

Diseño y simulación de un sistema DWDM coherente basado en una red de larga distancia orientado en una topología de un operador real

Design and simulation of a coherent DWDM system based on a long-distance network oriented on a real operator topology

Miguel Ángel Yate Rodríguez¹

Iván Camilo Nieto Sánchez²

July Natalia Mora Alfonso³

Néstor Javier Rodríguez García⁴

Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia

Resumen

La necesidad de estar conectados hace que los operadores de telecomunicaciones enfrenten hoy en día la obligación de reinventarse. De acuerdo al informe anual de Internet de Cisco, el crecimiento en el número de usuarios de Internet es una tendencia global, Según el comunicado de prensa *Boletín Trimestral de las TIC* cifras tercer trimestre de 2022. Los ISP al expandir su capacidad de transmisión y el aumento de la cobertura logran efectos significativos al tener una mejora en los servicios dados a sus usuarios y nuevos mercados a nivel nacional. Gracias a la evolución de las redes y los sistemas de transmisión que utilizan fibra óptica. El diseño de una red de transmisión va enlazado con requerimientos reales por parte del operador y conocimientos en cuanto a las soluciones DWDM. En la simulación del enlace proyectado es posible evidenciar los parámetros en conjunto con las gráficas, de esta forma podemos comparar los resultados finales del enlace.

Palabras clave: DWDM, OSNR, diseño, red, presupuesto de potencia.

Abstract

The need to be connected means that telecommunications operators today face the obligation to reinvent themselves. According to Cisco's annual internet report, the growth in the number of internet users is a global trend, according to the press release Quarterly ICT Bulletin Figures Third Quarter 2022. By expanding their transmission capacity and additionally increasing coverage, ISPs will have significant effects by having an improvement in the services provided to their users and new markets nationwide. Thanks to

¹ Estudiante de Ingeniería de Telecomunicaciones. <https://orcid.org/0009-0009-4624-8304/> mayater@unadvirtual.edu.co

² Ingeniero electrónico, Universidad Antonio Nariño. MSc en Ingeniería Electrónica, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. <https://orcid.org/0000-0003-2679-7487/> ivan.nieto@unad.edu.co

³ Ingeniera electrónica, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. MSc. en Gestión de Tecnología de Información, UNAD, <https://orcid.org/0000-0003-0876-1122/> july.mora@unad.edu.co.

⁴ Ingeniero electrónico, Universidad de Cundinamarca. MSc. en Ciencias de la Información y Comunicación, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, <https://0000-0002-5489-4594/> nestor.rodriguez@unad.edu.co

the evolution of networks and transmission systems that use fiber optics. The design of a transmission network is linked to real requirements on the part of the operator and knowledge regarding DWDM solutions. The simulation of the projected link makes it possible to show the parameters together with the graphs in this way we can compare the final results of the link.

Keywords: DWDM, OSNR, design, network, Power budget.

1. Introducción

Actualmente el mundo se encuentra en la era de la información, donde la mayoría de las personas ven la necesidad de estar conectados y ser ubicados siempre, o se utilizan cada vez más aplicaciones en tiempo real, buscando la mayor velocidad de navegación.

Los proveedores de servicios de Internet (ISP) requieren expandir su capacidad y cobertura de transmisión con el fin de ofrecer mejores servicios a sus usuarios y cubrir nuevos mercados a nivel nacional. Por tal motivo, nace el requerimiento de diseñar un sistema DWDM coherente de larga distancia, que consiste en una ampliación de infraestructura óptica que permitirá aumentar sus capacidades de transmisión y cobertura del servicio para usuarios finales.

El diseño realizado muestra los valores de comportamiento obtenidos por medio de los análisis con respecto a los datos teóricos. Se utiliza un software especializado con el fin de comparar los datos teóricos y de esta forma asegurar los márgenes de operación y aún más importante escalabilidad de la red futura.

2. DWDM (multiplexación por división de longitud de onda densa)

Es una técnica que permite enviar múltiples flujos de información por un medio físico (fibra) compartido, de esta forma se aumenta la capacidad de carga del medio realizando una asignación de frecuencias de luz (longitud de onda). La banda C es la utilizada para esta tecnología que trabaja en longitud de onda de 1520 – 1570.

En WDM se puede asumir que cada canal es un color diferente, de esta forma las frecuencias de luz que son combinadas y a la vez transmitidas por el mismo medio físico de manera simultánea, pero usando frecuencias o longitudes de onda diferentes. Este método se conoce como multiplexación por división de longitud de onda (WDM) (ver Figura 2).

2.1 Atenuación

Uno de los principales aspectos a tener en cuenta en cualquier medio de transmisión es la atenuación, la cual puede ser causada por factores extrínsecos que se relacionan con el proceso de fabricación de la fibra, al ambiente y la flexión física de esta. También se tienen factores intrínsecos como son la dispersión y la absorción que afectan las longitudes de onda por debajo de 800 nm.

