

# Ingeniería de tráfico en redes DWDM a partir de métricas Signal Power Level en esquemas SNCP utilizando el protocolo LMP

Erick Garita Corrales, Jhoan González Rojas, Steven Montoya Araya, and Prof. Randall Barnett Villalobos

Escuela de Ingeniería,  
Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología,  
ULACIT, Urbanización Tournón, 10235-1000  
San José, Costa Rica  
[smontoyaa622, jgonzalezr628, egaritac039]@ulacit.ed.cr  
<http://www.ulacit.ac.cr>

**Resumen** DWDM es un tipo de tecnología que se utiliza en redes de transporte y es imprescindible que los servicios que viajan a través de ellas se mantengan estables el mayor tiempo posible, por lo que la ingeniería de tráfico para mantener la protección y redundancia es muy importante. La investigación se centra en la automatización de la gestión con esquemas de rutas por prioridad y la administración de los laser mediante métricas del plano de control.

**Keywords:** DWDM, LMP, SNCP, Simulación, Redes, Protocolo, Esquema, dispositivos, ASON.

## 1. Introducción

Las redes de transporte hacen referencia a la columna vertebral de las comunicaciones a larga distancia mediante la fibra óptica, esa es una de las ventajas del DWDM, que permiten transportar múltiples servicios bajo diferentes longitudes de onda y frecuencias.

El crecimiento del internet y la demanda de servicios son factores que han llevado a esta tecnología a ser preferiblemente adoptada por los proveedores de servicios, tomando en consideración que dentro del modelo OSI, el cual trabaja principalmente en la capa física, este estilo de red habilita la interconexión mediante las capacidades submarinas.

Con base a lo anterior, la presente investigación tiene como objetivo desarrollar la simulación de enlaces de DWDM utilizando el protocolo LMP (Protocolo de Administración de Enlace) y el concepto ASON, (Red óptica con conmutación automática) para brindarle inteligencia a la red en la capa física mediante el esquema de protección SNCP (Protección de Conexión de Subred).

Bajo esta misma línea, los objetivos específicos correspondieron a:

- Indagar sobre protocolos para ingeniería de tráfico para la selección de la mejor ruta mediante la métrica del signal power level.
- Determinar métodos de redundancia y protección actuales en la capa física mediante conmutaciones de tráfico.
- Determinar métodos de protección más eficientes en la capa física, por medio de la tecnología ASON.
- Demostrar a través de simulaciones de enlaces los posibles beneficios de una implementación del protocolo LMP y el esquema de protección SNCP en conjunto con la tecnología ASON.

DWDM utiliza métricas como MOSPF (Multicast Open Shortest Path First), que se encargan de enviar el tráfico por el camino más corto, sin embargo, se quiere relacionar los datos transportados con la mejor ruta a partir de los niveles ópticos ya que esto presentaría mejoras en la calidad de los servicios. Una vez que el tráfico conmuta, indica que ocurrieron problemas de atenuación de la fibra óptica en algún tramo o nodo del anillo, debido a que muchos de los sistemas de gestión trabajan de manera reactiva ya que reaccionan después de una falla física en la fibra.

La decisión de conmutar el tráfico actualmente se lleva a cabo en las capas superiores debido a que el plano de control solicita recursos al plano de red y a partir de ello, los datos son enviados por la mejor ruta.

De acuerdo con el objetivo de la investigación, se pretende realizar una propuesta que permita la implementación de las tecnologías descritas previamente y con esto, obtener una serie de beneficios para el negocio de una empresa proveedora de servicios de transporte de datos.

## 2. Estado del Arte

En la actualidad los gestores de tráfico en redes DWDM cuentan con sistemas de protección que trabajan de manera reactiva, cuando se presenta un evento a nivel físico sobre la fibra óptica, el gestor determina una caída de tráfico y lo conmuta por otra ruta para restablecer los servicios.

A nivel nacional la tecnología se encuentra actualizada en comparación con otros países, sin embargo, difiere el volumen (tamaño y cantidad de nodos), ancho de banda y principalmente el poder de decisión sobre la capa física de la red, los proveedores nacionales cuentan con un gestor que toma las decisiones de conmutación de tráfico en capas de mayor nivel, lo que ocasiona tiempos de recuperación más amplios.

Las redes DWDM brindan servicios de gran capacidad, estos enlaces deben permanecer activos, no obstante, a nivel físico el entorno puede afectar la red primaria, por elementos como el tiempo atmosférico, animales, accidentes de tránsito, entre otros; por lo que mantener un esquema de protección es primordial.

A partir de ello, como ejemplo se pueden considerar organizaciones como bancos, call centers y transnacionales facturando, si un enlace DWDM llega a fallar y no se tiene contingencia, según lo indagado, las pérdidas pueden ser muy altas y esto se reflejaría en las notas de crédito del proveedor de servicios.

