

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MADRID

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR



PROYECTO FIN DE CARRERA

ARQUITECTURAS EN ANILLO PARA REDES IP

Juan Manuel Castrejo Sanz

Julio 2008

ARQUITECTURAS EN ANILLO PARA REDES IP

AUTOR: Juan Manuel Castrejo Sanz

TUTOR: Antonio Aguilar Morales

**Dpto. de Ingeniería Informática
Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid
Julio de 2008**

PROYECTO FIN DE CARRERA

Título: *Arquitecturas en anillo para redes IP*

Autor: D. Juan Manuel Castrejo Sanz

Tutor: D. Antonio Aguilar Morales

Tribunal:

Presidente: Bazil Taha Ahmed

Vocal: Javier Aracil Rico

Vocal secretario: Antonio Aguilar Morales

Fecha de lectura:

Calificación:

Resumen:

El crecimiento sin precedentes del tráfico IP está llevando a los proveedores de servicios de Internet (ISPs) y a los operadores de red de todo el mundo a investigar alternativas para los backbones IP multiterabit fiables, escalables y flexibles. Nuevas tecnologías de red, introducidas en los últimos años, junto con una amplia variedad de arquitecturas de red y estrategias de restauración, proporcionan a los operadores de red numerosas alternativas para el diseño y desarrollo de sus backbones IP.

Uno de los factores claves para reducir el coste total de la red es la simplificación de la pila de protocolos, lo que permite a los operadores de red minimizar el número de elementos de red.

En este documento se proponen y analizan algunas de estas arquitecturas de red, que emplean IP, MPLS, SONET/SDH, OTN y WDM.

Abstract:

The unprecedented growth of IP traffic is leading Internet service providers (ISPs) and network operators worldwide to investigate architectural alternatives for reliable, scalable, and flexible multiterabit IP backbones. New networking technologies, introduced in the last few years, together with a broad variety of network architectures and restoration strategies, provide network operators with numerous alternatives for the design and deployment of their IP backbones.

One of the key factors to reduce the overall network cost is the simplification of the protocol stack, as it enables network operators to minimize the number of network elements.

In this paper, several transport architectures, which employ IP, MPLS, SONET/SDH, OTN and WDM technologies, are proposed and analyzed.

Palabras clave:

Arquitectura, red, multicapa, supervivencia, protección, anillo, fibra óptica, IP, MPLS, SONET/SDH, WDM, OTN.

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a mi tutor, Antonio Aguilar Morales, por darme la oportunidad de realizar este proyecto.

A mis padres, Manuel y Maribel, y a mi hermana, Isabel, por haberme permitido realizar la carrera que siempre quise hacer y por darme siempre todo su apoyo.

A Noelia, por estar siempre a mi lado.

También quiero agradecer a todos los que han hecho posible esta primera promoción de Ingenieros de Telecomunicación de la Escuela Politécnica Superior y, en particular, a Jesús Bescós y José María Martínez, por toda la ayuda que nos han prestado a lo largo de la carrera.

Y a todos mis compañeros, en los que he encontrado ayuda siempre que la he necesitado, en especial, a Felipe Mata, compañero y amigo desde el Instituto.

Juan Manuel Castrejo Sanz
Julio 2008

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | | |
|---------|---|----|
| 1 | Introducción..... | 1 |
| 1.1 | Motivación..... | 1 |
| 1.2 | Objetivos..... | 1 |
| 1.3 | Organización de la memoria..... | 2 |
| 2 | Redes de comunicaciones actuales..... | 3 |
| 2.1 | Situación actual y necesidades futuras..... | 3 |
| 2.2 | Nuevos modelos de tráfico de datos..... | 4 |
| 2.3 | Influencia del tráfico P2P y multimedia..... | 5 |
| 2.4 | Red IP. Evolución a la convergencia de voz y datos..... | 7 |
| 2.4.1 | Arquitectura de red tradicional..... | 7 |
| 2.4.2 | Tendencias para la arquitectura de red futura..... | 9 |
| 3 | Redes de próxima generación NGN (Next Generation Networks)..... | 11 |
| 3.1 | Introducción..... | 11 |
| 3.2 | Características y capacidades fundamentales de la NGN..... | 11 |
| 3.3 | Requisitos de un núcleo de red de nueva generación..... | 12 |
| 3.3.1 | Equipos de altas prestaciones..... | 12 |
| 3.3.2 | Integración con redes ópticas..... | 14 |
| 3.3.3 | Movilidad generalizada..... | 14 |
| 3.4 | Arquitectura de las redes de próxima generación..... | 15 |
| 3.4.1 | Estrato de servicios..... | 16 |
| 3.4.2 | Estrato de transporte..... | 16 |
| 3.4.3 | Plano de gestión..... | 17 |
| 4 | Arquitectura OTN (Optical Transport Network)..... | 19 |
| 4.1 | Introducción..... | 19 |
| 4.2 | Los cinco pilares de OTN..... | 19 |
| 4.3 | Evolución hacia una red OTN..... | 20 |
| 4.4 | Estructura de capas de OTN..... | 22 |
| 4.5 | Gestión y supervisión de OTN..... | 23 |
| 4.6 | OTN como modelo de referencia para las redes futuras..... | 24 |
| 5 | Arquitecturas multicapa para anillos IP..... | 25 |
| 5.1 | Introducción..... | 25 |
| 5.2 | Eliminando capas intermedias en el backbone..... | 25 |
| 5.3 | Llevando la inteligencia al núcleo óptico..... | 26 |
| 5.4 | Arquitecturas de red multicapa..... | 27 |
| 5.4.1 | IP over SONET/SDH over WDM..... | 27 |
| 5.4.2 | IP over WDM..... | 28 |
| 5.4.3 | IP over OTN..... | 29 |
| 5.4.3.1 | Modelo Peer-to-Peer..... | 30 |
| 5.4.3.2 | Modelo Overlay..... | 32 |
| 5.4.3.3 | Modelo Augmented Hybrid..... | 33 |
| 5.4.3.4 | Comparación entre los modelos..... | 34 |
| 6 | Supervivencia en anillos IP..... | 36 |
| 6.1 | Introducción..... | 36 |

| | | |
|---------|--|----|
| 6.2 | Supervivencia de red | 36 |
| 6.2.1 | Conceptos de supervivencia | 37 |
| 6.2.2 | Mecanismos de supervivencia | 39 |
| 6.2.2.1 | Protección | 39 |
| 6.2.2.2 | Restauración | 41 |
| 6.3 | Protección en anillos SONET/SDH..... | 42 |
| 6.3.1 | Two-Fiber Unidirectional Path Switched Ring (UPSR) | |
| | Subnetwork Connection Protection (SNCP) | 42 |
| 6.3.2 | Two-Fiber Bidirectional Line-Switched Ring (2F-BLSR) | |
| | Multiplex Section Shared Protection Ring (2F-MS-SPRing)..... | 43 |
| 6.3.3 | Four-Fiber Bidirectional Line-Switched Ring (4F-BLSR) | |
| | Multiplex Section Shared Protection Ring (4F-MS-SPRing)..... | 44 |
| 6.4 | Protección en la capa IP..... | 45 |
| 6.5 | Protección en la capa óptica | 46 |
| 6.6 | Supervivencia multicapa..... | 47 |
| 7 | Caso de estudio..... | 49 |
| 7.1 | Introducción..... | 49 |
| 7.2 | Aproximación técnica e implementación | 49 |
| 7.2.1 | 1ª Aproximación (A) | 50 |
| 7.2.2 | 2ª Aproximación (B)..... | 51 |
| 7.3 | Características del anillo bajo estudio | 51 |
| 7.4 | Metodología de dimensionamiento del anillo | 52 |
| 7.5 | Resultados y conclusiones | 53 |
| 7.5.1 | Resultados..... | 54 |
| 7.5.2 | Conclusiones..... | 56 |
| 7.5.2.1 | IP/SDH vs. IP/SDH/WDM..... | 56 |
| 7.5.2.2 | IP/SDH/WDM vs. IP/WDM..... | 57 |
| 7.5.2.3 | IP/OTN | 58 |
| 8 | Futuro de las redes de comunicaciones | 59 |
| 8.1 | Introducción..... | 59 |
| 8.2 | Conmutación óptica..... | 59 |
| 8.2.1 | OCS (Optical Circuit Switching)..... | 59 |
| 8.2.2 | OPS (Optical Packet Switching)..... | 60 |
| 8.2.3 | OBS (Optical Burst Switching)..... | 60 |
| 8.3 | 10 Gigabit Ethernet..... | 61 |
| 8.3.1 | Estándar 10 GbE - IEEE 802.3ae | 62 |
| 8.3.2 | 10 GbE en entornos LAN, MAN y WAN | 65 |
| 8.3.3 | Desarrollo de un backbone 10 GbE..... | 66 |
| 8.4 | Next Generation SDH..... | 67 |
| 8.4.1 | GFP - Procedimiento de entramado genérico..... | 67 |
| 8.4.2 | VCAT - Concatenación virtual..... | 68 |
| 8.4.3 | LCAS - Esquema de ajuste de la capacidad del enlace | 70 |
| 8.4.4 | Integración de GFP, VCAT y LCAS..... | 71 |
| | Referencias | i |
| | Glosario | iv |

| | |
|---|-------|
| Anexos..... | vii |
| A SONET/SDH | vii |
| A.1 Descripción general | vii |
| A.2 Multiplexación y formación de tramas | vii |
| A.3 Estructura de capas SONET/SDH | ix |
| A.4 Disponibilidad de red..... | x |
| A.5 Protocolos utilizados por SONET/SDH | xi |
| A.5.1 POS (Packet over SONET/SDH)..... | xi |
| A.5.2 APS (Automatic Protection Switching)..... | xi |
| A.6 Equipamiento para SONET/SDH | xii |
| A.7 Ventajas y desventajas de SONET/SDH | xii |
| B Comunicaciones sobre fibra óptica..... | xiv |
| B.1 Descripción general | xiv |
| B.2 WDM (Wavelength Division Multiplexing)..... | xiv |
| B.3 Añadiendo WDM a la arquitectura de red | xv |
| B.4 Equipamiento para comunicaciones ópticas | xvii |
| B.4.1 OXC - Optical Cross-Connect | xvii |
| B.4.2 OADM - Optical Add/Drop Multiplexer | xx |
| C TCP/IP | xxii |
| C.1 Descripción general | xxii |
| C.2 Protocolos de encaminamiento IP..... | xxiii |
| C.2.1 Protocolos IGP | xxiii |
| C.2.2 Protocolos EGP..... | xxiv |
| D MPLS (Multiprotocol Label Switching)..... | xxv |
| D.1 MPLS-TE (MPLS Traffic Engineering)..... | xxvi |
| D.2 GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching) | xxvii |
| E PRESUPUESTO | xxix |
| F PLIEGO DE CONDICIONES | xxx |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 2-1: PENETRACIÓN DE USUARIOS DE INTERNET EN EL MUNDO. 1995-2006 | 4 |
| FIGURA 2-2: SUBSCRIPTORES RESIDENCIALES DE VOIP EN EEUU. 2005-2010..... | 5 |
| FIGURA 2-3: FRECUENCIA DE USO DE REDES P2P (PEER TO PEER). 2005 | 5 |
| FIGURA 2-4: TENDENCIA DEL TRÁFICO IP. 1993-2006..... | 6 |
| FIGURA 2-5: FORMATOS DE ARCHIVOS POR TRÁFICO GENERADO EN CUATRO DE LAS PRINCIPALES REDES P2P | 6 |
| FIGURA 2-6: ARQUITECTURA DE RED TRADICIONAL..... | 7 |
| FIGURA 2-7: CONVERGENCIA DE LAS REDES DE VOZ Y DATOS | 8 |
| FIGURA 2-8: CAPAS DE LA ARQUITECTURA DE RED TRADICIONAL | 8 |
| FIGURA 2-9: EVOLUCIÓN DE LA RED MONOSERVICIO A MULTISERVICIO..... | 9 |
| FIGURA 2-10: EVOLUCIÓN DE LAS REDES DE COMUNICACIONES | 10 |
| FIGURA 3-1: EVOLUCIÓN DEL EQUIPAMIENTO DE TRANSPORTE RESPECTO AL INCREMENTO DE CAPACIDAD | 13 |
| FIGURA 3-2: SEPARACIÓN ENTRE SERVICIOS Y TRANSPORTE EN LAS NGN..... | 15 |
| FIGURA 3-3: PLANOS DE CONTROL, GESTIÓN Y USUARIO DE LA NGN..... | 17 |
| FIGURA 4-1: PLANOS DE CONTROL Y DATOS OTN..... | 21 |
| FIGURA 4-2: ARQUITECTURA DE CAPAS OTN..... | 22 |
| FIGURA 5-1: REDUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE CAPAS..... | 25 |
| FIGURA 5-2: ARQUITECTURA IP OVER SONET/SDH OVER WDM..... | 27 |
| FIGURA 5-3: ARQUITECTURA IP/MPLS OVER WDM..... | 28 |
| FIGURA 5-4: RED IP OVER OTN..... | 30 |
| FIGURA 5-5: PLANO DE CONTROL MODELO PEER-TO-PEER | 31 |
| FIGURA 5-6: MODELO PEER-TO-PEER | 31 |
| FIGURA 5-7: PLANO DE CONTROL MODELO OVERLAY..... | 32 |
| FIGURA 5-8: MODELO OVERLAY..... | 33 |
| FIGURA 5-9: PLANO DE CONTROL MODELO AUGMENTED HYBRID | 34 |

| | |
|---|------|
| FIGURA 6-1: PROTECCIÓN UNIDIRECCIONAL/BIDIRECCIONAL | 38 |
| FIGURA 6-2: PROTECCIÓN DE CAMINO, TRAMO Y ANILLO | 39 |
| FIGURA 6-3: PROTECCIÓN 1+1 | 40 |
| FIGURA 6-4: PROTECCIÓN 1:1 | 41 |
| FIGURA 6-5: PROTECCIÓN 1:N | 41 |
| FIGURA 6-6: PROTECCIÓN UPSR/SNCP | 42 |
| FIGURA 6-7: PROTECCIÓN 2F-BLSR/2F-MS-SPRING | 43 |
| FIGURA 6-8: PROTECCIÓN 4F-BLSR/4F-MS-SPRING | 44 |
| FIGURA 6-9: CONMUTACIÓN DE TRAMO VS. ANILLO EN PROTECCIÓN 4F-BLSR/4F-MS-SPRING. | 45 |
| FIGURA 7-1: IMPLEMENTACIONES ANALIZADAS Y FUNCIONES DE LAS CAPAS | 49 |
| FIGURA 7-2: IMPLEMENTACIÓN FÍSICA PARA LA APROXIMACIÓN A: A1) IP/SDH, A2) IP/SDH/WDM Y A3) IP/OTN | 50 |
| FIGURA 7-3: IMPLEMENTACIÓN FÍSICA PARA LA APROXIMACIÓN B: IP/WDM | 51 |
| FIGURA 7-4: ANILLO DE 4 NODOS EN ESTUDIO | 52 |
| FIGURA 7-5: TRÁFICO TOTAL EN EL CORE (STM-1s) | 52 |
| FIGURA 7-6: METODOLOGÍA DE DIMENSIONAMIENTO | 53 |
| FIGURA 7-7: RESULTADOS IP/SDH..... | 54 |
| FIGURA 7-8: RESULTADOS IP/SDH/WDM..... | 55 |
| FIGURA 7-9: RESULTADOS IP/WDM..... | 55 |
| FIGURA 7-10: RESULTADOS IP/OTN..... | 56 |
| FIGURA 8-1: APLICACIÓN DE LAS INTERFACES 10 GbE..... | 64 |
| FIGURA 8-2: 10GbE EN UN ENTORNO MAN | 66 |
| FIGURA 8-3: CARGAS ÚTILES FIJAS EN STS Y VC..... | 68 |
| FIGURA 8-4: ANCHO DE BANDA FRAGMENTADO EN UN STS-12..... | 69 |
| FIGURA 8-5: MAPEO VCAT EN UN STS-3C VIRTUAL | 70 |
| FIGURA 8-6: INTEGRACIÓN DE GFP, VCAT Y LCAS | 72 |
| FIGURA 0-1: ESTRUCTURA DE TRAMA STM-N | VIII |

| | |
|---|-------|
| FIGURA 0-2: JERARQUÍA DE MULTIPLEXACIÓN SDH | IX |
| FIGURA 0-3: MODELO DE REFERENCIA DE RED SONET/SDH DE TRES CAPAS FUNCIONALES | IX |
| FIGURA 0-4: ESTRUCTURA DE CAPAS PPP | XI |
| FIGURA 0-5 : TECNOLOGÍA WDM..... | XIV |
| FIGURA 0-6: SISTEMA WDM CON INTERFACES SDH..... | XVI |
| FIGURA 0-7: CONVERSIÓN DE UNA RED MALLADA EN UN ANILLO WDM | XVII |
| FIGURA 0-8: EQUIPO OXC CON DWDM..... | XVII |
| FIGURA 0-9: ASIGNACIÓN DE LONGITUD DE ONDA CON Y SIN CONVERSIÓN | XVIII |
| FIGURA 0-10: OXC ELÉCTRICO..... | XIX |
| FIGURA 0-11: OXC HÍBRIDO | XX |
| FIGURA 0-12: OXC ÓPTICO | XX |
| FIGURA 0-13: ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN OADM..... | XXI |
| FIGURA 0-14: INTEGRACIÓN DE OXCS Y OADMS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE CAMINOS ÓPTICOS | XXI |
| FIGURA 0-15: LÍNEA DEL TIEMPO TCP/IP | XXII |
| FIGURA 0-16: COMPARACIÓN ENTRE LOS MODELOS OSI E IP | XXIII |
| FIGURA 0-17: RED MPLS..... | XXV |
| FIGURA 0-18: PILA DE ETIQUETAS MPLS | XXVI |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|------|
| TABLA 5-1: COMPARACIÓN ENTRE LOS MODELOS IP OVER OTN..... | 35 |
| TABLA 6-1: COMPARACIÓN ENTRE LOS MECANISMOS DE PROTECCIÓN SONET/SDH..... | 45 |
| TABLA 8-1: OPCIONES DE INTERFAZ ÓPTICO 10 GBE | 64 |
| TABLA 8-2: GFP-P vs. GFP-T..... | 68 |
| TABLA 8-3: UTILIZACIÓN DE ANCHO DE BANDA CON Y SIN VCAT | 70 |
| TABLA 0-1: CORRESPONDENCIA DE VELOCIDADES BINARIAS SONET Y SDH..... | VIII |
| TABLA 0-2: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE WDM..... | XV |

1 Introducción

1.1 Motivación

El continuo crecimiento del tráfico de Internet y la aparición de nuevos servicios multimedia ha generado la necesidad de una red más potente, robusta, segura y escalable. Además, estos nuevos servicios implican que nuevos requerimientos deban ser tenidos en cuenta a la hora de proponer alternativas. La red de telecomunicación existente debe evolucionar para corresponderse con el desplazamiento que se está produciendo de la red de voz tradicional a una red futura centrada en datos.

Uno de los requerimientos más importantes de las futuras redes de transporte es la alta capacidad de ancho de banda necesaria. Este ancho de banda deberá ser capaz de acomodar la creciente heterogeneidad de las condiciones de tráfico. Además, se deberán tener en cuenta los requerimientos para los nuevos servicios, como pueden ser, niveles de calidad, movilidad o alta fiabilidad.

1.2 Objetivos

El objetivo de este Proyecto de Fin de Carrera (PFC) es estudiar las diferentes alternativas para desarrollar una red orientada a datos (IP), robusta y eficiente, que satisfaga los requerimientos actuales y futuros. Se estudiará la situación actual de la red orientada a voz y su posible evolución hacia una red orientada a datos que englobe todo tipo de servicios.

Uno de los objetivos principales es la descripción y análisis de la arquitectura OTN como modelo de referencia para las futuras redes ópticas de transporte de datos completamente ópticas.

Se propondrán y discutirán diferentes alternativas de arquitectura de red multicapa para anillos IP que exploten el potencial de las tecnologías ópticas como posible solución a la creciente demanda de capacidad de transporte. Serán de especial interés las implicaciones de la reducción de la estructura de capas, así como, los mecanismos de supervivencia en un entorno de red multicapa.

Se propondrá un caso de estudio para analizar diferentes aproximaciones de red multicapa aplicadas a un anillo IP.

Por último se dará una visión de futuro sobre nuevas tecnologías que actualmente están siendo investigadas o desarrolladas, y que pueden representar una nueva solución para el desarrollo futuro de las redes de comunicaciones.

1.3 Organización de la memoria

La memoria consta de los siguientes capítulos:

- Capítulo 1: Introducción, motivación y objetivos del proyecto
- Capítulo 2: Descripción de las redes de comunicaciones actuales y análisis de su evolución hacia una red futura que cumpla con las nuevas exigencias del mercado.
- Capítulo 3: Descripción de las características, capacidades, requisitos, así como, de la arquitectura, de las redes de próxima generación.
- Capítulo 4: Descripción y análisis de la arquitectura OTN como modelo de referencia para las futuras redes ópticas de transporte de datos.
- Capítulo 5: Descripción y análisis comparativo de las diferentes alternativas de arquitectura de red multicapa para anillos IP.
- Capítulo 6: Descripción y análisis comparativo de las diferentes técnicas de supervivencia en una arquitectura de red multicapa para anillos IP.
- Capítulo 7: Caso de estudio. Propuesta y análisis de diferentes aproximaciones de red multicapa aplicadas a un anillo IP bajo estudio.
- Capítulo 8: Descripción y análisis de diferentes tecnologías bajo desarrollo involucradas en el futuro de las redes de comunicaciones.
- Anexo A: Descripción de SONET/SDH.
- Anexo B: Descripción de comunicaciones sobre fibra óptica y WDM.
- Anexo C: Descripción de TCP/IP.
- Anexo D: Descripción de MPLS y GMPLS.
- Anexo E: Presupuesto.
- Anexo F: Pliego de condiciones.

2 Redes de comunicaciones actuales

2.1 Situación actual y necesidades futuras

La transformación de las actuales redes de transporte está ocasionada en gran medida por los nuevos servicios de banda ancha ofrecidos por los operadores. Entre ellos destacan los servicios “triple play”, que conforman, en un paquete único, los servicios de Vídeo (VoD e IPTV), Voz e Internet, y próximamente, servicios para comunidades o juegos en red. También es reseñable la creciente demanda de capacidad por parte de las redes empresariales, así como de organizaciones públicas, sanitarias y científicas.

Para hacer una estimación del tráfico futuro se pueden hacer unos supuestos rápidos. Por ejemplo, si el 30% de los abonados usasen algún tipo de servicio de VoD/IPTV, en el año 2010 significaría un crecimiento de tráfico factor 2 comparado con el 14% de abonados que utilizaban este tipo de servicios en 2005, pero si además consideramos una mejora de calidad en la señal de video, que pasaría de video de baja calidad con 2-3Mb/s a unos 15Mb/s (velocidad media de video streaming estimada para el año 2010), significaría un factor 5 de crecimiento. Según este supuesto el tráfico multimedia crecería por un factor 10 hasta el 2010.

Para conseguir ofrecer estos nuevos servicios a los abonados con la calidad deseada es necesaria una red de banda ancha, tanto sobre una infraestructura de acceso fijo como móvil. Con esta revolución de servicios y tecnologías en el acceso fijo y móvil, se hace imprescindible una transformación en la red de transporte con objeto de agregar y transportar este nuevo tráfico.

Existen diferentes tendencias más o menos disruptivas de evolución de una red clásica basada en circuitos a redes de transporte optimizadas para tráfico de datos, en los que hoy en día se basa todo nuevo servicio. Se están discutiendo diferentes arquitecturas que permitan combinar las ventajas de los conceptos de transmisión de paquetes con funcionalidades propias de las redes SONET/SDH tradicionales. Muchas de estas nuevas tecnologías se encuentran bajo discusión, como MPLS (Multiprotocol Label Switching), que ha sido desarrollada para proporcionar flexibilidad con la calidad exigida por los operadores para el transporte, y OTN (Optical Transport Network), que sienta las bases para una red completamente óptica. Estas nuevas tecnologías deben también aportar una alta capacidad de transmisión, 10Gb/s, 40Gb/s y 100Gb/s, a un coste razonable. Por todo esto, parece evidente que la arquitectura futura pasa por una red óptica consistente en una mezcla razonable de equipos de transmisión de paquetes para permitir conexiones extremo a extremo.

Actualmente parece existir un consenso a favor de implementar IP/MPLS en la red troncal, y no hay duda de que en todas las áreas estará presente la tecnología óptica WDM. La tecnología WDM permite multiplexar a nivel óptico diferentes servicios y transportarlos a largas distancias de forma económica sin necesidad de regenerar eléctricamente la señal y minimizando los recursos de fibra necesarios. Por este motivo los sistemas WDM parecen la opción más adecuada ofreciendo a los operadores mayor flexibilidad a un precio razonable.

2.2 Nuevos modelos de tráfico de datos

Durante el primer trimestre de 2006 se superó la barrera de los 1000 millones de usuarios de Internet en el mundo y desde el comienzo del siglo XXI se ha duplicado el número de personas con acceso a Internet por cada cien habitantes en todo el mundo. Como muestra la figura 2-1, entre 1995 y 2006 el número de usuarios de Internet se ha multiplicado por 40, con una penetración en 2006 del 15,7% en todo el mundo.

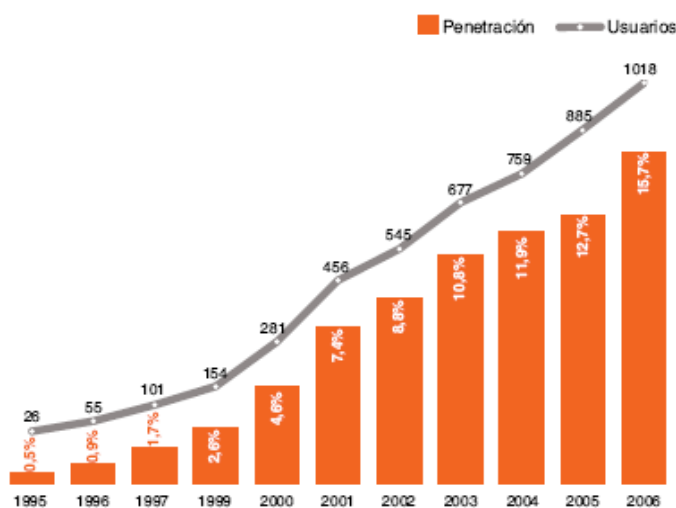


Figura 2-1: Penetración de usuarios de Internet en el mundo. 1995-2006

Los actuales servicios de Internet son relativamente tolerantes a la pérdida y al retardo. En el futuro, sin embargo, los servicios que requieran ancho de banda intensivo y mucho menos retardo de transferencia se convertirán en comunes. Este es el caso del tráfico multimedia (voz, datos y vídeo), que es muy exigente en cuanto a recursos de red y tiene unas necesidades mínimas en cuanto a ancho de banda, retardo extremo a extremo, variación de retardo o jitter y pérdida de paquetes. Otro ejemplo claro lo tenemos con el tráfico de voz sobre IP (VoIP), este tipo de tráfico necesita un ancho de banda mínimo para poder paquetizar la conversación, que será mayor o menor dependiendo del esquema de compresión usado, y es muy sensible al retardo y al jitter, ya que se podría perder la continuidad del diálogo. Para optimizar este tipo de aplicaciones y adecuar la red a su aplicación es necesario tener en cuenta todos estos nuevos requisitos en el diseño de las futuras redes de transporte.

Como ejemplo de la aparición de nuevos servicios, la figura 2-2 muestra una previsión del número de suscriptores de VoIP en EEUU hasta 2010. Se estima que para el año 2010 más de 32 millones de usuarios en EEUU serán suscriptores de servicios de VoIP, lo que representa un 38,5% de la población.

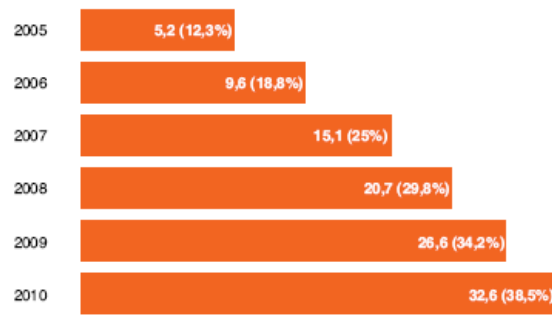


Figura 2-2: Subscriptores residenciales de VoIP en EEUU. 2005-2010

2.3 Influencia del tráfico P2P y multimedia

Una de las nuevas formas de relación propiciadas por Internet ha sido el intercambio gratuito de archivos mediante las redes Peer-to-Peer (P2P). A través de estas redes los usuarios intercambian con otros usuarios, normalmente desconocidos, todo tipo de contenido digital. En España, más de un 30% de los usuarios de Internet descarga archivos de la Red. En nuestro país, no sólo es de destacar la proporción de usuarios de redes P2P, sino que también destaca la frecuencia con la que dichos usuarios hacen uso de las mismas. Como muestra la figura 2-3, más del 15% de los usuarios accede a estas redes todos o casi todos los días, e incluso un 20% de los mismos accede varias veces al día.

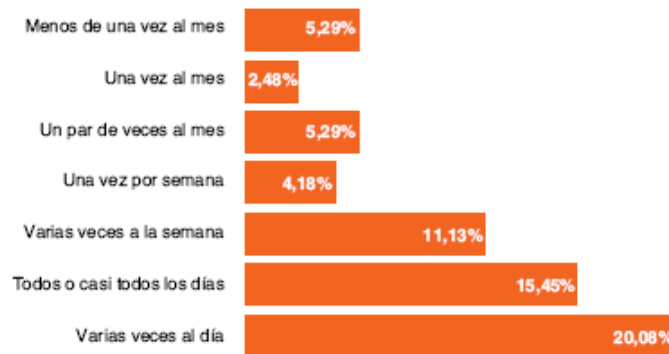


Figura 2-3: Frecuencia de uso de redes P2P (Peer to Peer). 2005

El tráfico de archivos compartidos P2P es el tipo de tráfico que más ha crecido en los últimos años y actualmente constituye el mayor volumen de tráfico en las redes de los ISPs con un crecimiento continuo. Como muestra la figura 2-4, según datos del 2006, el tráfico P2P ha crecido espectacularmente en los últimos años hasta alcanzar un porcentaje de más del 60% del tráfico total de Internet. En segundo lugar se sitúa el tráfico Web con algo más del 20% y con una tendencia claramente inversa al tráfico P2P.

En el caso del enlace upstream, debido a la asimetría de las redes, la capacidad ha sido consumida casi en su totalidad. Además, la mayoría del tráfico de intercambio de archivos se produce de forma internacional con la consiguiente saturación de las conexiones de larga distancia.

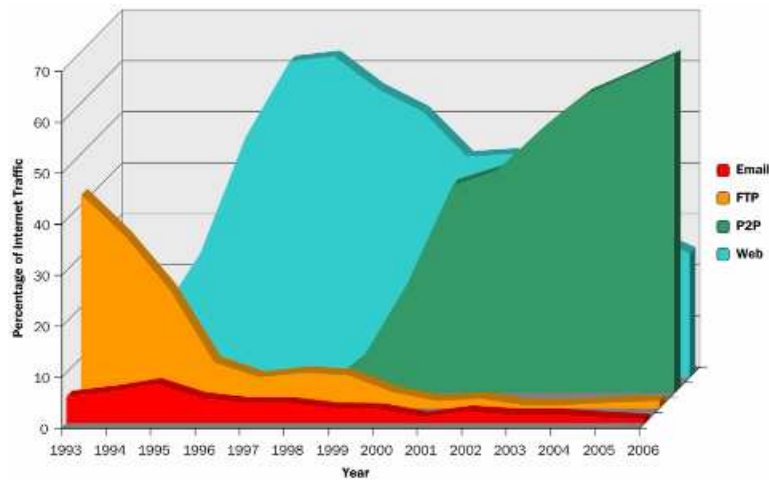


Figura 2-4: Tendencia del tráfico IP. 1993-2006

Otro aspecto importante es el tipo de archivos intercambiados mediante conexiones P2P. La figura 2-5 muestra el porcentaje de formatos de archivo generado en cuatro de las principales redes P2P, siendo los archivos de video más del 60%, lo que unido al tamaño cada vez mayor de este tipo de archivos, da una idea de la saturación que está generando el intercambio de archivos P2P en la red actual de comunicaciones.

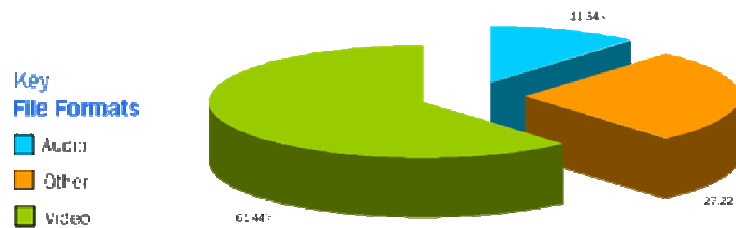


Figura 2-5: Formatos de archivos por tráfico generado en cuatro de las principales redes P2P

Los datos mostrados hasta el momento dejan clara la tendencia de continuo crecimiento del tráfico IP y la aparición de nuevos servicios (VoIP, multimedia, P2P), más complejos y exigentes, sobre todo en términos de ancho de banda.

Esta situación hace que los proveedores de servicios (ISPs) y los operadores de red deban buscar alternativas para que la red de telecomunicaciones existente, orientada a la conmutación de circuitos y con un perfil de tráfico predecible, evolucione. El objetivo es conseguir una red futura orientada a la conmutación de paquetes, con un perfil de tráfico en ráfagas de gran ancho de banda e impredecible, que satisfaga los requerimientos actuales y futuros.

2.4 Red IP. Evolución a la convergencia de voz y datos

2.4.1 Arquitectura de red tradicional

En el pasado, las compañías de telefonía construyeron redes basadas en TDM (Time Division Multiplexing) y ofrecieron servicios de voz a sus clientes. Es a principios de los años 90, con el auge de Internet, cuando los operadores de servicios de telecomunicaciones comienzan a emplear la tecnología IP para ofrecer servicios de paquetes. Para ello, se utiliza la infraestructura existente, orientada a servicios de voz con conmutación de circuitos. Esto permitió el acceso a servicios como email, acceso World Wide Web (WWW) y, posteriormente, más servicios IP avanzados.

Sin embargo, todo cambió rápidamente cuando apareció la desregulación del mercado, y un gran número de proveedores de servicios comenzó a competir en un mercado de rápido crecimiento con proveedores incumbentes. Esta situación tan competitiva forzó a cada proveedor de servicios a optimizar su arquitectura de red y a dinamizar su estructura de organización interna con el objetivo de minimizar sus gastos operativos, una de las claves más importantes para obtener el éxito.

En el esquema de la figura 2-6 se muestra una red tradicional de conmutación de circuitos orientada a voz. Los abonados acceden a la red mediante diferentes tecnologías y la interconexión en la red de transporte se realiza por conmutación de circuitos. Las conexiones son establecidas por las centrales de conmutación a través de la red de transporte y son controladas por la red de gestión.

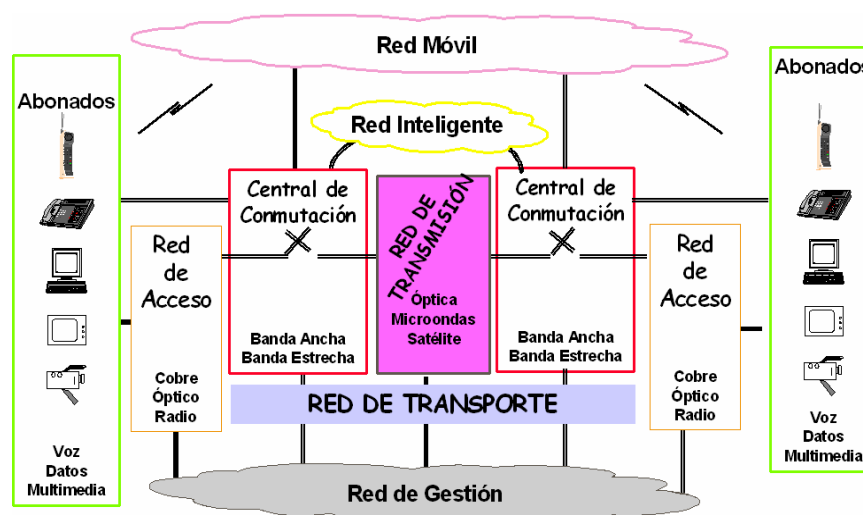


Figura 2-6: Arquitectura de red tradicional

La figura 2-7, muestra la convergencia actual entre la red tradicional de voz y la red datos. La red de conmutación de circuitos actual, orientada a voz, permite alojar el tráfico de datos, y la red de datos, basada en conmutación de paquetes, ofrece servicios de voz mediante tecnologías como VoIP.

