

# Diseño y simulación de un enlace CWDM de 16 canales a 10 Gbits/s sobre fibras de dispersión positiva y negativa

Antonio Mayoralas Tendero, Paloma R. Horche

amayoralas@tfo.upm.es, phorche@tfo.upm.es

Dpto. de Tecnología Fotónica. E.T.S.I. Telecomunicación. Universidad Politécnica de Madrid. Avenida Complutense nº 30, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid

**Abstract-** The fundamental aim is the design of CWDM systems, working with a bit rate of 10 Gbits/s, by using the specific characteristics of the components to optimize the design of the network to insure that all the channels have similar behaviour, or, in other words, a similar quality Q factor. We design a system with 16 channels allocated between 1291 nm and 1591 nm with a channels separation of 20 nm, according to G 694.2 ITU-T Rec. We are taken into consideration, as well, the optical transmitted power in order to optimize it for each channel, improving the quality of the signal along the fiber.

## I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la tecnología CWDM (multiplexación por división aproximada de longitud de onda) [1] permite el abaratamiento de los equipos usados en los sistemas de comunicaciones ópticas y cuyo plan espectral comprende longitudes de onda entre 1271 y 1611 nm, con una separación entre canales de 20 nm tal que permite el uso de fuentes sin elementos de refrigeración y con tolerancias de fabricación menos exigentes.

La baja atenuación, que en el rango comprendido entre 1271 y 1611 nm, ofrecen las nuevas fibras ópticas que han eliminado el pico de absorción del ión OH, proporciona la capacidad de usar el espectro completo. Esta característica aporta una gran flexibilidad a la hora de realizar diseños de red, hasta el punto que los diseñadores pueden estar seguros de que podrán adaptar sus redes metropolitanas y de acceso a los actuales y emergentes sistemas de multiplexación por división de longitud de onda, usados en aplicaciones de banda ancha, múltiples servicios o aplicaciones multi-protocolo.

La posibilidad de usar el espectro completo prepara las infraestructuras de red para un uso competitivo y maduro de arquitecturas de servicio de banda ancha, incluyendo los de fibra hasta la casa (fiber to the home), fibra hasta la arqueta (fiber to the curb), líneas de suscripción digital e híbridos fibra-coaxial.

Este trabajo, mediante una herramienta CAD de simulación de sistemas ópticos, analiza el diseño de sistemas CWDM de 16 canales implementados sobre dos tipos de fibras diferentes; la fibra monomodo estándar, SMF, optimizada para la transmisión en la banda O y la fibra de dispersión desplazada no nula NZ-DSF, con dispersión negativa en todo el rango de longitudes de onda considerado. Esta última fibra se ha desarrollado para optimizar su

funcionamiento en la banda C minimizando posibles efectos no lineales en la fibra.

Debido a que en los sistemas CWDM que utilizan todo el ancho de banda útil de la fibra, las características de dispersión son muy distintas para cada uno de los canales transmitidos, es necesario realizar un análisis de la calidad del sistema para diferentes tipos de láseres modulados directamente (DML) ya que estos introducen unas características de *chirp* (desviación de la frecuencia óptica) que interactuarán de forma diferente según la dispersión en la fibra. Se utilizan dos tipos de láseres modulados directamente: DML-A con *chirp* adiabático dominante y DML-T con un *chirp* transitorio dominante.

La estructura de este trabajo es como sigue: En la Sección II se describe el enlace simulado y sus componentes. La Sección III presenta los resultados obtenidos en las diferentes simulaciones y, por último, en la Sección IV se resumen las conclusiones más relevantes.

## II. SISTEMA

Con el objeto de estudiar cómo afecta al sistema CWDM la operación en todas las bandas de transmisión se propone un sistema sencillo compuesto por 16 canales multiplexados e inyectados sobre la fibra óptica, Fig. 1. Estos canales van asignados desde 1291 nm hasta 1591 nm con una separación entre canales de 20 nm. En recepción, cada canal es demultiplexado y detectado por un fotodiodo PIN.