El algoritmo utilizado para la optimización del signal power level para el caso de estudio es RWA (Enrutamiento y asignación de longitud de onda). La tarjeta controladora del equipo se encarga de manejar los láseres y esto implica al plano de control, sin embargo, se deben tomar en consideración dos aspectos importantes, que corresponden a la señalización y transporte ambos en bloques separados dentro de la trama.

La presente investigación se enfoca en el control plane, que tiene poder de decisión para solicitar recursos al network plane. Los gestores permiten realizar configuraciones para que cuando se presente un corte, caída o falla sobre el grado A o working de la red, éste conmute hacia la dirección B o protecting.

Dicho estudio busca que a partir de la degradación en los niveles ópticos aparte de alertar y notificar la dirección del tráfico conmute sobre el grado con mejores valores de la señal óptica. No obstante, más allá de la función de conmutar el tráfico por la mejor ruta con la señal más óptima, también se pretende investigar sobre la aplicación en la capa física, ya que actualmente la mayoría de redes DWDM para tomar decisiones de ingeniería de tráfico deben escalar a las capas superiores, toman la decisión y esto se refleja en tiempo de procesamiento.

Lo último que se ha venido aplicando principalmente en las potencias europeas y en Estados Unidos es dar ese poder a la capa 1, un funcionamiento autónomo controlado, rápido, sin tiempo de procesamiento en capas superiores. Xtera es un ejemplo que viene abordando en investigaciones, proyectos e implementaciones para unificar la mediación de los planos de las capas de control y manejo de red. El interés en estudiar el funcionamiento y conceptos de este tipo de redes es proponer su aplicación a nivel nacional, mejorando el servicio y brindando una mejor experiencia al usuario final.

En los proveedores de servicio, algunos gestores de diversas marcas utilizan métodos de protección como el SNCP para definir trails de protección, tarjetas OPSM (Modulo comutador para Protecciones Ópticas), que permite realizar consultas sobre los valores ópticos y definir bajo sus parámetros si está presentando alguna pérdida en un tramo o incluso un PROTNA (Protección no disponible).

El PROTNA se puede considerar como un tipo de alerta que hace referencia a que el path de protección debe ser revisado ya que presenta degradaciones o fallas, por lo que si la ruta activa tiene un problema, el tramo pasivo no estará disponible para conmutar el tráfico.

Otro tipo de protección utilizado es conocido en el medio como cable en "Y", el cual brinda la posibilidad de configurar 2 circuitos independientes desde un nodo, esto junto al esquema SNCP y las tarjetas OPSM, siendo una triple protección en un sistema que brindan contingencia en caso de un evento.

La configuración de circuitos implican la definición de varios trails, y canales, luego en cada segmento se puede realizar un add and drop que hace referencia a

subida y bajada de tráfico o un pass through, lo que hace mención a que el tráfico simplemente pasa a través del nodo funcionando como transporte del tráfico.

Por otra parte, la comparación de DWDM con tecnologías similares permite identificar tecnologías como SDH (Jerarquía digital síncrona) y ATM (Modo de Transferencia Asíncrona), que requieren de una gran inversión de planta externa ya que por cada SPAN de fibra solo se tiene un canal de comunicación, que tiene una limitación de ancho de banda, para el caso del SDH es de un STM-64 (10Gbps), en el caso de DWDM por cada enlace tiene posibilidad de contar con un gran número de canales.

Por ejemplo, plataformas como Huawei tiene capacidad hasta de 80 canales y en plataformas Coriant hasta 88 lambdas, que pueden ser activadas con anchos de banda de 10Gbps, 40Gbps, 100Gbps y 200Gbps por canal incluso los proveedores hablan de canales de 1 Tbps de capacidad en ancho de banda, lo que hace que la densidad de información por enlace sea muy amplia sólo utilizando un par de hilos de fibra, para hacer lo mismo con equipo SDH y ATM se requiere una inversión muy elevada debido a los costos de los equipos, lo que le da una superioridad a esta tecnología de transporte sobre estas dos últimas.

### 3. Planeamiento del Problema

Actualmente los gestores de los equipos DWDM en las entidades consultadas a nivel nacional realizan la conmutación de tráfico de acuerdo con las variaciones en los niveles ópticos, mediante el procesamiento y consultas a capas superiores por lo que estos gestores no seleccionan la mejor ruta a partir de los niveles de potencia en el plano físico, lo que produce tiempos de respuesta altos en la recuperación del anillo de fibra óptica y pérdidas económicas para los proveedores de servicio, en caso que se presenten problemas con aspectos físicos en los niveles ópticos, como lo son atenuaciones en algún tramo de la red.

