistema de transmisión simple de 5 tramos que incorpora módulos de compensación de dispersión (DCM) en los amplificadores de línea. En dicho sistema, mientras que los puntos extremos marcados E y F tienen generalmente una dispersión residual nominal cero, las mediciones del factor Q en puntos intermedios del trayecto óptico son únicamente posibles con una compensación de dispersión adecuada en dichos puntos.



**Figura III.8 – Sistema de transmisión simple de 5 tramos que incorpora DCM en los amplificadores de línea**

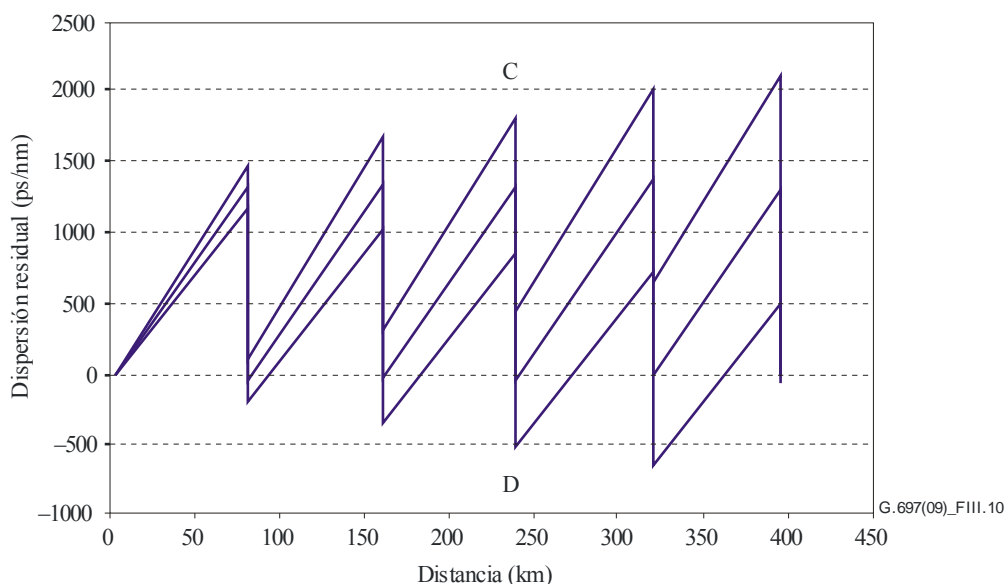
En la Figura III.9 se muestra la dispersión residual en función de la distancia para un sistema en que la dispersión de cada tramo nominal de 80 km viene compensado por un DCM de 80 km incorporado en cada amplificador de línea y un DCM adicional dentro del preamplificador de recepción. En este caso, por ejemplo, el factor Q medido en el punto C (entrada al tercer amplificador de línea) es muy distinto al factor Q en el punto D (salida del mismo amplificador) en razón de la gran diferencia de dispersión residual de los dos puntos.



**Figura III.9 – Dispersión residual en función de la distancia para un sistema simple**

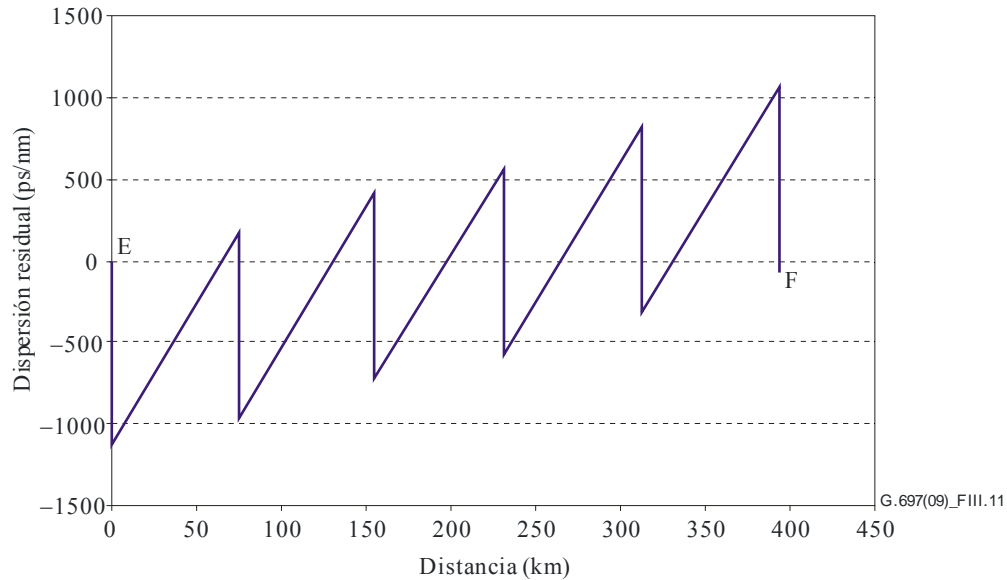
Una solución al mapa de dispersión ilustrado en la Figura III.9 es medir únicamente el factor Q a las salidas del amplificador (por ejemplo punto D).

