

**ANEXO 2**

**ENRUTAMIENTO EN LAS REDES ÓPTICAS**



**DIANA MARÍA PABÓN MENDOZA  
ALEXANDRA SÁNCHEZ DAZA**

**Director:  
Jose Giovanni López Perafán  
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES  
DEPARTAMENTO DE TELECOMUNICACIONES  
GRUPO I +D NUEVAS TECNOLGÍAS EN TELECOMUNICACIONES - GNTT  
POPAYÁN  
2005**

## **2. ENRUTAMIENTO EN LAS REDES ÓPTICAS**

Enrutar una conexión en una red de transporte óptica tradicional implica varios pasos, muchos de éstos involucran acciones manuales, y de cuidado. También, la infraestructura de enrutamiento se centraliza predominantemente. Un elemento centralizado o Sistema de Gestión de Red actúa como el depósito de la base de datos de la topología de red y la entrada en la base de datos de la topología es registrada y actualizada manualmente. Los enrutadores se evalúan automáticamente, pero con la intervención manual. Actualmente hay un fuerte deseo entre los operadores de red para migrar de un acercamiento centralizado y manual a un sistema de enrutamiento más distribuido y automatizado. En este anexo se enfatiza en una arquitectura de enrutamiento distribuido para redes ópticas.

El enfoque de este anexo está sobre el enrutamiento intradominio óptico haciendo énfasis en los protocolos para el descubrimiento de topología de red que son extensiones de los protocolos de enrutamiento IP intradominio, como OSPF e IS-IS, para ocuparse del enrutamiento de conexiones en las redes ópticas.

### **2.1 DIFERENCIAS ENTRE EL ENRUTAMIENTO ÓPTICO E IP**

Aunque los protocolos de enrutamiento IP están siendo extendidos para enrutamiento de conexiones en las redes ópticas, hay grandes diferencias entre enrutamiento en las redes ópticas de conmutación de circuitos y enrutamiento en las redes IP de conmutación de paquetes.

-El enrutamiento IP involucra la funcionalidad de los dos planos el de datos y el de control. El plano de control cumple una doble función: la de distribuir la información de la topología a lo largo de la red (el enrutamiento de estado del enlace) y el cálculo de una tabla de envío de información de la topología. El envío actual de paquetes IP, usando las tablas de envío, es la función del plano de datos. Ninguna conexión se establece por adelantado, y se envían los paquetes salto a salto de la fuente al destino.

En las redes ópticas, como en otras redes de conmutación de circuitos, el plano de datos no está envuelto en el enrutamiento de conexión. En estas redes, se establecen las conexiones extremo a extremo explícitamente basadas en la topología de la red e información de recursos. Una vez una conexión se establece, los datos se transfieren sobre esa conexión sin el cubrimiento extenso del dispositivo de enrutamiento.

-En las redes IP, los protocolos de enrutamiento están íntimamente envueltos con el plano de datos donde las decisiones e impactos desfavorables de sus fracasos afectan considerablemente los servicios ofrecidos a los usuarios finales.

Debido a la separación de los planos de control y de datos, las fallas protocolares de enrutamiento en las redes ópticas no impactan las conexiones existentes desfavorablemente. Esto no implica que el enrutamiento es menos crítico en el caso óptico, sólo que su efecto servicio-impacto es secundario. Por ejemplo, la topología y estados de los recursos afectan el establecimiento de nuevas conexiones, pero no causan (y no deben) que una conexión existente llegue a ser destruida.

-Desde que una conexión es establecida, los recursos apropiados deben ser reservados de antemano para el traslado de los datos, el enrutamiento en una red óptica requiere conocimiento de la disponibilidad de los diferentes recursos en la red.

Actualmente las versiones de protocolos de enrutamiento IP intradominio no se ocupan de la información de disponibilidad de recursos. Las recientes extensiones de enrutamiento para direcciones de ingeniería de tráfico IP son un problema. Más allá de las mejoras es necesario ocuparse de la información de disponibilidad de recursos detallada requerida para enrutamiento de las conexiones en las redes ópticas. También en este tipo de redes, un establecimiento de conexión podría bloquearse si los recursos no están disponibles, considerando que algún nivel de carga excesiva (y congestión temporal) se tolera en las redes IP.

-Otra diferencia entre enrutamiento IP y las redes ópticas es que el enrutamiento IP es salto a salto mientras el enrutamiento en la red óptica es típicamente fuente-destino. En otros términos, con el enrutamiento IP cada nodo independientemente del camino de una fuente a un destino decide el próximo salto para enviar un paquete. De aquí, el porque es importante que todos los nodos en la red tengan vista consistente topológica y que todos ellos usen el mismo algoritmo de cálculo de ruta.

En las redes ópticas, el nodo de fuente es responsable de calcular el camino entero de la fuente al destino. Entonces con tal de que la fuente tenga la información topológica correcta de la red, puede calcular el mejor camino. Tampoco, es necesario para todos los nodos usar el mismo algoritmo de cálculo de ruta.