#### 3.1. Propuesta de la Investigación

La propuesta de la presente investigación se orientó a hacer uso del protocolo LMP en conjunto con el esquema de protección SNCP para brindar inteligencia al plano físico, esto con el fin de realizar la conmutación de tráfico basada en las variaciones de los niveles ópticos que puedan afectar los servicios trasegados sobre la red DWDM. El esquema de protección es transparente para los clientes finales, por lo que una posible implementación no afectaría los servicios de los mismos. Además, es importante aclarar que la automatización la brinda la tecnología ASON la cual trabaja con el esquema mencionado.

La toma de decisiones en la capa física permite mejorar los tiempos de respuesta y procesamiento, en caso que se presenten cortes en el anillo de fibra del proveedor de servicio.

### 3.2. Justificación de la investigación

La tecnología DWDM en redes de transporte es una técnica moderna y costosa, sin embargo, cuenta con beneficios tanto para la empresa operadora como para los clientes finales.

La investigación, además de explicar el concepto y funcionamiento de las redes DWDM, pretendió exponer la posición del mercado tanto a nivel nacional como internacional, se indagó sobre ingeniería de tráfico en la capa física dentro del plano de control y los diferentes protocolos o métodos que se podrían implementar para lograr la automatización de conmutación del tráfico, con el fin de determinar la mejor ruta a partir de los valores ópticos. Se simuló en un laboratorio de pruebas la situación ante eventos de corte o variaciones en el signal power level.

La presente investigación es importante debido a que al brindarle inteligencia al gestor de la red en la capa física, éste será capaz de seleccionar la mejor ruta a partir de los valores ópticos, logrando trabajar de una forma proactiva en caso que se presente algún problema en el plano físico del anillo de fibra.

### 3.3. Delimitación de la investigación

La investigación se centra en el protocolo LMP dentro del esquema de protección SNCP para determinar la mejor ruta a partir de los valores ópticos, de esta forma si la ruta en producción o working presenta problemas o degradación, el tráfico conmuta por el camino con mejor señal. Es importante tomar en cuenta el concepto ASON ya que se enfoca en la capa física de la red de transporte.

Finalmente, es relevante aclarar que el desarrollo de la presente investigación correspondió al período de setiembre a diciembre del año en curso.

### 3.4. Pregunta de la Investigación

¿Cómo se puede mejorar el método de conmutación de tráfico por variaciones ópticas en las redes de transmisión DWDM a nivel nacional utilizando el protocolo LMP mediante el esquema de protección SNCP con el concepto ASON para el control del tráfico sobre la capa física?

### 3.5. Aporte de la Investigación

El principal aporte de la investigación consistió en indagar la evolución de los esquemas de protección de las redes DWDM y a partir de ello, plantear una propuesta de implementación para los proveedores de servicio que utilizan este tipo de redes de transporte, la cual se orienta a generar una mayor estabilidad en sus anillos de fibra para mejorar los servicios que se ofrecen a los usuarios finales.

Además, la posibilidad de generar conocimiento en torno a la temática de interés y con ello, evidenciar la situación del país sobre el estado actual de las redes de transporte basadas en DWDM, puede considerarse como otro aporte de importancia.

## 4. Metodología de la Investigación

La presente investigación se caracterizó por ser de corte cualitativa y de tipo fenomenológica, la cual se centra en conocer e indagar sobre el fenómeno de estudio y las experiencias que se desarrollan a partir del mismo.

Además, tomó en consideración como técnicas de recolección de datos las relacionadas con la entrevista y el estudio de casos. Respecto a las entrevistas, éstas hicieron uso de la guía de preguntas y su objetivo fue conocer e identificar el desarrollo de la temática de las redes DWDM en Costa Rica, por lo que fueron aplicadas a organizaciones claves que poseen un rol de importancia en el tema a nivel nacional.

Bajo esta misma línea, para los estudios de casos se tomó en consideración el instrumento de recolección de datos que se denominó “Guía para la simulación de enlaces de transporte DWDM”, el cual permitió recopilar los resultados de las pruebas realizadas y con ello, permitir la sistematización de la información obtenida.

Por su parte, la mayor parte de la información recopilada fue de carácter cualitativo y en menor grado, cuantitativo. Partiendo de ello, el análisis en torno a la misma fue por medio de la triangulación, en la que se tomó en consideración los resultados obtenidos a partir de la aplicación de las técnicas descritas previamente, la teoría y antecedentes sobre el tema de interés, y el aporte brindado por los autores de la presente investigación.

## 5. Resultados

Con base a la metodología planteada así como los objetivos de la presente investigación, a continuación se presentan los resultados obtenidos a partir de la ejecución de la misma. Es importante aclarar que el desarrollo de los resultados se lleva a cabo tomando en consideración los objetivos específicos expuestos previamente.

