ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

ESTUDIO DE REDES DE TRANSPORTE ÓPTICO (OTN), COMO PLATAFORMA PARA REDES MULTISERVICIOS

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

DAISY ELENA VÁSQUEZ VÁSQUEZ

daisy744@gmail.com

DIRECTOR: MSc. Xavier Calderón

xavieralex_calderon@hotmail.com

Quito, noviembre de 2009

DECLARACIÓN

Yo Daisy Elena Vásquez Vásquez, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

_____

Daisy Elena Vásquez Vásquez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Daisy Elena Vásquez Vásquez, bajo mi supervisión.

MSc. Xavier Calderón

DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Xavier Calderón por su dirección en la realización del presente trabajo.

A mi familia y amigos por brindarme su apoyo y cariño incondicional.

A Dios por todas sus bendiciones.

A Ti por estar a mi lado.

DEDICATORIA

A mi madre, Mercedes Elena Vásquez Guerrón

CONTENIDO

1. MARCO TEÓRICO 1

1.1. INTRODUCCIÓN 1

1.2. EVOLUCIÓN DE LAS REDES DE TRANSPORTE ÓPTICO 2

1.3. DESARROLLO DE DISPOSITIVOS EN REDES DE COMUNICACIONES ÓPTICAS 4

1.4. DEFINICIÓN DE OTN 10

1.5. OBJETIVOS DE LAS OTN 11

1.6. CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES 12

1.7. CAPACIDADES Y ÁREAS DE IMPORTANCIA 14

1.8. GENERALIDADES DE SDH 15

1.8.1. Estructura de la Trama STM-1 17

1.9. MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA WDM (WAVELENGTH DIVISION) 18

1.9.1. Componentes de un Sistema WDM 20

1.9.1.1. Equipo terminal WDM: Transmisión 21

1.9.1.2. Equipo terminal WDM: Recepción 22

1.9.1.3. Transponedor de Transmisión 23

1.9.1.4. Regenerador -Amplificador Óptico 24

1.9.1.5. Equipo WDM de extracción / inserción (un sentido) 26

2. ARQUITECTURA FUNCIONAL OTN 27

2.1. ESTRUCTURA DE CAPAS OTN 27

2.2. ESTRUCTURA DE TRAMAS Y CABECERAS 30

2.2.1. Unidad de Carga Óptica OPU-k (Optical Channel Payload Unit-k) 30

2.2.2. Campo de Cabecera OPU-k 31

2.2.3. Unidad de Datos Óptica (ODU-k) 32

2.2.4. Campo de Cabecera de ODU-k 34

2.2.4.1. Cabecera Supervisión de Trayecto (PM Path Monitoring) 34

2.2.4.2. Cabecera de supervisión de conexión en cascada TCM (Tandem Connection Monitoring) del ODU 36

2.2.4.2.1. Campo de Indicación del Tipo de Fallo 38
2.2.4.2.2. Campo Identificador del Operador 38
2.2.4.2.3. Campo Específico del Operador. 39

2.2.5. Unidad de Transporte Óptica (OTU-k) 40

2.2.6. Campo de Cabecera de OTU-k 40

2.2.7. Canal Óptico Och (Optical Channel) 45

2.2.7.1. Portadora del canal óptico y grupo de canales ópticos 47

2.2.8. Cabeceras No Asociadas 48

2.3. INTERFACES PARA OTN 51

2.3.1. Interfaz Interdominios IrDI (Inter-Domain Interfaces) 51

2.3.2. Interfaz Intradominio IaDI (Intra-Domain Interfaces) 51

3. SERVICIOS GBE, SDH, FC, ESCON, FICON Y CALIDAD DE FUNCIONAMIENTO 53

3.1. PROCEDIMIENTO DE ENTRAMADO GENÉRICO (GFP-GENERIS FRAMING PROCEDURE) 54

3.1.1. Diferencias entre los Procedimientos de Entramado Genérico 55

3.2. SERVICIOS QUE SOPORTA OTN 57

3.2.1. Ethernet 57

3.2.2. Gigabit Ethernet 58

3.2.3. 10-Gigabit Ethernet 59

3.2.4. SDH Synchronous Digital Hierarchy 59

3.2.5. Canal de Fibra (Fiber Channel) 61

3.2.6. Conexión de Sistemas Empresariales (ESCON - Enterprise System Connection) 63

3.2.7. Conexión de Fibra (FICON - Fiber Connectivity) 65

3.3. CALIDAD DE FUNCIONAMIENTO DE LA RED 66

3.3.1. Estimación de los Parámetros de Calidad de Funcionamiento 66

3.4. PRUEBA DE INTEGRIDAD DE SEÑAL 69

3.5. PRUEBAS DE ESTÍMULOS 70

3.6. MAPEO Y DESMAPEO DE LAS SEÑALES CLIENTE 70

3.7. PRUEBAS DEL FEC 71

4. VENTAJAS DE LAS REDES DE TRANSPORTE ÓPTICO OTN 73

4.1. TRANSPARENCIA DE PROTOCOLO 73

4.2. EMPLEO DE CODIFICACIÓN FEC 74

4.2.1. Los Beneficios del FEC en las Redes Ópticas 75

4.2.2. Aplicaciones de Medida del FEC 76

4.3. MAPEO Y DESMAPEO DE LAS SEÑALES CLIENTE 76

4.4. MAPEO DE JITTER EN OTN 78

4.4.1. Aplicación de la Prueba de Mapeo de Jitter 81

4.4.2. Verificación de la Capacidad de la Medición de Mapeo del Jitter Obtenido 81

4.5. DIFERENCIAS ENTRE OTN Y SDH 83

4.6. DIFERENCIAS ENTRE OTN Y WDM 85

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 86

5.1. CONCLUSIONES 86

5.2. RECOMENDACIONES 87

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO A ACRÓNIMOS UTILIZADOS

ANEXO B GLOSARIO DE TÉRMINOS

ANEXO C JERARQUÍA DIGITAL SINCRÓNICA (SDH)

ANEXO D MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA (WDM)

ANEXO E INFORMACIÓN TÉCNICA DE EQUIPOS OTN

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1.1. Infraestructura OTN 2
Figura 1.2. Evolución de las Redes Ópticas 4
Figura 1.3. Esquema de un OADM 6
Figura 1.4. Redes de Segunda Generación 7
Figura 1.5. Funcionamiento de OBS 8
Figura 1.6. Entorno de Red Óptica de Tercera Generación 9
Figura 1.7. Regeneración 3R en OTN 12
Figura 1.8. Secciones de OTN 13
Figura 1.9. Formato de trama STM-1 18
Figura 1.10. Multiplexación por División en Longitud de Onda 19
Figura 1.11. Componentes de un sistema WDM 21
Figura 1.12. Elementos que conforman un terminal de transmisión WDM 21
Figura 1.13. Elementos que conforman un terminal de recepción WDM 22
Figura 1.14. Transpondedor de Transmisión 23
Figura 1.15. Regenerador Amplificador Óptico 24
Figura 1.16. Amplificador Óptico 24
Figura 1.17. Amplificador de fibra dopada con Erbio 25
Figura 1.18. Equipo WDM de extracción/inserción 26

Capítulo 2

Figura 2.1. Estructura de OTN 27
Figura 2.2. Puntos de terminación de capas OTN 29
Figura 2.3. Encapsulamiento de la señal cliente 29
Figura 2.4. Unidad OPU-k 31
Figura 2.5. Cabecera OPU 32
Figura 2.6. Unidad de Datos Ópticos ODU-k 33
Figura 2.7. Cabecera ODU-k 34
Figura 2.8. Supervisión de trayecto (PM Path Monitoring) 34
Figura 2.9. Supervisión de conexión en cascada (TCM Tandem Connection Monitoring) 36
Figura 2.10. Bytes adicionales en la cabecera ODU 37
Figura 2.11. Canal de comunicación de informe de localización de fallo y tipo de fallo 38
Figura 2.12. Cabecera ODU-k y Canal de localización de falla 39
Figura 2.13. Unidad de Transporte de Canal Óptico-k (OTU-k) 40
Figura 2.14. Cabecera OTU-k 41
Figura 2.15. Cabecera de Alineación de Trama y Señal de Alineación de trama 42

Figura 2.16. Cabecera de la Sección de Monitorización (SM)..... 43
Figura 2.17. FEC en OTU-k..... 44
Figura 2.18. Secuencia para formar OTU-k..... 45
Figura 2.19. Trama del Canal Óptico..... 46
Figura 2.20. Carga Útil y cabecera del Canal Óptico..... 46
Figura 2.21. Estructura básica de grupo de portadora óptico OCG sobre DWDM ... 48
Figura 2.22. Cabeceras no Asociadas..... 49
Figura 2.23. Formación de un módulo de transporte óptico 50
Figura 2.24. Interfaces OTN 51

Capítulo 3

Figura 3.1. Servicios OTN 53
Figura 3.2. Procedimiento de Entramado Genérico..... 54
Figura 3.3. Trama GFP..... 56
Figura 3.4. Campos GFP..... 57
Figura 3.5. Estructura de la trama STM-1 60
Figura 3.6. Trama ESCON 64
Figura 3.7. Prueba de Estímulos 70
Figura 3.8. Prueba de Mapeo y Desmapeo de señales..... 71
Figura 3.9. Pruebas del FEC 72

Capítulo 4

Figura 4.1. Efectos del FEC al usar varios algoritmos..... 75
Figura 4.2. Control de Justificación 78
Figura 4.3. Intervalo Unitario 79
Figura 4.4. Representación de los bloques funcionales involucrados en la generación jitter y la detección de mapeo de jitter 80
Figura 4.5. Señal de fase y el correspondiente resultado de jitter. 80
Figura 4.6. Prueba de Mapeo de Jitter sobre trama OTU..... 81
Figura 4.7. Equivalencia de fase de una onda sinusoidal..... 83

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 1

Tabla 1. 1: Correspondencia de velocidades binarias SONET y SDH..... 16
Tabla 1. 2: Evolución de Multiplexación por División de Longitud de Onda..... 19

Capítulo 2

Tabla 2. 1: Velocidad de transmisión nominal OPU-k..... 31
Tabla 2. 2: Velocidad de transmisión nominal OTU-k..... 41
Tabla 2. 3: Velocidades de G.709 y sus correspondientes en SDH 52

Capítulo 3

Tabla 3. 1: GFP-F vs GFP-T..... 56
Tabla 3. 2: Umbral para determinar un segundo con muchos errores..... 67
Tabla 3. 3: Velocidad de la señal OTN 69

Capítulo 4

Tabla 4. 1: Requerimiento de generación del jitter 81
Tabla 4. 2: Cuadro comparativo entre OTN y SDH..... 85
Tabla 4. 3: Comparación entre OTN y WDM 85

RESUMEN

A continuación se presenta un extracto del estudio que se ha desarrollado en el presente proyecto de titulación. Para lo cual se resume de manera general cada uno de los capítulos.

En el primer capítulo se realiza una revisión de la evolución de las redes de transporte óptico al igual que los dispositivos que han permitido dicha evolución, se enfatiza en las principales características y capacidades de OTN, así como también se trata brevemente las tecnologías en las que se basa la red de transporte óptico como son SDH y WDM.

El segundo capítulo contempla la estructura OTN, la cual está dividida por capas, seguidamente se analiza las funciones de cada una de ellas, se trata también el tipo de interfaces y velocidades definidas para esta arquitectura.

En el tercer capítulo se muestra los múltiples servicios que puede soportar la red de transporte óptico en una sola estructura tales como SDH, Ethernet, Gigabit Ethernet, Fiber Channel, ESCON, FICON, gracias al procedimiento de entramado genérico GFP, también se menciona los parámetros de calidad que debe cumplir una red de transporte y los procesos para su verificación.

El cuarto capítulo contiene las ventajas que ofrece la tecnología estudiada en este proyecto al usar codificación FEC, se analiza características tales como el mapeo y desmapeo de las señales, se destaca las diferencias más representativas de OTN con SDH y WDM.

Para finalizar en el quinto capítulo se presentan conclusiones y recomendaciones que se pueden ofrecer como resultado de este trabajo.

Se adiciona anexos necesarios para un mayor entendimiento de este trabajo estudio.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto de titulación tiene por objeto el estudio de las redes de transporte óptico (OTN).

OTN es una tecnología que ofrece funcionalidades capaces de proporcionar transporte, multiplexación, enrutamiento, gestión de la red para proveer múltiples servicios.

Existe una creciente demanda para servicios de banda ancha y alta capacidad transparente, los cuales son requeridos para interconectar dominios de operador, para proveer conectividad con redes de área de almacenamiento (SAN) o para conectar diferentes clientes empresariales con sus diferentes servidores centralizados. Estos servicios no pueden ser provistos por las tecnologías DWDM y SDH en una forma eficiente. Esta fue la razón por la que la ITU desarrolló redes de transporte basadas en SDH, los estándares OTN están basados en conceptos de administración y mantenimiento probados en SDH, pero extendiéndose hacia el surgimiento de redes con múltiples operadores y transporte de datos céntricos.

En este proyecto se presenta a OTN como el resultado de la evolución de tecnologías ópticas existentes SDH y WDM, constituyendo hoy en día el punto de convergencia de las redes de nueva generación, por esta razón es necesario conocer los principios básicos de estas tecnologías.

CAPÍTULO 1

1. MARCO TEÓRICO

1.1. INTRODUCCIÓN

En la última década el campo de las redes de comunicación ha experimentado un crecimiento en el tráfico de datos debido a la permanente demanda de la amplia gama de servicios digitales con velocidades cada vez más altas y mayor ancho de banda, por lo que los operadores han visto la necesidad de implementar nuevas redes de alta capacidad que puedan mejorar su funcionamiento, soportar sin problemas el incremento del volumen del tráfico buscando arquitecturas de redes ópticas eficientes, flexibles e inteligentes sin desaprovechar su infraestructura actual.

Las redes de transporte de datos han evolucionado, y esta evolución las ha llevado a redes totalmente ópticas. En los últimos años, el desarrollo de sistemas micro-electromecánicos y de amplificadores ópticos semiconductores, han convertido en realidad la posibilidad de disponer de nodos con conmutación totalmente óptica. Los beneficios más importantes de los dispositivos totalmente ópticos son su escalabilidad, velocidad e independencia al protocolo utilizado.

Para esto emergen nuevos estándares capaces de abastecer los desafíos existentes, un estándar global está tratando estos desafíos - ITU G.709, comúnmente llamado la red de transporte óptico (OTN) o tecnología de envoltura digital. Mientras que la tecnología de la envoltura digital ha estado alrededor por algunos años, los estándares han estado inconclusos, y solamente en el último año hace que el equipo verdadero de OTN esté disponible para hacer despliegues de red.

OTN combina la flexibilidad y la gestionabilidad de SDH con la transparencia y la capacidad de WDM puede fácilmente combinar múltiples redes y servicios tales como SDH/SONET tradicional, Ethernet, protocolos de almacenamiento y video

sobre una infraestructura común, alcanzando reducciones significativas tanto en los gastos de capital como de operación convirtiéndose en el marco perfecto para integrar las tecnologías de networking de nueva generación.

En la siguiente figura se muestra la infraestructura OTN como una capa de transporte la cual soporta servicios tales como TDM, Línea Privada (PL) TDM, Ethernet, ESCON, FC, ATM, SDH.

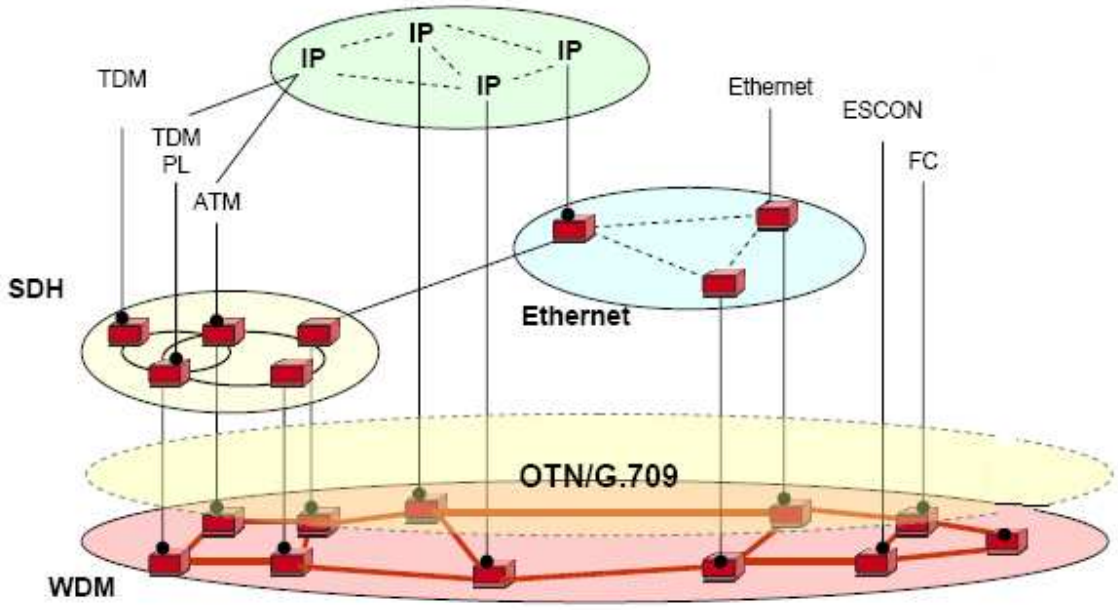


Figura 1.1. Infraestructura OTN[1]

1.2. EVOLUCIÓN DE LAS REDES DE TRANSPORTE ÓPTICO

En los años 80, un nuevo protocolo estandarizado fue introducido, que definió las especificaciones de interfaces, de la arquitectura y de características de una red óptica síncrona, que en los Estados Unidos fue llamado SONET y en Europa SDH

[1] NUÑEZ, Fernando "Ciena, Reunión de Primavera CUDI"2008

(Synchronous Digital Hierarchy); SONET fue definido por Telcordia (previamente Bellcore) y SDH por la ITU.

Desde entonces SONET/SDH ha cubierto las necesidades presentes en el mercado proporcionando la supervisión de la protección y de funcionamiento mientras que apoya una mezcla flexible y transparente de protocolos del tráfico incluyendo IP, *Fibre channel*, Ethernet y *Procedimiento de Entramado Genérico* GFP (*Generic Framing Protocol*).[2] Mientras que el despliegue de las redes de Multiplexación por división en longitudes de onda densas DWDM *(Dense Wavelenght Division Multiplexing)* durante la década siguiente sirvieron para incrementar la capacidad de ancho de banda de la fibra existente, escasean severamente las capacidades de protección y de gestión inherentes a la tecnología SONET/SDH.

También el desarrollo DWDM vino con un nuevo y completo conjunto de Elementos de Red NE (*Network Elements*) incluidos amplificadores, conmutadores, multiplexores y demultiplexores ópticos, los cuales introducen un subnivel en la red mereciendo una monitorización constante.

Como una consecuencia, la siguiente generación en redes ópticas debía ser compatible con redes tradicionales y también incluir rasgos no tradicionales característicos e inteligencia. Así pues aparece OTN, la red de transporte óptica que combina los beneficios de la tecnología SONET/SDH con el aumento de la capacidad de ancho de banda del WDM.

OTN se está extendiendo más allá del dominio eléctrico para el transporte digital, y se está convirtiendo rápidamente en un marco estándar para gestionar señales tanto eléctricas como ópticas. Representa un modelo operativo común para la administración de redes, la supervisión del rendimiento y el aislamiento de errores, sin modificar ninguno de los servicios. OTN es una visión global completa, que permite un rápido aislamiento de los errores.

---

[2]SCHUBERT, Andreas, "(Ciena, 2006) G.709 – The Optical Transport Network (OTN)". www.JDSU.com,2007

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. A continuación describiremos el desarrollo de los dispositivos en las redes ópticas.