En el sistema CWDM trabajará a una velocidad de transmisión de 10 Gbits/s, los transmisores empleados son DMLs (láser de modulación directa). Este tipo de fuente tiene una serie de ventajas e inconvenientes frente al otro tipo de fuentes utilizadas, los láseres que emplean modulación externa. La principal ventaja de los DML es su coste, mucho menor que en el caso de usar modulación externa, debido entre otros factores a que no utilizan dispositivos de refrigeración y a una mayor simplicidad del dispositivo. Por el contrario, el problema de usar transmisores DML es que la forma de onda transmitida no es una réplica exacta de la corriente de modulación, produciéndose una variación de la frecuencia óptica emitida a lo largo del pulso [2]. Éste fenómeno se conoce como "*chirp*" en frecuencia y es un fenómeno fuertemente dependiente de la potencia óptica de salida del láser. Por este último motivo, en este trabajo se

realizarán las diferentes simulaciones variando la potencia de emisión de los DML, entre 0.1-15 mW.

La calidad final del sistema se medirá a partir del Bit Error Rate (BER) a través del *Factor Q* para cada uno de los canales transmitidos [3].

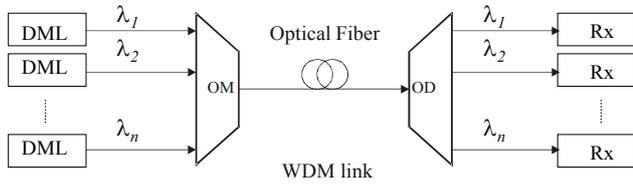


Fig. 1. Esquema del sistema propuesto

El factor *Q* se calcula mediante la siguiente expresión [4]:

$$Q = \frac{|\mu_1 - \mu_0|}{\sigma_1 + \sigma_0} \quad (1)$$

donde  $\mu_i$  y  $\sigma_i$  son los valores promedio y las variaciones correspondientes a los valores de los bits “1” y “0” para cada patrón.

#### A. Fibras ópticas

En cuanto a las fibras, principalmente se utilizarán la denominada SMF (fibra monomodo estándar), definida según la recomendación ITU-T G.652 [5], y cuyos resultados se compararán con la denominada NZ-DSF (fibra de dispersión desplazada no nula negativa), definida según la recomendación ITU-T G.655 [6], ya que actualmente los fabricantes están diseñando y ofertando en el mercado este tipo de fibra, que constituyen la elección ideal para un sector que está experimentando un desarrollo rápido y dinámico, el de las redes de acceso y metropolitanas.

En ambos casos se ha considerado una curva de atenuación que no presenta el pico de absorción del agua. Los perfiles de dispersión utilizados para simular dichas fibras se representan en la Fig. 2.

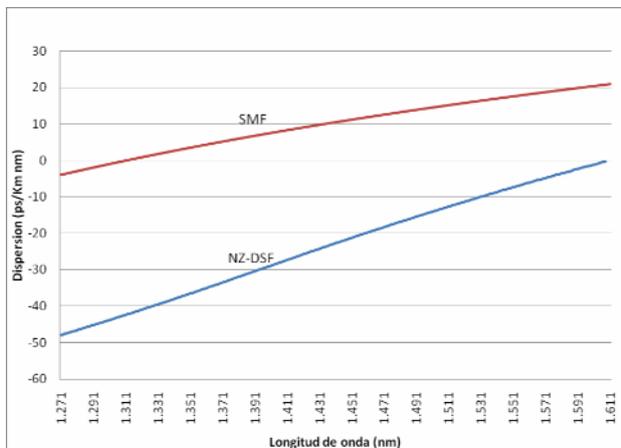


Fig. 2. Curvas de dispersión para los distintos tipos de fibras

#### B. Características de los transmisores

En las simulaciones realizadas, se inyectan 16 canales separados 20 nm entre sí según el plan espectral propuesto en

la Recomendación ITU-T G. 694.2 y se estudia el comportamiento del sistema cuando se utilizan dos tipos de láseres diferentes, modulados directamente (DML-A y DML-T).

Los transmisores DML son los empleados más frecuentemente en aplicaciones CWDM ya que son más económicos que los modulados externamente. Sin embargo, estos láseres tienen el inconveniente de producir variaciones en la frecuencia óptica instantánea, efecto conocido como “*chirp*” en frecuencia, que es un factor determinante en la calidad de sistemas que utilizan fibras ópticas con dispersión no nula.

El *chirp*  $\Delta\nu(t)$  de un láser DML se define según la expresión [7]:

$$\Delta\nu(t) = \frac{\alpha}{4\pi} \left\{ \frac{d}{dt} [\ln(P(t))] + kP(t) \right\} \quad (2)$$

Donde  $\alpha$  es factor de ensanchamiento de línea,  $k$  el coeficiente adiabático y  $P(t)$  la potencia emitida.