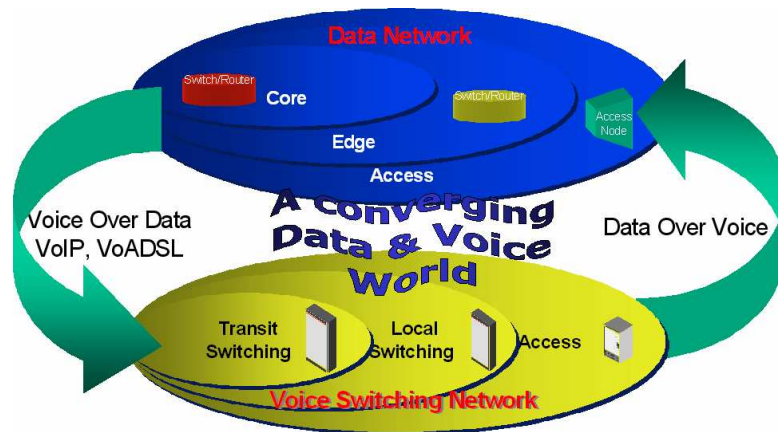


Figura 2-7: Convergencia de las redes de voz y datos

Históricamente, el núcleo de las redes de telecomunicaciones ha venido desplegándose de forma que cada servicio, según la tecnología utilizada, definía la infraestructura a emplear. Esto ha llevado a que los proveedores de servicio empleen una mezcla de tipos de tecnologías de interconexión para construir sus redes de transporte nacionales e internacionales. Como consecuencia, la arquitectura de red de un proveedor de servicio tradicional está constituida por múltiples capas. La figura 2-8 muestra la estructura de capas de la arquitectura de red tradicional, formada por IP, ATM, SONET/SDH y WDM.



Figura 2-8: Capas de la arquitectura de red tradicional

Dentro de la arquitectura de red multicapa, la capa óptica forma el medio de transporte que provee la totalidad del ancho de banda; en el pasado, esta capa no tenía demasiada inteligencia de encaminamiento. Para asignar ancho de banda de una forma apropiada, la capa SONET/SDH es usada en la mayoría de las redes tradicionales, ofreciendo mecanismos para hacer eficiente la utilización del ancho de banda, además de mecanismos de protección inteligentes, pero sin permitir inteligencia en el encaminamiento. Por su parte, ATM ofrece multiplexación estadística y permite la integración de múltiples servicios.

Si el proveedor de servicio no ofrece ningún servicio IP, las capas descritas hasta ahora son más que suficientes. Sin embargo, debido al incremento de las aplicaciones basadas en IP, la arquitectura evolucionó para integrar IP con la infraestructura descrita hasta ahora.

2.4.2 Tendencias para la arquitectura de red futura

Como ya se ha mencionado, la explosión de crecimiento de tráfico Internet/intranet está dejando huella en la infraestructura de transporte existente. Un movimiento sin precedentes ha ocurrido en el contenido del tráfico, en sus patrones y en su comportamiento. Se ha transformado el diseño de redes multiservicio y se ha creado una demanda comercial de redes IP de altas prestaciones. Actualmente se está produciendo un cambio en los patrones de uso, desde la orientación a conexión a los servicios IP sin establecimiento de conexión, y de una configuración de los servicios fija a dinámica.

El despliegue de infraestructuras específicas de cada servicio en el núcleo de las redes de telecomunicaciones, ha dado lugar a redes inflexibles, incapaces de amoldarse a los nuevos requisitos de servicio a medida que estos han ido apareciendo. La figura 2-9 muestra la evolución de la red actual monoservicio, basada en infraestructuras diferenciadas, hacia una red futura multiservicio, basada en una red troncal IP global.

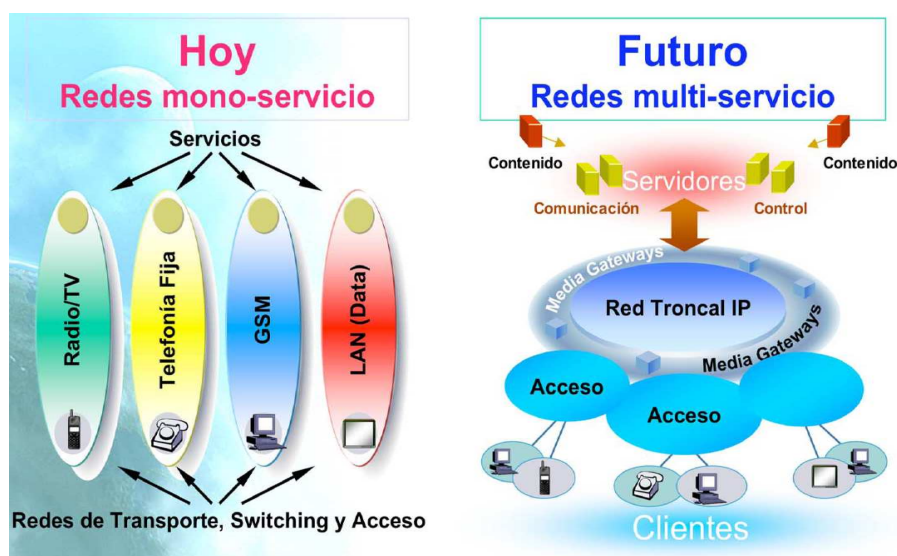


Figura 2-9: Evolución de la red monoservicio a multiservicio

La conmutación de paquetes se impone frente a la conmutación de circuitos debido a que es más eficiente para el envío de datos esporádicos dispersos en el tiempo. Los datos se envían en paquetes y no se garantiza su entrega, ni el orden, ni el retardo, de lo que se encargarán otras capas como TCP. Desde una perspectiva de red, IP es el único protocolo que trabaja sobre cualquier tecnología de transporte. Por lo tanto, IP forma un interfaz común extremo a extremo y estandarizado entre servicios y tecnologías de transporte que son usadas para llevar esos servicios. Este interfaz estandarizado permite a los operadores adaptarse rápidamente a los cambios del mercado, a la introducción de nuevas tecnologías y aplicaciones sin afectar al funcionamiento de la red y al incremento de competencia. Para las compañías de telefonía y los proveedores de servicios, IP es crucial para el crecimiento futuro del beneficio.

La figura 2-10 muestra un esquema-resumen de la evolución a lo largo del tiempo y de las previsiones futuras de las redes de comunicaciones. Se muestran las técnicas de transmisión y los planos de control/gestión y transporte. La tendencia clara es hacia redes

de tipo “todo óptico”, basadas en arquitecturas OTN con conmutación óptica y planos de control distribuidos.

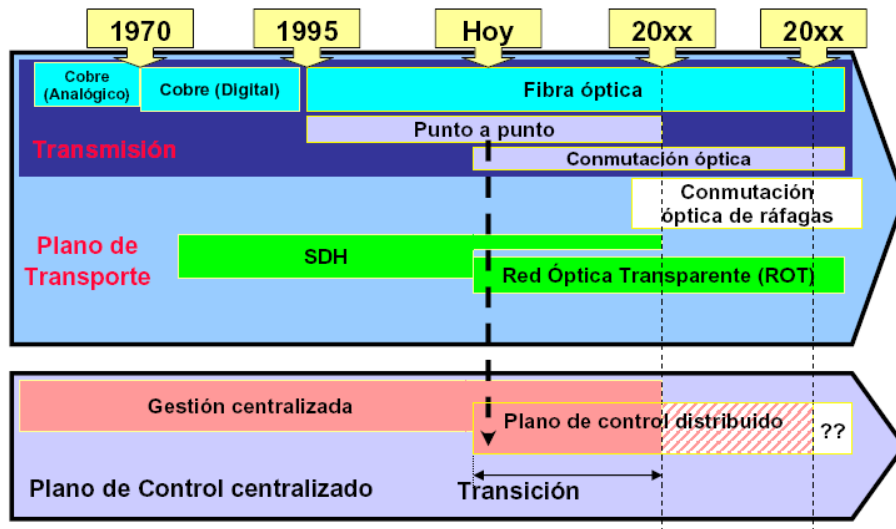


Figura 2-10: Evolución de las redes de comunicaciones

3 Redes de próxima generación NGN (Next Generation Networks)

3.1 Introducción

En la actualidad, el tráfico de paquetes ha sobrepasado ampliamente al tradicional y continúa creciendo a medida que las aplicaciones de ocio derivadas del acceso de banda ancha generan nuevos retos en términos de capacidad. Por otra parte, son los servicios de paquetes los que poseen un mayor potencial de generación de ingresos pues permiten la innovación y la diferenciación de ofertas entre proveedores, mientras que los servicios tradicionales ven constantemente erosionados sus márgenes de beneficio.

Por ello, los operadores de servicios están asumiendo la creación de redes de nueva generación, capaces de acomodar las consecuencias de los cambios que se están produciendo en la actualidad, y que se caracterizan por la demanda creciente de servicios de banda ancha y la tendencia hacia el modelo “triple play”

3.2 Características y capacidades fundamentales de la NGN

El término NGN (Next Generation Network) se suele utilizar para dar un nombre a los cambios en las infraestructuras de prestación de servicios que ya han comenzado en la industria de las telecomunicaciones.

Las NGN proporcionarás las capacidades (infraestructura, protocolos, etc.) que permitan la creación, introducción y gestión de todos los tipos de servicios posibles (conocidos o aún no conocidos), incluidos los que utilizan diferentes tipos de medios (audio, visual o audiovisual), con todos los tipos de esquemas de codificación. Servicios de datos, servicios de conversación, unidifusión, multidifusión y radiodifusión, en tiempo real y no real, con diferentes demandas de anchura de banda, garantizadas o no, y sensibles o tolerantes con el retardo.

Las NGN debe ser capaces de soportar una gran variedad de servicios con especificación de QoS. Dado que tienen que soportar diferentes tipos de redes de acceso, la armonización de las especificaciones es necesaria para poder gestionar la QoS extremo a extremo en una red heterogénea. En las NGN podrán emplearse diferentes mecanismos de control de la QoS, que correspondan a las diferentes tecnologías y modelos comerciales posibles.

Una característica importante de las NGN será la movilidad generalizada, que permitirá una prestación coherente de servicios al usuario, es decir, éste será considerado como una sola entidad aunque utilice diferentes tecnologías de acceso, independientemente de sus tipos.

Una red de nueva generación tiene como referentes la movilidad de las redes inalámbricas, la fiabilidad de la red pública conmutada, el alcance de Internet, la seguridad de las líneas privadas, la capacidad de las redes ópticas, la flexibilidad de IP y de MPLS para la

integración de servicios de datos, voz y vídeo; así como la eficiencia que conlleva la operación de una infraestructura común y consistente.

Una de las características principales de las NGN es la separación de los servicios y el transporte, que les permite ser ofrecidos separadamente y evolucionar independientemente. Las NGN permiten el aprovisionamiento de servicios existentes y de servicios nuevos independientemente de la red y del tipo de acceso utilizado. De esta forma, los proveedores ofrecerán a sus clientes la posibilidad de personalizar sus propios servicios.

La aportación fundamental de las redes de nueva generación y, en particular, de su núcleo, es la convergencia, que permite que podamos hablar de servicios de datos, de voz y de vídeo en vez de redes de datos, de voz y de vídeo como hasta ahora. El esquema de red de transporte futuro, que cuenta con el casi unánime consenso, está dominado por la presencia de IP como nivel de servicio universal, donde los routers de núcleo deben ser los eslabones de unión entre las capacidades de transporte de las redes ópticas y los servicios IP, empleando para ello tecnologías MPLS y, más concretamente GMPLS.

3.3 Requisitos de un núcleo de red de nueva generación

Las redes de nueva generación deben estar constituidas de modo que puedan acomodar todo el tráfico residencial y de empresas, incluyendo voz, vídeo bajo demanda, broadcast (TV), redes privadas virtuales y acceso a Internet. Esto requiere un fuerte incremento de la capacidad de los nodos y de la escalabilidad de los equipos.

El núcleo de las NGN puede definirse por las siguientes características fundamentales:

- Transferencia basada en paquetes.
- Separación e independencia entre las funciones relativas al servicio y las tecnologías de transporte subyacentes.
- Creación, provisión, soporte y operación fácil, rápida y económica de nuevos servicios aplicaciones y mecanismos, sin importar su complejidad o tamaño.
- Uso eficaz, granular, flexible y eficiente del ancho de banda.
- Capacidades de banda ancha con QoS extremo a extremo.
- Compatibilidad con las redes y servicios actuales.
- Movilidad generalizada.
- Acceso sin restricciones de los usuarios a diferentes proveedores de servicios.
- Percepción por el usuario de características unificadas para el mismo servicio.
- Convergencia de servicios fijo y móvil.
- Soporte de múltiples tecnologías de la última milla.
- Crecimiento y actualización fácil, sin interrupción del servicio.
- Longevidad, asumiendo fácilmente cambios tecnológicos.

3.3.1 Equipos de altas prestaciones

Los equipos de nueva generación requieren altas prestaciones para poder gestionar todo el tráfico al que se ven sometidos. Al mismo tiempo, deben ser capaces de ofrecer múltiples

funciones para tratar el tráfico de forma inteligente, y poder actualizar esas funciones a medida que los requisitos de mercado lo exijan para el lanzamiento de nuevos servicios.

El núcleo de la red está interconectado mediante interfaces de muy alta velocidad. Aunque parezca obvio, es un requisito fundamental que la conmutación de datos en estas interfaces se produzca a la velocidad de línea, independientemente de los perfiles de tráfico. Los controles que se apliquen al tráfico, como son los relativos a calidad de servicio o al procesado de etiquetas de MPLS, no deben afectar a la capacidad de conmutar a la velocidad de línea.

Junto a los servicios tradicionales de paquetes, el núcleo de la red ha de transportar ahora tráfico muy sensible al retardo, al jitter y a la pérdida de paquetes, como son la voz y el vídeo. Por ello, las nuevas redes han de tener unos niveles de disponibilidad muy exigentes. Además, la disponibilidad debe ser compatible con la flexibilidad a la hora de añadir nuevos servicios a la red, lo que tradicionalmente ha supuesto paradas para actualización de software y hardware.

El ritmo de crecimiento del tráfico en las redes de datos, con servicios convergentes, es muy rápido. En estas condiciones, garantizar la escalabilidad de la red es un factor crítico. La solución de añadir más equipos a la red conforme aumenta el tráfico conlleva graves inconvenientes, requiere más espacio físico en lugares donde éste puede ser escaso, añade complejidad a la topología de la red y, como consecuencia a la gestión de red, etc. Así, un mismo nodo debe poder crecer desde las decenas de Gbps hasta los Tbps sin más que instalar capacidad extra. La figura 3-1 muestra la evolución del equipamiento de transporte respecto al incremento de capacidad que han experimentado las redes, desde el equipamiento PDH hasta el equipamiento de próxima generación esperado para las redes futuras.

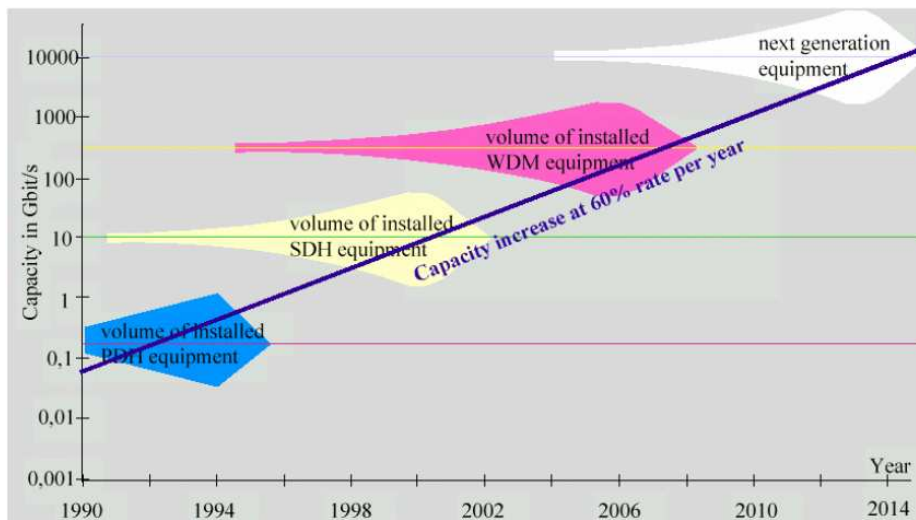


Figura 3-1: Evolución del equipamiento de transporte respecto al incremento de capacidad

Valgan los siguientes datos para poder hacernos una idea de los parámetros de escalabilidad, disponibilidad y prestaciones que requieren los equipos necesarios en una red de nueva generación:

- Miles de interfaces físicos y cientos de miles de interfaces lógicos.
- Miles de sesiones BGP con mecanismos complejos de política de encaminamiento.
- Millones de rutas y millones de túneles MPLS (LSPs).
- Matrices de conmutación de múltiples etapas.
- Procesamiento distribuido para escalar el plano de control.
- Gestión avanzada que permita relacionar todas las alarmas y eventos generados.
- Multicast para el soporte de aplicaciones en tiempo real.
- Actualización de h/w y s/w sin interrupción.
- Encaminamiento “non-stop” y reestablecimiento automático del servicio.
- Software modular.
- Disponibilidad de al menos el 99.999% (5 minutos de caída al año).
- Reconocimiento de aplicaciones y tratamiento de los flujos según sus necesidades.

3.3.2 Integración con redes ópticas

Las redes ópticas suponen el nivel básico de transporte, independientemente de la tecnología empleada en la conmutación de datos. El aumento del ancho de banda de los enlaces ha sido posible gracias a los avances en las redes ópticas. Las tecnologías WDM permiten obtener una capacidad casi infinita de las fibras instaladas. En el futuro cercano, estas redes ópticas estarán dotadas de mayor inteligencia.

La integración de los equipos IP con las redes ópticas, proporciona dos características fundamentales para las redes de próxima generación:

- Rapidez en la provisión - Los routers pueden demandar mediante señalización un aumento de la capacidad de transmisión óptica, generando nuevos caminos bajo demanda. Del mismo modo, se puede liberar automáticamente la capacidad óptica no utilizada.
- Coordinación de los mecanismos de restauración - Cada nivel tiene sus propios mecanismos de recuperación ante fallos. La combinación y coordinación de todos los mecanismos permite respuestas más rápidas y menos costosas en recursos.

La convergencia de IP con las redes ópticas se hará posible mediante la tecnología GMPLS, que permite generalizar el concepto de etiqueta MPLS, extendiendo su aplicabilidad a dispositivos que no realizan conmutación de paquetes, sino de circuitos, de longitudes de onda, de fibras, etc.

3.3.3 Movilidad generalizada

Una característica clave de las NGN es la movilidad generalizada. Se entiende por movilidad generalizada la capacidad de utilizar diferentes tecnologías de acceso en diferentes lugares aunque el usuario y/o el equipo terminal puedan estar en movimiento, lo que permite a los usuarios utilizar y gestionar coherentemente sus aplicaciones/servicios de usuario al atravesar las fronteras de red existentes. El grado de disponibilidad de servicio puede depender de varios factores, incluidas las capacidades de la red de acceso, los

acuerdos de nivel de servicio (si los hubiese) entre la red propia del usuario y la red visitada, etc.

Actualmente la movilidad se utiliza en sentido limitado como desplazamiento del usuario y el terminal, con o sin continuidad de servicio, a redes de acceso público similares (tales como WLAN, GSM, UMTS, etc.), y con discontinuidad de servicio hacia algunas redes de acceso alámbrico, con fuertes limitaciones. En el futuro, la movilidad se ofrecerá en un sentido más amplio, en el cual los usuarios podrán utilizar más tecnologías de acceso, permitiendo así el desplazamiento entre puntos de acceso alámbrico e inalámbrico de diversas tecnologías, sin que este desplazamiento obligue necesariamente a la interrupción de una aplicación en uso o de un servicio de cliente.

La movilidad generalizada de las actuales arquitecturas de red requiere evoluciones significativas. Un aspecto fundamental es permitir comunicaciones de banda ancha más transparentes de red fija a inalámbrica y movilidad entre diversas tecnologías de acceso.

3.4 Arquitectura de las redes de próxima generación

La finalidad de las NGN es ofrecer capacidades funcionales para realizar, instalar y gestionar todo tipo de servicios posibles. Para conseguirlo es necesario separar e independizar las infraestructuras: creación/instalación de servicios por una parte, transporte por otra. Esta distinción se refleja en la arquitectura de las NGN, en la separación entre los estratos de transporte y de servicios, que son independientes y pueden evolucionar por separado. En la figura 3-2 se representa este concepto de arquitectura de las NGN.



Figura 3-2: Separación entre servicios y transporte en las NGN

Las NGN crean una combinación más heterogénea de los dominios tecnológicos y operacionales. Pueden elegirse diferentes tecnologías básicas y ofrecerse una red multiservicio. Por consiguiente, un trayecto de extremo a extremo puede atravesar tecnologías muy diversas junto con una gran variedad de protocolos.

En particular, el modelo de las NGN es neutro con respecto a los protocolos y/o tecnologías específicos. Es un modelo más flexible con respecto a la posición de la funcionalidad y no se aplica ninguna restricción al orden jerárquico concreto de las capas de protocolo. Lo anterior no significa que la mayoría de los sistemas no tengan una

funcionalidad concreta, sino que la funcionalidad puede estar distribuida, por ejemplo entre un número de capas menor o mayor, o simplemente distribuida de forma diferente.

3.4.1 Estrato de servicios

El estrato de servicios de las NGN proporciona las funciones que controlan y gestionan los servicios de red para hacer efectivos los servicios y aplicaciones de usuario final. Estos servicios pueden implementarse mediante varios estratos de servicios dentro de la red.

Los servicios de usuario se pueden clasificar de muchas maneras, por ejemplo, servicios de voz (incluido el servicio de telefonía), servicios de datos (no limitándose éste a los servicios basados en la web), servicios de vídeo (no limitándose tampoco a las películas y a los programas de televisión), o una combinación de éstos (por ejemplo, servicios multimedia, como la telefonía, vídeo y los juegos); o bien, servicios en tiempo real/no en tiempo real y servicios unidifusión/multidifusión/radiodifusión.

En el marco de las NGN se considera que IP puede ser el protocolo preferido para la prestación de servicios NGN, así como para el soporte de los servicios tradicionales. En este caso, la convergencia significa la integración de los servicios de datos, voz y vídeo sobre tecnología de paquetes IP.

Las NGN pueden emplearse de manera coherente en cualquier instante o en cualquier lugar a través de diferentes entornos que emplean equipos terminales convergentes (capaces de aceptar todos los servicios) en un entorno digital. La entrega simultánea de todos los tipos de contenido permite su presentación en un mismo equipo terminal (TE, terminal equipment) o en dispositivos separados, según sea necesario.

El soporte de una gran variedad de servicios, en particular servicios multimedia (conversacionales, videoconferencia, emisión de secuencias, etc.), es una de las características fundamentales de las NGN. Por consiguiente, la arquitectura funcional debe incluir múltiples métodos de acceso al servicio y solicitud de soporte de recursos. No debe haber restricciones sobre el modo en que los usuarios acceden a estos servicios o en los tipos de protocolos que puedan utilizarse para invocarlos. Asimismo, no debe haber restricciones sobre la manera en que se solicitan los recursos para soportar los servicios multimedia. En términos generales, existirán varias familias de servicios, por ejemplo servicios conversacionales y servicios de datos, y se necesitarán técnicas específicas para cada uno de ellos.

3.4.2 Estrato de transporte

El estrato de transporte de las NGN proporciona las funciones que transfieren datos y las funciones que controlan y gestionan los recursos de transporte para transportar esos datos entre entidades terminales. Con este fin pueden establecerse asociaciones, estáticas o dinámicas, para controlar la transferencia de información entre esas entidades. Las asociaciones pueden ser de duración media muy breve (minutos) o de larga duración

(horas, días o más tiempo). Los datos transportados pueden ser información de usuario, de control y/o de gestión.

El estrato de transporte de las NGN se realiza por repetición de múltiples redes de capas. Desde el punto de vista de la arquitectura, se considera que cada capa en el estrato de transporte tiene sus propios planos de usuario, control y gestión. Las funciones de transporte proporcionan la conectividad entre usuarios, entre el usuario y la plataforma de servicios y entre plataformas de servicio.

En general, en el estrato de transporte puede utilizarse cualquier tipo, o todos ellos, de tecnologías de red, en particular las tecnologías de capa con conmutación de circuitos orientada a la conexión, con conmutación de paquetes orientada a la conexión y con conmutación de paquetes sin conexión. El objetivo es consolidar el transporte de datos, voz y vídeo, realizado tradicionalmente sobre distintas redes, sobre un backbone común de paquetes basado en MPLS.

3.4.3 Plano de gestión

El plano de gestión de las NGN combina los planos de gestión de los estratos de servicios y de transporte y puede incluir funciones de gestión comunes, es decir, funciones que se utilizan para gestionar entidades en los dos estratos, y las funciones necesarias para soportar esta gestión.

En la figura 3-3 se muestra que, además de la separación de los planos de servicio y de transporte, los planos de control y de gestión de los dos estratos también están separados. Tanto para el estrato de servicio como para el estrato de transporte, los conceptos de arquitectura general del plano de datos (o de usuario), plano de control y plano de gestión pueden identificarse lógicamente.

En el contexto de las NGN, la capacidad funcional de gestión de red se refiere a una serie de funciones para el intercambio y el procesamiento de información de gestión, que permiten a los operadores de redes y los proveedores de servicios planificar, configurar, instalar, mantener, explotar y administrar recursos y servicios de las NGN. Estas funciones permiten, tanto la comunicación entre el plano de gestión y los recursos o servicios, como la comunicación con otros planos de gestión.

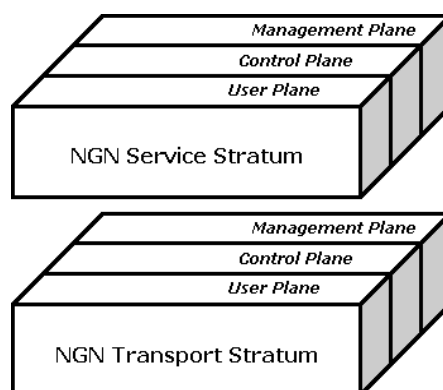


Figura 3-3: Planos de control, gestión y usuario de la NGN

La finalidad de la gestión de las NGN (NGNM, next generation networks management) es facilitar la interconexión efectiva entre distintos tipos de sistemas de operaciones y/o recursos de las NGN para el intercambio de información de gestión, utilizando una arquitectura predeterminada con interfaces normalizadas, que incluye protocolos y mensajes. En la definición de este concepto se tiene en cuenta que muchos operadores de redes y proveedores de servicios tienen ya instalada una infraestructura importante de sistemas de operaciones, redes de telecomunicaciones y equipos, que hay que incluir en la arquitectura.

Los procedimientos de gestión son necesarios para mayor satisfacción de los clientes y para reducir considerablemente los costes de explotación gracias a la utilización de nuevas tecnologías, nuevos modelos de empresa y nuevos métodos de explotación.

4 Arquitectura OTN (Optical Transport Network)

4.1 Introducción

El crecimiento actual y futuro del tráfico de Internet exige un cambio en el paradigma de una red de voz a una red de datos. El primer y más importante requisito de las redes ópticas futuras es una gran capacidad de transporte de ancho de banda, adaptada a los requisitos de los nuevos servicios que están apareciendo, con un alto grado de transparencia. Los servicios de Internet que utilizamos cada día, como e-mail, transferencia de archivos, etc, son relativamente tolerantes al retardo y a la pérdida. En el futuro, sin embargo, llegarán a ser frecuentes los servicios que requieren una anchura de banda intensiva y un retardo en la transferencia mucho más pequeño. El aumento de heterogeneidad de las condiciones de tráfico, hace que los requisitos de QoS, de movilidad, y los protocolos deban ser acomodados con cierta facilidad. La alta confiabilidad también será imprescindible para la mayoría de los servicios, puesto que la red multimedia será la base para la sociedad de la información.

Las redes ópticas están dotadas de funcionalidad que proporciona transporte, multiplexación, encaminamiento, supervisión y capacidad de supervivencia de señales de cliente que son procesadas predominantemente en el dominio óptico. La capa óptica permite un salto en capacidad de transmisión y rendimiento de transporte explotando simultáneamente WDM, OXCs, OADMs y el encaminamiento de longitud de onda. También ofrece flexibilidad a las señales eléctricas del cliente, que serán válidas en diversos formatos y protocolos de señal. Un aspecto crítico es la transparencia de la red, puesto que los nuevos formatos de transporte y protocolos serán desarrollados continuamente.

4.2 Los cinco pilares de OTN

La demanda de nuevos servicios flexibles y de QoS ha esbozado los cinco pilares básicos de OTN. Estos son, agregación masiva, reconfiguración, transparencia, escalabilidad y aprovisionamiento e interoperabilidad.

1. Agregación masiva – Es la habilidad para utilizar el ancho de banda disponible de la fibra. Requiere varias tecnologías de multiplexación que permitan la transmisión simultánea de diferentes tipos de tráfico y tasas.
2. Reconfiguración – La infraestructura de red permite que, cuando una señal entre en una longitud de onda particular en el camino óptico, esta señal o longitud de onda pueda ser encaminada a través de la red en cualquier punto y hasta cualquier puerto de salida en cualquier momento, independientemente de la tasa de datos y el formato.
3. Transparencia – La tecnología puede soportar SONET/SDH y formatos de señal nativos como Gigabit Ethernet, así como redes de transporte con encaminamiento

de longitudes de onda mediante OXCs y OADMs, tanto estáticos como reconfigurables, y conversores de longitud de onda en los nodos de conmutación y encaminamiento.

4. Escalabilidad - Puede acomodar rápidamente nuevas demandas de capacidad en enlaces punto a punto, y lo que es más importante, en tramos individuales de anillos SONET/SDH existentes.
5. Aprovisionamiento dinámico e interoperabilidad - Ofrece la habilidad de proveer gran ancho de banda de transporte y servicios en un plazo de días en lugar de meses. Su requisito previo, por supuesto, es la interoperabilidad a través de todos los dominios de las redes de transporte óptico. La independencia de protocolos y la transparencia de las longitudes de onda no son sólo características altamente deseables sino requisitos de OTN.

4.3 Evolución hacia una red OTN

La principal tecnología subyacente para las redes actuales de transporte es SONET/SDH. Las redes basadas en SONET/SDH han desempeñado un papel crucial en el tratamiento de las demandas de capacidad de la red y continuarán haciéndolo en un futuro próximo. Pero con sus limitaciones y los cambios en los requisitos de anchura de banda, escalabilidad y flexibilidad, las redes del mañana exigirán las capacidades de OTN. Mientras que el protocolo SONET/SDH fue diseñado para manejar transmisiones de una única longitud de onda (λ), OTN está diseñado para manejar transmisiones de múltiples longitudes sobre una única fibra para conseguir capacidades de transmisión del orden de Terabits por segundo (WDM). Como SONET/SDH, OTN asegura interoperabilidad entre varios interfaces de equipamientos.

De acuerdo a las tendencias de la industria, hay un movimiento desde un pensamiento basado en exprimir la capacidad de la fibra, hacia uno centrado en cómo va a ser desarrollada una red completamente óptica. Los componentes ópticos ya residen en la red actual e incluyen amplificadores ópticos WDM y conversores de longitud de onda. El uso de amplificadores ópticos hace posible transmitir señales ópticas por encima de centenares de kilómetros sin necesidad de conversión electro/óptica. Sin embargo aun deben madurar los OXCs y los OADMs. El encaminamiento y conmutación son aspectos claves, así como la supervivencia, para la provisión de servicios que permitan alcanzar la OTN.

El diseño de redes ópticas está sujeto a limitaciones impuestas por la acumulación de degradaciones introducidas por el número de elementos de red y su topología de red. Sin embargo, muchas de estas degradaciones y la magnitud de sus efectos van asociadas a determinadas implementaciones tecnológicas de la arquitectura, por lo que están sujetas a cambios derivados del avance de la tecnología. Existen otras limitaciones como la capacidad de supervisión y evaluación de la calidad de funcionamiento. Por lo tanto, se necesita procesamiento digital para superar esas limitaciones. Hoy en día, casi toda la gestión, encaminamiento y QoS están implementados en el dominio eléctrico, dejando el procesamiento óptico completo de señales como una tecnología futurista. La eliminación del procesamiento eléctrico y la introducción del encaminamiento de longitud de onda permitirán un núcleo de red con un gran rendimiento de transporte y expansibilidad futura. Además, la interconexión óptica ofrecerá interfaces estandarizados a las otras capas de red

para asegurar compatibilidad, interoperabilidad, monitorización del funcionamiento, detección de fallos y su consiguiente recuperación, así como, reconfiguración dinámica y restauración.

El desarrollo de las redes OTN basadas en WDM conduce a la disponibilidad de caminos ópticos de capacidad extremadamente alta en infraestructuras de transporte óptico. WDM es la principal tecnología que parece poder resolver la demanda de alta capacidad actual y futura, proporcionando caminos ópticos de gran anchura de banda necesaria para la transmisión de señales multimedia.

Una red OTN se compone de un conjunto de elementos ópticos conectados mediante enlaces de fibra óptica, capaces de proporcionar la funcionalidad de transporte, multiplexación, encaminamiento, gestión, supervisión, y supervivencia de los canales ópticos que llevan las señales cliente. Los elementos ópticos proporcionan longitudes de onda dinámicamente y extremo a extremo a través de la red.

Los diseños de OTN intentan unificar el plano de datos (capa de transporte) y el plano de control (capa de señalización y de gestión). La figura 4-1 proporciona una representación conceptual de esta idea.

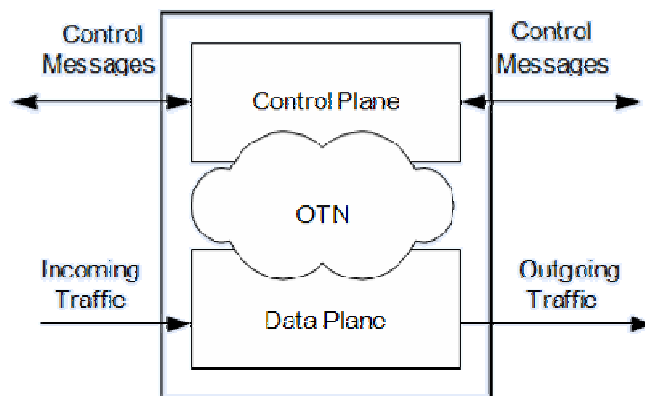


Figura 4-1: Planos de control y datos OTN

La infraestructura actual de red (TCP/IP) está desplegada mundialmente y proporciona un servicio de comunicación fiable a millones de usuarios, por lo tanto, IP es el candidato principal para el desarrollo de OTN debido a su amplio despliegue. La arquitectura OTN proporciona las bases de una infraestructura para la distribución de servicios IP, facilitando numerosas funciones. Una infraestructura IP sobre OTN podría proporcionar gran anchura de banda bajo demanda y soporte flexible y escalable para la transmisión de servicios multimedia con pequeño retardo de tiempo y pérdida baja de paquetes.

Actualmente, en las redes se despliegan los sistemas WDM pre-OTN para transportar clientes tales como SONET/SDH y Gigabit Ethernet. Las señales STM-N y GbE pueden ser transportados por el canal óptico sin encapsular sus tramas en una unidad de transporte óptica. Tal señal, sin encapsular, tiene la misma forma característica que un canal óptico, así, puede pasar a través de una conexión que sea capaz de soportar un canal óptico.