1.3. DESARROLLO DE DISPOSITIVOS EN REDES DE COMUNICACIONES ÓPTICAS

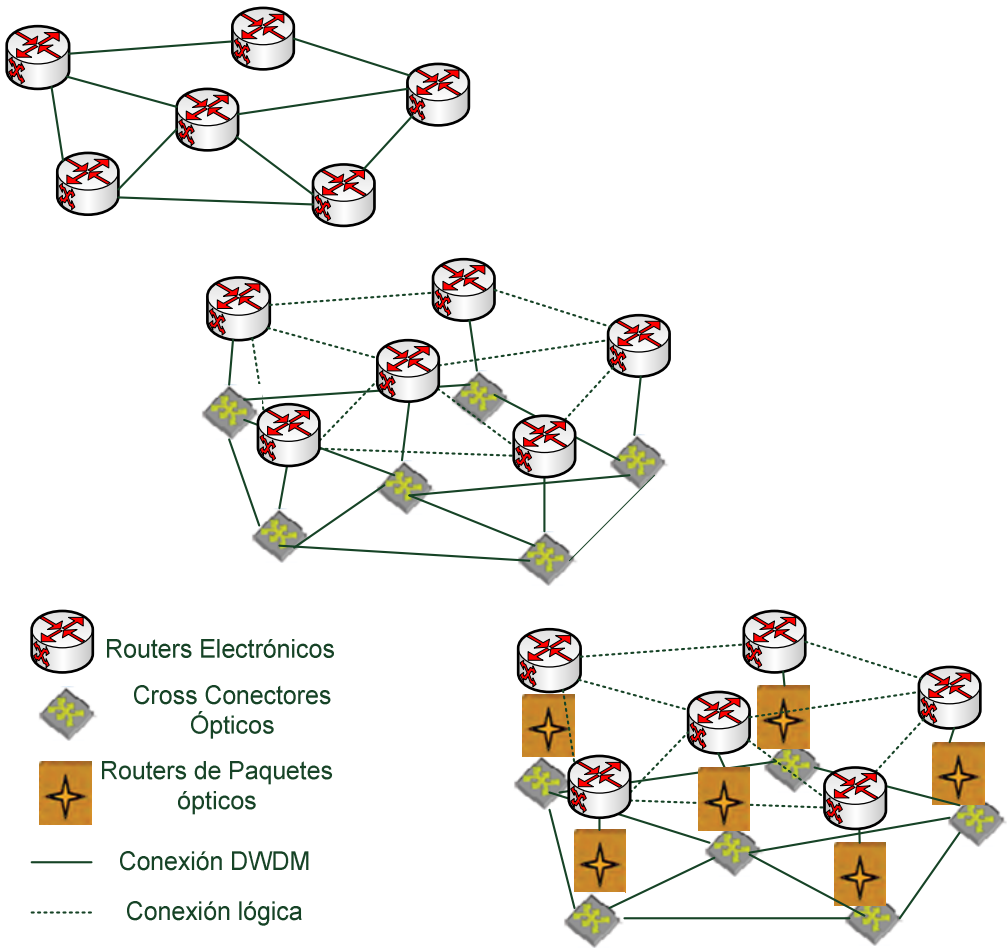


Figura 1.2. Evolución de las Redes Ópticas[3]

[3] BLUMENTHAL, Daniel, "Optical Techniques For Circuits And Packet-Based Networking"2007.

La evolución de las redes ópticas han ido de la mano con el desarrollo de dispositivos que les permitan ser viables, en la figura 1.2 se describe la evolución de los dispositivos ópticos, en la red óptica de primera generación como se detalla a continuación se habla de un procesamiento en el dominio eléctrico, mientras que en la segunda generación ya existe una capa óptica, en la tercera generación se busca cumplir con los requerimientos a través de la conmutación de paquetes ópticos.

La primera generación de redes ópticas se utilizaron principalmente como medio de transmisión de gran capacidad, en esta generación el procesamiento, enrutamiento y la conmutación se procesa en el dominio eléctrico. Con el fin de reducir costos se integra dispositivos de adición y extracción los mismos que manejan el tráfico de manera eficiente extrayendo únicamente el tráfico correspondiente a cada nodo dejando pasar el resto de tráfico a la red.

Las redes de segunda generación son nombradas como redes de enrutamiento de longitud de onda ó como redes de conmutación de circuitos ópticos. En esta generación se habla de una capa óptica, se adicionan funciones de gestión y protección en el dominio óptico contribuyendo así en el ahorro en equipos.

Los usuarios finales o capa cliente utilizan canales WDM para su comunicación, consta de caminos ópticos que utilizan una longitud de onda para transmitir información en conexiones extremo a extremo entre nodos intermedios.

Estas redes están formadas por multiplexores de adición y extracción de longitud de onda óptica OADM, terminales de línea y matrices de conmutación óptica. La figura 1.3 nos presenta un esquema de la función realizada por un OADM.

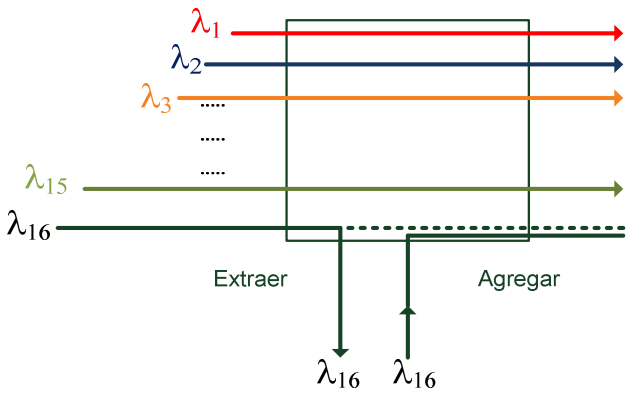


Figura 1.3. Esquema de un OADM

Gracias a un OADM se puede disminuir los costos de operación de la red permitiendo la conmutación en el dominio óptico.

Los equipos terminales de línea (OLT-*Optical Line Termination*) finalizan una conexión punto a punto para multiplexar o demultiplexar longitudes de onda que forman parte de caminos ópticos, así como también adaptar las señales de capa cliente a la capa óptica.

Las matrices de conmutación óptica (OXC-*Optical Cross-Connect*) pueden conmutar longitudes de onda desde cualquiera de sus puertos de entrada a cualquiera de los puertos de salida. En esta generación se maneja el concepto de Enrutamiento y Asignación de Longitud de Onda (RWA-*Routing and Wavelength Assignment*) siendo el problema al establecer caminos ópticos, estos pueden ser de tipo estático o dinámico. La conmutación puede incluir o no conversión de longitud de onda.

A continuación en la figura 1.4 se ilustra claramente los elementos de una red de segunda generación anteriormente citados.

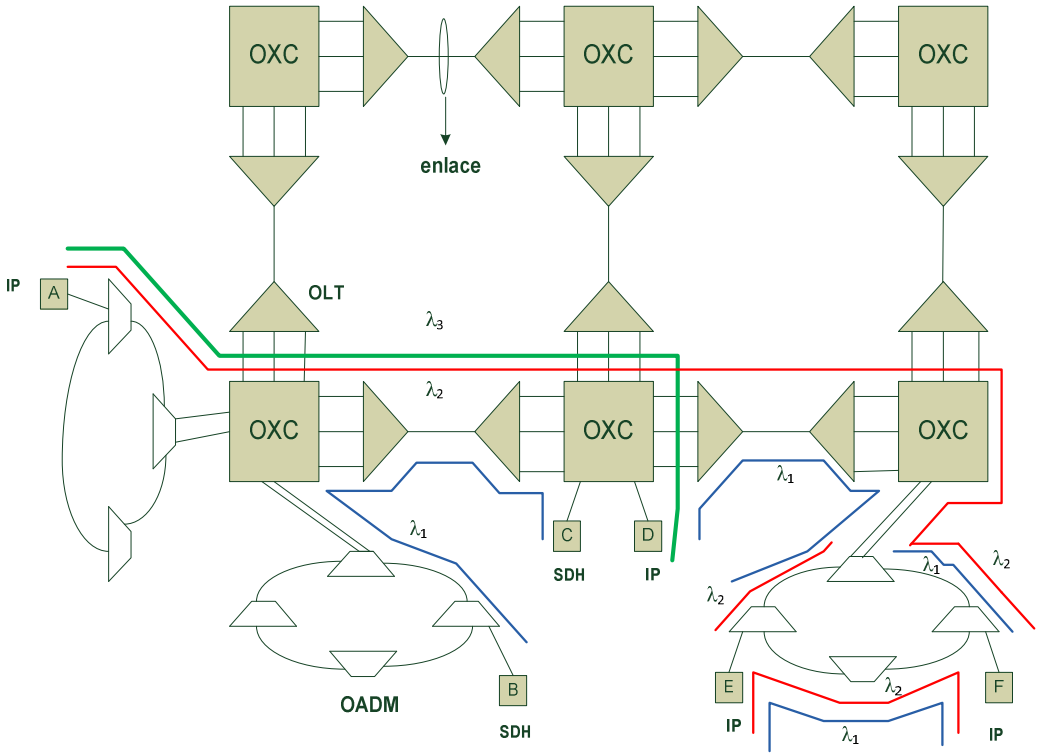


Figura 1.4. Redes de Segunda Generación

Se conoce como Establecimiento de Caminos Ópticos Estáticos (SLE-*Static LigthPath Establishment*) a caminos ópticos establecidos por conexiones ya conocidas, los establecimientos dinámicos consisten en establecer caminos ópticos y asignar a cada uno una longitud de onda de manera que se minimice la cantidad de conexiones bloqueantes mientras aumenta el número de conexiones que se puedan establecer en la red.

El establecimiento estático es una característica en las conexiones en redes de enrutamiento por longitud de onda lo cual las hace menos eficientes al utilizar longitudes de onda dedicadas. Por esta razón el objetivo es buscar la manera de suministrar los recursos de red eficientemente buscando arquitecturas de transporte que brinden rápida provisión de recursos de red, cubriendo los requerimientos de la demanda de ancho de banda.

Las redes ópticas de tercera generación se caracterizan por ofrecer enrutamiento y conmutación de las longitudes de onda directamente en el dominio óptico, proporcionando ventajas significativas con respecto a la segunda generación de redes.

En esta generación de redes, como resultado del aumento del tráfico de datos, se habla de conmutación de ráfagas ópticas y conmutación de paquetes ópticos ambos definidos sobre WDM.

La Conmutación de Ráfagas Ópticas OBS (*Optical Burst Switching*) transporta ráfagas, las mismas que contienen paquetes, cada ráfaga tiene asociado una cabecera la cual contiene datos necesarios para el direccionamiento a través de la red, como se puede observar en la figura 1.5.

A esta cabecera también se la denomina paquete de control y es enviado un periodo de tiempo antes que la ráfaga con el propósito de reservar los recursos en los nodos.

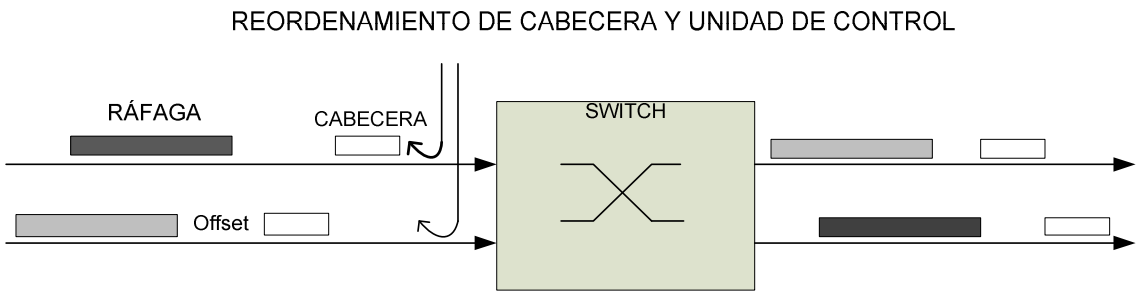


Figura 1.5. Funcionamiento de OBS

La conmutación de paquetes ópticos hace un uso más eficiente de los recursos de red, configurando a éstos de manera dinámica. En las redes ópticas de tercera generación la conmutación de paquetes ópticos convierte los paquetes IP a paquetes ópticos IP en la entrada de un nodo de frontera haciendo que la transmisión y el enrutamiento se realice en el dominio óptico.

Usualmente a una red de conmutación de paquetes se la representa como una “nube” con varios nodos conectados a ella, tal como se aprecia en la figura 1.6, la red encamina cada paquete dentro de dicha nube.

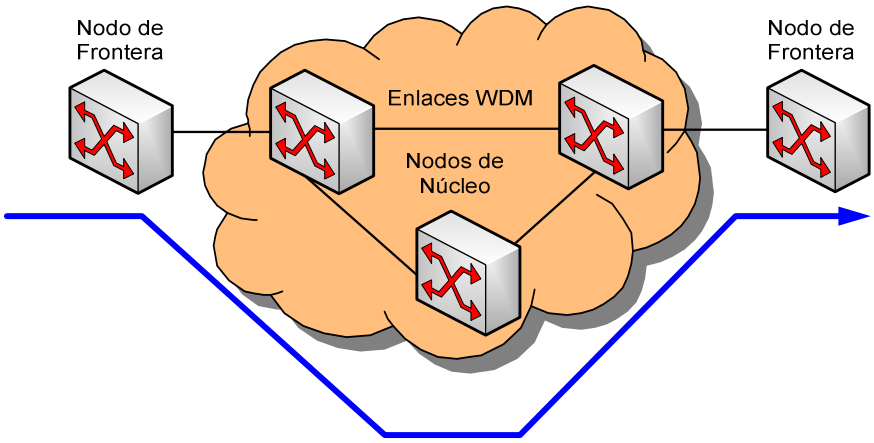


Figura 1.6. Entorno de Red Óptica de Tercera Generación

Por tanto, esta evolución plantea que las funciones de enrutamiento y conmutación deben realizarse directamente en el dominio óptico, dando lugar a redes transparentes o completamente ópticas, cuya ventaja principal sería la independencia del formato y la tasa binaria como se verá en los capítulos restantes.

La evolución tiende a la introducción de redes de transporte óptico con el fin de simplificar la arquitectura de red, razón por la cual se impulsa al desarrollo de técnicas de conmutación de paquetes ópticos para lograr la transmisión de paquetes por medio de procedimientos fotónicos brindando beneficios en la velocidad de procesamiento, solidez de la implementación, consumo de potencia de los circuitos electrónicos, etc.

El procesamiento de señales en el dominio óptico minimiza la carga de circuitos electrónicos, mejorando de forma significativa la transferencia de paquetes y el aprovechamiento del ancho de banda utilizado, al evitar los cuellos de botella que se generan con el procesamiento electrónico de paquetes a alta velocidad.

1.4. DEFINICIÓN DE OTN

La red de transporte óptica (OTN - Optical Transport Network) es la futura plataforma para el intercambio de todo tipo de información digital. La ITU-T ha estandarizado la OTN a través de la serie G de recomendaciones: estructuras de trama (G.709), arquitecturas (G.872) y funciones de gestión (G.798). Concretamente, consiste en una jerarquía multiplexada de Unidades Ópticas de Datos ODUs (*Optical Data Units*) que se organizan en el interior de Unidades de Transporte Óptico OTU (*optical transport units*), las cuales constituyen la base de los servicios de datos: *Mapeo de tramas* GFP-F *(framed-mapped)* o *Mapeo transparente* GFP-T *transparent-mapped*. Los contenedores OTU se nombran del 1 al 4 y se corresponden con las siguientes tasas de bit:

1 OTU1/ODU1: 2,5 Gbps
2 OTU2/ODU2: 10 Gbps
3 OTU3/ODU3: 40 Gbps
4 OTU4/ODU4: 100 Gbps

El desarrollo de la especificación del contenedor OTU4 está actualmente en marcha en el grupo de trabajo ITU-T SG 15, y constituye el modelo de referencia de 100 Gbps en el grupo IEEE HSSG.

Los contenedores OTU4 podrán transportar de forma transparente 9 señales 10GbE, o bien una única señal 100GbE.[4]

Muchos de los conceptos en la ITU-T G. 709 tienen sus raíces en SDH, por ejemplo, una estructura en capas, vigilancia del rendimiento en el servicio, protección y otras funciones de gestión.[5]

[4] RAMOS, Francisco, “100 Gigabit Ethernet”,,2008
[5]Agilent Technologies, “An overview of ITU-T G.709”.

Además lejos de realzar la ayuda para la Operación, Administración, Mantenimiento y aprovisionamiento OAMP (*Operations, Administration, Maintenance and provisioning*) de las funciones SDH en redes de DWDM, el propósito del estándar del ITU G.709 (basado en ITU G.872) son triples. Primero, define la jerarquía óptica del transporte del OTN; en segundo lugar, define la funcionalidad de sus gastos indirectos en apoyo de redes ópticas de múltiples longitudes de onda; y tercero, define sus estructuras de trama, tasas binarias y formatos para señales del cliente[6].

1.5. OBJETIVOS DE LAS OTN

El objetivo de OTN (*Optical Transport Network*), es combinar los beneficios de la tecnología SONET/SDH con la expansibilidad del ancho de banda del WDM, brindando la posibilidad de aumentar apreciablemente la capacidad del ancho de banda que puede transportarse por las redes. Haciendo hincapié que para el caso de Ecuador se trabaja con SDH, ya que SONET es prácticamente aplicado solo en Estados Unidos y Canadá.

Uno de los propósitos es permitir a los operadores una reducción de costos de red al reducir el número de regeneradores, esto lo logra gracias a las características adicionales que agrega técnicas de codificación (FEC) a la arquitectura OTN.

La norma G.709 OTN tiene como fin permitir a los operadores preparar el terreno para una infraestructura de red de servicios múltiples optimizada en tráfico IP.[7]

OTN tiene como meta encarar la creciente migración de servicios hacia el transporte óptico, siendo el marco perfecto por medio del cual se integran las tecnologías de networking de nueva generación.

[6]GENDRON, Robert y GIDARO, Amato , “THE G.709 OPTICAL TRANSPORTNETWORK — AN OVERVIEW” Pdf.
[7] HUAWEI, “El surgimiento de las redes de transporte de banda ancha orientadas a tráfico IP”.

OTN está orientado a proveer características de gestión robusta como son el FEC fuera de banda que permite mejorar el rendimiento del transporte, el monitoreo del desempeño de ODU de extremo a extremo, agregar encabezados a lambda y multi-lambda en la gestión OTS, OMS, Och para soportar grandes anchos de banda. La OTN envía funcionalidad de administración para redes DWDM[8].

1.6. CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES

La OTN presenta diferentes propiedades como es la transparencia, posee la capacidad de ser compatible con protocolos existentes, utiliza codificación FEC y brinda reducción de regeneración 3R.

Con la reducción de regeneradores 3R se minimiza la complejidad de la red logrando una reducción de costos al utilizar regeneradores 3R únicamente en cada extremo de la IRDI como se puede observar en la figura 1.7, la *Interfaz Interdominios (IRDI Inter-domain interfaces)* funciona como interfaz entre diferentes operadores[8].

En redes no transparentes la regeneración 3R debe realizarse en cada nodo de la red.

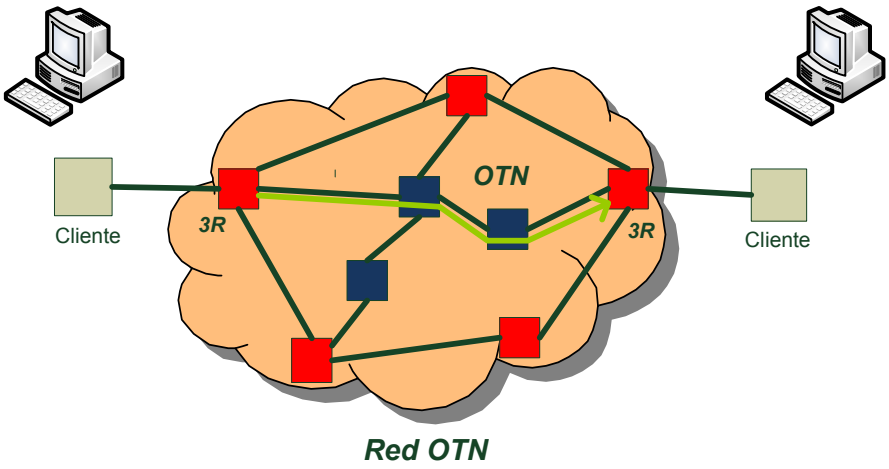


Figura 1.7. Regeneración 3R en OTN

[8] SCHUBERT, Andreas, "G.709 – The Optical Transport Network (OTN)", 2007.

