

Unión Internacional de Telecomunicaciones

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

G.667

(12/2006)

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 componentes
y los subsistemas ópticos

**Características de los compensadores de
dispersión cromática adaptables**

Recomendación UIT-T G.667

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 – 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.667

Características de los compensadores de dispersión cromática adaptables

Resumen

Esta Recomendación contiene los parámetros y las definiciones de los dispositivos que ofrecen compensación adaptable de la dispersión cromática. Se trata de equipos necesarios para la transmisión y detección de señales ópticas en un sistema en el que se observan altos niveles de variación dinámica de la dispersión cromática, niveles que podrían degradar el funcionamiento del sistema. Se describen compensadores de dispersión adaptables en una línea de comunicación con un solo canal o con múltiples canales, así como transmisores y receptores con compensación de dispersión adaptable con un solo canal y con múltiples canales, que pueden incluir métodos eléctricos u ópticos de compensación de la dispersión cromática. En los apéndices informativos puede encontrarse información relativa a la implementación de la compensación adaptable de la dispersión cromática en un solo canal y en múltiples canales, así como los principios de la compensación adaptable de la dispersión.

Orígenes

La Recomendación UIT-T G.667 fue aprobada el 14 de diciembre de 2006 por la Comisión de Estudio 15 (2005-2008) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8.

PREFACIO

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

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

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

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

NOTA

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

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

PROPIEDAD INTELECTUAL

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

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT 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 2008

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
2.1 Referencias normativas	1
3 Términos y definiciones	2
3.1 Términos que se definen en otras Recomendaciones	2
3.2 Definiciones.....	2
4 Abreviaturas, siglas o acrónimos	5
5 Configuraciones de referencia	6
5.1 ADC de línea	7
5.2 Transmisores con ADC	7
5.3 Receptores con ADC	8
6 Parámetros de los ADC	9
Apéndice I – Implementación de compensadores de dispersión adaptable (ADC) de un solo canal y multicanal	14
I.1 Implementación de un ADC de línea de un solo canal o multicanal.....	14
I.2 Implementación de un transmisor con ADC de un solo canal	15
I.3 Implementación de un transmisor con ADC multicanal	16
I.4 Implementación de un receptor con ADC de un solo canal	17
I.5 Implementación de un receptor con ADC multicanal	18
Apéndice II – Principios de la compensación de la dispersión adaptable (ADC)	21
II.1 Introducción.....	21
II.2 Aplicaciones de la compensación de dispersión adaptable	21
II.3 Principios de la compensación de dispersión adaptable.....	22
II.4 Supervisión de la dispersión cromática	27
Bibliografía	31

Recomendación UIT-T G.667

Características de los compensadores de dispersión cromática adaptables

1 Alcance

Esta Recomendación contiene los parámetros y las definiciones de los dispositivos que ofrecen compensación adaptable de la dispersión cromática, necesarios para la transmisión y detección de señales ópticas en un sistema en el que se observa variación dinámica de la dispersión cromática. Los dispositivos de compensación de la dispersión adaptables que se describen incluyen aplicaciones para un solo canal y para múltiples canales. En esta Recomendación se definen los requisitos y los parámetros esenciales de los compensadores de dispersión adaptables (ADC, *adaptive dispersion compensators*). Asimismo, se establece una distinción entre los compensadores de dispersión adaptables de línea, y los transmisores y receptores con compensación de dispersión adaptable que pueden incluir métodos eléctricos u ópticas de compensación de la dispersión cromática.

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.

2.1 Referencias normativas

- [UIT-T G.650.2] Recomendación UIT-T G.650.2 (2005), *Definiciones y métodos de prueba de los atributos conexos de las características estadísticas y no lineales de fibras 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.654] Recomendación UIT-T G.654 (2006), *Características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado.*
- [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.656] Recomendación UIT-T G.656 (2006), *Características de las fibras y cables con dispersión no nula para el transporte de servicios de banda ancha.*
- [UIT-T G.661] Recomendación UIT-T G.661 (2006), *Definición y métodos de prueba de los parámetros genéricos pertinentes de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos.*
- [UIT-T G.662] Recomendación UIT-T G.662 (2005), *Características genéricas de los dispositivos y subsistemas de amplificadores ópticos.*

- [UIT-T G.665] Recomendación UIT-T G.665 (2005), *Características generales de los amplificadores Raman y de los subsistemas con amplificación Raman.*
- [UIT-T G.666] Recomendación UIT-T G.666 (2005), *Características de los compensadores de dispersión por modo de polarización y de los receptores con compensación de dispersión por modo de polarización.*
- [UIT-T G.671] Recomendación UIT-T G.671 (2005), *Características de transmisión de los componentes y subsistemas ópticos.*
- [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 por multiplexación por división de longitud de onda densa.*

3 Términos y definiciones

3.1 Términos que se definen en otras Recomendaciones

En esta Recomendación se utilizan los siguientes términos que se definen en [UIT-T G.671]:

- gama de frecuencias de canal;
- pérdida de inserción del canal;
- desviación de la pérdida de inserción de canal;
- rizado de fase;
- pérdida de inserción;
- pérdida dependiente de la polarización;
- reflectancia dependiente de la polarización;
- dispersión en modo de polarización.

En esta Recomendación se utilizan los siguientes términos que se definen en la Rec. UIT-T G.692:

- desviación máxima de la frecuencia central.

En esta Recomendación se utilizan los siguientes términos que se definen en la Rec. UIT-T G.698.1:

- desviación espectral máxima.

3.2 Definiciones

En esta Recomendación se definen los siguientes términos.

3.2.1 transmisor ADC: Transmisor óptico que incluye funcionalidad de compensación de dispersión cromática adaptable.

3.2.2 receptor ADC: Receptor óptico que incluye funcionalidad de compensación de dispersión cromática adaptable.

3.2.3 parámetro de compensación de dispersión: Este parámetro depende del tipo de dispositivo de compensación de dispersión, y describe la calidad de funcionamiento de la compensación de dispersión que se puede alcanzar con un ADC.

En el caso de un transmisor ADC, la calidad de funcionamiento de la transmisión con relación a la dispersión de dicho transmisor puede modificarse adaptativamente con arreglo al cambio de la dispersión del enlace de transmisión óptico en el que está funcionando. El parámetro de compensación de dispersión es el valor de acomodación de la dispersión de la señal del transmisor óptico que puede ser alcanzado por el transmisor ADC en la gama de frecuencias del canal.

En el caso de un ADC de línea, el valor de compensación de la dispersión entre el puerto de entrada y el puerto de salida de dicho ADC puede modificarse adaptativamente con arreglo al cambio de la dispersión del enlace de transmisión óptico en el que está funcionando el ADC de línea. El parámetro de compensación de la dispersión es el valor de compensación de dispersión entre el puerto de entrada y el puerto de salida que puede ser alcanzado por el dispositivo ADC de línea en la gama de frecuencias del canal.

En el caso de un receptor ADC, la tolerancia a la dispersión del receptor puede modificarse adaptativamente con arreglo al valor de dispersión residual del enlace de transmisión óptico. El parámetro de compensación de dispersión es el valor de dispersión residual aceptable de la señal de entrada óptica al receptor ADC en la gama de frecuencias del canal, mientras la tasa de errores en los bits (BER, *bit error ratio*) permanece por debajo del límite especificado.

3.2.4 gama de sintonización de la compensación de dispersión: Diferencia entre los valores máximo y mínimo del parámetro de compensación de dispersión de un dispositivo ADC (medida en ps/nm).

3.2.5 tiempo de sintonización de la compensación de dispersión: En el caso de un transmisor ADC o de un ADC de línea, se trata del tiempo de duración entre el comienzo de un cambio del parámetro de compensación de la dispersión y el momento tras el que el parámetro permanece dentro de los límites del nuevo valor objetivo más y menos la tolerancia especificada. Esta condición se ilustra en la figura 3-1.

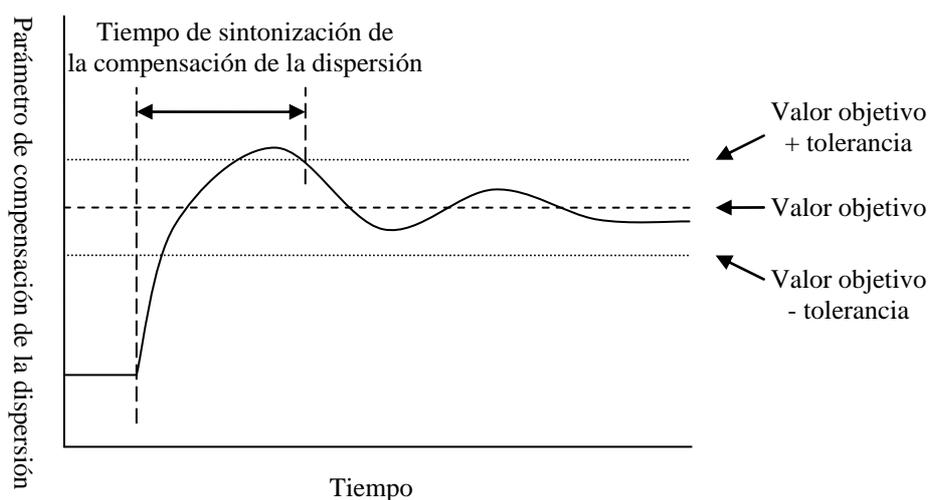


Figura 3-1 – Ilustración del tiempo de sintonización de la compensación de la dispersión de un transmisor ADC o de un ADC de línea

En el caso de un transmisor ADC, la tolerancia especificada corresponde al error especificado del valor de acomodación de dispersión.

En el caso de un ADC de línea, la tolerancia corresponde al error especificado del valor de compensación de la dispersión.

En el caso de un receptor ADC, el tiempo de sintonización de compensación de dispersión es el tiempo entre un cambio radical de la dispersión residual de la señal de entrada y el momento tras el cual la BER permanece por debajo de un límite especificado. Esta situación se ilustra en la figura 3-2.

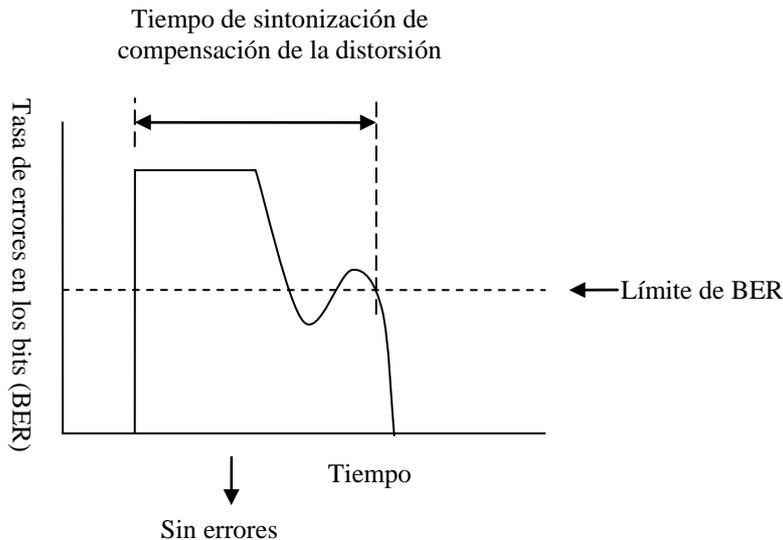


Figura 3-2 – Ilustración del tiempo de sintonización de la compensación de la dispersión de un receptor ADC

NOTA – El tiempo de sintonización dependerá de la gama entre el estado actual y el nuevo estado objetivo.

3.2.6 tasa máxima de cambio del parámetro de compensación de dispersión: Se trata de la tasa de cambio máxima de la dispersión cromática del enlace en función del tiempo que puede ser compensada adecuadamente por el dispositivo ADC.

Este parámetro depende del tipo de dispositivo de compensación de dispersión.