Cuando la red óptica de transmisión madure podrá proporcionar la mayoría de los servicios proporcionados actualmente por SONET/SDH, estas capas podrán ser eliminadas y se desarrollarán nuevas arquitecturas optimizadas. Así, una red multicapa IP sobre OTN podría proveer una infraestructura mundial de comunicación que podría satisfacer las necesidades de comunicación actuales y futuras.

4.4 Estructura de capas de OTN

OTN se refiere a la capa física del modelo OSI, que es la primera de las siete capas que forman el modelo. OTN consiste en dos jerarquías definidas; Digital Transport Hierarchy y Optical Transport Hierarchy (figura 4-2). Cada capa actúa, por un lado, como una capa de servicio para la capa por encima (cliente) y, por otro lado, como una capa cliente para la capa por debajo (servidor).

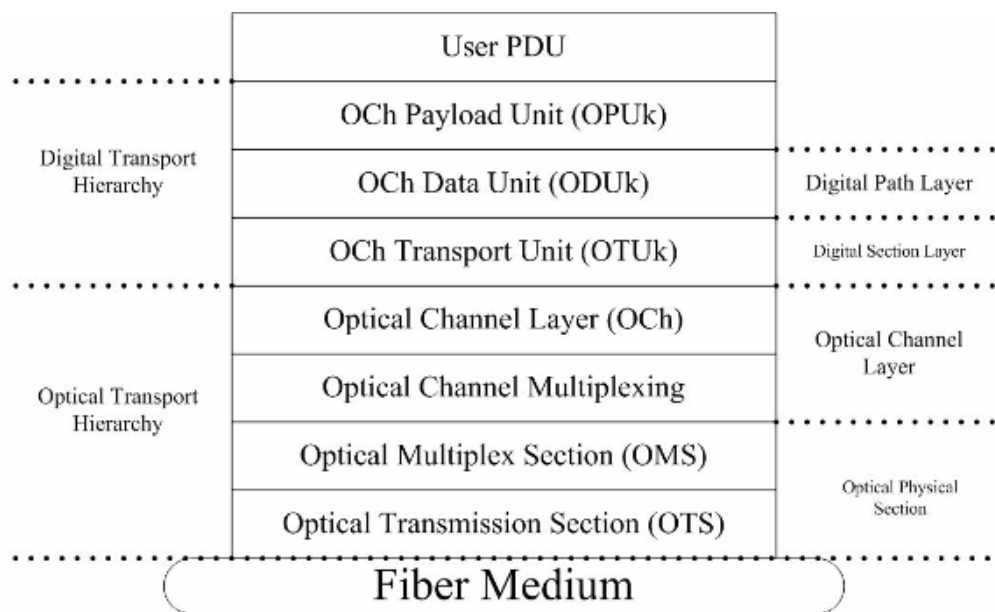


Figura 4-2: Arquitectura de capas OTN

La estructura por capas de la jerarquía de transporte óptica está compuesta por, la capa de canal óptico (OCh), de sección multiplexación óptica (OMS), y de sección de transmisión óptica (OTS):

- Capa de canal óptico, OCh: Proporciona interconexión de redes extremo a extremo de canales ópticos para transportar transparentemente información de cliente de formato variado (por ejemplo, STM-N de SDH).
- Capa de sección multiplexación óptica, OMS: Proporciona funcionalidad para la interconexión de redes de una señal óptica multilongitud de onda (WDM). Sólo incluye el caso de una señal WDM de un único canal óptico.
- Capa de sección de transmisión óptica, OTS: Proporciona funcionalidad para la transmisión de señales ópticas por medios ópticos de diversos tipos (por ejemplo,

fibras SMF-monomodo y MMF-multimodo). Define un interfaz físico que detalla parámetros ópticos tales como frecuencia, nivel de potencia, ratio signal-to-noise.

Entre las capacidades de las tres capas se halla el procesamiento de tara para asegurar la integridad de la información, y las funciones de operación, administración y mantenimiento para hacer posible la gestión y supervivencia a nivel de capa.

4.5 Gestión y supervisión de OTN

Los objetivos de la supervisión óptica son, detectar anomalías, defectos, degradaciones y fallos que afectan la calidad de la capa óptica. Los parámetros ópticos que se han de comprobar deben ser establecidos y definidos conforme a requisitos específicos. La supervisión óptica es un proceso activo que puede ayudar a gestionar los acuerdos de nivel de servicio y reducir los costes operacionales (aunque a menudo a expensas de un aumento en los costes de los equipos). La importancia de la supervisión óptica es creciente pues mantiene un alto grado de fiabilidad de los equipos, junto con la posibilidad de diagnosticar rápidamente degradaciones y averías, así como localizar y reparar problemas de red.

La gestión de las redes SONET/SDH existentes depende de parámetros digitales tales como, tasa de errores en los bits (BER), tasa de segundos con errores (ESR) y tasa de segundos con muchos errores (SESR), que se miden en la capa eléctrica (en regeneradores 3R). Debido a que SONET/SDH tiene tara incorporada en su estructura de trama para medir la característica de error en las capas de sección, línea y trayecto, es relativamente simple medir la calidad de funcionamiento de la red en todos los elementos de red dentro de una red SONET/SDH.

Un método similar se utiliza en la red OTN para la supervisión de las conexiones extremo a extremo y las conexiones ópticas en el nivel eléctrico. Las redes ópticas actuales incluyen, típicamente, muchos elementos ópticos transparentes entre los puntos de regeneración eléctricos. Si bien estos métodos proporcionan una medición fiable de la calidad de funcionamiento de extremo a extremo de un canal óptico, no pueden ser aplicados dentro de un dominio óptico transparente, en los que no se dispone de regeneradores 3R. De igual modo, no pueden proporcionar la información suficiente para determinar el origen de los problemas en redes WDM complejas. Esto hace necesario efectuar la comprobación de la calidad de funcionamiento en el dominio óptico para evaluar el comportamiento del canal óptico.

Una solución óptima de supervisión para una red óptica de transporte combina:

- Diseño de red adecuado para limitar las fuentes de ruido y los efectos de la dispersión e intermodulación.
- Alarmas adecuadas en los componentes ópticos activos dentro de la red para la detección y localización de fallos.
- Utilización de una supervisión óptica apropiada en toda la red para controlar los parámetros ópticos más críticos.

Estas tres acciones no pueden garantizar individualmente una calidad óptica adecuada, pero cuando se combinan, proporcionan una solución apropiada para la gestión de redes ópticas de transporte.

Sin embargo, aún cuando la supervisión óptica se aplica (y está en servicio) en muchos sistemas de transmisión óptica actuales, no se puede generalizar un requisito en el que un determinado valor de parámetro con una determinada exactitud constituye un indicador fiable de la condición operativa del sistema. En consecuencia, un requisito general para la supervisión de determinados parámetros conducirá normalmente a una solución por debajo de la óptima y, por tanto, no rentable. Por esta razón, siempre se relacionará un esquema de supervisión óptica apropiado con el diseño de sistemas de transmisión y control específicos.

4.6 OTN como modelo de referencia para las redes futuras

La tecnología OTN se está extendiendo más allá de la transición desde el dominio eléctrico, y se está convirtiendo rápidamente en un marco estándar para gestionar señales tanto eléctricas como ópticas. En otras palabras, mediante longitudes de onda ópticas, la tecnología OTN permite la transformación de las redes de transporte básicas en redes ópticas reales de múltiples longitudes de onda.

Los beneficios de la tecnología OTN son los siguientes:

- Posibilita extender los sistemas WDM a redes ópticas multilongitud de onda.
- Mejora la transparencia y sincronización del servicio.
- Ofrece conectividad a tasas de Tbps.
- Mejora el rendimiento del transporte.
- Permite gestión extremo a extremo, detección de degradación y fallos.
- Cuenta con capacidades de operación, administración y mantenimiento.
- Ofrece más opciones de protección y QoS.
- Permite mayor diversidad de granularidad de conmutación.
- Disminuye el tiempo de puesta en marcha de servicios.
- Permite proveer servicios multi-play.
- Permite topologías variables y dinámicas con soporte para actualización remota.

En última instancia, la mayor ventaja de la tecnología OTN es que combina la flexibilidad y la gestionabilidad de SONET/SDH con la transparencia y la capacidad de WDM. En conjunto, todos los factores arriba mencionados demuestran claramente que OTN es el marco perfecto por medio del cual se integran las tecnologías de nueva generación. Cuando se utiliza OTN, los operadores pueden combinar fácilmente múltiples redes y servicios tales como, SDH/SONET, Ethernet, protocolos de almacenamiento y video, sobre una infraestructura común. El resultado final es una red de transporte de banda ancha orientada a tráfico IP, rentable, escalable y flexible que reducirá los gastos de operación.

5 Arquitecturas multicapa para anillos IP

5.1 Introducción

La explosión del volumen de tráfico IP en los últimos años ha provocado que los requerimientos de ancho de banda para datos IP hayan alcanzado límites que exigen una reestructuración de la arquitectura de red que haga frente a este crecimiento exponencial.

Las interconexiones del backbone IP han llegado a las tasas de las interfaces OC-192/STM-64, los niveles más altos de SONET/SDH. Como consecuencia, las tendencias futuras y los cambios están configurando las redes de transporte de próxima generación.

5.2 Eliminando capas intermedias en el backbone

Las redes ópticas suponen el nivel básico de transporte, cualquiera que sea la tecnología empleada en la conmutación de datos. Paralelamente, IP se ha convertido en el estándar de facto como tecnología para el desarrollo de servicios. Entre ambas capas, una serie de tecnologías como SONET/SDH, proporcionan la interfaz entre la capa IP y la capa óptica. Las ventajas que se obtienen al eliminar estos niveles intermedios (figura 5-1), pasando su funcionalidad bien hacia IP, o bien hacia los equipos ópticos, son evidentes: permite arquitecturas de red mucho más sencillas, con menos equipos y, por tanto, más escalables y mucho más baratas de operar, se limita el número de tecnologías que deben conocer los operadores y se reduce sensiblemente el número de elementos que pueden fallar, se minimiza la transmisión de taras maximizando el ancho de banda útil, y se reduce la complejidad en la provisión, operación y planificación de red para minimizar los gastos operativos de provisión de servicios y maximizar los beneficios.

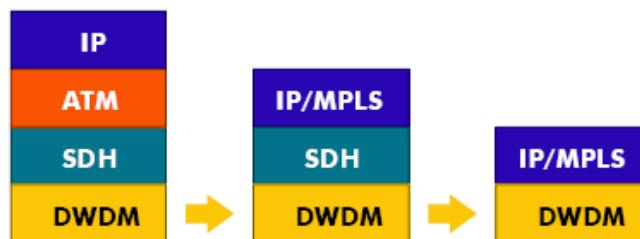


Figura 5-1: Reducción de la estructura de capas

Como se puede ver en la figura 5-1, la capa SONET/SDH tiende a ser eliminada, transformando la red backbone en una red de dos capas (IP/óptica). La detección de fallos y su resolución, así como la restauración de la red se convierten en tareas críticas. Además del incremento en la eficiencia del transporte, también se reduce el problema de manejar múltiples mecanismos de supervivencia a través de múltiples capas, todas intentado restaurar el servicio simultáneamente. Al reducir la capa intermedia SONET/SDH, los

mecanismos de restauración global deben ser implementados en la capa óptica o en la capa IP.

Las redes ópticas multilongitud de onda usan tecnología WDM para proporcionar la capacidad requerida. Los cortes en la fibra son tratados en la capa óptica. En caso de un corte en la fibra, la capa IP no se da cuenta de ninguna pausa en la red porque el tiempo de restauración es menor de 50 ms. Si en los sistemas WDM desplegados no se proporciona protección óptica, la capa IP debe también manejar cortes en la fibra. Sin embargo, los protocolos de encaminamiento IP no fueron inicialmente desarrollados para restaurar tráfico fallido en un tiempo corto. Para ello, IP confía en la red SONET/SDH subyacente.

Como la tendencia va hacia redes ópticas IP, los protocolos de encaminamiento OSPF e IS-IS deben ser adaptados para facilitar una convergencia más rápida. Por ejemplo, ajustando los intervalos de keepalive, los protocolos de encaminamiento IP pueden converger en menos de un segundo, y mediante el uso de carga balanceada y MPLS-TE, se pueden conseguir mayores mejoras. Las nuevas tecnologías IP optimizadas de capa 2, como DPT (Dynamic Packet Transport), también proporcionan supervivencia avanzada por encima de la capa 1. La funcionalidad IPS (Intelligent Protection Switching) de DPT proporciona protección por conmutación en redes en anillo similar a SONET/SDH.

5.3 Llevando la inteligencia al núcleo óptico

WDM proporciona cantidades masivas de ancho de banda. Aunque WDM permite múltiples longitudes de onda que son transmitidas a través de una fibra óptica, cada longitud de onda debe estar terminada en un elemento individual, típicamente SONET/SDH o routers IP. Esto se traduce en una cantidad excesiva de requerimientos de una arquitectura de red muy compleja y poco manejable.

Las redes de encaminamiento por longitud de onda pueden ser vistas como la segunda generación de las redes ópticas. Típicamente, OTN consiste en un conjunto de sistemas WDM que utilizan más de 128 longitudes de onda. Los puntos de interconexión normalmente requieren conexiones WDM interconectando todas las longitudes de onda.

A través de la capacidad de encaminamiento implementada a nivel de longitud de onda, los caminos extremo a extremo pueden ser dinámicamente proporcionados y restaurados. La administración a nivel de longitud de onda permite aumentar la inteligencia de los elementos de red para dar respuesta a las demandas futuras. Los proveedores pueden construir una nueva capa que proporcione aprovisionamiento dinámico de ancho de banda dedicada, reconfiguración para optimizar los recursos de red, protección, restauración y QoS a nivel de longitud de onda.

Las implementaciones de encaminamiento por longitud de onda tienen mecanismos de restauración mejorada para proporcionar caminos de supervivencia de longitud de onda extremo a extremo que interconectan el equipamiento de red de la capa superior (típicamente routers IP). Estos mecanismos de restauración son distribuidos y permiten establecer un camino de longitud de onda alternativo y reencaminar el tráfico en menos de 50 ms.

Un hecho muy importante que debe ser mencionado es que el crecimiento de la capacidad de servicio alcanzará altos costes si el ancho de banda no es manejable. Debe ser posible administrar la cantidad masiva de nuevas capacidades suministradas por la tecnología WDM para proporcionar servicios adecuados a los clientes. Básicamente, hay dos aproximaciones para administrar la red. La administración centralizada asegura aprovisionamiento rápido, de forma que una acción única propaga reacciones a través de la red para activar un servicio particular o iniciar un reencaminamiento a través de un router alternativo. Con una administración distribuida, la inteligencia es colocada en cada elemento de la red, y la red tiene capacidades de autoprotección. Por lo tanto, los elementos de red pueden reaccionar ante fallos sin la intervención del operador y proporcionar supervivencia en tiempo real reduciendo el coste operacional.

5.4 Arquitecturas de red multicapa

5.4.1 IP over SONET/SDH over WDM

La infraestructura SONET/SDH tiene una amplia difusión para transportar tráfico de voz, especialmente en Europa, y proporciona funcionalidades de protección. Con la aparición de la tecnología WDM, el paso lógico era aumentar el anillo de canal único SONET/SDH a un anillo multicanal WDM.

Hoy en día, los proveedores de servicio usan comúnmente arquitecturas de red en tres capas, usando IP, SONET/SDH y WDM/óptica (figura 5-2). La arquitectura en anillo IPoSONET/SDHoWDM ha representado el paso siguiente a IPoSONET/SDH para proporcionar una solución de gran ancho de banda en la red de transporte tradicional.

En una red en anillo IPoSONET/SDHoWDM cada longitud de onda puede funcionar de forma similar a un canal TDM de SONET/SDH. El transporte de datos IP sobre la infraestructura SONET/SDH, se realiza directamente mediante el uso del protocolo POS (Packet Over SONET/SDH) de SONET/SDH.

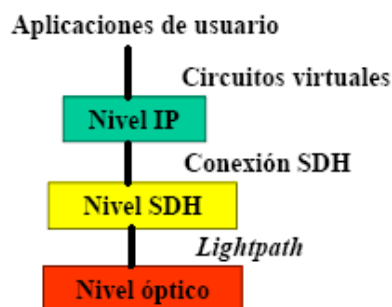


Figura 5-2: Arquitectura IP over SONET/SDH over WDM

En cuanto al equipamiento, la mejora de anchura de banda con 'W' longitudes de onda, conlleva la necesidad de aumentar 'W' veces el número total de ADMs en la red, mientras que, en una solución simple, se necesita un ADM para cada longitud de onda en cada nodo.

Afortunadamente, es posible tener algunos nodos en algunas longitudes de onda donde no son necesarias operaciones de inserción/extracción en cualquier timeslot.

Otra técnica para reducir el número total de ADMs, conocida como “grooming”, consiste en empaquetar el tráfico de baja velocidad en streams de tráfico de alta velocidad para reducir al mínimo el uso de recursos. Para realizar una arquitectura con grooming, es necesario un OADM en cada nodo para poder puentear selectivamente algunas de las longitudes de onda de una fibra y extraer otras.

La opción de futuro sería una arquitectura de red óptica escalable, flexible, capaz de proporcionar aprovisionamiento de conexión en el tiempo justo, y de explotar las ventajas completas de un sistema WDM.

5.4.2 IP over WDM

Una aproximación alternativa es la colocación de la capa IP, con soporte MPLS, directamente sobre una capa óptica WDM eliminando la capa SONET/SDH, con una capa mínima de electrónica entre estas dos capas (figura 5-3). Esta aproximación es apropiada en su mayoría para proveedores de servicios de datos y voz sobre datos (VoIP).

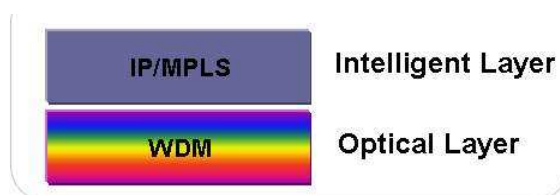


Figura 5-3: Arquitectura IP/MPLS over WDM

La arquitectura IPoSONET/SDHoWDM reduce la eficiencia de ancho de banda proporcionada por la tecnología WDM. Con IPoWDM la eficiencia de transporte está optimizada debido a la eliminación de capas intermedias y el equipamiento inicial se reduce por la eliminación de la capa SONET/SDH. En este escenario, muchas de las funcionalidades de SONET/SDH, como protección, se pueden mover a la capa IP o a la capa WDM, mientras que solamente se mantiene el entramado (framing) de SONET/SDH. Los routers IP se interconectan mediante longitudes de onda o caminos ópticos.

La reducción de capas hace necesario definir los servicios y la funcionalidad que se ofrecerán por cada capa de la red, asegurando que las capas se complementen y no estén en conflicto entre ellas. La interacción entre la capa óptica y la capa electrónica (IP en este caso) es importante en funciones, tales como, aprovisionamiento de anchura de banda, gestión de fallos, supervisión de funcionamiento, etc. El aprovisionamiento de la anchura de banda en la capa óptica implica algunos otros objetivos, como la reducción al mínimo del uso de los recursos de la red, considerando además, la conversión de longitud de onda, capacidades de conmutación entre nodos, y conectividad de la capa física.

También se deben tratar características como la interacción entre caminos ópticos, reconfiguración y encaminamiento IP, o la interacción entre la restauración IP y la

protección de la capa óptica. Puede incluso ser beneficioso considerar la posibilidad de modificar la capa IP para aprovechar los servicios proporcionados por la capa WDM. Por ejemplo, si la capa IP puede proporcionar información sobre tipo de tráfico y requisitos de QoS de paquetes, entonces la capa WDM podría establecer caminos ópticos bajo demanda para flujos específicos de gran volumen de tráfico IP, o proporcionar servicios diferenciados para diferentes clases de tráfico.

Un camino óptico puede conectar dos routers IP cualquiera en una red IPoWDM. Se establece un camino óptico ajustando el transmisor en el nodo fuente y el receptor en el nodo destino a una longitud de onda apropiada y el tráfico entre ellos se lleva por el camino óptico. Las routers IP/MPLS pueden proporcionar conmutación electrónica de paquetes. El problema se vuelve más complejo cuando se considera el dinamismo del tráfico IP. Cuando las intensidades del tráfico entre los nodos cambian en el tiempo, la red puede necesitar ser reoptimizada. Esto implica encaminamiento IP, reconfiguración del encaminamiento de la topología virtual y por lo tanto encaminamiento en la capa óptica y asignación de longitudes de onda.

Un aspecto de gran importancia es la interacción entre los mecanismos de protección frente a fallos de ambas capas. Bajo un escenario de fallo en un único enlace, las capas IP y WDM actúan mediante protección WDM y restauración IP, respectivamente:

- En la protección WDM, hay un enlace de reserva disjunto para cada camino óptico. Se activa el enlace de reserva solamente cuando ocurre un fallo y el camino primario correspondiente no está disponible. La reserva de la longitud de onda para las trayectorias de reserva se puede dedicar a una petición o compartir entre diversas peticiones a condición de que no se espere que sus trayectorias primarias fallen simultáneamente.
- En la restauración IP, la carga de una fuente a un destino se distribuye sobre las rutas múltiples, y se asume que esta carga compartida es realizada por la capa IP. Es decir, no hay reserva para los caminos en uso en la capa IP. Cuando ocurre un fallo, la conexión afectada se reencamina con el resto de las rutas.

El hecho de que la protección WDM se realice en la capa más baja y que los caminos de protección estén reservados hace que supere a la restauración IP y los tiempos de recuperación para la protección de camino WDM sean mucho más rápidos que los tiempos de recuperación para la restauración IP.

5.4.3 IP over OTN

En una aproximación IPoOTN los routers IP se unen a una red de núcleo óptico y están conectados a sus pares mediante caminos ópticos conmutados dinámicamente establecidos (figura 5-4). La base óptica por sí misma es incapaz de procesar los paquetes IP individuales. La interacción entre los routers IP (dominio del usuario) y la base óptica (dominio del proveedor de servicio) se realiza mediante una interfaz de señalización y encaminamiento bien definida, la User Network Interface (UNI). Además, la red de routers puede también interconectarse con la base óptica mediante una subred óptica. Los routers de la red se conectan con la subred óptica mediante una UNI y los interfaces de la subred óptica con el núcleo óptico a través de una Network to Network Interface (NNI).

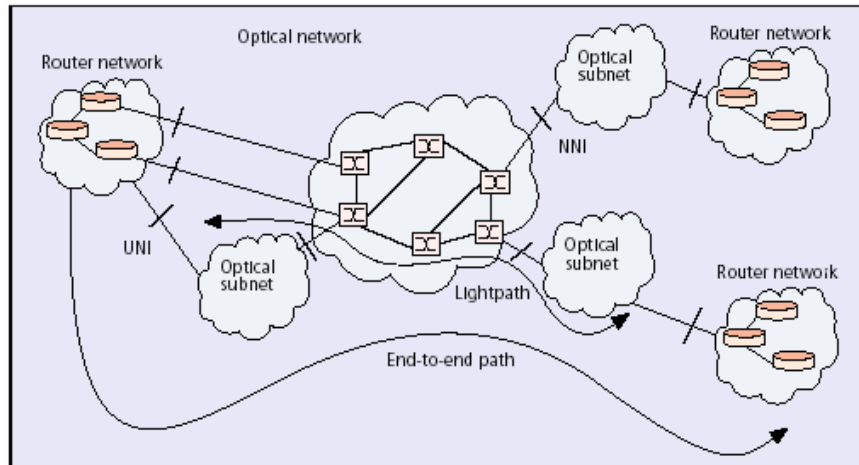


Figura 5-4: Red IP over OTN

Para examinar las diferentes arquitecturas para IPoOTN, es importante distinguir entre los planos de datos y control. IPoOTN se define esencialmente por la organización del plano de control. Se asume que IP y OTN utilizan planos de control similares. Específicamente, se asume que el plano de control está basado en los protocolos de encaminamiento IP y los protocolos de señalización MPLS usados en una red óptica.

Dependiendo del modelo de servicio, la unión de los planos de control de IP y OTN queda determinada por:

- Los detalles de la topología y de la información de encaminamiento comunicados por la red óptica a través de la UNI.
- La capacidad del nivel de control de los routers IP para ejercer la selección de caminos específicos para las conexiones a través de la red óptica.

5.4.3.1 Modelo Peer-to-Peer

En el modelo peer-to-peer, los switches y routers ópticos actúan como pares, usando un plano de control uniforme y unificado para establecer los caminos de conmutación por etiquetas a través de estos dispositivos con el conocimiento completo de los recursos de la red.

En este modelo hay poca o ninguna distinción entre UNI, NNI, y los planos de control router-router (MPLS); todos los elementos de red son pares directos y están completamente enterados de la topología y de los recursos (figura 5-5). Los caminos de conmutación por etiquetas podrían atravesar cualquier número de routers y switches ópticos.

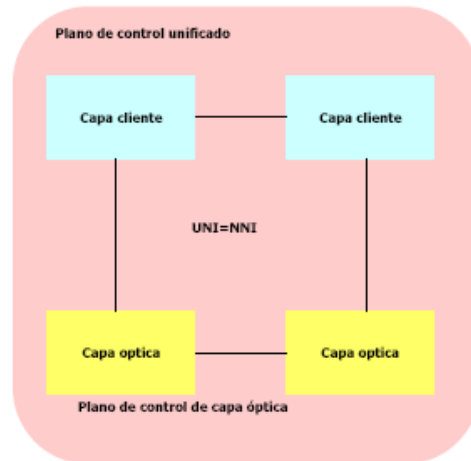


Figura 5-5: Plano de control modelo Peer-to-Peer

En el modelo peer es posible atravesar múltiples elementos de tecnología/red, a condición de que el plano de control pueda soportar cada uno de las tecnologías (figura 5-6). Esto permite que un operador de red cree un solo dominio de red integrado por diferentes elementos de red, de tal modo que les permita mayor flexibilidad.

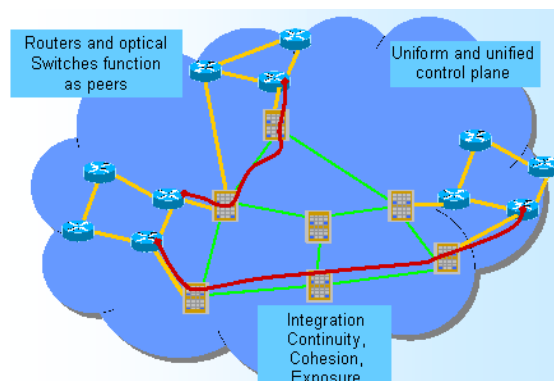


Figura 5-6: Modelo Peer-to-Peer

El plano único de control basado en IP/MPLS en el modelo peer simplifica la coordinación del control y el manejo de los fallos entre elementos de red con diversas tecnologías, aunque al mismo tiempo requiere más trabajo para asegurar la integración apropiada de estos elementos con el plano del control. Además, este modelo ofrece las ventajas de la restauración de fallos y protección extremo a extremo, de la ingeniería de tráfico basada en conceptos MPLS, y del uso eficiente de recursos en una red integrada por tecnologías múltiples. Este modelo permite que los routers puedan controlar el camino extremo a extremo usando los protocolos de ingeniería de tráfico desplegados en IP y redes ópticas, dándoles así la última palabra sobre la utilización de la red y la gestión de los recursos.

El modelo peer, sin embargo, presenta un problema de escalabilidad debido a la cantidad de información que se debe manejar por cualquier elemento de la red dentro de un dominio administrativo. Es fácil ver que cualquier elemento de red puede quedar colapsado por una corriente constante de actualizaciones del estado de la red. Además, los dispositivos no ópticos deben saber las características de los dispositivos ópticos, lo que puede ser un

problema operacional en muchas redes tradicionales actuales, donde las fronteras entre las redes de transporte y de datos son tan infranqueables.

Las ventajas añadidas del modelo peer pueden, de hecho, no ser suficientes como para justificar la complejidad de la puesta en práctica. La mayoría de los portadores actuales, cuando se les propone los fundamentos del modelo peer, se preguntan si deberían dejar que los routers tomen decisiones por sí mismos. La respuesta es siempre no. Y esa percepción actual hará del proceso de desarrollar estándares para satisfacer un modelo peer un desafío en los próximos años.

5.4.3.2 *Modelo Overlay*

En este modelo, la de red óptica proporciona servicios de conexión a los routers IP y otros dispositivos clientes unidos a la red. Dentro de esta arquitectura de red cliente-servidor, diversas capas de la red están aisladas de otras, pero el aprovisionamiento dinámico de la anchura de banda se hace posible, aunque enteramente, en términos de red óptica. Los routers o switches solicitan a la red óptica una conexión, y la red óptica la concede o la deniega. Estas peticiones pueden ser bastante sofisticadas, pidiendo cierto tamaño de circuito con un grado particular de restauración. La clave aquí es que estos dispositivos no pueden ver dentro de la red. La figura 5-7 muestra el plano de control del modelo overlay y la figura 5-8 muestra una representación del modelo.

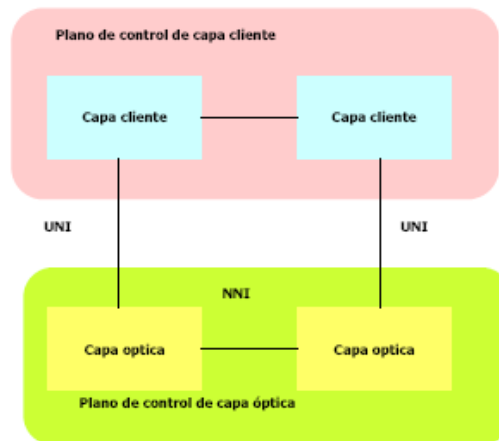


Figura 5-7: Plano de control modelo Overlay

Los clientes se conectan a la red óptica estableciendo conexiones ópticas dinámicamente, usando un mecanismo de “descubrimiento del vecino” y un mecanismo de “descubrimiento del servicio”. Así, los dispositivos conectados a una red óptica podrán identificar rápidamente a otros dispositivos conectados, construir mapas fiables de conexión, y descubrir automáticamente los recursos del servicio de cualquier red óptica (figura 5-8). Esto agiliza el aprovisionamiento de servicios y reduce drásticamente los costes operacionales asociados a las redes ópticas.

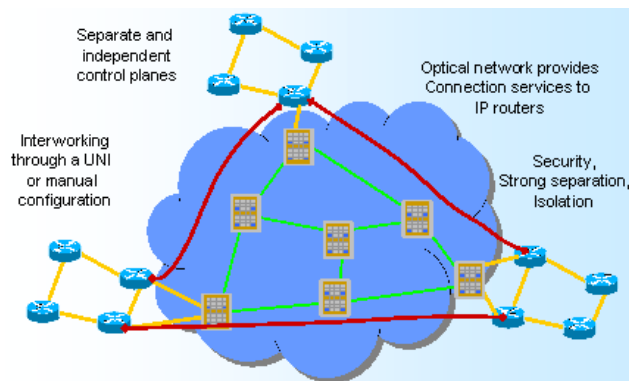


Figura 5-8: Modelo Overlay

Las ventajas de este modelo han conducido a su adopción temprana por la Optical Domain Service Interconnect Coalition (ODSI), el Optical Internetworking Forum, y la International Telecommunication Union (ITU). Los valores del modelo overlay son, según sus autores:

- La capa óptica abarca subredes con interfaces bien definidas para las capas clientes.
- Permite que cada subred se desarrolle independientemente.
- La innovación puede desarrollarse en cada subred independientemente.
- Proporciona interoperabilidad IP, SONET/SDH usando interfaces abiertos.
- La topología de la red óptica y la información de recursos se mantiene segura.

El modelo overlay, tiene sentido hoy debido a que se desenvuelve bien en un ambiente consistente en dominios administrativos múltiples, que la mayoría de las redes de transporte tienen. Esto es particularmente útil en las grandes redes de transporte, donde el grupo que controla la red de transmisión no necesariamente coopera con el grupo que controla los servicios IP. Los grandes proveedores se moverán probablemente primero hacia el modelo overlay. Con una UNI estandarizada, los grandes proveedores podrán ofrecer anchura de banda bajo demanda y mejorar la gestión de sus redes ópticas.

El modelo overlay, sin embargo, tiene sus limitaciones, y la mayoría de la gente en la industria siente que es sólo un paso en la dirección correcta y no el último modelo de la industria. El debate parece girar en torno a si el objetivo es tener dos planos de control o un plano unificado.

La simplicidad del modelo overlay viene acompañada de unos compromisos de uso de los recursos potencialmente menos eficientes, debido a la información que se oculta en los límites del dominio, y una susceptibilidad a fallos dentro de un dominio que puede causar múltiples fallos, aparentemente sin relación, en otros dominios. Al parecer, esto puede ser superado, de forma que queda por ver si esto representa un defecto fatal para el modelo overlay, o es sólo parte de sus características.

5.4.3.3 Modelo Augmented Hybrid

Aunque gran parte del debate se ha centrado en la comparación entre las arquitecturas overlay y peer-to-peer, se está ahora comenzando a proponer soluciones híbridas. Del

modelo overlay, el híbrido toma el soporte para los dominios administrativos múltiples, mientras que del modelo peer, toma el soporte para las tecnologías heterogéneas dentro de un único dominio. La figura 5-9 muestra el plano de control del modelo híbrido.

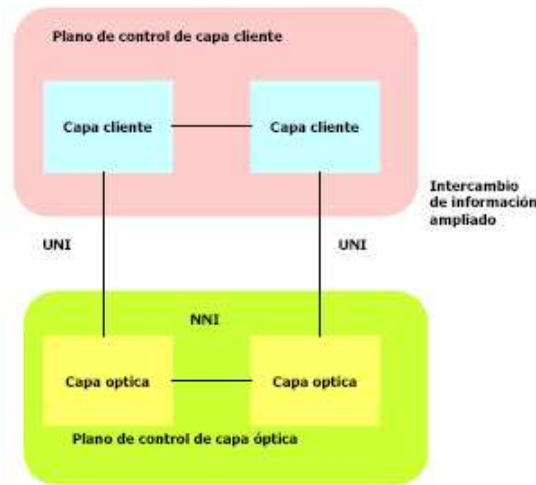


Figura 5-9: Plano de control modelo Augmented Hybrid

Idealmente, este modelo evita las limitaciones del peer y del overlay mientras que combina sus ventajas y da al proveedor un amplio grado de flexibilidad a la hora de diseñar su núcleo de red. Puede ser deseable mantener algunas áreas enteramente separadas por razones de seguridad, mientras que otras áreas se pueden beneficiar de tener una mezcla de switches ópticos y routers IP que actúan como pares. El panorama más probable para este modelo es uno en el cual IP y las redes ópticas conservan sus demarcaciones claras y sólo intercambian información de alcanzabilidad.

5.4.3.4 Comparación entre los modelos

Una arquitectura IP sobre OTN requiere que cierto número de funciones sean realizadas por las capas de datos y óptica. Estas funciones incluyen el encaminamiento, envío, señalización, conmutación, provisión de calidad de servicio, gran anchura de banda variable a petición, y protección y restauración. La tabla 5-1 muestra una comparación de los modelos con respecto a los criterios mencionados.

El modelo peer podría ser implementado en el futuro, pero es probable que sea en un futuro algo lejano. Por el momento, es mucho más probable que los proveedores alcancen el nivel de confort con el modelo overlay, particularmente si la UNI es adoptada por una gran cantidad de vendedores y se proporciona la capacidad de soportar nuevos servicios y esquemas ópticos de restauración.