OTN incorpora su propia cabecera y a cambio ofrece funciones de Operación, Administración, Mantenimiento y provisionamiento (OAMP-*Operations, Administration, Maintenance y Provisioning*)[9].

Como se verá más adelante varias secciones de overhead (encabezados) son añadidos a la señal del cliente lo cual en conjunto con el FEC forman la unidad de transporte óptico (OTU), esto es transmitido por un *canal óptico* OCh es decir una longitud de onda. Para poder gestionar la red OTN se añade una cabecera a cada longitud de onda transmitida.

Las secciones de multiplexación óptica y las secciones de transmisión óptica son establecidas usando la cabecera (overhead) adicional en conjunto con el canal óptico (OCh), En la siguiente figura se ilustra lo indicado.

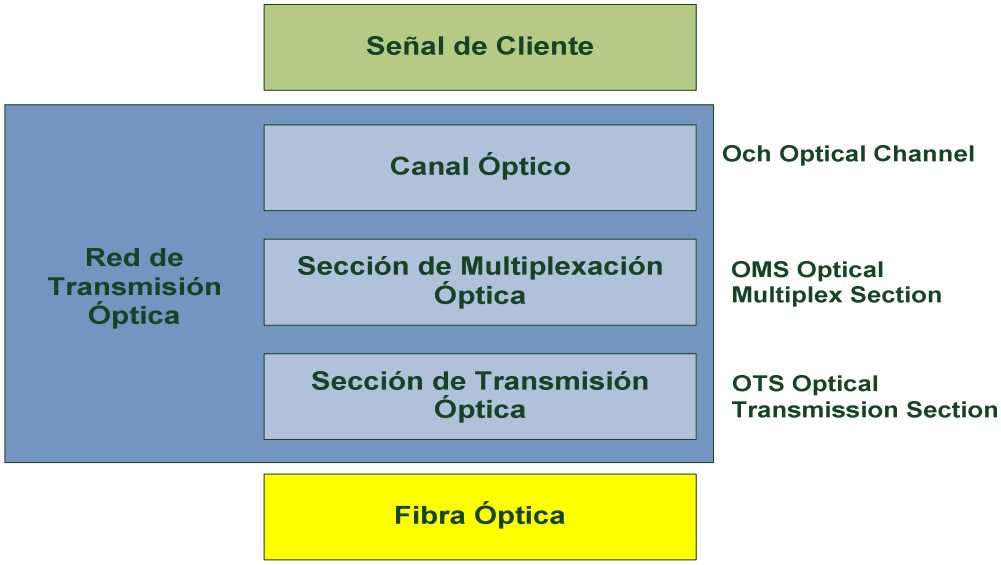


Figura 1.8. Secciones de OTN

[9] HUAWEI, "El surgimiento de las redes de transporte de banda ancha orientadas a tráfico IP",

1.7. CAPACIDADES Y ÁREAS DE IMPORTANCIA

Cuando se utiliza OTN, los operadores pueden fácilmente combinar múltiples redes y servicios tales como SDH/SONET tradicional, Ethernet, protocolos de almacenamiento y video sobre una infraestructura común. Como resultado, los operadores pueden alcanzar reducciones significativas tanto en los gastos de capital como de operación. Provee capacidades genuinas de networking de extremo a extremo, como por ejemplo provisión, cross-conexión, grooming de tráfico y protección carrier-class. La OTN también ofrece más capacidades de operación y mantenimiento.[10]

Soporta su propio espacio libre para la supervisión del rendimiento y aviso de fallos, además de un *Canal de Comunicaciones Generales* GCC (*General communication channels*) para la gestión remota y otras funciones de control.[11]

Como respuesta a la demanda de nuevos servicios flexibles y de Calidad de servicio, OTN cuenta con capacidades de agregación masiva, reconfiguración, transparencia, escalabilidad y aprovisionamiento e interoperabilidad.

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[12].

Reconfiguración – La infraestructura de red permite, que al adecuar la señal que proviene del cliente a 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. Para esto debe existir la conversión de la señal a la longitud de onda.

---

[10] HUAWEI, “El surgimiento de las redes de transporte de banda ancha orientadas a tráfico IP”.
[11] CIENA, “El valor de las OTN en la convergencia de redes y la migración Ethernet/IP”.
[12] CASTREJO, Juan, ”Arquitecturas en anillo para redes IP”.

Transparencia – La tecnología puede soportar SDH y formatos de señal nativos como Gigabit Ethernet, así como redes de transporte con encaminamiento de longitudes de onda mediante Matrices de Conmutación Óptica OXC *(Optical Cross-Connect*) y Multiplexores de Adición-Extracción de Longitud de Onda completamente Ópticos OADMs (*Optical Add-Drop Multiplexers*), tanto estáticos como reconfigurables, y conversores de longitud de onda en los nodos de conmutación y encaminamiento[13].

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.

Aprovisionamiento dinámico e interoperabilidad - Ofrece la habilidad de proveer gran ancho de banda de transporte. 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 son requisitos de OTN[13].

1.8. GENERALIDADES DE SDH

El primer diseño fue realizado en los laboratorios de investigación de la Bell a finales de los ochenta. Esto dio lugar a un estándar aprobado por ANSI (Instituto Nacional Americano de Normas) que se denominó SONET (Synchronous Optical Network).

SONET utiliza como velocidad fundamental 51,84 Mbps correspondiente a STS-1/OC-1 siendo este último utilizado cuando se trata de una interfaz óptica, aunque a menudo se utilizan indistintamente. Luego de que la ANSI iniciara el proceso de estandarización de SONET la ITU-T comenzó a estandarizar SDH, con el objetivo de

---

[13] CASTREJO, Juan: ”Arquitecturas en anillo para redes IP”,2008

evitar el problema de la incompatibilidad entonces estableció para SDH una velocidad base que era el triple que la de SONET; así la trama básica de SDH, denominada Módulo de Transporte Sincrónico STM-1, era equivalente a (y bastante compatible con) la STS-3/OC-3 de SONET.

Dicha trama tiene una velocidad de 155,52 Mbps, mayores tasas de transmisión como el STM-4, el STM-16, STM-64 y STM-256 (622,08 Mbps, 2488,32 Mbps, 9953,28 Mbps y 39813,12 Mbps respectivamente) están también definidas. El protocolo también permite manejar señales de más baja jerarquía como las provenientes del estándar PDH ("*Plesiochronous Digital Hierarchy*").

La compatibilidad entre SONET y SDH ha ocasionado que con frecuencia se haga referencia conjuntamente a ambos sistemas bajo la denominación SONET/SDH.SDH es un estándar internacional para sistemas ópticos de telecomunicaciones de altas prestaciones. Esta red sincrónica, está optimizada para manejo de anchos de banda fijos. Este estándar culminó en 1989 con las recomendaciones de la ITU-T G.707, G.708, y G.709 que definen la Jerarquía Digital Síncrona.

Denominación SONET	***Denominación SDH***	***Velocidad de transmisión total (Mbps)***	***Velocidad de transmisión útil (Mbps)***
STS-3 / OC-3	STM-1	155,520	150,336
STS-12/OC-12	STM-4	622,080	601,334
STS-48/OC-48	STM-16	2488,320	2405,376
STS-192/OC-192	STM-64	9953,280	9621,504
STS-768/OC-768	STM-256	39813,12	38486,016

STS: Señal de Transferencia Sincrónica (Interfaz Eléctrica)
OC: Portador Óptico (Interfaz Óptico)
STM: Módulo de Transferencia Sincrónico (Interfaz Eléctrico u Óptico)

Tabla 1. 1: Correspondencia de velocidades binarias SONET y SDH[14]

[14] CAPMANY, Jose; ORTEGA, Beatriz: "Redes Opticas",2006

1.8.1. ESTRUCTURA DE LA TRAMA STM-1

Cada trama contiene información tanto de los usuarios como de los elementos de la red, como son *trayecto*, línea y sección. La información es encapsulada en contenedores según el tipo de señal tributaria. Se añade a los contenedores información adicional llamada *cabecera de trayecto* (Path overhead), esta cabecera está formada por bytes utilizados en el mantenimiento de la red, formando así Contenedores Virtuales (VC).

La trama es el resultado de la multiplexación, compuesta por una organización matricial de 270 bytes (columnas) de ancho por 9 bytes (filas) de alto, en total 2430 bytes como se muestra en la figura 1.9.

La transmisión se realiza bit a bit de izquierda a derecha y de arriba abajo, cada trama se transmite a 125 µs, la tasa de bits para cada uno de los niveles es[15]:

*STM-1 = 8000 * (270 octetos * 8bits * 9filas)=155 Mbps*

*STM-4 = 4*8000 * (270 octetos* 8bits * 9filas)=622Mbps*

*STM-16 = 16*8000 * (270 octetos * 8bits * 9filas)=2.5Gbps*

*STM-64 = 64*8000 * (270 octetos * 8bits * 9filas)=10Gbps*

Así de las 270 columnas de un STM-1 las 9 primeras conforman la denominada cabecera (Overhead), que es independiente de la tara de trayecto, mientras que las 261 restantes constituyen la Carga Útil (Payload), como se ilustra lo indicado en la siguiente figura.

[15] HERRERA,Enrique, ”Tecnologías y redes de transmisión de datos”

Figura 1.9. Formato de trama STM-1

La cabecera está dividida en tres partes. La primera que comprenda las tres primeras filas se denomina Cabecera de Sección de Regeneración RSOH (*Regenerator Section Overhead*), la segunda compuesta por la fila 4 está destinada a los punteros y la tercera constituida por las filas 5 y 9 es la denominada Cabecera de Sección de Multiplexación (*MSOH- Multiplexing Section Overhead).* Las cabeceras son "bytes" de información que se añaden a la carga con el fin de monitorizarla para la detección de errores. Incluyen además capacidad extra para señalización entre elementos de la sección, para envío de señales de alarma, sincronización, etc. Estas tareas pueden realizarse tanto entre regeneradores, mediante la Cabecera de Sección de Regeneración RSOH (*Regenerator Section Overhead*), como entre multiplexores, mediante la Cabecera de Sección de Multiplexación MSOH (*Multiplexing Section Overhead)*. Más adelante se enfatizará para el caso de SDH.

1.9. MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA WDM (WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING)

La tecnología de multiplexación por división de longitudes de onda (WDM) es la transmisión de múltiples señales láser a diferentes longitudes de onda en la misma dirección, al mismo tiempo, y sobre el mismo hilo de fibra.

El principio de funcionamiento de WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) y DWDM (*Dense WDM*) se basa en el transporte de varios flujos de información, cada uno codificado sobre una longitud de onda distinta y multiplexados dentro de una única fibra. De esta manera se logra incrementar de manera considerable la capacidad de las redes de fibra óptica, tal como se muestra en el siguiente gráfico.

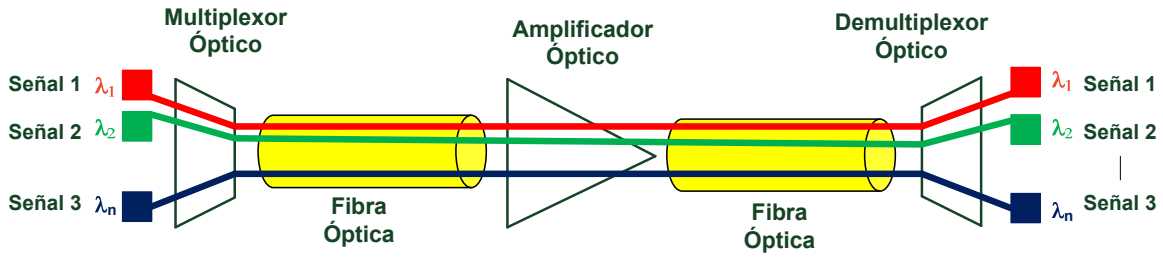


Figura 1.10. Multiplexación por División en Longitud de Onda

En la tabla 1.2 se indica las bandas que utiliza WDM y DWDM, así como también el número de portadoras que utilizan, recalcando que DWDM maneja mayor número de canales.

Época	***Tipo de WDM***	***Número de portadores (número de canales)***	***Banda***	***Separación entre portadoras***
80's	Banda Estrecha	2	1310 nm, 1550 nm	
Principios 90's	WDM	4-8	1550 nm Banda C	800 – 400 GHz
Mediados 90's	DWDM	16-32	1550 nm Banda C	200 – 100 GHz
Fnales 90's	DWDM	64-128	1550 nm Bnada C	50 – 25 GHz
Actual	DWDM	160-320	1550 nm Banda C 1625 nm Banda L	25 – 12,5 GHz

Tabla 1. 2: Evolución de Multiplexación por División de Longitud de Onda

La tecnología WDM, se puede considerar como DWDM ó CWDM, las cuales se diferencian en la separación que tienen entre sus canales, en la multiplexación por

división aproximada de longitud de onda (CWDM- Coarse Wavelength Division Multiplexing) el espaciamiento entre canal es de 2.500 GHz (20 nm) en el rango de 1.270 a 1.610 nm; perteneciendo así a las bandas O, E, S, C y L.

La Multiplexación por división en longitudes de onda densas (DWDM- Dense Wavelength Division Multiplexing), a partir de 16 portadoras (canales). La tecnología DWDM utiliza la tercera ventana (1550 nm) ya que es la banda en la que trabajan los actuales Amplificadores Ópticos:

- banda C, entre 1530 y 1560 nm,

- banda L, entre 1565 y 1630 nm.

Los sistemas DWDM transportan una gran cantidad de longitudes de onda densamente concentradas, necesitan un dispositivo termoeléctrico de refrigeración para estabilizar la emisión de longitudes de onda y absorber la energía disipada por el láser.

En general, los transmisores utilizados en las aplicaciones DWDM necesitan un mecanismo de control que les permite cumplir con los requisitos de estabilidad de frecuencia de las aplicaciones.

Por medio de multiplexores, DWDM combina multitud de canales ópticos sobre una misma fibra, de tal modo que pueden ser amplificados y transmitidos simultáneamente. Cada uno de estos canales, a distinta longitud de onda, puede transmitir al mismo tiempo señales de diferentes formatos como SDH/SONET, IP, ATM, etc. Y a distinta velocidad: OC-48/STM-16 de 2.5 Gbps, OC-192/STM-64 de 10 Gbps, etc.

1.9.1. COMPONENTES DE UN SISTEMA WDM

En la figura 1.11 se muestra los diferentes dispositivos requeridos para un sistema WDM, los cuales serán descritos a continuación.

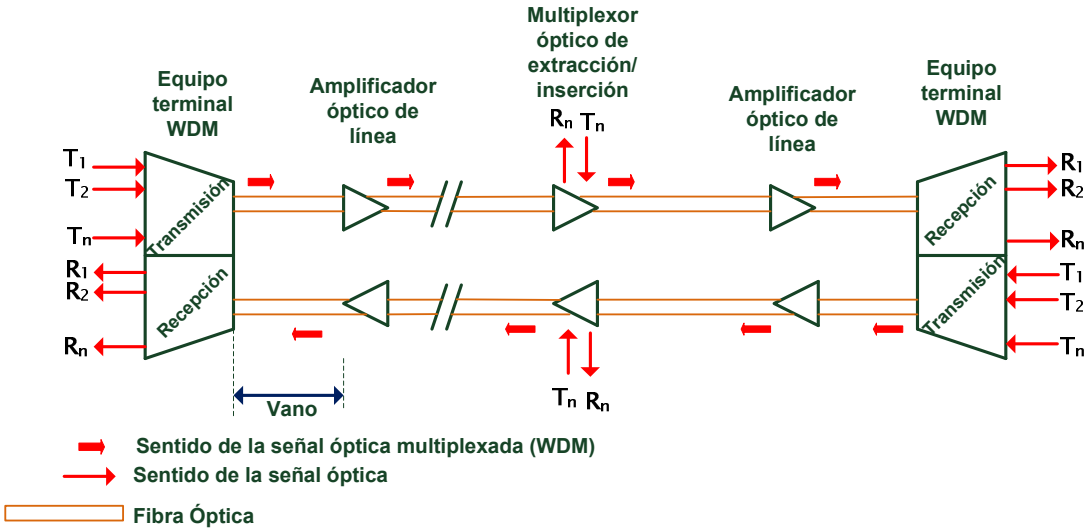


Figura 1.11. Componentes de un sistema WDM

1.9.1.1. Equipo terminal WDM: Transmisión

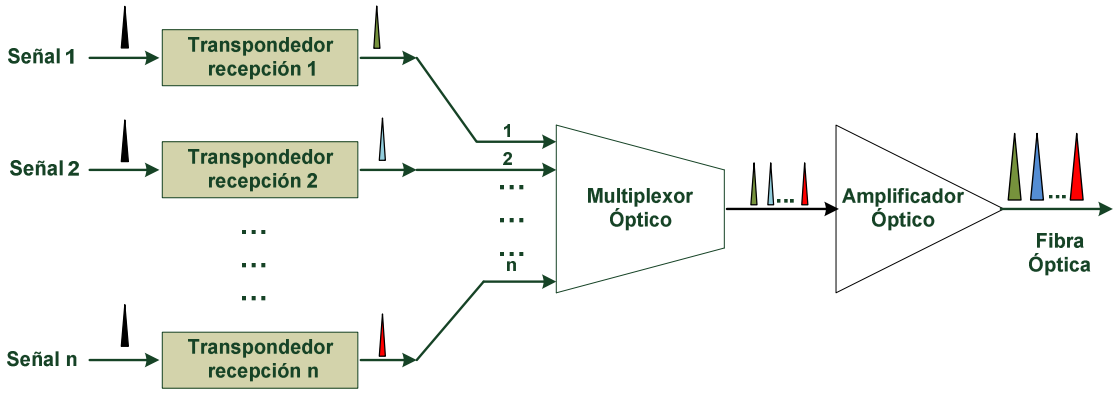


Figura 1.12. Elementos que conforman un terminal de transmisión WDM

Como se puede observar en la figura 1.12, el equipo terminal de transmisión en un sistema WDM consta de los siguientes elementos: Transpondedor de transmisión, multiplexor óptico, amplificador óptico, compensadores de dispersión, interfaces ópticos.

En este caso el transpondedor de transmisión convierte la longitud de onda de la segunda ventana de cada señal óptica de entrada a la longitud de onda específica de la banda C luego un multiplexor óptico multiplexa las N señales de diferentes longitudes de onda en la banda C una única señal óptica para luego pasar por un amplificador de potencia el mismo que amplifica la señal óptica multiplexada, antes de su transmisión por la fibra óptica.

Un interfaz óptico entre el cliente y el transpondedor depende de la velocidad y la distancia entre ellos.

Los compensadores de dispersión impiden el ensanchamiento espectral de cada uno de los canales ópticos, para evitar solapamiento, debido al efecto de dispersión introducido por toda fibra óptica.

1.9.1.2. Equipo terminal WDM: Recepción

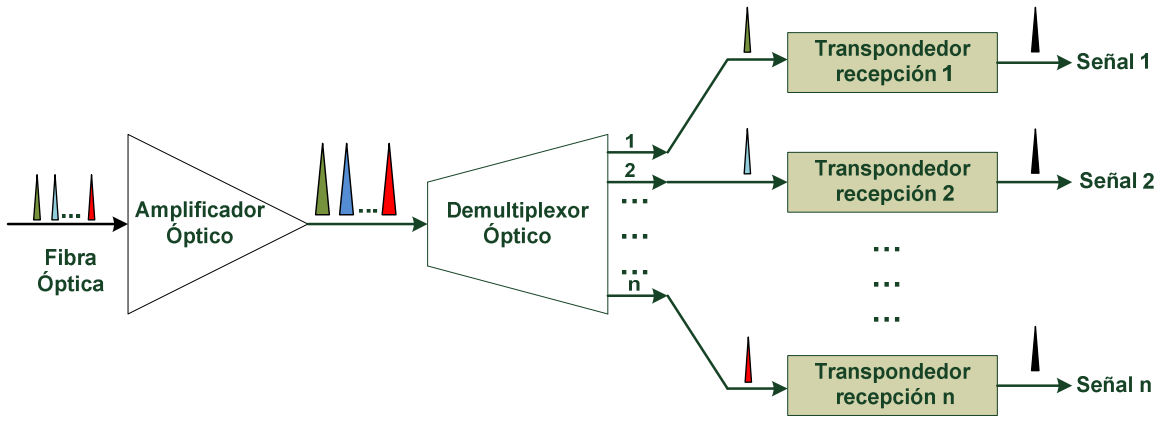


Figura 1.13. Elementos que conforman un terminal de recepción WDM

La figura 1.13 muestra los elementos que se encuentra en un terminal de recepción como son: Preamplificador óptico, desmultiplexores ópticos, transpondedores de recepción.