En el caso de un transmisor ADC o de un ADC de línea, se trata del valor máximo de la tasa de cambio de la dispersión cromática del enlace en función del tiempo (en ps/nm/s) que puede ser compensado, mientras se mantiene la dispersión residual del enlace dentro de la tolerancia especificada.

En el caso de un receptor ADC, se trata del valor máximo de la tasa de cambio de la dispersión cromática del enlace en función del tiempo (en ps/nm/s), que puede ser tolerado, mientras se cumple con la BER especificada.

3.2.7 relación señal óptica/ruido mínima: Valor de la relación de la señal óptica/ruido (OSNR, *optical signal-to-noise ratio*) en el punto MPI-R para alcanzar la BER especificada para la dispersión residual óptima del enlace. Este parámetro depende del tipo de sistema óptico.

En el caso de un sistema con un solo canal, se trata del valor mínimo de la relación entre la potencia de la señal y la densidad de potencia de ruido (referida a 0,1 nm) a la longitud de onda de la señal.

En el caso de un sistema con múltiples canales, se trata del valor mínimo de la relación entre la potencia de la señal en el canal deseado y la densidad de potencia de ruido más alta (referida a 0,1 nm) en la gama de la frecuencia central más y menos la desviación de la frecuencia central o la máxima desviación espectral.

3.2.8 penalización de OSNR debida a la dispersión cromática: Diferencia en la relación señal óptica/ruido en el punto MPI-R para alcanzar la BER especificada entre la dispersión residual óptima del enlace y el valor para el caso más desfavorable de todos los valores especificados de dispersión residual del enlace.

3.2.9 sensibilidad del receptor ADC: Valor de la potencia media recibida en el punto MPI-R para alcanzar la BER especificada. Se debe satisfacer para la dispersión residual óptima del enlace con un transmisor en el caso más desfavorable, pero no tiene que satisfacerse con degradaciones del trayecto óptico distintas a la dispersión.

3.2.10 penalización de la sensibilidad del receptor ADC debida a la dispersión cromática: Diferencia en la potencia media recibida en el punto MPI-R para alcanzar la BER especificada entre la dispersión residual óptima del enlace y el valor para el caso más desfavorable de todos los valores especificados de dispersión residual del enlace. No tiene que satisfacerse con degradaciones del trayecto óptico distintas a la dispersión.

4 Abreviaturas, siglas o acrónimos

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

ADC	Compensador de dispersión adaptable (<i>adaptive dispersion compensation</i>)
ADC-Rx	Receptor con compensador de dispersión adaptable (<i>adaptive dispersion compensating receiver</i>)
ADC-Tx	Transmisor con compensador de dispersión adaptable (<i>adaptive dispersion compensating transmitter</i>)
BER	Tasa de errores en los bits (BER, <i>bit error ratio</i>)
DEMUX	Demultiplexor (<i>demultiplexer</i>)
DFE	Ecualizador por realimentación de decisiones (<i>decision feedback equalization</i>)
EDC	Compensación de dispersión eléctrica (<i>electrical dispersion compensation</i>)
FBG	Rejilla de Bragg de fibra (<i>fibre Bragg grating</i>)
FFE	Ecualizador de alimentación hacia adelante (<i>feed forward equalization</i>)
LADC	Compensador de dispersión adaptable de línea (<i>line adaptive dispersion compensator</i>)
M-ADC-Rx	Receptor con compensación de dispersión adaptable multicanal (<i>multichannel adaptive dispersion compensating receiver</i>)
M-ADC-Tx	Transmisor con compensación de dispersión adaptable multicanal (<i>multichannel adaptive dispersion compensating transmitter</i>)
M-LADC	Compensador de dispersión adaptable de línea multicanal (<i>multichannel line adaptive dispersion compensator</i>)
MLSE	Estimación de la secuencia de máxima probabilidad (<i>maximum likelihood sequence estimation</i>)
MPI	Interfaz de trayecto principal (<i>main path interface</i>)
MUX	Multiplexor (<i>multiplexer</i>)
NRZ	Sin retorno a cero (<i>non-return to zero</i>)
OA	Amplificador óptico (<i>optical amplifier</i>)
O-E-O	Conversión óptica-eléctrica-óptica (<i>optical-electrical-optical (conversion)</i>)
OSNR	Relación señal óptica/ruido (<i>optical signal-to-noise ratio</i>)
PDL	Pérdida dependiente de la polarización (<i>polarization-dependant loss</i>)
PMD	Dispersión por modo de polarización (<i>polarization mode dispersión</i>)
RZ	Retorno a cero (<i>return to zero</i>)

S-ADC-Rx	Receptor con compensación de dispersión adaptable de un solo canal (<i>single-channel adaptive dispersion compensating receiver</i>)
S-ADC-Tx	Transmisor con compensación de dispersión adaptable de un solo canal (<i>single-channel adaptive dispersion compensating transmitter</i>)
S-LADC	Compensador de dispersión adaptable de línea de un solo canal (<i>single-channel line adaptive dispersion compensator</i>)
VIPA	Superficies en fase con reflexión parcial de la señal de entrada (<i>virtually-imaged phased-array</i>)
VSB	Banda lateral residual (<i>vestigial sideband</i>)
WDM	Multiplexión por división en longitud de onda (<i>wavelength division multiplexing</i>)

5 Configuraciones de referencia

Los ADC son útiles para reducir las degradaciones de la señal provocadas por la dispersión en los sistemas de transmisión ópticos mediante el cambio dinámico de la dispersión. Por consiguiente, las características de los ADC deben tenerse en cuenta (al menos en parte) junto con todo el sistema de transmisión.

Se prevé que los ADC serán utilizados en, al menos, dos aplicaciones.

La primera consiste en emplear el ADC para compensar cambios lentos de dispersión en el enlace en función del tiempo debido a los efectos del entorno, como por ejemplo la temperatura. Esta aplicación se conoce como dispersión en el enlace con cambio lento.

La segunda consiste en emplear el ADC para compensar cambios radicales y repentinos de dispersión en el enlace debidos a la conmutación o a algún otro proceso de reconfiguración del enlace de transmisión. Esta aplicación se conoce como dispersión en el enlace con cambio radical.

En la figura 5-1 se ilustra una configuración genérica de un sistema de transmisión con uno o varios ADC. Consiste en un terminal de transmisión, un terminal de recepción y un enlace de transmisión en el medio con uno o varios ADC de línea facultativos. Un sistema con un solo canal consta de un transmisor de un solo canal y un terminal de recepción, mientras que en un sistema multicanal se emplea un transmisor multicanal y un terminal de recepción.

En las siguientes cláusulas se establece una diferencia entre los ADC de línea óptica (LADC) y los transmisores y receptores con ADC. Se aplica un método de bastidor común (caja negra) a los ADC de línea y los transmisores y receptores con ADC. En el bastidor se incluye (si las hubiere) funciones de supervisión y control. En el apéndice I se puede encontrar información adicional relativa a las opciones de implementación de todos estos dispositivos, y en el apéndice II se presentan los pormenores de la tecnología subyacente correspondiente.

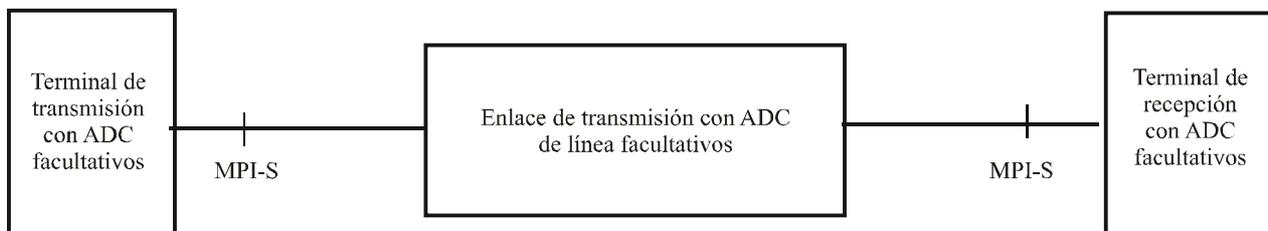


Figura 5-1 – Configuración genérica de un sistema de transmisión con uno o varios ADC

5.1 ADC de línea

Los ADC de línea tienen un puerto de entrada y uno de salida ópticos y no realizan conversión alguna de tipo O-E-O de la señal que pasa de un puerto al otro. Un ADC de línea de un solo canal (S-LADC) puede manejar una señal óptica de un canal único, mientras que un ADC de línea multicanal (M-LADC) está diseñado para una señal óptica multicanal. Ambos tipos se ilustran esquemáticamente en las figuras 5-2 y 5-3, respectivamente.



Figura 5-2 – Configuración de referencia de un ADC de línea de un solo canal (S-LADC)



Figura 5-3 – Configuración de referencia de un ADC de línea multicanal (M-LADC)

5.2 Transmisores con ADC

En el caso de los transmisores con ADC (ADC-Tx) la funcionalidad ADC está integrada en el bastidor del transmisor. Hay varias opciones para crear transmisores con ADC. Los transmisores con ADC de un solo canal son diferentes de los transmisores con ADC multicanales.

En la figura 5-4 se ilustra un diagrama esquemático de un transmisor con ADC de un solo canal (S-ADC-Tx). En el punto de referencia MPI-S sale una señal óptica de un solo canal.



Figura 5-4 – Configuración de referencia de un transmisor con ADC de un solo canal

En la figura 5-5 se presenta esquemáticamente un transmisor con ADC multicanal. En el punto de referencia MPI-S sale una señal óptica multicanal. Hay un ADC antes del multiplexor (MUX) (en el transmisor Tx) para los canales ópticos individuales y/o un ADC después del multiplexor que actúa sobre la señal combinada de todos los transmisores.

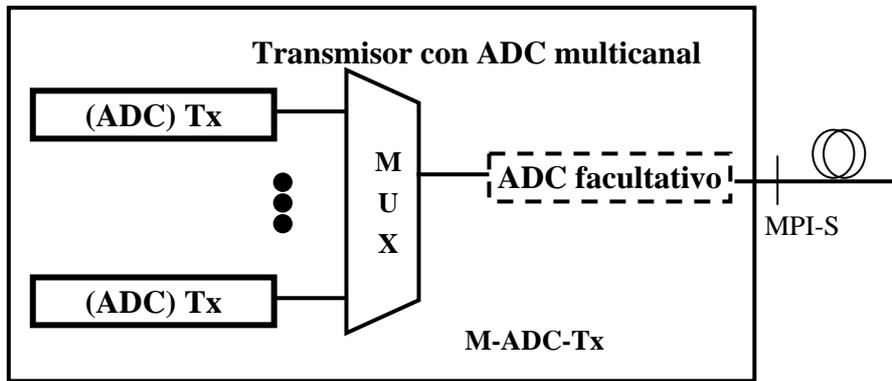


Figura 5-5 – Configuración de referencia de un transmisor con ADC multicanal (M-ADC-Tx)

5.3 Receptores con ADC

En el caso de los receptores con ADC (ADC-Rx) la funcionalidad ADC está integrada en el bastidor del receptor. Hay varias opciones para crear receptores con ADC. Los receptores con ADC de un solo canal son diferentes de los receptores con ADC multicanales.

En la figura 5-6 se ilustra un diagrama esquemático de un receptor con ADC de un solo canal (S-ADC-Rx). En el punto de referencia MPI-R entra una señal óptica de un solo canal al receptor. A continuación, la señal se detecta con la funcionalidad ADC.



Figura 5-6 – Configuración de referencia de un receptor con ADC de un solo canal

En la figura 5-7 se presenta esquemáticamente un receptor con ADC multicanal. En el punto de referencia MPI-R entra una señal óptica multicanal al terminal del receptor. La función ADC puede realizarse después y/o antes del DEMUX.

