

INCIDENCE PARAMETERS WHICH AFFECT OPTICAL SIGNAL QUALITY ON THE PERFORMANCE OF A WDM METROPOLITAN NETWORK

INCIDENCIA DE LOS PARAMETROS QUE AFECTAN LA CALIDAD DE LA SEÑAL ÓPTICA EN EL DESEMPEÑO DE UNA RED METROPOLITANA WDM

Ing. Andrés Escallón P., Ing. James Barrios L., Ing. Alejandro Toledo T.

Universidad del Cauca

Grupo I+D Nuevas Tecnologías en Telecomunicaciones - Facultad de Ingeniería
Electrónica y Telecomunicaciones, Popayán, Colombia
E-mail: {aescallon, jbarrios, atoledo}@unicauca.edu.co

Abstract Networks' Performance Monitoring plays an essential role in the future evolution and in the optical industry deployment, because one of the successful keys of the New Generation Networks will be ensuring Quality of Service (QoS) and offering dynamic and differentiated optical services. This article studies the incidence of the parameters which affects optical signal quality on the performance of a WDM metropolitan network, by means of an adequate Optical Channel Monitoring (OCM).

Resumen: El monitoreo de desempeño de las redes juega un papel esencial en la futura evolución y en el despliegue de la industria óptica, ya que una de las claves del éxito de las redes de nueva generación será asegurar Calidad de Servicio (QoS) y ofrecer servicios ópticos dinámicos y diferenciados. Este artículo estudia la incidencia de los parámetros que afectan la calidad de la señal óptica en el desempeño de una red metropolitana WDM característica, a través de un adecuado Monitoreo del Canal Óptico (OCM).

Keywords: BER, DWDM, Externally Modulated Laser (EML), Electrical Signal to Noise Ratio (ESNR), Q factor, Optical Channel (OCh), OPM, OSNR.

1. INTRODUCCIÓN

Un sistema de monitoreo para redes de fibra óptica facilita la administración de redes ópticas a través de pruebas y documentación precisa de la red, aumentando de esta manera la productividad. También se incrementa la satisfacción del cliente mediante un mejor monitoreo de red, destacándose OPM. En general, un sistema de monitoreo entrega información eficiente para garantizar que la fibra óptica esté lista para usarse en el momento preciso, mejorando así la rentabilidad de su inversión, el óptimo nivel de utilización, el aprovechamiento de la red y la calidad de los servicios ofrecidos. Es importante decir que en las redes ópticas actuales,

donde la tecnología DWDM está avanzando a un ritmo veloz, aumentando continuamente los límites de alcance, la cantidad de canales y la velocidad de canal, se justifica implementar el monitoreo óptico debido a que dichas redes están evolucionando desde el contexto opaco (por ejemplo redes SONET/SDH), el cual se maneja en el dominio eléctrico y se necesita la conversión Óptica-Eléctrica-Óptica (O/E/O) de la señal, al contexto transparente (por ejemplo redes totalmente ópticas), donde se trabaja en el dominio óptico sin necesidad de dicha conversión O/E/O, con excepción del terminal final a donde debe llegar la señal óptica. Dado que las redes actuales incluyen varios elementos ópticos transparentes entre los

puntos de regeneración eléctricos, se hace necesario efectuar la comprobación de la calidad de desempeño en el dominio óptico para evaluar el comportamiento del canal óptico, tal como se afirma en la Rec. UIT-T G.697.

2. MONITOREO DE REDES ÓPTICAS

En la capa WDM, los parámetros más importantes son: la longitud de onda de cada canal, la potencia por canal DWDM, la potencia total en la fibra, la OSNR, y las desviaciones de dichos parámetros.

2.1. Monitoreo de Desempeño Óptico

OPM se refiere al monitoreo a nivel de la capa física de la calidad de la señal, con el propósito de determinar el buen funcionamiento de la señal en el dominio óptico (Cisco Systems, Inc., 2000).

2.2. Modelo de Referencia OPM

El Modelo de Referencia OPM, consta de tres capas como lo muestra la Figura 1 (D. C. Kilper, *et al.*, 2004).