Un preamplificador óptico se utiliza inmediatamente antes del receptor óptico para mejorar su sensibilidad, antes de su desmultiplexación, el desmultiplexor separa la señal óptica recibida en N señales de diferentes longitudes de onda, filtrando la señal de cada portadora.

En el transpondedor de recepción, para cada portadora convierte la longitud de onda específica de la banda C en una señal óptica de salida de longitud de onda en segunda ventana (1300 nm), en otras palabras se encarga de conmutar una señal coloreada en una señal SDH.

1.9.1.3. Transpondedor de Transmisión

Un transpondedor tiene como función adaptar la señal que proviene del cliente para su uso en la red y viceversa, en la figura 1.14 se ilustra las partes que forman un transpondedor.

Figura 1.14. Transpondedor de Transmisión

El transpondedor está formado por: receptor óptico, regenerador eléctrico y transmisor óptico.

El receptor se encarga de convertir la señal óptica (segunda ventana) en señal eléctrica, en cuanto al regenerador, lleva a cabo las funciones 3R y finalmente el transmisor óptico, convierte la señal eléctrica regenerada en señal óptica DWDM.

1.9.1.4. Regenerador -Amplificador Óptico

Figura 1.15. Regenerador Amplificador Óptico

En la anterior figura se muestra un esquema de un regenerador el mismo que es utilizado para la conversión de señal óptica a señal eléctrica, regeneración de la señal eléctrica (funciones 3R) y por último brindan conversión de la señal eléctrica a señal óptica. A continuación se presenta un amplificador óptico el cual es usado en sistemas WDM que llevan a cabo la amplificación de todas las señales ópticas sin pasar al nivel eléctrico.

Figura 1.16. Amplificador Óptico

Los amplificadores ópticos se dividen en dos tipos: amplificadores de fibra óptica (OFA) y amplificador óptico de semiconductor (SOA).

En los amplificadores ópticos de semiconductor se amplifica la señal que pasa por la región activa de un semiconductor bombeada de forma eléctrica. Estos amplificadores, en comparación con los OFA presentan, menor ganancia, mayor factor de ruido, sensibilidad a la polarización y efectos no lineales.

Los Amplificadores de Fibra Óptica (OFA) amplifican la señal mediante lentes de fibra dopada, los cuales tienen la propiedad de amplificar luz. El elemento más común para este uso es el Erbio, que entrega una ganancia en longitudes de onda entre 1525 nm y 1560 nm. Los amplificadores de fibra dopados con Erbio (EDFA-Erbium Doped Fiber Amplifier).

También existen los amplificadores de fibra de fluoruro dopados con Praseodimio, denominados PDFFA, que tienen una región de ganancia entre 1280 nm y 1330 nm. Estos dos tipos de amplificadores pueden tener una ganancia máxima de 30 dB.

Otro tipo de amplificadores son los Amplificadores Raman que son dispositivos ópticos no lineales, los cuales tienen ganancia no resonante presente en toda la fibra.

A continuación se indica el esquema interno de un amplificador tipo EDFA que se basan en un segmento (15 a 29 metros) de fibra óptica dopada con Erbio, excitada con un láser de bombeo y un circuito de control de ganancia.

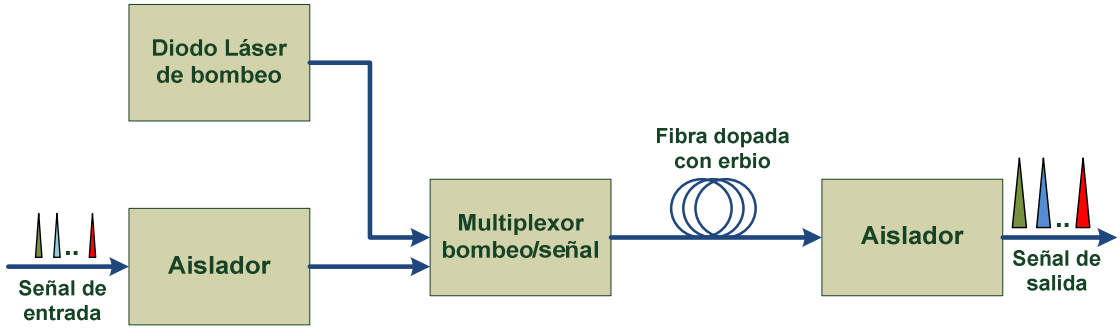


Figura 1.17. Amplificador de fibra dopada con Erbio

1.9.1.5. Equipo WDM de extracción / inserción (un sentido)

En la siguiente figura se muestra la estructura de un multiplexor óptico de extracción/inserción que puede extraer y adicionar N señales ópticas, cada una de ellas asociada a una portadora que tiene una longitud de onda diferente, normalmente incluye amplificadores ópticos de entrada/salida así como también transpondedores.

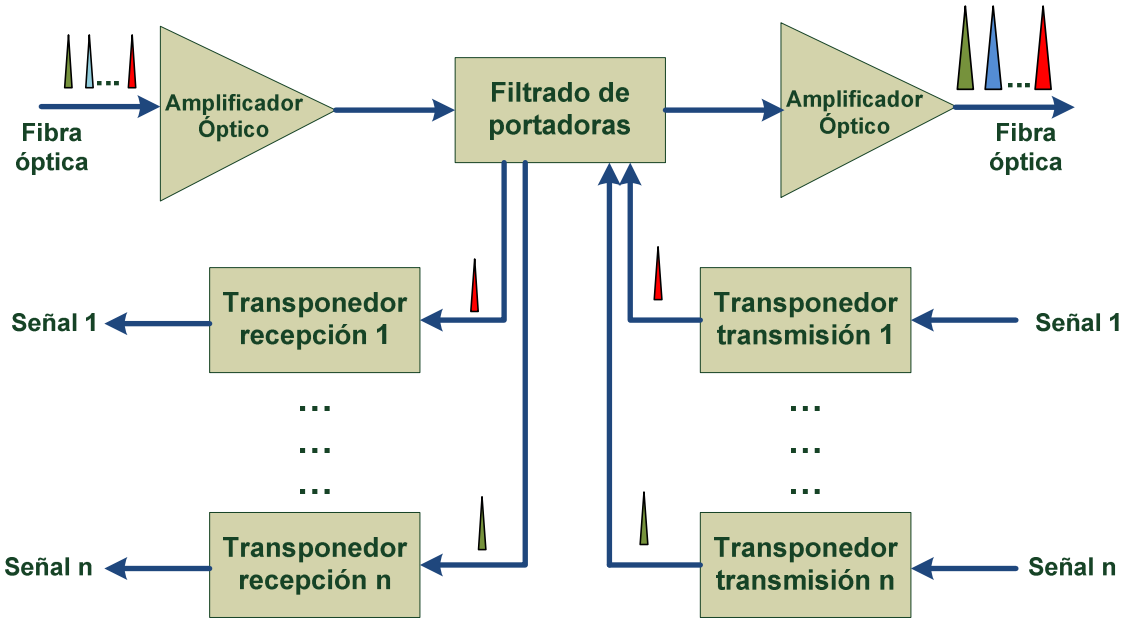


Figura 1.18. Equipo WDM de extracción/inserción

CAPÍTULO 2

2. ARQUITECTURA FUNCIONAL OTN

La red de transporte óptico es una tecnología desarrollada por la ITU-T que combina la multiplexación óptica y eléctrica bajo un marco común, consta de protocolos estándares que deben ser capaces de soportar múltiples servicios. OTN es una arquitectura basada en canales ópticos trasportados sobre una determinada longitud de onda la cual es definida por capas.

Para empezar a describir la OTN, tal como se define por el estándar UIT G.709, primero debemos enumerar sus elementos fundamentales, sus puntos de terminación, y la forma en que se relacionan entre sí en términos de jerarquía y función.

2.1. ESTRUCTURA DE CAPAS OTN

En esencia, la OTN se compone de tres partes, que son denominadas normalmente capas como se ilustra en la figura 2.1:

Sección de Transporte Óptico OTS *(*Optical *transmission Section).*
Sección de Multiplexación Óptica OMS (*Optical Multiplex Section).*
Canal Óptico OCh *(Optical Channel).*

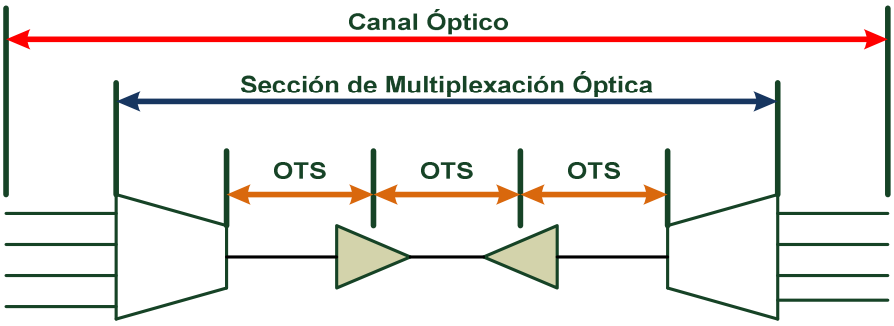


Figura 2.1. Estructura de OTN

El *canal óptico* OCh *(Optical Channel)* es una conexión óptica entre dos usuarios, y ocupa todo un camino óptico. Los canales ópticos son multiplexados y transmitidos como una señal a través de una única fibra. El tramo entre un multiplexor y un desmultiplexor sobre los que la señal multiplexada se transporta se refiere a la *sección de multiplexación óptica* OMS (*Optical Multiplex Section)*.

Por último, el transporte entre dos puntos de acceso sobre el que la señal multiplexada se transmite se refiere a la *sección de transmisión óptica* OTS *(*Optical *Transmission Section)*. Cada capa se asocia con una estructura de trama y cabeceras apropiadas.

La terminación del OTS, OMS y capas del canal óptico OCh son realizados en el nivel óptico del OTN. La carga útil del canal óptico OCh consiste en una infraestructura eléctrica, donde la *unidad óptica de transporte de canal* OTU (*optical transport unit)* es el nivel que añade mayor funcionalidad. Esta capa es la capa digital, también conocido como la "envoltura digital", que ofrece cabeceras específicas para manejar las funciones digitales de OTN. El OTU también introduce a las interconexiones ópticas *corrección delantera de error* (FEC) a los elementos de la red, permitiendo a operarios limitar el número necesario de regeneradores utilizados en la red y con esto reducir costos.

Como veremos más adelante el FEC permite mayor administración de enlace óptico, proporcionando un método para corregir errores, reduciendo así el impacto del ruido de la red y otros fenómenos ópticos experimentados por la señal del cliente que viaja a través de los puntos de terminación de red los cuales se ilustran en la siguiente figura. OTU también encapsula otras dos capas: La *unidad óptica de datos* ODU y *la unidad de carga óptica* OPU *(Optical Channel Payload Unit)* que dan acceso a la carga útil (SDH, FICON etc.).

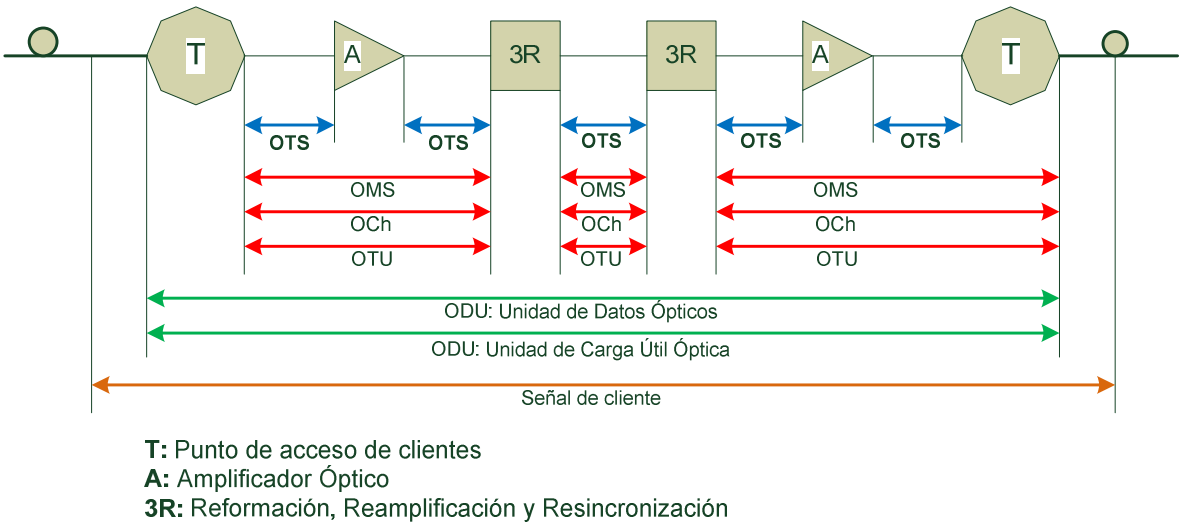


Figura 2.2. Puntos de terminación de capas OTN

A continuación se indica el proceso por el cual una señal cliente debe seguir para su transmisión.

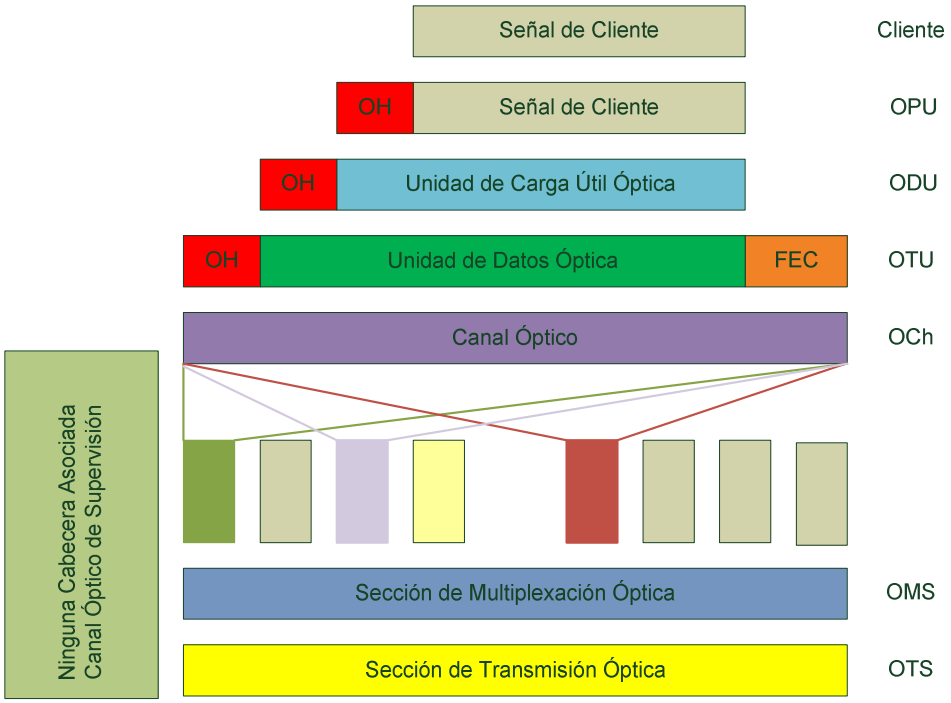


Figura 2.3. Encapsulamiento de la señal cliente

El encapsulamiento de la señal del cliente es primero adaptado a la capa OPU. La adaptación consiste en el ajuste de la tasa de señal de cliente a la tasa de OPU, para esto se añade una cabecera. Esta cabecera OH contiene información para apoyar la adaptación de la señal del cliente.

Una vez adaptada la señal, el OPU es insertado en el ODU y se agregará las cabeceras necesarias para asegurar supervisión de extremo a extremo y monitoreo. Por último, al ODU se le añade una cabecera, que proporciona entramado así como sección de monitoreo y FEC, formando así el OTU.

Siguiendo la estructura de OTN presentada en la anterior figura, la *unidad de transporte óptico* OTU k (k = 1, 2, 3) son transportados utilizando el *canal óptico* OCh, cada canal es asignado a una longitud de onda específica de la red. Varios canales pueden ser asignados en el OMS y entonces transportados a través de la capa OTS. Cada una de las capas OCh, OMS y OTS tiene su propia cabecera para propósitos de gestión en el nivel óptico. La cabecera de estas capas ópticas son transportadas fuera de la red de la ITU, sobre un canal llamado *canal de supervisión óptico* OSC (*Optical Supervisory Channel*).

Cuando la estructura de trama de OTU está completa (OPU, ODU y OTU), G.709 proporcionan funciones *Operación, Administración, Mantenimiento y Provisionamiento OAM&P (Operations, Administration, Maintenance, and Provisioning*) que son apoyadas por las cabeceras más adelante descritas.

2.2. ESTRUCTURA DE TRAMAS Y CABECERAS

2.2.1. UNIDAD DE CARGA ÓPTICA OPU - k (OPTICAL CHANNEL PAYLOAD UNIT - k)

La unidad de trama básica de OTN es la OPU-k, en el que las señales de clientes son mapeadas. Teniendo en cuenta el FEC, la tasa de bits de transmisión nominal de OPU-k, para k = 1, 2, 3, se indica en la tabla 2.1. Una unidad OPU-K consta de cuatro filas de 3810 bytes cada uno, incluyendo 2 bytes de cabecera colocada en el

extremo inicial de cada fila para dar soporte a la adaptación de diferentes señales de cliente, como se ilustra en la figura 2.4. Tenga en cuenta que ITU-T G.709/Y.1331 comienza la numeración a partir del 15, este número se pondrá de manifiesto durante la construcción de la trama OTN.

Velocidad de transmisión nominal para la OPU-k	
OPU-k	***Velocidad Nominal***
OPU-1	2488320000 Kbps ± 20 ppm
OPU-2	9995276962 Kbps ± 20 ppm
OPU-3	40150519322 Kbps ± 20 ppm

Tabla 2. 1: Velocidad de transmisión nominal OPU-k

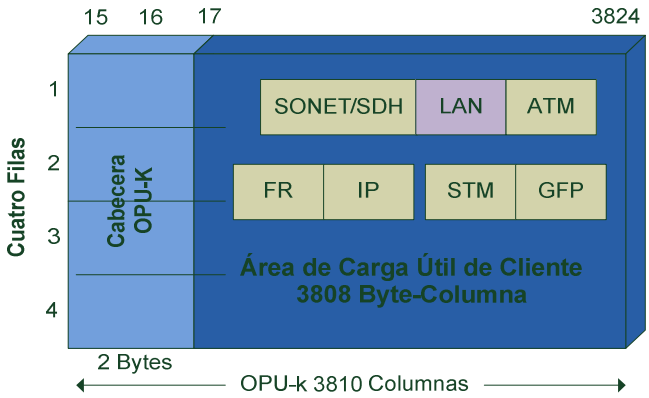


Figura 2.4. Unidad OPU-k

2.2.2. CAMPO DE CABECERA OPU-k

El principal campo de cabecera asociado con la *Unidad de Carga Óptica* OPU (*Optical Channel Payload Unit)* se añade a los datos del OPU, para dar soporte a las diferentes señales cliente así como también controla el mapeo de las mismas y aporta información acerca del tipo de señal transmitida.

El estándar G.709 permite el mapeo asíncrono y síncrono de las señales cliente. La cabecera del OPU está formada por el Identificador de estructura de carga útil PSI (*Payload Structure Indentifier)* donde se encuentra el tipo de carga útil PT (*Payload*

Type) y los bits de cabecera asociados con el mapeo de las señales cliente, un ejemplo de estos son los bits de justificación que son necesarios para los mapeos asíncronos.

El campo Identificador de estructura de carga útil PSI *(Payload Structure Identifier*) del OPU transporta un mensaje de 256 bytes alineados con la multitrama ODU. En la figura 2.5. se puede observar que el PSI contiene el campo llamado tipo de carga útil (PT) que es un único byte el cual identifica los datos a ser transportados.

