

Propuesta de un manual de procedimiento para el mantenimiento y detección de fallas para una red metropolitana que utiliza la tecnología DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)

Freddy Patricio Garzón Utreras

Carlos Herrera Muñoz

Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito, Ecuador

Resumen – El presente artículo se enfoca en dar una visión sobre el mantenimiento de una red metropolitana que utiliza la tecnología DWDM, considerando las principales pruebas, procedimientos, rutinas de mantenimiento y recomendaciones para su correcto funcionamiento.

Se presentan los principios de funcionamiento de una red con tecnología DWDM, detallando los componentes que forman parte de la red, desde la recepción de los servicios hasta la entrega de los mismos, incluyendo toda la ruta de transporte.

Se presenta las pruebas de mantenimiento para una red metropolitana con tecnología DWDM, conocimientos que debe tener el personal encargado del mantenimiento, los equipos y materiales necesarios para este fin, se presenta las diferentes rutinas de mantenimiento preventivo que se recomiendan realizar periódicamente, se detalla el manual de procedimiento para el mantenimiento y detección de fallas para una red metropolitana que utiliza la tecnología DWDM, se presenta los equipos de medición necesarios y el manejo de sustancias y equipos peligrosos, que permitirán evaluar y diagnosticar el comportamiento de la red.

Índices – Detección de fallas, DWDM, equipos de medición, mantenimiento, procedimiento, protecciones, seguridad.

I. INTRODUCCIÓN

Basado en la realidad actual y necesidades de cumplir requerimientos cada vez más exigentes en cuanto a la demanda de ancho de banda que generan los servicios actualmente ofertados por los proveedores de servicios de telecomunicaciones, es necesario poner mucho énfasis en

el mantenimiento preventivo y correctivo de la red, ya que éste es uno de los principales factores que afectan a la calidad de servicio que se da a los usuarios finales.

Debido al rápido desarrollo de la ciencia y la tecnología, se requiere que la transmisión de información sea a altas velocidades y para ello se podría utilizar redes con tecnología WDM (Wavelength Division Multiplexing), que ayudan a solventar las altas demandas de capacidad tales como CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) y DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), permitiendo manejar grandes requerimientos de Ancho de Banda y en muchos casos migrar de redes ya implementadas con tecnología SDH (Synchronous Digital Hierarchy) y GE (Gigabit Ethernet) a redes de mayor capacidad, tomando en cuenta que el costo del equipamiento necesario para implementar una red con tecnología WDM es considerablemente mayor que una red puramente SDH o GE.

El uso de DWDM permite brindar diferentes servicios como correo, video y video sobre IP (Internet Protocol), datos sobre ATM (Asynchronous Transfer Mode) y portadoras de voz sobre SONET/SDH. A pesar de que estos formatos (IP, ATM y SONET/SDH) proporcionan una única gestión de ancho de banda, estos tres formatos pueden ser transportados sobre la capa óptica usando DWDM de una manera transparente. Esta única capacidad permite proporcionar un servicio flexible en respuesta a las demandas de ancho de banda que necesitan los clientes de la red.

Al referirse a una red de cobertura metropolitana no se consideran ciertas pruebas, equipos y parámetros que deben considerarse en una red de mayor cobertura, como son: requerimientos de potencia, equipos compensadores de dispersión cromática (DCM) debido a las grandes distancias, fenómenos no-lineales debido a las altas potencias, amplificadores de mayor potencia, etc.

Se considera que el personal responsable del mantenimiento está familiarizado, comprende y maneja todos los términos relacionados con ésta tecnología.

II. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DWDM

Una fibra puede ser considerada como una carretera con varios carriles, en la cual el sistema tradicional TDM sólo utiliza uno de los tantos carriles disponibles en esta vía. Implementando la tecnología DWDM sería similar a aprovechar y utilizar todos los carriles disponibles de la vía que todavía no han sido utilizados.

La multiplexación por división en longitud de ondas densas, DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) tiene su origen en la posibilidad de multiplexar varias señales sobre una misma fibra óptica utilizando diferentes longitudes de onda, ésta tecnología a diferencia de CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing), reduce el espaciado entre los diferentes canales ópticos que son utilizados dentro de la fibra óptica, consiguiendo 40, 80 o 160 canales ópticos separados entre sí 100 GHz, 50 GHz o 25 GHz respectivamente, así se puede aprovechar de mejor manera la capacidad disponible dentro del medio de transporte [1].