El mapa de dispersión residual de la Figura III.9 es para una longitud de onda cuyo coeficiente de dispersión de la fibra es razonablemente compensado en precisión por el DCM. Sin embargo, en sistemas de gran longitud que abarcan una amplia gama de longitudes de onda, el hecho que la pendiente de dispersión de la fibra con la longitud de onda no concuerda exactamente con la inversa de la pendiente de la dispersión del DCM con la longitud de onda, significa que el mapa de dispersión residual es diferente en toda la gama de longitudes de onda de canal. Esto se ilustra en la Figura III.10 donde también se muestran los mapas de dispersión residual de los canales de longitud de onda extremos.



**Figura III.10 – Dispersión residual en función de la distancia para un sistema simple con una amplia gama de longitudes de onda**

En el caso de un mapa de dispersión más complejo como se ilustra en la Figura III.11, en los que hay módulos de compensación de dispersión en el transmisor y el receptor así como incorporados en los amplificadores de línea, los puntos con dispersión nula no coinciden necesariamente ahora con la salida de los amplificadores de línea. En este caso, sería necesario disponer de dispositivos de compensación en el equipo de medida para que la medición del factor Q en esos puntos de supervisión sea válida.



**Figura III.11 – Dispersión residual en función de la distancia para un sistema más complejo**

## Apéndice IV

### Posibles ubicaciones para equipos de supervisión pertinentes y sus funciones relativas en diversos elementos ópticos de red

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

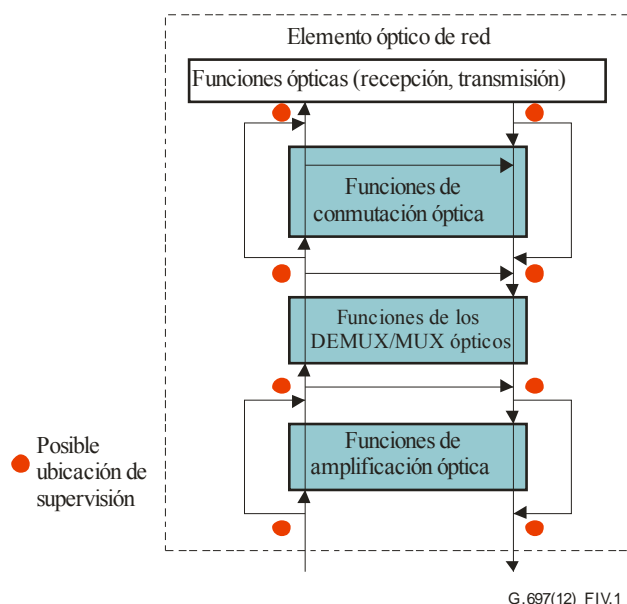
#### IV.1 Introducción

Aunque en muchas transmisiones ópticas actuales está implementada (y en servicio) la supervisión óptica, existen diferencias importantes entre los diferentes tipos de supervisión. Esto es debido a la existencia de diferentes diseños de los sistemas de control y transmisión, al tamaño de la red y a las diferentes estrategias de gestión de las degradaciones en los diversos sistemas. Por este motivo no se puede determinar un requisito general sobre qué valor de parámetro con una determinada precisión es un indicador fiable de la condición de funcionamiento del sistema.