2.2 Componentes

En un sistema DWDM se pueden encontrar elementos de red como (ver Figura 1):

- Unidad de transporte óptica (OTU)
- Multiplexores ópticos (OM)
- Demultiplexores ópticos (OD)
- Amplificadores ópticos de línea (OLA)
- Canales de supervisión óptico (OSC)

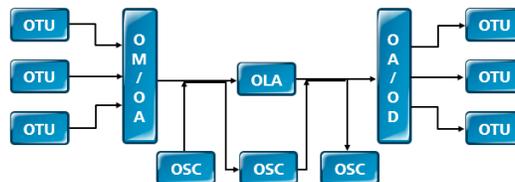


Figura 1. Elementos del sistema WDM.

La tecnología DWDM se compone de transmisores sintonizables siguiendo la recomendación ITU-T G.694.1, y son elementos que permiten agregar múltiples señales en un mismo hilo de fibra como es el caso de multiplexores ópticos u OADM, amplificadores EDFA para compensar las pérdidas de inserción del elemento de agregación de tráfico y para permitir la transmisión de la señal a mayor distancia. Adicional a estos elementos, es necesario transportar una señal de supervisión que permita el monitoreo y gestión de los elementos ópticos que componen el sistema.

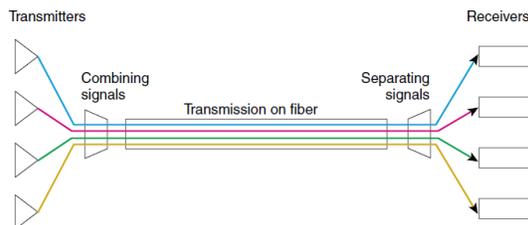


Figura 2. Esquema funcional DWDM. Fuente: Cisco.

3. Diseño de la red de transmisión (escenario real).

El escenario presentado y que demanda el cliente para iniciar con el diseño consta de la conexión entre los siguientes nodos y distancias. Los nodos a interconectar se presentan en la Tabla 3, la red debe tener una capacidad máxima de 40 canales ópticos y viabilizado en señales ópticas de 100Gbps.

Dadas las distancias indicadas entre nodos se propone implementar un nodo OLA con doble amplificador cada 80 km mínimo y máximo 120 km entre los nodos de desagregación, esto con el fin de mantener los valores de performance como OSNR, FEC en rangos operativos y adicional que la potencia recomendada de entrada en amplificadora cumpla con los valores de sensibilidad (ver Figura 3).

Tabla 1. Análisis Nodo A - Nodo O

Nodo A - Nodo O	Valor
Distancia de enlace [km]	52
Potencia de recepción Bostear [dBm]	-14
Potencia de transmisión Booster[dBm]	2
Perdida en SCM [dB]	1,00
Perdida en ODF [dB]	1,00
Atenuación fibra externa [dB]	13
Margen de operación mínima [dB]	3,00
Potencia de recepción [dBm]	-16
OSNR después de línea/Pré [dB]	35,9

Atenuación fibra externa = *Distancia del enlace [Km]* * Cof. atenuacion [dB]

$$52 * 0.25 \frac{dB}{Km} = 13dB$$

Perdida en ODF [dB] y Perdida en SCM [dB]: *DPerdida de inserción * cantidad de elementos*

$$0.5dB * 2 = 1dB$$

Potencia de transmisión Booster [2 dBm]: la baja potencia de transmisión se debe contemplar para evitar efectos no lineales.

Margen de seguridad [3dB]: normalmente se considera un margen de seguridad con el fin de que el sistema siga operativo en caso de degradación.

$$P_{tx} - (P_{ins} + MS) = P_{Rx}$$

$$2_{dBm} - (13_{dB} + 2_{dB} + 3_{dB}) = -16_{dBm}$$

La grafica de OSNR concuerda con los valores teóricos obtenidos desde la etapa de amplificación del nodo A el valor de señal a ruido es de 40dB haciendo paso por el medio físico hasta el preamplificador del nodo O se puede obtener el OSNR acumulado el cual tiene un valor de 35.9dB (ver Figura 6).

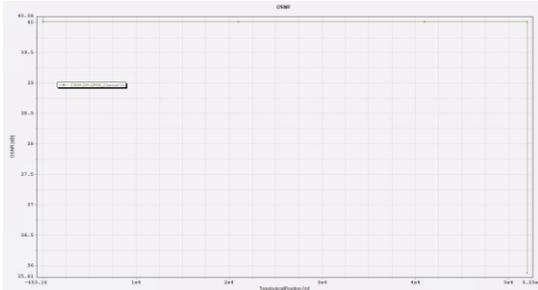


Figura 6. Resultado de OSNR.

Con los valores tanto teóricos como simulados es posible verificar en la **Tabla 2** que cada uno de los cálculos teóricos y simulación nos permite establecer las similitudes que existen entre las dos formas de realizado el análisis de señal a ruido del sistema punto a punto entre los Nodo A <> Nodo O.