A. Componentes de una red DWDM

Dentro de los componentes principales que se pueden encontrar en una transmisión DWDM se pueden identificar cinco tipos de sub-sistemas dependiendo de su función dentro del sistema DWDM [2][3][4], los cuales se detallan a continuación: (Figura 1)

- Transpondedores OTU (Optical Transponder Unit)
- Multiplexores y Demultiplexores Ópticos OTM (Optical Terminal Multiplexer)
- Amplificadores Ópticos (OA)
- Multiplexores de Adición/Extracción OADM (Optical Add-Drop Multiplexer)

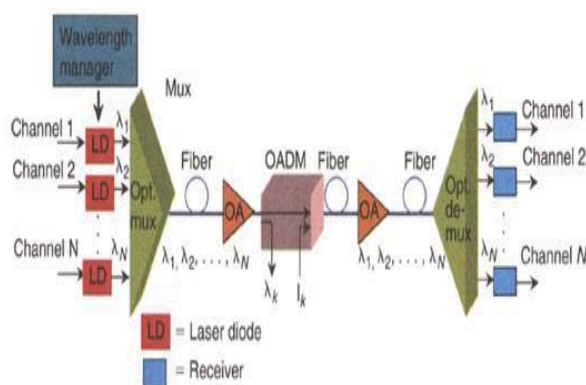


Fig. 1. Componentes de una red DWDM

Como elementos opcionales debido al encarecimiento y aumento de la complejidad de las soluciones de transporte pero con el fin de mejorar considerablemente la flexibilidad y escalabilidad de la red se pueden agregar los siguientes componentes:

- Cross-Conectores Ópticos OXCs (Optical Cross Connects)
- Multiplexores de Adición/Extracción Reconfigurables ROADM (Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer)

El proceso de transporte de la información es el siguiente:

1. Las señales de tributario (SDH, ETH, ATM, etc) son recibidas por el transpondedor y convertidas a una longitud de onda DWDM.
2. Las longitudes de onda DWDM provenientes del transpondedor, son multiplexadas dentro de una sola señal óptica e insertada dentro de la fibra.
3. Un amplificador amplifica la potencia de la señal óptica.
4. De ser necesario, Amplificadores Ópticos son utilizados cada cierta distancia de enlace.
5. Si es necesario una pre-amplificación, un amplificador amplificará la señal antes de que ésta entre en el nodo receptor.
6. La señal recibida es demultiplexada obteniendo diferentes longitudes de onda.
7. Las longitudes de onda individuales DWDM son identificadas para el tipo de salida requerido y enviadas a través del transpondedor a su señal original de tributario (SDH, ETH, ATM, etc)

III. PRUEBAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO

Para realizar el mantenimiento de una red DWDM se debe considerar el equipamiento adecuado para solventar cualquier inconveniente que se presente.

A. Equipos utilizados en el mantenimiento

Los equipos y materiales que se utilizan para el mantenimiento de una red con tecnología DWDM se indican en la Tabla 1 [5]:

Tabla 1: Equipo para mantenimiento

| Equipo / Material | Descripción / Funcionalidad |
|---|---|
| Optical power meter | Medición de potencia óptica |
| Fibras ópticas de diferentes longitudes | Reemplazo de fibras ópticas defectuosas |
| Cintas Velcro | Ajuste y reacomodo de fibras |
| Ethernet cable | Conexión de servicios Ethernet o cables de gestión |
| Analizador de Espectros Óptico OSA | Análisis del espectro óptico en el medio de transporte. |
| Equipo probador multiservicios GE y SDH | Prueba y medición de servicios Ethernet y SDH |
| Multímetro | Medidas de parámetros eléctricos |
| ESD pulsera electrostática | Prevenir descargas electrostáticas sobre el personal de mantenimiento |
| Atenuador Óptico Variable | Atenuación de la señal con fines de pruebas |
| Generador de luz sintonizable en la banda C y L | Generación de una fuente de luz externa con fines de pruebas |
| OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) | Análisis de fallas y cortes en la fibra |
| Destornilladores | Ajuste de equipamiento y tarjetas |
| Papel para etiquetas | Identificación de equipos y cables |
| Kit de limpieza para fibra óptica | Limpieza y mantenimiento de puertos y fibras ópticas |

B. Conocimientos básicos del personal

Los siguientes ítems son sugeridos como conocimiento básico para el personal que realiza el mantenimiento [5] [6]:

- La importancia del equipo en la estructura de la red
- El tipo de equipamiento que se está utilizando
- El tipo de hardware (tarjetas) que contiene el equipamiento DWDM
- Las longitudes de onda utilizadas en la red
- Los servicios que maneja el equipo
- Si el equipo sube y/o baja servicios o es un equipo de paso
- Las protecciones implementadas en el equipo
- La localización de atenuadores fijos y atenuadores variables
- Como se accede al equipo tanto física como administrativamente
- Las conexiones de fibra entre los diferentes componentes del equipo
- Las conexiones hacia los ODFs del lado cliente
- Las conexiones hacia los ODFs del lado de línea
- El tipo de interfaces ópticas que se manejan
- El tipo de fibras que se están utilizando