-Finalmente, otra diferencia importante en enrutamiento se sugiere debido a los requerimientos de protección y restauración. En las redes IP, se envía el tráfico típicamente sobre el camino más corto. Si hay una falla en la red, el esquema de enrutamiento descubre caminos alternos y los paquetes son debido al fallo enrutados.

Por otro lado, uno de los rasgos básicos de las redes ópticas es la protección de conexiones que usan el precalculo y a menudo el pre-provisionamiento, facilitando diversos caminos auxiliares. La Facilidad de diversidad asegura que el funcionamiento y los caminos de las protecciones no sean afectados concurrentemente por el mismo fallo. Para calcular caminos de protecciones y de funcionamiento de facilidad-diversa conmutados en la red se necesita tener el acceso a la información de la planta física. La información de diversidad física no está disponible en enrutamiento IP.

A continuación se describen las características de la red que hacen del enrutamiento en las redes ópticas diferente del enrutamiento en las redes IP y también se determina cómo estas características específicas pueden resumirse y distribuirse usando los mecanismos proporcionados por los protocolos de enrutamiento IP de estado de enlace.

## **2.2 ENRUTAMIENTO CON DIVERSIDAD FÍSICA**

La diversidad de la ruta es a menudo una obligación importante impuesta en las conexiones múltiples entre los mismos puntos finales en una red óptica. En particular, el requisito de diversidad del enlace es frecuente, es decir, dos conexiones no pueden ser enrutadas sobre un enlace común. De vez en cuando, un requerimiento de diversidad de nodo más severo puede surgir para que dos conexiones no pueden enrutarse vía algún nodo común.

La diversidad física entre las conexiones es manejada por la necesidad de impedir a las conexiones ser afectadas por el mismo fallo. Se dice que dos conexiones son diversas, si una sola de ellas falla se afectan las dos. El concepto de Grupo de Enlace de Riesgo Compartido (SRLG) se usa para capturar la diversidad. Un identificador de SRLG es un número asignado a un sistema de enlaces que se efectúan sobre los mismos recursos físicos y por lo tanto están sujetos a la misma falla. A un enlace dado puede asignársele más de un identificador de SRLG que depende de los recursos físicos subyacentes. Los SRLGs asociados con un enlace pueden verse como una abstracción de recursos físicos diferentes cuyas fallas pueden afectar el servicio en ese enlace.

## **2.3 ASIGNACIÓN DE RUTA CON RESTRICCIONES**

Mientras que para el enrutamiento en las redes ópticas se necesita conocer de los diferentes tipos de recursos y los recursos restringidos. En particular, los tipos y capacidades de enlaces ópticos y la conmutación de los nodos son de gran interés. También son importantes algunas de las restricciones ópticas que necesitan ser reunidas para la transferencia de datos de error-libres en las conexiones. A continuación se discuten algunos de los recursos importantes, restricciones y características asociadas.

### **2.3.1 Características del enlace**

#### **2.3.1.1 Codificación, Capacidad de conmutación, y Capacidad de Disponibilidad.**

Un nodo que calcula un camino extremo a extremo necesita saber las características de los tipos diferentes de enlaces que están disponibles. Algunos de los parámetros que definen las características de un enlace son:

**a) La codificación del enlace:** una de las características importantes de un enlace es el tipo de carga útil que puede llevar. Por ejemplo, un enlace puede ser completamente transparente y puede llevar cualquier tráfico independiente

de su formato o porción de bits. Los enlaces transparentes están disponibles solo en las redes totalmente ópticas las cuales, todavía no se despliega ampliamente. En la mayoría de las redes ópticas, los enlaces son opacos y llevan tipos específicos de carga útil. Por ejemplo, un enlace puede llevar SONET, SDH, Gigabit Ethernet, o cargas útiles de canal de Fibra. También es posible para un enlace llevar más de un tipo de carga útil.

**b) La capacidad de conmutación de Interfaz:** el tipo de carga útil no solo caracteriza un enlace completamente. También es importante identificar las capacidades de conmutación de los nodos en ambos lados del enlace. Es posible que la conmutación de los nodos en dos lados del enlace tenga capacidades de conmutación diferentes. Las capacidades de conmutación están asociadas con las interfaces de conmutación y están dirigidas a las capacidades de conmutación de la interfaz. Las capacidades de conmutación de interfaz que son relevantes para el enrutamiento óptico son:

**-La capacidad de Multiplexación por división de tiempo (TDM):** un nodo que recibe los datos sobre una interfaz de capacidad TDM puede multiplexar o el demultiplexar canales dentro de una carga útil de SONET/SDH. Para las interfaces de capacidad TDM, la información adicional como conmutación de granularidad y soporte para los diferentes tipos de concatenación de SONET/SDH también deben indicarse.

**-La capacidad de conmutar Lambda:** un nodo recibe los datos sobre una interfaz capaz de conmutar lambda y puede reconocer y conmutar las longitudes de onda individuales (lambdas) dentro de la interfaz. La información adicional, como la velocidad de datos debe indicarse para estas interfaces.