La elección del tipo de despliegue depende de las características concretas del ONE. En particular para un sistema DWDM depende de sus características (por ejemplo, longitud, número de tramos, inaccesibilidad de los emplazamientos) así como de consideraciones sobre costes y beneficios. Es preciso tener en cuenta fundamentalmente que al aumentar el número de puntos de supervisión aumenta el consumo de potencia de la señal con la consiguiente reducción del alcance del sistema DWDM.

En conclusión, cabe destacar que las posibles ubicaciones para los puntos de supervisión adecuados y sus funciones relativas en diversos elementos ópticos de red que se muestran en el presente apéndice deben considerarse como ejemplos pero no como requisitos. Estos ejemplos son de interés puesto que pueden mostrar lo que es factible desde el punto de vista tecnológico y qué operadores de red se podrían necesitar.

La Figura IV.1 muestra un modelo general para posibles ubicaciones de supervisión en un elemento óptico de red.



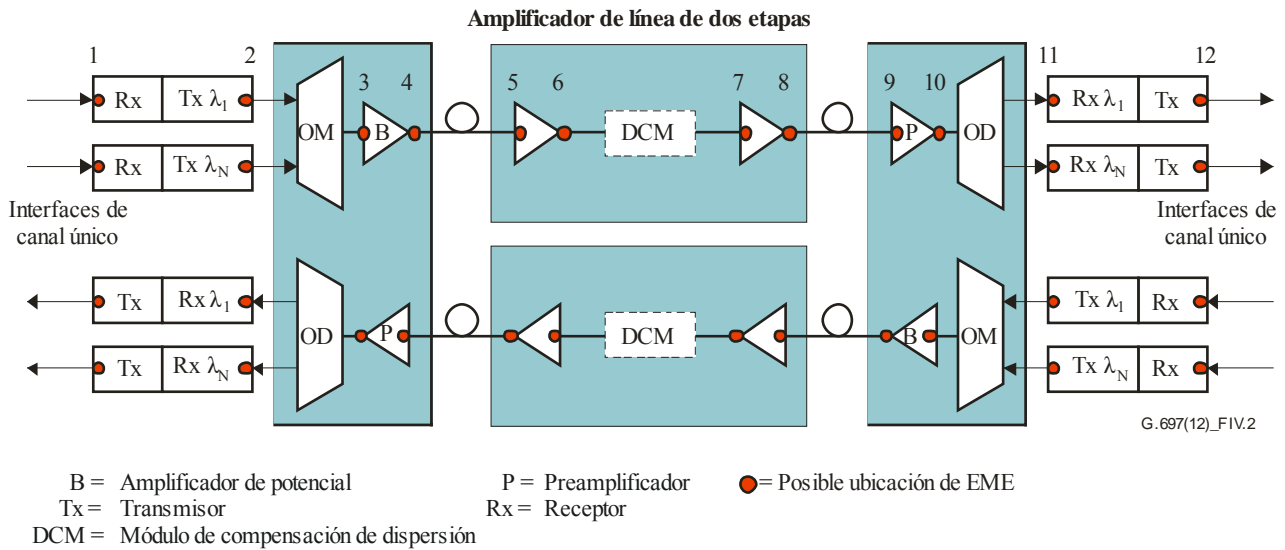
**Figura IV.1 – Ejemplo de ubicación de EME en un elemento óptico de red**



## IV.2 Puntos de supervisión incorporados

### IV.2.1 Segmento de línea DWDM

La Figura IV.2 muestra un ejemplo de ubicación para equipos de supervisión incorporados (EME) en un segmento de línea DWDM de larga distancia con canales ópticos que funcionan a 10 Gbit/s.