### 5.1. Protocolos para ingeniería de tráfico para la selección de la mejor ruta mediante la métrica del signal power level

En cuanto a los protocolos de enrutamiento, por ejemplo el M-OSPF, es una extensión del conocido Open Shortest Path First (El Camino Mas Corto), el cual es una versión Multicast que facilita la interoperabilidad entre enrutamiento unicast y multicast. El OSPF para esta investigación utilizó GMPLS (Conmutador general de etiquetas multiprotocolo) como enrutamiento para el seguimiento y selección del enlace, a partir de la solicitud del usuario administrador o por el plano de control.

Los protocolos de enrutamiento para conocer la información del estado del enlace y potencia tienen jurisdicción sobre el protocolo LMP, para conectar las cross conexiones configuradas con los elementos de la red.

Por su parte, la administración de los laser LMP, es un protocolo simple que funciona entre nodos de fibra adyacentes y está diseñado para proporcionar cuatro funciones o procedimientos básicos, los cuales son: gestión del canal de control, verificación de conectividad de enlace, enlace de correlación de propiedad y el aislamiento de fallas.

La gestión del canal de control normalmente es utilizada para establecer y mantener la conectividad entre los nodos adyacentes, lo que se realiza utilizando mensajes “Hello” que actúan como un mecanismo de mantenimiento de conexión entre los nodos.

Para tener un enlace entre dos nodos se debe configurar un canal con control bidireccional, el canal de control de un enlace puede ser configurado de forma explícita o automáticamente seleccionado y siempre es transmitido por separado de los canales portadores.

Bajo esta misma línea, el enlace de propiedad de correlación utiliza mensajes de LinkSummary que intercambian el identificador del canal local y remoto que fueron descubiertos con la verificación de conexión de enlace. Un mensaje LinkSummary es transmitido con el fin de añadir canales portadores a un enlace, además este mensaje puede ser cambiado en cualquier momento según se requiera.

Finalmente, el aislamiento de fallas permite localizar los problemas en los diferentes puntos de la red dependiendo del esquema que se esté utilizando e inicia el desvío del tráfico por los nodos o canales portadores adyacentes en caso de requerirlo.

## **5.2. Métodos de redundancia y protección actuales en la capa física mediante conmutaciones de tráfico**

Para los esquemas de protección en DWDM, se hizo uso del esquema de protección SNCP que permite definir diferentes rutas físicas para direccionar el tráfico. La aplicación del ASON en la capa física brinda rapidez en el procesamiento, éste toma las decisiones cuando se presentan degradaciones, una de las ventajas de la automatización es que una vez que se recupere la ruta activa el tráfico vuelve a tomar el trail primario. Esto se puede configurar en el gestor y se conoce como Revertive o Non Revertive.

El funcionamiento de la red al presentar afectación o degradación, el plano de control solicita al plano de red aumentar la potencia en los amplificadores, si la amplificación no es suficiente para restablecer el servicio, éste consulta la mejor ruta habilitada y conmuta el tráfico, cuando se configura un circuito Revertive, el plano de control al notar estabilidad en la ruta activa desvía el tráfico a la path working de la red.

El gestor también permite observar de forma gráfica el comportamiento de los nodos y su estado en los enlaces principales, la opción para ver todos los trails despliega enlaces configurados directos entre puntos aunque estos viajen a través de un pass through.

La topología de red, dependiendo del tipo brinda protecciones y contingencias. No obstante, lo ideal es un tipo de red maya, la cual normalmente utiliza redes de doble anillo debido a la inversión que implica.

Por otro lado, los estándares del plano de control pueden proporcionar las herramientas de aprovisionamiento de servicios y gestión de recursos de los elementos de red de forma rápida y con menor labor, por lo que es una opción que genera ahorro en los costos de operación.

Tomando en consideración que éste se encarga principalmente de las tareas de control de enrutamiento, descubrimiento de recursos, manejo de conexiones, restauración y protección de conexiones.

La restauración de las conexiones brinda un nivel de protección a la red donde se definen uno o más conexiones y enlaces preasignados como recursos de respaldo en caso de un evento. A partir de ello es que el esquema de protección SNCP, es el encargado de definir los paths que posee un nodo para comunicarse dando prioridad al asignado como principal.

A través de cada ruta, las tarjetas tienen configurado un canal de supervisión que interactúa con el plano de control, realizando consultas del estado del enlace para notificar al gestor en caso de presentar degradaciones.

Por último, ASON es el concepto estándar para este tipo de tecnología, fue definido por la ITU-T (International Telecommunication Union Telecommunications Sector), y conceptualizado como una arquitectura de red para la automatización de la administración de recursos y estandarizado para poder ser aplicado en tecnologías como la red óptica sincronizada (SONET), SDH, red de transporte óptico (OTN) y multiplexación por división de longitud de onda (WDM).