C. Mantenimiento Preventivo

Las diferentes rutinas de mantenimiento preventivo para redes que contienen equipos con tecnología DWDM y su periodicidad de realización, dependen de las necesidades y requerimientos definidos por el operador, las principales tareas que involucran el mantenimiento preventivo son las siguientes [7][8]:

- Leer acerca de la operación de los equipos
- Descubrir problemas a tiempo y resolverlos
- Guardar reportes de desempeño de la red
- Revisión de alarmas
- Generación de reportes
- Respaldos(Back up) de bases de datos

1) *Rutinas de Mantenimiento diarias:* Se refiere a las rutinas de mantenimiento que se realizan diariamente con el fin de garantizar la correcta operación de la misma y controlar potenciales riesgos como se muestra en la Tabla 2:

Tabla 2: Rutinas de mantenimiento diarias

| Actividad | Periodo |
|---|---------|
| Revisión y análisis de alarmas actuales y almacenamiento de las mismas | Diario |
| Revisión y análisis de desempeño de 24 hrs para niveles de potencia en los puertos de fibra, almacenamiento de las mismas | Diario |
| Revisión y análisis de desempeño de 24 hrs para niveles de errores en los enlaces de fibra | Diario |
| Revisión y análisis de la temperatura en los componentes del sistema | Diario |
| Realización de back up de las bases de datos | Diario |

2) *Rutinas de Mantenimiento semanales:* Este tipo de rutinas de mantenimiento permiten revisar el comportamiento de la red y prevenir cualquier falla que pueda presentarse, en la Tabla 3 se indica las rutinas de mantenimiento semanales:

Tabla 3: Rutinas de mantenimiento semanales

| Actividad | Periodo |
|--|---------|
| Revisión y análisis de desempeño de 24 hrs para niveles de potencia en los puertos de entrada y salida de las fibras, almacenamiento de las mismas | Semanal |
| Revisión y análisis de desempeño de 24 hrs para niveles de potencia en los puertos de entrada y salida de los amplificadores ópticos, almacenamiento de las mismas | Semanal |
| Revisión y análisis de desempeño de 24 hrs para niveles de errores en las interfaces de línea, almacenamiento de las mismas | Semanal |
| Revisión de los parámetros de disponibilidad de los enlaces de fibra | Semanal |

3) *Rutinas de Mantenimiento mensuales:* En la Tabla 4, se indica las rutinas de mantenimiento mensuales:

Tabla 4: Rutinas de Mantenimiento mensuales

| Actividad | Periodo |
|--|---------|
| Revisión y análisis de desempeño de 24 hrs para niveles de potencia en los puertos de entrada y salida de los multiplexores, almacenamiento de resultados. | Mensual |
| Revisión y análisis de desempeño de 24 hrs para niveles de potencia en los puertos de entrada y salida de los demultiplexores, almacenamiento de resultados. | Mensual |
| Revisión y análisis de los valores de longitudes de onda, OSNR y valores de potencia óptica mediante el uso de la unidad analizadora de espectros OSA. | Mensual |
| Revisión de los canales de servicio Orderwire y comunicación entre los diferentes nodos de la red | Mensual |
| Revisar el sistema de ventilación de los equipos y limpiar los filtros de aire | Mensual |
| Revisar la información de configuración de tarjetas | Mensual |
| Comparar Bases de datos y realizar un back up completo | Mensual |

4) *Rutinas de Mantenimiento trimestrales:* En la Tabla 5, se indica las rutinas de mantenimiento trimestrales:

Tabla 5: Rutinas de mantenimiento trimestrales

| Actividad | Periodo |
|--|------------|
| Pruebas de señal a ruido OSNR de las rutas secundarias, guardar resultados | Trimestral |
| Pruebas de señal a ruido OSNR de las rutas primarias, guardar resultados | Trimestral |
| Revisión y actualización de la documentación del equipo | Trimestral |
| Revisión de los parámetros de disponibilidad de los enlaces de fibra | Trimestral |

5) *Rutinas de Mantenimiento semestrales:* Las rutinas de mantenimiento semestrales requieren de actividades más riesgosas para la red y por tal motivo deben realizarse en ventanas de mantenimiento, reduciendo una posible afectación real a los servicios. Se debe tener en cuenta que el mantenimiento adecuado de las partes de repuesto es muy importante para la realización de análisis y solución de fallas, es por esto que se debe considerar la revisión periódica y verificar que el stock de repuestos se encuentre completo y en condiciones adecuadas para su utilización. En la Tabla 6, se indican las rutinas de mantenimiento semestrales:

Tabla 6: Rutinas de mantenimiento semestrales

| Actividad | Periodo |
|--|-----------|
| Pruebas de conmutación a rutas de protección | Semestral |
| Pruebas de ALC (Automatic Level Control) | Semestral |
| Pruebas al equipamiento de repuesto | Semestral |