El modelo híbrido aumentado combina lo mejor de los modelos peer y overlay. Las capas ópticas y de datos se mantienen separadas. Esto hará que se pueda mantener la topología de red en secreto y que la sobrecarga de control y gestión también se reduzcan al mínimo. Por estos motivos, este es el modelo que sería más fácil de implementar en un tiempo cercano.

| Comparación de las características de los diferentes modelos OTN | Modelo Peer | Modelo Overlay | Modelo Hybrid |
|--|-------------|----------------|---------------|
| Proporciona soporte para encaminamiento | Sí | Sí | Sí |
| Proporciona soporte para señalización | Sí | Sí | Sí |
| Proporciona soporte para conmutación | Sí | Sí | Sí |
| Proporciona soporte para QoS | Sí | Sí | Sí |
| Proporciona soporte para BW variable bajo demanda | Sí | Sí | Sí |
| Proporciona soporte para protección y restauración | Sí | Sí | Sí |
| Proporciona soporte para info. de topología propietaria | No | Sí | Sí |
| Tara de control y gestión | Bajo | Alto | Moderado |
| Complejidad de la arquitectura | Bajo | Alto | Moderado |
| Puede ser implementado a día de hoy | No | Sí | Sí |

Tabla 5-1: Comparación entre los modelos IP over OTN

6 Supervivencia en anillos IP

6.1 Introducción

Un aspecto clave para los operadores de red de hoy en día es disponer de una red altamente disponible y muy resistente ante fallos, los niveles son a veces muy exigentes (99.999% del tiempo funcionando a lo largo del año). Con la evolución de la tecnología, la cantidad de tráfico transportado a través de redes de alta velocidad ha crecido drásticamente. Incluso pequeños cortes de pocos segundos de duración pueden causar varios Gb de datos perdidos en equipamientos de red con interfaces de velocidad 2,5 Gbps o superior.

La mejora de la disponibilidad de una red de transporte se consigue mediante la sustitución de las entidades de transporte degradadas o con fallos (conmutación de protección). La sustitución se inicia, normalmente, mediante la detección de un defecto, la degradación de la calidad de funcionamiento o una solicitud externa (por ejemplo, de gestión de red).

Varias técnicas de protección y restauración han sido desarrolladas. Cada mecanismo tiene sus ventajas y desventajas específicas, pero a parte de esto, el mecanismo usado debe proporcionar flexibilidad suficiente para adaptarse a cambios en los requerimientos de la red. Con la aplicación de estas técnicas, y con un diseño de red con suficiente capacidad de redundancia, se puede desplegar una red con una capacidad de supervivencia apropiada para cumplir los requerimientos de todas las aplicaciones que usan la red.

6.2 Supervivencia de red

El término supervivencia se define como la habilidad de una red para mantener un nivel aceptable de servicio durante un fallo en el equipamiento o en la red. La supervivencia multicapa se refiere al posible anidamiento de esquemas de supervivencia entre capas de la red y la forma en la que estos esquemas interactúan entre ellos.

Cuando se diseña una red, los operadores también desarrollan un concepto de supervivencia. Las estrategias de supervivencia deben ser capaces de hacer frente a tamaños de red actuales y futuros. Este punto es muy crítico porque los crecimientos proyectados en redes ópticas son muy grandes.

La supervivencia requerida afecta directamente a los servicios y aplicaciones que pueden ser soportadas por la red. Un concepto de supervivencia avanzado permite al operador de red prestar una amplia variedad de servicios ofertados con varios compromisos de QoS. Por otra parte, el concepto de supervivencia debe garantizar los compromisos de QoS especificados en los acuerdos de nivel de servicio (SLAs – Service Level Agreements).

Un criterio clave es la velocidad de restauración de la red. Una red que transporte tráfico de voz debe recuperarse de cualquier fallo en un tiempo del orden de milisegundos. Una red exclusivamente para tráfico de Internet podría recuperarse en un segundo o menos. Es importante darse cuenta de que la rapidez de restauración generalmente requiere una gran

cantidad de capacidad adicional para protección. Se deben reservar canales TDM o de longitud de onda adicionales para reencaminar el tráfico fallido. Otro punto importante es que algunos recursos de red deben estar bajo control externo administrativo y el servicio ofertado debe recorrer múltiples dominios de operador.

La activación de los mecanismos de protección en caso de fallo sigue los pasos siguientes:

- Se monitoriza el nivel de señal en cada enlace.
- Si se detecta una pérdida de señal o trama en un enlace:
 - Se inicia el proceso de detección del fallo.
 - Se activan los mecanismos de protección.
 - Se restaura la conexión.

6.2.1 Conceptos de supervivencia

Dedicada vs. Compartida

Dependiendo de cómo se preasigne la capacidad de protección, se puede distinguir entre mecanismos de protección dedicados o compartidos.

Cuando se aplican mecanismos de protección dedicados, el 50% de la capacidad total de la red se reserva para propósitos de protección y existe un camino de protección dedicado por cada ruta. En el caso de mecanismos de protección compartida, se reserva cierta capacidad del anillo, que es compartida para la protección de diversos circuitos.

Es obvio que la protección dedicada proporciona mayores niveles de protección pero conlleva una utilización de red ineficiente. En cambio, la protección compartida se puede llevar a cabo salvando una importante cantidad de capacidad, permitiendo al operador incrementar el número de circuitos activos en el anillo.

Unidireccional vs. Bidireccional

La conmutación de protección unidireccional tiene acción de conmutación sólo para la dirección de tráfico afectada, en caso de un fallo unidireccional. La conmutación de protección bidireccional tiene acción de conmutación para ambas direcciones de tráfico, aunque el fallo sea unidireccional (figura 6-1).

La conmutación de protección unidireccional se emplea fundamentalmente en protección dedicada, mientras que, la conmutación de protección bidireccional se emplea en protección compartida. Para activar la conmutación de protección bidireccional se requiere un protocolo de conmutación de protección automática (APS).

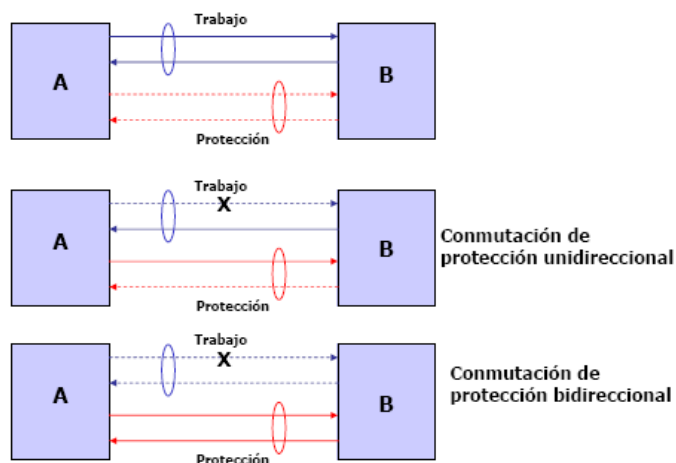


Figura 6-1: Protección unidireccional/bidireccional

Reversible vs. No reversible

Una vez que se ha producido la conmutación de protección y el fallo ha sido subsanado se puede proceder de dos formas. En protección no reversible (nonreverting) no hay conmutación de vuelta al camino anteriormente de trabajo y se usa una vez restaurado como camino de protección. En protección reversible (reverting), la protección comúnmente utilizada es 1:N, conmutando de vuelta al camino de trabajo anterior. La protección dedicada puede ser reversible o no, mientras que la compartida necesariamente es reversible.

Prenegociada vs. Dinámica

El ancho de banda de los caminos de protección puede ser predeterminado y reservado con anticipación o pueden ser alojados dinámicamente en una situación de fallo tomando la cantidad de ancho de banda del tráfico de menor prioridad.

Cuando se usa protección prenegociada, el camino de protección para cada camino de trabajo está configurado estáticamente. Los caminos de protección disjuntos de nodo y enlace están preestablecidos.

Con la protección dinámica, se crea un camino de protección bajo demanda en caso de fallo en la red, y el tráfico es reencaminado hacia el nuevo camino alternativo. Este método optimiza la utilización de ancho de banda en la red ya que ningún recurso debe ser reservado con anticipación.

Camino vs. Línea

La protección de camino (Path Switching, figura 6-2), es un ejemplo de restauración extremo a extremo. Un fallo en cualquier parte de la red que fuerce al camino de trabajo a fallar, es manejado en la fuente estableciendo un camino de protección extremo a extremo que es completamente disjunto del camino primario. La desventaja de esta solución es el largo tiempo de restauración. El fallo tiene que ser detectado y propagado a la fuente, para que, finalmente, el tráfico pueda ser protegido usando el camino de protección.

La protección de línea es un ejemplo de protección local, en la que los routers adyacentes al fallo manejan la restauración de tráfico. La protección de línea puede ser implementada como protección de tramo (Span Switching, figura 6-2) o anillo (Ring Switching, figura 6-2). Un corte en la fibra entre dos nodos puede ser restaurado usando protección de tramo, de forma que, el tráfico es conmutado hacia otra fibra entre los mismos nodos. Si esto no es posible (porque no haya disponible otra fibra adicional), se debe usar protección de anillo, donde los dos nodos adyacentes a la fibra con fallo buscan un camino alrededor de la fibra con fallo. El tiempo de protección es mucho más rápido porque no hay necesidad de propagar el fallo detectado a través de toda la red hasta la fuente.

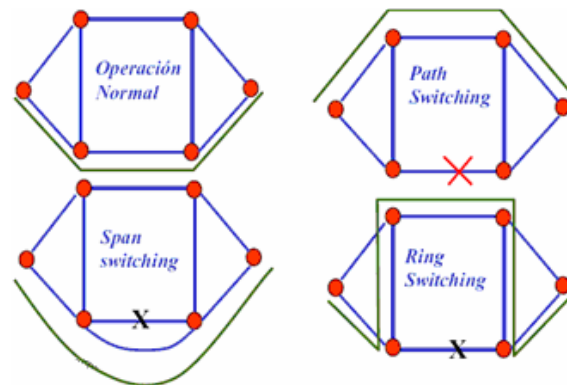


Figura 6-2: Protección de camino, tramo y anillo

6.2.2 Mecanismos de supervivencia

6.2.2.1 Protección

La protección constituye la capa inferior del mecanismo de supervivencia proporcionando un primer nivel de defensa contra fallos comunes, como cortes en la fibra. La protección es topológica y tecnológicamente específica y ofrece una recuperación rápida, sin embargo, podría no ser capaz de proteger contra fallos en los nodos o fallos múltiples. La protección es usada típicamente en redes en anillo.

La inteligencia de los mecanismos de protección está distribuida en cada elemento de la red. Los defectos locales actúan como activadores, pudiendo alcanzar tiempos de detección del orden de algunos milisegundos para un fallo físico. Se dedica una cantidad fija de la capacidad para propósitos de protección para conseguir una transferencia rápida de tráfico desde partes con fallo a otras con funcionamiento normal.

Protección 1+1

Cuando se usa este tipo de protección, el tráfico es enviado simultáneamente por dos caminos paralelos. Durante la operación normal, el destino recibe dos flujos de tráfico iguales y selecciona uno de ellos. En caso de que se produzca un fallo a lo largo del camino elegido, el destino simplemente elige el otro camino.

No se requiere señalización porque el destino puede tratar el fallo por sí mismo, y el nodo fuente no tiene que hacer nada más que copiar siempre el tráfico por el camino alternativo. Esto hace que la protección 1+1 sea muy simple de implementar y el tiempo de restauración conseguido sea muy corto. La desventaja de la protección 1+1 es el gasto de ancho de banda necesario para mantener ambos caminos.

En la figura 6-3 se muestra un ejemplo de protección 1+1. El camino de protección está representado en color rojo y el de trabajo en azul. Se realiza una copia del tráfico, que es enviado por ambos caminos.

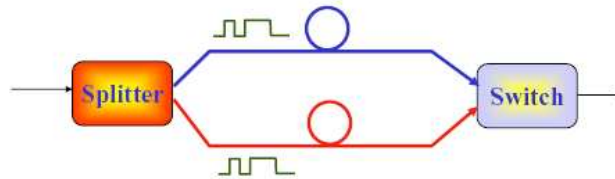


Figura 6-3: Protección 1+1

Protección 1:1

Cuando se usa este tipo de protección, se usan también dos caminos paralelos. Sin embargo, durante la operación normal, no hay envío de tráfico a través del camino alternativo. Solo en el caso de fallo en el camino primario se produce una conmutación en la fuente y en el destino al camino alternativo.

En sistemas de transmisión unidireccional el tráfico solo se envía en una dirección a través de la fibra. Como resultado, la fuente no se da cuenta de un corte en la fibra por sí misma, sino que es el destino quien debe informar a la fuente de que ha ocurrido un fallo. En redes SONET/SDH, esta señalización se denomina Automatic Protection Switching (APS). Cuando se usan sistemas de transmisión bidireccional (el tráfico es transmitido en ambas direcciones por la fibra), ambos extremos detectan el fallo, por lo tanto, no se requiere señalización.

La desventaja obvia de la protección 1:1 es la sobrecarga de señalización exigida, causando restauración más lenta que la protección 1+1. En operación normal, el camino de protección no utilizado puede ser usado para transmitir tráfico de baja prioridad, consiguiendo una mejor utilización de red. En el caso de fallos en el camino primario, el tráfico de más alta prioridad es conmutado al camino de protección alternativo y se deja de enviar el tráfico de menor prioridad.

En la figura 6-4 se muestra un ejemplo de protección 1:1. El camino de protección está representado en color rojo y el de trabajo en azul. Ambas fibras están operativas aunque no hay envío de tráfico a través del camino de protección durante la operación normal.

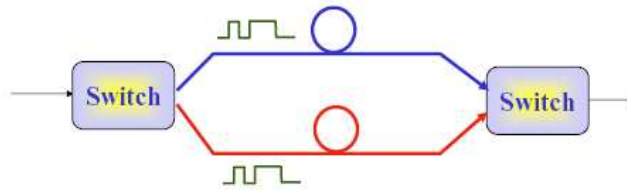


Figura 6-4: Protección 1:1

Protección 1:N

La protección 1:N es una variación de la protección 1:1 donde N caminos de trabajo comparten un camino de protección. Esta técnica sólo puede manejar un único fallo. En caso de fallos múltiples, el protocolo de señalización debe asegurar que sólo un camino en uso sea protegido al mismo tiempo (figura 6-5).

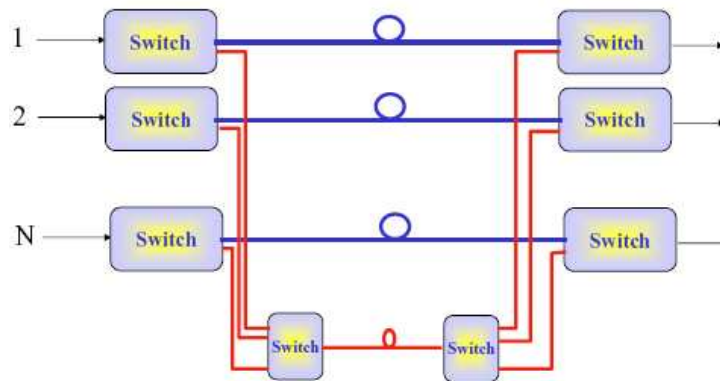


Figura 6-5: Protección 1:N

En la figura 5-5 se muestra un ejemplo de protección 1:N. Los caminos de protección están representados en color rojo y los de trabajo en azul. En este caso, los N caminos de trabajo comparten una única fibra de protección.

6.2.2.2 Restauración

La restauración puede ser vista como un mecanismo envolvente, proporcionando un segundo paso de protección contra fallos en la red. La restauración se realiza normalmente en las capas 2 ó 3. Típicamente, la restauración puede operar no sólo sobre enlaces con fallo, sino también sobre nodos o fallos múltiples, en comparación con la protección.

La restauración utiliza cualquier capacidad disponible entre nodos, no sólo la capacidad preasignada como la protección. En general, los algoritmos utilizados para el restablecimiento exigirán reencaminamiento.

La restauración puede ser implementada de forma centralizada o distribuida. En ambos casos, un fallo de red debe ser primero detectado localmente y entonces ser propagado al

elemento de control que controla el procedimiento de restauración. En general, la restauración distribuida puede restaurar fallos en el servicio más rápidamente que la centralizada. Además, con el uso de caminos alternativos precalculados, se pueden alcanzar tiempos de restauración aceptables extremo a extremo.

6.3 Protección en anillos SONET/SDH

Varios mecanismos de protección con conmutación han sido desarrollados para SONET/SDH. Estos mecanismos hicieron posible desarrollar redes en anillo de alta disponibilidad y fiabilidad de tipo TDM con tiempos de restauración por debajo de 50 ms.

Los anillos son estructuras muy empleadas en redes de transporte y corporativas, ya que presentan una serie de ventajas:

- Pueden interconectarse múltiples nodos con un simple anillo físico
- Son robustos a fallos y auto recuperables (self healing)
- Detectan fallos y reencaminan el tráfico por otras rutas con gran rapidez

A continuación se hará un repaso de las arquitecturas en anillo de protección más comunes de SONET/SDH. Sin embargo, estas arquitecturas no son únicas de SONET/SDH, sino que también han sido usadas para redes en anillo WDM. Las técnicas en SDH y SONET son similares aunque su denominación es diferente.

6.3.1 Two-Fiber Unidirectional Path Switched Ring (UPSR) Subnetwork Connection Protection (SNCP)

Se trata de mecanismos de protección dedicada. En SONET se usa UPSR y la contraparte SDH con funciones similares se llama SNCP. UPSR/SNCP son anillos de fibra dual un anillo se usa como anillo activo y el segundo se usa para protección (figura 6-6).

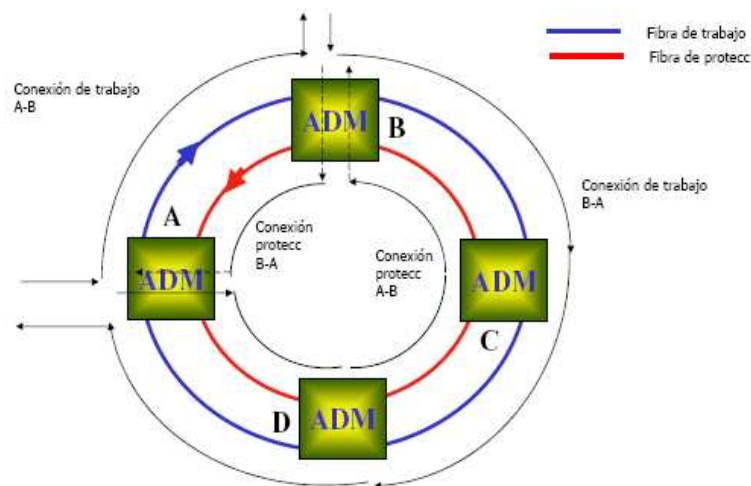


Figura 6-6: Protección UPSR/SNCP

El tráfico entre dos nodos es intercambiado de forma unidireccional. En la figura 6-6, el tráfico del nodo B a A se envía por la fibra de trabajo (azul) y el tráfico del nodo A a B se envía en el mismo sentido del mismo anillo. UPSR/SNCP posibilita protección de camino 1+1. Por lo tanto, el tráfico también es enviado simultáneamente por el anillo de protección en sentido contrario (rojo). El nodo de recepción compara ambas señales y toma la mejor.

La simplicidad y un tiempo de restauración muy corto, por debajo de 50 ms, son las ventajas de la arquitectura UPSR/SNCP. Una desventaja importante de la arquitectura UPSR/SNCP es que no se puede hacer frente a un fallo en un nodo y un fallo simultáneo en un tramo en la fibra activa y de protección.

6.3.2 Two-Fiber Bidirectional Line-Switched Ring (2F-BLSR) Multiplex Section Shared Protection Ring (2F-MS-SPRING)

Se trata de mecanismos de protección compartida. En SONET se usa 2F-BLSR y la contraparte SDH con funciones similares se llama 2F-MS-SPRING.

El mecanismo de protección 2F-BLSR/2F-MS-SPRING requiere dos fibras para cada tramo del anillo. A diferencia de UPSR, ambos anillos actúan como trabajo y protección. En cada fibra, la mitad de los canales están definidos como canales de servicio y la otra mitad como canales de protección. El tráfico normal, transportado por los canales de servicio de una fibra, está protegido por los canales de protección de sentido opuesto alrededor del anillo (figura 6-7). El tráfico entre dos nodos es intercambiado de forma bidireccional, usando ambos anillos concurrentemente.

En la figura 6-7, el tráfico del nodo B a A es enviado por el anillo interior y el tráfico de retorno de A a B es transmitido por el anillo exterior en sentido contrario.

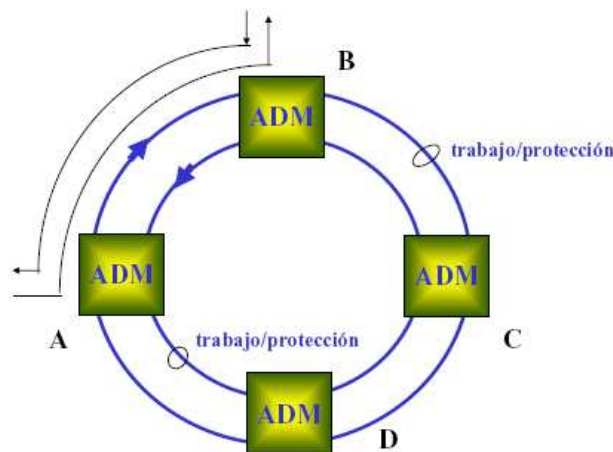


Figura 6-7: Protección 2F-BLSR/2F-MS-SPRING

La ventaja de esta arquitectura es que el ancho de banda de protección puede ser usado para transportar tráfico de baja prioridad en condiciones de operación normal, porque se usa protección 1:1.

6.3.3 Four-Fiber Bidirectional Line-Switched Ring (4F-BLSR) Multiplex Section Shared Protection Ring (4F-MS-SPRING)

Al igual que en el caso de dos fibras, se trata de mecanismos de protección compartida. En SONET se usa 4F-BLSR y la contraparte SDH con funciones similares se llama 4F-MS-SPRING.

Como se puede ver en la figura 6-8, este tipo de anillos de protección requiere cuatro fibras para cada tramo del anillo. Los canales de servicio y los de protección son transportados por fibras diferentes: dos fibras que transmiten en sentidos opuestos transportan los canales de servicio, mientras que otras dos, que transmiten también en sentidos opuestos, transportan los canales de protección. Esto permite el transporte bidireccional del tráfico normal.

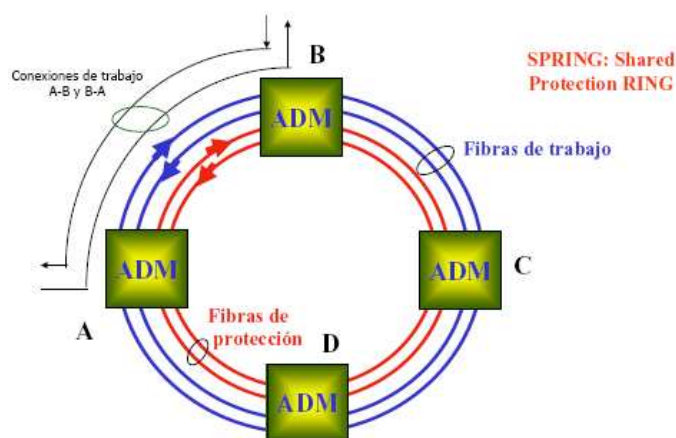


Figura 6-8: Protección 4F-BLSR/4F-MS-SPRING

Los anillos de protección de cuatro fibras admiten, tanto la conmutación de anillo, como la conmutación de tramo, si bien no admiten las dos al mismo tiempo. Pueden coexistir varias conmutaciones de tramo en el anillo, dado que, para cada conmutación de tramo, sólo se utilizan los canales de protección de ese tramo.

En la conmutación de tramo (figura 6-9), si se produce un fallo en la fibra de trabajo (azul), el tráfico es conmutado a la fibra de protección (rojo) en ese mismo tramo. En la conmutación de anillo (figura 6-9), si se produce un fallo en ambas fibras, la de trabajo (azul) y su protección asociada (roja), el tráfico es conmutado a la fibra de protección en el sentido opuesto al fallo, como se hacía en 2F-BLSR/2F-MS-SPRING.

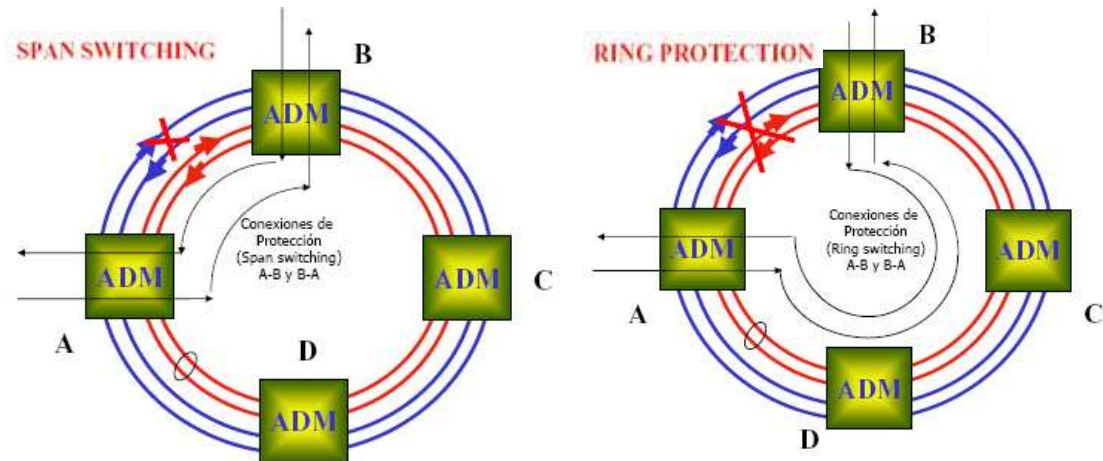


Figura 6-9: Conmutación de tramo vs. anillo en protección 4F-BLSR/4F-MS-SPRING

Debido a la eficiencia en ancho de banda y la sustancial funcionalidad de protección, 4F-BLSR/4F-MS-SPRING es la arquitectura preferida para anillos backbone de larga distancia.

La tabla 6-1 muestra una comparación entre los mecanismos de protección usados en arquitecturas en anillo SONET/SDH.

| Parámetro | SNCP (UPSR) | 2F-MS-SPRing (2F-BLSR) | 4F-MS-SPRing (4F-BLSR) |
|-------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|
| Pares de Fibra | 1 | 1 | 2 |
| Pares Tx/Rx/nodo | 2 | 2 | 4 |
| Tipo de protección | Dedicada | Compartida | Compartida |
| Capacidad de protección | = capacidad de trabajo | = capacidad de trabajo | = capacidad de trabajo |
| Fallo de enlace | Conmutación de camino | Conmutación de anillo | Conmutación de tramo/anillo |
| Fallo de nodo | Conmutación de camino | Conmutación de anillo | Conmutación de anillo |
| Veloc. Restauración | Rápida | Lenta | Lenta |
| Implementación | Simple | Compleja | Compleja |

Tabla 6-1: Comparación entre los mecanismos de protección SONET/SDH

6.4 Protección en la capa IP

IP trabaja de forma “best effort”, sin proporcionar ningún mecanismo que determine si un paquete alcanza o no su destino. Los routers encaminan los paquetes en función de sus tablas de encaminamiento y, en caso de fallo, los protocolos de encaminamiento (OSPF, IS-IS) se encargan de actualizar las tablas de forma distribuida dentro del dominio. Este

proceso es lento y genera errores, ya que mientras se actualizan, los paquetes pueden ser encaminados en función de las versiones sin actualizar de las tablas, experimentando pérdidas o retardos muy significativos. Incluso aunque el router disponga de rutas alternativas a la que falla, los paquetes pueden entrar en lazos dentro de la red.

Otro aspecto de importancia es el elevado tiempo de detección de fallos por parte de los routers, típicamente unos 10 segundos, que hacen uso de mensajes periódicos de checking con routers vecinos del mismo dominio. La forma de acelerar este proceso puede ser delegando en otras capas (SONET/SDH o la capa óptica) la detección de fallos.

Una alternativa es introducir MPLS, que establece caminos (LSPs) basados en conmutación de etiquetas con significado local en los routers (LSRs). MPLS permite la introducción del concepto de camino en IP, por tanto, en MPLS pueden implementarse LSPs de reserva para reencaminar paquetes de otros LSPs en caso de fallo, consiguiendo protección rápida.

Para proporcionar protección en MPLS se usan los siguientes mecanismos:

- **Conmutación de protección:** El cálculo y asignación del encaminamiento y de los recursos necesarios para un LSP de protección dedicado se realiza antes de que se produzca un fallo. Por este motivo, la conmutación de protección constituye un mecanismo seguro para recuperar los recursos de red necesarios después de un fallo.
- **Reencaminamiento:** No se define un LSP de protección dedicado, ni se calculan/asignan el encaminamiento o los recursos necesarios antes de que se produzca un fallo. Por consiguiente, el reencaminamiento no ofrece ninguna garantía de recuperación de los recursos de red necesarios después del fallo y, por lo general, es más lento que la conmutación de protección.

6.5 Protección en la capa óptica

Existen varios motivos por los que es necesaria la implementación de mecanismos de protección en la capa óptica. A continuación se revisarán brevemente los más importantes:

- Necesidad de incorporar niveles semejantes de protección a los obtenidos en SONET/SDH a otras capas cliente (IP), más orientadas a la transmisión de datos.
- Ahorro en costes de protección y equipos terminales. Es más económico proteger en la capa óptica.
- Puede proporcionar un grado adicional de recuperación ante múltiples fallos.
- La protección en la capa óptica con WDM es más eficiente:
 - En caso de fallo en un enlace de fibra, la protección y reconfiguración recupera todos los canales de forma rápida y sencilla generando pocas señales de alarma.
 - Si las capas cliente son las que tratan de recuperar el sistema, se generan múltiples alarmas que inundan al sistema de gestión y la recuperación es independiente para cada longitud de onda y no uniforme en cuanto a tiempos de recuperación.

Además de las ventajas que ofrece la protección en la capa óptica, también debe hacer frente a algunas limitaciones:

- No puede gestionar todo tipo de fallos (por ejemplo, fallos en equipos de capas cliente).
- Puede no detectar las condiciones de fallo apropiadas que invocarían la protección.
- Solo protege tráfico en unidades enteras de caminos ópticos.
- Los caminos de protección pueden ser más largos que las rutas primarias.
- Debe coordinarse con los mecanismos de protección de las capas cliente.

En el caso de redes OTN, los esquemas de protección empleados en la capa óptica son conceptualmente similares a los de SDH aunque varían en su implementación. La protección en la capa óptica se puede implementar tanto en los OXCs como en los OADMs que forman parte de la red.

Existen mecanismos de protección en las capas OCh (canal óptico) y OMS (sección de multiplexación óptica). En la capa OCh se restaura en el nivel de un camino óptico y en la capa OMS se restauran todos los caminos ópticos (canales WDM) presentes en un enlace. En la capa óptica puede haber diferencias de coste entre la protección a nivel OCh y la OMS, porque en el primer caso hay que demultiplexar y acceder a las longitudes de onda individuales.

En anillos WDM, la protección dedicada en la capa OMS se llama OMS-DPRing (Optical Multiplex Section Dedicated Protection Ring) y en la capa OCh, OCh-DPRing. La arquitectura de protección compartida en la capa OMS se llama OMS-SPRing (Optical Multiplex Section Shared Protection Ring) y en la capa OCh, OCh-SPRing.

6.6 Supervivencia multicapa

Los mecanismos de supervivencia tienen que tratar fallos en los enlaces de la red, nodos y canales individuales (longitud de onda). La aproximación seguida hasta ahora es tener una red consistente en múltiples capas, con mecanismos de supervivencia en cada capa, y que puedan hacer frente a diferentes tipos de fallos en capas diferentes.

Cuando se sigue esta aproximación y se diseñan redes con supervivencia multicapa, el parámetro más importante en el que centrarse es el tipo de fallo y el efecto de este fallo en el tráfico y en las capas de la red. Cuando los errores o degradaciones en el funcionamiento afectan sólo a algunos servicios en una única capa, el control de supervivencia es muy simple. Sin embargo, fallos que afectan a todos los servicios en todas las capas obligan a manejar múltiples mecanismos de supervivencia.

En la siguiente lista se indican algunos de los principios básicos de la supervivencia multicapa:

- Los defectos en las capas superiores no deben provocar la conmutación de protección de la capa servidor.
- En general, si se utilizan mecanismos de protección de capa inferior (SDH u óptica), junto con los mecanismos de protección de la capa superior (MPLS), las

capas inferiores deben tener la oportunidad de restablecer el tráfico principal antes de que se active la protección en la capa superior. La finalidad es impedir la duplicación de la conmutación de protección en diferentes capas de la red.

- Las acciones de conmutación de protección en un dominio de protección no deben afectar desfavorablemente a las operaciones, a la calidad de funcionamiento, ni a la conmutación de protección de otros dominios de la red.
- El mecanismo completo de conmutación de protección debe facilitar el restablecimiento rápido del tráfico principal para disminuir las interrupciones de red, e idealmente, el restablecimiento se debe llevar a cabo antes de que se alcance el umbral de indisponibilidad.

7 Caso de estudio

7.1 Introducción

Con el continuo crecimiento del tráfico IP, la necesidad de una red más potente, robusta, segura y escalable aumenta para numerosos operadores IP. Además, la introducción de nuevos servicios más complejos implica que otros nuevos requerimientos deban ser tenidos en cuenta en el diseño de la red.

En este capítulo se lleva a cabo el estudio de una arquitectura backbone de red IP con una topología física en anillo. Se proponen dos aproximaciones técnicas con diferentes implementaciones, dependiendo de si se incluye o no una capa de transmisión propiamente dicha, y se realiza un análisis comparativo de los resultados obtenidos.

7.2 Aproximación técnica e implementación

Se proponen dos aproximaciones técnicas para interconectar un número determinado de routers IP a través de una topología en anillo en una arquitectura backbone de red IP. La figura 7-1 muestra el concepto de capas y las aproximaciones técnicas e implementaciones derivadas.

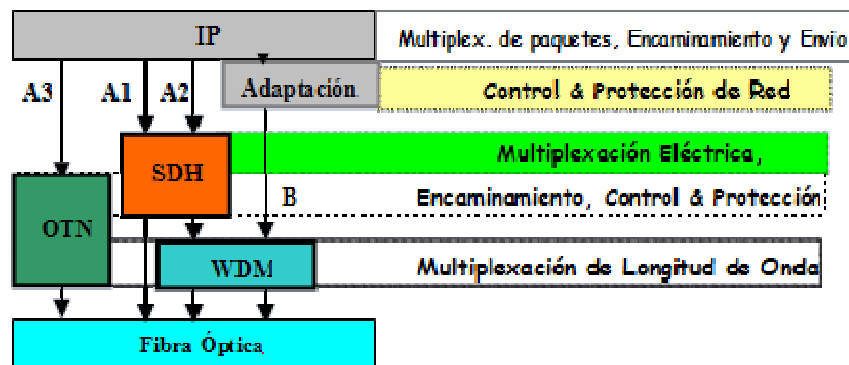


Figura 7-1: Implementaciones analizadas y funciones de las capas

Cada una de las capas desempeña las siguientes funciones:

- IP: Multiplexación de paquetes, encaminamiento y envío.
- Capa de adaptación: Control y protección de red.
- SDH: Multiplexación eléctrica, encaminamiento, control y protección
- OTN: Encaminamiento, control y protección.
- WDM: Multiplexación de longitud de onda
- Fibra óptica: Medio físico de transmisión.

7.2.1 1ª Aproximación (A)

En esta aproximación, además de la capa IP, se incluye una capa separada de transmisión encargada del aprovisionamiento de caminos, control de red y protección. La capa de transmisión puede estar basada tanto en SDH/SONET, como en tecnología de transporte óptico (OTN). La conexión directa de caminos está dimensionada para soportar las relaciones de tráfico entre cada par de routers. El tráfico entre dos routers no adyacentes pasa a través de los nodos de transmisión intermedios evitando que este tráfico sea manejado y encaminado por los routers. La figura 7-2 muestra la configuración de red en nodos para las diferentes implementaciones físicas de esta aproximación.