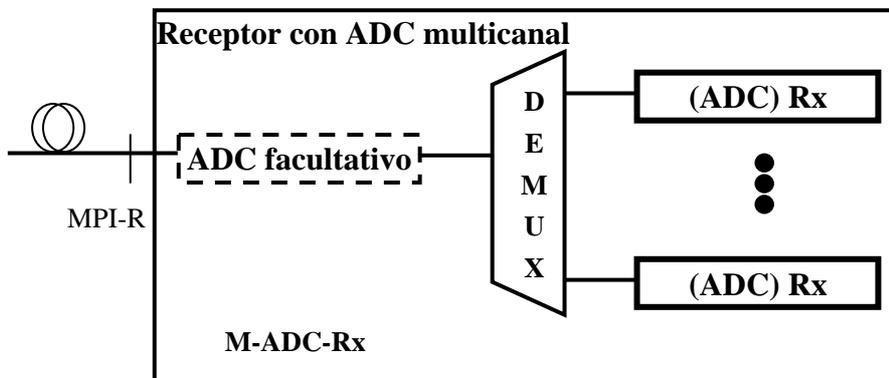


Figura 5-7 – Configuración de referencia de un receptor con ADC multicanal (M-ADC-Rx)

6 Parámetros de los ADC

En esta cláusula se presentan los parámetros correspondientes a los ADC. Los parámetros comunes para todos los tipos de ADC se resumen en el cuadro 6-1. Los parámetros adicionales para los diversos tipos de ADC se incluyen en los cuadros 6-2 a 6-7.

Cuadro 6-1 – Parámetros comunes

Parámetros	Punto de referencia	Unidad	Ejemplos (sólo para ilustrar las aplicaciones particulares)
Tipo de fibra			
Tipo de fibra de línea	MPI-S →R _S o MPI-S →R _M o S _S → MPI-R o S _M → MPI-R o MPI-S →MPI-R	–	G.652.A-D, G.653, G.654, G.655, G.656
Características de la señal óptica			
Velocidad binaria mínima	R _S o R _M o MPI-S o MPI-R	Gbit/s	
Velocidad binaria máxima	R _S o R _M o MPI-S o MPI-R	Gbit/s	
Formato de modulación (o "formato de la señal")	R _S o R _M o MPI-S o MPI-R	–	"Cualquier formato", "sólo NRZ", "NRZ y RZ"
Parámetros independientes de la dispersión del trayecto óptico anterior			
Dispersión en modo de polarización acumulada máxima	R _S o R _M o MPI-R	ps	
Parámetros relacionados con la dispersión			
Gama de sintonización de compensación de distorsión mínima	R _S →S _S o R _M →S _M o MPI-S o MPI-R	ps/nm	
Tiempo de sintonización de compensación de distorsión máxima ^{a)}	R _S →S _S o R _M →S _M o MPI-S o MPI-R	s	
Tasa mínima de cambio del parámetro de compensación de dispersión ^{b)}	R _S →S _S o R _M →S _M o MPI-S o MPI-R	ps/nm/s	
^{a)} En el caso de un ADC que se emplea en una aplicación de dispersión en un enlace con cambios radicales se debe cumplir con este parámetro. ^{b)} En el caso de un ADC que se emplea en una aplicación de dispersión en un enlace con cambios lentos se debe cumplir con este parámetro.			

Cuadro 6-2 – Parámetros para un ADC de línea de un solo canal (S-LADC)

Parámetros	Punto de referencia	Unidad	Ejemplos (sólo para ilustrar las aplicaciones particulares)
Parámetros ópticos generales para un solo canal			
Frecuencia óptica central nominal	R_S	THz	
Desviación máxima de la frecuencia central o desviación espectral	R_S	GHz	
Parámetros relacionados con la potencia óptica			
Potencia de entrada mínima	R_S	dBm	
Potencia de entrada máxima	R_S	dBm	
Pérdida por inserción mínima (incl. unidad OA opcional) ^{a)}	$R_S \rightarrow S_S$	dB	
Pérdida por inserción máxima (incl. unidad OA opcional) ^{a)}	$R_S \rightarrow S_S$	dB	
Desviación de la pérdida por inserción máxima (incl. unidad OA opcional) ^{a)}	$R_S \rightarrow S_S$	dB	
Reflectancia máxima en el puerto de entrada	R_S	dB	
Reflectancia dependiente de la polarización máxima en el puerto de entrada	R_S	dB	
Pérdida dependiente de la polarización máxima (PDL)	$R_S \rightarrow S_S$	dB	
Dispersión por modo de polarización máxima (PMD)	$R_S \rightarrow S_S$	ps	
Parámetros relacionados con la dispersión			
Rizado de fase máximo	$R_S \rightarrow S_S$	rad	
^{a)} Si el ADC de línea incluye un amplificador óptico opcional, se requieren parámetros adicionales. Véanse las Recs. UIT-T G.661 y G.662 para encontrar más detalles.			

Cuadro 6-3 – Parámetros para un ADC de línea multicanal (M-LADC)

Parámetros	Punto de referencia	Unidad	Ejemplos (sólo para ilustrar las aplicaciones particulares)
Parámetros ópticos generales para multicanal			
Número máximo de canales	R_M	–	
Frecuencia central de los canales nominales	R_M	THz	191,9 + 0,2*m, m=0 a 19
Separación mínima entre canales	R_M	GHz	100, 200
Desviación máxima de la frecuencia central o desviación espectral	R_M	GHz	
Parámetros relacionados con la potencia óptica			
Potencia de entrada al canal mínima	R_M	dBm	
Potencia de entrada al canal máxima	R_M	dBm	
Pérdida por inserción en el canal mínima (incl. unidad OA opcional) ^{a)}	$R_M \rightarrow S_M$	dB	
Pérdida por inserción en el canal máxima (incl. unidad OA opcional) ^{a)}	$R_M \rightarrow S_M$	dB	

Cuadro 6-3 – Parámetros para un ADC de línea multicanal (M-LADC)

Parámetros	Punto de referencia	Unidad	Ejemplos (sólo para ilustrar las aplicaciones particulares)
Desviación de la pérdida por inserción en el canal máxima (incl. unidad OA opcional) ^{a)}	$R_M \rightarrow S_M$	dB	
Reflectancia máxima en el puerto de entrada	R_M	dB	
Reflectancia dependiente de la polarización máxima en el puerto de entrada	R_M	dB	
Dispersión por modo de polarización máxima (PMD)	$R_M \rightarrow S_M$	ps	
Pérdida dependiente de la polarización máxima (PDL)	$R_M \rightarrow S_M$	dB	
Parámetros relacionados con la dispersión			
Rizado de fase de canal máximo	$R_M \rightarrow S_M$	rad	
^{a)} Si el ADC de línea incluye un amplificador óptico opcional, se requieren parámetros adicionales. Véanse las Recs. UIT-T G.661 y G.662 para encontrar más detalles.			

Cuadro 6-4 – Parámetros del transmisor con ADC de un solo canal (S-ADC-Tx)

Parámetros	Punto de referencia	Unidad	Ejemplos (sólo para ilustrar las aplicaciones particulares)
Parámetros ópticos generales para un solo canal			
Frecuencia óptica central nominal	MPI-S	THz	
Desviación máxima de la frecuencia central o desviación espectral	MPI-S	GHz	
Parámetros relacionados con la frecuencia óptica			
Potencia de salida mínima	MPI-S	dB	
Potencia de salida máxima	MPI-S	dB	
Pérdida de retorno máxima en el puerto de salida	MPI-S	dB	

Cuadro 6-5 – Parámetros del transmisor con ADC multicanal (M-ADC-Tx)

Parámetros	Punto de referencia	Unidad	Ejemplos (sólo para ilustrar las aplicaciones particulares)
Parámetros ópticos generales para multicanal			
Número máximo de canales	MPI-S	–	
Frecuencia central de los canales nominales	MPI-S	THz	191,9 + 0,2*m, m=0 a 19
Separación mínima entre canales	MPI-S	GHz	100, 200
Desviación máxima de la frecuencia central o desviación espectral	MPI-S	GHz	
Parámetros relacionados con la potencia óptica			
Potencia de salida del canal mínima	MPI-S	dBm	
Potencia de salida del canal máxima	MPI-S	dBm	
Pérdida de retorno máxima en el puerto de salida	MPI-S	dB	

Cuadro 6-6 – Parámetros del receptor con ADC de un solo canal (S-ADC-Rx)

Parámetros	Punto de referencia	Unidad	Ejemplos (sólo para ilustrar las aplicaciones particulares)
Parámetros ópticos generales para un solo canal			
Frecuencia óptica central nominal	MPI-R	THz	
Desviación máxima de la frecuencia central o desviación espectral	MPI-R	GHz	
Parámetros relacionados con la potencia óptica			
Potencia de entrada mínima	MPI-R	dBm	
Potencia de entrada mínima	MPI-R	dBm	
Potencia de entrada mínima	MPI-R	dB	
Potencia de entrada mínima	MPI-R	dB	
Parámetros del sistema de transmisión de un solo canal			
Penalización de OSNR máxima debida a la dispersión cromática ^{a)}	MPI-R	dB	
Relación señal óptica/ruido mínima ^{a)}	MPI-R	dB	
Penalización de sensibilidad del receptor con ADC máxima debida a la dispersión cromática ^{b)}	MPI-R	dB	
Sensibilidad del receptor con ADC mínima ^{b)}	MPI-R	dBm	
^{a)} En el caso de un receptor con ADC que se emplea en un enlace con amplificadores se debe cumplir con estos parámetros. ^{b)} En el caso de un receptor con ADC que se emplea en un enlace sin amplificadores se debe cumplir con estos parámetros.			

Cuadro 6-7 – Parámetros del receptor con ADC multicanal (M-ADC-Rx)

Parámetros	Punto de referencia	Unidad	Ejemplos (sólo para ilustrar las aplicaciones particulares)
Parámetros ópticos generales para multicanales			
Número máximo de canales	MPI-R	–	
Frecuencia central de los canales nominales	MPI-R	THz	191,9 + 0,2*m, m=0 a 19
Separación mínima entre canales	MPI-R	GHz	100, 200
Desviación máxima de la frecuencia central o desviación espectral	MPI-R	GHz	
Parámetros relacionados con la potencia óptica			
Potencia de entrada al canal mínima	MPI-R	dBm	
Potencia de entrada al canal máxima	MPI-R	dBm	
Reflectancia máxima en el puerto de entrada	MPI-R	dB	
Reflectancia dependiente de la polarización máxima en el puerto de entrada	MPI-R	dB	

Cuadro 6-7 – Parámetros del receptor con ADC multicanal (M-ADC-Rx)

Parámetros	Punto de referencia	Unidad	Ejemplos (sólo para ilustrar las aplicaciones particulares)
Parámetros del sistema de transmisión multicanal que se aplican a cada canal			
Penalización de OSNR máxima debida a la dispersión cromática ^{a)}	MPI-R	dB	
Relación señal óptica/ruido mínima ^{a)}	MPI-R	dB	
Penalización máxima de sensibilidad del receptor con ADC en el canal debida a la dispersión cromática ^{b)}	MPI-R	dB	
Sensibilidad mínima del receptor con ADC en el canal ^{b)}	MPI-R	dBm	
^{a)} En el caso de un receptor con ADC que se emplea en un enlace con amplificadores se debe cumplir con estos parámetros. ^{b)} En el caso de un receptor con ADC que se emplea en un enlace sin amplificadores se debe cumplir con estos parámetros.			

Apéndice I

Implementación de compensadores de dispersión adaptable (ADC) de un solo canal y multicanal

(Este apéndice no es parte integrante de esta Recomendación)

I.1 Implementación de un ADC de línea de un solo canal o multicanal

Un ADC de línea de un solo canal (ilustrado de modo genérico en la figura 5-2) o un ADC de línea multicanal (ilustrado de modo genérico en la figura 5-3) puede configurarse mediante diferentes esquemas de implementación. En la figura I.1 se presenta una opción de un ADC de línea empleando un compensador de dispersión sintonizable y una unidad de supervisión de dispersión cromática. La señal óptica pasa por el ADC de línea del punto de referencia de entrada R_S (o R_M) al punto de referencia de salida S_S (o S_M). En esta implementación, la señal de control para el compensador de distorsión sintonizable se deriva de un supervisor de dispersión ubicado en el mismo bastidor del S-LADC o M-LADC.