IV. PROCEDIMIENTO PARA EL MANTENIMIENTO Y DETECCIÓN DE FALLAS PARA UNA RED QUE UTILIZA LA TECNOLOGÍA DWDM

A. Gestión de fallas

Esta tarea incluye la recolección y procesamiento de alarmas, reportes y sondeos automáticos, visualización de las alarmas existentes en los mapas de topologías, las cuales se categorizan de acuerdo a su importancia y mediante código de colores para que los operadores puedan rápidamente distinguir los tipos, estado y grado de alarmas, obtención del registro de alarmas actual e histórico, estadísticas y reportes tabulados de las alarmas, resultado de los datos de alarma históricos, sincronización de datos de alarma automáticos, indicación y ubicación de alarmas a nivel de red, subred, elemento de red, tarjeta y puerto, indicación de alarma visual y audible con sonidos personalizables, administración de la alarmas existentes en la red, permitiendo suprimir, categorizar y borrar alarmas de acuerdo a los requerimientos e importancia de ciertos equipos y servicios de la red [9][10][11].

B. Gestión de desempeño

La función de gestión de desempeño en la mayoría de fabricantes, permite determinar los objetos a ser monitoreados, los umbrales de monitoreo, los tiempos de muestreo, etc. De esta manera se recopila información que muestra los datos de desempeño actual del sistema, estadísticas de desempeño histórico, y mediante fórmulas empíricas manejadas por el sistema, se realizan predicciones de desempeño futuro a mediano y largo plazo.

Las funciones de gestión de desempeño incluyen la recolección de datos de desempeño, el establecimiento de atributos de desempeño, la presentación de los resultados de datos de desempeño en forma de gráficos y reportes estadísticos, el monitoreo de desempeño las 24 horas del día o en intervalos de tiempo pre-definidos, análisis de eventos de desempeño, presentación de resultados de datos de desempeño históricos, el pronóstico de desempeño futuro, además de la sincronización de datos automática entre NE (Network Elements) y NMS (Network Management System) y entre NMS y NMS, etc. [9][10][11].

C. Gestión de configuración

Incluye la gestión de los atributos de todos los elementos de red, sub-red y red, fuentes de sincronización y líneas de conexión. Las funciones de gestión de configuración incluyen la configuración de Elemento de

Red (NE), la configuración de red SDH, la configuración de red DWDM y la configuración de servicios IP, ATM, entre otros.

La configuración de red SDH y red DWDM incluye las funciones de consulta de atributos de tarjetas de interfaces SDH y DWDM, manipulación de bytes de encabezado, configuración de tarjetas de amplificación óptica, configuración de sincronismo, aprovisionamiento de protección a nivel de tributarios y a nivel de red, activación y desactivación de servicios, configuración de las tarjetas DWDM, aprovisionamiento de protección óptica, etc. [9] [10] [11].

La configuración de servicios IP incluye el aprovisionamiento de tarjetas de servicio e interfaz IP, la configuración de mecanismos de transmisión transparente, la configuración de servicios Ethernet de capa 2, tales como las Redes de Área Local Virtuales (VLAN), tablas de re-direccionamientos basadas en Control de Acceso de Medios (MAC), tipo de servicio, mecanismos de clasificación de mensajes de acuerdo a prioridades, configuración de otras funciones de Ethernet tales como CAR, IGMP, VPLS, LSP, Gestión de Clasificación de flujos y Calidad de Servicio(QoS), pruebas a nivel de interfaz FastEthernet y GigabitEthernet [9][10][11].

D. Gestión de topología

Incluye el despliegue visual de la topología de la red, visualización en diferentes niveles, organización por grupos de elementos y capas de red, fondos de pantalla, esto es útil desde el punto de vista de organización y visualización de una red, de tal manera que permitan al operador administrar la red fácilmente [9][10][11].

E. Gestión de mantenimiento

Dentro de las tareas de mantenimiento se incluyen realizar actualizaciones de software a los diferentes elementos de la red, realizar periódicamente respaldos de las bases de datos de información y recuperación, inserción de alarmas, control de los láser y puertos de los equipos, pruebas de lazos lógicos remotos y locales con el fin de descartar fallas o simplemente para corroborar servicios dentro de una red [9] [10] [11].

F. Gestión de seguridad

La gestión de seguridad y control de ingreso (login) al sistema de gestión, se lo realiza mediante usuario y contraseña, esta autenticación es muy importante con el fin de precautelar la red ante usuarios que puedan afectar o cambiar parámetros de configuración, es importante la gestión de usuarios incluyendo historial de operaciones

por fecha, hora y nombre de usuario, estableciendo un dominio y privilegios de administración de los usuarios, etc. [9] [10] [11].