**Figura IV.2 – Ejemplo de ubicación de EME en un segmento de línea DWDM de larga distancia**

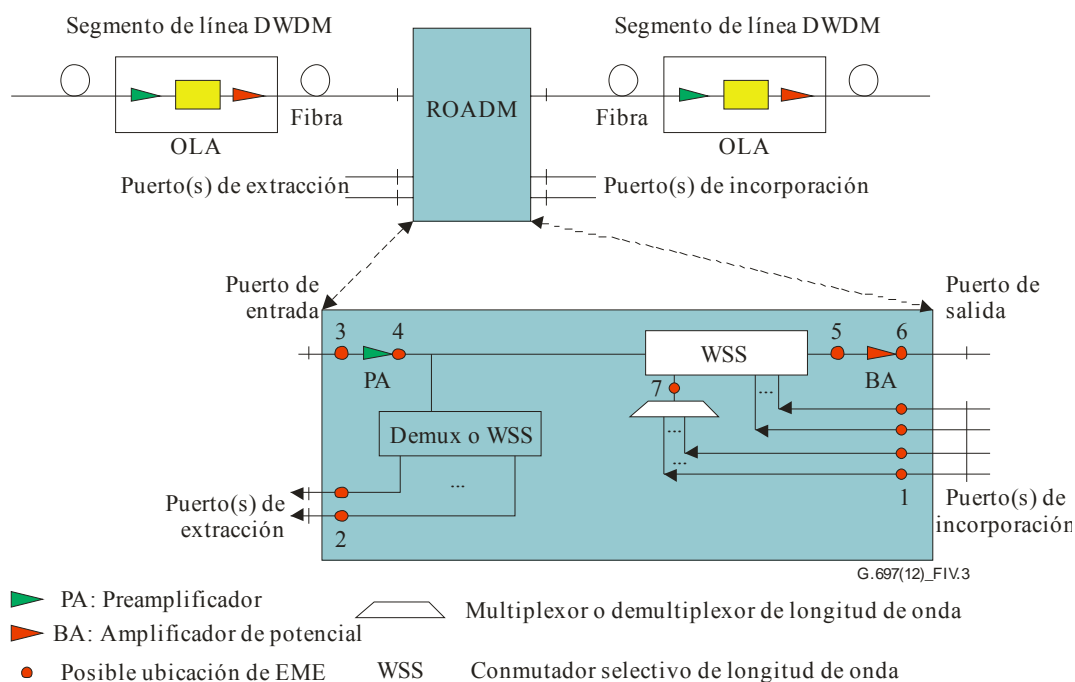
Los parámetros ópticos enumerados en la cláusula 10 se pueden medir en los diversos puntos de supervisión de la Figura IV.2 de conformidad con el Cuadro IV.1.

**Cuadro IV.1 – Ejemplo de supervisión en un segmento de línea DWDM**

Parámetros de supervisión	Ubicación de EME
a) Potencia total a la entrada de las distintas etapas de amplificación óptica	3, 5, 7, 9
b) Potencia total a la salida de las distintas etapas de amplificación óptica	4, 6, 8, 10
c) Potencia de entrada del canal	1, 11
d) Potencia de salida del canal	2, 12
e) Potencia del canal a la salida de las distintas etapas de amplificación óptica	4, 6, 8, 10
f) OSNR del canal a la salida de las distintas etapas de amplificación óptica	4, 6, 8, 10
g) Longitud de onda del canal	2
NOTA – Este cuadro enumera posibles puntos de supervisión. La elección apropiada de la supervisión depende de cada sistema (véase la cláusula IV.1).	

### IV.2.2 ROADM

La Figura IV.3 muestra un ejemplo de equipo de supervisión incorporado en un multiplexor óptico de incorporación/extracción reconfigurable (ROADM).



**Figura IV.3 – Ejemplo de ubicación de EME en un ROADM**

Los parámetros ópticos enumerados en la cláusula 10 se pueden medir en los diversos EME de la Figura IV.3 de conformidad con el Cuadro IV.2.