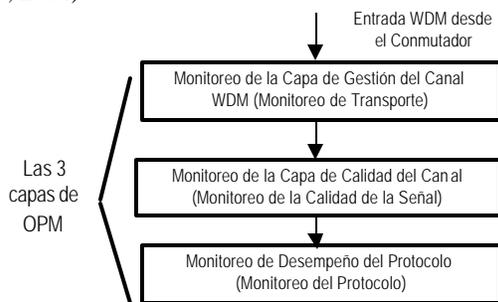


Fig.1. Las 3 capas OPM: Monitoreo de Transporte, Monitoreo de la Calidad de la Señal, Monitoreo del Protocolo (D. C. Kilper, *et al.*, 2004).

Teniendo en cuenta las descripciones de cada capa del modelo de referencia (D. C. Kilper, *et al.*, 2004), dentro del desarrollo de este artículo se consideran únicamente las capas de transporte (Monitoreo del Canal Óptico, OCM) y de la calidad de la señal, enfatizando en el monitoreo del canal óptico.

3. MONITOREO AVANZADO DE LA BER (FACTOR Q)

La BER es el parámetro más usado en la gestión de fallas y es sensible a los mismos deterioros o daños que afectan la QoS, debido a que tiene la misma métrica que se usa en cada terminal de red; en cambio en localización de fallas, se espera

identificar la ubicación de la causa de la degradación de la BER. Otra solución a la baja sensibilidad del monitoreo de la BER es usar el monitoreo del factor Q. El factor Q para una señal de transmisión digital se refiere en esencia a la SNR en el circuito de decisión de los receptores. (D. C. Kilper, *et al.*, 2004).

4. DEGRADACIONES ÓPTICAS Y PARÁMETROS DE MONITOREO.

La transmisión de la luz en la fibra óptica presenta varios desafíos que deben tratarse, porque de ellos depende el desempeño de una red, como se indica a continuación (Cisco Systems, Inc., 2000):

- *Atenuación*: pérdida de la potencia de la luz o decaimiento de la fuerza de la señal, a medida que la señal se propaga a través de la fibra.
- *Dispersión*: ensanchamiento de los pulsos de luz a medida que viajan por la fibra.
- *Efectos no lineales*: efectos acumulativos producto de la interacción de la luz con el material por el cual ésta viaja, resultando en cambios en la onda de luz e interacciones entre ondas de luz.

Este artículo hace énfasis en las degradaciones ópticas y los parámetros de monitoreo óptico que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Degradaciones Ópticas y Parámetros de Monitoreo Óptico (Rec. UIT-T G.697).

DEGRADACIONES ÓPTICAS	PARÁMETROS DE MONITOREO ÓPTICO
Dispersión Cromática.	Longitud de onda de cada canal.
PMD.	BER (factor Q).
Diafonía.	OSNR.
Atenuación.	Potencia por canal DWDM.

La tabla 1 muestra el orden de causa-efecto” de las degradaciones ópticas (a excepción de la diafonía) y el orden de prioridad de los parámetros de monitoreo óptico.

4.1 Atenuación

La atenuación en las fibras ópticas es un efecto lineal que se origina por factores intrínsecos, principalmente dispersión y absorción, y por factores extrínsecos que incluyen defectos en el proceso de fabricación. En la figura 2, se muestra la pérdida en dB/Km en función de la longitud de onda.

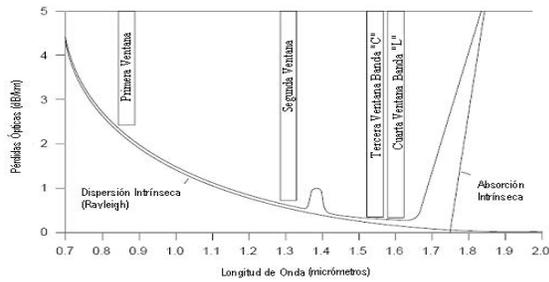


Fig. 2. Curva Total de Atenuación
(Cisco Systems, Inc., 2000.)