### **5.3. Métodos de protección más eficientes en la capa física., por medio de la tecnología ASON**

Respecto a la arquitectura y protecciones ASON, las tecnologías o redes de transporte que existen hoy en día como SDH, ATM y la DWDM, utilizan protocolos de gestión de red manuales para la conexión. La tecnología ASON que es una función de gestión de red que permite que el control dinámico de las redes sea de forma automática, vendrá a solventar este problema ya que solamente hay que definir el punto de inicio y final, el ancho de banda necesario, la calidad de servicio, entre otros datos, sin especificar el camino ya que creará la mejor trayectoria y si tiene que cambiarla por alguna falla o problema lo llevará a cabo de manera automática.

ASON corresponde a los modelos de cliente servidor y cuenta con una arquitectura lógica que se compone de tres partes, el Plano de Control (Control Plane) que es el encargado del recurso real y la gestión de la conexión dentro de una red y cuando se presenta la falla le solicita al Plano de Transporte (Transport Plane) los requerimientos o datos para calcular la mejor ruta y así poder cambiarla, y Plano de Gestión (Management Plane) que administra o gestiona la configuración de los recursos del plano de control, gestión de averías, enrutamiento, rendimiento, seguridad, entre otros.

En cuanto a los beneficios que aportará esta solución es que al mejorar el plano de control de ASON en las redes DWDM optimizará la eficiencia en el tiempo de respuesta al presentarse una falla o corte en la fibra óptica y se tendrá un aumento en el ahorro de los recursos de red. De igual manera, se tendrá disponible un esquema de protección y restauración para el re-enrutamiento de canales ópticos ante una falla o bien, en el caso de que hubiese fallos múltiples.

Otra de las ventajas del plano de control implementado en la capa física de la tecnología DWDM es que se puede recuperar el tráfico, siempre y cuando no sea una conexión física entre los puntos terminales, ya que si fuera un esquema de protección tradicional y no automático como lo es ASON, la ruta de acceso y el esquema de protección SNCP falla todo el tráfico se perdería por completo. Si se llegara a producir el fallo el recurso de red se almacenará y guardará como un camino de restauración de forma dinámica evitando precisamente el desperdicio de ancho de banda de protección como se pudiera presentar en los esquemas tradicionales de protección de anillo.

Analizando estas ventajas, se puede visualizar que la utilización del control plane de ASON en las redes DWDM podría aportar ahorro de costos, eficiencia, automatización, reducción de tiempo de respuesta a fallas, mayor protección para los datos y muchos más beneficios que los proveedores de red prefieren, debido a que podrían ofrecer mejores servicios y sin ningún inconveniente a los usuarios finales.

En cuanto a la restauración de protección ASOS, actualmente en una relación de redes IP y redes ASON los problemas de fallos no se pueden resolver en una capa y se crea una lista de rutas muy grande y retrasa la velocidad con que se actualiza la información de la ruta debido a esto, para el mantenimiento y protección de ASON se debe de llevar a cabo en la capa física en línea con la capa de red.

Las investigaciones apuntan a que debido a la ventaja de usar ASON para enfrentar los fallos por un corte en la fibra o por algún evento natural logrará proporcionar protección en la capa física y con esto las redes IP permitirán brindar más volumen de tráfico, mejor calidad de servicio y el tiempo de restauración requerido.

La red IP a través tecnología ASON para la restauración de protección traerá consigo algunas ventajas o mejoras, que corresponden a:

- El tiempo de restauración de protección, por un corte o fallo en la fibra, podrían tardar menos de 50ms, debido a que en la capa física es más rápido y porque la lista de rutas de ASON es más pequeña.
- Reducción en los costos ya que ASON ofrece protección y restauración en la capa 1, por lo tanto los routers en la capa 3 no ocupan brindar capacidad para este propósito, por lo cual una interconexión de equipos en la misma ubicación aumenta los costos.

Se obtendrá mejor calidad de servicio ya que ASON ofrece canales definitivos de extremo a extremo sin la utilización de menos enrutadores, esto provocaría

una disminución de saltos y esta tecnología selecciona el camino más corto para reducir el tiempo de retardo.

En relación con la aplicación de ASON en Costa Rica, es importante para comprender el contexto, que el DWDM es una tecnología que se está aplicando a nivel nacional por lo que el país se encuentra actualizado en cuanto al uso de estas redes de transporte, algunas de las diferencias marcadas con otros países son el volumen y tamaño de los nodos de fibra óptica, por ejemplo el proveedor de servicios donde se realizó el estudio en Costa Rica utiliza lambdas de 100Gbps, sin embargo, en Estados Unidos se utilizan mayores capacidades, las cuales no se seleccionan de forma aleatoria, implican un conjunto de hardware y licencias de software para definir la capacidad de transmisión.

Según lo consultado, las operadoras en el mercado de telecomunicaciones a nivel nacional invierten en transporte, ya que es fundamental debido al creciente consumo de capacidad y de ancho de banda por parte de los nuevos servicios, los mayores casos de éxito son, Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Tigo y Ufinet, que son los que tiene un despliegue más importante de equipos de transporte que aparte de aprovechar para su consumo y servicios, venden transporte a otros operadores. Operadores como Claro y Telefónica desarrollan su propia infraestructura.