G. Procedimientos para la realización de pruebas de mantenimientos preventivos y correctivos

Los procedimientos y mecanismos sugeridos en el mantenimiento preventivo y correctivo de una red con tecnología DWDM se enlistan a continuación [12] [13] [14]:

- Conmutación de Controladoras y Cross-conectoras
- Conmutación de tarjetas de energía
- Limpieza de la fibra y puertos ópticos
- Medición de potencia de los puertos ópticos
- Pruebas mediante bucles lógicos y físicos
- Pruebas de sensibilidad del receptor del lado tributario
- Pruebas de sensibilidad en los puertos DWDM de los transponders
- Prueba de sintonización de los transponders
- Verificación de los rangos de amplificación
- Verificación de la funcionalidad multirate de las unidades OTU
- Verificación de la operatividad ROADM
- Verificación del esquema de protección OLP (Optical Line Protection)
- Verificación de alarmas
- Medición en el espectro de todas las longitudes de onda
- Medición del OSNR
- Verificación del canal de servicio
- Prueba de la funcionalidad ALC
- Prueba de la funcionalidad APE
- Pruebas de BER
- Pruebas sobre servicios Ethernet

Se describen las pruebas de mayor relevancia que se deben realizar:

1) *Verificación de la funcionalidad multirate de las unidades OTU*: El objetivo de esta prueba es verificar que las tarjetas tributarias pueden manejar diferentes niveles de servicio, STM-16 (2.5Gb/s), GE (1.25Gb/s), etc.

Procedimiento de prueba:

- Disponer de módulos ópticos SDH y GE
- Realizar el esquema de conexión indicado en la Figura 2
- Realizar un loop lógico en la tarjeta de tributarios

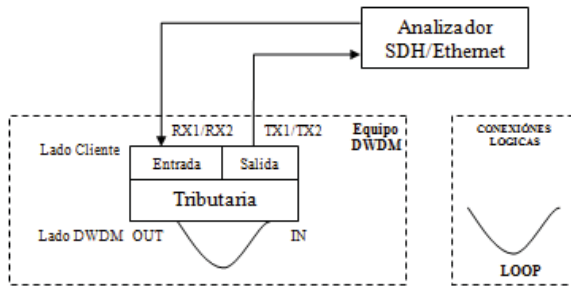


Fig. 2. Esquema de conexión para la verificación de la funcionalidad multirate

- Conectar el Analizador SDH al puerto Tx1/Rx1 con un módulo SFP (Small Form-factor Pluggable) STM-16 (2.5Gb/s) y utilizando el sistema de gestión, configure un servicio a nivel STM-16 para el puerto Rx1/Tx1, manteniendo el loop lógico en la tarjeta de tributarios, realice una prueba de medición de errores
- Conectar el Analizador Ethernet al puerto Tx2/Rx2 utilizando un módulo SFP (Small Form-factor Pluggable) GE (1,25 Gbps) y utilizando el sistema de gestión, configure un servicio a nivel GE (Gigabit Ethernet) para el puerto Rx2/Tx2, manteniendo el loop lógico en la tarjeta de tributarios, realice una prueba de paquetes perdidos
- En ninguno de los dos casos debe existir errores en la medición

2) *Verificación de la operatividad ROADM*: El objetivo de esta prueba es comprobar que cualquier longitud de onda puede ser re-enrutada a cualquier dirección de la red de transporte.

Procedimiento de prueba:

- Realizar las conexiones indicadas en la Figura 3

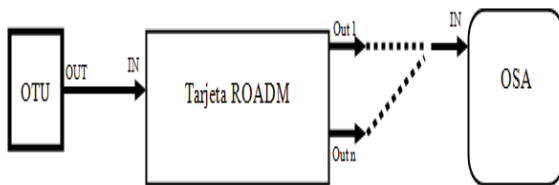


Fig. 3. Esquema de conexión para la verificación de la funcionalidad ROADM

- Configurar mediante sistema de gestión el canal de servicio 192.1 THz (canal 80) y verificar con el equipo OSA que en cada uno de los puertos de salida Out (Out1, Out2,... Out n) se encuentra ese canal de servicio
- Configurar mediante sistema de gestión el canal de servicio 196.0 THz (canal 1) y verificar con el

equipo OSA que en cada uno de los puertos de salida Out (Out1, Out2,... Out n) se encuentra ese canal de servicio

- Anotar los resultados

3) *Verificación del esquema de protección OLP (Optical Line Protection)*: El objetivo de esta prueba es comprobar el funcionamiento del esquema de protección óptica OLP, que significa obtener la señal de entrada en dos puertos de salida diferentes.