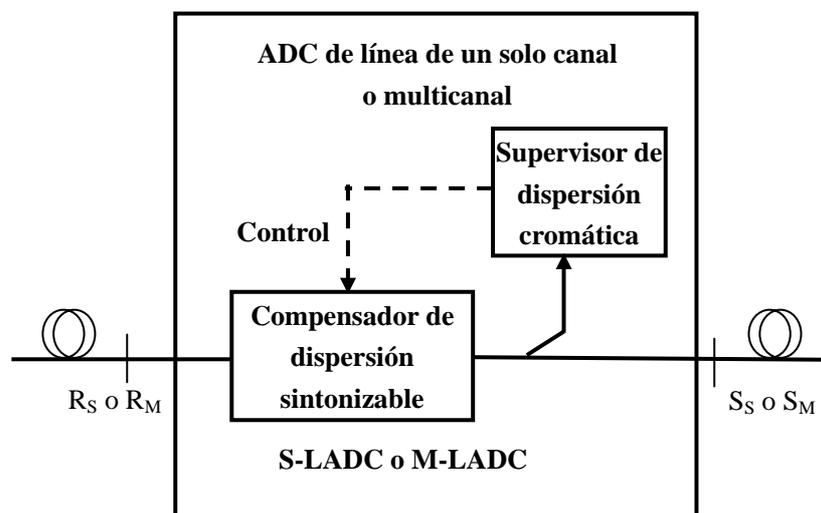


Figura I.1 – Opción de implementación A de un ADC de línea de un solo canal (S-LADC) o de un ADC de línea multicanal (M-LADC)

Una implementación alternativa se obtiene utilizando una señal de realimentación de otro u otros nodos ópticos, como se muestra en la figura I.2. La información relativa a la dispersión, por ejemplo, el valor de dispersión de toda la línea óptica que se está tratando de compensar con el ADC de línea, o la información de calidad de la señal relacionada con la dispersión que proviene del receptor óptico, la cual se recoge mediante un sistema de intercambio de información relacionada con la dispersión en toda la línea óptica a la que está tratando de compensar el ADC de línea, se emplea para ajustar el compensador de dispersión sintonizable a fin de lograr una calidad de funcionamiento optimizada de la compensación de la dispersión cromática.

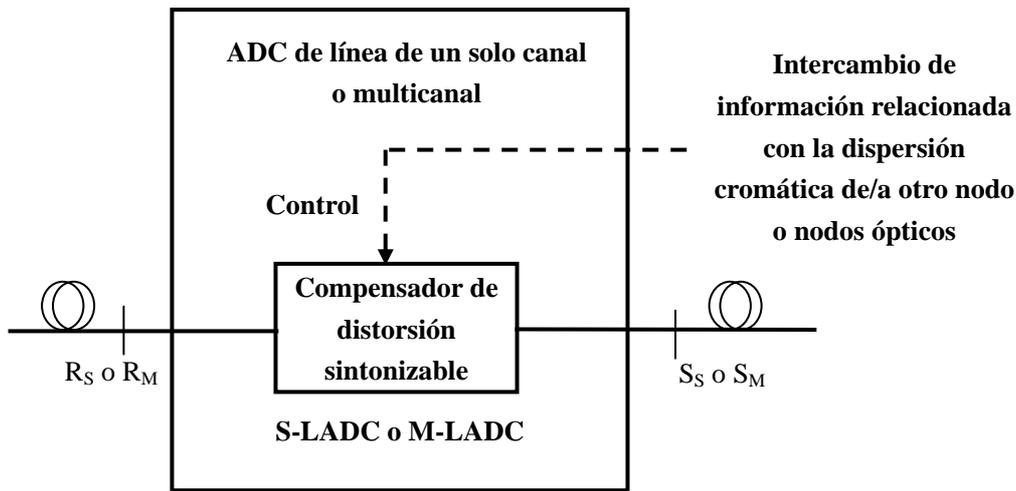


Figura I.2 – Opción de implementación B de un ADC de línea de un solo canal (S-LADC) o de un ADC de línea multicanal (M-LADC)

I.2 Implementación de un transmisor con ADC de un solo canal

Un transmisor con ADC de un solo canal (ilustrado de modo genérico en la figura 5-4) también puede configurarse mediante diferentes esquemas de implementación. En la figura I.3 se presenta una opción. La señal óptica sale del transmisor con ADC en el punto de referencia MPI-S. La señal de realimentación de/a otro nodo u nodos ópticos que se muestra en la figura I.3 posibilita que el transmisor con ADC funcione en un régimen optimizado. La información relativa a la dispersión, por ejemplo, el valor de dispersión de toda la línea óptica a la que está tratando de compensar el transmisor con ADC, o la información de la calidad de la señal relacionada con la dispersión que proviene del receptor óptico, la cual se recoge mediante un sistema de intercambio de información relacionada con la dispersión en toda la línea óptica a la que está tratando de compensar el ADC de línea, se emplea para controlar la compensación de la distorsión del transmisor de dispersión sintonizable a fin de lograr una calidad de funcionamiento optimizada de la compensación de la dispersión cromática.

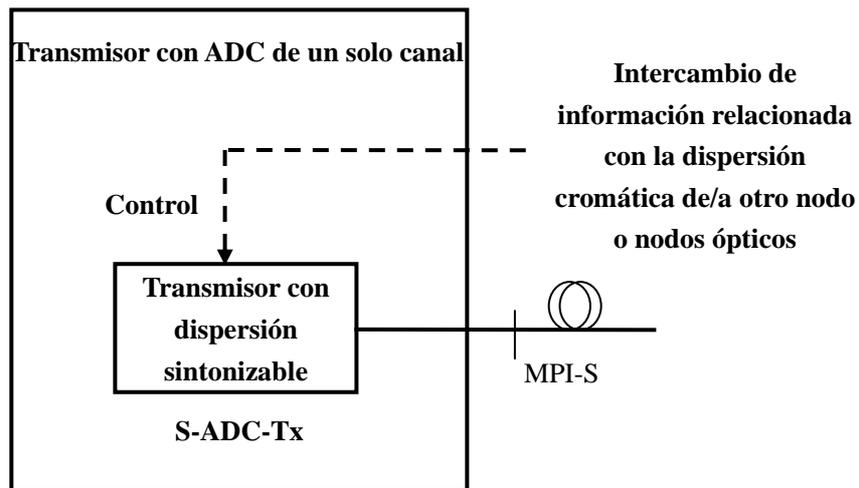


Figura I.3 – Opción de implementación de un transmisor con ADC de un solo canal (S-ADC-Tx)

I.3 Implementación de un transmisor con ADC multicanal

En las figuras I.4 a I.6 se ilustran tres opciones de implementación de un transmisor con ADC multicanal (ilustradas de modo genérico en la figura 5-5). La opción A incluye un ADC óptico después del multiplexor con transmisores convencionales. La opción B emplea sólo transmisores con ADC de un solo canal y un multiplexor. La opción C aplica una combinación de transmisores con ADC de un solo canal y un ADC óptico multicanal después del multiplexor.

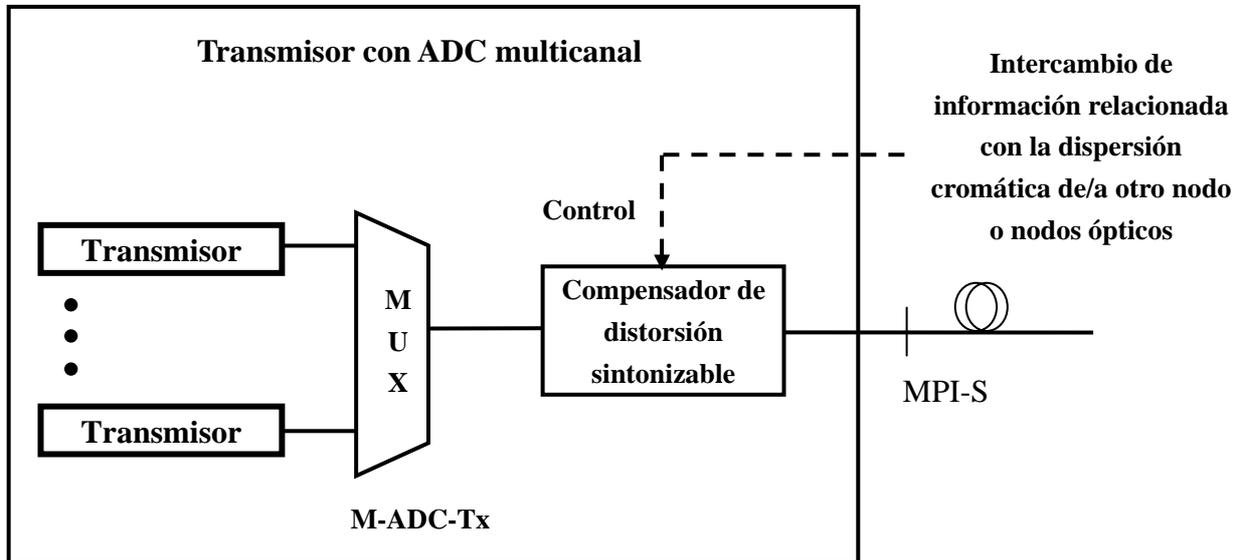


Figura I.4 – Opción de implementación A de un transmisor con ADC multicanal (M-ADC-Tx)

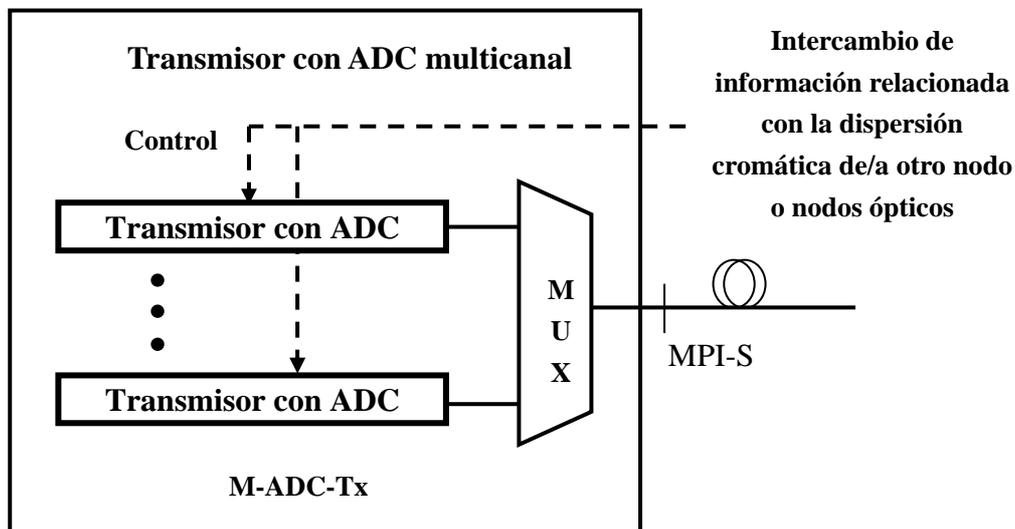


Figura I.5 – Opción de implementación B de un transmisor con ADC multicanal (M-ADC-Tx)