En la Tabla I se resumen los parámetros característicos de los láseres DML-A y DML-T.

	DML-A	DML-T
Parámetro $\alpha$	2.2	5.6
Coefficiente adiabático, $k$	$28.7 \cdot 10^{12}$	$1.5 \cdot 10^{12}$
Potencia emisión	0.1 - 15 mW	
Extinction ratio	9 dB	
RIN	- 130 dB/ Hz	

Tabla 1. Parámetros característicos de los láseres utilizados en la simulación del sistema.

La característica principal de los láseres DML-A estriba en que cuentan con un *chirp* dominante adiabático, por el contrario, los láseres DML-T se caracterizan por tener un *chirp* dominante transitorio. En la Fig. 3 se muestra la forma de onda de los pulsos en el dominio del tiempo a la salida de cada uno de los láseres cuando emiten con una potencia de 5 mW.

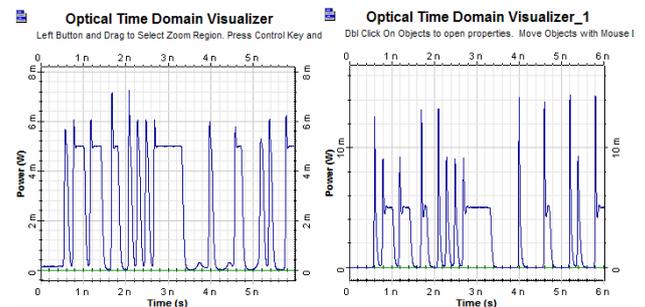


Fig. 3. Pulsos ópticos a la salida del láser (a) DML-A y (b) DML-T

#### C. Otros componentes

Como receptor se ha considerado un diodo PIN de responsividad 1 A/W al que se le ha conectado un filtro de Bessel paso bajo para eliminar el ruido de alta frecuencia.

El multiplexor cuenta con un ancho de banda de 10 GHz, no se han considerado pérdidas de inserción y se implementa mediante un filtro de Bessel de orden 2.

### III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se han simulado y analizado cuatro sistemas diferentes; Los dos primeros, S-1 y S-2, utilizan la fibra estándar SMF [8] y los DML-A y DML-T, respectivamente. En los otros dos, S-3 y S-4, se repite el mismo esquema sustituyendo la fibra por la NZ-DSF (MetroCor) [9], que presenta una dispersión negativa para la banda de longitudes de onda estudiadas en la simulación. En un primer análisis se estudió el alcance del sistema variando la longitud de la fibra, encontrando que no era posible cumplir un estándar de calidad mínimo de  $Q=7$ , para todos los sistemas y todos los canales con longitudes de fibra superiores a 4.8 Km. Por tanto, se ha seleccionado esta longitud para poder comparar el resto de las simulaciones realizadas. Hay que destacar que en la mayoría de los casos se obtienen factores de calidad muy superiores a 7 por lo que se podría aumentar el alcance del sistema, pero al no ser así en todos los casos estudiados, se ha preferido trabajar con menores longitudes de fibra y asegurar una calidad mínima en todas las combinaciones fibra-DML empleadas.

Por otro lado, el factor de calidad máximo que se ha obtenido en los diferentes sistemas bajo estudio, depende de la potencia de transmisión del láser y de la longitud de onda a la que transmite. En la Fig. 4 se muestra la relación entre la longitud de onda de cada canal y la potencia mínima de transmisión necesaria para obtener el factor de calidad mínimo que se ha considerado,  $Q=7$ .

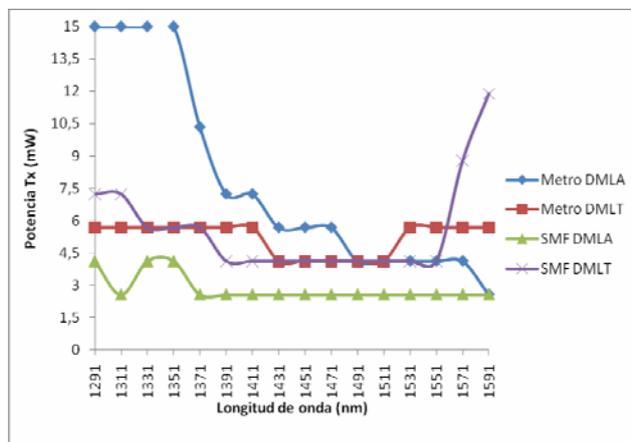


Fig. 4. Potencia de transmisión mínima por canal para un  $Q=7$

Como se puede observar en la Fig. 4, es necesario utilizar diferentes potencias de emisión para cada canal según el tipo de fibra y DML empleado.