**Cuadro IV.2 – Posible supervisión en un ejemplo de ROADM**

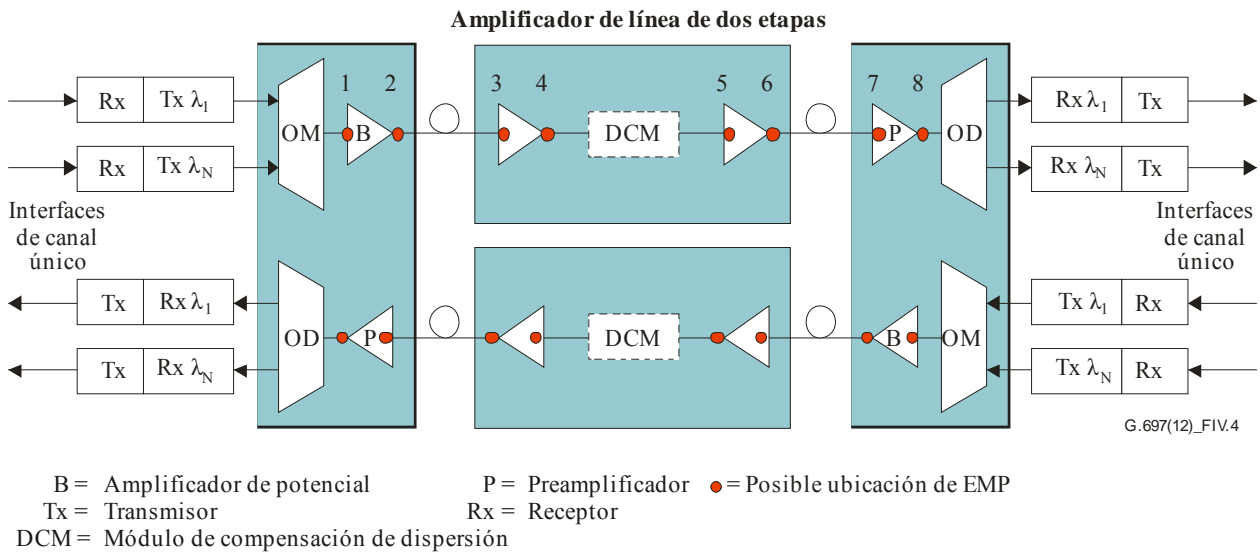
Parámetros de supervisión	Ubicación de EME
a) Potencia total a la entrada de las distintas etapas de amplificación óptica	3, 5
b) Potencia total a la salida de las distintas etapas de amplificación óptica	4, 6
c) Potencia de entrada del canal	1
d) Potencia de salida del canal	2
e) Potencia del canal a la salida de las distintas etapas de amplificación óptica	4, 6
f) OSNR del canal a la salida de las distintas etapas de amplificación óptica	4, 6
g) Longitud de onda del canal	1
h) Potencia total	7
NOTA – Este cuadro enumera posibles puntos de supervisión. La elección apropiada de la supervisión depende de cada sistema (véase la cláusula IV.1).	

La posición y la función de los EME en el WSS se dejan para un estudio ulterior.

### IV.3 Puntos de supervisión externos

#### IV.3.1 Segmento de línea DWDM

La Figura IV.4 muestra un ejemplo de ubicación de puntos externos de supervisión (EMP) en un segmento de línea DWDM de larga distancia que funciona a 10 Gbit/s.