A nivel de clientes, estos pueden incluso adquirir un Módulo de Transporte Síncrono 1 (STM1) que son 155Mbps, es un enlace de gran capacidad, donde se garantiza estabilidad además de los acuerdos de nivel de servicio (SLA's) que mejoran el servicio y brindan confiabilidad para los clientes.

Por último, en cuanto a los beneficios de la implementación de este tipo de protocolos en la red de transporte para el proveedor de servicios, se podría estimar como un ahorro debido a la optimización de la planta externa, así como la posibilidad de brindar gran cantidad de ancho de banda a clientes preferentes que requieran de alto transporte de datos y clear channels, o simplemente capacidad para brindar la gama de servicios.

Para los clientes, la garantía de contar con clear channel en su servicio les permite tener la posibilidad de escalar en ancho de banda y además, la ventaja de seguridad que provee este tipo de tecnología; tomando en consideración que el clear channel brinda seguridad, ancho de banda dedicado y simetría en la subida y bajada de los datos.

Finalmente, los beneficios de la implementación de estos protocolos corresponderían a:

- A nivel de proveedores de servicio, se presentarían ahorros en cuanto a infraestructura de red.
- Capacidades de ancho de banda muy altas.
- Ahorros en cuanto a solución de averías.
- Redes inteligentes con la capacidad de conmutar tráfico en caso de problemas en capa física.
- La posibilidad de brindar a los clientes finales líneas dedicadas de mayor capacidad.

- En caso de presentarse problemas en algún sector del anillo de fibra los clientes no tendrán interrupciones en el servicio.
- Permite escalabilidad para futuras expansiones de la red.
- Brinda la oportunidad de recorrer mayores distancias sin necesidad de equipos intermedios.

#### 5.4. Demostración a través de simulaciones de enlaces los posibles beneficios de una implementación del protocolo LMP y el esquema de protección SNCP en conjunto con la tecnología ASON

Respecto a la lectura de niveles sobre el plano de control, es importante comentar que los canales de supervisión realizan consultas de estado al plano de red, de esta forma el plano de control toma las decisiones ante un evento. El gestor de cara al administrador de la aplicación o ya sea un perfil de NOC (Network Operation Center) permite observar los niveles ópticos del enlace.

Parte de las configuraciones dentro del plano de control permiten definir el rango de valores ópticos de un enlace para conmutar el tráfico. En el caso de una atenuación o corte, el plano de control solicita recursos al plano de red y si no se cumple con la media establecida, se aumenta la potencia en los amplificadores, sin embargo, si a pesar del aumento no se restablece el enlace, éste opta por la segunda ruta de prioridad asignada.

En la siguiente figura (ver figura N°1) se ejemplifica la configuración de los valores ópticos de un enlace.

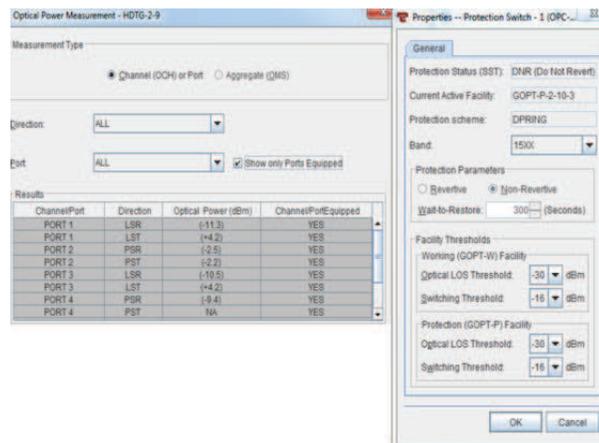


Figura 1. Ejemplificación de valores ópticos de un enlace

La configuración de un servicio atraviesa un flujo sobre la red donde se realizan adds y drops, estos hacen referencia a que en cada punto o nodo hay subida

y bajada de servicios. Otra opción es la configuración de un nodo donde los servicios únicamente fluyen y se encaminan sobre la red, este concepto se conoce como pass through.

La diferencia entre la aplicación de ASON en capas superiores y la capa física, es la mejora de procesamiento, esto se puede realizar mediante licenciamiento de software; el cual se encarga de dirigir el plano de control y las acciones de protección ante una falla.

Con base a lo anterior, se puede identificar que es una técnica muy reciente, conocida en el medio y aplicada principalmente por países avanzados como Estados Unidos y algunos otros en Europa, esto según Edward Sarmiento, Ingeniero de planeamiento de redes de transporte en uno de los principales proveedores de servicio de Costa Rica.