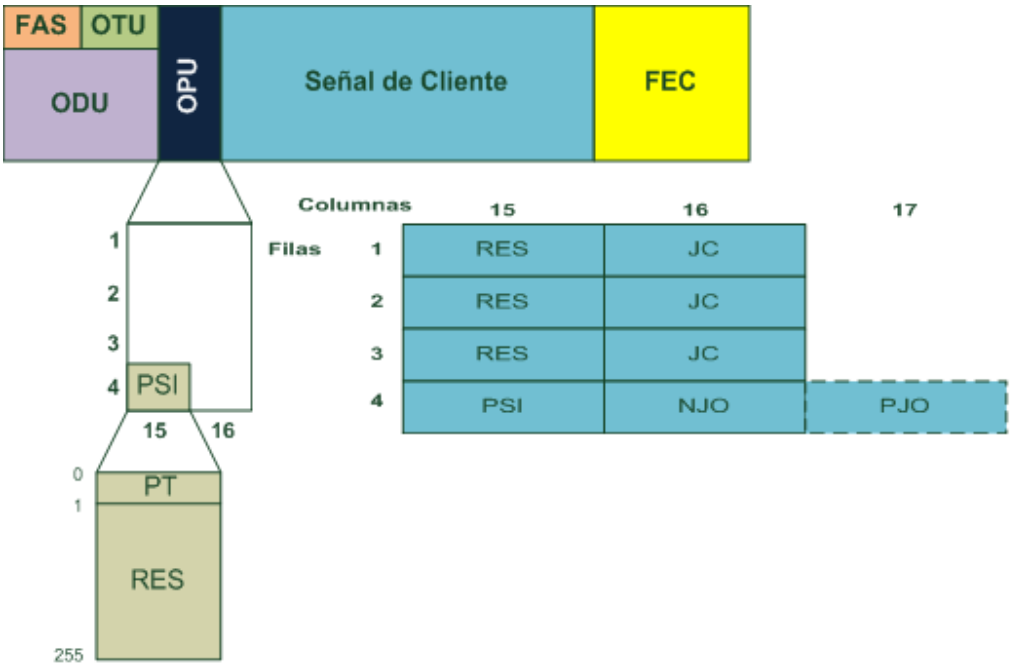


Figura 2.5. Cabecera OPU

2.2.3. UNIDAD DE DATOS ÓPTICA (ODU-k)

La unidad óptica de datos-k (ODU-k) está formada por la adición de cabecera de 14 columnas de bytes en los extremos iniciales de la OPU-k, ilustrado en la figura 2.6. Los primeros 14 bytes de la primera fila de la ODU-k están definidas de la siguiente manera:

• El *Frame Alignment Signal* (FAS-*Señal de alineación de trama*) (bytes 1-7) consiste en la secuencia de alineación de trama fija: 0xA1 0xA1 0xA1 0xA2 0xA2 0xA2.

• El *Multiframe Alignment Signal (*MFAS-Señal de alineación de multitrama) (byte 8) contiene el número de trama en una multitrama de 256 bytes.

• La cabecera de OTU (unidad de transporte de canal óptico -k) (bytes 8-14) consiste en la sección monitoreo (bytes 8-10), *canal de comunicaciones general*-0 (GCC0) (bytes 11 y 12), y dos reservados (bytes 13 y 14).

El resto de cabecera de ODU-k (bytes 1 a 14 de las filas 2-4) está dividido en secciones, en la siguiente figura se muestra lo anterior.

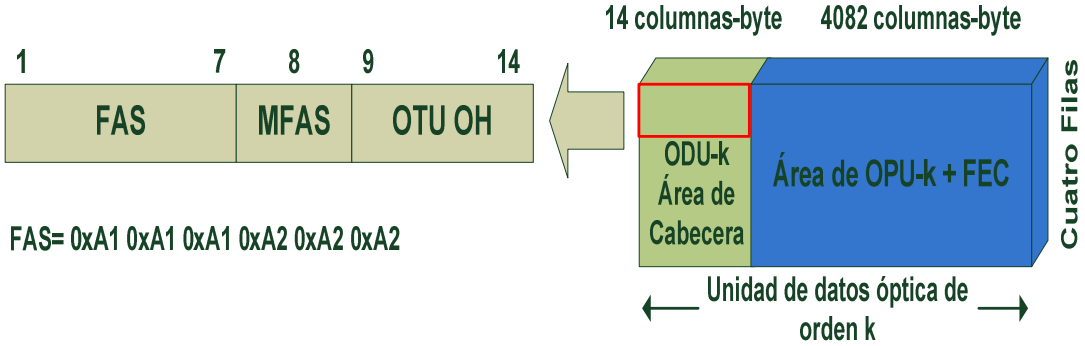


Figura 2.6. Unidad de Datos Ópticos ODU-k

2.2.4. CAMPO DE CABECERA DE ODU-k

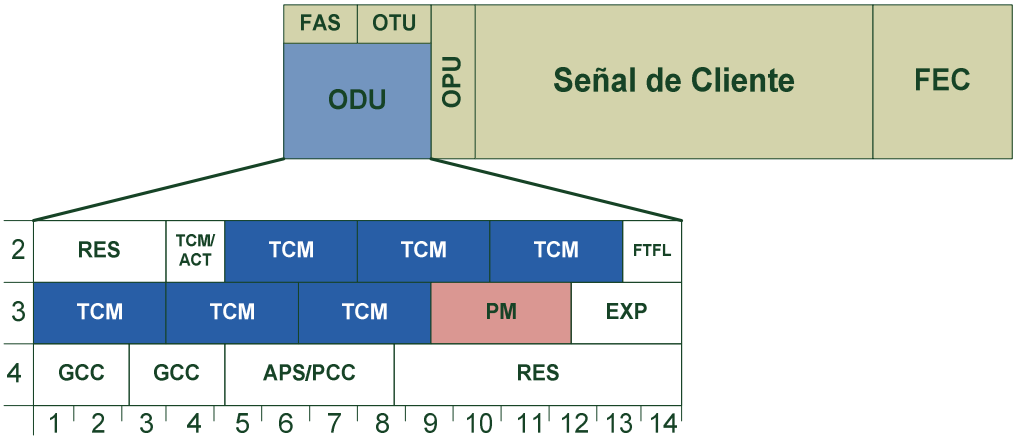


Figura 2.7. Cabecera ODU-k

En la figura anterior se puede observar que la cabecera del ODU suministra dos importantes cabeceras: la cabecera (PM - Path Monitoring) y la cabecera Supervisión de Conexión en Cascada *(TCM -Tandem Connection Monitoring).*

2.2.4.1. Cabecera Supervisión de Trayecto (PM Path Monitoring)

La cabecera Supervisión de trayecto de ODU permite la monitorización de secciones determinadas dentro de la red así como la localización del fallo en la red vía los octetos de la cabecera descritos en la cabecera Supervisión de trayecto PM.

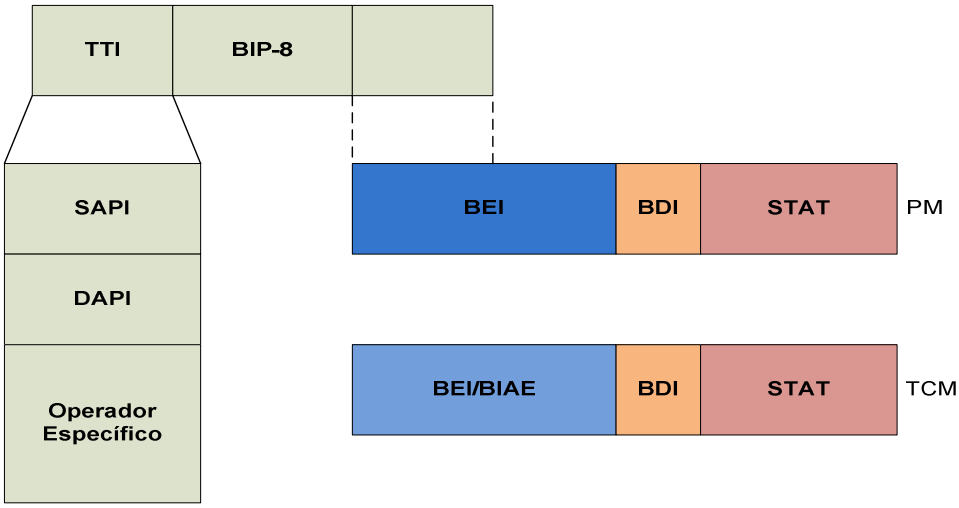


Figura 2.8. Supervisión de trayecto (PM Path Monitoring)

La cabecera de Supervisión de trayecto PM está configurada como se muestra en la figura 2.8., en la fila 3, columnas 10 a 12 para soportar la monitorización del camino la estructura del campo PM contiene los siguientes subcampos:

– *Identificador de traza de camino (TTI-Trail Trace Identifier*). Es usado para reconocer la señal del origen al destino en de la red. El *Identificador de traza de camino* TTI contiene los Identificadores de Punto de Acceso (*API- Access Point Identifiers*) que se encargan de especificar el Identificador de Punto de Acceso Origen (*SAPI- Source access point identifier*) y el Identificador del Punto de Acceso Destino (*DAPI-Destination access point identifier*).

Los Identificadores de Punto de Acceso APIs contienen información del país de origen, del operador de la red.

- *Paridad de entrelazado de bits-nivel 8 BIP-8 (Bit Interleaved Parity).* Este es un byte que se usa para la detección de error. El octeto BIP-8 se trata de dividir cada porción de señal en bloques de bits entrelazados, el código bip-8 significa que la porción de la señal se dividen en 8 bloques, cada bit de la palabra de código corresponde a una columna/bloque y vale “1”si el número de ceros en la columna es impar y “0” si es par, definiendo así un método de paridad par, en el extremo receptor se compara la palabra de el código generado localmente con el recibido de manera que si fueran diferentes se interpretaría como un error en la porción de señal monitorizada.

- *Indicador de defecto hacia atrás (BDI- Backward Defect Indication*). Es un solo bit que brinda información del fallo de la señal en dirección hacia atrás, esto quiere decir que es un mecanismo que informa al extremo de origen de cualquier defecto que observa en el destino.

- *Indicador de error hacia atrás (BEI- Backward Error Indication*) y *error de alineación entrante hacia atrás (BIAE- Backward Incoming Alignment Error*). Este indicador trae consigo información acerca de los bloques de entrelazado de bit detectados con error en la dirección hacia atrás. También se usan para llevar errores de alineación de entrada (*IAE - Incoming Alignment Errors*) en dirección hacia atrás.

Bits de estado para la señal de indicación y mantenimiento (STAT -Status bits). Estos tres bits indican la presencia de señales de mantenimiento.

2.2.4.2. Cabecera de supervisión de conexión en cascada TCM (Tandem Connection Monitoring) del ODU

La Supervisión de conexión en cascada *(TCM -Tandem Connection Monitoring)*, es una función que hace posible la gestión de la señal a través de múltiples redes, también utiliza los bytes de paridad para comprobar errores.

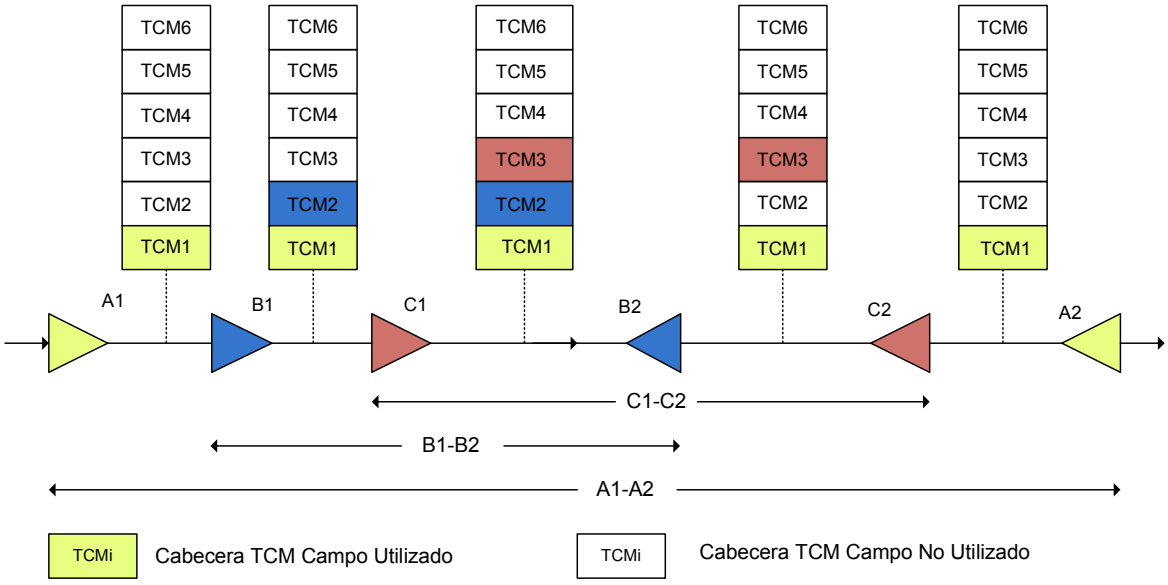


Figura 2.9. Supervisión de conexión en cascada (TCM Tandem Connection Monitoring)

Los bytes de la cabecera TCM se ilustran en la figura 2.9., están definidos en la cabecera de la fila 2, columnas 5 a 13 así como en la fila 3, columnas 1 a 9 en la cabecera del ODU.

Cada campo TCM contiene subcampos como es el *error de alineación entrante hacia atrás (BIAE- Backward Incoming Alignment Error)* descrito en la supervisión de trayecto PM. La funcionalidad TCM implementada en el OTN es capaz de monitorear hasta 6 "conexiones tándem" independientemente. A continuación se

muestra una figura en el que se encuentran los bytes adicionales de la cabecera ODU para luego ser descritos:

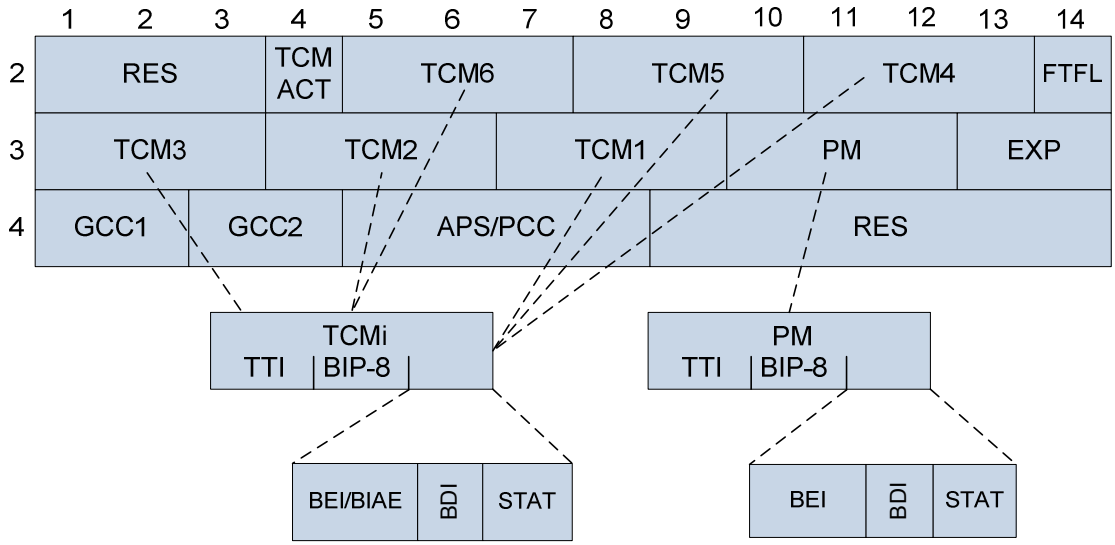


Figura 2.10. Bytes adicionales en la cabecera ODU

-RES. Estos bytes están reservados para la futura estandarización internacional. Todos los bytes están en cero ya que habitualmente no se usan.

-TCM/ACT. Este byte aun está en estudio, es utilizado para la activación y desactivación de los campos TCM.

-EXP. Este campo es reservado para futuros usos experimentales.

-Canales de Comunicación General (GCC1, GCC2 - *General communication channels)*. Hacen posible la comunicación entre dos elementos de la red con acceso a la trama ODU.

-Canal de conmutación de protección automática y canal de comunicación de protección (APS/PCC- Automatic Protection Switching y Protection Communication Channel). La conmutación APS es posible en uno o más niveles.

-Canal de comunicación de informe de localización de fallo y tipo de fallo (FTFL-Fault Type y Fault Location channel). En la cabecera ODU existe un byte de reserva para el mensaje FTFL. El mismo que aporta información del estado de la falla dando información en cuanto al tipo y ubicación de está.

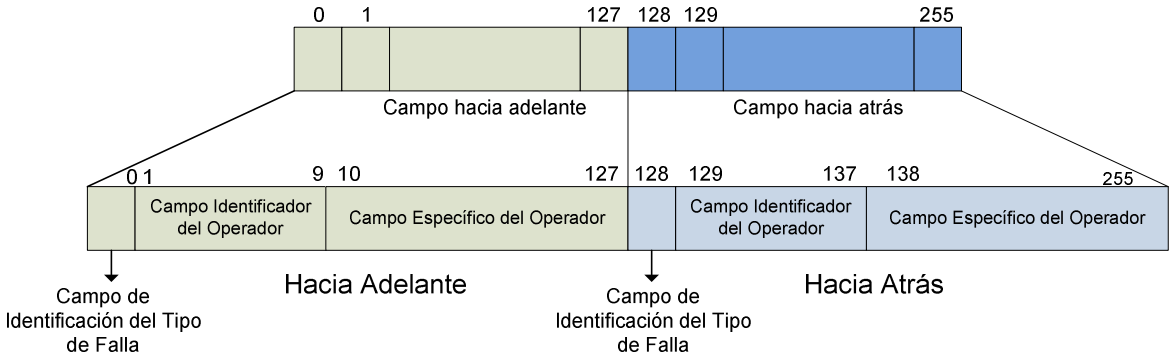


Figura 2.11. Canal de comunicación de informe de localización de fallo y tipo de fallo

La subestructura de acuerdo a la anterior figura incluye: campos de indicación de fallo hacia adelante y hacia atrás, campos de identificación del operador anterior y posterior, y campos específicos del operador anterior y posterior que realiza las funciones siguientes:

2.2.4.2.1. Campo de Indicación del Tipo de Fallo

Este campo indica las situaciones siguientes:

- Sin Fallo
- Fallo de la Señal
- Degradación de la Señal

2.2.4.2.2. Campo Identificador del Operador

Especifica el origen geográfico del operador e incluye un campo de segmento nacional.

2.2.4.2.3. Campo Específico del Operador.

Son campos que aun no están estandarizados por la ITU-T G.709.

Finalmente se ilustra en la figura 2.12 todos los componentes de la cabecera ODU-k, incluyendo las subestructuras el campo FTFL descritas anteriormente.