**-La capacidad de conmutar fibras:** Un nodo recibe los datos sobre una interfaz capaz de conmutar fibra y puede conmutar los contenidos enteros a otra interfaz (sin distinguir lambdas, canales, o paquetes). Es decir, los conmutadores con una interfaz capaz de conmutar fibra a la granularidad de una interfaz entera no pueden extraer las lambdas individuales dentro de la interfaz.

**c) La capacidad de Disponibilidad:** la capacidad de disponibilidad es un parámetro importante que determina si una conexión específica puede llevarse en un enlace. La capacidad límite de los enlaces por interfaces capaces de conmutar TDM, lambda o fibra se definen en unidades discretas (por ejemplo, número ranuras de tiempo disponibles en un enlace TDM). Además de la capacidad disponible total en un enlace, la información adicional tal como las unidades mínimas y máximas de capacidad disponible pueden ser indicadas. Todos éstas características son importantes para tomar decisiones de enrutamiento.

### **2.3.1.2 La capacidad de protección**

Los enlaces en una red óptica pueden tener capacidades de protecciones diferentes. Durante la selección del camino, esta información se usa para asegurar que los requisitos de las protecciones de la conexión sean satisfechos por todos los enlaces en la ruta. Típicamente, la protección aceptable mínima se especifica en la instanciación del camino, y el algoritmo de selección de

camino encuentra un camino que satisface por lo menos este nivel de protección. Las siguientes son capacidades de posibles protecciones que podrían ser asociadas con un enlace:

**-Apropiación:** existe un enlace de protección y el tráfico llevado sobre un enlace de una protección se apropiará si cualquiera de los enlaces activos correspondientes falla y se cambia el tráfico al enlace de la protección. Esto significa que solo tráfico extra puede enrutarse sobre este enlace.

**-Ninguna Protección:** Esto indica que no hay ningún enlace que protege este enlace. Las conexiones sobre un enlace de este tipo no se protegerán si el enlace falla.

**-Protección:** Esto indica que hay uno o más enlaces que están protegiendo un enlace. Puede haber diferentes tipos de protección. Un enlace que es protegido por otro enlace dedicado se dice que ha tenido protección dedicada. Múltiples enlaces que son protegidos por uno o más enlaces de protecciones comunes se dicen han tenido protección compartida.

### 2.3.2 Restricciones ópticas

El enrutamiento en todas las redes ópticas está sujeto a las restricciones adicionales. Específicamente, los protocolos de enrutamiento y algoritmos necesitan asegurar que el deterioro de la señal se encuentra dentro de los límites aceptables.

Los deterioros pueden estar clasificados en dos categorías, lineal y no-lineal. Los efectos lineales son independientes de la potencia de la señal y afectan las longitudes de onda individualmente. La amplificación de emisión espontánea (ASE), dispersión de modo de polarización (PMD), y la dispersión cromática son ejemplos de deterioros lineales. Los deterioros no lineales son significativamente más complejos y no sólo generan los deterioros en cada canal, sino también cross talk entre los canales.

Hay muchos otros tipos de deterioros que afectan la calidad de la señal. La mayoría de los deterioros generados por los elementos de la red como OXCs (cross conectores ópticos) u OADMs (Multiplexores Add/Drop Ópticos) pueden aproximarse usando un margen de red amplia en el OSNR (Relación señal a ruido óptica).

Además de los deterioros lineales, hay muchos deterioros no lineales que afectan la calidad de la señal óptica, es sumamente difícil de tratar con los deterioros no lineales en un algoritmo de enrutamiento porque ellos llevan a cambios complejos, por ejemplo, en el orden en que se cruzan los tipos de fibra específicos. Un tratamiento lleno de restricciones no lineales requiere un conocimiento muy detallado de la infraestructura física. Un acercamiento alternativo es asumir que los deterioros no lineales se limitan y producen un margen en el nivel OSNR (Relación señal a ruido óptica) requerido para una velocidad de bits dada.

## 2.4 ENLACE AGRUPADO (LINK BUNDLING)

El enlace agrupado se ha propuesto en el contexto de redes ópticas para mejorar la escalabilidad de los protocolos de enrutamiento. Los nodos vecinos en una red óptica están conectados a menudo por un número grande de enlaces o fibras paralelas entre sí. Con IP tradicional y los protocolos de enrutamiento, cada enlace físico entre un par de nodos vecinos constituye una adyacencia de enrutamiento. Si hay  $N$  enlaces paralelos entre dos nodos, producirá  $N$  adyacencias de enrutamiento entre ellos. Múltiples adyacencias paralelas limitan severamente la escalabilidad de los protocolos de enrutamiento para crear innecesarias cargas calculacionales en los elementos de la red y el tráfico de control excesivo.

Para entender bien este problema, se considera el ejemplo de la Figura 1, donde dos nodos vecinos conmutando en una red óptica son conectados por ocho enlaces paralelos. También se asume que ellos están ejecutando el protocolo de enrutamiento OSPF. Estos ocho enlaces paralelos entre los nodos producirán ocho adyacencias de enrutamiento entre ellos, con el Protocolo Hello OSPF corriendo sobre cada adyacencia. Además, cuando quiera un nodo recibe un LSA (Anuncio de estado de enlace) y envía una copia a su vecino sobre cada uno de los ocho enlaces paralelos. El nodo vecino aceptará sólo el primero de estos LSAs, mientras desecha el resto. Claramente, ésta es una pérdida de ancho de banda de la red y de los cálculos de los recursos en los nodos.