En relación con el plano de control encargado de administrar ASON, como se ha mencionado anteriormente, existen tres planos, plano de administración, plano de control y plano de recursos de red. En el momento que se mencionan las capas, éstas están vinculadas directamente a estos planos.

El plano de control es el encargado de la gestión de los recursos de la red, sin embargo, la diferencia con los esquemas que no utilizan ASON se debe a que no cuentan con el conocimiento del estado de la red.

La aplicación ASON permite que la gestión sea completa nodo a nodo, manejando diferentes parámetros, lo que hace referencia a que un nodo tiene relación con los demás nodos del anillo y en caso de presentarse un evento el plano de control toma la mejor opción en el momento de conmutar el tráfico. Dentro de las configuraciones del servicio se permite establecer los valores ópticos de conmutación, configuraciones revertive, análisis del estado del plano de recursos de red y establecer más de dos rutas por prioridad.

En la siguiente figura (ver figura N°2) se muestra la gestión administrativa de la aplicación, la misma corre dentro de los propios circuitos de los equipos ópticos. En el mapa, se puede apreciar la ubicación de los nodos de la red de forma gráfica, además de las notificaciones, alertas y logs de eventos, lo que se puede considerar como primordial para usuarios administradores y los centros de operaciones de red. En el árbol de la izquierda, se despliega un listado de tarjetas, entre ellas las tarjetas controladoras, amplificadoras, de servicio y de protección.



**Figura 2.** Nodos de la red DWDM del proveedor de servicios

Por su parte, la próxima figura (ver figura N°3) muestra las propiedades de configuración de enrutamiento donde se pueden programar valores de .wait to restore time, ello hace referencia a que sí se desarrollará un corte sobre el enlace y los técnicos de la planta externa manipularan la fibra óptica con el objetivo de realizar las reparaciones correspondientes (previo a la detección y restablecimiento del plano de control), el enlace principal deberá correr un tiempo definido antes de conmutar el tráfico, esto para evitar variaciones en la toma de ruta.

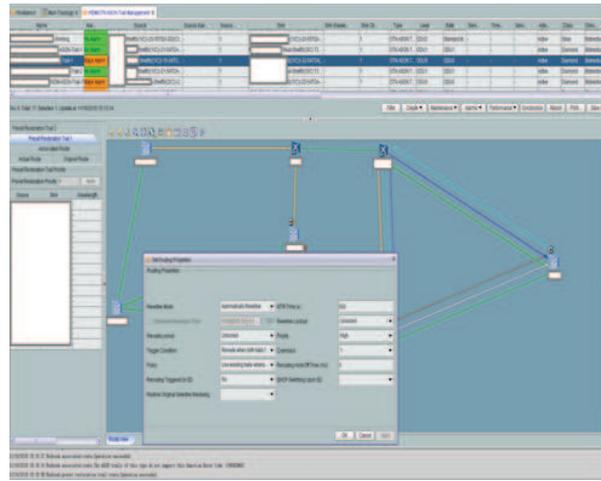


Figura 3. Pruebas simulación de enlaces DWDM

La figura a continuación (ver figura N°4) muestra una simulación de un evento o corte donde se realizó conmutación de tráfico, el sistema de monitoreo debería ser muy sensible para detectar el cambio de ruta. Con base a ello, un cliente residencial o pymes no podría detectarlo y en el caso de los clientes corporativos, serían un número reducido los que contarían con la capacidad de detección.



Figura 4. Simulación de corte de tráfico

## 6. Conclusiones

A partir de los resultados de la investigación realizada, es posible concluir que existen diferentes tecnologías para redes de transporte, sin embargo, DWDM cuenta con mayores beneficios comparado con otras técnicas de multiplexación. Este tipo de redes cuentan con diferentes protocolos, que se encargan de la conmutación de tráfico en caso de presentarse problemas en los anillos o nodos de fibra.

Además, se pueden recalcar las siguientes conclusiones:

Los protocolos más utilizados para la ingeniería de tráfico en las redes DWDM se caracterizan por su funcionamiento en las capas inferiores, específicamente en la capa física, éstos se encargan de la verificación del enlace y en caso de requerir la conmutación del tráfico, envían los datos por las mejores rutas disponibles.

Los métodos de redundancia y protección actuales, como se mencionó anteriormente, desarrollan su accionar en la capa física, debido a que todos estos conceptos se ejecutan en forma encadenada para lograr que los métodos trabajen de la manera más adecuada, ya que utilizan los protocolos de enrutamiento como M-OSPF y este a su vez, hace uso del GMPLS para evitar problemas en la redirección del tráfico.

Por su parte, la tecnología ASON es de fundamental importancia en redes de este tipo, debido a que las capas superiores no ejecutan funciones de recuperación de enlace, ésta es la encargada de analizar a partir de los recursos del plano de red y los valores ópticos de los diferentes nodos la mejor ruta para la conmutación del tráfico. A la vez, ASON puede ser utilizado en redes con topología maya, lo que permite que un nodo tenga varias rutas disponibles, trabajando de manera simultánea y no en un esquema activo-pasivo.