4.2. Dispersión

Uno de los deterioros o daños físicos más importantes es la dispersión. Según la figura 3, la dispersión es un efecto que produce distorsión en la señal, debido a que ensancha el pulso de luz mientras viaja a través de la fibra, lo que hace que se mezcle dentro de pulsos adyacentes, haciendo difícil la recuperación de la señal en su destino, y además limitando el ancho de banda de la fibra. Los sistemas DWDM son afectados por dos tipos de dispersión, correspondientes a las principales contribuciones de la misma: *Dispersión Cromática* y *Dispersión por Modo de Polarización (PMD)* (Cisco Sys., Inc., 2000; Martínez and Pinart, 2006).

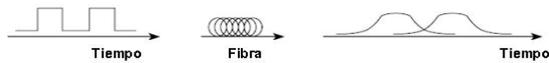


Fig. 3. Principio de Dispersión
(Cisco Systems, Inc., 2000).

La *Dispersión Cromática* es un efecto determinístico por naturaleza y que puede compensarse fácilmente en los enlaces ópticos, especialmente en sistemas lineales (Martínez and Pinart, 2006). Se produce cuando las distintas longitudes de onda se propagan a diferentes velocidades, y se incrementa con el cuadrado de la velocidad de transmisión. Se puede deducir que la dispersión varía como función de la longitud de onda para un material dado (Cisco Systems, Inc., 2000).

5. CORRELACIÓN ENTRE ALGUNAS DEGRADACIONES ÓPTICAS Y PARÁMETROS DE MONITOREO ÓPTICO

De acuerdo a la tabla 2, se puede concluir que todas las degradaciones ópticas señaladas, tienen una correlación directa con los parámetros de monitoreo: *potencia de canal*, *OSNR*, y *factor Q* indicando que dichos parámetros son de especial importancia para un buen desempeño de la red, teniendo en cuenta que en este contexto, para el

desarrollo de este artículo, se va a trabajar con mayor énfasis los parámetros: *OSNR* y *Factor Q (BER)*.

Tabla 2. Correlación entre las Degradaciones de Elevada Frecuencia de Ocurrencia y los Parámetros de Monitoreo (Rec. UIT-T G.697).

Parámetros Degradaciones	Potencia Total	Potencia del Canal	Longitud de Onda del Canal	OSNR	Factor Q
Variación de Atenuación	X	X		X	X
Desviación de Frecuencia (o Longitud de Onda del Valor Nominal)		X	X	X	X
Variaciones de la Potencia del Canal Óptico Debido a Variaciones de Ganancia		X		X	X

Es necesario aclarar que tanto la variación de atenuación como las variaciones de potencia del canal óptico debido a variaciones de ganancia, se encuentran todavía en estudio. Por el contrario, según la tabla 2.4, existe una correspondencia directa entre la desviación de frecuencia del valor nominal y la longitud de onda de canal, ya que la exactitud de medición requerida para la longitud de onda de canal depende de la desviación de frecuencia central máxima para el canal, de acuerdo con según la Rec. UIT-T G.697.

6. DIAGRAMA DEL OJO

La BER, SNR, OSNR son parámetros de medición que proporcionan información acerca de la calidad del enlace y del desempeño de la transmisión; donde se ve involucrado el funcionamiento de los equipos de recepción, transmisión, cable y demás. Pero en determinados casos y para diversos inconvenientes muchos de estos parámetros de medición no son apropiados para encontrar el origen del problema, por esto se hace necesario e indispensable el uso del diagrama de ojo ya que permite el análisis de las formas de onda de los pulsos que se propagan en el canal de transmisión y del cual se pueden deducir parámetros de medición como BER y factor Q (Dinamarca, 2002).

El diagrama de ojo, muestra en un rango de tiempo la superposición de las distintas combinaciones posibles de unos y ceros. Dichas señales transmitidas por el enlace, permiten obtener las características de los pulsos que se propagan por el medio de comunicación (fibra óptica).

Tabla 3. Resultados de Monitoreo del OCh con la Fibra MetroCor a 2.5Gbps (CWDM).