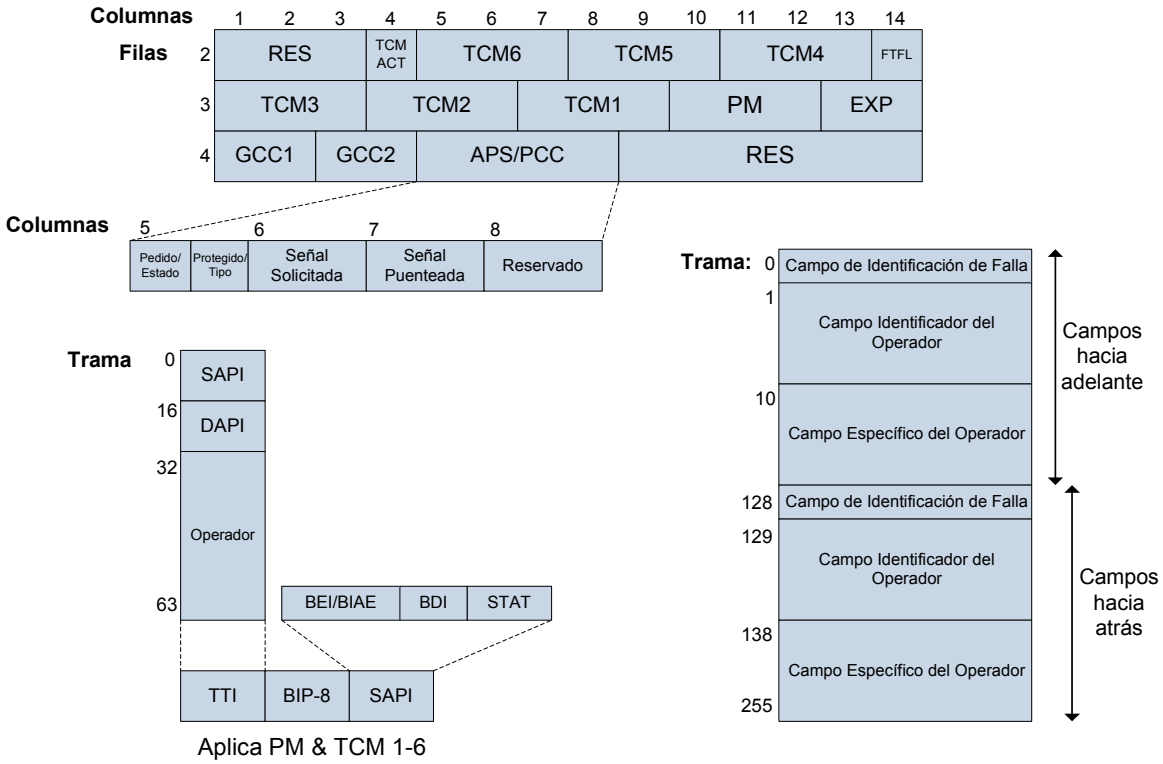


Figura 2.12. Cabecera ODU-k y Canal de localización de falla

La unidad de datos ópticos ODU-k es responsable de las siguientes funciones:

- Adaptación de las señales de cliente a través de la OPU-k.
- Supervisión de la ruta extremo a extremo a través de ODU-k.
- Monitoreo de la conexión tándem a través de ODU-KT.

Actualmente se define ODU-k [ITU-T G.802], las siguientes relaciones cliente/ servidor:

- Un ODU-2 puede transportar 4 ODU-1s; un ODU-2 es el equivalente de 4 ODU-1.

• Un ODU-3 puede transportar 16 ODU-1, o 4 ODU-2, o cualquier combinación de ODU-1 y ODU-2, siempre que no viole los límites de ancho de banda.

2.2.5. UNIDAD DE TRANSPORTE ÓPTICA (OTU-k)

El OTU soporta el transporte de una o más conexiones de canal óptico. También especifica la Alineación de Trama y el FEC, la formación de la trama de la *unidad de transporte de canal óptico -k* (OTU-k) se finaliza con la adición de bytes de cabecera OTU-k, la estructura de una unidad de transporte óptico se puede constatar en la figura 2.13.

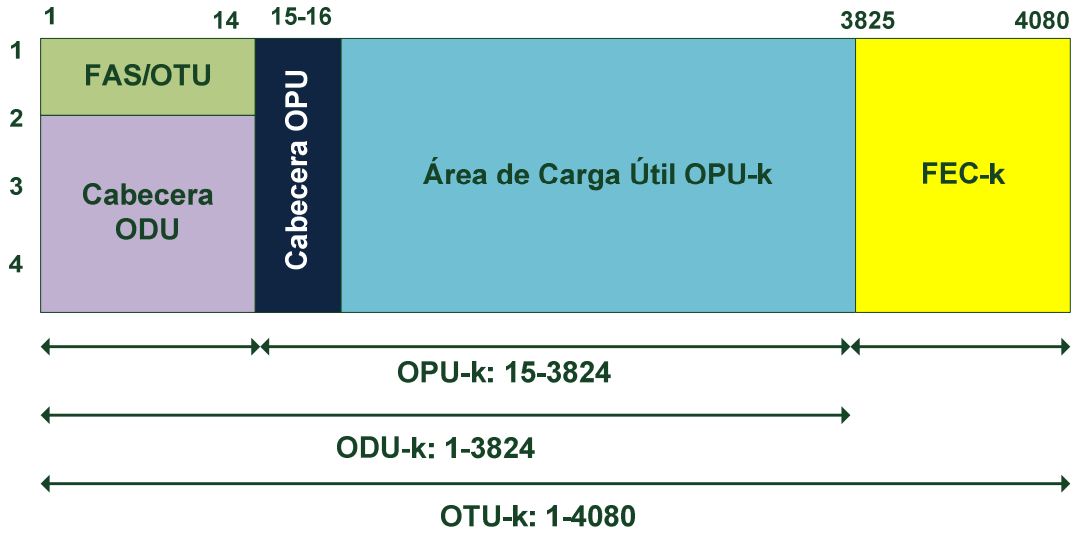


Figura 2.13. Unidad de Transporte de Canal Óptico-k (OTU-k)

2.2.6. CAMPO DE CABECERA DE OTU-k

La cabecera OTU está compuesta por la *sección de monitoreo* (SM) (bytes 8-10), *canal de comunicaciones 0* (GCC0) (bytes 11 y 12), y se reservó (bytes 13 y 14). En la siguiente figura se puede apreciar estos campos.

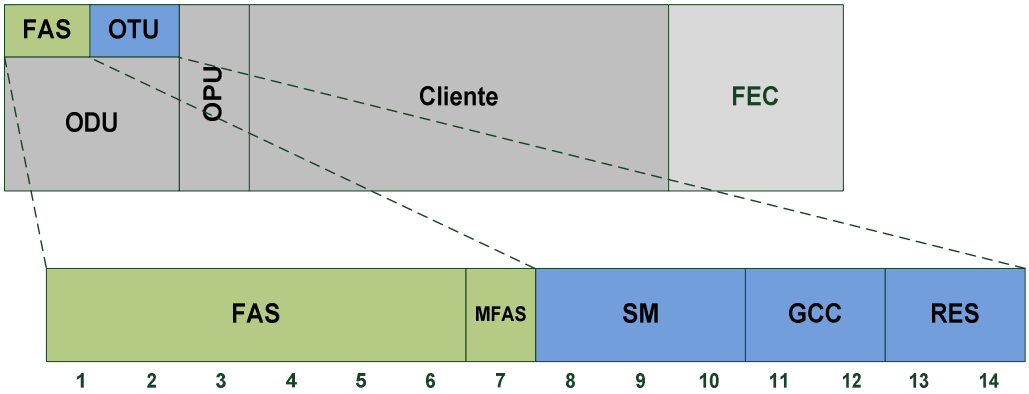


Figura 2.14. Cabecera OTU-k

El área del FEC consta de cuatro filas con 256 bytes cada una. Así, el final de trama OTU-k consta de cuatro hileras por 4080 columnas. La taza de bits nominal OTU-k (con ± 20 ppm de tolerancia) se calculan en la Tabla 2.2.

Velocidad de transmisión OTU-k (± 20 ppm)		
OTU-k	***Velocidad de transmisión OTU nominal (Kbps)***	***Período (µS)***
OTU-1	255/238x2488320 = 2666057,143	48,971
OTU-2	255/237x9953280 = 10709225,316	12,191
OTU-3	255/237x39813120 = 43018413,559	3,035

Tabla 2. 2: Velocidad de transmisión nominal OTU-k

La cabecera de la Alineación de Trama es parte de la cabecera del OTU. Se sitúa en la fila 1, columnas 1 a 6 del OTU en que se define una Señal de Alineación de Trama *(FAS-Frame Alignment Signal)*.

La *Señal de Alineación Multitrama* (MFAS - *Multi Frame Alignment Signal)* se define en la fila 1, columna 7 de la cabecera OTU/ODU. El byte MFAS se incrementa con cada trama OTU/ODU.

En la siguiente figura encontramos la ubicación del FAS y MFAS en la cabecera del OTU.

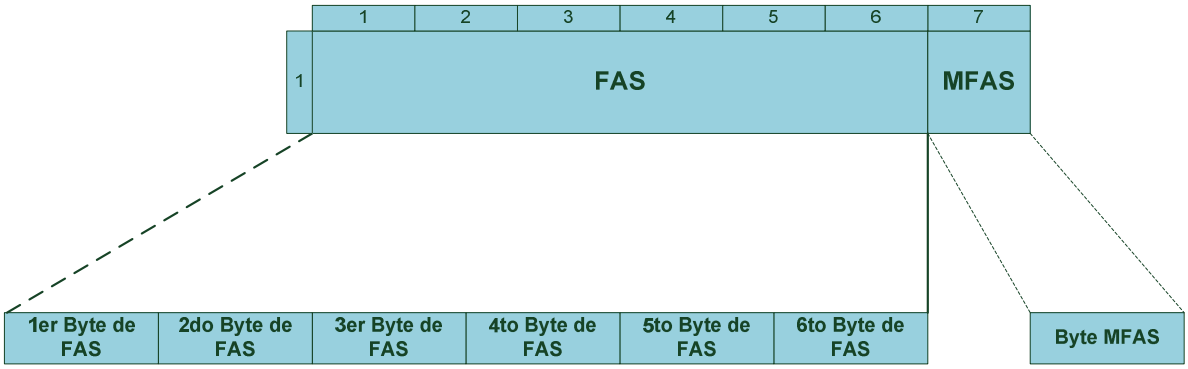


Figura 2.15. Cabecera de Alineación de Trama y Señal de Alineación de trama[16]

La cabecera de la *Sección de Monitorización (SM)* está formada por los subcampos tratados en la cabecera de la monitorización del trayecto, excepto el bit de Error de Alineación de Entrada (IAE- Incoming Alignment Error) esto se puede constatar en la figura 2.16.

El bit de Error de alineación permite al punto de entrada que informe al punto de salida que ha sido detectado un error de alineación en la señal de entrada. IAE se pone "1 " cuando ocurre el error, de otra forma es "0".

[16] JDSU,"OTN Effective Network" pdf

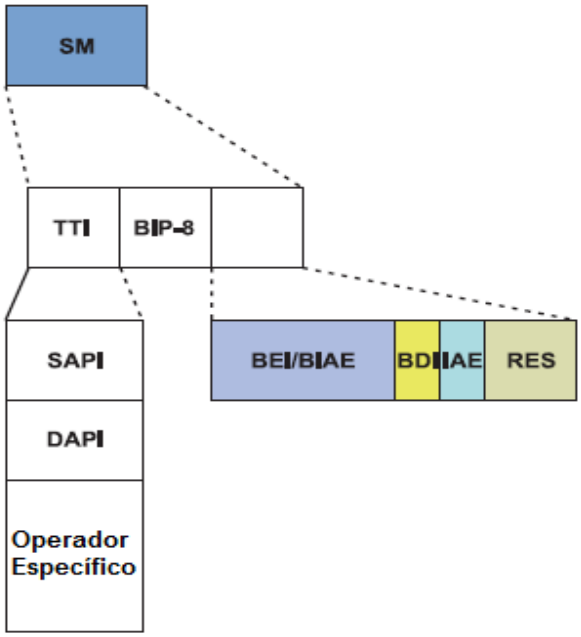


Figura 2.16. Cabecera de la Sección de Monitorización (SM)

La recomendación G.709 define el FEC, el cual utiliza el Código Reed-Solomon RS(255,239). Donde una fila OTU es dividida en 16 subfilas cada una de ellas conteniendo 255 bytes. Las subfilas están formadas por interlineado de bit, donde la primera subfila consta del primer byte de la cabecera y el primer byte de los datos. El primer byte FEC se inserta en el byte 240 de la primera subfila. Esto es para todas las 16 subfilas.

Los 239 bytes de 255 se usan para calcular la comprobación de paridad del FEC, el resultado del cual se transmite en los bytes 240 a 255 de la misma subfila.

Entonces, todos ellos son bytes multiplexados para la construcción de los 4.080 bytes de cada una de las cuatro filas OTU-k incluyendo FEC, esto se ilustra en la fig.2.17.

Con el fin de evitar una larga secuencia de ceros o unos, la señal de OTU-k, después de que el FEC ha sido añadido a la señal OTU-k y antes de ser transmitidos, es codificado mediante una secuencia al azar, generada por el polinomio $1+x^1+x^3+x^{12}+x^{16}$.

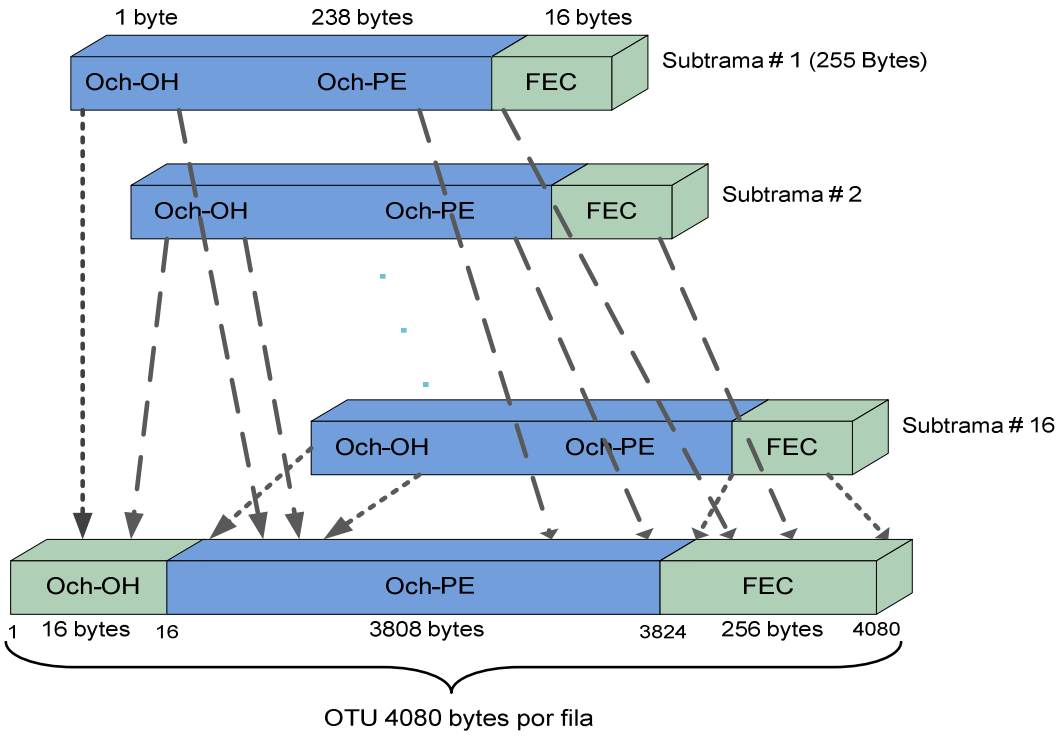


Figura 2.17. FEC en OTU-k

Como resultado de las citadas funciones, la secuencia de las distintas operaciones funcionales necesarias para constituir una trama OTU-k se muestra en la fig. 2.18, la cual muestra como la señal luego de ser adaptada se le añade la cabecera mas el FEC, cuyo propósito es reducir errores en la transmisión de información entonces pasa por un proceso de entrelazado “interleaving” que es utilizado para el arreglo de datos en una forma no contigua, finalmente antes de generar la señal óptica se utiliza un scrambler “mezclador” el cual evita la transmisión larga de cadenas de unos y ceros. Dándose el proceso inverso en el otro extremo.

Aunque no se indica explícitamente, la temporización y la tolerancia del jitter son muy críticos en este proceso.

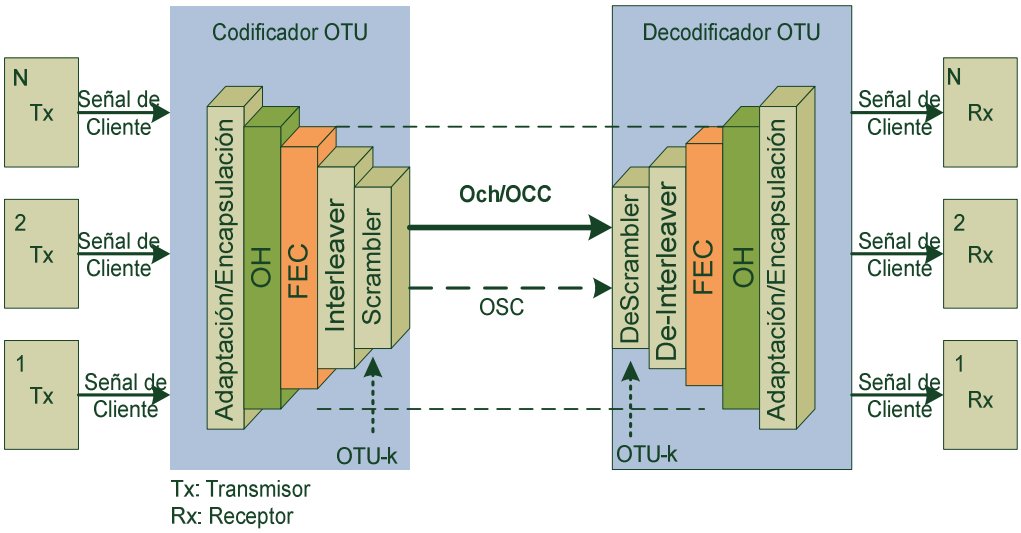


Figura 2.18. Secuencia para formar OTU-k

La capa OTU-k hasta ahora definidos por la UIT-T G.709/Y.1331 es una señal electrónica. Cuando esta señal es convertida a la óptica, es conocido como el canal óptico OCh *(Optical Channel)*, especificaciones de los cuales se definen en ITU-T G.872; además, ITU-T G.872 OTN define la capa de redes que soporta la gestión de la red y funcionalidades de supervisión.

2.2.7. CANAL ÓPTICO OCH (OPTICAL CHANNEL)

En la siguiente figura se muestra la estructura de un canal óptico el cual brinda una conexión de extremo a extremo para transmitir información transparente del cliente que puede tener diferentes formatos por ejemplo SDH, ESCON, FICON, etc.

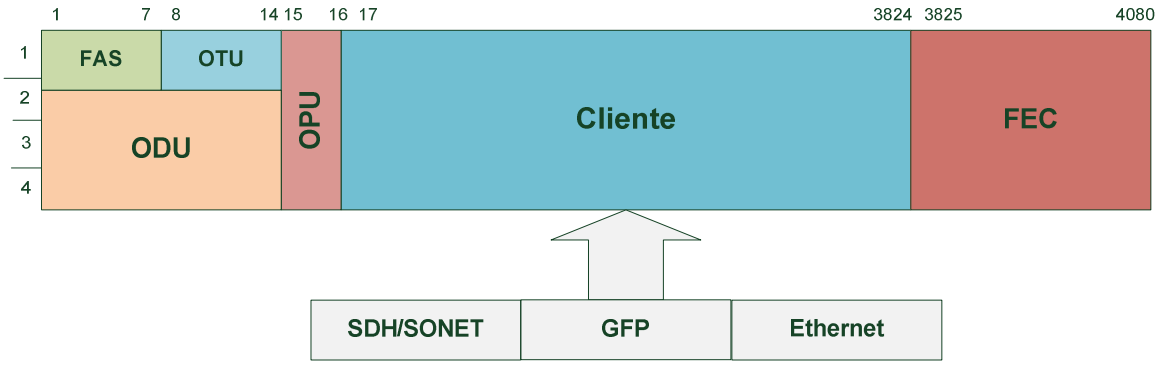


Figura 2.19. Trama del Canal Óptico

Dos Canales ópticos OChs se definen:

• El canal óptico con funcionalidad completa OCh *(Optical Channel).*

• El canal óptico con funcionalidad reducida (OChr) que proporciona conexiones de red transparente entre regeneración 3R de la OTN.

A continuación se muestra al canal óptico junto a su cabecera no asociada, la cual es transportada sobre un canal de control independiente llamado canal de control óptico (OSC-Optical Supervisory Channel) el cual lleva información de sección, ruta de acceso y conexión en tándem. La *cabecera OCh* (OCh OH) incluye información para el mantenimiento de apoyo a la gestión y protección de falla. Esta cabecera se termina donde la señal OCh es ensamblada y desensamblada.

Figura 2.20. Carga Útil y cabecera del Canal Óptico

2.2.7.1. Portadora del canal óptico y grupo de canales ópticos

Para la transformación OTN de un Canal óptico OCh en una longitud de onda WDM, se necesita de un *canal portador óptico* (OCC) al cual se lo puede definir como Canal portador óptico con funcionalidad reducida ó Canal óptico con funcionalidad completa.