Procedimiento de prueba:

- Realizar las conexiones indicadas en la Figura 4

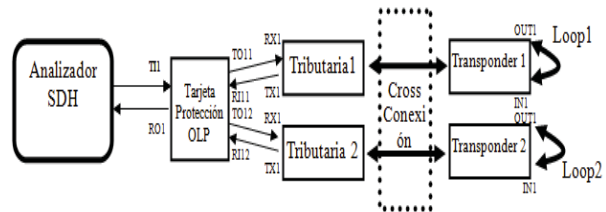


Fig. 4. Esquema de conexión para la verificación de la protección OLP

- Configurar la tarjeta de tributarios para recibir servicios a nivel STM-16 en los puertos Rx1/Tx1
- Configurar la crossconexión como lo muestra la Figura 4
- Realizar loops lógicos en las dos tarjetas transpondedoras
- Configurar la protección de tributarios tipo OLP
- Configurar una trama STM-16 en el analizador SDH
- Activar la protección OLP
- Verificar que no hay alarmas del tipo R_LOS, R_LOF en el analizador.
- Desactivar el Loop1 y verificar que el servicio se mantiene operativo, revisar en el analizador el tiempo de conmutación (debe ser inferior a 50 ms)
- Desactivar el Loop2 y verificar que el servicio se pierde
- Anotar los resultados

4) *Medición del OSNR*: El objetivo de esta prueba es comprobar los valores de relación señal a ruido (OSNR) del sistema, el valor de OSNR es definido como la relación entre la potencia de cada canal y la potencia de ruido óptico. Los valores recomendados de OSNR dependen de muchos factores como: modulación, velocidad, localización del equipo en la red, objetivos de valores de BER, etc.

Como referencia, los valores de OSNR recomendados en el extremo receptor o a la salida de los pre-amplificadores debe ser ≥ 17 dB en el extremo de recepción [15].

Procedimiento de prueba:

- Realizar las conexiones indicadas en la Figura 5

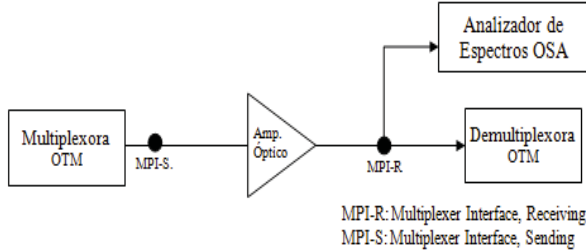


Fig. 5. Esquema de conexión para verificación de valores de OSNR

- Se debe realizar la medición en la interfaz de monitoreo de la unidad amplificadora y pre amplificadora.
- Conectar el Analizador de Espectros OSA y leer la medición de relación señal a ruido para cada canal.
- Esta medición se realiza a la salida de los amplificadores en el lado de recepción de cada nodo.
- Registrar los valores obtenidos.

5) *Prueba de la funcionalidad ALC*: El objetivo de esta prueba es verificar el correcto desempeño de la funcionalidad ALC (Automatic Level Control) ante una atenuación anormal en la ruta de transporte; ALC es un control automático de potencia con el objetivo de ayudar a compensar las pérdidas por envejecimiento de la fibra o debido a atenuaciones adicionales que pueden presentarse en la ruta de transporte o debido a empalmes que se van realizando debido a cortes en la fibra.

Procedimiento de prueba:

- Configurar el sistema de acuerdo a la Figura 6

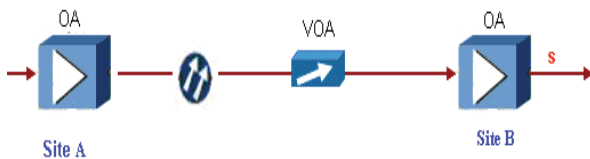


Fig. 6. Esquema de conexión para prueba del ALC

- En el tramo A-B se insertará una atenuación mayor a 2 db, el sitio B ajustará la potencia óptica de salida del amplificador de recepción, para compensar dicha atenuación.

- La red debe estar calibrada con sus valores de diseño, debe existir un VOA (Atenuador Óptico Variable) en la recepción del sitio B.
- Registrar el valor de potencia de salida en el amplificador de recepción en el sitio B.
- Activar la funcionalidad ALC en ambos extremos.
- Aumentar la atenuación del VOA en la recepción del sitio B (valor mayor a 2 dB), para simular una atenuación del tramo.
- El valor registrado de potencia de salida en el amplificador de recepción en el sitio B, se mantendrá (dentro de un rango de 2 dB) siempre y cuando la atenuación del tramo no afecte el límite mínimo de potencia del receptor.
- Restaurar el valor inicial del valor del VOA.
- Chequear normalidad en las potencias del enlace.
- Anotar los resultados

6) *Prueba de la funcionalidad APE*: El objetivo de esta prueba es verificar el correcto funcionamiento del APE (Automatic Power Equilibrium) ante una atenuación anormal de alguno de los canales.