F (THz)	l (nm)	Ch	A (dB/Km)	D (ps/nm ² km)	PARÁMETROS DE MEDIDA								
					PRxo (dBm)	No (dBm)	OSNR (dB)	PRxe (dBm)	Ne (dBm)	ESNR (dB)	BER (10 ⁻¹⁰)	Q	X (km)
232,2	1291	1	0,35	-51,438	-23,013	-153,585	130,57	-73,098	-90,769	17,672	9,880	6,000	53,352
228,7	1311	2	0,35	-46,774	-23,017	-153,593	130,57	-73,105	-90,769	17,665	9,866	6,000	53,363
225,2	1331	3	0,35	-42,351	-23,020	-153,595	130,57	-73,112	-90,769	17,657	9,870	6,000	53,374
221,9	1351	4	0,40	-38,150	-23,029	-153,611	130,58	-73,129	-90,768	17,640	9,905	5,999	46,725
218,7	1371	5	0,39	-34,157	-23,031	-153,621	130,59	-73,132	-90,768	17,637	9,880	6,000	47,926
215,5	1391	6	0,38	-30,356	-23,033	-153,637	130,60	-73,135	-90,768	17,633	9,879	6,000	49,192
212,5	1411	7	0,37	-26,734	-23,035	-153,661	130,62	-73,139	-90,768	17,629	9,909	5,999	50,527
209,5	1431	8	0,36	-23,279	-23,035	-153,646	130,61	-73,139	-90,768	17,629	9,808	6,001	51,932
206,6	1451	9	0,35	-19,978	-23,037	-153,638	130,60	-73,144	-90,768	17,624	9,854	6,000	53,422
203,8	1471	10	0,30	-16,823	-23,037	-153,633	130,59	-73,143	-90,768	17,625	9,853	6,000	62,325
201,1	1491	11	0,25	-13,803	-23,037	-153,636	130,59	-73,144	-90,768	17,624	9,878	6,000	74,789
198,4	1511	12	0,20	-10,909	-23,036	-153,638	130,60	-73,142	-90,768	17,626	9,831	6,001	93,481
195,8	1531	13	0,20	-8,134	-23,040	-153,640	130,60	-73,150	-90,768	17,618	9,898	5,999	93,503
193,3	1551	14	0,20	-5,469	-23,042	-153,651	130,60	-73,153	-90,768	17,614	9,886	6,000	93,514
190,8	1571	15	0,20	-2,909	-23,042	-153,661	130,61	-73,153	-90,767	17,614	9,818	6,001	93,514
188,4	1591	16	0,20	-0,445	-23,042	-153,757	130,71	-73,153	-90,767	17,615	9,894	6,000	93,514

Tabla 4. Resultados de Monitoreo del OCh con la Fibra MetroCor a 10 Gbps (CWDM).

F (THz)	l (nm)	Ch	A (dB/Km)	D (ps/nm ² km)	PARÁMETROS DE MEDIDA								
					PRxo (dBm)	No (dBm)	OSNR (dB)	PRxe (dBm)	Ne (dBm)	ESNR (dB)	BER (10 ⁻¹⁰)	Q	X (km)
232,2	1291	1	0,35	-51,438	-17,291	-84,093	66,802	-61,589	-84,721	23,132	9,812	6,001	36,620
228,7	1311	2	0,35	-46,774	-17,741	-84,542	66,801	-62,480	-84,725	22,246	9,846	6,000	37,905
225,2	1331	3	0,35	-42,351	-18,168	-84,967	66,799	-63,324	-84,730	21,406	9,881	5,999	39,125
221,9	1351	4	0,40	-38,150	-19,062	-85,851	66,789	-65,073	-84,736	19,663	9,815	6,000	36,471
218,7	1371	5	0,39	-34,157	-19,191	-85,978	66,786	-65,318	-84,735	19,416	9,855	6,000	37,737
215,5	1391	6	0,38	-30,356	-19,299	-86,085	66,786	-65,519	-84,735	19,215	9,843	6,000	39,013
212,5	1411	7	0,37	-26,734	-19,387	-86,175	66,788	-65,680	-84,736	19,057	9,826	6,001	40,305
209,5	1431	8	0,36	-23,279	-19,467	-86,237	66,770	-65,822	-84,738	18,916	9,915	5,999	41,646
206,6	1451	9	0,35	-19,978	-19,499	-86,285	66,786	-65,869	-84,741	18,872	9,872	6,000	42,928
203,8	1471	10	0,30	-16,823	-19,499	-86,281	66,782	-65,873	-84,741	18,868	9,839	6,000	50,084
201,1	1491	11	0,25	-13,803	-19,500	-86,300	66,799	-65,878	-84,740	18,863	9,875	6,000	60,103
198,4	1511	12	0,20	-10,909	-19,499	-86,287	66,788	-65,880	-84,740	18,860	9,910	5,999	75,121
195,8	1531	13	0,20	-8,134	-19,568	-86,367	66,799	-65,982	-84,744	18,762	9,849	6,000	75,468
193,3	1551	14	0,20	-5,469	-19,896	-86,694	66,798	-66,614	-84,746	18,131	9,918	5,999	77,107
190,8	1571	15	0,20	-2,909	-20,069	-86,875	66,806	-66,945	-84,748	17,803	9,868	6,000	77,972
188,4	1591	16	0,20	-0,445	-20,169	-86,925	66,756	-67,134	-84,743	17,609	9,923	5,999	78,474