• *Canal portador óptico* OCC con funcionalidad reducida (OCCr): Se encarga de transportar solo la carga útil del canal óptico Och sus siglas son (OCCp), para este canal portador óptico con funcionalidad reducida no existen cabeceras asociadas y se le asigna una longitud de onda.

• *Canal portador óptico* OCC con funcionalidad completa (OCC): Consiste en el canal portador óptico de carga util (OCCp) y en el canal portador óptico de cabecera (OCCo).

El canal OCCp transporta la carga útil del canal optico OCh y se le asigna una longitud de onda de la red OTN.

El canal OCCo lleva la cabecera de OCh, y es transportado con la cabecera óptica del módulo de transporte (OTM) de la señal de canal de información, las mismas que se profundizará más adelante.

El grupo de portadoras de canal óptico (OCC) se conoce como *Grupo de Portadora Óptica de Orden n* (OCGn [r]) donde n representa el número de canales ópticos que pueden ser soportados y r significa que su funcionalidad es reducida es decir no lleva cabeceras asociadas; Entonces son multiplexados con WDM hasta n grupos de portadoras con n números de canales para ocupar un conjunto de longitudes de onda de red.

Se definen dos *Grupos de Portadoras Ópticas* OCGs:

• *Grupo de Portadora Óptica de Orden* OCG-n con funcionalidad reducida (OCG-nr): Consta de hasta n canales portadores ópticos de carga útil sus siglas son OCC (OCCp) el mismo que no lleva cabeceras asociadas.

• *Grupo de Portadora Óptica de Orden* OCG-n con funciones completas (OCG-n): consta de un máximo de n canales portadores ópticos de carga útil OCC (OCCp) y sus cabeceras asociadas (OCCo).

En la siguiente figura se ilustra lo anterior, cómo el canal óptico se transforma en una longitud de onda a través de grupos de portadoras de canal óptico, las cuales pueden soportar n canales ópticos que pasan a ser multiplexados con WDM.

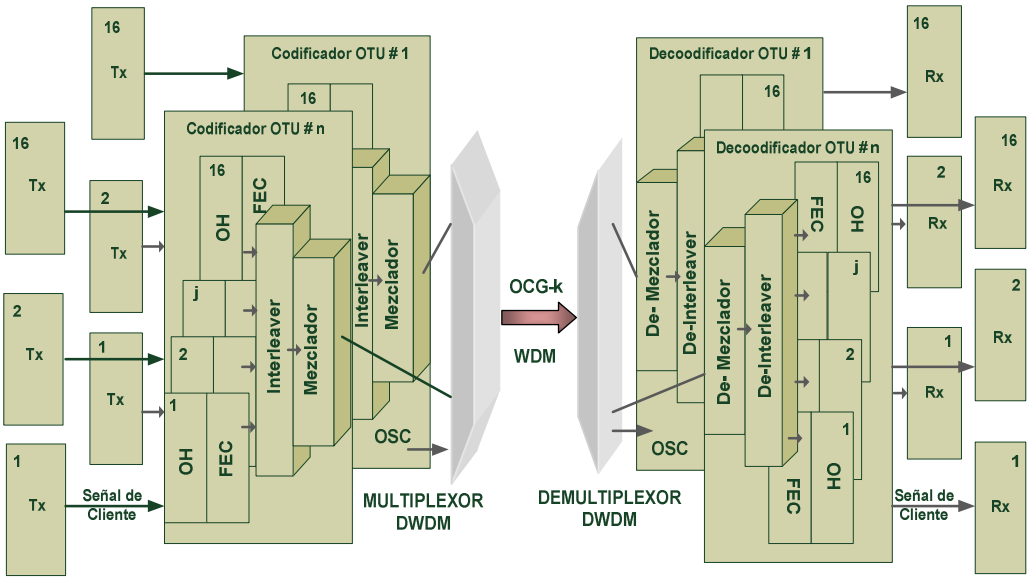


Figura 2.21. Estructura básica de grupo de portadora óptico OCG sobre DWDM

2.2.8. CABECERAS NO ASOCIADAS

Además de las cabeceras definidas en la OPU-k, ODU-k, y OTU-k, OTN define cabeceras no asociadas para el *canal óptico* OCh (se revisó anteriormente), OCC,

OCG, para la *sección de multiplexación óptica*, y para la sección de transmisión óptica.

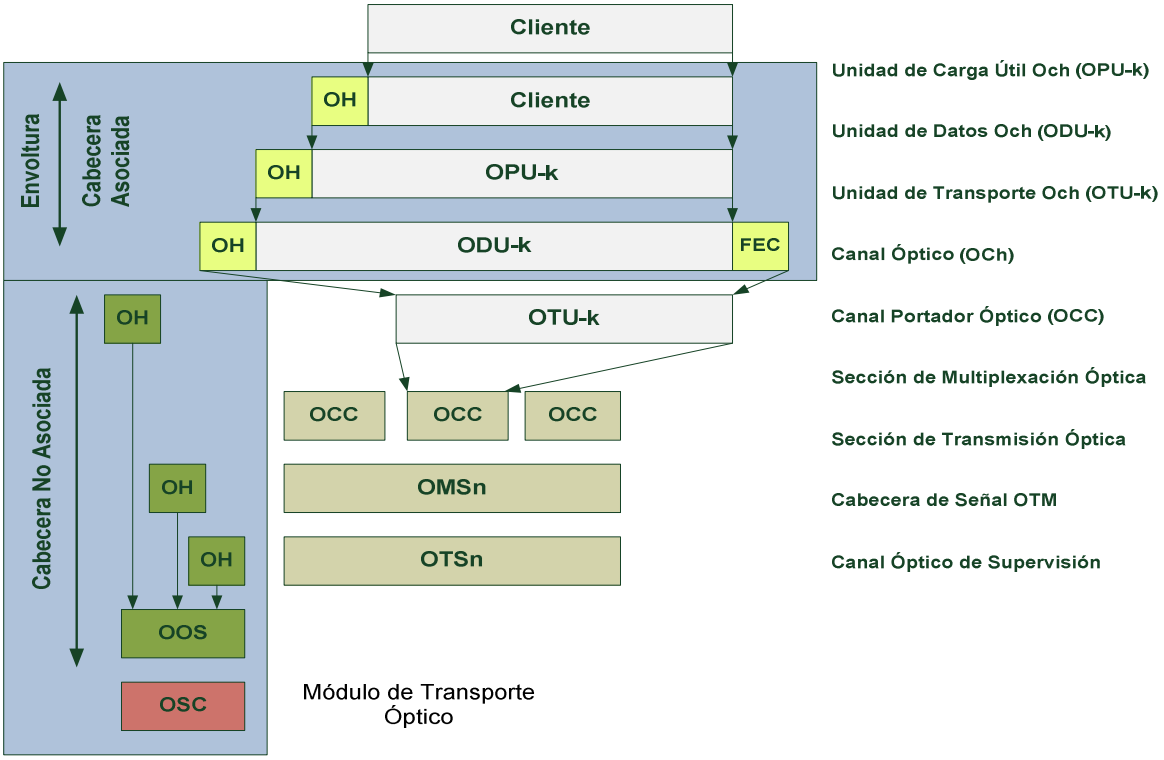


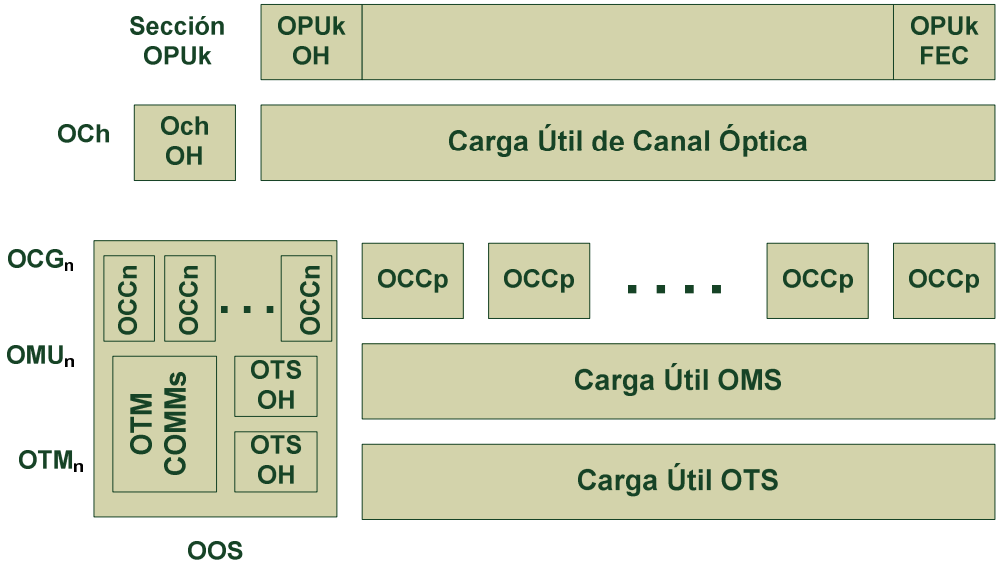
Figura 2.22. Cabeceras no Asociadas

La Cabecera de la Sección de Multiplexación óptica (OMS OH) se añade a la OCG para crear una unidad de multiplexación óptica (OMU). Esto se utiliza para el mantenimiento y las funciones operativas específicas de la sección de multiplexación óptica. La cabecera de la sección de multiplexación óptica OMS OH se termina cuando la unidad de multiplexación OMU es ensamblada y desensamblada.

La *Cabecera de la Sección de Transmisión óptica* (OTS OH) se añade a la información de carga útil para crear un *módulo de transporte óptico* (OTM). Esto se utiliza para el mantenimiento y funciones operativas específicas para las *secciones de transmisión óptica.* La OTS OH se termina cuando el OTM se ensambla y desensambla.

Además, la cabecera de comunicaciones de administración general (COMMS OH) se añadirá a la información de carga útil para crear un módulo de transporte óptico OTM. Esto se utiliza para la gestión general de comunicación entre los elementos de la red.

El conjunto de m (*Grupo de Portadora Óptica de Orden n)* OCG-n[r]s implica un módulo de transporte óptico (OTM-n, m). Cuando los elementos OTM n, m tienen todas las funcionalidades, la cabecera no asociada se transporta por la señal de la cabecera del módulo de transporte óptico (OOS) por un canal de control (OSC) como se puede constatar en la siguiente figura.



OMU: Unidad de Multiplexación Óptica
OTM: Módulo de Transporte Óptico
OTM COMMs: Módulo de Transporte Óptico Cabecera de Comunicación
OOS: Señal de Cabecera de Módulo de Transporte Óptico
OCCp: Canal Portador Óptico de Carga Útil
OCCn: Canal Portador Óptico de Orden n
OCGn: Grupo de Portador Óptico

Figura 2.23. Formación de un módulo de transporte óptico[17]

[17] VDE, Verband der Elektrotechnik "Optical Transport Network OTN",2009

2.3. INTERFACES PARA OTN

La red óptica de transporte especificada en la Recomendación UIT-T G.872 define dos clases de interfaz, las cuales están ubicadas como se ilustran en la figura 2.24.

- Interfaz interdominios (IrDI);

- Interfaz intradominio (IaDI)

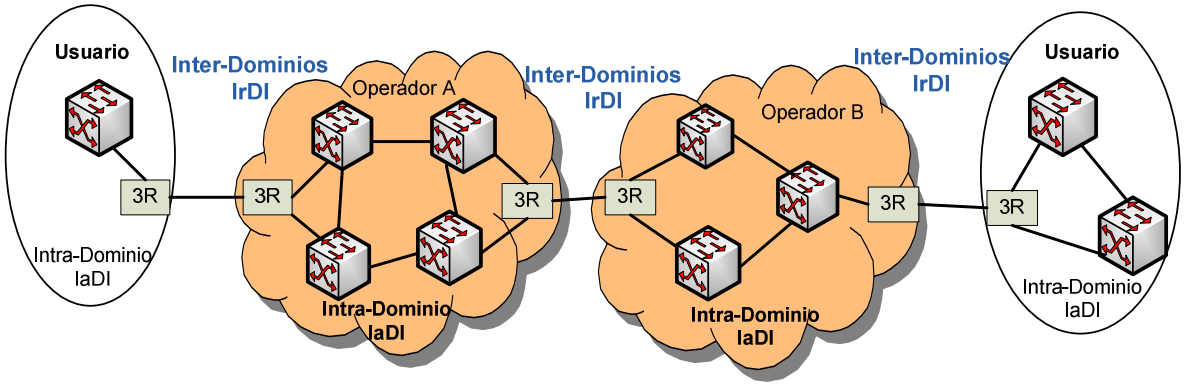


Figura 2.24. Interfaces OTN

2.3.1. INTERFAZ INTERDOMINIOS IRDI (INTER-DOMAIN INTERFACES)

La interfaz interdominios define la ubicación entre dos operadores y la ubicación entre subredes de dos fabricantes en el mismo dominio del operador, así como la ubicación dentro de la subred de un fabricante.

2.3.2. INTERFAZ INTRADOMINIO IADI (INTRA-DOMAIN INTERFACES)[18]

-Se encarga de la ubicación entre el equipo de la subred de un fabricante individual como en SDH, la OTN tiene un diseño estructurado en niveles como se ha visto anteriormente.

[18] SCHUBERT, Andreas, “G.709-Optical Transport Network OTN” (CIENA,2006).

-Las tasas definidas por G.709 tomando en consideración las cabeceras y el FEC, resultan de la siguiente manera:

Interfaz G.709	***Velocidad de Transmisión***	***Correspondencia con velocidad SDH/SONET***	***Velocidad de Transmisión***
OTU-1	2,666 Gbps	OC-48 / STM-16	2,488 Gbps
OTU-2	10,709 Gbps	OC-192 / STM-64	9,953 Gbps
OTU-3	43,018 Gbps	OC-768 / STM-256	39,813 Gbps

Tabla 2. 3: Velocidades de G.709 y sus correspondientes en SDH

CAPÍTULO 3

3. SERVICIOS GBE, SDH, FC, ESCON, FICON Y CALIDAD DE FUNCIONAMIENTO

Cuando se utiliza OTN, los operadores pueden combinar fácilmente múltiples redes y servicios tales como, SDH, Ethernet, protocolos de almacenamiento 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.

En la actual infraestructura orientada a datos se han especificado estándares para transportar varios servicios como IP o Ethernet sobre las redes, aún no existía un único protocolo para transportar todo el tráfico orientado a paquetes sobre la infraestructura existente, por lo que los grupos de estandarización con la creación de GFP cubrieron este vacío. En la figura a continuación se aprecia varios servicios que OTN transporta.

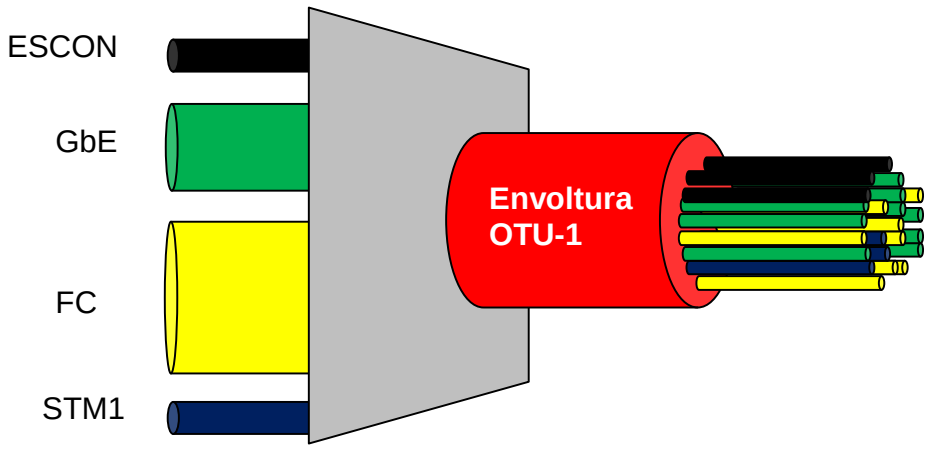


Figura 3.1. Servicios OTN

La recomendación ITU-T G.7041/Y.1303 define el *Procedimiento de Entramado Genérico* (GFP-Generis Framing Procedure) para optimizar el transporte de señales basado en paquetes tales como Ethernet, Fiber Channel, ESCON, FICON servicios que se citará más adelante. GFP *procedimiento de entramado genérico* proporciona un mecanismo genérico para adaptar el tráfico de señales cliente de nivel superior a fin de transportarlas posteriormente por redes SDH u OTN.

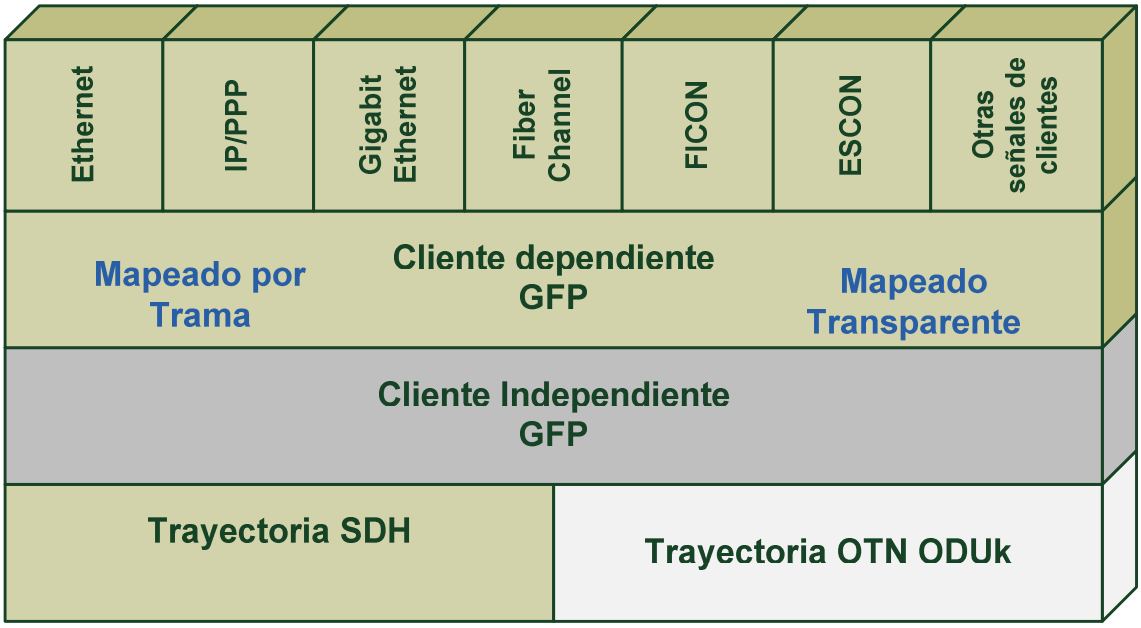


Figura 3.2. Procedimiento de Entramado Genérico

3.1. PROCEDIMIENTO DE ENTRAMADO GENÉRICO (GFP-GENERIS FRAMING PROCEDURE)

El Procedimiento de Entramado Genérico (GFP-Generis Framing Procedure) tiene dos tipos de adaptación de la señal; *Procedimiento de Entramado Genérico Basado en Tramas* (GFP-F *Generis Framing Procedure – framed mapped*) y Procedimiento de Entramado Genérico *transparente* (GFP-T *Generis Framing Procedure - Transparent mapped*) como lo indica la anterior figura, a continuación se describe cada uno de ellos.

Gracias a dichos mapeos OTN puede soportar los servicios ya mencionados, Estos mapeos conservan la misma estructura de la trama pero el uso depende del servicio a ser transportado. En el mecanismo de *Procedimiento de Entramado Genérico Basado en Tramas* GFP-F *(framed-mapped*), la trama de la señal del cliente es recibida y asignada totalmente a una sola trama GFP la cual sólo mapea los bytes de las tramas de la señal a transmitir, por lo que hace un uso mejor del ancho de banda. Sin embargo, sólo es capaz de soportar protocolos orientados a carácter, con adaptación particular para cada uno de los protocolos soportados, se usa para soportar servicios Ethernet, GbE, IP, por lo tanto su tamaño es variable.

En cambio, el mecanismo de *mapeo transparente* GFP-T *(transparent-mapped)* facilita el transporte de señales en bloques codificados de 8 y 10 bits (8B/10B) como GbE, Fiber Channel, ESCON, FICON.