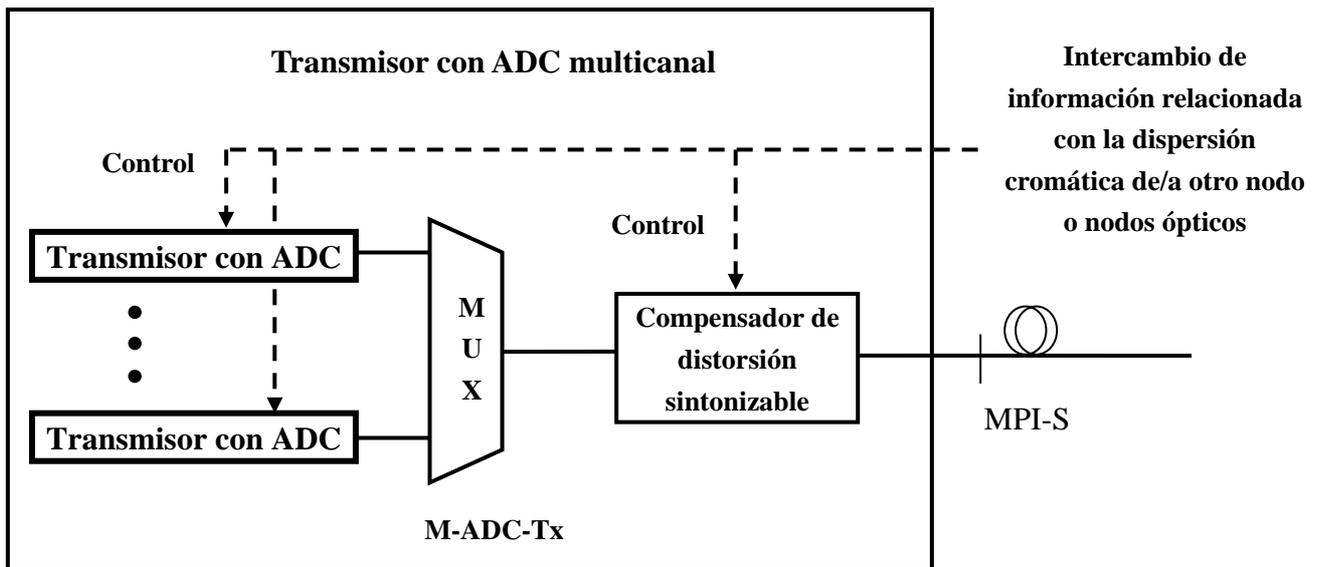


Figura I.6 – Opción de implementación C de un transmisor con ADC multicanal (M-ADC-Tx)

I.4 Implementación de un receptor con ADC de un solo canal

Los receptores con ADC de un solo canal (ilustrados de modo genérico en la figura 5-6) también pueden configurarse mediante diferentes esquemas de implementación. Una opción consiste en un compensador de dispersión sintonizable de línea de un solo canal que se presenta en la figura I.2 junto con un receptor convencional. La señal óptica en el punto de referencia MPI-R pasa por el compensador de distorsión óptico sintonizable antes de entrar al receptor. La dispersión de dicho compensador puede controlarse mediante la información de calidad de la señal relacionada con la dispersión que proviene del receptor óptico posibilitando que el compensador de distorsión sintonizable funcione en un régimen optimizado. Una opción alternativa es aplicar el valor de la dispersión de toda la línea óptica a la que está tratando de compensar el S-ADC-Rx, que no se muestra en la figura I.7.

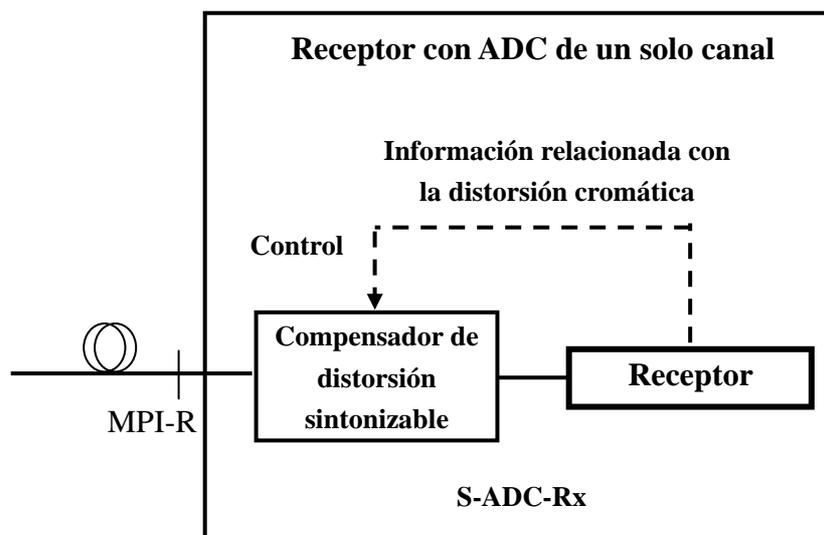


Figura I.7 – Opción de implementación A de un receptor con ADC de un solo canal (S-ADC-Rx)

Una implementación alternativa consiste en utilizar un receptor con compensación de dispersión eléctrica (EDC) como se indica en la figura I.8. Para los fines de la compensación de la dispersión cromática no se emplea ningún dispositivo óptico adicional. En lugar de ello, la función SDC se logra dentro del receptor gracias a medios eléctricos.



Figura I.8 – Opción de implementación B de un receptor con ADC de un solo canal (S-ADC-Rx)

NOTA – Aunque las dos implementaciones que se examinaron antes (óptica o EDC) no se especifican de manera diferente en esta Recomendación, en [b-UIT-T G.959.1] a las aplicaciones apropiadas para el empleo de compensadores de dispersión ópticos se les agrega un sufijo "D" y a las aplicaciones apropiadas para el empleo de compensadores basados en EDC se les añade un sufijo "E".

En la figura I.9 se muestra que también es posible una combinación de las dos implementaciones anteriores.

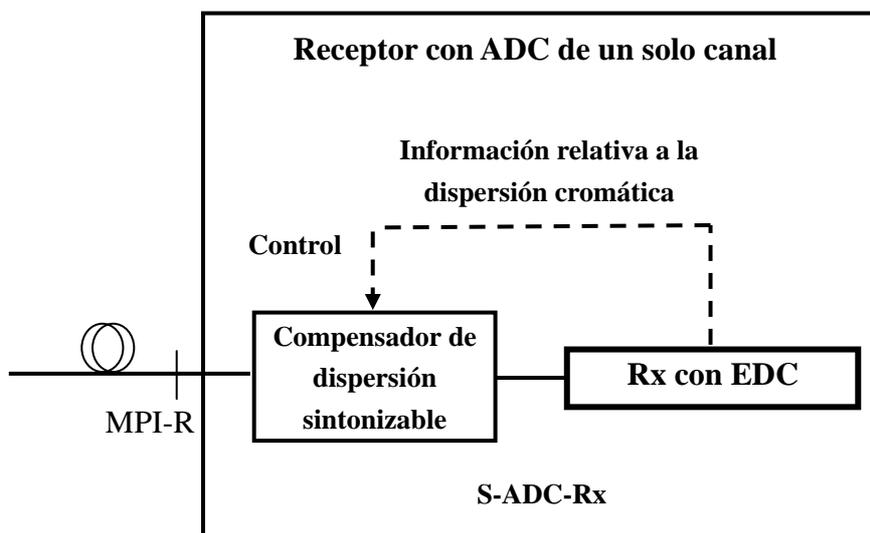


Figura I.9 – Opción de implementación C de un receptor con ADC de un solo canal (S-ADC-Rx)

I.5 Implementación de un receptor con ADC multicanal

De manera similar a la cláusula I.4, en las figuras I.10 a I.12 se ilustran tres opciones de implementación para los receptores con ADC multicanales. En la opción A se incluye un ADC óptico antes del demultiplexor con receptores convencionales. En la opción B sólo se utilizan receptores con ADC. En la opción C se emplea una combinación de un ADC óptico antes del demultiplexor y receptores con ADC. En cualquiera de las opciones B o C, los receptores con ADC pueden implementarse en la modalidad óptica o eléctrica. Por lo que respecta al caso de un solo canal, se puede controlar la dispersión de la función ADC con ayuda de la información de la calidad de la señal relacionada con la dispersión que proviene del receptor óptico, posibilitando que el ADC funcione en un régimen optimizado. Una alternativa consiste en aplicar el valor de la dispersión de toda la línea óptica a la que está tratando de compensar el M-ADC-Rx, que no se muestra en las figuras I.10 e I.12.

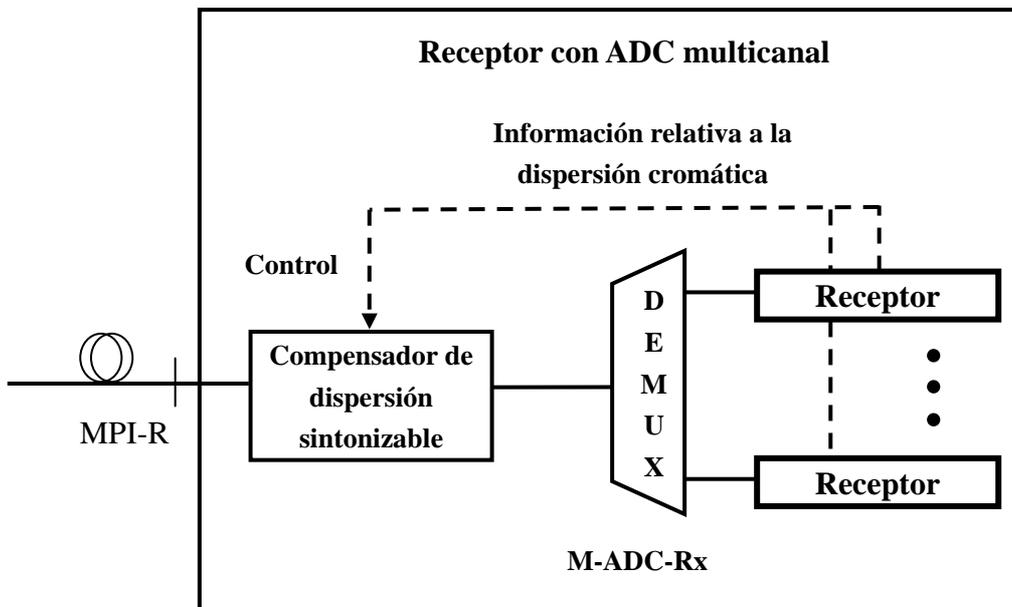


Figura I.10 – Opción de implementación A de un receptor con ADC multicanal (M-ADC-Rx)

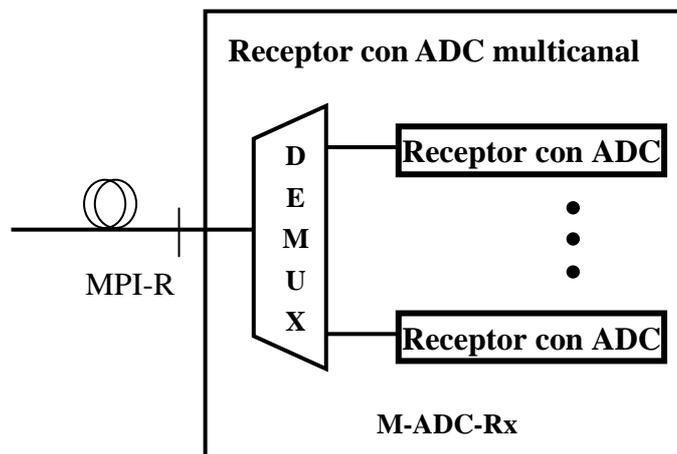


Figura I.11 – Opción de implementación B de un receptor con ADC multicanal (M-ADC-Rx)