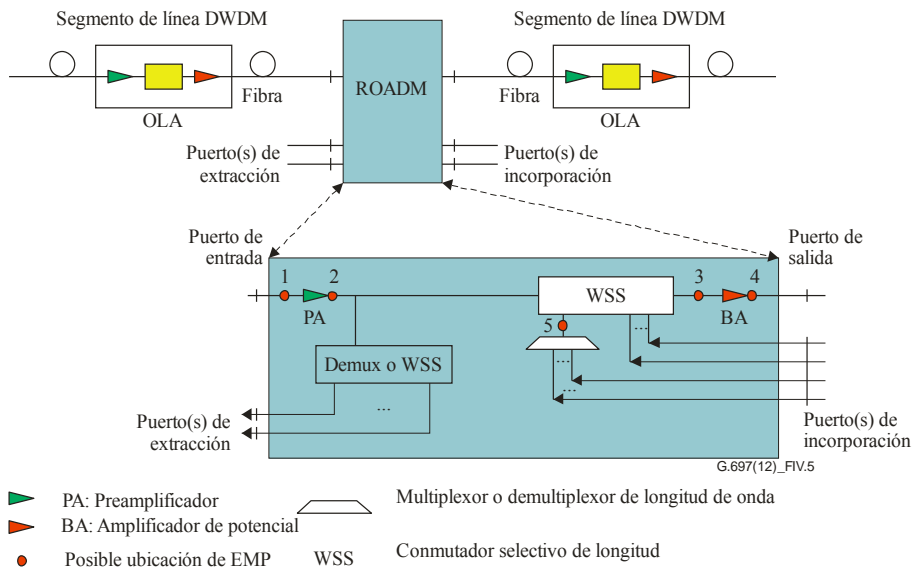


**Figura IV.4 – Ejemplo de ubicación de EMP en un segmento de línea DWDM de larga distancia**

Todos los parámetros ópticos enumerados en la cláusula 8 se pueden medir en los diversos puntos de supervisión de la Figura IV.4 con equipos externos de medición adecuados. La elección apropiada de la supervisión depende de cada sistema (véase la cláusula IV.1).

### IV.3.2 ROADM

La Figura IV.5 muestra un ejemplo de ubicación de los puntos externos de supervisión en un ROADM.



**Figura IV.5 – Posible ubicación de EMP en un ejemplo de ROADM**

Todos los parámetros ópticos enumerados en la cláusula 10 se pueden medir en los diversos puntos de supervisión de la Figura IV.5 con equipos externos de medición adecuados. La elección apropiada de la supervisión depende de cada sistema (véase la cláusula IV.1).

## Apéndice V

### Codificación de parámetros

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

El presente apéndice comprende un posible sistema de codificación para la comunicación de información relativa a parámetros ópticos. Se encuentran fuera del ámbito de este apéndice el uso de esa información, cómo se comunica, si la información para un determinado parámetro está incluida o si el valor de cualquier parámetro se obtiene mediante mediciones, antes de la instalación del sistema, o simplemente mediante suministro.

#### V.1 ID de longitud de onda (32 bits)

Este campo contiene la etiqueta de la longitud de onda y comprende cuatro sub-campos:

- **Plan** (3 bits, 0 a 2): El valor para el plan se fija a 1 para el plan con DWDM del UIT-T como se define en [b-UIT-T G.694.1] y se fija a 2 para el plan con CWDM del UIT-T como se define en [b-UIT-T G.694.2]. Los valores 0 y 3 a 7 se reservan para usos futuros.
- **Separación de canales** (4 bits, 3 a 6): En el Cuadro V.1 se muestra la codificación de la separación de canales cuando el plan se fija a "1" (DWDM) y la codificación de la separación de canales cuando el plan se fija a "2" (CWDM) se muestra en el Cuadro V.2.

**Cuadro V.1 – Codificación de la separación de canales con DWDM**

Separación de canales (GHz)	Valor
100	1
50	2
25	3
12.5	4
Plan flexible	5
Reservado para uso futuro	0, 6 a 15

Para separaciones de canales superiores a 100 GHz, se puede elegir más de un plan (véase [b-UIT-T G.694.1]), por ello, se debe codificar el elemento correspondiente del plan con separación de 100 GHz.

**Cuadro V.2 – Codificación de la separación de canales con CWDM**

Separación de canales (nm)	Valor
20	1
Reservado para uso futuro	0, 2 a 15

- **n** (16 bits, 7 a 22): Valor utilizado para calcular la frecuencia como se muestra a continuación. Cuando el plan es "1", la frecuencia (THz) = 193,1 THz + n × separación de canales (THz). En el caso en el que el valor de la separación de canales se fija a "5", se debe usar una separación de canales de 6,25 GHz en la fórmula anterior. Cuando el plan es "2", se codifica la longitud de onda (nm) = 1471 nm + n × separación de canales (nm). n se codifica como un número complemento de dos de 16 bits.