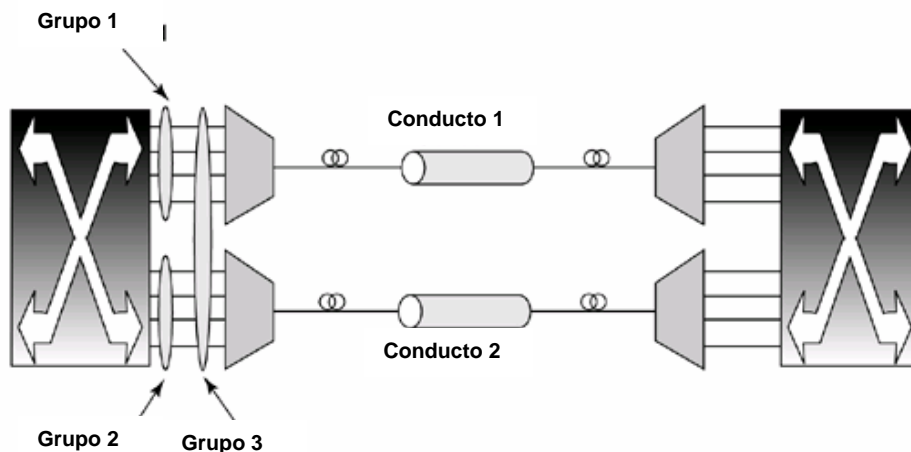


Figura 1. El enlace Agrupado

El enlace agrupado elimina esta ineficiencia agregando varios (o todos) los enlaces paralelos entre dos nodos vecinos en un solo enlace lógico. El enlace lógico resultante se llama un enlace agrupado (también conocido como enlace de ingeniería de tráfico (TE) en la terminología GMPLS OSPF/IS-IS) y los enlaces físicos que lo constituyen se llaman enlaces componentes. Esta agrupación mejora la escalabilidad de enrutamiento porque reduce la cantidad de información de enrutamiento intercambiada entre los nodos vecinos. Como con cualquier técnica de agregación, los enlaces agrupados pueden producir

pérdida de información. Para limitar esta pérdida, se han puesto algunas restricciones en el enlace agrupado.

Por ejemplo, se considera el escenario en la Figura 1. Los dos conmutadores en la figura están conectados por dos sistemas DWDM, cada uno lleva cuatro longitudes de onda. Los sistemas DWDM se conectan por fibras que atraviesan dos canales diferentes. Ahora, es posible empaquetar todos los ocho enlaces (las longitudes de onda) entre los dos conmutadores en un solo grupo como se muestra en la figura (grupo 3). Esta agrupación, sin embargo, no captura el hecho que los enlaces van sobre dos sistemas DWDM y dos conductos diferentes y forman dos grupos de riesgo diferentes. Un acercamiento bueno es crear dos grupos diferentes, grupo 1 y grupo 2, cada uno consiste en enlaces que usan el mismo sistema de DWDM y conducto.

Todos los enlaces componentes de un grupo deben empezar y acabar en el mismo par de nodos y deben tener las mismas características del enlace, por ejemplo, el mismo TE métrico (es decir, un costo administrativo). Aunque no obligatoriamente, ellos también deben pertenecer al mismo sistema de SRLGs.

Pueden definirse reglas de agregación para otros parámetros, como el ancho de banda máximo disponible en el enlace, el ancho de banda máximo que puede asignarse a una conexión que cruza el enlace, y así sucesivamente. La agrupación también puede aplicarse recursivamente, es decir, un enlace componente puede ser el mismo enlace agrupado.

## **2.5 FUENTE DE ENRUTAMIENTO**

El enrutamiento de una conexión de la capa óptica requiere que el camino entero para la conexión sea calculado en el nodo de ingreso y señalado a otros nodos en el camino. Para lograr esto, el nodo de ingreso calcula una ruta explícita, también conocida como una ruta de la fuente, del ingreso a la salida que incluye todos los nodos en el camino. Durante el establecimiento del camino, la ruta entera se lleva por el protocolo de señalización del ingreso al nodo de la salida como el camino se establece.

Los nodos intermedios en esa ruta no realizan los cálculos de enrutamiento, solamente usan la información de la ruta explícita para enviar el mensaje de establecimiento. Desde que el nodo de ingreso calcula la ruta entera, la posibilidad de un loop de enrutamiento se elimina. Por consiguiente, la restricción que todos los nodos deben ejecutar el mismo algoritmo de enrutamiento también puede disminuirse. Pero como se mencionó anteriormente, el algoritmo de enrutamiento debe soportar los problemas de calculo como calcular físicamente la ruta primaria y los caminos auxiliares, las restricciones adicionales sobre las capacidades de conmutación, las del dominio óptico, y así sucesivamente.