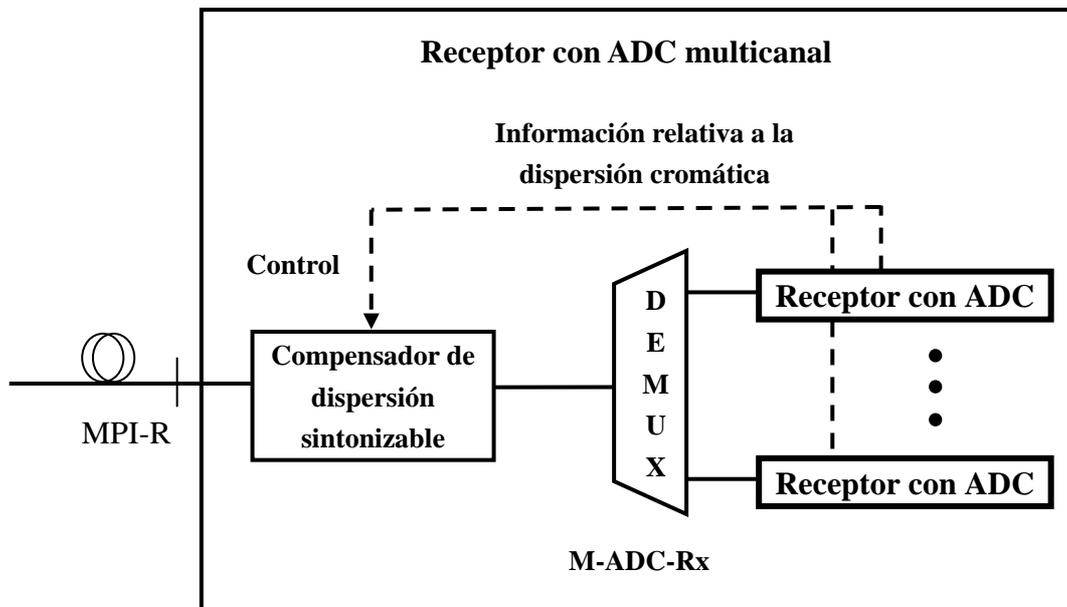


Figura I.12 – Opción de implementación C de un receptor con ADC multicanal (M-ADC-Rx)

Apéndice II

Principios de la compensación de la dispersión adaptable (ADC)

(Este apéndice no es parte integrante de esta Recomendación)

II.1 Introducción

La dispersión cromática en una fibra óptica monomodo es una combinación de dispersión de material y de longitud de onda que contribuye al ensanchamiento de los pulsos y a la distorsión de la señal digital. La dispersión propicia un desplazamiento de fase de la señal que pasa por la fibra, en función de la frecuencia, provocando el ensanchamiento de los pulsos de la longitud de la onda óptica en el receptor.

En el caso de enlaces donde la dispersión cromática tiende a ser demasiado grande, se emplea un dispositivo de compensación de dispersión para compensar esa distorsión en el trayecto óptico. Hoy en día, se utilizan diversos tipos de tecnología de acomodación de dispersión (DA). Por ejemplo, en la Rec. UIT-T G.691 se incluyen: la compensación de dispersión pasiva (PDC, *passive dispersion compensation*), la automodulación de fase (SPM, *self phase modulation*), la prefluctuación (PCH, *prechirp*) y la transmisión soportada por dispersión (DST, *dispersion supported transmission*).

En algunas aplicaciones, la dispersión cromática del trayecto óptico varía en función del tiempo o con la reconfiguración de la red óptica hasta tal grado que, para evitar las degradaciones de la señal en el receptor, es necesario emplear un compensador de dispersión adaptable para compensar dinámicamente los cambios de dispersión cromática en el enlace óptico.

II.2 Aplicaciones de la compensación de dispersión adaptable

Se prevé que los ADC se utilizarán en al menos dos aplicaciones: compensación de cambios lentos y de cambios radicales de la dispersión del enlace.

II.2.1 Aplicación de compensación de cambios lentos de la dispersión del enlace

En esta aplicación, se emplean los ADC para compensar los cambios lentos de la dispersión del enlace en función del tiempo, debidos a los efectos del entorno.

Un ejemplo de este tipo de aplicación es un sistema de transmisión óptica de 10 Gbit/s en un trayecto extremadamente largo. Ya que la dispersión cromática en una fibra óptica varía en función del tiempo y la temperatura, la dispersión residual de cada canal varía en consecuencia. Si la variación de la dispersión residual del canal excede la tolerancia del par transmisor-receptor a la dispersión, se necesitará un compensador de dispersión adaptable de un solo canal o multicanal para compensar dinámicamente los cambios de dispersión cromática del enlace óptico.

De manera similar, para un sistema de transmisión óptica de 40 Gbit/s de larga distancia, ya que la tolerancia del par transmisor-receptor a la distorsión es normalmente mucho menor que la de los sistemas de 10 Gbit/s, posiblemente se requerirá también compensación de dispersión con ajuste dinámico para compensar la variación de dispersión de la fibra del enlace óptico en función del tiempo y la temperatura.

Como la variación de la dispersión cromática de la fibra óptica en función del tiempo y la temperatura es lenta, se emplea la velocidad de cambio mínima del parámetro de compensación de dispersión para especificar la característica de sintonización de los ADC.

II.2.2 Aplicación de compensación de cambios radicales de la dispersión del enlace

En esta aplicación, se emplean los ADC para compensar los cambios radicales y repentinos de dispersión del enlace debidos a la conmutación o a algún otro proceso de reconfiguración del enlace de transmisión.

En la figura II.1 se ilustra un ejemplo de este tipo de aplicación. Originalmente se encamina una señal óptica DWDM por el segmento A de línea DWDM. Tras una reconfiguración, la ruta cambia del segmento A al segmento B. Como la dispersión del enlace del segmento A de línea DWDM es diferente de la del segmento B, se produce un cambio radical de la dispersión residual del canal. Si éste excede la tolerancia del par transmisor-receptor a la distorsión, se necesitará un compensador de dispersión adaptable de un solo canal o multicanal para compensar dinámicamente los cambios de dispersión cromática del enlace óptico.

Ya que en este caso el cambio de la dispersión es radical, se emplea el parámetro de tiempo de sintonización de compensación de dispersión máxima para especificar la característica de sintonización de los ADC.

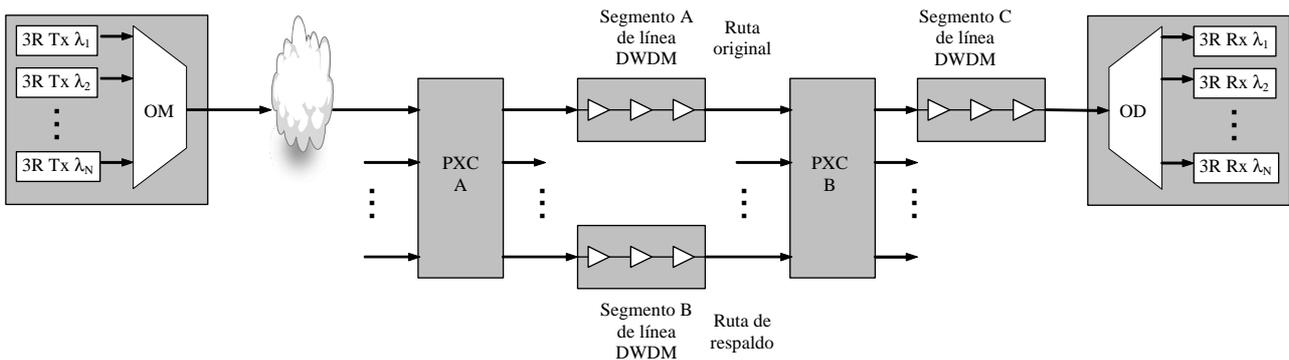


Figura II.1 – Ejemplo de aplicación de compensación de cambios radicales de la dispersión del enlace

II.3 Principios de la compensación de dispersión adaptable

Tal y como se examinó en la cláusula 5, en esta Recomendación se definen tres tipos de compensador de dispersión adaptable: precompensación, compensación de línea y postcompensación. Estos tipos se ilustran en la figura II.2.

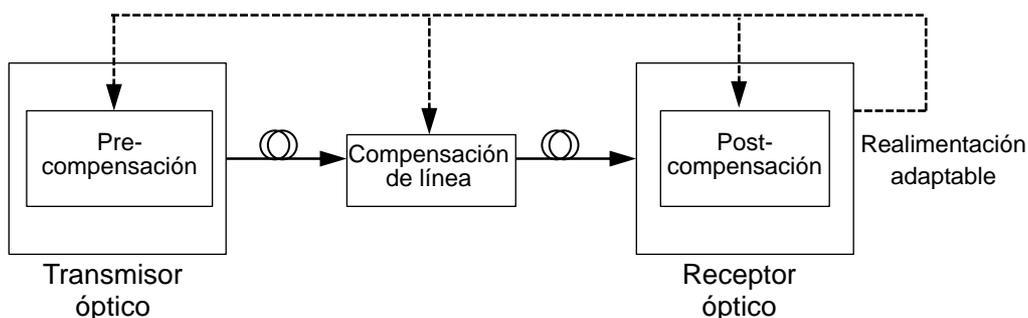


Figura II.2 – Principios de la compensación de dispersión adaptable

Sin embargo, como puede concluirse del análisis en el apéndice I, la tecnología subyacente que emplean estos dispositivos para la compensación de la distorsión se concentra en tres categorías principales:

- compensadores de distorsión óptica (que pueden utilizarse en cualquiera de las tres ubicaciones);
- compensadores de dispersión electrónicos basados en receptor;
- compensadores de dispersión electrónicos basados en transmisor.

II.3.1 Compensadores de distorsión óptica

Pueden utilizarse diferentes tipos de tecnologías de compensación de distorsión sintonizable, como: rejillas de Bragg de fibra (FBG), sistemas de superficies en fase con reflexión parcial de la señal de entrada (VIPA) e interferómetros (*étalons*) de Gires-Tournois, etc.

Las FBG son dispositivos basados en reflexión que se configuran modulando el índice refractivo del núcleo de una fibra óptica. La sintonización de la dispersión se logra aplicando tensión (por lo general a través de un gradiente térmico) a una rejilla modulada en frecuencia linealmente. Una FBG puede traducirse en un compensador de dispersión con canalización plana, banda ancha y pérdida baja, con alta resolución de sintonización y baja velocidad de sintonización. En la figura II.3 [b-PAINCHAUD] se ilustra un arreglo de compensación de dispersión sintonizable FBG típico.

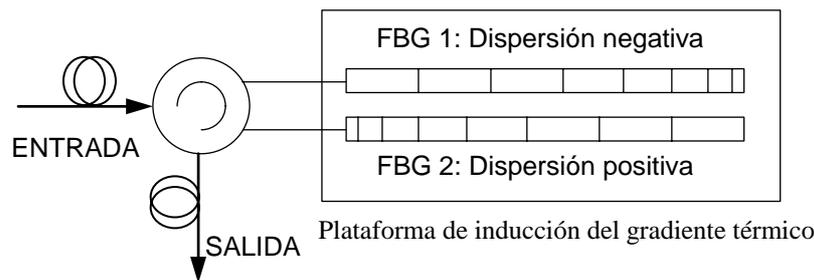


Figura II.3 – Estructura del compensador basado en una FBG

El sistema VIPA emplea una combinación de espejos y lentes para ajustar la longitud de propagación óptica [b-SHIRASAKI]. Asimismo dispone de: respuesta mediante canales de banda ancha, alta resolución de sintonización, velocidad de sintonización moderada y pérdida por inserción alta. En la figura II.4 se ilustra una configuración de compensación de distorsión sintonizable basada en un sistema VIPA típico.