Con el objeto de estudiar la influencia del “chirp” en frecuencia sobre la calidad del sistema, se varía gradualmente la potencia de los láseres entre 0.1mW y 15mW, y se calcula el factor  $Q$ , partiendo del diagrama de ojo en cada caso.

A continuación, y para cada una de las fibras utilizadas, se muestran unos ejemplos del diagrama de ojo a las longitudes de onda a las que se alcanza las mayores calidades

de salida del sistema. Se puede comprobar en la Fig. 5 las longitudes de onda a las que se obtiene la mayor potencia de salida del sistema para cada fibra, en este caso para la Metrocor es a 1491 nm mientras que para la SMF es a 1291 nm ambas a una potencia de transmisión del láser de 15 mW.

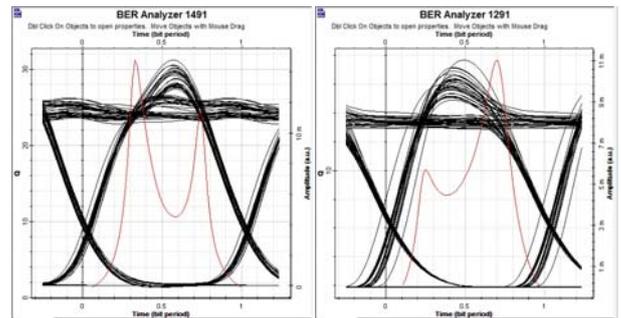


Fig. 5. Diagramas de ojo a la salida del sistema para una fibra (a) Metrocor y (b) SMF-28

De todo el conjunto de simulaciones realizadas, a modo de ejemplo, en las Fig. 6, 7 y 8, se han resumido los resultados obtenidos para factor de calidad en función de la potencia de transmisión de los canales centrados a las longitudes de onda de 1331nm, 1491 nm y 1571nm, respectivamente.

El canal centrado a 1331, Fig. 6, presenta una dispersión moderada cuando se empela la fibra SMF, en comparación a la fibra Metro que, en ese canal tiene una dispersión alta y negativa. No obstante, seleccionando adecuadamente el tipo de transmisor y su potencia de emisión, se pueden conseguir factores de calidad adecuados aún en presencia de una alta dispersión acumulada, como es el caso de la fibra MetroCord junto con un DML-T emitiendo a 6 mW de potencia óptica. Esto es debido al papel que juega la iteración del Chirp con la dispersión en fibra.

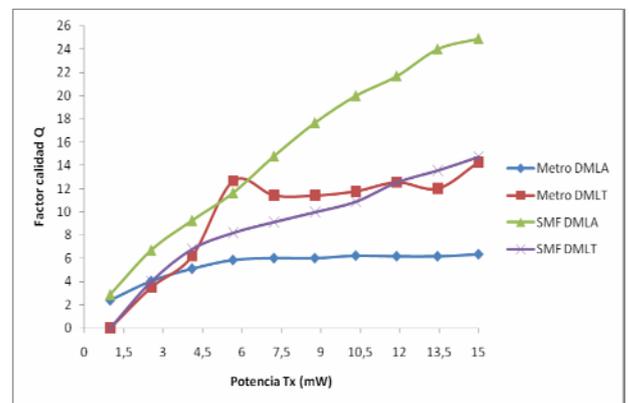


Fig. 6. Máximo factor de calidad,  $Q$ , del sistema a 1331 nm respecto a la potencia de transmisión

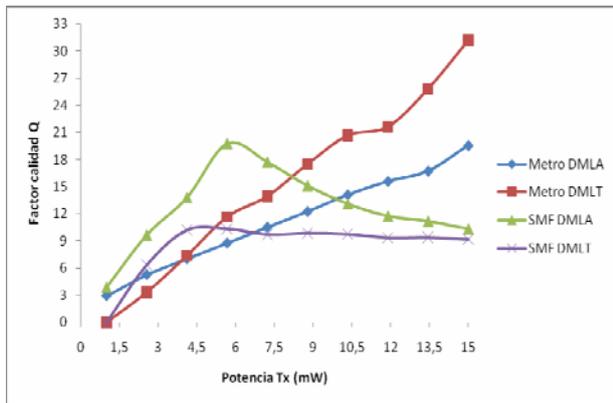


Fig. 7. Máximo factor de calidad, Q, del sistema para el canal centrado a 1491 nm, respecto a la potencia de transmisión