Generalmente ante una diferencia mayor a 1.5 dB con respecto a los parámetros de potencias de diseño, el sistema ajustará automáticamente los valores de potencia de transmisión de cada canal con el fin de optimizar los valores de OSNR en el lado de recepción.

Procedimiento de prueba:

- Configurar el sistema de acuerdo a la Figura 7

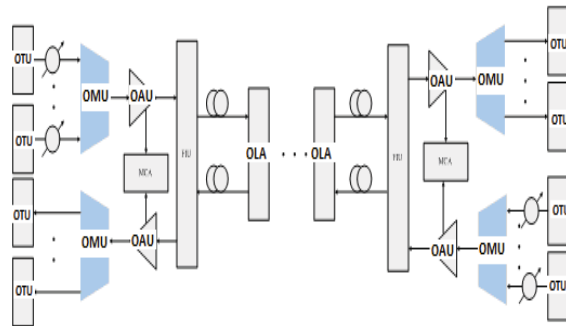


Fig. 7. Esquema de conexión para prueba del APE

- Se deben disponer de atenuadores variables VOA a la entrada de la tarjeta multiplexora del lado de transmisión.
- Registrar los valores de potencia de las longitudes de onda en recepción
- Atenuar una de las longitudes de onda en un valor superior a 2 dB.
- Activar la función APE.

- Luego del ajuste, revisar los valores de potencia en las longitudes de onda en recepción, se mantendrán los valores registrados inicialmente, siempre y cuando la atenuación de la longitud de onda seleccionada no afecte el límite mínimo de sensibilidad de potencia del receptor.
- Restaurar los valores iniciales de los VOA
- Activar nuevamente el APE
- Chequear normalidad en las potencias del enlace.
- Anotar los resultados obtenidos.

H. Protocolo de Seguridad para el mantenimiento de redes DWDM

Durante el mantenimiento y operación de una red con tecnología DWDM, es necesario tener en cuenta ciertos lineamientos relacionados con la seguridad del personal en el manejo de sustancias peligrosas y cuidados en la manipulación de equipos que trabajan con altos niveles de potencia [16].

Se presentan los lineamientos de seguridad para el personal encargado del mantenimiento de la red.

1) *Manejo de sustancias peligrosas:* Dentro del mantenimiento de la red DWDM, se considera la utilización de sustancias químicas para la limpieza y mantenimiento, los líquidos que se utilizan para limpiar la fibra óptica y las interfaces de los equipos DWDM, éstos pueden irritar los ojos y la piel en algunos casos, por lo que es necesario utilizar materiales de protección para el personal que manipula éste tipo de sustancias como por ejemplo, lentes de protección, guantes y mascarillas. Es necesario que el personal conozca y entienda la documentación que facilita y ayuda al correcto manejo de productos químicos, el alcohol isopropílico es uno de estos productos, por lo cual se debe conocer la documentación para el manejo de sustancias peligrosas o MSDS (Material Safety Data Sheet), los MSDS son documentos que indican la prevención y el riesgo en la manipulación de un determinado producto químico y describen específicamente la forma de actuar durante una emergencia producida por el manejo de estas sustancias. En la Figura 8, se muestran los elementos que deben utilizarse en el manejo de sustancias peligrosas.



Fig. 8. Elementos de protección para uso de sustancias peligrosas

2) *Manejo de equipos peligrosos:* Para el mantenimiento de redes con tecnología DWDM, se considera equipos peligrosos, a aquellos equipos que manejan altos niveles de potencia para la emisión de las señales ópticas, en el caso de la tecnología DWDM, se dispone principalmente de fuentes láser para la emisión de las señales ópticas, éstas fuentes de luz trabajan con altas potencias que pueden dañar seriamente al ojo humano o producir quemaduras en la piel, por lo cual, antes de trabajar con cualquier fibra óptica se recomienda apagar todas las fuentes de luz, no se debe mirar al extremo de una fibra óptica, ya que pudiera estar acoplada a un láser, no apuntar a otra persona con una fuente de luz láser.

La capacidad de un láser para producir un daño depende principalmente de tres factores: longitud de onda, tiempo de exposición y potencia o energía del haz.

La clasificación de los láseres viene dada por la norma IEC-60825 para seguridad de productos láser, enfatizando sus respectivos riesgos [17].