De acuerdo con la información presentada en las tablas 3 y 4, los resultados de monitoreo son evidentes al obtener los valores de los parámetros de medida tanto en el dominio de la frecuencia (PRxo, No, OSNR, PRxe, Ne, ESNR) como en el dominio del tiempo (BER, Factor Q). Lo que se busca cuando se trabaja sin multiplexación (canal simple) es encontrar la máxima distancia de transmisión alcanzada para un factor Q igual o mayor a 6, lo que equivale a una BER igual o menor a 10^{-9} (correspondiente al peor caso). Además, es claro decir que independientemente de la velocidad de transmisión, la ventana de 1550 nm tiene mucho mejor comportamiento en cuanto

a la incidencia de la dispersión cromática y de la atenuación para una fibra MetroCor (la cual es una de las más usadas en DWDM) y DSF. El caso contrario ocurre con la fibra SMF-28, ya que la ventana de 1310 nm es la que mejor comportamiento presenta en cuanto a la incidencia de la atenuación y de la dispersión cromática; por lo anterior, en las tablas 5 y 6 se resumen los resultados de los escenarios básicos 1 (2.5 Gbps) y 2 (10 Gbps) a través de la comparación del desempeño de los tres tipos de fibras (SMF-28, DSF, MetroCor), las cuales modelan el comportamiento del canal óptico (OCh) mediante las constantes de atenuación y dispersión.

Tabla 5. Escenario Básico 1 (2.5 Gbps)

PRUEBAS						PARÁMETROS DE MEDIDA							
Item	l (nm)	Fibra	A (dB/km)	D (ps/nm/km)	PRxo (dBm)	No (dBm)	OSNR (dB)	PRxe (dBm)	Ne (dBm)	ESNR (dB)	BER (10 ⁻¹⁰)	Q	X (km)
1	1310	SMF-28	0,30	-0,178	-23,042	-153,677	130,635	-73,152	-90,767	17,616	9,879	6,000	62,341
2	1310	DSF	0,40	-26,722	-23,038	-153,641	130,603	-73,144	-90,768	17,624	9,828	6,001	46,745
3	1310	MetroCor	0,35	-47,002	-23,017	-153,595	130,578	-73,105	-90,769	17,665	9,881	6,000	53,363
4	1550	SMF-28	0,20	16,784	-22,993	-153,603	130,610	-73,055	-90,768	17,714	9,817	6,001	93,268
5	1550	DSF	0,25	0,000	-23,042	-153,644	130,602	-73,152	-90,767	17,615	9,911	5,999	74,810
6	1550	MetroCor	0,20	-5,600	-23,042	-153,645	130,602	-73,153	-90,768	17,614	9,892	6,000	93,514

Tabla 6. Escenario Básico 2 (10 Gbps)

PRUEBAS						PARÁMETROS DE MEDIDA							
Item	l (nm)	Fibra	A (dB/km)	D (ps/nm/km)	PRxo (dBm)	No (dBm)	OSNR (dB)	PRxe (dBm)	Ne (dBm)	ESNR (dB)	BER (10 ⁻¹⁰)	Q	X (km)
1	1310	SMF-28	0,30	-0,178	-20,171	-86,934	66,763	-67,139	-84,743	17,603	9,913	5,999	52,327
2	1310	DSF	0,40	-26,722	-19,490	-86,279	66,789	-65,843	-84,742	18,899	9,810	6,001	37,540
3	1310	MetroCor	0,35	-47,002	-17,719	-84,521	66,801	-62,437	-84,725	22,288	9,884	5,999	37,843
4	1550	SMF-28	0,20	16,784	-18,557	-85,326	66,769	-64,069	-84,734	20,665	9,858	5,999	70,421
5	1550	DSF	0,25	0,000	-20,171	-86,930	66,760	-67,138	-84,743	17,605	9,896	6,000	62,790
6	1550	MetroCor	0,20	-5,600	-19,881	-86,676	66,795	-66,585	-84,745	18,160	9,814	6,001	77,033