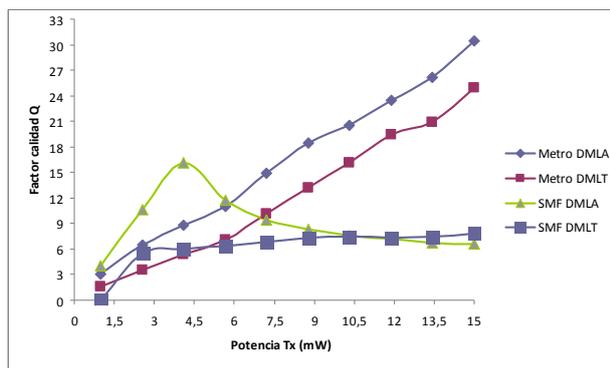


Fig. 8. Máximo factor de calidad, Q, del sistema a 1571 nm respecto a la potencia de transmisión

El canal centrado a 1491 nm, presenta una dispersión similar pero de signo contrario cuando se emplean las fibras SMF y Metro, respectivamente. Es de destacar que, en este caso, la iteración del *Chirp*-dispersión de fibra (sobre todo del signo de ambos) juega un papel decisivo en la calidad máxima que se puede conseguir en cada uno de los casos analizados; La fibra SMF (dispersión positiva) deberá ser empujada junto con el DML-A a una potencia de 6 mW. Por el contrario, la fibra de dispersión negativa consigue mejores resultados con transmisores del tipo DML-T con altas potencia de emisión ya que estas fuentes generan un *chirp* de signo contrario, mayor cuanto mayor es su potencia emitida, de acuerdo con la ec. (2).

Por otro lado, también se ha comprobado que la dispersión acumulada a la salida de la fibra no es lineal respecto a la longitud de onda, como indican las curvas de dispersión de las fibras mostradas en la Fig. 2. Este fenómeno se debe a que hay un retardo de grupo constante para todas las frecuencias que, a su vez, es debido a que la fase de la señal de salida del láser no tiene una relación lineal con la frecuencia.

#### IV. CONCLUSIONES

Se han estudiado varios sistemas en los que se han prefijado todos los componentes a excepción el tipo de láser y de la fibra empleada en el enlace con el fin de evaluar la calidad de los sistemas. Para conseguir un mínimo de calidad se ha analizado la longitud de fibra.

Del estudio comparativo realizado, se puede deducir qué pareja láser-fibra es el más adecuado en función de la potencia de emisión para cada uno de los canales.

Resumiendo, se ha demostrado que en sistemas CWDM es necesario realizar un estudio previo de la potencia óptica por canal y de las características de la fibra, si se quiere compensar el *chirp* inherente a los láseres modulados directamente.

Es de resaltar que seleccionando adecuadamente una pareja láser-fibra siempre es posible conseguir una calidad aceptable para todos los canales de un sistema CWDM.

#### REFERENCIAS

- [1] Paloma Rodríguez Horche, Carmina del Río Campos, Angel Sánchez Fernández y Pedro García Gutiérrez. "Servicios de Banda Ancha en Redes Metro y de Acceso: Multiplexación por División Aproximada en longitud de onda, CWDM". Mundo Electrónico. Vol. 347, pp. 76-79. 2003.
- [2] J.C. Cartledge, G.S. Burley. "The Effect of Laser Chirping on Lightwave System Performance. J. of Lightwave Technology, VOL. 7, NO. 3, MARCH 1989.
- [3] A. Priyadarshi, PV Ramana, Chemmanda Jonh Leo "Link Simulation of Four Channel CWDM Transceiver Modules" IEEE Electronics Packaging Technology Conference, pp. 767-771. 2004
- [4] S. B. Alexander, Optical Communication Receiver Design, SPIE Press/IEE, 1997.
- [5] Recomendaciones ITU-T G652 "Characteristics of a single-mode optical fibre and cable".
- [6] Recomendaciones ITU-T G655 "Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable".
- [7] L.A. Coldren and S.W. Corzine. "Diode Lasers and Photonic Integrated Circuits". Wiley Series in Microwave and optical Engineering., 1995. Capítulo 5.
- [8] Corning Incorporated: Corning SMF-28e Optical Fiber.
- [9] "PureMetro™" for Metro Area Network: Smart NZ-DSF for both DWDM and full spectrum CWDM systems.