La tecnología ASON es una tecnología que se encuentra en evolución, permitiendo la protección de las redes de transporte DWDM en conjunto con los demás conceptos analizados durante la investigación, asimismo, se puede destacar que este crecimiento ha logrado que la integración del software a través de licenciamiento pueda tomar decisiones ante eventos críticos, logrando una automatización y autogestión de la red.

## 7. Recomendaciones

A partir de la investigación realizada sobre la tecnología DWDM y sus diferentes protocolos de enrutamiento a nivel de capa de red, se brindan las siguientes recomendaciones:

La implementación de los diferentes protocolos mencionados previamente, podrían permitir en las redes DWDM del proveedor de servicios una automatización en la recuperación ante problemas críticos, lo que beneficiará el giro de

negocio de la organización y con ello, una mejora en el servicio a los usuarios finales.

Se recomienda además, desarrollar un estudio de viabilidad así pruebas más detalladas que permitan identificar las fortalezas y debilidades de la tecnología ASON en el contexto de análisis, con el objetivo de lograr una adecuada implementación de la misma, ya que ésta es la encargada de enviar el tráfico por las mejores rutas ópticas disponibles.

Por último, se recomienda para futuras investigaciones tomar en consideración los tópicos abordados en esta investigación, debido a que las redes de transporte DWDM poseen una serie de ventajas sobre otras tecnologías.

## Referencias

- Angelos Lenis, V. M., Vasilis Merikoulias. (2010, dec). Designing connection oriented networks for multi-domain path resilience. *Journal of Network & Systems Management*, 18(4), 374-394, 21p. pages 15
- Bao jing Huang, H. h. D. L. m. J. Y. Q. H. j. L., Wei Ma. (2014). Facility-optimizing plan for intersection system based on intelligence traffic management technique. *Advanced Materials Research*, 998-999, 1586-1590, 5p. pages 15
- I-Shyan Hwang, C.-Z. Y. K.-P. C., Zen-Der Shyu. (2012, mar). Qos-constraint multicast restoration with 2-tuple domination core nodes selection in dwdm mesh networks. *Telecommunication Systems*, 49(3), 287-298, 12p. pages 15
- Marta Cuaresma Saturio, O. D.-F. M. d. N. J. F. P., Victor López. (2014, jul). Implementation and assessment of pre-reservation mechanism for pce environments. *Journal of Network & Systems Management*. pages 15
- O . Ozolins, G. . I. s. (2011). Estimation of dwdm transmission for broadband access with fbg technology. *Electronics & Electrical Engineering*(111), 11-14, 4p. pages 15
- Rawat, B. S. (JANUARY 2014). Dwdm technology for high speed optical communications. *INTERNATIONAL JOURNAL OF MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY*, 9(1). pages 15
- S. Ilic, M. P. A. M., B. Jaksic, y Elcic, V. (2013). Analysis of video signal transmission through dwdm network based on a quality check algorithm. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 3(2), 416-423, 8p. pages 15
- S. Songmuang, N. T. N. P., S.Sappajak, y Yupapin, P. (2014). Multi wavelength generated by panda ring resonator for multi user dwdm wimax network. *Advanced Materials Research*, 979, 471-478, 8p. pages 15
- (Rawat, JANUARY 2014) (S. Songmuang y Yupapin, 2014) (S. Ilic y Elcic, 2013) (Bao jing Huang, 2014) (Marta Cuaresma Saturio, 2014) (O . Ozolins, 2011) (Angelos Lenis, 2010) (I-Shyan Hwang, 2012)

## Glosario

- ASON** Red óptica con conmutación automática. 1
- ATM** Modo de Transferencia Asíncrona. 4
- DWDM** Multiplexado Compacto por División en Longitudes de Onda. 1
- GMPLS** conmutador general de etiquetas multiprotocolo. 6
- IP** Protocolo de Internet. 9
- ITU-T** Unión Internacional de Telecomunicaciones – Sector de Telecomunicaciones. 8
- LMP** Protocolo de Administración de Enlace. 1
- MOSPF** Continuación Protocolos de Enrutamiento Modo Denso. 2
- NOC** Centro de Operaciones de Red. 11
- OPSM** Modulo de comutador para Protecciones Ópticas. 3
- OSPF** El camino más corto primero. 6
- OTN** Red de Transporte Óptico. 8
- PROTNA** Protección no disponible. 3
- RWA** Enrutamiento y asignación de longitud de onda. 3
- SDH** Jerarquía digital síncrona. 4
- SNCP** Protección de Conexión de Subred. 1
- SONET** Red Óptica Sincronizada. 8
- WDM** Multiplexación por División de Longitud de Onda. 8