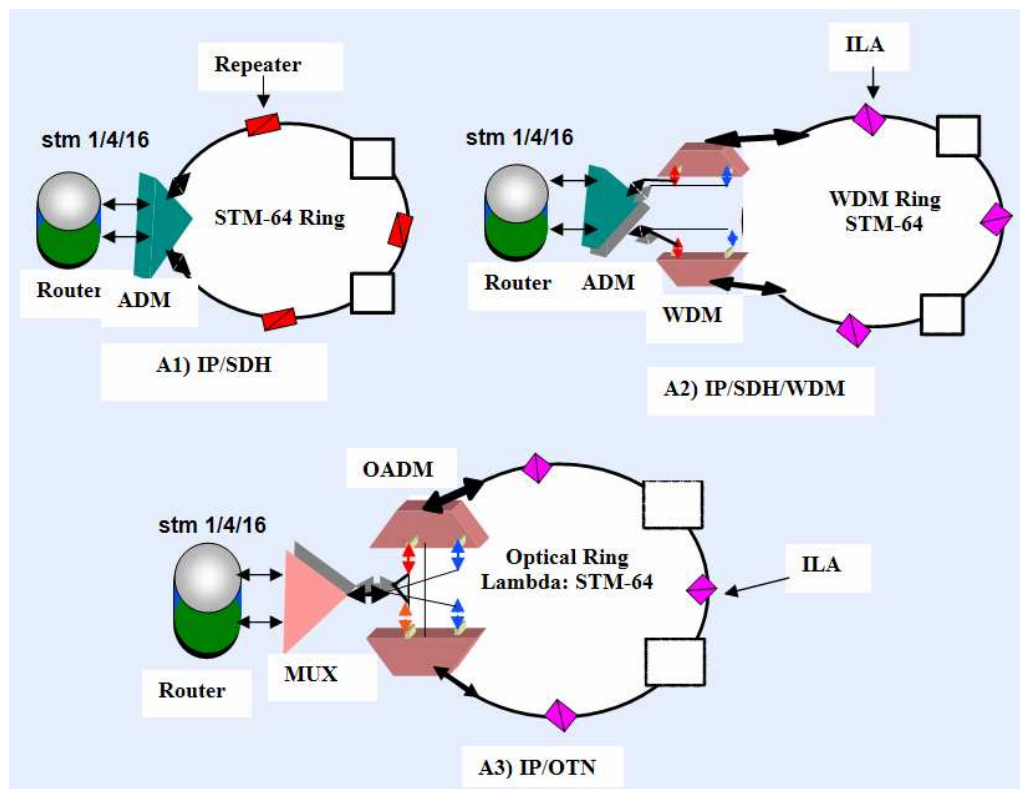


Figura 7-2: Implementación física para la aproximación A: A1) IP/SDH, A2) IP/SDH/WDM y A3) IP/OTN

A1) IP/SDH: Los routers IP están conectados de forma directa por tecnología de red SONET/SDH. Esto significa que la red está compuesta de multiplexores Add/Drop (ADMs), encargados de aprovisionar los caminos de conexión con concatenación contigua de cargas, repetidores en línea y routers IP conectados mediante interfaces SONET/SDH.

A2) IP/SDH/WDM. Es similar a la implementación anterior, pero usando terminales de línea WDM para multiplexar y demultiplexar varios anillos STM-N desde y hacia los correspondientes ADMs colocados en el mismo nodo. Varios anillos a diferentes longitudes de onda pueden ser construidos usando sólo un par de fibras. Los equipamientos en línea para esta implementación son ILAs (in-line amplifiers), encargados de amplificar las señales WDM.

A3) IP/OTN. Los routers IP están conectados a conexiones de canal óptico (lambda) establecidas mediante tecnología de transporte de red óptico (OTN). Esto significa que la red está compuesta de multiplexores Add/Drop ópticos (OADMs), encargados de aprovisionar conexión lambda y protección de red, ILAs y routers IP. En los OADMs, las funciones de inserción/extracción y paso son llevadas a cabo transparentemente a nivel de longitud de onda desde la señal WDM que pasa a través del anillo de fibra.

7.2.2 2ª Aproximación (B)

Los routers IP están conectados directamente a la fibra a través de dispositivos WDM. Los routers adyacentes están conectados punto a punto, de forma que los routers manejan todo el tráfico del anillo. Debido a que no existe una capa de transmisión propiamente dicha, la protección de red es implementada en los routers. La figura 7-2 muestra la configuración de red en nodos para la implementación física de esta aproximación.

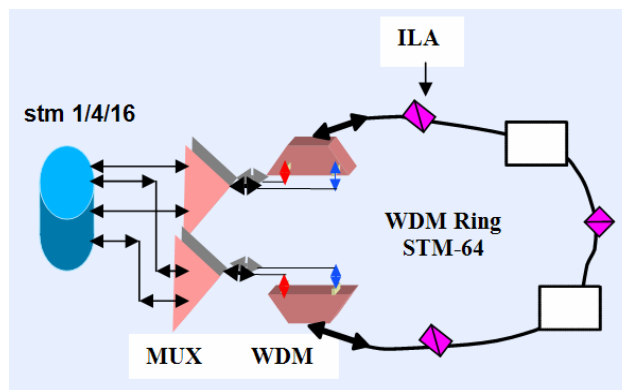


Figura 7-3: Implementación física para la aproximación B: IP/WDM

IP/WDM. La red está compuesta de routers IP en anillo con interfaces STM-N conectados directamente a la fibra. Se usan terminales WDM para multiplexar y demultiplexar varios anillos STM-N, desde y hacia los puertos del router, e ILAs. WDM permite construir anillos virtuales de longitudes de onda usando una sola fibra. En caso de sólo estar disponibles interfaces STM-1/4/16 en los routers, serán necesarios multiplexores STM.

7.3 Características del anillo bajo estudio

El análisis comparativo se lleva a cabo para el caso particular de un backbone de 4 nodos IP, a nivel nacional, con conectividad en anillo (figura 7-4). El estudio se ha particularizado para anillos STM-16. Las relaciones de transmisión de tráfico extremo a extremo (matriz de tráfico) están en el rango de 22 a 65 STM-1s (figura 7-5). Los routers disponen de interfaces STM-1/4 para IP/SDH e IP/SDH/WDM, interfaces STM-4 para IP/WDM e interfaces a nivel de lambda para IP/OTN. Se considera la necesidad de repetidores (IP/SDH) e ILAs (WDM, OTN) más allá de 80 Km. No se considera necesaria

la regeneración óptica para las distancias establecidas. La longitud total del anillo está en torno a los 2500 Km

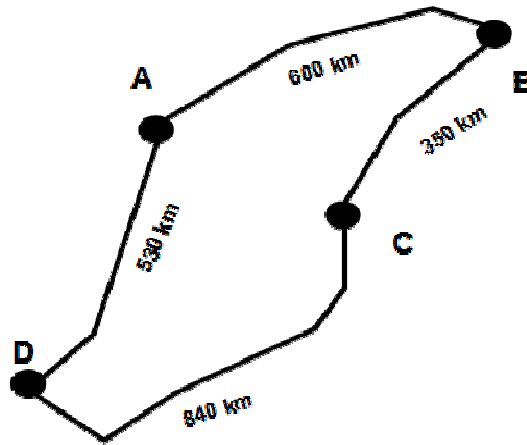


Figura 7-4: Anillo de 4 nodos en estudio

| Tráfico Total en el Core (STM-1s) | | | | | |
|-----------------------------------|--------|-----------|----------|---------|-------|
| | Madrid | Barcelona | Valencia | Sevilla | Total |
| Madrid | | 65 | 43 | 39 | |
| Barcelona | 65 | | 38 | 44 | |
| Valencia | 43 | 38 | | 22 | |
| Sevilla | 39 | 44 | 22 | | |
| | | | | | |
| STM-1 I/F's | 147 | 147 | 103 | 105 | 502 |
| STM-4 I/F's | 38 | 38 | 27 | 27 | 130 |

Figura 7-5: Tráfico total en el Core (STM-1s)

7.4 Metodología de dimensionamiento del anillo

La figura 7-6 muestra el diagrama de flujo de la metodología de dimensionamiento del anillo. La entrada de datos es:

- Matriz de transmisión de tráfico: relación de tráfico extremo a extremo.
- Topología física del anillo: localización de nodos y distancia.
- Mecanismos de protección: MS-SPRING es considerado para todas las implementaciones salvo SNCP para OTN.
- Interfaces disponibles de los routers.

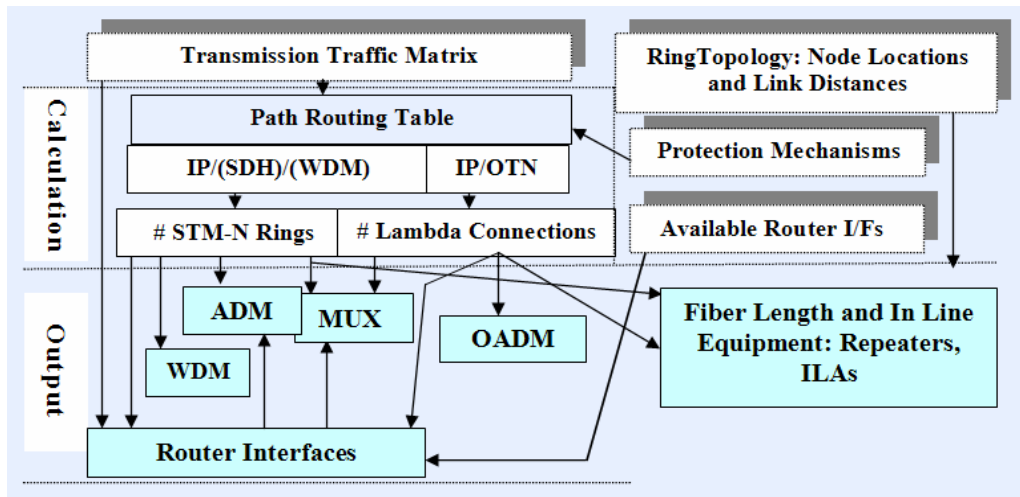


Figura 7-6: Metodología de dimensionamiento

El proceso de dimensionamiento incluye las siguientes etapas:

1. La relación de tráfico extremo a extremo (matriz de tráfico) y los mecanismos de protección definen la tabla de rutas.
2. La construcción de anillos deriva de la tabla de rutas previa. Está definida por el número de anillos individuales en una configuración IP/SDH, el número de λ -anillos para IP/SDH/WDM e IP/WDM y el número de conexiones lambda para OTN.
3. La configuración de los nodos incluye el tipo y el número de interfaces de los routers y los equipamientos de transmisión. Está determinada por la matriz de tráfico, la construcción de anillo y los interfaces disponibles.
4. El equipamiento en línea y la longitud de la fibra, de acuerdo a los elementos usados para cada implementación, derivan de la topología física y de la construcción del anillo.

7.5 Resultados y conclusiones

Se han propuesto, analizado y comparado dos aproximaciones técnicas para redes IP en anillo. La primera aproximación (A) tiene una capa de transmisión encargada del encaminamiento, evitando que el tráfico de tránsito sea manejado por los routers. En la segunda aproximación (B), cada router está conectado a su router adyacente de forma punto a punto; consecuentemente, deben soportar todo el tráfico del anillo (local y de tránsito), dando como resultado que sus matrices de conmutación sean mucho más complejas.

La implementación IP/SDH, IP/SDH/WDM e IP/OTN han sido analizadas para la aproximación 'A' e IP/WDM para la aproximación 'B'. La "supervivencia" de la red está asegurada por la capa de transmisión para la aproximación 'A' y por un mecanismo de

protección implementado en los router en la aproximación 'B'. Los mecanismos de protección utilizados (MS-SPRING y SNCP) implican la utilización de doble longitud de fibra óptica para poder establecer anillos de trabajo y protección.

7.5.1 Resultados

A continuación se muestran las tablas de resultados para cada una de las aproximaciones e implementaciones técnicas. De acuerdo a la metodología utilizada, para cada caso se puede observar, la tabla de rutas a partir de la matriz de tráfico, la construcción del anillo y su equipamiento, y la longitud de la fibra y equipamiento en línea.

| TRAFICO | | | | | | EQUIPAMIENTO | | | | | | |
|--|-----------|------------|-----------|-----------|-------|--|-------------------------------|-------------------|-----------------|------------------|---------|-------|
| Tráfico Total en el Core (STM-1s) | | | | | | ADMs STM-16 | | | | | | |
| | Madrid | Barcelona | Valencia | Sevilla | Total | Configuración | | Madrid | Barcelona | Valencia | Sevilla | Total |
| Madrid | | 65 | 43 | 39 | | STM-4 | STM-1 | | | | | |
| Barcelona | 65 | | 38 | 44 | | 3 | 1 | 1 | | | | 1 |
| Valencia | 43 | 38 | | 22 | | 3 | 0 | 11 | 12 | | | 23 |
| Sevilla | 39 | 44 | 22 | | | 2 | 1 | 1 | | 10 | 1 | 12 |
| STM-1 I/F's | 147 | 147 | 103 | 105 | 502 | 2 | 0 | 1 | | 1 | 12 | 14 |
| STM-4 I/F's | 38 | 38 | 27 | 27 | 130 | 1 | 0 | | | 2 | | 2 |
| | | | | | | Total | | 13 | 13 | 13 | 13 | 52 |
| Anillos STM-16 | | | | | | INTERFACES ROUTERS/ADMs EN BACKBONE | | | | | | |
| Carga Trabajo Arcos (STM-1s) | | | | | | | Madrid | Barcelona | Valencia | Sevilla | Total | |
| Paths | M-B | B-V | V-S | S-M | | STM-4s | 37 | 39 | 24 | 26 | 126 | |
| M-B | 65 | | | | | STM-1s | 1 | 1 | 10 | 1 | 13 | |
| M-V | 22 | 22 | 21 | 21 | | | | | | | | |
| M-S | | | | 39 | | Long.R-R | REPETIDORES POR ENLACE | | | | | |
| B-S | | 44 | 44 | | | 80 | M-B | B-V | V-S | S-M | Total | |
| B-V | | 38 | | | | Long. (km) | 600 | 350 | 840 | 530 | 2320 | |
| V-S | | | 22 | | | N. Repetidores | 7 | 4 | 10 | 6 | 27 | |
| Total STM-1s | 87 | 104 | 87 | 60 | | LONGITUD FIBRA Y REPETIDORES (vano 80 Km) | | | | | | |
| P.STM-1 | | 208 | | | | Anillo | | TOTAL | | | | |
| P.STM-4 | | 52 | | | | Long. (km) | N. Repet. | N. Anillos | L. Fibra | N. Repet. | | |
| P.STM-16 | | 13 | | | | 2320 | 27 | 13 | 60320 | 351 | | |
| N. Anillos | 13 | | | | | | | | | | | |

Figura 7-7: Resultados IP/SDH

| TRAFICO | | | | | | EQUIPAMIENTO | | | | | | |
|--|--------|-----------|----------|---------|-------|--|----------|-----------|-----------|----------|---------|-------|
| Tráfico Total en el Core (STM-1s) | | | | | | ADMs stm-16 | | | | | | |
| | Madrid | Barcelona | Valencia | Sevilla | Total | Configuración | | Madrid | Barcelona | Valencia | Sevilla | Total |
| Madrid | | 65 | 43 | 39 | | STM-4 | STM-1 | | 1 | | | 1 |
| Barcelona | 65 | | 38 | 44 | | 3 | 1 | | 1 | | | 23 |
| Valencia | 43 | 38 | | 22 | | 3 | 0 | 11 | 12 | | | 12 |
| Sevilla | 39 | 44 | 22 | | | 2 | 1 | 1 | | 10 | 1 | 14 |
| | | | | | | 2 | 0 | 1 | | 1 | 12 | 2 |
| STM-1 I/F's | 147 | 147 | 103 | 105 | 502 | 1 | 0 | | | 2 | | 2 |
| STM-4 I/F's | 38 | 38 | 27 | 27 | 130 | Total | | 13 | 13 | 13 | 13 | 52 |
| Anillos STM-16 | | | | | | INTERFACES ROUTERS/ADMs EN BACKBONE | | | | | | |
| Carga Trabajo Arcos (STM-1s) | | | | | | | Madrid | Barcelona | Valencia | Sevilla | Total | |
| Paths | M-B | B-V | V-S | S-M | | STM-4s | 37 | 39 | 24 | 26 | 126 | |
| M-B | 65 | | | | | STM-1s | 1 | 1 | 10 | 1 | 13 | |
| M-V | 22 | 22 | 21 | 21 | | WDMs & TRANSPONDERS | | | | | | |
| M-S | | | | 39 | | N. Lambdas | Madrid | Barcelona | Valencia | Sevilla | Total | |
| B-S | | 44 | 44 | | | WDM (13 Lambdas) | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | |
| B-V | | 38 | | | | Transponders | 26 | 26 | 26 | 26 | 104 | |
| V-S | | | 22 | | | ILAS POR ENLACE | | | | | | |
| Total STM-1s | 87 | 104 | 87 | 60 | | L.OA | | | | | | |
| P.STM-1 | | 208 | | | | 80 | M-B | B-V | V-S | S-M | Total | |
| P.STM-4 | | 52 | | | | Longitud (km) | 600 | 350 | 840 | 530 | 2320 | |
| P.STM-16 | | 13 | | | | N. ILAs | 7 | 4 | 10 | 6 | 27 | |
| N. Anillos | 13 | | | | | LONGITUD FIBRA, ILAs (v. 80 km) | | | | | | |
| | | | | | | L. Anillo | L. Fibra | N. ILAs | | | | |
| | | | | | | 2320 | 4640 | 27 | | | | |

Figura 7-8: Resultados IP/SDH/WDM

| TRAFICO | | | | | | EQUIPAMIENTO | | | | | | |
|--|--------|-----------|----------|---------|-------|--|----------|-----------|-----------|----------|---------|-------|
| Tráfico Total en el Core (STM-1s) | | | | | | MUX/DMUX stm-16 | | | | | | |
| | Madrid | Barcelona | Valencia | Sevilla | Total | Configuración | | Madrid | Barcelona | Valencia | Sevilla | Total |
| Madrid | | 65 | 43 | 39 | | STM-4 | | | 4 | | | |
| Barcelona | 65 | | 38 | 44 | | 4 | | | 4 | | | |
| Valencia | 43 | 38 | | 22 | | 3 | 24 | 22 | 20 | 4 | | |
| Sevilla | 39 | 44 | 22 | | | 2 | 2 | | 2 | 22 | | |
| | | | | | | 1 | | | 4 | | | |
| STM-1 I/F's | 147 | 147 | 103 | 105 | 502 | Total MUX | | 26 | 26 | 26 | 26 | 104 |
| STM-4 I/F's | 38 | 38 | 27 | 27 | 130 | INTERFACES RED BACKBONE | | | | | | |
| Anillos STM-16 | | | | | | | Madrid | Barcelona | Valencia | Sevilla | Total | |
| Carga Trabajo Arcos (STM-1s) | | | | | | STM-4s | 76 | 82 | 68 | 56 | 282 | |
| Paths | M-B | B-V | V-S | S-M | | WDMs & TRANSPONDERS | | | | | | |
| M-B | 65 | | | | | N. Lambdas | Madrid | Barcelona | Valencia | Sevilla | Total | |
| M-V | 22 | 22 | 21 | 21 | | WDM (13 Lambdas) | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | |
| M-S | | | | 39 | | Transponders | 26 | 26 | 26 | 26 | 104 | |
| B-S | | 44 | 44 | | | ILAS POR ENLACE | | | | | | |
| B-V | | 38 | | | | L.OA | | | | | | |
| V-S | | | 22 | | | 80 | M-B | B-V | V-S | S-M | Total | |
| Total STM-1s | 87 | 104 | 87 | 60 | | Longitud (km) | 600 | 350 | 840 | 530 | 2320 | |
| P.STM-1 | | 208 | | | | N. ILAs | 7 | 4 | 10 | 6 | 27 | |
| P.STM-4 | | 52 | | | | LONGITUD FIBRA, ILAs (v. 80 km) | | | | | | |
| P.STM-16 | | 13 | | | | L. Anillo | L. Fibra | N. ILAs | | | | |
| N. Anillos | 13 | | | | | 2320 | 4640 | 27 | | | | |

Figura 7-9: Resultados IP/WDM

| TRAFICO | | | | | | EQUIPAMIENTO | | | | | |
|--|--------|-----------|----------|---------|-------|--|----------|-----------|----------|---------|-------|
| Tráfico Total en el Core (lambda<->STM-16s) | | | | | | OADMS & TRANSPONDERS (STM-16) | | | | | |
| | Madrid | Barcelona | Valencia | Sevilla | Total | | Madrid | Barcelona | Valencia | Sevilla | Total |
| Madrid | | 5 | 3 | 3 | | OADMS | 1 | 1 | 1 | 1 | 4 |
| Barcelona | 5 | | 3 | 3 | | Transponders | 22 | 22 | 16 | 16 | 76 |
| Valencia | 3 | 3 | | 2 | | | | | | | |
| Sevilla | 3 | 3 | 2 | | | | | | | | |
| Lambdas E/I | 11 | 11 | 8 | 8 | 38 | L.OA | | | | | |
| N.Lambdas | | | | | 19 | 80 | M-B | B-V | V-S | S-M | Total |
| Lambdas de paso | 8 | 8 | 11 | 11 | 38 | Longitud (km) | 600 | 350 | 840 | 530 | 2320 |
| | | | | | | N. ILAs | 7 | 4 | 10 | 6 | 27 |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | LONGITUD FIBRA, ILAs (v. 80 km) | | | | | |
| Lambda-STM-1s | 16 | | | | | L. Anillo | L. Fibra | N. ILAs | | | |
| | | | | | | 2320 | 4640 | 26 | | | |

Figura 7-10: Resultados IP/OTN

7.5.2 Conclusiones

7.5.2.1 IP/SDH vs. IP/SDH/WDM

Las implementaciones basadas en SDH tienen las siguientes ventajas:

- Bajo condiciones de fallo proveen un mecanismo de protección con tiempo de restauración bajo. Por lo tanto, proporcionan, no sólo disponibilidad para servicios de voz, sino también, para tráfico IP de alta calidad con un objetivo de retardo más estricto.
- Son una solución estándar, utilizada actualmente por todos los proveedores importantes de telecomunicaciones.
- Ofrecen flexibilidad de servicios. Lo que permite soportar aplicaciones, además del tráfico IP, como el alquiler de líneas.

Algunas de las desventajas de las implementaciones basadas en SDH son:

- Requieren equipamiento significativo para hacer que la red funcione.
- El aprovisionamiento de los elementos de red es lento.
- Requieren sincronismo entre los nodos de la red.

En las implementaciones IP/SDH e IP/SDH/WDM cada router está conectado a un ADM. Para la implementación IP/SDH son necesarios 13 anillos individuales, mientras que para IP/SDH/WDM son necesarios 13 λ -anillos. El número de anillos determina el número de ADMs necesarios y la configuración de sus interfaces establece las conexiones posibles router-ADM. En el caso de IP/SDH/WDM son necesarios equipos WDM y transponders. Se ha establecido un vano de repetición de 80 km, que en IP/SDH/WDM se realiza mediante ILAs y en IP/SDH con repetidores.

La comparación entre los resultados de las implementaciones IP/SDH e IP/SDH/WDM, pone de manifiesto la ventaja que supone la introducción de la tecnología WDM en las redes tradicionales IP/SDH, a pesar de la necesidad de equipamiento WDM adicional. WDM permite que los anillos que antes ocupaban fibras individuales (tantas como la matriz de tráfico requiera) ahora sean introducidos en una única fibra, con la consiguiente disminución en el coste de la red, tanto en fibra como en equipamiento de línea

7.5.2.2 *IP/SDH/WDM vs. IP/WDM*

La tecnología WDM introducida tiene las siguientes características:

- Usa una fibra para crear múltiples canales ópticos.
- Permite anchos de banda variados según la necesidad de cada aplicación particular.
- Permite añadir ancho de banda temporal o permanente sin interrupción.
- Conlleva alto coste de equipamiento.

La implementación basada en IP/WDM tiene las siguientes características:

- Se implementa con interfaces SDH. Evita la necesidad de equipos SDH adicionales en los nodos.
- Se produce mayor retardo de las conexiones en caso de fallo, ya que la protección está gestionada por los propios routers.
- Cada router maneja el tráfico total del anillo, lo que conlleva un aumento significativo de su complejidad interna.

Las implementaciones basadas en SDH han representado una solución estándar en las redes tradicionales. Permiten alta flexibilidad de servicios, ya que, además del tráfico IP, puede soportar servicios SDH como líneas alquiladas, etc. En caso de fallo, los mecanismos de supervivencia son gestionados por la capa SDH. La complejidad de los routers se reduce en las implementaciones SDH debido a que el tráfico de tránsito permanece en la capa SDH, mientras que en IP/WDM deben manejar el tráfico total del anillo, lo que hace aumentar su complejidad interna. En el caso de que se utilice equipamiento heredado en la implementación IP/WDM, puede ser necesario el uso de multiplexores que adapten las interfaces de los routers ya establecidos a los anillos WDM.

Para ambas implementaciones son necesarios 13 λ -anillos y se mantienen los equipos WDM y el equipamiento en línea necesarios. La eliminación de la capa SDH en la implementación IP/WDM evita el uso de ADMs en los nodos.

7.5.2.3 IP/OTN

La implementación basada en IP/OTN tiene las siguientes características:

- OTN incluye las funciones de OAM&P en la capa óptica.
- Explora las ventajas de WDM, mejorando el rendimiento del transporte.
- Es transparente al tipo de señal, protocolo, etc. (SDH/SONET, GbE, etc.).
- Permite conexiones E2E directas / Longitud de Onda.
- La estructura de nodo se simplifica: Router y OADM.
- Los routers sólo manejan el tráfico local, lo que reduce su complejidad interna.
- Permite conmutación de protección rápida, en caso de fallo el incremento del retardo de los paquetes es bajo.
- Disminuye el tiempo de puesta en marcha de servicios.
- Permite topologías variables y dinámicas con soporte para actualización remota.

La implementación IP/OTN combina la flexibilidad y la gestionabilidad de SONET/SDH con la transparencia y la capacidad de WDM. Aprovecha las ventajas de WDM, evitando el equipamiento SDH en los nodos, haciendo más eficiente la conexión en los extremos (conexiones lambda) y reduciendo el número de adaptadores de longitud de onda. Para la implementación IP/OTN son necesarias 19 conexiones lambda, con una estructura de nodos formada por routers, que sólo manejan el tráfico local, y OADMs. En el caso de que se utilice equipamiento heredado, puede ser necesario el uso de multiplexores que adapten las interfaces de los routers ya establecidos a los anillos WDM.

Cuando se utiliza OTN, los operadores pueden combinar fácilmente múltiples redes y servicios sobre una infraestructura común completamente en el dominio óptico. El resultado final es una red de transporte óptico de banda ancha orientada a tráfico IP, rentable, escalable y flexible que reducirá los gastos de operación. Por lo tanto, IP/OTN permite, no sólo resolver muchos de los problemas de las redes actuales, sino también, hacer frente a los cambios en los modelos de tráfico de las redes y dar soporte a los requerimientos de las redes futuras.

8 Futuro de las redes de comunicaciones

8.1 Introducción

Esta sección repasará algunas de las nuevas tecnologías que están siendo desarrolladas con el objetivo de adaptar las actuales redes a las nuevas necesidades y, finalmente, conseguir que las redes de transporte óptico sean una realidad.

8.2 Conmutación óptica

8.2.1 OCS (Optical Circuit Switching)

Para hacer la red totalmente óptica, en WDM se establecen unos canales de comunicación entre el origen y el destino antes de transmitir los datos, conocidos como caminos ópticos (lightpaths), dando lugar a la conmutación óptica de circuitos (OCS). Los routers IP y los OXCs con MPLS y GMPLS permiten la asignación dinámica rápida de longitudes de onda, proporcionando flexibilidad y rapidez en la redistribución de la anchura de banda a lo largo de la red.

Por tanto, la conmutación de circuitos está orientada a conexión y asocia una longitud de onda ' λ ' a cada conexión entre el nodo origen y destino. Una vez establecida, se envía la información sin retardo alguno y sin necesidad de almacenar y reenviar paquetes en cada nodo. También es posible utilizar diferentes longitudes de onda durante el trayecto mediante la utilización de matrices de conmutación (OXCs) con conversión en longitud de onda.

Sin embargo, esta técnica, que es la que se usa actualmente en la mayoría de las redes de comunicaciones ópticas, plantea los siguientes problemas:

- Antes de la transmisión de una longitud de onda se tiene que negociar un camino óptico para el establecimiento de la conexión. Esto puede provocar retardos excesivos y un uso poco eficiente del ancho de banda.
- Estamos transmitiendo IP, no orientado a conexión, sobre de caminos ópticos WDM, orientados a conexión. Esto nos obliga a introducir una capa intermedia, que dé interfaces de acceso a la red de fibra y sobre la cual se pueda colocar IP. Este entramado de protocolos conlleva claras desventajas, como son la gran cantidad de bits de cabecera que es necesario transmitir y la complejidad de los nodos.

8.2.2 OPS (Optical Packet Switching)

En una red de conmutación óptica de paquetes (OPS), un paquete se encamina desde la fuente al destino enteramente en el dominio óptico, reduciendo el retardo y proporcionando transparencia de datos y un mejor aprovechamiento del ancho de banda.

Sin embargo, esta técnica también plantea algunos problemas que hacen de su implementación algo realmente complejo, puesto que tecnológicamente todavía queda un largo camino por recorrer:

- Los conmutadores no pueden realizar todavía un procesamiento óptico, por lo que es necesario pasar la cabecera al dominio eléctrico y tomar electrónicamente las decisiones oportunas de encaminamiento.
- Es difícil almacenar un paquete que está esperando a ser conmutado, ya sea porque su cabecera se está procesando o porque en ese momento otro paquete está usando esa misma línea de salida, por lo tanto, es importante reducir al mínimo los paquetes perdidos. Una alternativa para los buffers ópticos de paquetes es la desviación, en la que el almacenamiento se resuelve mediante un desencaminamiento intencionado de paquetes, de forma que los enlaces de la red sirvan en sí mismos como buffers.
- Debe existir sincronización entre cabecera y paquete. Los paquetes que llegan en un nodo desde diversas fibras de entrada deben estar alineados perfectamente, de modo que puedan atravesar el elemento óptico de conmutación al mismo tiempo. Una opción para alcanzar esta alineación de paquetes es requerir elementos con retardos ajustables en cada entrada de fibra, así como mecanismos apropiados de control.

8.2.3 OBS (Optical Burst Switching)

La técnica conocida como conmutación óptica de ráfagas (OBS) combina lo mejor de la conmutación de paquetes y de la conmutación de circuitos.

La mayor parte del tráfico que nos encontramos en Internet se distribuye en forma de ráfagas. Esto puede provocar la saturación de ciertos nodos o que haya muchos paquetes para encaminar por un mismo enlace, lo que conlleva un mayor retardo en la transmisión.

La idea que se esconde detrás de la conmutación de ráfagas consiste en encapsular varios paquetes dentro de un macro-paquete y enviar éste a un determinado destino como si se tratara de un único paquete. De este modo, el conmutador sólo tendrá que leer una cabecera, reduciendo sustancialmente el número de transformaciones opto-electrónicas y disminuyendo de manera considerable el retardo experimentado por los paquetes, ya que es la operación en el dominio eléctrico la que contribuye de manera más cuantiosa al retardo global del paquete.

Por otra parte, si conseguimos que la cabecera en donde se encuentra la información de direccionamiento sea enviada con antelación, no será necesario que las ráfagas de datos

esperen en cada nodo a que se realice la configuración correspondiente, ni deban ser almacenadas o pasadas al dominio eléctrico, ya que el nodo en cuestión habrá sido configurado de manera previa a la llegada de dicha ráfaga. Esto implica que las ráfagas son enviadas a su destino sin ningún retardo, salvo el tiempo inicial (debemos esperar a que los nodos estén configurados) y su tiempo de transmisión.

La técnica de conmutación óptica de ráfagas plantea sin embargo algunos problemas por resolver:

- Hay que desarrollar técnicas de ensamblado y encaminamiento de ráfagas y técnicas de envío de ráfagas multicast.
- Son necesarios mecanismos de reserva de recursos para la transmisión de una ráfaga a lo largo de la red.
- Es necesario aplicar algoritmos de planificación, según los cuales los nodos intermedios asignan longitudes de onda a las ráfagas que se están transmitiendo.
- Se deben solucionar los conflictos entre varias ráfagas que se transmitan simultáneamente y de esquemas de prioridad en el tráfico de la red.

8.3 10 Gigabit Ethernet

En 1973, investigadores de Palo Alto Research Center (PARC) de Xerox, y muy especialmente Robert Metcalfe y David Boggs, desarrollaron Ethernet para interconectar los Xerox del laboratorio, los primeros ordenadores personales gráficos desarrollados en PARC. Como el reloj de Ethernet estaba basado en el reloj del sistema, se obtuvo una velocidad de transmisión inicial de 2,94 Mbps. Metcalfe llamó a esta tecnología Ethernet a partir de la palabra Ether, con la que quería describir el medio físico (cable) que transporta los bits a todos los nodos de la red.

Tras la enorme eclosión de Internet queda a menudo oculto que la gran mayoría de las transferencias de datos de todo el planeta comienzan y terminan en una conexión Ethernet. A medida que la velocidad de Ethernet se ha ido incrementado, pasando desde los 10 Mbps iniciales a 100 Mbps y a 1 Gbps, su precio se ha ido recortando paulatinamente debido, principalmente, a las economías de escala de los fabricantes. Al mismo tiempo, Ethernet se ha convertido en la tecnología de red dominante en las LAN. Aprovechar la casi omnipresencia de esta tecnología para soportar el modelo e-business y la demanda de servicios IP de bajo coste es el objetivo del estándar IEEE 802.3ae, que llevará a Ethernet hasta una velocidad de 10 Gbps en distancias de hasta 40 Kilómetros, tanto en entornos LAN como MAN y WAN.

Aunque nuestros terminales de escritorio funcionan con accesos FastEthernet de 100Mbps, y las terminales wireless operan a 54 Mbps o menos, hay una serie de puntos que se deben considerar:

- El tamaño de nuestros archivos está creciendo diariamente, lo que requiere más tiempo para completar la transmisión o aumentar la velocidad para reducir los tiempos.

- En el ámbito empresarial se implementan cada vez más aplicaciones, especialmente algunas que trabajan en tiempo real, que requieren abundante ancho de banda para trabajar adecuadamente.
- El ancho de banda total de los backbone es compartido por todos los usuarios y nuestras redes tienen cada vez mayor cantidad de usuarios, que utilizan archivos de mayor tamaño y aplicaciones multimedia.

8.3.1 Estándar 10 GbE - IEEE 802.3ae

El grupo de trabajo IEEE 802.3ae (Institute of Electronic and Electronics Engineers) ha desarrollado un estándar que permite trabajar con el tradicional Ethernet a una velocidad de 10 Gbps (10 GbE). La nueva norma no sólo dotará a esta tecnología de una capacidad diez veces superior a su máximo actual, sino que también le abrirá las puertas a otras áreas de aplicación diferentes de las LAN, su ámbito tradicional, como las MAN y las WAN, al cubrir distancias de hasta 40 kilómetros.

La compatibilidad prometida con las actuales modalidades de Ethernet (10, 100 y 1000 Mbps) puede conducir a equívocos, pues, aunque 10 GbE respeta el formato y longitud de tramas propio de esta tecnología, da paso a diferencias considerables en cuanto a distancias, cableado, gestión y diseño de red. Esto, sin embargo, no impide que queden aseguradas las inversiones previas en equipamiento Ethernet y en formación del personal responsable de la red.

El formato y las longitudes mínima (64 bytes) y máxima (1.518 bytes) de las tramas no han cambiado, de modo que un flujo de datos 10 GbE tendrá la misma apariencia que el de cualquier otro tipo de Ethernet. Asimismo, al igual que sus predecesores, 10 GbE no incorpora de origen funciones de calidad de servicio (QoS) ni ninguna otra característica avanzada, lo que no impide, obviamente, que pueda utilizarse junto a técnicas QoS.

Donde Ethernet a 10 Gbps sí introduce cambios es en los niveles físicos y de enlace de datos, incluyendo nuevas interfaces ideadas para ser utilizadas específicamente en MAN y WAN. Además, la nueva especificación trabaja sólo en modo full-duplex, a diferencia de los otros tipos de Ethernet, que también admiten operaciones half-duplex. La razón principal se debe al hecho de que, si bien GbE se diseñó para soportar half-duplex, todos los productos basados en esta norma se crearon para soportar full-duplex. Por ello, el grupo de estandarización decidió eliminar directamente half-duplex en 10GbE, lo que significa que en este medio no existirán colisiones. Otro cambio en 802.3ae es que no soporta autonegociación, técnica que, pese a haber sido concebida como una ventaja, en la práctica genera enormes problemas.