Tabla 2. Valores comparativos OSNR

$OSNR_{dB}$	Teórico	Simulado
Nodo A	40	40
Acumulado	35,9	35,9

Se realiza una verificación con un sistema de gestión DWDM enlace con 51 km de distancia y coeficiente de atenuación de 0,37dB/km de acuerdo a los cálculos realizados por medio de etapa de amplificación de los nodos. Se debe tener en cuenta que la atenuación del enlace, los canales adyacentes que están en la red al no salir con los mismos valores de Tx influirá en los valores de performance (OSNR) del canal.

$$\begin{aligned}
 OUT\ Line - In\ Line &= Ate.\ Tramo\ Hilo\ 1 \\
 7,07dBm - (-11,82dBm) &= 18,89dB \\
 Coef &= \frac{Ate.\ Tramo}{Dist.} \\
 \frac{18,89dB}{51Km} &= 0,37dB
 \end{aligned}$$

La diferencia en el coeficiente de atenuación representada de acuerdo a los cálculos realizados por medio de la etapa de amplificación sacrifica de manera importante los valores de OSNR dado que para fibras G.652 el coeficiente estipulado es 0.25dB/km en este caso llegando a tener variación hasta 0,37dB/km por el Hilo 1 (ver **Tabla 3**).

Tabla 3. Comparativo OSNR 2

$OSNR_{dB}$	Teórico	Simulado	Gestión
Nodo A	40	40	40
Acumulado	35,9	35,9	27,7

5. Conclusiones

La fibra G.652 es la mejor opción para medios de transmisión dado sus valores de atenuación bajo en banca C, la dispersión cromática es mayor, pero al tener redes coherentes no se tiene problema alguno ya que los transponder coherentes realizan un ajuste de este efecto.

Los cálculos matemáticos realizados y de acuerdo a cada uno de los valores obtenidos como coeficiente de atenuación y distancia de la fibra podemos generar un presupuesto de potencia óptico, el cual pueda mantener la potencia recomendada de entrada en amplificadora y esta cumpla con los valores de sensibilidad de esta forma asegurando valores indispensables para redes coherentes como OSNR.

La simulación realizada en Virtual Photonics (VPI) logra comprobar el funcionamiento del enlace simulado teniendo en cuenta la sensibilidad de cada uno de los elementos de la capa óptica implicados, logrando verificar valores de señal a ruido de 35,9dB acumulado para un enlace de 52km utilizando amplificador EDFA. Es importante recalcar los anexos 1 y 2 que explicarán de una manera más simple cada uno de los valores de OSNR y presupuesto de potencia óptico de la red.

Referencias

- Cisco Systems Inc. (2000). *Introduction to DWDM technology*. https://www.cisco.com/c/dam/global/de_at/assets/docs/dwdm.pdf
- Cisco Systems Inc. (2004). *Optical network design and implementation*. Cisco Press.
- Gorshe, S. (2009). *A Tutorial on ITU-T G.709 Optical Transport Networks (OTN)*. PMC-Sierra
- Headley, C., & Agrawal, G. (2005). *Raman Amplification in Fiber Optical Communication System*. Elsevier Academic Press
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, (2022). *Boletín Trimestral de las TIC*. Cifras tercer trimestre de 2022. <https://colombiatic.mintic.gov.co/679/w3-article-274258.html>
- Mohammed, N. (2004). *Raman Amplifiers for Telecommunications 2, Sub-Systems and Systems*. Springer
- Padtec (2020). *LPE20 - Introdução à Teoria de DWDM*. Campinas.
- Padtec. (2023). *Plataforma LightPad i6400G 200-Channel DWDM Multiservice System, Versão TM.LP64.2023.02.POR.VI*.
- Pulikkaseril, C., Stewart, L., Roelens, M., Baxter, G., Poole, S., & Frisken, S. (2017). *Spectral modeling of channel band shapes in wavelength selective switches*.

https://opg.optica.org/directpdfaccess/2fb77474-05b8-496c-b409fdb7ca23f6a9_212815/oe-19-9-8458.pdf?da=1&id=212815&seq=0&mobile=no

- Ramaswami, R., Sivarajan, K., & Sasaki, G. (2002). *WDM Network Elements, in Optical Networks, A Practical Perspective*. Morgan Kaufmann
- Recommendation ITU-T G.652. (2016). *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable*.
- Recommendation ITU-T G.653. (2010). *Characteristics of a dispersion-shifted, single-mode optical fibre and cable*.
- Recommendation ITU-T G.655. (2009). *Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable*.
- Recommendation ITU-T G.694.1. (2020). *Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid*.
- Recommendation ITU-T G-series Sup.39. (2016). *Optical system design and engineering considerations*.
- Viavi Solutions (2019). *ROADM and Wavelength Selective Switches*. <https://www.viavisolutions.com/en-us/literature/roadm-and-wavelength-selective-switches-application-notes-en.pdf>
- Yepes, H. (2019). *Modelo para establecer la migración de red de transporte óptico para soportar futuros servicios basados en la nube y modelo para establecer la migración de red de transporte óptico para soportar futuros servicios*. https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/14262/1/YepesHernan_2019_ModeloEstablecerMigracion.pdf