- Clase 1: Productos láser que son seguros en todas las condiciones de utilización razonablemente previsible, incluyendo el uso de instrumentos ópticos en visión directa.
- Clase 1M: Como la Clase 1, pero no seguros cuando se miran a través de instrumentos ópticos como prismáticos binoculares, telescopios, microscopios o lupas.
- Clase 2: Láseres visibles (400 a 700 nm). Los reflejos de aversión (parpadeos) protegen el ojo aunque se utilicen con instrumentos ópticos.
- Clase 2M: Como la Clase 2, pero no seguros cuando se utilizan instrumentos ópticos.
- Clase 3R: láseres cuya visión directa es potencialmente peligrosa pero el riesgo es menor y necesitan menos requisitos de fabricación y medidas de control que la Clase 3B
- Clase 3B: Productos láser cuya visión directa en el haz es siempre peligrosa. La visión de reflexiones difusas es normalmente segura.
- Clase 4: Son productos láser de gran potencia, susceptibles de producir reflexiones difusas peligrosas, la visión directa siempre es peligrosa. Pueden causar daños sobre la piel y pueden constituir, también, un peligro de incendio. Su utilización precisa extrema precaución.

En la Figura 9, se muestran las etiquetas de advertencia ante la manipulación de equipos que presentan riesgos para el personal.



Fig. 9. Etiquetas de advertencia al personal de mantenimiento

V. CONCLUSIONES

- Tomando en cuenta las altas capacidades de transporte, la utilización de nuevos rangos espectrales, nuevos niveles de precisión y estabilidad, nuevos instrumentos de medición son requeridos para el mantenimiento, pruebas y diagnóstico de fallas de una red con tecnología DWDM
- De los correctos mantenimientos preventivos que se realizan periódicamente dependerá el minimizar y prevenir afectaciones en el servicio ya que aquí se recolectan y se analizan los parámetros de operación y de ser necesario se realizan ajustes en la red para que cumpla con los niveles de servicio comprometidos.
- Ante atenuación en un segmento de la ruta de transporte, los valores de potencia en los amplificadores próximos a la ruta se verán afectados y los valores de OSNR empeorarán, con las funcionalidades tales como APE, ALC se reducen los efectos en el sistema.
- Frecuentemente en las soluciones de transporte no se considera la inclusión de equipamiento ROADMs y OXCs debido al encarecimiento considerable de la solución, sacrificando importantes ventajas de flexibilidad y escalabilidad de la red y que a futuro los operadores tendrán que considerar la obtención de los mismos ante la demanda de nuevas rutas y servicios.
- El esquema de protección OLP trabaja y conmuta a su canal de protección bajo el criterio de comparación del mejor valor de potencia de entrada entre la interfaz principal y la de protección.
- Uno de los principales equipos para medición es el OSA permitiendo medir valores de potencia, OSNR, parámetros de cada una de las longitudes de onda presentes en el medio, por lo cual es necesario mantener el certificado de calibración actualizado cada cierto tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Cisco Systems, Inc., Cisco ONS 15454 DWDM Engineering and Planning Guide, 2007, release 7.
- [2] <http://sx-de-tx.wikispaces.com/DWDM+y+CWDM>
- [3] Cisco Systems, Inc., *Introduction to DWDM for Metropolitan Networks*, 2000.
- [4] Huawei Technologies, *DWDM principles guide*, 2003.
- [5] Huawei Technologies, *Routine Maintenance Proposal for DWDM System*, 2005.
- [6] <http://www.conectronica.com/Instrumentos-para-Fibra-Optica/Medidas-de-test-en-dispositivos-y-sistemas-DWDM-parte-I.html>
- [7] Stamatis V. Kartalopoulos, *Fault Detectability in DWDM*, 2001
- [8] Huawei Technologies, *Optical Network Maintenance Bible – DWDM*, 2010
- [9] ITU-T Rec. M.15, Consideraciones relativas al mantenimiento de nuevos sistemas, 1993
- [10] ITU-T Rec. M.20, Filosofía de mantenimiento de las redes de telecomunicaciones, 1992
- [11] ITU-T Rec. M.3030, Principios para una red de gestión de las telecomunicaciones, 2000
- [12] B. Mukherjee, *Optical Communication Networks*, McGraw-Hill, 1997
- [13] Agilent Technologies, *Agilent Measurement Journal*, 2007
- [14] Exfo, *Tutorial for Dense Wavelength Division Multiplexing Testing*.
- [15] <http://www.exfo.com/en/Corporate/Blog/2012/OSNR-values-DWDM-networks/>
- [16] <http://www.seguridadydefensa.com/libros/msds-hoja-de-seguridad-49.html>
- [17] *International Standard IEC 60825-1, Edition 1.2, 2001-08*

BIOGRAFÍA DEL AUTOR



Freddy Patricio Garzón, Nació en Quito-Ecuador el 29 de Abril de 1979. En el año de 1997 obtuvo su título de bachiller en la especialidad de Físico Matemático del Colegio La Salle, para luego continuar con la carrera de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Escuela Politécnica

Nacional, se ha desempeñado como ingeniero de planeación y diseño, así como director tecnológico, actualmente se desempeña como consultor en telecomunicaciones para Nokia Siemens Networks, S.A. de C.V. soportando al proyecto de implementación de la red 3G para el operador Nextel de México.