

## CAPÍTULO 5

# Conclusiones

Mediante la realización de este trabajo se logró estudiar las diferentes consideraciones de diseño para un enlace de comunicaciones WDM enfocado a la implementación de la capa física del proyecto Delta Metropolitana de Supercómputo. Mediante el uso de un simulador basado en LabVIEW, desarrollado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM en colaboración con Bell Labs/Alcatel-Lucent, se logró analizar como es que los fenómenos de atenuación, dispersión y no-lineales en conjunto y de manera simultánea afectan la propagación de los pulsos ópticos en una fibra, particularmente en los futuros enlaces de la Delta.

Por otro lado, mediante la realización de pruebas experimentales con equipos ópticos WDM comerciales, se logró estudiar el impacto que algunos parámetros de diseño tendrán en los enlaces del proyecto, sirviendo como continuación al trabajo de investigación que se ha venido desarrollando para implementar la Delta Metropolitana.

En particular se encontró que:

- El degradamiento de la señal debido a los efectos de la dispersión cromática en los enlaces de la Delta se encuentra dentro de rangos tolerables especificados por la UIT-T y por los equipos comerciales analizados. Esto se debe a las relativamente cortas longitudes de los enlaces (<40km). Por lo que es posible utilizar fibra G.652 y pulsos ópticos modulados en amplitud del tipo NRZ a tasas de hasta 10 Gbps, con una penalización de potencia de tan solo 1 dB. Sin embargo, si se desea aumentar la tasa de transmisión a 40 o 100 Gbps, se deberán utilizar métodos de compensación de dispersión.
- Debido a la utilización de pulsos NRZ-OOK de hasta 10 Gbps, a la separación entre canales de 100 GHz y al tipo de fibra propuesta con coeficiente de dispersión de 17 ps/nm\*km, no existe una degradación significativa de la señal por efectos no-lineales. Cayendo en ninguna penalización de potencia.
- La gran cantidad de empalmes y la utilización de DFO's provoca que la atenuación que se presentará en los enlaces sea aproximadamente de 25 dB, tomando en cuenta todas las pérdidas por inserción de los elementos. En este aspecto, se debe buscar utilizar tarjetas multiplexoras y demultiplexoras que presenten pérdidas por inserción por debajo de los 5 dB para disminuir dicha atenuación. Por otro lado, debido a que la potencia más baja a la que trabajan los transmisores a 10 Gbps analizados es de 3 dBm y los de 2.5 Gbps es de 0 dBm, será necesario utilizar fotodiodos APD y fotodiodos *p-i-n* con sensibilidades alrededor de los -28 dB respectivamente.
- En este aspecto, la primer opción para contrarrestar los efectos de la atenuación en los enlaces es la utilización de amplificadores tipo booster, los cuales darían la posibilidad de utilizar transponders que emitan una menor potencia óptica en un futuro, (Ej. transponders a 40 o 100 Gbps), y dejando al sistema preparado para futuras expansiones. La disminución del OSNR debido a su utilización no resultaría en ningún problema para el rendimiento de los enlaces.

- La segunda opción radicaría en la utilización de codificación FEC, la cual aportaría una ganancia de aproximadamente 6 dB y garantizaría el correcto funcionamiento del sistema sin la necesidad de utilizar amplificadores.

Tomando en cuenta los puntos arriba descritos, se presenta a continuación las características de los equipos propuestos para la implementación de la Delta Metropolitana de Supercómputo.

- Tarjetas transmisoras-receptoras basadas en láseres DFB con sistemas de enfriamiento, control de estabilidad y basadas en fotodiodos APD para 10 Gbps y *p-i-n* para 2.5 Gbps. Cuya potencia óptica emitida no sea menor a 0 dBm
- Tarjetas multiplexoras y demultiplexoras que presenten pérdidas por inserción menores a los 5 dB y crosstalk para canales adyacentes menor a los -16 dB.
- Utilización de codificación FEC con el fin de contrarrestar la degradación de la señal, especialmente debido a la atenuación.
- La utilización de fibra tipo G.655, la cual reduciría considerablemente el ensanchamiento del pulso debido a su coeficiente de dispersión de 5 ps/nm\*km. De esta manera, junto con la utilización de codificación FEC, permitiría el empleo de 40 Gbps en cada uno de los enlaces.

## 5.1. Trabajo futuro

La gran demanda de ancho de banda y velocidades de transmisión que se ha observado últimamente en los servicios de telecomunicaciones, ocasiona que sea necesario un gran avance tecnológico en las redes de comunicaciones actuales. Como se ha mencionado anteriormente, la tecnología WDM explota de manera radical la gran capacidad de la fibra óptica y ha logrado satisfacer de una u otra manera las demandas actuales.

Sin embargo, está empezando a existir la necesidad de explotar aun más la capacidad de la fibra. Este aumento se puede realizar en principio de dos formas: una es el incremento en la tasa de transmisión en los canales transmitidos, mientras que la otra es el aumento del número de canales WDM. Sin embargo, estas dos soluciones presentan grandes limitaciones para su implementación con los dispositivos ópticos actuales. Mientras el uso de mayores tasas de transmisión ocasiona el aumento del ensanchamiento del pulso y por ende la disminución radical de la distancia de transmisión, el aumento del número de canales ocasiona que los efectos no-lineales degraden bastante la forma del pulso óptico transmitido y el crosstalk entre canales. Por lo que investigaciones futuras radicarán en la implementación de nuevas tecnologías que sean capaces de reducir estos efectos.

Actualmente, diferentes empresas han introducido al mercado los primeros sistemas a 100 Gbps trabajando sobre las redes WDM actuales. Dichos sistemas trabajan con nuevos tipo de modulación con el fin de contrarrestar los efectos dispersivos de la fibra. Como sería el caso de DP-QPSK o *Dual Polarization Quadrature Phase Shift Keying*.

El empleo de nuevos tipos de modulación conlleva no solo al estudio de las implicaciones que tienen lugar en la transmisión, sino también al cambio de hardware en los transmisores y receptores, empleando arreglos de moduladores ópticos, polarizadores, detectores de fase, etc. Por lo tanto, sería interesante ahondar en el uso de este tipo de nuevas tecnologías con el fin explotar al máximo las grandes cualidades de los sistemas ópticos de telecomunicaciones.