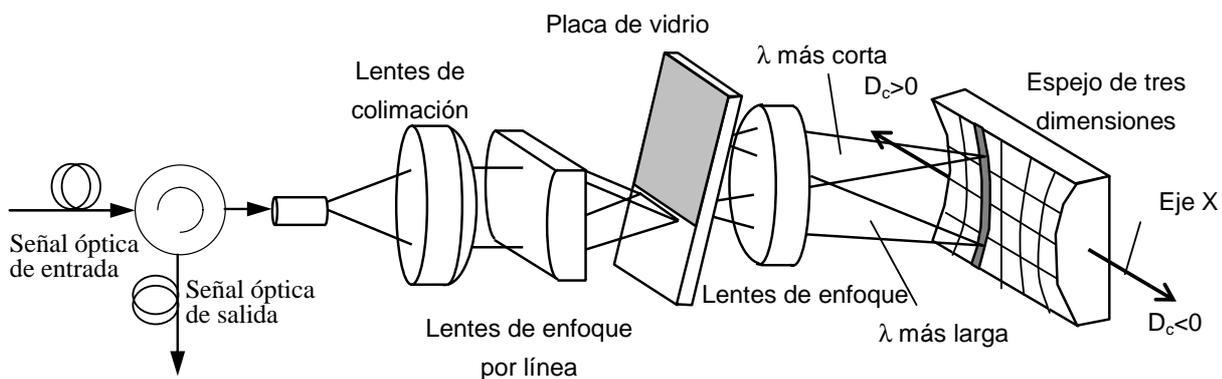


Figura II.4 – Estructura básica del sistema VIPA

El interferómetro (*étalon*) de Gires-Tournois tiene un retardo de tiempo periódico inherente que se puede aprovechar para obtener compensación de dispersión sintonizable variando la separación de los espejos del interferómetro. Puede configurarse un compensador de dispersión plana multicanal utilizando múltiples interferómetros aunque este método está supeditado a una alta pérdida de inserción. La dispersión se sintoniza cambiando el ángulo de la luz de entrada al interferómetro. Los interferómetros ofrecen alta velocidad de sintonización con baja resolución de sintonización. En la figura II.5 se ilustra una configuración de este tipo de compensador de dispersión.

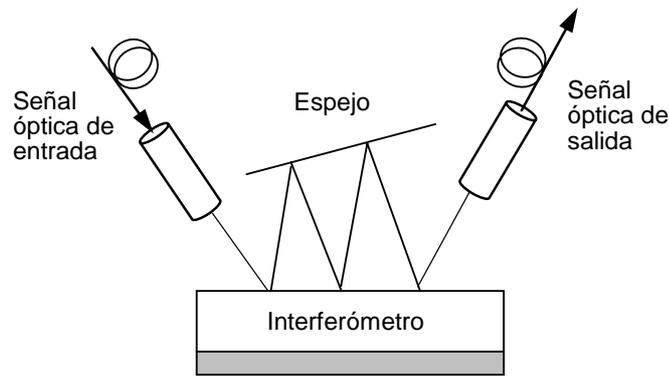


Figura II.5 – Estructura del interferómetro básico de Gires-Tournois

II.3.2 Compensadores de dispersión electrónicos basados en el receptor

Existen diversos tipos de técnicas de compensación electrónica de la dispersión basada en el receptor (EDC). No obstante, en todos los casos, se emplea un procesador de datos adaptable para reducir la interferencia entre símbolos de la señal convertida de óptica a eléctrica, que se introduce mediante dispersión cromática y otros efectos no lineales. Esta situación se muestra en la figura II.6.

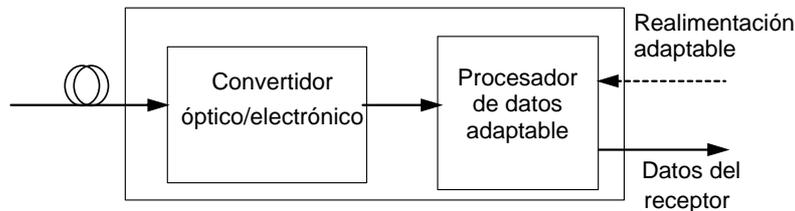


Figura II.6 – Estructura básica de la de compensación electrónica de la dispersión basada en el receptor

Las diferentes tecnologías de procesamiento de datos adaptable que se emplean en la actualidad son: ecualización de realimentación de la entrada a la salida (FFE), ecualización por realimentación de decisiones (DFE) y estimación de la secuencia de máxima probabilidad (MLSE).

La tecnología FFE ofrece ecualización de la interferencia entre símbolos (ISI, *inter-symbol interference*) lineal. Los coeficientes del filtro se sintonizan para optimizar un criterio de calidad de funcionamiento como por ejemplo el error cuadrático medio mínimo. Esta situación se ilustra en la figura II.7 [b-WATTS]. Los cuadros con etiquetas t_s indican retardos con una duración, por lo general, de 0,5 ó 1 bit.

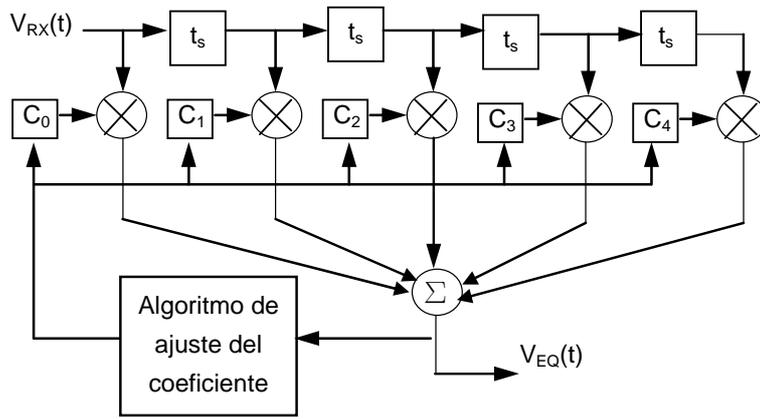


Figura II.7 – Estructura de la ecualización FFE

En oposición a FFE, la ecualización DFE aprovecha la salida del circuito de decisión y por medio de una línea de retardo derivada se añade o sustrae una proporción de los bits detectados previamente. Esta situación se ilustra en la figura II.8 [b-WATTS].

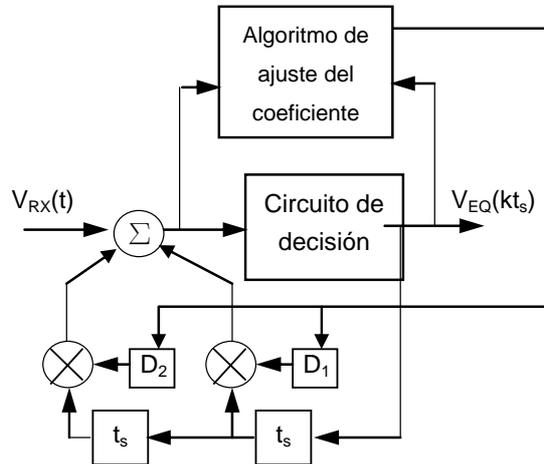


Figura II.8 – Estructura básica de la ecualización DFE

Los dos procesos mencionados (FFE y DFE) pueden utilizarse también conjuntamente como se muestra en la figura II.9, combinando el ecualizador FFE lineal con un ecualizador DFE por realimentación no lineal [b-WATTS].

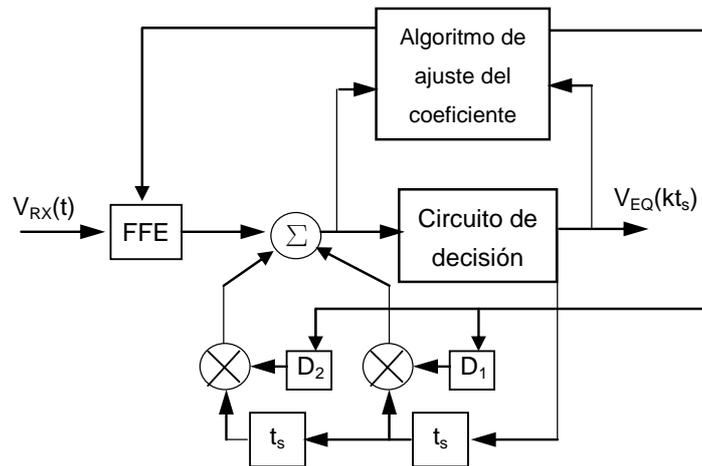


Figura II.9 – Estructura de la combinación de los tipos de ecualización FFE y DFE

En el procedimiento de estimación MLSE se compara la forma de onda recibida con un conjunto de formas de onda previstas durante varios bits para determinar, con mayor probabilidad, la secuencia binaria transmitida. En la figura II.10 [b-WATTS] se muestra este caso. La señal recibida se digitaliza a una tasa de muestreo de al menos dos veces la velocidad de los datos. Para una secuencia de datos de N bits, con un decodificador Viterbi de 2^{N-1} estados se determina la secuencia de datos más probable basándose en el modelo de canal en función del estado, que está almacenado en el estimador de canal.

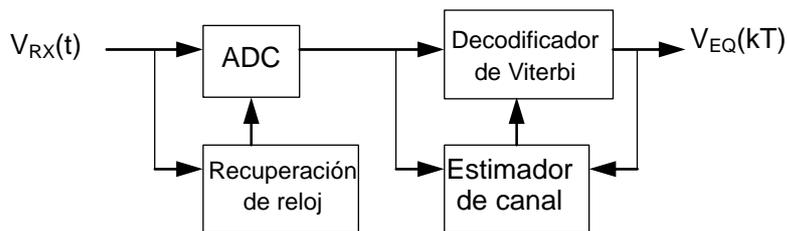


Figura II.10 – Estructura básica del procedimiento de estimación MLSE

II.3.3 Compensadores de dispersión electrónicos basados en el transmisor

La precompensación basada en el transmisor aplica técnicas electrónicas que manipulan la amplitud y la fase del transmisor sintonizable desde un compensador de distorsión adaptable con la finalidad de enviar una señal óptica distorsionada al transmisor, la cual se recupera de la distorsión una vez propagada por la dispersión del trayecto de transmisión. Este caso se ilustra en la figura II.11 [b-McNICOL].

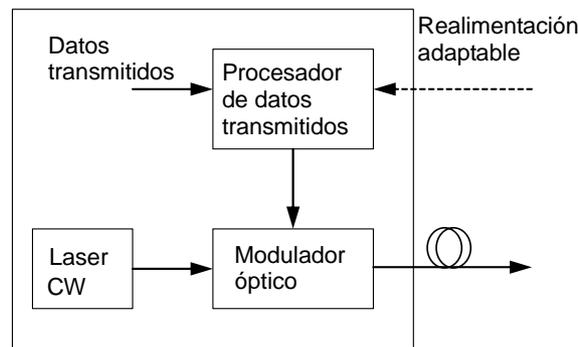


Figura II.11 – Estructura básica de la compensación de dispersión electrónica basada en el transmisor

II.4 Supervisión de la dispersión cromática

En las figuras I.2 a I.12 puede observarse que la dispersión de los compensadores de dispersión adaptables puede controlarse con arreglo a la información relativa a la dispersión, es decir, información de dispersión residual del enlace o algún otro tipo de información de supervisión de la calidad de funcionamiento relacionada con la dispersión en general, utilizando para tal efecto la calidad de funcionamiento relacionada con la señal, tal como la tasa de errores en los bits (BER), la abertura del ojo o el factor Q, etc.

En la figura I.1 se muestran algunas configuraciones que emplean compensadores de dispersión adaptables e incorporan una función de supervisión de dispersión. Las tres categorías de los métodos necesarios para llevar a cabo lo anterior son:

- supervisión del espectro eléctrico;
- supervisión de la amplitud de un tono piloto;
- supervisión del retardo de tiempo entre las bandas laterales superior e inferior.