9. CONCLUSIONES

La fibra SMF-28 es mejor actuando tanto la atenuación como la dispersión en 1310 nm a 2.5 ya 10 Gbps comparada con la fibra MetroCor. Lo anterior es debido a que a 2,5 Gbps la dispersión no afecta tanto como en 10 Gbps donde la MetroCor presenta mejor desempeño en cuanto a la máxima distancia alcanzada sin compensación de dispersión para un factor Q=6.

La fibra DSF es la que peor desempeño presenta, debido a que su dispersión "cero" es no deseada por que habilita el efecto de las no linealidades; además para 2.5 y 10 Gbps se alcanzaron las menores distancias para un factor Q=6 en comparación con los otros dos tipos de fibra.

La fibra MetroCor no se diseñó para operar en 1310 nm; por su parte, la fibra DSF tampoco se optimizó en esa ventana. A pesar de lo anterior, se hicieron las pruebas correspondientes a nivel de simulación que permitieron obtener resultados en cuanto al desempeño de la red.

Se comprobó que la ventana de 1550 nm presenta un mejor desempeño que la ventana de 1310 nm en cuanto a la máxima distancia alcanzada para un factor Q=6, para los tres tipos de fibra empleadas (SMF-28, DSF, MetroCor) y para las velocidades de 2.5 y 10 Gbps, debido a que en dicha ventana la constante de atenuación es menor.

Se comprobó que las distancias alcanzadas a menor velocidad de transmisión son siempre mayores,

para las condiciones del sistema establecidas (factor Q=6), por que la dispersión cromática es proporcional al cuadrado de la velocidad de transmisión, y por lo tanto los pulsos se ven más afectados por la ISI degradando el desempeño del sistema.

En términos de desempeño de la red, la fibra MetroCor es la que mejor se comporta, seguida de la fibra estándar, y en el último lugar se encuentra la fibra DSF, de acuerdo a los resultados obtenidos sobre las máximas distancias alcanzadas con cada fibra.

En la tabla 3 se encontró que la máxima distancia alcanzada para la fibra MetroCor fue de 93514 km para una longitud de onda de 1591 nm y a una velocidad de transmisión de 2.5 Gbps; en cambio a 10 Gbps, se encontró en la tabla 4 que la máxima distancia alcanzada para la fibra MetroCor fue de 78474 km en 1591 nm. De esta manera, se puede concluir que la distancia alcanzada disminuye cuando se incrementa la velocidad de transmisión (y los demás parámetros se dejan constantes), debido principalmente a la incidencia de la dispersión cromática, la cual se incrementa proporcionalmente con el cuadrado de la velocidad de transmisión. Además, se comprobó a través de los escenarios de simulación que a medida que la longitud del enlace y la velocidad de transmisión aumentan, los efectos de la dispersión cromática también se incrementan. Los efectos de la atenuación y de la dispersión cromática se ven reflejados en función de la longitud de onda, por eso los valores obtenidos van cambiando de acuerdo a cómo cambien las degradaciones ópticas mencionadas.

Es importante resaltar que, si se busca el peor caso de desempeño de la red ($Q=6$), la distancia alcanzada es mínima cuando la constante de atenuación es máxima y/o cuando el valor absoluto de la constante de dispersión es máximo; en cambio, la distancia alcanzada es máxima cuando la constante de atenuación es mínima y/o cuando el valor absoluto de la constante de dispersión es mínimo. Además, para CWDM, la distancia máxima alcanzada depende tanto de la dispersión como de la atenuación, en 2.5 y 10 Gbps; mientras que para DWDM, la distancia máxima alcanzada también depende tanto de la atenuación como de la dispersión, pero generalmente a 2.5 Gbps la atenuación es la que limita la distancia máxima alcanzada; y por otro lado, generalmente a 10 Gbps la dispersión es la que limita la distancia máxima alcanzada.