Además de los cambios ya mencionados, donde se produce la mayor diferencia de 10 GbE es a nivel físico, ya que el nuevo estándar incluirá, además de una PHY (Physical Layer) LAN que opera a 10 Gbps, una PHY WAN a 9,58464 Gbps, la misma capacidad de carga útil de OC-192 de SONET o su equivalente VC-4-64c de SDH. Esta nueva posibilidad parece lógica si se tiene en cuenta que, desde un primer momento, ha sido un objetivo clave conseguir una integración total de 10 GbE con las MAN y WAN basadas en SONET/SDH, aunque ya son una realidad las MAN Ethernet puras. Parece claro que poder

mover tramas Ethernet sobre redes SONET/SDH ayudará a extender 10 GbE a los ámbitos WAN.

Para salvar el desajustado emparejamiento de velocidades entre los PHY WAN y LAN, el grupo de trabajo IEEE ha definido un mecanismo en la capa MAC (control de acceso al medio) que añade las suficientes señales vacías u “ociosas” en el salto que se produce entre las tramas para ralentizar la velocidad de los datos de 10 a 9,6 Gbps. Y un componente de la capa física, WIS (WAN Interface Sublayer), se ocupa de la formación de tramas y detección de errores de SONET/SDH. En realidad, la interfaz WIS, más que cumplir completamente con SONET/SDH, se encarga de formatear las tramas de modo que se asegure la compatibilidad de velocidades.

El resultado es que los conmutadores Ethernet equipados con interfaces SONET/SDH, al igual que los elementos SONET/SDH del tipo de los ADM equipados con interfaces 10 GbE, pueden mover tráfico Ethernet a través de MAN y WAN SONET/SDH a velocidades OC-192. Asimismo, los sistemas de gestión propios de esta tecnología serán capaces de identificar y monitorizar tráfico Ethernet codificado en tramas SONET/SDH, algo fundamental para los operadores y proveedores de servicios.

El cableado es otro de los aspectos más importantes que afecta a la migración a cualquier tecnología de nueva PHY. Y, lógicamente, lo mismo ocurre con 10 GbE. Los diseñadores de redes habrán de determinar si el cableado existente es capaz de transportar tráfico de 10 Gbps y valorar los límites de distancia impuestos por la nueva especificación.

Inicialmente los estándares 10 Gbps Ethernet operaban exclusivamente sobre fibra óptica, pero la fibra es aún, no sólo más costosa que el cobre, sino también y especialmente, de implementación más compleja. De ahí los esfuerzos que se han realizado para lograr estándares que operen a 10 Gbps sobre cableado de cobre.

En el caso de la fibra, la cuestión sobre la conveniencia de usar fibra monomodo o multimodo, siendo esta última más barata y presente en las empresas desde los tiempos de FDDI, surgió en el seno del grupo de trabajo 802.3ae en el verano de 2000. Fueron estudiadas 26 propuestas de nivel físico relativas al modo de implementar las PHY WAN y LAN, y el grupo, finalmente, decidió incluir ambos tipos de fibra, dejando al usuario libertad de elección en función de los entornos de despliegue concretos.

Por supuesto, para que cualquier PHY resulte útil, cuando se utiliza con interfaces MAN o WAN, ha de ser capaz de sobrepasar el límite de los cinco kilómetros actualmente definido para GbE. Por ello, el grupo de trabajo de IEEE ha especificado cuatro nuevos interfaces: tres en serie, que operan respectivamente a 850, 1.310 y 1.550 nanómetros, y una WDM, que trabaja a 1.310 nanómetros (tabla 8-1). Las interfaces a 850 nm van dirigidas a aplicaciones de muy corto alcance, como los enlaces entre conmutadores o superordenadores. Las interfaces a 1.310 nm y fibra monomodo soportarán distancias de hasta 10 kilómetros (dos veces el límite actual de Gigabit Ethernet). La interfaz a 1.550 nm sobre fibra monomodo operará a distancias de hasta casi 40 km (figura 8-1).

| Tipo PHY | Descripción | Tipo de fibra | Distancia máxima (metros) |
|-------------|---------------------|---------------|---------------------------|
| 10GBase-SR | LAN serial 850-nm | Multimodo | 65 |
| 10GBase-LX4 | LAN WDM 1.310 nm | Multimodo | 300 |
| 10GBase-LR | LAN serial 1.310 nm | Monomodo | 10.000 |
| 10GBase-ER | LAN serial 1.550nm | Monomodo | 40.000 |
| 10GBase-SW | WAN serial 850 nm | Multimodo | 65 |
| 10GBase-LW | WAN serial 1.310 nm | Monomodo | 10.000 |
| 10Gbase-EW | WAN serial 1.550 nm | Monomodo | 40.000 |

nm – nanómetro, WDM – Wave División Multiplexing

Tabla 8-1: Opciones de interfaz óptico 10 GbE

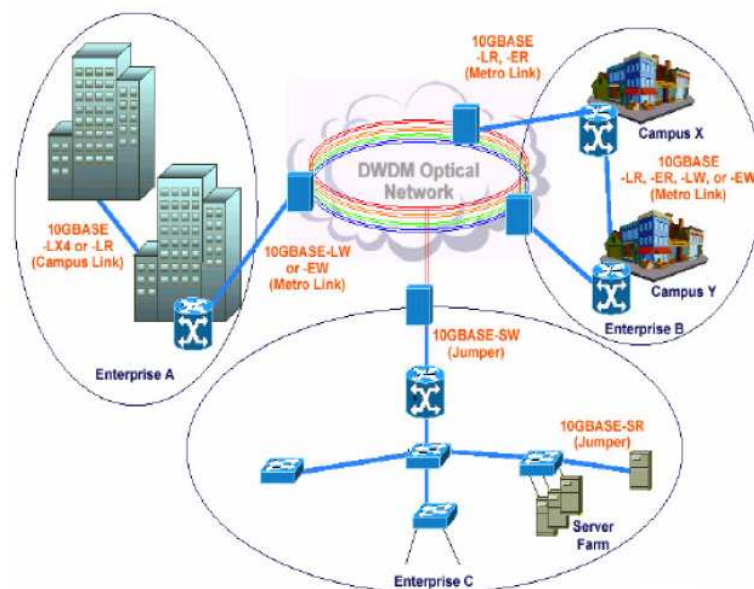


Figura 8-1: Aplicación de las interfaces 10 GbE

En el caso del cobre existe la especificación 10GBase-CX4, que utiliza como medio físico el cableado CX4, es decir, cuatro pares de cobre twin-axial. Sin embargo, aunque los equipos que soporten este esquema costarán quizá la mitad que una infraestructura de fibra, su alcance no sobrepasa los 15 metros, una distancia limitada pero, en principio, suficiente para conectar conmutadores o servidores en un centro de datos. El otro estándar es el denominado 10GBase-T, que se basa en cableado de par trenzado de categoría 6 o superior para distancias de hasta cien metros.

Parece evidente que resulta realmente atractivo emplear cobre en la red troncal, ya que es mucho más barato que la fibra, pero es lógico que nadie se deshaga de la fibra ya instalada. Por lo tanto, lo habitual será que 10 GbE sobre cobre inicie su camino en las infraestructuras de las empresas de nueva creación o en las expansiones o nuevos edificios de las ya existentes.

8.3.2 10 GbE en entornos LAN, MAN y WAN

La tendencia del mercado es migrar hacia una infraestructura de red multiservicio que integre QoS y aumente la velocidad de la red troncal. La tecnología 10 GbE representa un salto sustancial en velocidad con las ventajas que proporciona la madurez, facilidad de gestión, posibilidades de QoS integradas y coste asociado del entorno Ethernet. En favor del desarrollo de esta nueva opción juega el hecho de que, como ha sucedido con las versiones previas de Ethernet, su coste original irá cayendo significativamente con el desarrollo de nuevas tecnologías.

Parece obvio que 10 GbE representa una clara alternativa frente a otras opciones para construir redes de alta velocidad, integradas y homogéneas en todos los entornos. El valor de 10 GbE se caracteriza por:

- No requerir conversión entre paquetes Ethernet, la red es Ethernet extremo a extremo.
- Ofrecer QoS y capacidades de políticas de tráfico en combinación con IP.
- Disponer de una amplia variedad de interfaces ópticos estándar.
- Permitir compatibilidad con la base instalada de interfaces 802.3, preservando las inversiones ya realizadas en investigación y desarrollo en esta tecnología.
- Permitir a las organizaciones mantener las aplicaciones, sistemas operativos, protocolos y herramientas de gestión de red actuales, lo que ahorra costes y tiempo.
- Ofrecer la capacidad de consolidar los servicios LAN, MAN y WAN en la misma plataforma reduciendo los costes al permitir un diseño de red simplificado y sencillo de administrar y mantener.

A diferencia de sus predecesores, 10 GbE no está diseñado específicamente para la LAN, extendiendo la economía y el valor probados de esta tecnología a las redes MAN y WAN. El papel que, por tanto, puede representar en las comunicaciones actuales y futuras es clave. En la LAN permite la agregación de tecnologías 10/100/1000Base-T, en la MAN satisface las crecientes demandas de redes de acceso con una gran capacidad de ancho de banda, mientras que en la WAN proporciona conectividad entre routers centrales o de acceso, ADM SONET/SDH y transpondedores WDM. Su mercado objetivo serán, tanto los operadores y proveedores de servicios dispuestos a desplegar servicios MAN y WAN basados en Ethernet, como aquellas empresas que precisen dotarse de troncales LAN multigigabits altamente escalables.

Gracias a 10 GbE, las redes LAN podrán soportar aplicaciones consumidoras de elevados anchos de banda, con menores latencias de red y además, a mayores distancias. Las corporaciones estarán en condiciones de soportar aplicaciones como streaming de vídeo, imágenes médicas, aplicaciones centralizadas y gráficos de alta gama. El nuevo estándar soporta hasta 40 kilómetros, lo que permitirá a las empresas que gestionan sus propios entornos LAN, situar sus centros de datos en un radio de acción mucho mayor que antes, así como dar servicio a múltiples localizaciones dentro de una cobertura de dimensiones considerables.

Pese a que la industria espera que, poco a poco, las redes corporativas (las más grandes al menos) vayan introduciendo 10 GbE para dotarse de mayor capacidad de tráfico, es en las MAN y WAN donde se prevé que el nuevo estándar tenga su primera y mayor oportunidad de negocio.

Consideremos un servicio MAN típico: una corporación tiene alquilada a un operador o proveedor de servicios cierta capacidad de un anillo SONET/SDH para conectar múltiples oficinas (figura 8-2). El tráfico Ethernet de cada emplazamiento debe ser convertido para su transmisión sobre SONET/SDH por un router/conmutador equipado con interfaces tanto Ethernet como SONET/SDH. Entonces el tráfico se pasa directamente al anillo SONET/SDH mediante ADMs.

Con 10 GbE, el proceso se simplifica considerablemente: los dispositivos pueden transportar tramas Ethernet de forma nativa y de extremo a extremo, incluso utilizando la infraestructura SONET/SDH existente, ya que los PHY WAN de la nueva especificación son compatibles con las velocidades de esta tecnología. Así pues, utilizando PHY WAN y alquilando fibra de los proveedores de servicios, las empresas pueden utilizar 10 GbE para soportar nuevas aplicaciones, como hosting remoto, almacenamiento y backup externos, y recuperación ante desastres. Y los operadores y proveedores podrán ofrecer todos estos nuevos servicios en tan sólo minutos u horas.

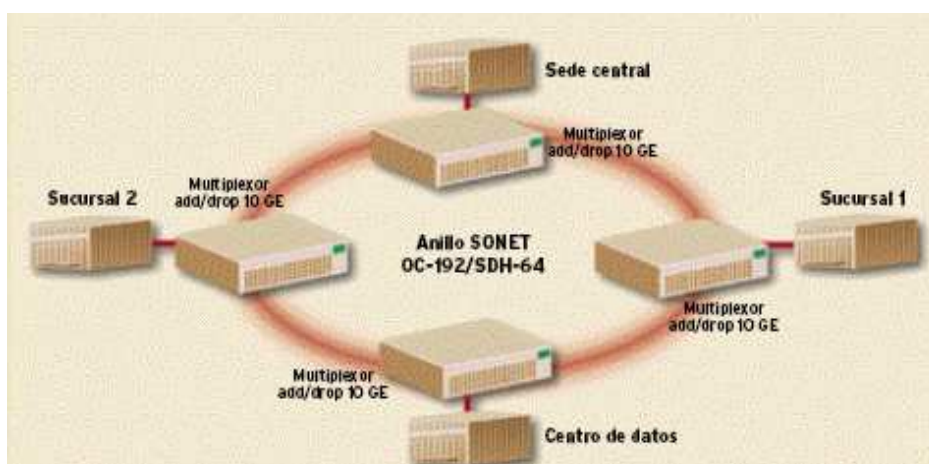


Figura 8-2: 10GbE en un entorno MAN

8.3.3 Desarrollo de un backbone 10 GbE

Anteriormente, Ethernet se utilizaba simplemente como protocolo de capa de enlace punto a punto entre los dispositivos, generalmente routers IP. En un entorno backbone, la ventaja de Ethernet radica en su coste más bajo en relación con SONET/SDH, sin embargo, los estándares de SONET/SDH se han mantenido por delante de Ethernet en términos de velocidad, y esto ha ayudado a mantener SONET/SDH y PoS como opciones preferidas. Actualmente, con Ethernet a 10 Gbps disponible y 100 Gbps en desarrollo por los grupos de estandarización, ha crecido el interés por usar Ethernet en grandes redes backbone de paquetes.

Las cuestiones claves en el despliegue de un backbone Ethernet es el mantenimiento de la escalabilidad en redes Ethernet muy grandes, proporcionando QoS a las aplicaciones que lo necesiten, y la flexibilidad para asegurar que los fallos en el núcleo no generan decenas de miles de quejas del cliente.

Otra característica que debe ser tratada en el diseño un backbone Ethernet es la relación entre Ethernet y otras capas, y esto es de interés particular en el área de la gestión de disponibilidad y flexibilidad. Si existe la recuperación de camino de Ethernet, entonces protocolos de capa superior como IP "no verán" fallos, y los procesos de recuperación podrán ser menos rigurosos en esta capa. De igual forma, si Ethernet se utiliza sobre troncales ópticos auto-recuperables, es importante que el diseño de Ethernet acomode la reconfiguración óptica inferior (ROADMs) para asegurar que no se produzca una "caza" por el descubrimiento de la topología creada por eventos de recuperación de averías multicapa.

Todos estos detalles deben ser considerados dentro del contexto de la planificación de una red robusta y un plan de gestión de operaciones. Hay considerables estándares en proceso para la gestión de Ethernet, sin embargo, es recomendable que los diseñadores del backbone comprueben el estado de los estándares y el soporte específico disponible antes de hacer una elección final y de concluir su posible diseño del backbone Ethernet.

8.4 Next Generation SDH

La tecnología SONET/SDH fue desarrollada hace tres décadas para transportar voz, no para servicios de datos. Hoy en día los proveedores se enfrentan a la migración de la voz a los nuevos servicios basados en IP, como VoIP, videoconferencia, IPTV o video juegos online, entre otros. Esta situación junto con la competencia de otras tecnologías de transporte, han llevado a proponer nuevos estándares que aprovechen mejor las capacidades de transporte IP sobre SONET/SDH.

Entre las nuevas tecnologías que define NG-SDH (Next Generation SDH) se encuentran, la concatenación virtual (VCAT), el esquema de ajuste de capacidad de enlace (LCAS) y el procedimiento de entramado genérico (GFP). Estas técnicas pueden convertir la actual infraestructura SONET/SDH en una red de transporte flexible y eficiente que resuelva los siguientes problemas de la actual red optimizada para voz:

- Dificultad para mapear nuevos servicios en la actual red de transporte.
- Uso ineficiente de la red de transporte para el envío de servicios de datos.
- Capacidad para aumentar o disminuir la anchura de banda disponible para satisfacer las necesidades de los servicios de datos sin afectar al tráfico.

8.4.1 GFP - Procedimiento de entramado genérico

Para hacer la actual infraestructura más orientada a datos se han especificado estándares para transportar varios servicios como IP o Ethernet sobre redes SONET/SDH. Hasta ahora no existía un único protocolo para transportar todo el tráfico orientado a paquetes sobre la infraestructura existente, por lo que los grupos de estandarización han llenado este hueco con la creación de GFP. GFP proporciona un mecanismo genérico para adaptar el tráfico de señales cliente de nivel superior a fin de transportarlas posteriormente por redes SONET/SDH u OTN.

Actualmente hay dos modos de adaptación de la señal cliente definidos para GFP:

- Un modo de adaptación con correspondencia de trama (GFP-F), en el que una trama cliente se convierte en una trama GFP. Está orientado al tráfico Ethernet. Sólo mapea los bytes a transmitir, generando un uso eficiente del ancho de banda, sin embargo, requiere store-and-forward, lo que añade latencia.
- Un modo de adaptación con conversión de caracteres (GFP-T), en el que varios caracteres de datos cliente se convierten en códigos de bloque eficientes para su transporte dentro de una trama GFP de longitud constante. Es una solución de baja latencia que soporta diversos protocolos cliente, así como Ethernet. Mapea toda la señal, lo que facilita que su implementación sea sencilla.

La tabla 8-2 muestra un resumen de las características soportadas por cada uno de los modos de adaptación definidos para GFP.

| Características soportadas | GFP-F | GFP-T |
|---|-------|-------|
| Transparente a códigos de control de trama | NO | SI |
| Optimización de Ancho de Banda | SI | NO |
| Permite monitorización de cada trama | SI | NO |
| Minimiza la latencia de servicios sensibles al retardo | NO | SI |
| Permite opcionalmente corrección de errores | NO | SI |
| Permite compartir el canal de transmisión entre varios clientes | SI | SI |

Tabla 8-2: GFP-P vs. GFP-T

8.4.2 VCAT - Concatenación virtual

Las aplicaciones de datos de alta velocidad llevan años aprovechando las ventajas del transporte rápido de SONET/SDH, donde la unidad básica de anchura de banda en la infraestructura SONET es la señal de transporte síncrono-1 (STS-1) y, para una red SDH, el contenedor virtual-4 (VC-4). STS-1 proporciona algo más de 51 Mbps de anchura de banda mientras que el VC-4 proporciona aproximadamente 155 Mbps. En cada caso, una parte de la anchura de banda se reserva para la tara mientras que la parte más grande, aproximadamente 50 Mbps en un STS-1 y 150 Mbps en un VC-4, sirve como contenedor para la carga útil. El VC-4 se puede componer de tres VC-3s, que son muy similares en tamaño al STS-1 (figura 8-3).

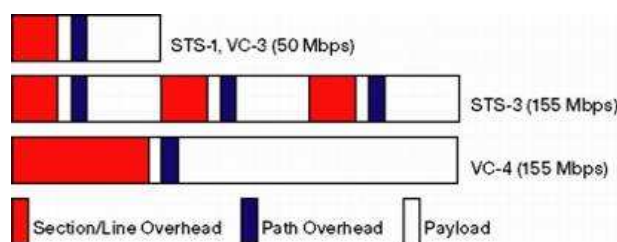


Figura 8-3: Cargas útiles fijas en STS y VC

Estos slots de tiempo STS-1/VC-3 son suficientes para llevar señales de poca velocidad tales como DS1/E1 y DS3, cuyo rango está entre 1,544 Mbps a 45 Mbps. Sin embargo, los protocolos orientados a datos funcionan típicamente con tasas más altas (como 155 Mbps o 2.5 Gbps). Para transportar estos protocolos, la red SONET/SDH tiene que proporcionar capacidades más altas que una carga útil STS-1/VC-3/VC-4. La red hace esto mediante concatenación contigua, uniendo un número de cargas útiles STS-1/VC-3/VC-4, que después se transportan y se conmutan a través de la red como un solo módulo. Mediante el mapeo en cargas útiles más grandes de SONET/SDH, la red de transporte puede acomodar estos protocolos, que de hecho, fueron desarrollados para aprovechar las capacidades de concatenación de SONET/SDH.

Aunque la concatenación contigua y las cargas útiles fijas ofrecen la ventaja de flujos más grandes, pueden generar anchura de banda fragmentada que priva el portador de usar anchura de banda disponible. Cuanto más alta es la tasa de línea, mayor es la posibilidad de fragmentación de la anchura de banda. La figura 8-4 ilustra el problema de la anchura de banda fragmentada en un STS-12 (622 Mbps). Aquí, un STS-9 está en uso y un STS-3c nuevo necesita ser insertado. Aunque un número suficiente de slots de tiempo STS-1 está disponible, no están contiguos, y el espacio es insuficiente para establecer un STS-3c.

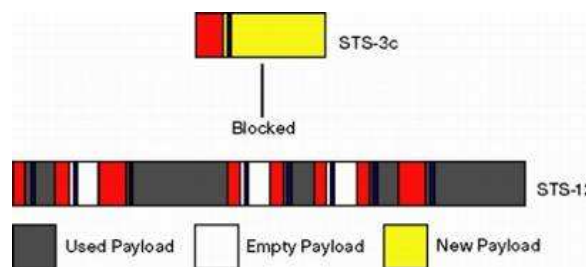


Figura 8-4: Ancho de banda fragmentado en un STS-12

La tecnología de VCAT es la solución a las ineficacias inherentes a las cargas útiles fijas y la concatenación contigua. VCAT permite transmitir y recibir un número de STS-1s/VC-3/VC-4s no contiguos como un solo flujo. Los contenedores pueden transportarse de forma independiente por la red y ser reensamblados en el destino. Esta agrupación de slots de tiempos no contiguos se llama grupo virtual de concatenación (VCG). El ancho de banda queda ajustado al de la señal con lo que se apura la capacidad existente mejorando la flexibilidad para trazar rutas, la granularidad al asignar ancho de banda y el comportamiento frente a cortes.

La concatenación contigua mapea el ancho de banda extremo a extremo, lo que significa que la capacidad de concatenación contigua es requerida no sólo en la fuente y el destino, sino también en cada dispositivo intermedio en la red SONET/SDH. VCAT, por su parte, trocea el ancho de banda en contenedores individuales de carga útil en el transmisor pero los representa como un VCG, es decir, como un solo flujo. Debido a que los miembros del VCG son transmitidos y encaminados individualmente, la capacidad de VCAT se requiere solamente en los dispositivos fuente y destino.

Usando el ejemplo anterior, donde un STS-3c no se podía agregar a la red porque no estaban disponibles el suficiente número de STS-1s/VC-3s contiguos, la figura 8-5 muestra cómo el STS-3c se puede ahora transportar a través de la red como carga útil VCAT.

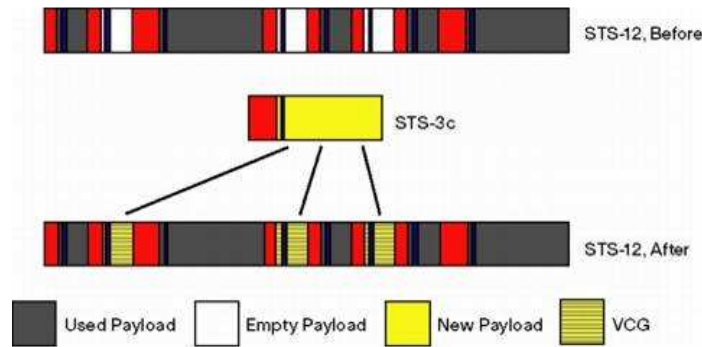


Figura 8-5: Mapeo VCAT en un STS-3c virtual

La tabla 8-3 muestra las eficiencias de anchura de banda del transporte de servicios sobre redes SONET/SDH con VCAT respecto al transporte que no ha implementado VCAT.

| Servicio | Bit Rate | Utilización sin VCAT | Utilización con VCAT |
|------------------|-----------|------------------------|-------------------------|
| Fast Ethernet | 100 Mbps | STS-3c/VC-4 (67%) | STS-1-2v/VC-3-2v (100%) |
| Gigabit Ethernet | 1000 Mbps | STS-48c/VC-4-16c (42%) | STS-3c-7v/VC-4-7v (95%) |
| Fibre Channel | 200 Mbps | STS-12c/VC-4-4c (33%) | STS-1-4v/VC-3-4v (100%) |
| Fibre Channel | 1000 Mbps | STS-48c/VC-4-16c (42%) | STS-3c-7v/VC-4-7v (95%) |
| ESCON | 200 Mbps | STS-12c/VC-4-4c (33%) | STS-1-4v/VC-3-4v (100%) |

Tabla 8-3: Utilización de ancho de banda con y sin VCAT

La tecnología VCAT es capaz de soportar servicios Ethernet con varios niveles de granularidad. Hasta ahora se ha hablado de VCAT de orden alto (HOVCAT), que concatena no contiguamente contenedores relativamente grandes (51 Mbps si se utilizan STS-1/VC-3 y 155 Mbps si se utilizan STS-3c/VC-4). VCAT de orden bajo (LOVCAT) permite el transporte y la conmutación de cargas útiles sub-STs-1.

El slot de tiempo base para LOVCAT en una red SONET es 1.5 Mbps, denominado tributario virtual 1.5 (VT1.5), mientras que el slot de tiempo correspondiente en una red SDH es 2 Mbps y se llama VC-12. Esta anchura de banda más granular proporcionada por LOVCAT permite que los proveedores de servicio utilicen más eficientemente la capacidad de la red porque pueden soportar un servicio Ethernet de 1 Mbps usando un VT1.5 o un VC-12, o un servicio Ethernet 10 Mbps usando siete VT1.5s o cinco VC-12s.

8.4.3 LCAS - Esquema de ajuste de la capacidad del enlace

A pesar de las muchas ventajas de VCAT, los proveedores de servicio saben que los requisitos de anchura de banda de los clientes raramente son estáticos. Y es posible que las necesidades de capacidad de los clientes exijan que el cambio ocurra sin ninguna

interrupción en el servicio. LCAS, un mecanismo de control de VCAT, proporciona esta capacidad.

Como mecanismo de control de capacidad, LCAS permite el aumento o la reducción dinámica de la capacidad de la carga útil de un VCG para alcanzar las necesidades de anchura de banda de la aplicación. Las cargas útiles individuales pueden ser agregadas o quitadas transparentemente en un VCG para reajustar la anchura de banda sin impacto en el servicio. El aumento o disminución de la capacidad puede iniciarse desde cualquier extremo.

LCAS también proporciona capacidades de supervivencia ya que, automáticamente, disminuye la capacidad cuando se detecta una avería en la red, y la aumenta cuando se repara la avería, además proporciona la capacidad de suprimir temporalmente enlaces de elementos que han experimentado un fallo.

Sin estas capacidades, cambiar la anchura de banda de un cliente es siempre problemático para los proveedores de servicio. El mejor escenario para hacer esto, sin interrupción del servicio, es tener suficiente capacidad en la red para que los servicios viejos y nuevos coexistan durante el proceso reaprovisionamiento. En esta situación, el proveedor de servicio conmuta al cliente del viejo al nuevo circuito, una transición que requiere que ambos circuitos estén en servicio por un período de tiempo. Sin tal capacidad extra en la red, el cliente podría esperar una cierta interrupción del servicio durante la "ventana de mantenimiento" que el proveedor de servicio necesite para deshabilitar el viejo circuito antes de que el nuevo circuito pueda ser establecido. Con VCAT y LCAS, los cambios de anchura de banda no generan interrupción.

Además del reajuste del ancho de banda durante el servicio, LCAS ofrece otras ventajas:

- Sustitución dinámica de enlaces con fallo dentro de un VCG sin la eliminación del VCG completo.
- Posibilidad del control unidireccional de un VCG para anchura de banda asimétrica.
- Interconexión del transmisor LCAS con un receptor no LCAS, y viceversa.
- Una gama más amplia de SLAs debido a que la anchura de banda del VCG se puede reajustar dinámicamente.
- Ayuda en la creación de servicios basados en cliente o servicios bajo demanda.

8.4.4 Integración de GFP, VCAT y LCAS

Las redes SONET/SDH representan una inversión significativa para los proveedores de servicio que ha probado su valor a lo largo de los años. Las nuevas tecnologías ahora permiten a los proveedores de servicio mayor eficacia y flexibilidad en estas redes existentes para el transporte de datos. El uso de GFP para mapear servicios de datos en la infraestructura SONET/SDH es el primer paso para orientar la red a datos. VCAT aumenta el valor de la red porque permite el reajuste adecuado de la capacidad de la red para alcanzar las tasas de datos nativas usando lo que, de otra manera, sería ancho de banda fragmentado. También permite que los proveedores de servicio ofrezcan SLAs para los servicios de datos gracias a su capacidad para proporcionar anchura de banda muy granular. Por su parte, LCAS realza el valor de VCAT permitiendo que los proveedores de

servicio hagan ajustes de la anchura de banda para resolver las necesidades cambiantes de los clientes de una manera transparente para estos.

La figura 8-6 muestra cómo LCAS (junto a GFP y VCAT) integran servicios de datos (amarillo) y TDM (verde) de forma flexible. Un OC-48 entrante por la izquierda tiene dos STS-3 y tres STS-1s configurados para tráfico TDM. El ancho de banda restante está disponible como un STS-3c-14v que proporciona 2.1 Gb/s bajo GFP para cualquier aplicación de datos.

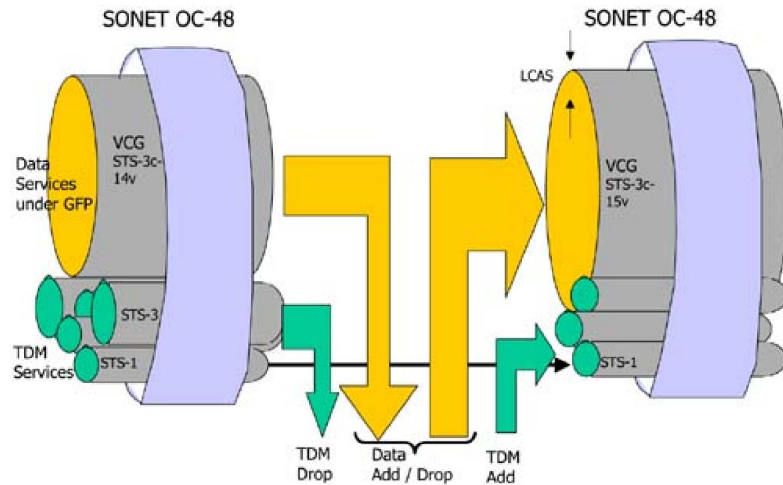


Figura 8-6: Integración de GFP, VCAT y LCAS

Lejos de ser soluciones a corto plazo, estas tecnologías juntas ofrecen una transformación evolutiva de la red SONET/SDH, que permite que los proveedores de servicio protejan su inversión en la infraestructura de transporte existente y resuelvan el desafío de nuevos servicios de una manera eficiente y flexible.

Referencias

- [1] ITU-T Recommendation G.872. “Architecture of Optical Transport Network”.
- [2] K. Sato and S. Okamoto. “Photonic Transport Technologies to Create Robust Backbone Networks”. IEEE Communication Magazine. August. 1999.
- [3] C. Coltro. “Implementing a TCP/IP aware survivable transmission infrastructure”, TSD Vimercate. 29/11/99.
- [4] ITU-T Recommendation G.841. “Types and Characteristics of SDH Network Protection Architectures”.
- [5] S. Okamoto, et al “IP Backbone Network Utilizing Photonic Transport Network Technologies”. Optical Network Magazine. January 2000.
- [6] Kulathumani Vinodkrishnan, Arjan Durrezi, Nikhil Chandhuk, Raj Jain, Ramesh Jagannathan, and Srinivasan Seetharaman. “Survivability in IP over WDM networks”. Department of Computer and Information Science, The Ohio State University.
- [7] Michael S. Borella, Jason P. Jue, Dhritiman Banerjee, Byrav Ramamurthy and Biswanath Mukherjee. IEEE. “Optical Components for WDM Lightwave Networks”.
- [8] Stefano Baroni, John O. Eaves, Manoj Kumar, M. Akber Qureshi, Antonio Rodriguez-Moral and David Sugerman. IEEE. “Analysis and Design of Backbone Architecture Alternatives for IP Optical Networking”.
- [9] Wayne D. Grover. “Mesh-Based Survivable Networks: Options and Strategies for Optical, MPLS, SONET, and ATM Networking”. Prentice Hall PTR. August 26, 2003.
- [10] Nasir Ghani. “IP-Over-WDM Integration Strategies”. Nokia Research Center Boston, USA.
- [11] Colección Fundación France Telecom España. “eEspaña 2006”. 2006.
- [12] ITU-T Recommendation G.709/Y.1331. “Interfaces for the Optical Transport Network (OTN)”. 03/03.
- [13] S. Okamoto. “Photonic Transport Technologies to Create Robust Backbone Networks”. Optical Network Magazine.
- [14] Nasir Ghani, Sudhir Dixit and Ti-Shiang Wang. “On IP-over-WDM Integration”. Nokia Research Center Boston, USA.
- [15] David Ferguson. “Tendencias y estadísticas en Peer-to-Peer”. VP Engineering, CacheLogic.
- [16] Atsushi Watanabe, Satoru Okamoto and Ken-ichi Sato. “Robust IP Backbone Network Utilizing WDM Optical Paths”

- [17] CISCO White Paper. "Efficient and flexible transport of next-generation data services over SONET/SDH using GFP, VCAT and LCAS.
- [18] Recomendación UIT-T Y.2001. "Visión general de las redes de próxima generación". 12/2004.
- [19] Recomendación UIT-T Y.2011. "Principios generales y modelo de referencia general de las redes de próxima generación". 10/2004.
- [20] Recomendación UIT-T Y.2601. "Características y requisitos fundamentales de las redes futuras basadas en paquetes". 12/2006.
- [21] Recomendación UIT-T M.3060/Y.2401. "Principios para la gestión de redes de próxima generación". 03/2006.
- [22] Recomendación UIT-T G.805. "Arquitectura funcional genérica de las redes de transporte". 03/2000.
- [23] Recomendación UIT-T G.831. "Capacidades de gestión de las redes de transporte basadas en la jerarquía digital síncrona". 03/2000.
- [24] Recomendación UIT-T Y.1241. "Soporte de servicios basados en el protocolo Internet que utilizan capacidades de transferencia de protocolo Internet". 03/2001.
- [25] Recomendación UIT-T Y.1720. "Conmutación de protección para redes con conmutación por etiquetas multiprotocolo". 12/2006.
- [26] Suresh Subramaniam. "Optical WDM networks - Principles and Practice". George Washington University.
- [27] Recomendación UIT-T G.697 "Supervisión óptica para sistemas de multiplexación por división en longitud de onda densa"
- [28] Recomendación UIT-T G.803. "Arquitectura de redes de transporte basadas en la jerarquía digital síncrona".
- [29] Recomendación UIT-T G.805. "Arquitectura funcional genérica de las redes de transporte".
- [30] Recomendación UIT-T Y.1541. "Objetivos de calidad de funcionamiento de red para servicios basados en el protocolo Internet".
- [31] Tom Nolle. "Using Ethernet as carrier backbone transport". Telecom Essentials. 07.18.2007.
- [32] Recomendación UIT-T G.7041/Y.1303. "Procedimiento de entramado genérico".
- [33] Recomendación UIT-T G.7042/Y.1305. "Esquema de ajuste de la capacidad del enlace para señales concatenadas virtuales".