II.4.1 Supervisión del espectro eléctrico

Cuando se detecta una señal óptica mediante un fotodiodo, el proceso de detección cuadrática desempeña una función muy útil para identificar los componentes de frecuencia de la señal óptica que se han nulificado o cuya magnitud se ha visto reducida debido a la dispersión cromática. El cambio de amplitud (potencia) dentro de una banda de frecuencias específica está relacionada directamente con la cantidad de dispersión cromática a la que ha estado sometida la señal dentro de esa banda [b-DEVAUX]. En la figura II.12 se muestra el espectro eléctrico de las señales ópticas con distintas dispersiones cromáticas $|D_n|$, donde $|D_1| < |D_2| < |D_3|$. Ya que la potencia dentro de la banda de frecuencias específica Δf corresponde inequívocamente a la dispersión cromática $|D_n|$, por consiguiente se puede obtener la señal de supervisión requerida.

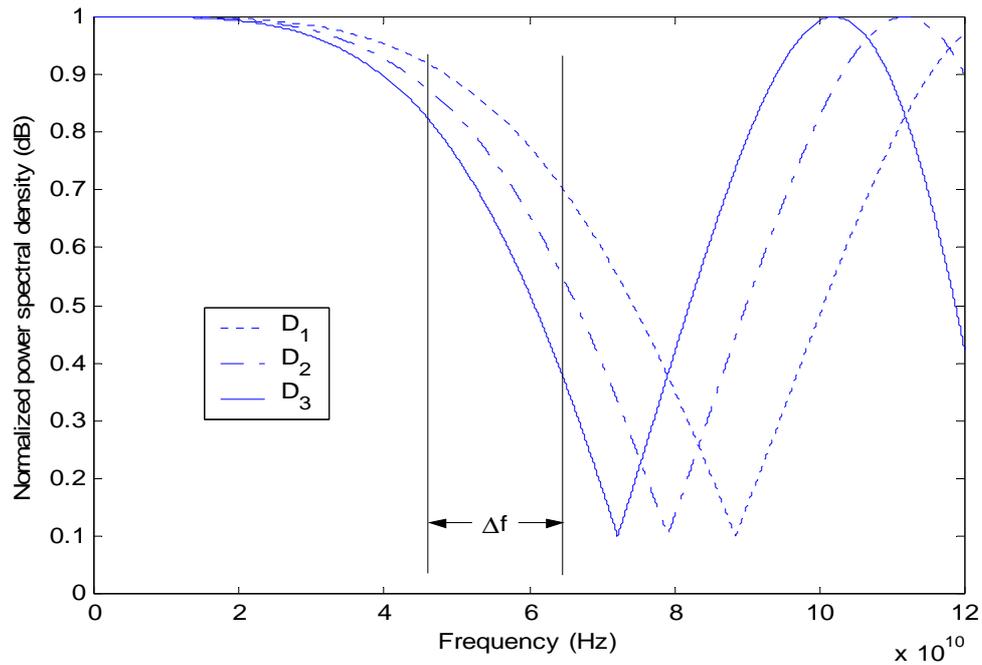


Figura II.12 – Espectro eléctrico de la señal detectada

II.4.2 Supervisión de la amplitud de un tono piloto

Si se añade un tono piloto a la señal óptica a una frecuencia pertinente, se puede supervisar el mismo fenómeno que se examinó en II.4.1, midiendo simplemente el nivel del tono en la salida del detector con ayuda de un filtro eléctrico estrecho [b-PETERSEN].

En la figura II.13 se muestra el espectro de potencia eléctrica observado que corresponde a diferentes dispersiones acumuladas, donde la potencia del tono n disminuye con el aumento de la dispersión cromática de (a) a (c).

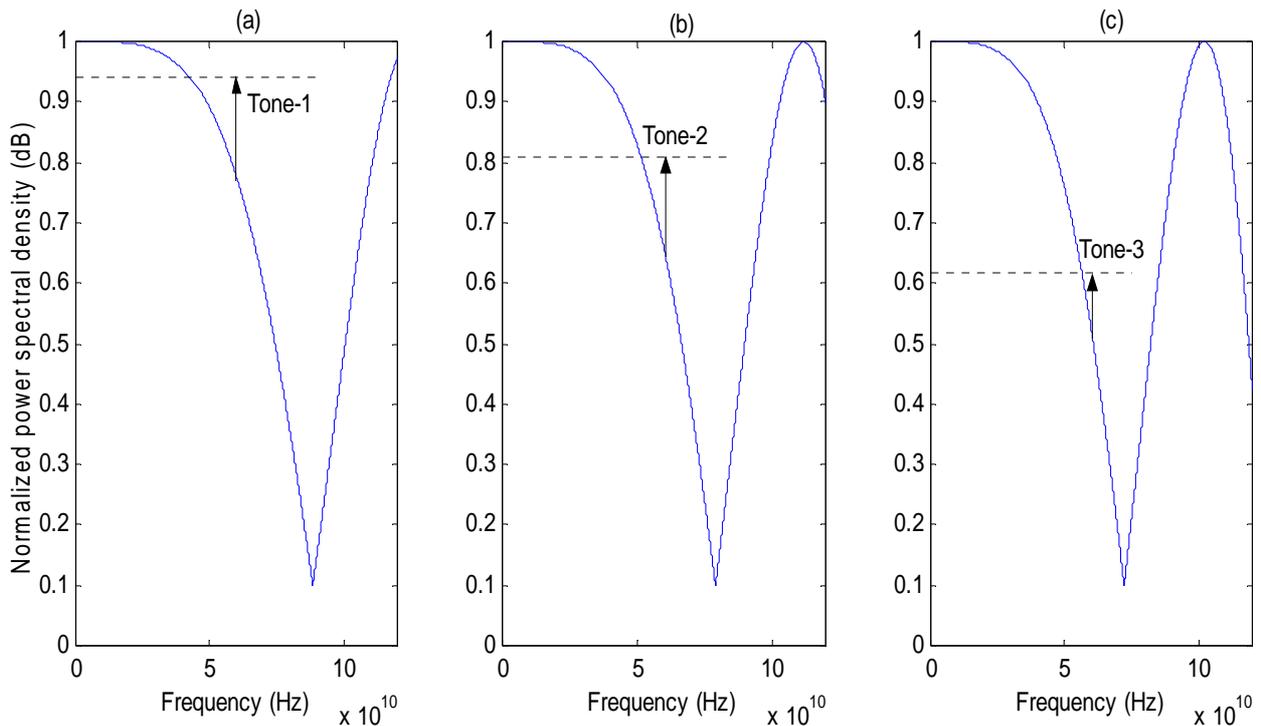


Figura II.13 – Espectro eléctrico de la señal detectada con ayuda del tono piloto

II.4.3 Supervisión del retardo de tiempo entre las bandas laterales superior e inferior

Para este esquema se emplea un filtro que permite seleccionar la señal de banda lateral residual (VSB) superior e inferior en los datos y se supervisa la desviación de fase de reloj relativa $\Delta\phi$ causada por la dispersión [b-QIAN]. El método por filtrado VSB se implementa sintonizando el filtro en una posición separada del centro espectral de la señal como se muestra en la figura II.14, para una señal RZ. Como las dos bandas laterales ocupan diferentes gamas de longitudes de onda, la dispersión cromática de la fibra óptica produce un retardo de grupo relativo, y por consecuencia, una pequeña desviación de fase de reloj entre las señales VSB superior e inferior.

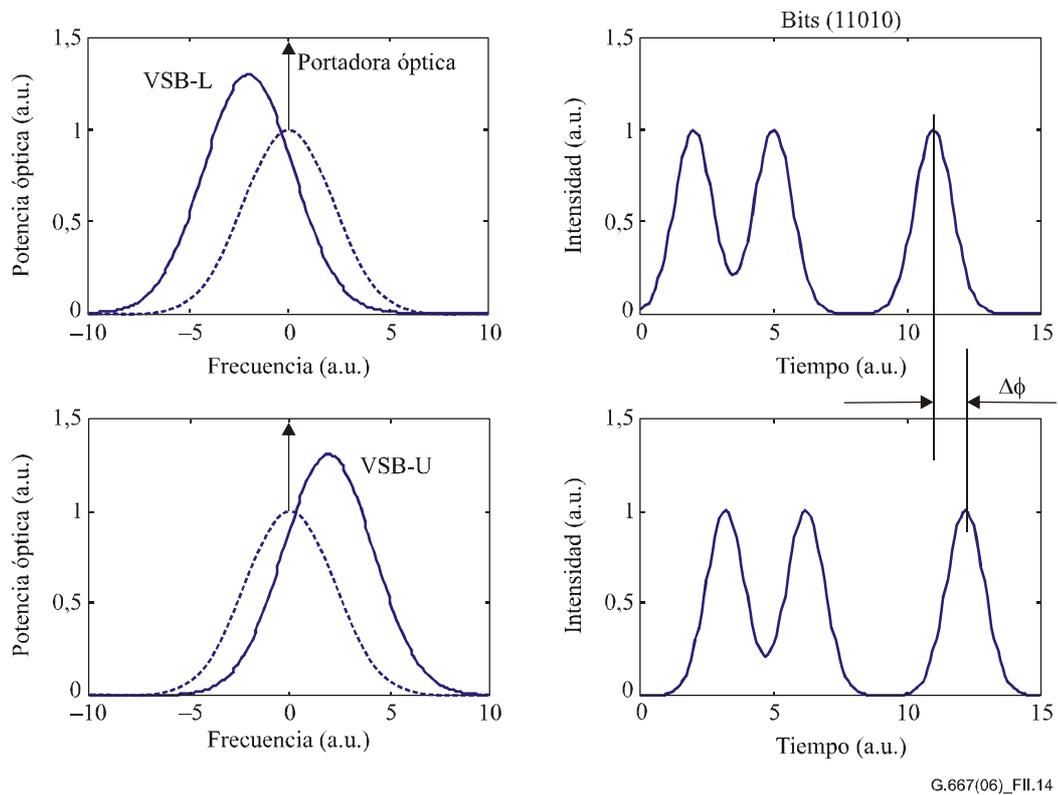


Figura II.14 – Supervisión de la dispersión aplicando filtros VSB

Bibliografía

- [b-UIT-T G.959.1] ITU-T Recommendation G.959.1 (2006), *Optical transport network physical layer interfaces*.
- [b-UIT-T G.Sup39] ITU-T G-series Supplement 39 (2006), *Optical system design and engineering considerations*.
- [b-DEVAUX] DEVAUX (F.), SOREL (Y.), KERDILES (J.F.), Simple measurement of fiber dispersion and of chirp parameter of intensity modulated light emitter. *Journal of Lightwave Technology*, 1993. 11(12): pp. 1937-1940.
- [b-McNICOL] McNICOL (J.), O'SULLIVAN (M.), ROBERTS (K.), COMEAU (A.), McGHAN (D.), STRAWCZYNSKI (L.): Electrical Domain Compensation of Optical Dispersion, *OThJ3, OFC 2005*.
- [b-PAINCHAUD] PAINCHAUD (Y.), LAPOINTE (M.), GUY (M.), Slope-matched tunable dispersion compensation over the full C-band based on fiber Bragg gratings, *ECOC 2004*.
- [b-PETERSEN] PETERSEN (M.N.) *et al*, Dispersion monitoring and compensation using a single inband subcarrier tone. *OFC 2001*, Volume 3, 2001 Page(s):WH4-1 to WH4-3 Vol.3.
- [b-QIAN] QIAN (Y.) *et al*, Chromatic dispersion monitoring technique using sideband optical filtering and clock phase-shift detection. *Journal of Lightwave Technology*, 2002. 20(12): pp. 2267-2271.
- [b-SHIRASAKI] SHIRASAKI (M.), Chromatic-dispersion compensator using virtually imaged phased array, *IEEE Photonics Technol. Lett.*, Vol. 9, pp. 1598-1600, 1997.
- [b-WATTS] WATTS (P.M.), MIKHAILOV (V.), SAVORY (S.), GLICK (M.), BAYVEL (P.), KILLEY (R.I.), Electronic signal processing techniques for compensation of chromatic dispersion, *NOC 2005*.

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	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos, 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