Finalmente, de acuerdo a los resultados obtenidos en las tablas 5 y 6, se puede afirmar que:

- Los resultados muestran que la fibra DSF es la que peor desempeño presenta en cuanto a la máxima distancia alcanzada sin compensación de dispersión, cuando el sistema se optimiza para el peor caso ($BER = 10^{-9}$ o Factor $Q = 6$), independientemente de la velocidad de transmisión (2.5 o 10 Gbps) y de la ventana de operación (1310 o 1550 nm), debido a su alta constante de atenuación en comparación con la fibras SMF-28 y MetroCor.
- La fibra SMF-28 es la que mejor desempeño presenta en la ventana de 1310 nm, independiente de la velocidad de transmisión (2.5 o 10 Gbps), debido a su baja constante de atenuación y al pequeño valor absoluto de su constante de dispersión.
- La fibra MetroCor es la que mejor desempeño presenta en la ventana de 1550 nm, independiente de la velocidad de transmisión (2.5 o 10 Gbps), debido a su baja constante de atenuación y al pequeño valor absoluto de su constante de dispersión.
- Cuando la velocidad de transmisión se incrementa de 2.5 a 10 Gbps, se observa una penalidad en la máxima distancia alcanzada, que en promedio es de 11 km para la ventana de 1310 nm y de 17 km para 1550 nm independientemente del tipo de fibra (SMF-28, DSF, MetroCor); lo anterior se debe principalmente a los efectos de la dispersión cromática que degradan significativamente el desempeño del sistema, manteniendo constante las condiciones del sistema (peor caso).

Además, el promedio de la variación de la penalidad de la distancia entre las ventanas de 1310 y 1550, para una misma fibra, es de 5 km.

- Como el sistema está optimizado para el peor caso el parámetro de medida que está variando sustancialmente es la distancia máxima alcanzada sin compensación de dispersión, por que los demás parámetros (PRxo, No, OSNR, PRxe, Ne, ESNR) están condicionados a la calidad del sistema, y por lo tanto están variando de forma mínima en torno a un valor determinado.

REFERENCIAS

- Calatayud P., *et al.* (2001). Diseño de una red óptica MAN WDM transparente basada en un protocolo round robin síncrono con reservas.
- Cisco Systems, Inc. (2000). Introduction to DWDM for Metropolitan Networks.
- D. C. Kilper, *et al.* (2004). Optical Performance Monitoring, *IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology*, **Vol. 22**, No. 1, pp. 294-304.
- Dinamarca J. (2002). Análisis de Diagrama de Ojo. Universidad Técnica Federico Santa María, Departamento de Electrónica, Teoría de Comunicaciones Digitales, Valparaíso (Chile).
- Fawaz, W., *et al.* (2004). Service Level Agreement and Provisioning in Optical Networks. *IEEE Communications Magazine*, **Vol. 42**, No. 1, pp. 36-43.
- Gualda E. (2005). Optimización de las Prestaciones de Enlaces Ópticos Submarinos de Gran Capacidad y Larga Distancia Mediante el Control de La Dispersión. Escola Tècnica Superior D'enginyeria de Telecomunicació de Barcelona,.
- Martínez R. and Pinart C., *Centre Tecnològic de Telecomunicacions de Catalunya et al.* (2006). Challenges and Requirements for Introducing Impairment-Awareness into the Managment and Control Planes of ASON/GMPLS WDM Networks", *IEEE Communications Magazine*, **Vol. 44**, No. 12, pp. 76-85.
- Tomkos I., *et al.* (2001). 10 Gb/s Transmission of 1.55 um Directly Modulated Signal over 100 Km of Negative Dispersion Fiber. *IEEE Photonics Technology letters*, **Vol. 13**, No. 7, pp 735- 737.
- Tomkos I., *et al.* (2003). Demonstration of Negative Dispersion Fibers for DWDM Metropolitan Area Networks. *IEEE Journal On Selected Topics In Quantum Electronics*, **Vol. 7**, No. 3, pp. 439 - 460.