## 2.6 ENRUTAMIENTO INTRADOMINIO ÓPTICO

Los grupos, como la IETF, la OIF y la ITU-T, están trabajando en mejorar los protocolos de enrutamiento intradominio como OSPF e IS-IS, para enrutamiento y descubrimiento de la topología en redes que consisten en conmutadores de circuitos ópticos u otros. En esta sección, se discute el trabajo en progreso en los diferentes grupos de las normas, usando OSPF como ejemplo.

Durante los últimos años, el protocolo de enrutamiento OSPF se ha desplegado ampliamente a lo largo de Internet. OSPF es un protocolo de enrutamiento de estado de enlace y especifica una clase de mensajes llamada Anuncios de Estados de Enlace (LSAs) que permite actualizaciones en los nodos de la red sobre sus enlaces locales. En OSPF se definen cinco tipos diferentes de LSAs.

Como se menciona anteriormente el enrutamiento IP y las redes ópticas realmente no son lo mismo y OSPF necesita ser reforzado para dirigir las conexiones en las redes ópticas donde por ejemplo los enlaces son siempre punto a punto y los LSAs de red no se requieren. Por otro lado, la información del estado del enlace en enrutadores LSAs no incluye la información detallada sobre las características del enlace, como la disponibilidad de los recursos, la diversidad física, y así sucesivamente. Por consiguiente, se requieren extensiones para los LSAs.

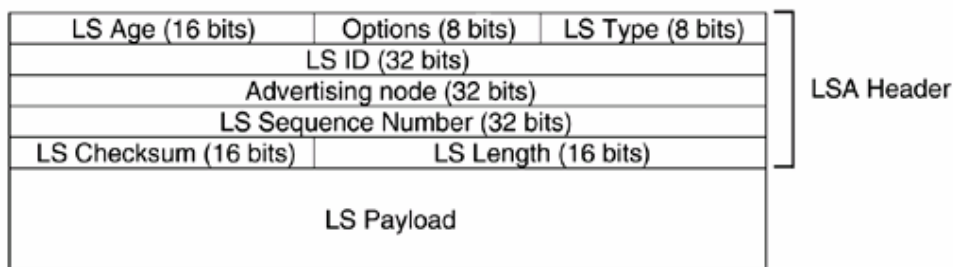
En lugar de reforzar los LSAs, se han realizado mejoras usando LSAs opacos que proporcionan un mecanismo generalizado para extender OSPF.

Los LSAs opacos como se muestran en la figura 2, consisten de un encabezado estándar LSA seguido por un campo de información de aplicación específica. Como otros LSAs, el LSA opaco es distribuido usando el mecanismo de flooding<sup>1</sup> (inundación) OSPF. La manera en que un LSA opaco es transmitido depende del ámbito de flooding del LSA. Lo siguiente describe los diferentes ámbitos de flooding:

- **Flooding de enlace local:** En este caso, el LSA se transmite sólo sobre un solo enlace punto a punto o de emisión (broadcast).
- **Flooding de Área local:** En este caso, el LSA opaco se transmite sólo en el área donde se originó.
- **Flooding completamente de Sistema Autónomo (AS):** En este caso, el LSA es transmitido a lo largo del AS.

---

<sup>1</sup> **Flooding:** El proceso de asegurar que cada LSA se pasa entre "enrutadores" adyacentes para alcanzar a cada "enrutador" del área. Es un procedimiento fiable



**Figura 2. El Formato en OSPF del Anuncio de Estado del Enlace (LSA)**

Más adelante se describe cómo se usan los LSAs opacos para extender el protocolo OSPF para el enrutamiento óptico. Específicamente, se describe el enrutamiento dentro de una sola área de OSPF, el enrutamiento en áreas múltiples es mucho más complejo que el enrutamiento dentro de una sola área de OSPF. Por consiguiente, no sorprende que el estado del arte actual para enrutamiento en una sola área es más maduro comparado con el enrutamiento por áreas múltiples.

### 2.6.1 Enrutamiento en una Sola Área

Las mejoras de OSPF en el soporte de MPLS TE ya estaban en camino cuando la IETF empezó su trabajo sobre enrutamiento en redes ópticas. Como resultado se encontró que los requisitos manejados por las extensiones de MPLS TE tienen muchos aspectos comunes con aquellos manejados para enrutamiento en las redes ópticas. Por lo tanto, estos dos esfuerzos se han alineado bajo la protección de las extensiones GMPLS OSPF TE o simplemente, GMPLS OSPF-TE.

Las extensiones para OSPF se han planteado extendiendo la noción de un enlace. Además de anunciar los enlaces punto a punto "regulares" usando los enrutadores LSAs, OSPF-TE también permite a un nodo anunciar los enlaces TE. Un enlace TE es un solo enlace o un enlace agrupado con características asociadas. Las propiedades del enlace pertenecientes al cálculo de primero el camino más corto (SPF) (por ejemplo, el costo del enlace) se anuncian usando los enrutadores LSAs. Las otras características de un enlace TE se anuncian usando LSAs opacos. Los LSAs opacos que llevan tal información TE también son conocidos como TE LSAs. En resumen, un enlace TE es un enlace "lógico" que tiene varias propiedades y puede o no tener correspondencia uno-a-uno a un enlace punto a punto "regular."