- [34] Mohammad Ilyas and Hussein T. Mouftah. “The Handbook of optical communication networks”. CRC Press. 2003.
- [35] Arun K. Somani. “Survivability and traffic grooming in WDM optical Networks”. Cambridge.
- [36] Rajiv Ramaswami and Kumar N. Sivarajan. “Optical networks – A practical Perspective”. Morgan Kaufmann. 2002.
- [37] Khurram Kazi. “Optical Networking Standards – A comprehensive guide for professionals”. Springer. 2006.
- [38] Peter Tomsu and Christian Schmutzer. “Next generation optical networks :the convergence of IP intelligence and optical technology”. Prentice Hall. 2002.
- [39] Kartalopoulos, Stamatios V. “Next generation intelligent optical networks from access to backbone”. Springer. 2008.
- [40] Zheng, Jun Optical. “WDM Networks Concepts and Design Principles”. IEEE Press. 2004.
- [41] Mukherjee, Bishwa Nath. “Optical WDM networks” Springer. 2006.
- [42] ITU-T Recommendation G.841. “Types and characteristics of SDH network protection architectures”.
- [43] ITU-T Recommendation G.842. “Interworking of SDH network protection architectures”.
- [44] ITU-T Recommendation G.798. “Characteristics of optical transport network hierarchy equipment functional blocks”.
- [45] ITU-T Recommendation G.870. “Terms and definitions for Optical Transport Networks (OTN)”.
- [46] 10 Gigabit Ethernet Alliance. “10 Gigabit Ethernet Technology Overview White Paper”. Revision 2, Draft A • April 2002

Glosario

| | |
|--------------|---|
| 2F BLSR | Two Fiber Bidirectional Line Switched Ring |
| 2F MS SPRing | Multiplex Section Shared Protection Ring |
| 2F UPSR | Two Fiber Unidirectional Path Switched Ring |
| 4F BLSR | Four Fiber Bidirectional Line Switched Ring |
| 4F MS SPRing | Multiplex Section Shared Protection Ring |
| ADM | Add/Drop Multiplexer |
| APS | Automatic Protection Switching |
| ARP | Address Resolution Protocol |
| ARPANET | Advanced Research Projects Agency Network |
| ASN | Autonomous System Number |
| ATM | Asynchronous Transfer Mode |
| BER | Bit Error Ratio |
| BGP | Border Gateway Routing Protocol |
| BLSR | Bidirectional Line Switched Ring |
| CAPEX | Capital Expenditures |
| CCITT | Consultative Committee for International Telegraphy and Telephony |
| CRLDP | Constraint based Routed Label Distribution Protocol Digital |
| DoD | United States Department of Defense |
| DPT | Dynamic Packet Transport |
| DWDM | Dense Wave Division Multiplexing |
| DXC | Digital Cross Connect |
| EDFA | Erbium Doped Fiber Amplifier |
| EGP | Exterior Gateway Routing Protocol |
| FEC | Forwarding Equivalent Class |
| FTP | File Transfer Protocol |
| GbE | Gigabit Ethernet. |
| GFP | Generic Framing Procedure |
| GMPLS | Generalized Multiprotocol Label Switching |
| ICMP | Internet Control Message Protocol |
| IEEE | Institute of Electronic and Electronics Engineers |
| IETF | Internet Engineering Task Force |
| IGP | Interior Gateway Routing Protocols |
| ILA | In-Line Amplifier |
| IP | Internet Protocol |
| IPoOTN | IP over OTN |
| IPoSONET/SDH | IP over SONET/SDH |
| IPoWDM | IP over WDM |
| IPS | Intelligent Protection Switching |
| IPTV | Internet Protocol Television |
| IS IS | Intermediate to Intermediate System |
| ISP | Internet Service Provider |
| ITU | International Telecommunication Union |
| LCAS | Link Capacity Adjustment Scheme |
| LCP | Link Control Protocol |
| LDP | Label Distribution Protocol |
| LER | Label Edge Router |

| | |
|------------|---|
| LMP | Link Management Protocol |
| LOH | Line Overhead |
| LSP | Label Switched Path |
| LSR | Label Switch Router |
| MMF | Multi-Mode Optical Fiber |
| MPLS | Multiprotocol Label Switching |
| MPLS TE | MPLS Traffic Engineering |
| MSP | Multiplex Section Protection |
| NCP | Network Control Protocol |
| NNI | Network to Network Interface |
| NFS | Network File System |
| NGN | Next Generation Network |
| NGNM | Next Generation Network Management |
| OADM | Optical Add/Drop Multiplexer |
| OAM&P | Operations, Administration, Maintenance, and Provisioning |
| OBS | Optical Burst Switching |
| OC | Optical Carrier |
| OCh | Optical Channel |
| OCh DPRing | Optical Channel Dedicated Protection Ring |
| OCh SPRing | Optical Channel Shared Protection Ring |
| OCS | Optical Circuit Switching |
| ODSI | Optical Domain Service Interconnect Coalition |
| OMS | Optical Multiplex Section |
| OMS DPRing | Optical Multiplex Section Dedicated Protection Ring |
| OMS SPRing | Optical Multiplex Section Shared Protection Ring |
| OPS | Optical Packet Switching |
| OSI | Layer Open Systems Interconnect |
| OSNR | Signal-to-Noise Ratio |
| OSPF | Open Shortest Path First |
| OTN | Optical Transport Network |
| OXC | Optical Cross Connect |
| P2P | Peer to Peer |
| PARC | Palo Alto Research Center |
| PDH | Plesiochronous Digital Hierarchy |
| PHY | Physical Layer |
| PMD | Physical Medium Dependents |
| POH | Path Overhead |
| POS | Packet over SONET/SDH |
| PPP | Point to Point Protocol |
| QoS | Quality of Service |
| RARP | Reverse Address Resolution Protocol |
| ROADM | Reconfigurable OADM |
| RSOH | Regenerator Section Overhead |
| RSVP | Resource Reservation Protocol |
| SAN | Storage Area Network |
| SDH | Synchronous Digital Hierarchy |
| SLA | Service Level Agreements |
| SMF | Single-Mode Optical Fiber |
| SMTP | Simple Mail Transfer Protocol |
| SNCP | Subnetwork Connection Protection |

| | |
|-------|-----------------------------------|
| SONET | Synchronous Optical Network |
| STM | Synchronous Transport Module |
| STS | Synchronous Transport Signal |
| TCP | Transmission Control Protocol |
| TDM | Time Division Multiplexing |
| TFTP | Trivial File Transfer Protocol |
| TM | Terminal Multiplexer |
| UDP | User Datagram Protocol |
| UPSR | Unidirectional Path Switched Ring |
| UNI | User Network Interface |
| VC | Virtual Container |
| VCAT | Virtual Concatenation |
| VCG | Virtual Concatenated Group |
| VoD | Video on Demand |
| VoIP | Voice over IP |
| VPN | Virtual Private Network |
| VT | Virtual Tributary |
| WADM | Wavelength Add/Drop Multiplexer |
| WDM | Wave Division Multiplexing |
| WIS | WAN Interface Sublayer |
| WLAN | Wireless Local Area Network |
| WWDM | Wide Wave Division Multiplexing |
| WWW | World Wide Web |
| WXC | Wavelength Cross Connect |

Anexos

A SONET/SDH

A.1 Descripción general

La red óptica síncrona SONET (Synchronous Optical Network) es un interfaz óptico para transmisión de alta velocidad sobre fibra óptica. En 1985, comenzó el desarrollo del estándar SONET y en Marzo de 1988 fue publicada la fase 1 del estándar. La jerarquía digital síncrona SDH (Synchronous Digital Hierarchy), fue definida posteriormente por el CCITT (Consultative Committee for International Telegraphy and Telephony) en 1989 mediante una serie de recomendaciones.

Fueron pensados para lograr los objetivos siguientes: interconectar redes multifabricante, ser rentables para los servicios existentes sobre una base extremo a extremo, crear una infraestructura para apoyar nuevos servicios broadband, y mejorar la operación, administración, mantenimiento, y aprovisionamiento (OAM&P).

Otro de los objetivos de esta jerarquía era el proceso de adaptación del sistema PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), ya que el nuevo sistema jerárquico se implantaría paulatinamente y debía convivir con la jerarquía plesiócrona instalada. Ésta es la razón por la que la ITU-T normalizó el proceso de transportar las antiguas tramas en las nuevas.

SONET y SDH han prevalecido ante las desventajas de las redes PDH y permitieron a los proveedores de servicios ofrecer conexiones de alta velocidad, necesarias ante el aumento del transporte de datos, construyendo una red TDM (Time Division Multiplexing) por encima de sus redes de fibra. SONET es el estándar TDM síncrono en Norte América y SDH es su homólogo en Europa y Japón con interoperabilidad asegurada a varios niveles.

A.2 Multiplexación y formación de tramas

Tanto SONET como SDH definen una jerarquía de multiplexación digital y deben asegurar la compatibilidad de equipamientos en implementaciones de red síncronas. La funcionalidad básica es que los diferentes tipos de servicios tales como E0, E1, DS0, T1, y otras, puedan ser mapeadas en cargas útiles apropiadas (payloads) que son multiplexadas en señales ópticas síncronas.

Una amplia variedad de señales pueden ser transportadas a través de una infraestructura SONET/SDH. Una señal insertada o extraída a través de un interfaz tributario es mapeada en un contenedor apropiado. Este contenedor es el tributario virtual (virtual tributary - VT) en SONET y contenedor virtual (virtual container - VC) en SDH.

SONET está basado en señales DS1, combinando 24 DS0s (canales de 56 Kbps) en un stream de 1,54 Mbps. SDH está basada en señales E1, combinando 32 E0s (canales de 64

Kbps) en una E1 a una velocidad de 2,048 Mbps. SONET especifica una tasa de transmisión base de 51,84 Mbps, llamada STS-1 (Synchronous Transport Signal). La señal óptica equivalente se llama OC-1 (Optical Carrier), sin embargo, debido a que esta primera interfaz óptica no es usada en la práctica, la primera interfaz óptica SONET que deber ser considerada es la interfaz OC-3 a 155 Mbps. Para asegurar que ambos sistemas sean compatibles, SONET y SDH convergen en una jerarquía común de multiplexación. SDH define su nivel básico, el STM-1 (Synchronous Transport Module), a 155,52 Mbps, que es tres veces el nivel base de SONET. Desde un punto de vista funcional, la estructura de ambas tramas es prácticamente la misma.

La estructura de trama STM-N se muestra en la figura 0-1. Consta de campos de carga útil de información, punteros y tara de sección, organizados en una estructura de trama de bloque que se repite cada 125 μ s. La información está adaptada para su transmisión por el medio elegido a una velocidad que se sincroniza con la red. Los STM de mayor capacidad se constituyen a velocidades equivalentes a N veces la velocidad básica. Se han definido capacidades de STM-N para N=4, N=16 y N=64.

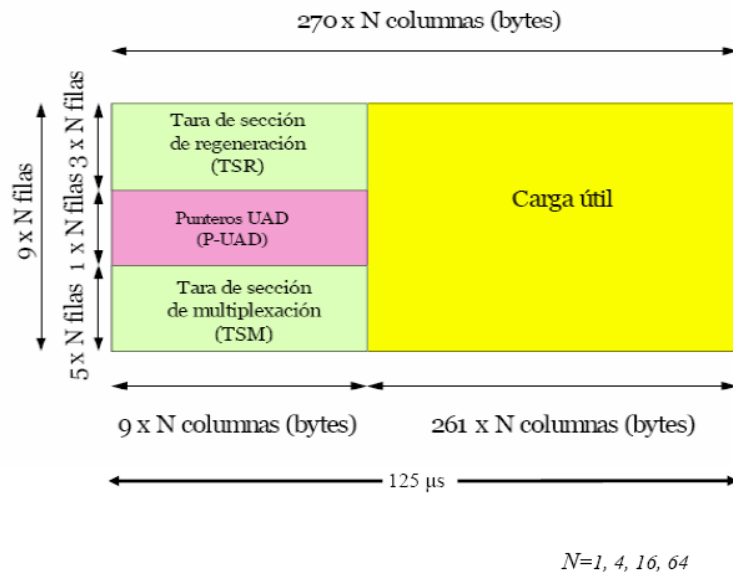


Figura 0-1: Estructura de trama STM-N

La tabla 0-1 muestra la relación entre las velocidades binarias de SONET y SDH.

| Canal Óptico | SONET | SDH | Payload Rate (Mbps) | Line Rate (Mbps) |
|--------------|---------|--------|---------------------|------------------|
| OC-3 | STS-3 | STM-1 | 150,336 | 155,520 |
| OC-12 | STS-12 | STM-4 | 601,344 | 622,080 |
| OC-48 | STS-48 | STM-16 | 2405,376 | 2488,320 |
| OC-192 | STS-192 | STM-64 | 9621,504 | 9953,280 |

Tabla 0-1: Correspondencia de velocidades binarias SONET y SDH

En la figura 0-2 se muestra el esquema de multiplexación y mapeo para las señales más importantes de SDH.

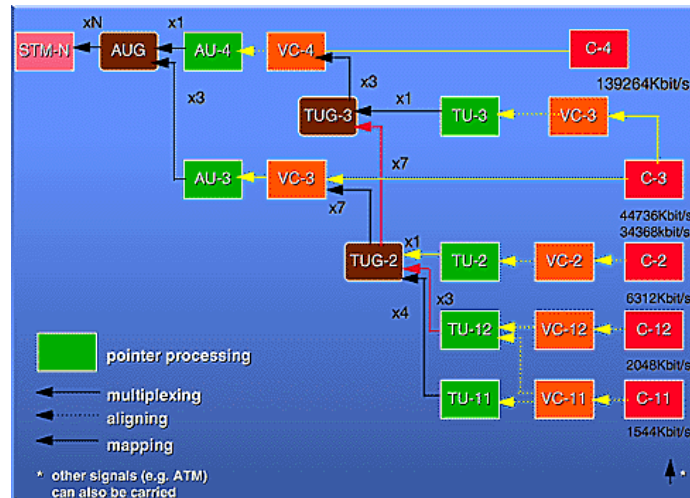


Figura 0-2: Jerarquía de multiplexación SDH

A.3 Estructura de capas SONET/SDH

El estándar SONET/SDH especifica un modelo de referencia de red para definir una estructura apropiada para todos los mecanismos en un escenario de red complejo. Se definen tres capas (figura 0-3). Cada elemento de red puede ser parte de una o más de estas capas de acuerdo a su tarea y sus requerimientos.

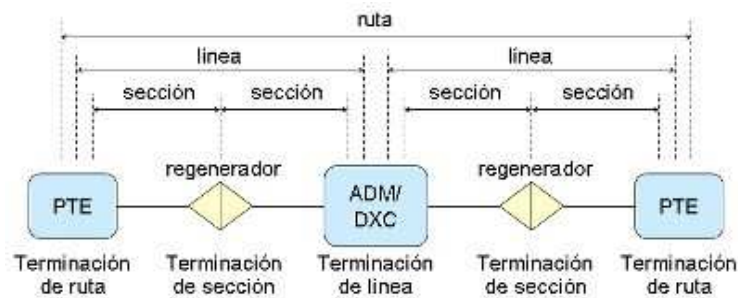


Figura 0-3: Modelo de referencia de red SONET/SDH de tres capas funcionales

La capa inferior llamada capa de sección (Section Layer - SONET) o capa de sección de regeneración (Regenerator Section Layer - SDH), incorpora la transmisión óptica y la regeneración de señal. Todos los elementos de red son parte de esta capa, en particular, los regeneradores no forman parte de ninguna otra capa, porque simplemente regeneran la señal óptica a lo largo de interconexiones de larga distancia.

La segunda capa se llama capa de línea (Line Layer - SONET) o capa de sección de multiplexación (Multiplex Section Layer - SDH). En esta capa varias señales de baja

velocidad son multiplexadas y demultiplexadas en la señal de alta velocidad de la interfaz troncal. Los multiplexores y DXCs son parte de esta capa.

La tercera capa es responsable de la conexión extremo a extremo y se llama capa de trayecto (Path Layer - SONET y SDH). Los equipamientos clientes de terminación de conexiones forman parte de esta capa.

Se requiere información de control en cada capa para señalización, monitorización de funcionamiento o conmutación de protección. Esta información de control se lleva en la tara de cada capa. Por lo tanto, un multiplexor añade cierta tara de trayecto (POH) a la señal que llega de los interfaces tributarios. Estos multiplexan múltiples señales juntas y añaden la tara de sección (SONET) o tara de sección de multiplexación (SDH). Finalmente, antes de que sea enviada al siguiente elemento de red, se añade la tara de línea (LOH) en SONET o la tara de sección de regeneración (RSOH) en SDH.

A.4 Disponibilidad de red

La disponibilidad de la red es una de las claves en los criterios de diseño en el caso de proveedores de servicios de telefonía, estos servicios normalmente requieren un tiempo de disponibilidad cercano al 100%. La red debe ser diseñada para manejar cortes en la red, así como fallos en el equipamiento. SONET/SDH han sido diseñados específicamente para proporcionar estos requerimientos.

En una red SONET/SDH, siempre hay algo de capacidad reservada para propósitos de protección. En una arquitectura típica en anillo, siempre hay una fibra en uso (anillo) y una fibra de protección (anillo). Normalmente, en SONET/SDH, el camino de protección sólo es usado en condiciones de fallo para reencaminar y restaurar el tráfico afectado por el fallo. Este reencaminamiento es llevado a cabo exclusivamente basado en información de disponibilidad de la red SONET/SDH y no se tiene en cuenta peticiones de accesibilidad o disponibilidad de capas superiores, como IP.

En la tara de la trama SONET/SDH, los bytes K1/K2 son usados para propósitos de conmutación de protección, intercambiando información sobre protección o monitorización de funcionamiento. Usando la información de los bytes K1/K2, se implementa un protocolo de señalización de protección que es usado por los elementos de la red SONET/SDH para comunicarse, monitorear el estatus de la red, detectar fallos, y reaccionar apropiadamente para restaurar el tráfico con fallo.

Con los mecanismos de conmutación de protección implementados en la capa SONET/SDH, los fallos pueden ser restaurados típicamente en 60 ms, y las capas superiores normalmente no se darán cuenta de que ha ocurrido un fallo. Es importante entender que, en cualquier momento en que una nueva tecnología o combinación de ellas vaya a reemplazar a SONET/SDH, todos los mecanismos de protección deben estar garantizados por esta nueva implementación. De otra manera, ningún proveedor de servicios reemplazara una parte de red existente que sea fiable.

A.5 Protocolos utilizados por SONET/SDH

A.5.1 POS (*Packet over SONET/SDH*)

POS permite colocar la capa IP directamente por encima de la capa SONET/SDH ofreciendo QoS garantizado.

Debido a que IP es un protocolo de capa de red no orientado a conexión (mientras que SONET/SDH es un protocolo de capa física), el salto entre la capa 3 y la 1 debe ser llenado. Esto se consigue mediante PPP (Point-to-Point Protocol), que se usa para encapsular paquetes IP en streams de datos que son mapeados en la carga útil de SONET/SDH (figura 0-4).

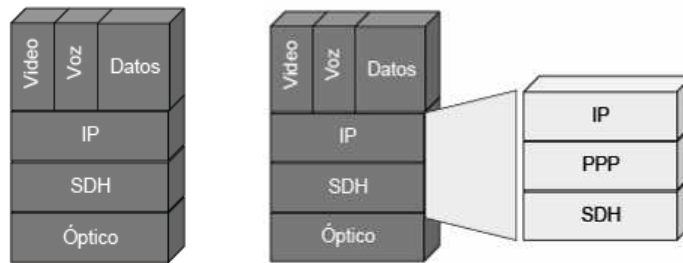


Figura 0-4: Estructura de capas PPP

PPP consiste en dos partes. LCP (Link Control Protocol) que establece y testea el enlace de conexión de datos, y NCP (Network Control Protocol) que actúa como interfaz para el protocolo de capa 3.

A.5.2 APS (*Automatic Protection Switching*)

APS es el protocolo de señalización usado en anillos SONET para reconfiguración automática de circuitos. Mediante el uso de los bytes de sobrecarga K1/K2 de la trama SONET, los nodos detectan una señal de fallo, y otros nodos son forzados a conmutar al circuito de protección. Con APS el tiempo límite de recuperación de SONET de 60 ms puede ser alcanzado.

Para un anillo SDH se define MSP (Multiplex Section Protection) como contraparte al APS de SONET. Al igual que SONET y SDH son tecnologías similares, APS y MSP son también similares en sus funciones. Por lo tanto, cuando se use el término APS estarán implicados tanto APS como MSP.

Los OADMS usados en redes ópticas también pueden ser capaces de procesar los bytes K1/K2 y, por lo tanto, también pueden soportar APS. Además, APS puede ser aplicado en anillos ópticos directamente para aplicar funcionalidades UPSR (Unidirectional Path Switched Ring) y BLSR (Bidirectional Line-Switched Ring).

A.6 Equipamiento para SONET/SDH

Una red típica SONET/SDH consiste básicamente en cuatro elementos de red diferentes:

- Add/Drop Multiplexer (ADM)
- Terminal Multiplexer (TM)
- Digital Cross-Connect (DXC)
- Regenerator

Los ADMs son usados para redes en anillo y los TMs en topologías en línea. Si la distancia entre dos multiplexores excede aproximadamente los 40 kms, se debe colocar un regenerador entre ellos. El regenerador asegura una transmisión apropiada mediante la regeneración de la señal óptica, que ha sido degradada durante la transmisión a través de la fibra.

Los multiplexores están equipados con dos tipos de interfaces, troncales y tributarios. Los interfaces troncales son usados para interconectar multiplexores, tienen un rango desde OC-3/STM-1 a OC-192/STM-64. Los interfaces tributarios son usados para conectar equipamiento cliente, como routers IP o switches telefónicos. El rango disponible para interfaces tributarios comienza típicamente en el nivel de jerarquía del interfaz troncal y decrece hasta interfaces DS0 o E1.

Para hacer posible la conmutación de un segmento de un anillo a otro o a un segmento punto a punto, se usan DXCs. Dependiendo del nivel de conexiones que tengan que ser conectadas, deben ser usados distintos tipos de DXC y tributarios apropiados. Por ejemplo, si deben realizarse conexiones en el nivel DS1/E1, se usarán tributarios DS1/E1 para conectar los multiplexores al DXC y se seleccionará un DXC capaz de conmutar el nivel DS1/E1.

A.7 Ventajas y desventajas de SONET/SDH

Algunas de las ventajas de SONET/SDH son:

- Tienen un formato síncrono de multiplexación que simplifica la interconexión con otros equipos.
- Son utilizados actualmente por todos los proveedores importantes de telecomunicaciones.
- Son estándares muy bien desarrollados, tanto internacionales como domésticos.
- Disponen de supervisión de funcionamiento y detección de averías exactos, facilitando el aislamiento centralizado de fallos.
- El proceso de multiplexación utiliza punteros que permiten una localización sencilla y rápida de las señales tributarias.
- Las tramas tributarias de las señales pueden ser subdivididas para acomodar cargas de menor orden. Esto supone mezclar tráfico de distinto tipo dando lugar a redes flexibles.

- Permiten compatibilidad eléctrica y óptica entre los equipos de los distintos proveedores gracias a los estándares internacionales sobre interfaces eléctricos y ópticos.

Algunas de las desventajas de SONET/SDH son:

- La flexibilidad está limitada para proporcionar líneas de varias velocidades. Por ejemplo, si un cliente necesita 70 Mbps de capacidad, SDH puede proporcionar solamente 155 Mbps (STM-1). El cliente estaría obligado a comprar más de lo que actualmente necesita.
- Requieren equipamiento significativo para hacer que la red funcione.
- El aprovisionamiento de los elementos de red es lento llegando con frecuencia a las semanas para la terminación de circuitos.
- Requieren sincronismo entre los nodos de la red con todos los servicios trabajando bajo una misma referencia de temporización.
- La compatibilidad ha estado por encima de la optimización de ancho de banda. El número de Bytes destinados a cabecera es demasiado grande, lo que conlleva pérdida de eficiencia.

B Comunicaciones sobre fibra óptica

B.1 Descripción general

La fibra óptica como medio de transporte ofrece gran capacidad. Debido a las propiedades de transmisión de las fibras, una señal óptica modulada, que generalmente es insertada con un láser, puede ser transmitida varios kilómetros antes de que deba ser recuperada. Con las tecnologías disponibles hoy en día (láseres y fibras), la señal debe ser recuperada cada 40-80 km. La tasa típica de velocidad alcanzable con técnicas avanzadas de modulación, permite el envío de datos por encima de 10 Gbps por longitud de onda (frecuencia óptica). Si se usan múltiples longitudes de onda en paralelo por una fibra (WDM - Wavelength Division Multiplexing), la capacidad de transmisión por fibra puede llegar hasta el rango de los Tbps.

Con el despliegue de estas tecnologías, los proveedores pueden construir fácilmente redes ópticas con grandes capacidades de transmisión, que van desde varios Gbps hasta Tbps, formando las bases de la red backbone de transporte actual y de próxima generación.

B.2 WDM (Wavelength Division Multiplexing)

La tecnología de multiplexación por división de longitud de onda (WDM) se conoce desde los años 80. En comunicaciones de fibra óptica, WDM es cualquier técnica por la cual dos o más señales ópticas de diferentes longitudes de onda se puedan transmitir simultáneamente en la misma dirección en un filamento de fibra, y después ser separados por longitud de onda en el extremo final. Cada longitud de onda es un “canal virtual” o “camino óptico” que puede soportar una tasa dada, como OC-48 a 2.4 Gbps u OC-192 a 10 Gbps.

En ocasiones, se hace referencia a las longitudes de onda como diversos colores, sin embargo, en esta parte del espectro (típicamente en el rango de los 1500 nm) no es una diferencia en color tanto como un cambio en frecuencia. Cada longitud de onda se utiliza para llevar datos y se le asigna un número de canal. La información digital es enviada a través de la fibra a un receptor dedicado, donde un demultiplexor la extrae (figura 0-5).

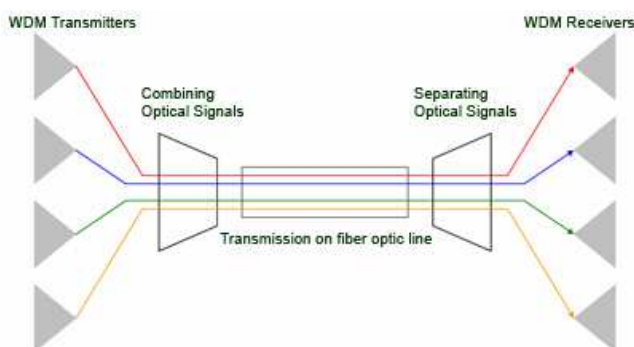


Figura 0-5 : Tecnología WDM

Los primeros sistemas operaban con dos o cuatro longitudes de onda, aumentando este número rápidamente. Más allá de WDM está WWDM (Wide Wave Division Multiplexing), y por encima DWDM (Dense Wave Division Multiplexing). Hoy en día DWDM permite 16, 32, 128 o incluso más longitudes de onda en la ventana de los 1550 nm.

La ITU se muestra activa para tratar de estandarizar un conjunto de longitudes de onda para su uso en redes WDM. El número de los canales ópticos sobre una sola fibra depende de cómo se diseñe la red, es necesario asegurar la interoperabilidad entre sistemas de diferentes fabricantes. El rango de canales estandarizado incluye espaciado de 50, 100, 200, y 1000 GHz, proporcionando a los desarrolladores de sistemas WDM flexibilidad suficiente para optimizar el sistema específico para sus necesidades. Se sugiere que la banda WDM sea alojada en la ventana de 1550 nm con una frecuencia nominal central de 193,10 THz (1544,53 nm), siendo preferible la ventana de 1310 nm debido a la menor atenuación y a la posibilidad de usar amplificadores EDFAs (Erbium-Doped Fiber Amplifiers). Usando el estándar de espaciado de 100 GHz en la ventana de 1550 nm se pueden transmitir un máximo de 41 canales a través de una única fibra.

En teoría, la tasa de señal para cada longitud de onda y el número de canales puede incrementarse según las necesidades. Un incremento de la tasa de señal conlleva un espectro de señal más ancho, y un incremento en el número de canales menos espaciado entre canales. Los canales, por lo tanto, se mueven en conjunto, y el límite práctico está definido por el láser aplicado y la tecnología de filtros, de forma que los canales no se solapen. Además, las redes WDM y sus componentes tienen que trabajar con las influencias de la transmisión de señal óptica, incluyendo atenuación, dispersión, no linealidad de las fibras y relación señal óptica a ruido (OSNR)

Algunas ventajas y desventajas de WDM/WDM se muestran en la tabla 0-2.

| VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|---|----------------------------|
| Usa una fibra para crear múltiples canales | Alto coste de equipamiento |
| Permite anchos de banda variados según la necesidad de cada aplicación particular | |
| Permite añadir ancho de banda temporal o permanentemente sin la interrupción de ningún circuito | Falta de estándares |

Tabla 0-2: Ventajas y desventajas de WDM

B.3 Añadiendo WDM a la arquitectura de red

Los sistemas WDM abiertos proveen interfaces ópticos estandarizados SONET/SDH a 2,5 ó 10 Gbps de acuerdo a la especificación ITU-T WDM. Estos sistemas pueden ser usados con equipamiento SONET/SDH o routers IP equipados con interfaces de longitud de onda.

Los múltiples canales de WDM actúan como “fibras virtuales” para transmitir cualquier tipo de señal, como SDH o tráfico IP.

Los puertos de entrada de longitud de onda tienen un modulador para transformar la longitud de onda al canal WDM adecuado (figura 0-6). El multiplexor óptico multiplexa estas longitudes de onda y las envía a través del canal multilongitud de onda. En el lado de recepción, cada canal es demultiplexado mediante un filtro óptico. Los regeneradores/amplificadores reestructuran y reamplifican la señal de longitud de onda.

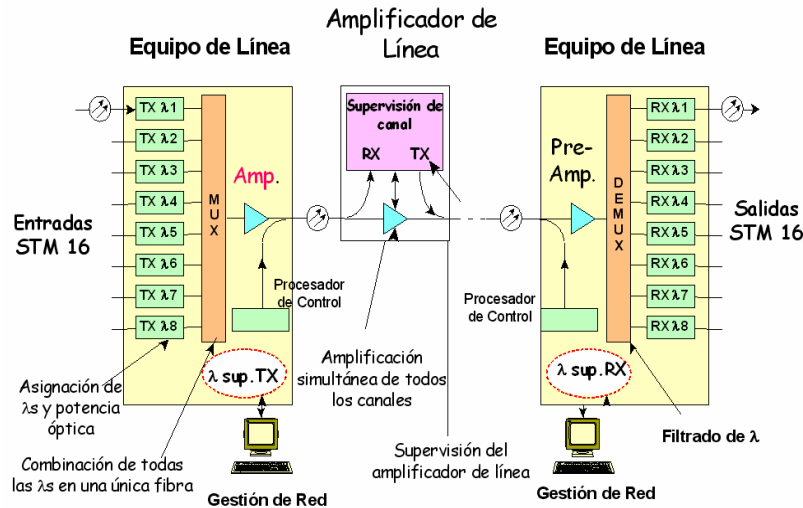


Figura 0-6: Sistema WDM con interfaces SDH

Con WDM los proveedores tienen la capacidad de construir conexiones multigigabit en sus redes aumentando su escalabilidad. La demanda de ancho de banda puede ser fácilmente cumplida añadiendo canales de longitud de onda al sistema, proporcionando “fibras virtuales” adicionales. Los proveedores también pueden ofrecer alquiler de líneas ópticas dedicando longitudes de onda exclusivas a los clientes. Estos nuevos tipos de servicios revolucionarios mejoran la flexibilidad de los clientes debido a la independencia de las velocidades de los servicios en las longitudes de onda. Los clientes pueden construir redes TDM tradicionales con SONET/SDH o redes de datos de nueva generación con la interconexión directa de routers IP con diferentes longitudes de onda.

Los sistemas WDM pueden ser usados con conexiones punto a punto pero también en aplicaciones en anillo (figura 0-7). Ambos pueden ser sistemas tanto unidireccionales como bidireccionales. Los sistemas unidireccionales WDM usan todos los canales disponibles en una conexión de fibra para recepción o transmisión, mientras que los sistemas bidireccionales tienen algunas longitudes de onda para recepción y otras para transmisión en la misma fibra. Los sistemas punto a punto son más comúnmente usados para incrementar la capacidad de la fibra en conexiones de larga distancia.

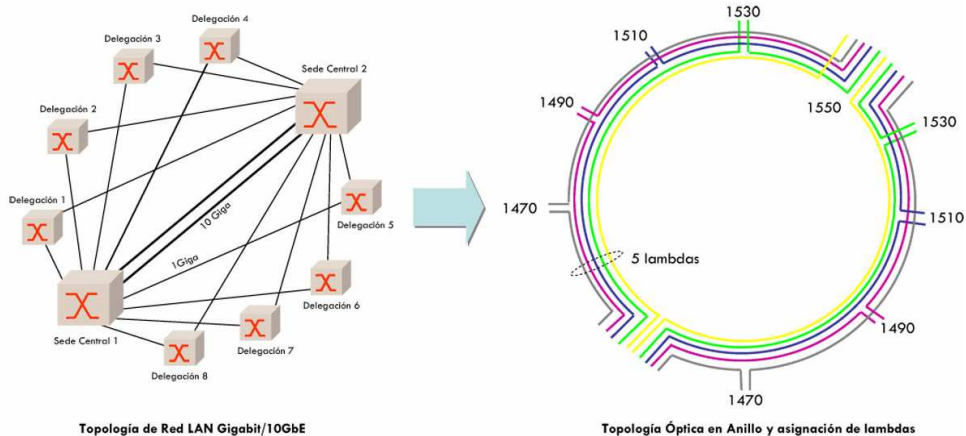


Figura 0-7: Conversión de una red mallada en un anillo WDM

Actualmente, el aprovisionamiento de anchura de banda que usa sistemas de WDM/DWDM se hace manualmente. Se da una orden al proveedor, que define la trayectoria del nuevo circuito para la capacidad adicional solicitada. Una vez que la orden es completada, se notifica al cliente. Esto hace que el proceso de obtención de anchura de banda adicional lleve algunos días. OTN intenta automatizar este proceso para poder resolver las peticiones de anchura de banda adicional cerca del tiempo real.

Los sistemas WDM típicamente usan protección 1+1 para controlar los fallos en la fibra o en los canales. Los dos terminales WDM están interconectados mediante dos fibras, cada longitud de onda se envía por ambas fibras, el extremo receptor compara ambas señales ópticas y usa la mejor.

B.4 Equipamiento para comunicaciones ópticas

B.4.1 OXC - Optical Cross-Connect

Cuando se implementa una red óptica inteligente son necesarios cross-connects ópticos (OXCs) o cross-connects de longitud de onda (WXC). La figura 0-8 muestra un equipo OXC con DWDM.

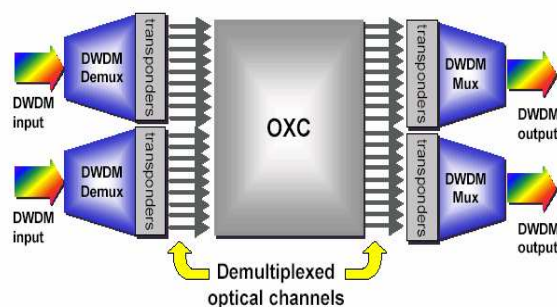


Figura 0-8: Equipo OXC con DWDM

Un OXC permite conmutación a nivel de longitud de onda proporcionando interfaces ópticos estándar. Esto mejora la inteligencia de encaminamiento implementada en la unidad de administración de red, que controla y gestiona la forma en que los diferentes canales de longitud de onda se conmutan.

Los OXCs tienen varias características:

- Distribuyen conexiones extremo a extremo, que son usadas para construir la topología deseada (malla, anillo, o punto a punto) de la red IP.
- Hacen posible proporcionar caminos ópticos extremo a extremo dinámicamente a través de la red OTN.
- Los mecanismos de supervivencia son mejorados por la inteligencia y la funcionalidad de encaminamiento individual a nivel de longitud de onda.
- La ubicación de las conexiones es reoptimizada de acuerdo a los cambios en la utilización de red y los patrones de tráfico, por lo tanto se consigue una capacidad de utilización de red óptima.
- Permiten encaminamiento de longitud de onda con y sin conversión.

Los bloques principales de un OXC son, el núcleo de conmutación (switching backplane), que contiene al conmutador central propiamente dicho, y el sistema de puertos (I/O system) que aloja las tarjetas con los interfaces para comunicarse con otros equipos. El sistema de puertos proporciona acceso al núcleo a través de interfaces ópticas, lo que conlleva una conversión electro/óptica en el caso de routers eléctricos o híbridos.

La conversión de longitud de onda juega un papel muy significativo en los OXCs permitiendo la reutilización eficiente de la longitud de onda en redes ópticas. En ausencia de conversión de longitud de onda, a un camino óptico se le debe asignar la misma longitud de onda en todos los enlaces del camino a través de la red.