- **m** (9 bits, 23 a 31): Cuando el plan es "1" y el valor de separación de canales se fija a "5" este es el valor utilizado para calcular la anchura de la franja: anchura de la franja (GHz) = 12,5 GHz × m (véase [b-UIT-T G.694.1]) y en otro caso se fija a 0. **m** se codifica como un número entero sin signo de 9 bits.

A modo de ejemplo, la codificación del elemento 193,85 THz (1546,518 nm aproximadamente) del plan con separaciones de 50 GHz de [b-UIT-T G.694.1] sería plan = 1, separación de canales = 2, n = 15, Reservado = 0. El resultado es una codificación de 000000000 0000000000001111 0010 001 ó 0x00000791.

## V.2 Origen del ID de parámetro (8 bits)

Este campo define el origen en la tabla de búsqueda de los indicadores de parámetro. El valor "1" corresponde a la presente Recomendación, todos los valores restantes se reservan para un uso ulterior.

## V.3 ID de parámetro (8 bits)

Cuando el origen del ID de parámetro es igual a "1", se aplica la codificación de parámetro del Cuadro V.3. Para los restantes valores de origen del ID de parámetro, la codificación de parámetro figura en el documento de referencia de V.2.

**Cuadro V.3 – Codificación del ID de parámetro**

Valor	Parámetro	Unidad	Notas
1	Potencia total	dBm	
2	Potencia de canal	dBm	
3	Desviación de frecuencia con la frecuencia nominal	GHz	Para canales DWDM
4	Desviación de longitud de onda con la nominal	nm	Para canales CWDM
5	OSNR	dB (0,1 nm)	Referida a una anchura de banda de ruido de 0,1 nm
6	Q	–	Q lineal
7	PMD	ps	DGD media. Este parámetro normalmente solo se mide durante la instalación.
8	Dispersión residual	ps/nm	Este parámetro normalmente solo se mide durante la instalación.

Los restantes valores del ID de parámetro se reservan para el futuro.

## V.4 Valor de los parámetros (32 bits)

El valor del parámetro se codifica como un número de coma flotante de 32 bits de conformidad con [b-IEEE 754]. El número de 32 bits se divide en un signo (1 bit), un exponente (8 bits) y una mantisa (23 bits). El valor del parámetro es por lo tanto:

$$\text{Valor} = (-1)^{\text{signo}} \times 2^{(\text{exponente} - 127)} \times (\text{número entre 1,0 y 2,0 derivado de la mantisa})$$

Para más detalles véase [b-IEEE 754].

## Bibliografía

- [b-UIT-T G.694.1] Recomendación UIT-T G.694.1 (2002), *Planes espectrales para las aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda: Plan de frecuencias con multiplexación por división de longitud de onda densa.*
- [b-UIT-T G.694.2] Recomendación UIT-T G.694.2 (2003), *Planes espectrales para las aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda: Plan de multiplexación por división aproximada de longitud de onda.*
- [b-UIT-T G.709] Recomendación UIT-T G.709/Y.1331 (2003), *Interfaces para la red óptica de transporte.*
- [b-UIT-T G.826] Recomendación UIT-T G.826 (2002), *Parámetros y objetivos de las características de error de extremo a extremo para conexiones y trayectos digitales internacionales de velocidad binaria constante*
- [b-UIT-T G-Sup.39] Serie de Recomendaciones G del UIT-T – Suplemento 39 (2003), *Consideraciones sobre diseño e ingeniería de sistemas ópticos.*
- [b-IEC 61280-2-9] IEC 61280-2-9 (2009), *Fibre optic communication subsystem test procedures – Part 2-9: Digital systems – Optical signal-to-noise ratio measurement for dense wavelength-division multiplexed systems.*
- [b-IEEE 754] IEEE 754-2008, *Standard for Floating-Point Arithmetic.*
- [b-Rasztovits-Wiech] Rasztovits-Wiech, M., Danner, y M., Leeb, W. R. (1998), *Optical signal-to-noise measurement in WDM networks using polarization extinction*, Proceedings of the 34th European Conference on Optical Communication (ECOC 1998), Madrid, September 1998, pp. 549-550.



## 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
<b>Serie G</b>	<b>Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales</b>
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