Un enlace TE está activo, es decir, es funcional, si cada uno de sus componentes están activos. Se dice que un enlace agrupado es funcional si por lo menos uno de sus enlaces componentes está activo.

Usando los mensajes Hello del protocolo de enrutamiento (por ejemplo, IS-IS u OSPF) sobre el enlace componente, los Hellos del protocolo de señalización (por ejemplo, RSVP), los Hellos del protocolo de dirección de enlace (LMP), o las indicaciones de capa de enlace se puede determinar el estado activo de un enlace componente. Una vez un enlace agrupado se determina para esta actividad, este puede ser anunciado usando OSPF LSA flooding.

Aun cuando los hellos IS-IS/OSPF están corriendo sobre todos los enlaces componentes, el flooding IS-IS/OSPF puede ser restringido justo a uno de los enlaces componentes.

Las características de un solo enlace componente, incluye lo siguiente:

**-El Máximo ancho de banda:** este parámetro especifica el absoluto ancho de banda máximo utilizable en el enlace. Ésta es la capacidad del enlace.

**-El ancho de banda no reservado:** este parámetro especifica la cantidad de ancho de banda aun no reservada en el enlace. Los valores de ancho de banda no reservados pueden anunciarse separadamente por niveles de prioridad diferentes. Actualmente, se soportan ocho niveles de prioridad. Para un enlace TE agrupado, el ancho de banda no reservado es la suma de anchos de banda no reservados de todos los enlaces componentes.

**-El Máximo y mínimo ancho banda de conexión:** estos parámetros determinan el máximo y mínimo ancho de banda que puede asignarse a una conexión en el enlace. El ancho de banda máximo que puede asignarse es menor que el ancho de banda no reservado en el enlace. El ancho de banda mínimo que puede asignarse depende de la granularidad de conmutación soportada por los nodos de conmutación. El ancho de banda de conexión máximo de un enlace agrupado se define para ser el máximo ancho de banda de conexión de todos los enlaces componentes.

Por ejemplo, suponga hay dos canales OC-192 (de 10Gbps) no reservado o enlaces componentes en un enlace TE. El ancho de banda no reservado es entonces  $2 \times 10$  Gbps o 20 Gbps. El ancho de banda máximo que puede asignarse a una conexión, sin embargo, es sólo 10 Gbps. Asumiendo que los switches soportan sólo STS-48c o 2.5 Gbps conmutando granularmente, el ancho de banda mínimo que puede asignarse a una conexión es 2.5 Gbps.

**-El tipo de protección del enlace:** describe las capacidades de las protecciones del enlace. Algunos de los tipos de protecciones soportadas son prioritariamente, no protección, compartida, dedicada 1:1 y dedicada 1+1

**-SRLG:** Ésta es una lista desordenada de números que son los identificadores de SRLG asociado con el enlace.

**-El descriptor de capacidad de conmutación de interfaz:** Esto incluye los siguientes parámetros:

**1. La capacidad de conmutación:** Este parámetro identifica las capacidades de conmutación de las interfaces asociadas con el enlace. Los valores siguientes son pertinentes para la conmutación óptica: Capacidad de Multiplexación por división de tiempo (TDM), capacidad de conmutación de lambda y capacidad de conmutación de fibra. Éstos fueron definidos anteriormente.

**2. La información específica de la capacidad de conmutación:** La información específica de capacidad de conmutación es por ejemplo, cuando el parámetro de capacidad conmutación es TDM, la granularidad de conmutación,

una indicación de si la interfaz soporta la concatenación SONET/SDH arbitraria o específica, etcétera.

### 2.6.2 Ejemplo de enrutamiento en una red óptica que soporta OSPF

Se considera la red mostrada en la figura 3, que consiste de cuatro switches ópticos, nodos A-D, seis enlaces TE 1-6 y se asume que los conmutadores están en capacidad de conmutación TDM a la granularidad de STS-48c (2.5 Gbps) y que estos enlaces TE son enlaces agrupados con las siguientes propiedades:

Enlace 1: 4 enlaces componentes OC-48, 2 usados y 2 sin usar, no protegido, y SRLG ID = 123

Enlace 2: 4 enlaces componentes OC-48, 2 usados y 2 sin usar, no protegido, y SRLG ID = 234

Enlace 3: 4 enlaces componentes OC-48, 2 usados y 2 sin usar, no protegido, y SRLG ID = 345

Enlace 4: 4 enlaces componentes OC-192, 2 usados y 2 sin usar, no protección, y SRLG ID = 456

Enlace 5: 4 enlaces componentes OC-192, 2 usados y 2 sin usar, no protección, y SRLG ID = 567

Enlace 6: 4 enlaces componentes OC-192, 2 usados y 2 sin usar, no protección, y SRLG ID = 678