La figura 0-9 muestra un ejemplo de asignación de longitud de onda. Si el OXC proporciona conversión, el camino óptico de A a C y de F a C puede usar el enlace entre B y C. Sin conversión, el camino entre F y C debe tomar el camino más largo a través del nodo E y D.

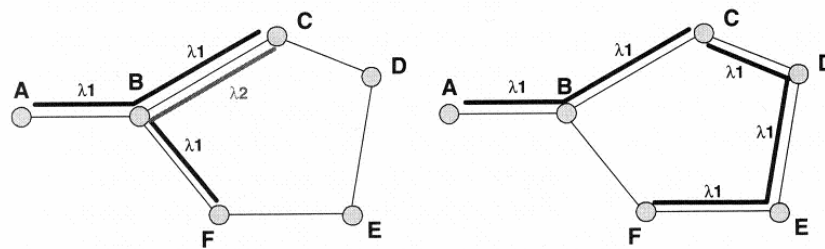


Figura 0-9: Asignación de longitud de onda con y sin conversión

En los OXCs el encaminamiento está basado en protocolos basados en el estado del enlace, como OSPF o IS-IS. Hoy en día no hay un estándar propuesto como protocolo de encaminamiento a nivel de longitud de onda por ningún organismo. El criterio para implementar un algoritmo como protocolo de encaminamiento de longitud de onda es que cada OXC debe conocer la topología completa de la red. Esta es la razón por la que los

protocolos basados en el estado de enlace deben ser usados. Además, los mensajes de estado de enlace recopilan información que debe ser intercambiada para hacer posible el reencaminamiento.

Los OXCs proporcionan dos tipos de señalización. El primero es usado para el intercambio de información entre OXCs en relación con los protocolos de encaminamiento usados. El segundo tipo de señalización es usado por el núcleo de conmutación para manejar el proceso local de conmutación de longitudes de onda.

En lo relativo al núcleo de conmutación, se pueden distinguir tres tipos de OXCs:

- La primera generación son los OXCs eléctricos, que usan conmutación eléctrica.
- Los OXCs híbridos, tienen conmutación mixta, eléctrica y óptica.
- La tercera categoría incluye los OXCs ópticos, que usan conmutación completamente óptica.

La mayoría de las implementaciones actuales están basadas en conmutación eléctrica. Las implementaciones híbridas representan un camino intermedio hacia la conmutación totalmente óptica. La mayoría de los productos que se van a poder ver en los próximos años estarán basados en la mayoría de los casos en arquitecturas de OXCs híbridos.

OXCs eléctricos

Los OXCs eléctricos terminan las longitudes de onda en convertidores O/E, transformándolas en señales eléctricas, y las conmutan en el dominio eléctrico mediante una matriz de conmutación eléctrica. La figura 0-10, muestran un OXC eléctrico. El tráfico entrante por cualquier puerto puede ser conmutado a través de la matriz hasta cualquier puerto de salida.

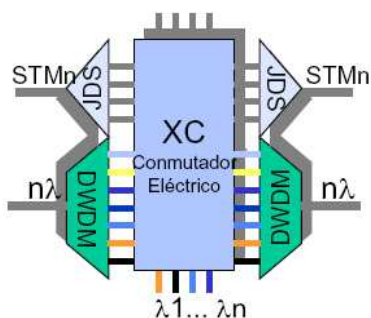


Figura 0-10: OXC Eléctrico

OXCs híbridos

La matriz de conmutación del OXC híbrido es una mezcla conmutación eléctrica y óptica. La mayoría de los caminos están conectados a la matriz de conmutación óptica, que es usada para conmutar transparentemente cada longitud de onda. Sólo en los casos en los que se requiere la transformación de longitud de onda, debido a que el sistema WDM en la salida deseada ya ha asignado la longitud de onda usada en la entrada, o el canal de salida

deseado no está directamente conectado a la matriz de conmutación óptica, se utiliza la matriz de conmutación eléctrica (figura 0-11).

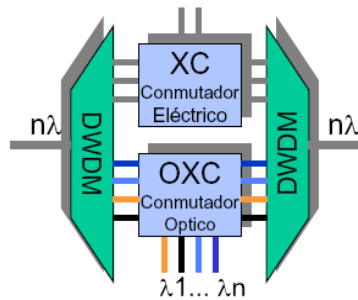


Figura 0-11: OXC híbrido

OXCs ópticos

En los OXC's ópticos no tiene lugar conversión electro/óptica. La matriz de conmutación es completamente óptica. La figura 0-12, muestran un OXC óptico. El OXC óptico es eficiente en términos de coste al ahorrar transpondedores y convertidores O/E y E/O. Conmuta longitudes de onda transparentemente y no se encarga de la regeneración de la señal ni de la formación de tramas y agrupamiento de tráfico de baja velocidad (necesario para agregar señales y rellenar completamente canales de longitud de onda), lo cual hace que el diseño de la red óptica sea más difícil.

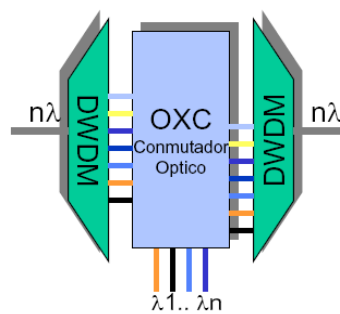


Figura 0-12: OXC óptico

B.4.2 OADM - Optical Add/Drop Multiplexer

Los multiplexores ópticos de inserción/extracción (OADM's), también llamados multiplexores de inserción/extracción de longitud de onda (WADM's), son empleados para insertar y extraer longitudes de onda individuales de una fibra óptica completamente en el dominio óptico (sin ninguna conversión de la señal óptica al dominio eléctrico).

Los OADM's, pueden insertar o extraer canales específicos predefinidos o un grupo de canales, independientemente de su contenido, a través de los puertos locales. Aunque se demultiplexan todas las longitudes de onda a través de un acoplador óptico común, en un

nodo solamente se insertan o extraen longitudes de onda dadas, el resto de longitudes de onda pasan ópticamente. La figura 0-13 muestra el esquema de funcionamiento de un OADM, en el que los longitudes de onda λ_1 , λ_2 y λ_3 son de paso y λ_4 se inserta/extrae.

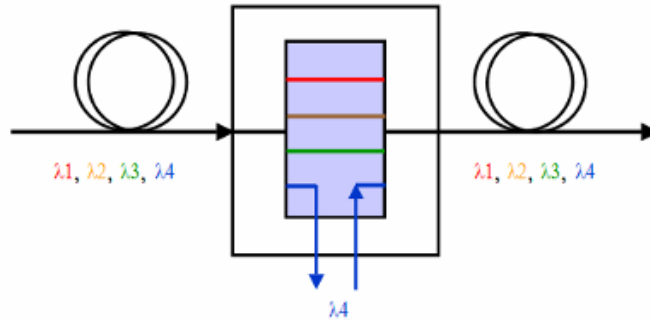


Figura 0-13: Esquema de funcionamiento de un OADM

Desde el punto de vista de caja negra, las siguientes características son importantes en un OADM:

- Número de longitudes de onda que puede soportar.
- Restricciones sobre longitudes de onda extraídas/insertadas (una, varias, grupos).
- Facilidad para insertar/extraer un canal adicional.
- Modularidad (coste proporcional al n° de canales).
- Complejidad de diseño físico.
- Efecto de la adición de nuevos canales.
- Reconfigurabilidad.
- Selección de canales a extraer sin afectar a los ya operativos.

Los OADMs reconfigurables (ROADMs), pueden insertar y extraer dinámicamente longitudes de onda controlados por un estímulo externo, por ejemplo mediante software. Los ROADMs son más potentes debido a que pueden adaptarse a las demandas de tráfico, sin embargo, la tecnología para su fabricación no está aun tan desarrollada.

La figura 0-14 muestra un ejemplo de la integración de OXCs y OADMs para el establecimiento de caminos ópticos entre dos puntos A-B.

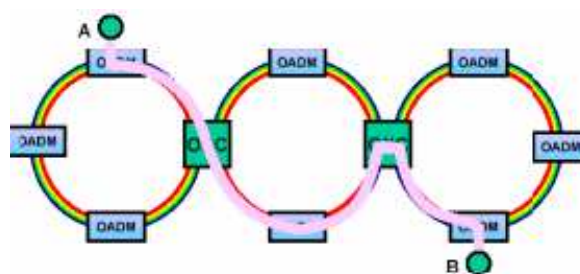


Figura 0-14: Integración de OXCs y OADMs para el establecimiento de caminos ópticos

C TCP/IP

C.1 Descripción general

TCP/IP es un estándar de protocolos diseñado para la interconexión de redes de gran escala que abarcan entornos de redes de área local (LAN) y redes de área amplia (WAN). La figura 0-15 muestra la línea del tiempo desde los orígenes de TCP/IP en 1969, cuando el Advanced Research Projects Agency Network (ARPANET) fue creado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD).

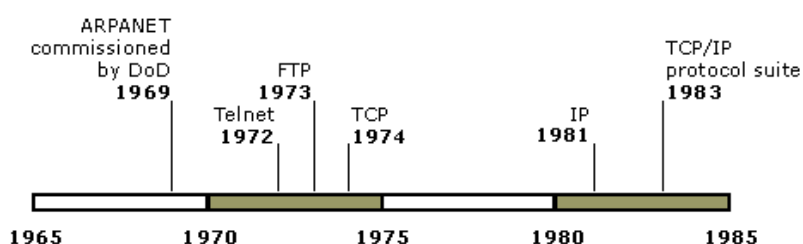


Figura 0-15: Línea del tiempo TCP/IP

El propósito de ARPANET fue proporcionar enlaces de comunicaciones de alta velocidad entre varios superordenadores situados en varios emplazamientos regionales dentro de los Estados Unidos. Los primeros protocolos, como Telnet (para la emulación de terminal virtual) y FTP (File Transfer Protocol), fueron desarrollados como las utilidades básicas necesarias para compartir información a través de ARPANET. Cuando ARPANET creció en tamaño y alcance, otros dos protocolos importantes aparecieron:

- TCP (Transmission Control Protocol) fue introducido en 1974 como una especificación que describía cómo construir un servicio fiable de transferencia de datos host-to-host sobre una red.
- IP (Internet Protocol) fue introducido en 1981 y describía cómo implementar un estándar de direccionamiento y encaminamiento de paquetes entre redes interconectadas.

El 1 de enero de 1983, ARPANET comenzó a requerir el uso de los protocolos TCP e IP para todo el tráfico de la red. Desde esa fecha, ARPANET se conoce como Internet, y sus protocolos como TCP/IP.

El modelo TCP/IP proporciona en cuatro capas todas las ventajas de las siete capas del modelo OSI (Layer Open Systems Interconnect). El modelo OSI ha sido desplazado por TCP/IP debido a su elección por los ISPs como el protocolo de interconexión de redes. La figura 0-16 muestra la relación entre el modelo OSI y TCP/IP.

| OSI 7 Layer Model | TCP/IP 4 Layer Model | Services/ Protocols | |
|-------------------|----------------------|---------------------|------|
| Application | Application | Telnet | FTP |
| Presentation | | TFTP | NFS |
| Session | | SMTP | DNA |
| Transport | Transport | TCP | UDP |
| Network | Network | IP | ICMP |
| Data Link | Network Interface | ARP | RARP |
| Physical | | | |

Figura 0-16: Comparación entre los modelos OSI e IP

C.2 Protocolos de encaminamiento IP

El encaminamiento IP está basado en el intercambio de información de alcanzabilidad de red a través de protocolos de encaminamiento. Los routers examinan la dirección destino IP contenida en la cabecera IP de cada paquete entrante y usan la información de alcanzabilidad de red para determinar cómo enviar el paquete. Este proceso, también llamado encaminamiento por búsqueda (routing lookup), es llevado a cabo independientemente en cada salto de router a lo largo del camino de un paquete.

Para proporcionar un encaminamiento óptimo en la red IP, se desea conectividad entre cualquiera de los routers. Por tanto, en cualquier momento en el que se añada un nuevo router, una conexión virtual debe ser proporcionada para cada uno de los otros routers. Los posibles fallos en la red o cambios en la topología provocan tráfico masivo del protocolo de encaminamiento. Cada router debe enviar actualizaciones de encaminamiento a través de cada conexión virtual a la que está conectado con el objetivo de informar a sus vecinos sobre la nueva situación de alcanzabilidad de la red IP.

Hay dos tipos de protocolos de encaminamiento: IGP (Interior Gateway Routing Protocols), y EGP (Exterior Gateway Routing Protocols). La diferencia principal entre EGP e IGP es que un IGP comparte la información que existe solamente dentro del mismo dominio, mientras que los EGPs comparten información entre dominios. Típicamente, los dominios separados son controlados por diferentes AS (sistemas autónomos). Los dos IGP más extensamente usados hoy son OSPF (Open Shortest Path First) e IS-IS (Intermediate-to-Intermediate System) mientras que el BGP4 (Border Gateway Protocol - Version 4) es el único estándar EGP reconocido usado hoy.

C.2.1 Protocolos IGP

OSPF - Open Shortest Path First

OSPF utiliza un mapa topológico completo del AS. Cada router utiliza el algoritmo de Dijkstra para computar un árbol de camino más corto en todas las redes del sistema con él

mismo como raíz. El árbol de camino más corto se utiliza entonces para calcular la tabla de encaminamiento en un nodo dado. Cada router envía su tabla de encaminamiento al resto de routers en el sistema usando flooding (inundación), que consiste en el envío de paquetes idénticos en todas direcciones con el objetivo de alcanzar el destino deseado.

OSPF tiene ciertas características avanzadas:

- Proporciona la actualización segura de la información del estado de enlace.
- Permite el uso de múltiples caminos con igual coste para balancear la carga.
- Permite que cada enlace tenga diferente métrica de coste para distintos servicios.
- Proporciona ayuda integrada para encaminamiento unicast y multicast.
- Soporta encaminamiento jerárquico dentro de un solo dominio autónomo.

IS-IS - Intermediate-to-Intermediate System

IS-IS fue diseñado originalmente como un protocolo OSI, que se ha modificado para trabajar con TCP/IP. El IS-IS fue introducido en los años 90 para agregar soporte para las redes basadas en IP. Es un protocolo de encaminamiento jerárquico de estado de enlace que inunda la red con la información del estado de enlace para construir un cuadro completo de la topología de la red.

Para simplificar el diseño y la operación de los routers, IS-IS distingue entre el nivel 1, en el que el router sólo conoce la topología de su propia área, y el nivel 2, en el que el router tiene vecinos en su misma área y diferentes. El encaminamiento jerárquico simplifica el diseño del backbone porque el nivel 1 necesita saber solamente cómo alcanzar el nivel 2 más próximo.

C.2.2 Protocolos EGP

Border Gateway Protocol Version 4 (BGPv4)

BGPv4 es el único EGP que funciona actualmente para conectar diferentes ASs. BGP considera a Internet en su conjunto como una red de sistemas autónomos. Un Autonomous System Number (ASN) identifica cada entidad.

BGP utiliza TCP como su protocolo de transporte. Dos routers BGP forman una conexión TCP e intercambian mensajes para abrir y para confirmar los parámetros de conexión. Dos routers cualquiera que hayan formado una conexión TCP para intercambiar información de encaminamiento BGP se llaman pares o vecinos.

Los pares BGP intercambian inicialmente sus tablas completas de encaminamiento BGP. Después de este intercambio, las actualizaciones incrementales se envían como cambios en la tabla de encaminamiento. El BGP guarda un número de versión de la tabla BGP, que debe ser igual para todos sus pares BGP. El número de versión cambia siempre que el BGP ponga al día la tabla debido a los cambios de la información de encaminamiento. Los paquetes “keep alive” se envían para asegurarse que la conexión se mantiene entre los pares del BGP y los paquetes de notificación son enviados en respuesta a errores o a condiciones especiales.

D MPLS (Multiprotocol Label Switching)

MPLS introduce una nueva aproximación fundamental para el desarrollo de redes IP constituyendo una nueva forma de encaminar tráfico. Separa el mecanismo de control del mecanismo de envío e introduce la “etiqueta” para el envío de paquetes. MPLS ha sido estandarizado por la IETF hace pocos años.

A diferencia del encaminamiento típico, MPLS se basa en la idea de flujos, que son cadenas de paquetes entre dos puntos finales comunes. MPLS hace el cálculo de la ruta sobre cada flujo de paquetes que atraviesa la red de un proveedor. La ruta entonces se asigna a cada paquete como una cadena de etiquetas, que son valores cortos de longitud fija.

MPλS es una extensión de MPLS que opera en el núcleo óptico utilizando la longitud de onda como etiqueta donde un conmutador óptico conmuta longitudes de onda desde los puertos de entrada a los puertos de salida. Estos conmutadores ópticos requieren de protocolos como OSPF e IS-IS para calcular el enrutamiento e intercambiar información sobre los estados del enlace, topología y recursos de la red.

Una red MPLS está formada por routers con conmutación por etiquetas en el núcleo de la red o LSRs (Label Switch Routers) y routers con conmutación por etiquetas de borde o LERs (Label Edge Routers). Como muestra la figura 0-18 los LERs en la parte de ingreso de la nube MPLS son responsables de asignar la etiqueta y enviar el paquete al siguiente salto LSR. El camino que el tráfico sigue a través de la nube MPLS se denomina LSP (Label Switched Path). Todos los LSRs a lo largo del camino usan la etiqueta como un índice de una tabla que contiene la información del próximo salto y una nueva etiqueta. La vieja etiqueta es intercambiada con la nueva etiqueta de la tabla y el paquete es enviado al próximo salto. El uso de este método implica que el valor de la etiqueta sólo tiene significado local entre dos LSRs. En el extremo de salida de la red, la etiqueta es eliminada y el tráfico es enviado, usando protocolos típicos de encaminamiento IP.

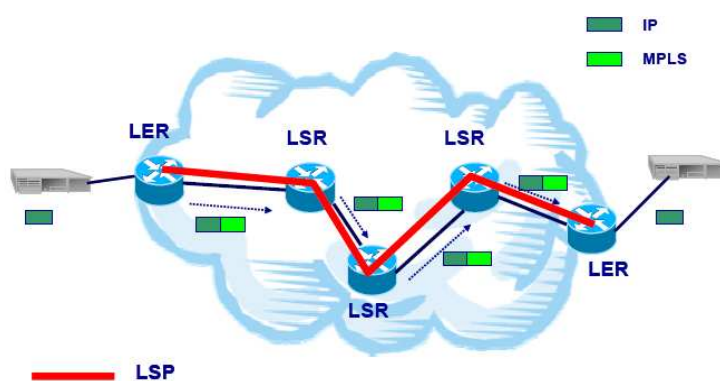


Figura 0-17: Red MPLS

MPLS introduce el término FEC (Forwarding Equivalent Class). Un FEC es un grupo de paquetes que describen un flujo de tráfico entre dos puntos lógicos, por ejemplo entre redes, máquinas, o incluso entre procesos en diferentes máquinas. Estos paquetes

comparten los mismos atributos mientras viajan a través del dominio MPLS, como pueden ser, el mismo destino de red IP, la misma clase de calidad de servicio, la misma red privada virtual (VPN), etc. Un FEC también puede ser una combinación de algunos de estos atributos.

El resultado es que una gran cantidad de potenciales FECs pueden ser definidos. La decisión de qué FEC se selecciona se alcanza como un compromiso entre escalabilidad y funcionalidad. Flujos más grandes escalarán mejor y flujos más pequeños ofrecerán más flexibilidad. A cada FEC se le asigna una etiqueta, de forma que todos los paquetes pertenecientes al mismo FEC tendrán la misma etiqueta asignada por el LER.

Para asegurarse de que la capacidad de la transmisión extremo a extremo está reservada, el LER utiliza un protocolo de distribución de etiquetas LDP (Label Distribution Protocol). El LDP, que puede ser RSVP (Resource Reservation Protocol) o CR-LDP (Constraint-based Routed-Label Distribution Protocol), permite al LER reservar capacidad a lo largo de la ruta seleccionada por sus protocolos de encaminamiento (LSP), y distribuir las etiquetas necesarias para dirigir el tráfico a través de esta ruta.

La arquitectura MPLS permite que múltiples etiquetas formen una pila de etiquetas que son asignadas a un paquete. Esto podría ser útil para propósitos de ingeniería de tráfico, en los que una etiqueta es usada para representar un túnel y la otra para representar el FEC.

La etiqueta MPLS (figura 0-18) incluye un campo de TTL de 8 bits como un mecanismo para localizar problemas. También existe un campo de 3 bits (Exp) reservado para uso experimental que está ya siendo utilizado por algunas aplicaciones para determinar la prioridad de tráfico y para proporcionar varios niveles de QoS en la red MPLS. El bit 'bottom of stack' (S) permite distinguir qué etiqueta de la pila es usada. Este es puesto a 1 para la última entrada en la pila de etiquetas y 0 para el resto de entradas de la pila. Los bits restantes son usados para el valor actual de la etiqueta (Label).



Figura 0-18: Pila de etiquetas MPLS

D.1 MPLS-TE (MPLS Traffic Engineering)

MPLS proporciona la posibilidad de llevar a cabo Ingeniería de Tráfico (TE - Traffic Engineering) en la capa IP. Los protocolos de encaminamiento estándar calculan el camino óptimo desde la fuente al destino, considerando una métrica de encaminamiento como número de saltos, coste o ancho de banda del enlace. Como resultado, se elige un único camino de menor coste. Aunque podría existir un camino alternativo, sólo el que ha sido determinado por el protocolo de encaminamiento se usa para transportar el tráfico. Esto lleva a una utilización ineficiente de los recursos de la red.

Una aproximación intermedia para la optimización de la utilización de los recursos de red es manipular las métricas del IGP. El siguiente paso es el encaminamiento basado en políticas, que permite definir listas de acceso para caracterizar ciertos flujos de tráfico. Sin embargo, tanto la manipulación de las métricas IGP como el encaminamiento basado en políticas, son soluciones estáticas y no escalables. La Ingeniería de Tráfico proporciona una solución dinámica y eficiente para este problema.

La Ingeniería de Tráfico tiene como objetivo la optimización de los recursos (gestión eficiente del ancho de banda) y las prestaciones de la red (minimizar pérdidas de paquetes, retardos, maximizar throughput, verificar SLAs, etc).

MPLS permite implementar TE mediante agrupamiento selectivo en el nodo de ingreso, requiere tres acciones:

- Especificación de requisitos del LSP.
- Determinación de la ruta adecuada.
- Establecimiento de las correspondencias entre etiquetas.

En MPLS-TE el encaminamiento requiere el cálculo de rutas basadas en múltiples restricciones, como por ejemplo, el ancho de banda, la latencia, etc. Se emplea un modelo basado en el paradigma del encaminamiento distribuido donde cada nodo monitoriza de forma continua la topología de la red, la disponibilidad de recursos y las características de enlaces y routers. Empleando esta información cada nodo puede calcular rutas explícitas, sujetas a diferentes restricciones para conectarse a otros nodos. Son posibles múltiples caminos desde la fuente hasta el destino, y, en cada momento, se usa el mejor de acuerdo a la situación de la red para asegurar su utilización óptima.

D.2 GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching)

La densidad de conexión en una red óptica es muy elevada por lo que el uso de protocolos de encaminamiento para el descubrimiento de nodos vecinos es ineficiente. Con el crecimiento del uso de WDM y de la conmutación óptica, los proveedores precisan la capacidad de poder variar la cantidad de anchura de banda en un enlace dado. Con MPLS implementado, los proveedores ganan un mejor funcionamiento y el control sobre sus redes, sin embargo, MPLS está limitado en términos de aprovisionamiento de anchura de banda dentro de la red física.

MPLS sólo puede ser aplicado a conmutación de paquetes, por lo que surge la cuestión de si se puede aplicar MPLS a conmutación de circuitos. La respuesta es afirmativa y se conoce como Generalized MPLS o GMPLS.

Es importante tener presente que GMPLS y MPLS no son protocolos de capa de red, por tanto, las redes TCP/IP todavía requieren el protocolo IP para funcionar. GMPLS es un protocolo de señalización (capa 3 del modelo TCP/IP, véase la figura 0-16) y es utilizado por el equipo del cliente para señalar a otro equipo y establecer o dar de baja un circuito.

Las extensiones introducidas por GMPLS afectan a los protocolos de encaminamiento y señalización para actividades como distribución de etiquetas, ingeniería de tráfico, protección y restauración:

- Amplia los protocolos propios de encaminamiento de MPLS para poder incorporar las funciones mejoradas de descubrimiento de topología y de recursos.
- Establece caminos explícitos a través de las capas de red.
- Asigna diversos atributos a los enlaces y la propagación de la información relativa a la conectividad de los enlaces y sus atributos desde un nodo al resto de nodos de la red.
- Agrupa múltiples conexiones entre una pareja de nodos en un solo enlace a efectos de descripción de la topología (bundling).
- Divide una red de gran escala en múltiples redes, cada una de las cuales cubre áreas más pequeñas.
- Mejora los protocolos de señalización, ampliando convenientemente los protocolos RSVP o CR-LDP, con el objeto de poder dar servicio a las diferentes tecnologías de conmutación de circuitos.
- Establece LSPs unidireccionales o bidireccionales.
- Introduce el protocolo de gestión de enlace LMP (Link Management Protocol). Diseñado para resolver los aspectos relacionados con la gestión de los enlaces.
- Amplía las herramientas necesarias para controlar, no sólo los routers, sino también los sistemas WDM, ADMs, OXCs, y similares.
- Proporciona a los proveedores recursos dinámicamente y la redundancia necesaria para implementar varias técnicas de protección y restauración.

E PRESUPUESTO

1) Ejecución Material

- Compra de ordenador personal (Software incluido)..... 2.000 €
- Alquiler de impresora láser durante 6 meses 50 €
- Material de oficina 150 €
- Total de ejecución material 2.200 €

2) Gastos generales

- 16 % sobre Ejecución Material 352 €

3) Beneficio Industrial

- 6 % sobre Ejecución Material 132 €

4) Honorarios Proyecto

- 640 horas a 15 € / hora..... 9600 €

5) Material fungible

- Gastos de impresión..... 60 €
- Encuadernación..... 200 €

6) Subtotal del presupuesto

- Subtotal Presupuesto..... 12060 €

7) I.V.A. aplicable

- 16% Subtotal Presupuesto 1929.6 €

8) Total presupuesto

- Total Presupuesto..... 13989,6 €

Madrid, Julio de 2008

El Ingeniero Jefe de Proyecto

Fdo.: Juan Manuel Castrejo Sanz
Ingeniero Superior de Telecomunicación

F PLIEGO DE CONDICIONES

Este documento contiene las condiciones legales que guiarán la realización, en este proyecto, de una “Arquitectura en Anillo para Redes IP”. En lo que sigue, se supondrá que el proyecto ha sido encargado por una empresa cliente a una empresa consultora con la finalidad de realizar dicho sistema. Dicha empresa ha debido desarrollar una línea de investigación con objeto de elaborar el proyecto. Esta línea de investigación, junto con el posterior desarrollo de los programas está amparada por las condiciones particulares del siguiente pliego.

Supuesto que la utilización industrial de los métodos recogidos en el presente proyecto ha sido decidida por parte de la empresa cliente o de otras, la obra a realizar se regulará por las siguientes:

Condiciones generales

1. La modalidad de contratación será el concurso. La adjudicación se hará, por tanto, a la proposición más favorable sin atender exclusivamente al valor económico, dependiendo de las mayores garantías ofrecidas. La empresa que somete el proyecto a concurso se reserva el derecho a declararlo desierto.

2. El montaje y mecanización completa de los equipos que intervengan será realizado totalmente por la empresa licitadora.

3. En la oferta, se hará constar el precio total por el que se compromete a realizar la obra y el tanto por ciento de baja que supone este precio en relación con un importe límite si este se hubiera fijado.

4. La obra se realizará bajo la dirección técnica de un Ingeniero Superior de Telecomunicación, auxiliado por el número de Ingenieros Técnicos y Programadores que se estime preciso para el desarrollo de la misma.

5. Aparte del Ingeniero Director, el contratista tendrá derecho a contratar al resto del personal, pudiendo ceder esta prerrogativa a favor del Ingeniero Director, quien no estará obligado a aceptarla.

6. El contratista tiene derecho a sacar copias a su costa de los planos, pliego de condiciones y presupuestos. El Ingeniero autor del proyecto autorizará con su firma las copias solicitadas por el contratista después de confrontarlas.

7. Se abonará al contratista la obra que realmente ejecute con sujeción al proyecto que sirvió de base para la contratación, a las modificaciones autorizadas por la superioridad o a las órdenes que con arreglo a sus facultades le hayan comunicado por escrito al Ingeniero Director de obras siempre que dicha obra se haya ajustado a los preceptos de los pliegos de condiciones, con arreglo a los cuales, se harán las modificaciones y la valoración de las diversas unidades sin que el importe total pueda exceder de los presupuestos aprobados. Por consiguiente, el número de unidades que se consignan en el proyecto o en el presupuesto, no podrá servirle de fundamento para entablar reclamaciones de ninguna clase, salvo en los casos de rescisión.

8. Tanto en las certificaciones de obras como en la liquidación final, se abonarán los trabajos realizados por el contratista a los precios de ejecución material que figuran en el presupuesto para cada unidad de la obra.

9. Si excepcionalmente se hubiera ejecutado algún trabajo que no se ajustase a las condiciones de la contrata pero que sin embargo es admisible a juicio del Ingeniero Director de obras, se dará conocimiento a la Dirección, proponiendo a la vez la rebaja de precios que el Ingeniero estime justa y si la Dirección resolviera aceptar la obra, quedará el contratista obligado a conformarse con la rebaja acordada.

10. Cuando se juzgue necesario emplear materiales o ejecutar obras que no figuren en el presupuesto de la contrata, se evaluará su importe a los precios asignados a otras obras o materiales análogos si los hubiere y cuando no, se discutirán entre el Ingeniero Director y el contratista, sometiéndolos a la aprobación de la Dirección. Los nuevos precios convenidos por uno u otro procedimiento, se sujetarán siempre al establecido en el punto anterior.

11. Cuando el contratista, con autorización del Ingeniero Director de obras, emplee materiales de calidad más elevada o de mayores dimensiones de lo estipulado en el proyecto, o sustituya una clase de fabricación por otra que tenga asignado mayor precio o ejecute con mayores dimensiones cualquier otra parte de las obras, o en general, introduzca en ellas cualquier modificación que sea beneficiosa a juicio del Ingeniero Director de obras, no tendrá derecho sin embargo, sino a lo que le correspondería si hubiera realizado la obra con estricta sujeción a lo proyectado y contratado.

12. Las cantidades calculadas para obras accesorias, aunque figuren por partida alzada en el presupuesto final (general), no serán abonadas sino a los precios de la contrata, según las condiciones de la misma y los proyectos particulares que para ellas se formen, o en su defecto, por lo que resulte de su medición final.

13. El contratista queda obligado a abonar al Ingeniero autor del proyecto y director de obras así como a los Ingenieros Técnicos, el importe de sus respectivos honorarios facultativos por formación del proyecto, dirección técnica y administración en su caso, con arreglo a las tarifas y honorarios vigentes.

14. Concluida la ejecución de la obra, será reconocida por el Ingeniero Director que a tal efecto designe la empresa.

15. La garantía definitiva será del 4% del presupuesto y la provisional del 2%.

16. La forma de pago será por certificaciones mensuales de la obra ejecutada, de acuerdo con los precios del presupuesto, deducida la baja si la hubiera.

17. La fecha de comienzo de las obras será a partir de los 15 días naturales del replanteo oficial de las mismas y la definitiva, al año de haber ejecutado la provisional, procediéndose si no existe reclamación alguna, a la reclamación de la fianza.

18. Si el contratista al efectuar el replanteo, observase algún error en el proyecto, deberá comunicarlo en el plazo de quince días al Ingeniero Director de obras, pues transcurrido ese plazo será responsable de la exactitud del proyecto.

19. El contratista está obligado a designar una persona responsable que se entenderá con el Ingeniero Director de obras, o con el delegado que éste designe, para todo relacionado con ella. Al ser el Ingeniero Director de obras el que interpreta el proyecto, el contratista deberá consultarle cualquier duda que surja en su realización.

20. Durante la realización de la obra, se girarán visitas de inspección por personal facultativo de la empresa cliente, para hacer las comprobaciones que se crean oportunas. Es obligación del contratista, la conservación de la obra ya ejecutada hasta la recepción de la misma,

por lo que el deterioro parcial o total de ella, aunque sea por agentes atmosféricos u otras causas, deberá ser reparado o reconstruido por su cuenta.

21. El contratista, deberá realizar la obra en el plazo mencionado a partir de la fecha del contrato, incurriendo en multa, por retraso de la ejecución siempre que éste no sea debido a causas de fuerza mayor. A la terminación de la obra, se hará una recepción provisional previo reconocimiento y examen por la dirección técnica, el depositario de efectos, el interventor y el jefe de servicio o un representante, estampando su conformidad el contratista.

22. Hecha la recepción provisional, se certificará al contratista el resto de la obra, reservándose la administración el importe de los gastos de conservación de la misma hasta su recepción definitiva y la fianza durante el tiempo señalado como plazo de garantía. La recepción definitiva se hará en las mismas condiciones que la provisional, extendiéndose el acta correspondiente. El Director Técnico propondrá a la Junta Económica la devolución de la fianza al contratista de acuerdo con las condiciones económicas legales establecidas.

23. Las tarifas para la determinación de honorarios, reguladas por orden de la Presidencia del Gobierno el 19 de Octubre de 1961, se aplicarán sobre el denominado en la actualidad "Presupuesto de Ejecución de Contrata" y anteriormente llamado "Presupuesto de Ejecución Material" que hoy designa otro concepto.

Condiciones particulares

La empresa consultora, que ha desarrollado el presente proyecto, lo entregará a la empresa cliente bajo las condiciones generales ya formuladas, debiendo añadirse las siguientes condiciones particulares:

1. La propiedad intelectual de los procesos descritos y analizados en el presente trabajo, pertenece por entero a la empresa consultora representada por el Ingeniero Director del Proyecto.

2. La empresa consultora se reserva el derecho a la utilización total o parcial de los resultados de la investigación realizada para desarrollar el siguiente proyecto, bien para su publicación o bien para su uso en trabajos o proyectos posteriores, para la misma empresa cliente o para otra.

3. Cualquier tipo de reproducción aparte de las reseñadas en las condiciones generales, bien sea para uso particular de la empresa cliente, o para cualquier otra aplicación, contará con autorización expresa y por escrito del Ingeniero Director del Proyecto, que actuará en representación de la empresa consultora.

4. En la autorización se ha de hacer constar la aplicación a que se destinan sus reproducciones así como su cantidad.

5. En todas las reproducciones se indicará su procedencia, explicitando el nombre del proyecto, nombre del Ingeniero Director y de la empresa consultora.

6. Si el proyecto pasa la etapa de desarrollo, cualquier modificación que se realice sobre él, deberá ser notificada al Ingeniero Director del Proyecto y a criterio de éste, la empresa consultora decidirá aceptar o no la modificación propuesta.

7. Si la modificación se acepta, la empresa consultora se hará responsable al mismo nivel que el proyecto inicial del que resulta el añadirla.

8. Si la modificación no es aceptada, por el contrario, la empresa consultora declinará toda responsabilidad que se derive de la aplicación o influencia de la misma.

9. Si la empresa cliente decide desarrollar industrialmente uno o varios productos en los que resulte parcial o totalmente aplicable el estudio de este proyecto, deberá comunicarlo a la empresa consultora.

10. La empresa consultora no se responsabiliza de los efectos laterales que se puedan producir en el momento en que se utilice la herramienta objeto del presente proyecto para la realización de otras aplicaciones.

11. La empresa consultora tendrá prioridad respecto a otras en la elaboración de los proyectos auxiliares que fuese necesario desarrollar para dicha aplicación industrial, siempre que no haga explícita renuncia a este hecho. En este caso, deberá autorizar expresamente los proyectos presentados por otros.

12. El Ingeniero Director del presente proyecto, será el responsable de la dirección de la aplicación industrial siempre que la empresa consultora lo estime oportuno. En caso contrario, la persona designada deberá contar con la autorización del mismo, quien delegará en él las responsabilidades que ostente.