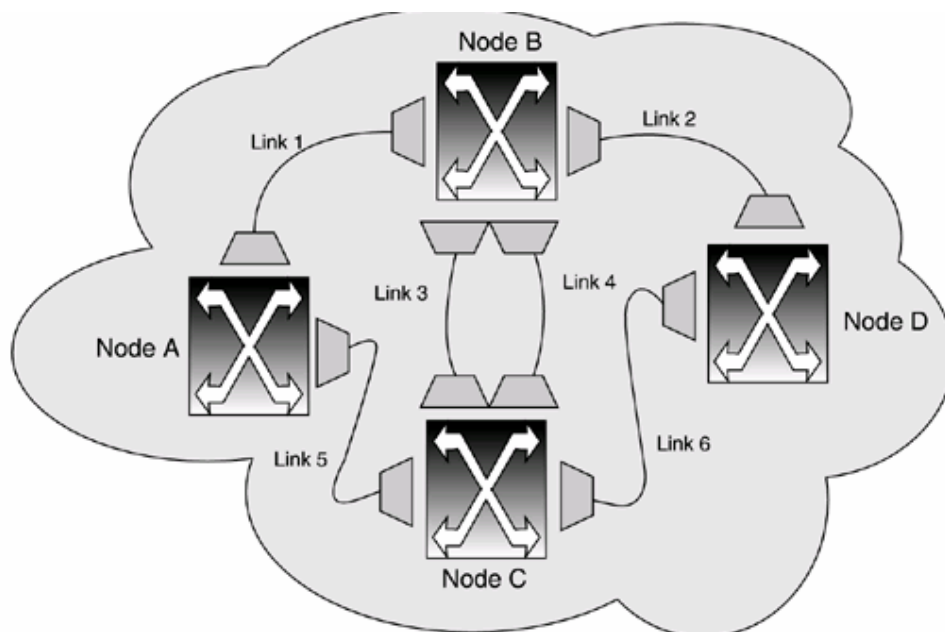


Figura 3. Ejemplo de una red óptica configurada como una simple área OSPF

**Tabla 1. Enrutadores LSAs para el ejemplo de la red de la figura 3**

<b>Tipo LS</b>	<b>LS ID</b>	<b>El nodo de Anuncio</b>	<b>Observación</b>
Enrutador LSA	ID Nodo A	Nodo A	Propiedades SPF de enlaces 1 y 5
Enrutador LSA	ID Nodo B	Nodo B	Propiedades SPF de enlaces 1,2,3,4
Enrutador LSA	ID Nodo C	Nodo C	Propiedades SPF de enlaces 3,4,5,y6
Enrutador LSA	ID Nodo D	Nodo D	Propiedades SPF de enlaces 2 y 6

Asumiendo que la red se configura como una sola área OSPF, por lo tanto ningún resumen de LSAs se requiere, pues sólo se tienen enlaces punto a punto y ninguna red de LSAs es necesaria. Además se asume que no hay rutas externas ni LSAs externos que se requiera. La base de datos de estado del enlace de cada nodo consiste en sólo enrutadores LSAs y TE LSAs. Porque hay cuatro nodos, sólo cuatro enrutadores LSAs, uno originado por cada nodo, están presentes. Hay doce TE LSAs, dos por cada enlace TE que desde los puntos finales anuncian el enlace entre ellos. La tabla 1 muestra los enrutadores LSAs mantenidos por cada nodo y La tabla 2 muestra los TE LSAs.

**Tabla 2. TE LSAs para el ejemplo TE en la Figure 3**

<b>Tipo LS</b>	<b>ID LS</b>	<b>Nodo de anuncio</b>	<b>Observaciones</b>
TE LSA	ID de Enlace de enlace 1	Nodo A	Propiedades TE de enlace 1 vistas por A
TE LSA	ID de Enlace de enlace 1	Nodo B	Propiedades TE de enlace 1 vistas por B
TE LSA	ID de Enlace de enlace 2	Nodo B	Propiedades TE de enlace 2 vistas por B
TE LSA	ID de Enlace de enlace 2	Nodo D	Propiedades TE de enlace 2 vistas por D
TE LSA	ID de Enlace de enlace 3	Nodo B	Propiedades TE de enlace 3 vistas por B
TE LSA	ID de Enlace de enlace 3	Nodo C	Propiedades TE de enlace 3 vistas por C
TE LSA	ID de Enlace de enlace 4	Nodo B	Propiedades TE de enlace 4 vistas por B
TE LSA	ID de Enlace de enlace 4	Nodo C	Propiedades TE de enlace 4 vistas por C
TE LSA	ID de Enlace de enlace 5	Nodo A	Propiedades TE de enlace 5 vistas por A
TE LSA	ID de Enlace de enlace 5	Nodo C	Propiedades TE de enlace 5 vistas por C
TE LSA	ID de Enlace de enlace 6	Nodo C	Propiedades TE de enlace 6 como vistos por C
TE LSA	ID de Enlace de enlace 6	Nodo D	Propiedades TE de enlace 6 como vistos por D

Examinando el TE LSA perteneciente al enlace 1, anunciado por el nodo A. Entre otros items, que incluyen las siguiente información:

1. El ancho de banda máximo (es decir, la capacidad absoluta) es 4 x 2.5 Gbps o 10 Gbps porque hay cuatro enlaces componentes OC-48 en el enlace TE.

2. El máximo ancho de banda disponible o no reservado es 2 x 2.5 Gbps o 5 Gbps porque sólo dos OC-48 enlaces componentes están disponibles.
3. El ancho de banda de conexión máximo es 2.5 Gbps porque los enlaces componentes son OC-48.
4. El ancho de banda de conexión mínimo es 2.5 Gbps porque la conmutación está en granularidad STS-48c.
5. El tipo de protección de los enlaces "no protegida" y la lista de SRLG asociada contiene sólo un SRLG ID, es decir, 123.
6. La capacidad de conmutación de la interfaz es TDM porque los switches tienen capacidad TDM. La Granularidad de conmutación es STS-48c.

Usando la información contenida en el enrutador y TE LSAs, cada nodo puede construir una base de datos de la topología que contiene la información mostrada en la tabla 3 fácilmente. La Tabla 3 muestra sólo un subconjunto de diferentes campos, la base de datos de la topología real contendrá otros campos de información.

Como se muestra en la figura 3, la base de datos de la topología contiene la información detallada sobre los diferentes enlaces TE entre los nodos. Esta información se usa por el módulo de cálculo de ruta para calcular las rutas explícitas a los diferentes destinos.

**Tabla 3. Base de datos de la topología para la red en la figura 3**

	<b>Node A</b>	<b>Node B</b>	<b>Node C</b>	<b>Node D</b>
Nodo A		Enlace 1: Max capacidad 10 Gbps; Capacidad disponible 5 Gbps; capacidad de conmutación SONET, granularidad de conmutación 2.5 Gbps; no protegido; SRLGs {123} ; BWs max de conexión 2.5.Gbps; BW min de conexión 2.5Gbps.	Enlace 5: Max capacidad 20 Gbps; capacidad disponible 10 Gbps; capacidad de conmutación SONET; granularidad de conmutación 2.5 Gbps; no protegido; SRLGs {567} ; BW max de conexión 10 Gbps; BW min de conexión 2.5Gbps.	
Nodo B	Enlace 1:		Enlace 3: Max capacidad 10 Gbps; capacidad 5 Gbps; capacidad de conmutación SONET; granularidad de conmutación 2.5 Gbps; no protegido; SRLGs {345} ; BW max de conexión 2.5.Gbps; BW min de conexión 2.5.Gbps.	Enlace 2: Max capacidad 10 Gbps; capacidad 5 Gbps; capacidad de conmutación SONET; granularidad de conmutación 2.5 Gbps; no protegido; SRLGs {234} ; BW max de conexión 2.5.Gbps; BW min de conexión 2.5.Gbps.
			Enlace 4: Max capacidad 10	

Node A	Node B	Node C	Node D
		Gbps; capacidad 10Gbps; capacidad de conmutación SONET; granularidad de conmutación 2.5 Gbps; no protegido; SRLGs {456} ; BW max de conexión 2.5.Gbps; BW min de conexión 2.5.Gbps.	
Nodo C	Enlace 5: Enlace 3: Enlace 4:		Enlace 6:
Nodo D	Enlace 2:	Enlace 6: Max capacidad 20 Gbps; capacidad 10 Gbps; capacidad de conmutación SONET; granularidad de conmutación 2.5 Gbps; no protegido; SRLGs {678}; BW max de conexión 10.Gbps; BW min de conexión 2.5.Gbps.	

La información del enlace presentada en la tabla 3 es suficiente para calcular caminos no protegidos y con protección 1 + 1. No es, sin embargo, suficiente para calcular los caminos bajo protección de malla compartida. La recuperación bajo la protección de malla compartida y los caminos auxiliares múltiples pueden compartir los enlaces de protección con tal de que los caminos primarios correspondientes no tengan ningún SRLG común.

En la tabla 3 no se proporciona información sobre los enlaces auxiliares compartidos y las conexiones que pueden usarlos potencialmente.

En ausencia de cualquier información adicional, puede usarse la simple heurística para calcular caminos auxiliares compartidos. Por ejemplo, el camino de una protección físicamente diversa puede calcularse primero. Entonces, la distribución puede ser intentada en muchos enlaces como sea posible durante la señalización, usando la información disponible para cada nodo a lo largo del camino de protección.

### 2.6.3 Enrutamiento en redes todo ópticas

El enrutamiento en una red todo óptica aparte de los aumentos de conversión de longitudes de onda tiene varios problemas adicionales que no se han mencionado en las mejoras de OSPF que se discutieron antes. Primero, la ruta seleccionada debe tener la longitud de onda escogida disponible en todos los enlaces, esta información necesita ser considerada en el proceso de enrutamiento. Por tanto, la información de disponibilidad de longitud de onda necesita ser anunciada por los protocolos de enrutamiento. Una alternativa son



el conjunto de etiquetas de GMPLS que reúnen las longitudes de onda disponibles durante la señalización, pero confiar en esto solamente no puede ser eficaz.

Cuando la tecnología de transporte óptica evoluciona, el conjunto de restricciones que necesitan ser consideradas pueden cambiar. El enrutamiento y el diseño del plano de control debe ser por consiguiente tan abierto como sea posible, permitiendo que los parámetros sean incluidos como necesarios.