Las tramas de *Procedimiento de Entramado Genérico Basado en Tramas (*GFP-F *Generis Framing Procedure – framed mapped*) son además ideales para Redes de Almacenamiento (SAN *Store Area Network*). Los caracteres individuales de la señal son codificados y asignados en tramas de tamaños determinados y así evitar el *buffering,* mapea toda la señal ("todos los bits, útiles o no") en tramas GFP de tamaño fijo, lo que hace que sea totalmente transparente, con tiempos muy bajos de latencia de transmisión de la señal y sencilla implantación pero con consumo de mayores anchos de banda.

3.1.1. DIFERENCIAS ENTRE LOS PROCEDIMIENTOS DE ENTRAMADO GENÉRICO

El Procedimiento de Entramado Genérico Basado en Tramas (*GFP-F Generis Framing Procedure -framed-mapped*) ofrece aprovechamiento de ancho de banda ya que sólo mapea los bytes a transmitir, lo contrario ocurre en GFP-T que mapea toda la señal, convirtiéndolo en un procedimiento transparente.

El *Procedimiento de Entramado Genérico transparente* (GFP-T *Generis Framing Procedure -Transparent mapped*), toma varios caracteres de datos cliente que se convierten en códigos de bloque eficientes para su transporte dentro de una trama GFP de longitud constante, soportando diversos protocolos cliente lo que no pasa en el procedimiento de entramado basado en tramas que solo toma una señal cliente en una trama GFP, Se resume lo descrito en la siguiente tabla.

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 compartir el canal de transmisión entre varios clientes	SI	SI

Tabla 3. 1: GFP-F vs GFP-T

En la figura 3.3 se muestra la estructura de la trama GFP en general la cual consiste en cuatro partes que comprende la trama del *procedimiento de entramado genérico* GFP son: Encabezado Principal, Encabezado de Carga Útil, Área de Carga Real, y campos opcionales para detección de errores

Figura 3.3. Trama GFP

•El Encabezado principal define la longitud de la trama GFP y detecta *errores del CRC.*

•El Encabezado de Carga Útil define el tipo de información transportada, ya sean tramas de administración o de clientes, así como el contenido del área de carga.

•La información de la carga del Cliente define la carga de transporte real.

•Las tramas opcionales del FCS detectan errores.

A continuación se presenta los campos en los que está dividida la trama GFP.

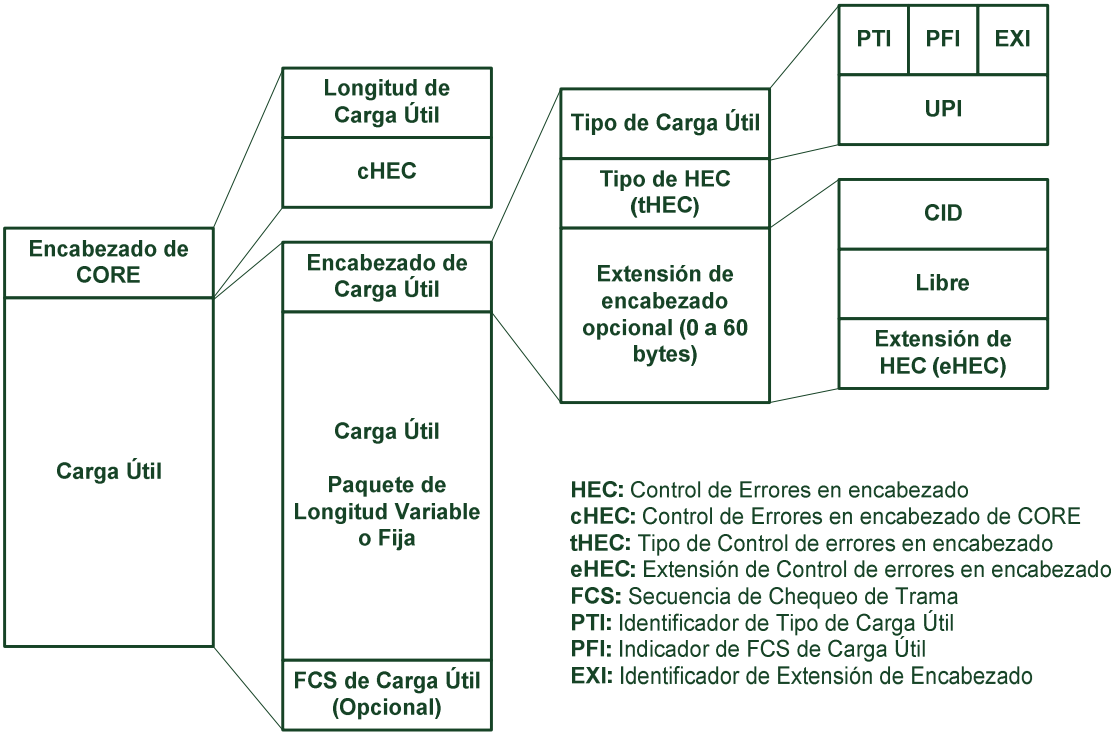


Figura 3.4. Campos GFP

3.2. SERVICIOS QUE SOPORTA OTN

3.2.1. ETHERNET

Es una tecnología de redes basada en tramas de datos. Ethernet se refiere a las redes de área local y dispositivos que trabajan con el estándar IEEE 802.3 que define el protocolo CSMA/CD, *(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect).*

Originalmente se trato de un diseño de Digital Equipment Corporation (DEC), Intel y Xerox (DIX Ethernet), esta tecnología se estandarizó por la IEEE 802.3, quien establece la manera en que los equipos de la red envían y reciben datos sobre un medio físico compartido que se comporta como un bus lógico, independientemente de su configuración física. En su inicio se utiliza para enviar datos a 10 Mbps, luego se trabaja a 100 Mbps, 1 Gbps o 10 Gbps y se habla de versiones futuras de 40 Gbps y 100 Gbps. En sus versiones de hasta 1 Gbps utiliza el protocolo de acceso al medio CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access / Collision Detect* - Acceso múltiple con detección de portadora y detección de colisiones).

El diseño a 1 Mbps usa cable coaxial grueso, estándares de 100 Mbps o Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, y 10 Gigabit utiliza los cables de par trenzado sin apantallar (UTP - *Unshielded Twisted Pair*), de categorías 5 y superiores y la fibra óptica. .

3.2.2. GIGABIT ETHERNET

Se la conoce como GbE, por ser ampliación del estándar Ethernet que consigue una capacidad de transmisión de 1 Gigabit por segundo, correspondientes a unos 1000 megabits por segundo de rendimiento contra unos 100 de Fast Ethernet.

Trabaja sobre par trenzado tipo UTP, categoría 5, y sobre fibra óptica. Se estableció que sería igual al Ethernet normal desde la capa de enlace de datos hasta los niveles superiores, mientras que para el resto del estándar sería tomado del Instituto Nacional Americano de Normas (ANSI X3T11 *American National Standards Institute*) Fiber Channel, brindando compatibilidad hacia atrás con Ethernet y las capacidades de la fibra óptica.

La señal GE supera la capacidad de la carga útil de OPU0, para adaptar la señal GE al OPU, OTN como se ha visto anteriormente usa el mecanismo de mapeo transparente GFP-T manteniendo el nivel de transparencia de la señal.

3.2.3. 10-GIGABIT ETHERNET

IEEE 802.3ae define una versión de Ethernet con una velocidad nominal de 10 Gbps, diez veces más rápido que Gigabit Ethernet.

El estándar 10-Gigabit Ethernet contiene siete tipos de medios para LAN, MAN y WAN. Ha sido especificado en el estándar suplementario IEEE 802.3ae.

3.2.4. JERARQUÍA DIGITAL SINCRÓNICA (SDH-SYNCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY)

La jerarquía SDH es un sistema de transmisión digital de datos que utiliza fibra óptica. Fue desarrollada en EEUU bajo el nombre de SONET, luego en 1989 el CCITT publicó una serie de recomendaciones donde se nombró SDH.

Como se revisó en el capitulo uno la trama básica de SDH es el STM-1 (Synchronous Transport Module level 1), con una velocidad de 155 Mbps. Los niveles superiores se forman a partir de multiplexar a nivel de byte varias estructuras STM-1, dando lugar a los niveles STM-4, STM-16 y STM-64.

Cada trama va encapsulada en un tipo especial de estructura denominado contenedor. Una vez encapsulados se añaden cabeceras de control que identifican el contenido de la estructura (el contenedor) y el conjunto, después de un proceso de multiplexación, se integra dentro de la estructura STM-1.

Un STM-1 contiene un contenedor C-4, si se le añade al C-4 el cabecera del trayecto POH se obtiene un VC-4, si se adiciona al VC-4 el PTR se obtiene la unidad administrativa AU-4, si se suma al AU-4 el *section overhead* SOH (RSOH+MSOH) se obtiene el STM-1 como se aprecia en la siguiente figura.

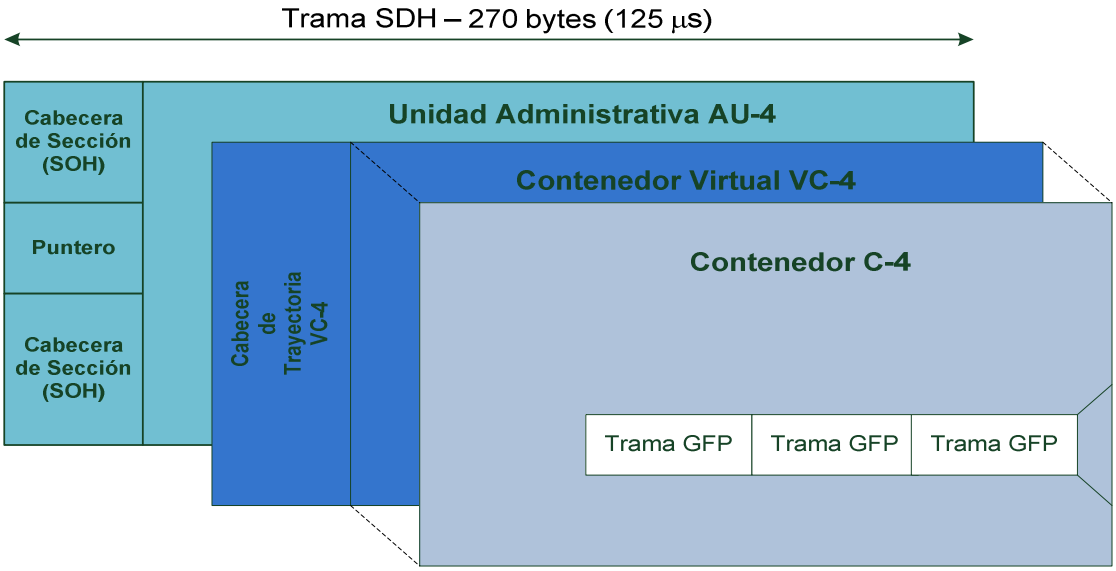


Figura 3.5. Estructura de la trama STM-1

Según la Recomendación G.707 define un Contenedor Virtual-n (VC-n) como una estructura de información utilizada para soportar conexiones de capa de trayecto en SDH.

Una Unidad Administrativa-n (AU-n) es la estructura de información que proporciona la adaptación entre la capa de trayecto de orden superior y la capa sección de multiplexación.

La Unidad Tributaria-n (TU-n) proporciona la adaptación entre la capa de trayecto de orden inferior y la capa de trayecto de orden superior.

El contenedor forma la cabida útil de información síncrona de red para un contenedor virtual.

Un Puntero es un indicador cuyo valor define el desplazamiento de la trama de un contenedor virtual con respecto a la referencia de trama de la entidad de transporte sobre lo que es soportado.

3.2.5. CANAL DE FIBRA (FIBER CHANNEL)

El comité encargado del desarrollo de la tecnología *Fibre Channel* fue establecido dentro del ANSI (Instituto Nacional de Estándares Americanos) en 1989. La meta original era establecer una tecnología de conectividad con un interfaz serial y transportado por líneas de Fibra Óptica.

Para garantizar la interoperabilidad entre productos, tres de las más grandes compañías: IBM, *Hewlett Packard* y *Sun Microsystems Inc*. dieron el impulso inicial de la tecnología *Fibre Channel*, formando en 1991 el FCSI (FCSI: *Fibre Channel Systems Initiative,* Iniciativa de Sistemas *canal de fibra)*. Desde el comienzo, FCSI fue creada para ser una organización temporal ya que en 1995 fue creada la *Fibre Channel Association (Asociaión de canal de fibra).*

Canal de fibra fue aceptado como un estándar de la ANSI en 1994. *Fibre Channel* fue públicamente presentado en Atlanta en Septiembre de 1995.

Un canal es un mecanismo bien definido, directo y estructurado para transportar información datos entre una fuente y un destino, y en muchos casos, a varios destinos. La mayoría de las decisiones tomadas ocurren antes y durante la configuración de un canal. Cuando un canal es configurado, entonces muy pocas decisiones son requeridas y son tomadas. En un espacio de datos, un canal es configurado para conectar dispositivos periféricos de una unidad central a un dispositivo periférico.

El protocolo de canal de fibra (FC) fue desarrollado para dispositivos de alto desempeño que se comunican con procesadores y para la intercomunicación entre procesadores. La interfaz física FC define un sistema que consiste de un conjunto de procesadores de propósito general, servidores y subsistemas; un nodo FC puede contener uno o más puertos llamados puertos nodos, una función que conecta el nodo FC con otro nodo FC o con la conmutador FC de fábrica (entidad que

interconecta diferentes puertos, enlazados a ella y que maneja el enrutamiento de las tramas)[19]

Por definición, *canal de fibra* (FC) ofrece más de 100 Mbps para E/S (Entrada/Salida) y para comunicaciones con las arquitecturas actuales, pero para aplicaciones futuras y de acuerdo al mercado, se tienen previstas velocidades que cuadripliquen los 100Mbps.

El Canal de Fibra define 5 capas desde FC-0 hasta FC-4

- FC-0 especifica la interface física: tipo de medio, transmisor, receptor, tipo de señalización, velocidad de transmisión. Por ejemplo en 100 Mbps; los puertos de entrada y salida pueden soportar un láser de 1300 nm sobre fibra *monomodo estándar* SMF (*Single-Mode Fiber*) ó un láser de 780 nm sobre *Módulo de* fibra *Multi-Modo* MMF (*Multimode Fiber*) de 50 um, o señal eléctrica ya sea sobre cable coaxial o cable Par Trenzado Apantallado (STP *Shielded Twisted Pair*).

- FC-1 Es el protocolo de transmisión que especifica los aspectos de mantenimiento del enlace y lo codificación /decodificación 8B710B EBCDIC.

- FC-2 es el protocolo de señalización que especifica el formato de la trama, segmentación y reensamblaje de tramas, control de flujo, clases de servicio, administración de secuencia e intercambio, topología y procedimientos de inicio y cierre de sesión.

- FC-3 especifica un servicio común para múltiples puertos en un solo modo.

- FC4 designa el protocolo de capa más alto, y es el responsable de mapear tradicionalmente protocolos de capas más altas tales como:

[19] HERRERA Enrique Tecnologías y Redes de transmisión de datos 2003

-Protocolo Internet (IP).

-Modo de transferencia asincrónica (ATM) usando la capa de adaptación 5 (AAL5).

-Interfaz estándar de pequeñas computadoras.

-Interfaz paralela de alto rendimiento.

-Interfaz 3 para periféricos inteligentes

-Conjunto de código comandados por un solo byte.

-Conectividad de fibra.

-Conexión de sistemas empresariales.

-Multimedia audio/video y redes.

3.2.6. CONEXIÓN DE SISTEMAS EMPRESARIALES (ESCON - ENTERPRISE SYSTEM CONNECTION)

Es una tecnología de conmutación punto a punto de entrada y salida que provee transmisión serial de bit bidireccional sobre dos cables de fibra óptica unidireccional ya sea fibra multimodo (MMF *Multimode Fiber*) o SMF(*Single-Mode Fiber*).

Soporta distancias de hasta 9 Km entre la unidad de control y el procesador sobre fibra. La señal óptica tiene una potencia entre 10 y 50 mW en 850 nm para la fibra multimodo (MMF *Multimode Fiber*) o 1300 nm para SMF(*Single-Mode Fiber*). El modo de la fibra (MMF o SMF) se determina de acuerdo a la distancia y a la velocidad de transmisión usando ya sea LED´s o fuentes láser baratas.

Para la fibra multimodo MMF 62.5/125 o 50/125 um (diámetro del núcleo/diámetro de la cubierta), un ancho de banda/distancia de 500 Mbps/Km tiene definido es decir 500 Mbps transmitidos sobre una distancia de 1 Km o 1000 Mbps sobre una distancias de 500m , pero en una distancia máxima de 3 Km. De igual forma, sobre

fibra monomodo (SMF *Single-Mode Fiber*), un ancho de banda/distancia de 100 Gbps-Km es usado. ESCON también define dispositivos conocidos como repetidores o convertidores de señal. Estos monitorean el uso del enlace de fibra y recogen estadísticas de errores. Además, un administrador de ESCON maneja un sistema de configuración múltiple de ESCON.

El protocolo de comunicaciones ESCON es implementado a través de secuencias de caracteres especiales y a través de tramas con formato de caracteres. Las secuencias consisten de un conjunto predefinido de caracteres que señalan tanto estados específicos como transición de estados. Las tramas tienen una longitud variable y transportan datos. La funcionalidad de conmutación es implementada con dispositivos llamados "directores"; los directores no se obstruyen y pueden estáticamente o dinámicamente conmutar tráfico.

La trama ESCON empieza con 2 caracteres de limitador de inicio de trama (SOF) y termina con 3 caracteres delimitadores de fin de trama (EOF). Siguiendo al SOF es el campo de destino (3 caracteres), campo de fuente (3 caracteres), campo de control de enlace (1 carácter). Luego campo de información variable (1028 caracteres), tráiler del enlace (5 caracteres) el cual incluye el EOF, en la figura 3.6 se puede observar la estructura de la trama ESCON.

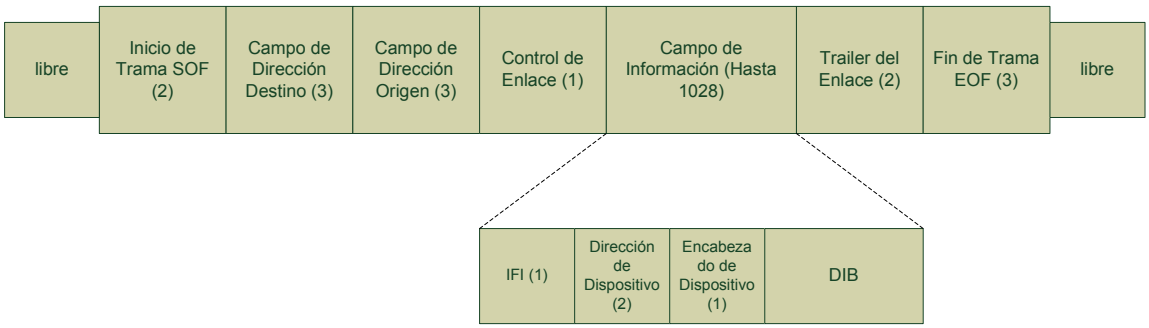


Figura 3.6. Trama ESCON

Para propósitos de sincronización el SOF está precedido por un conjunto de caracteres libres únicos (no pueden aparecer dentro de la trama).

Los caracteres SOF y EOF de ESCON, a diferencia de otros protocolos, tienen múltiples significados. Los caracteres SOF denotan ya sea “conectar” (establecer una conexión) o “pasivo” (conexión ha sido establecida). Los caracteres EOF indican ya sea “desconectar” (salir de una conexión) o “pasivo” (conexión ha sido establecida). Una vez mas estos caracteres son únicos y ellos no pueden ser encontrados en otros campos, siendo un beneficio de la codificación 8B/10B.

Los campos de información constan de un “encabezado de dispositivo” y el bloque de información del dispositivo (*DIB Device Information Block*).

El encabezado de dispositivo consiste de un identificador de campo de información (IFI) (1 carácter), “dirección de dispositivo” (2 caracteres), y la “bandera de dispositivo de encabezado” (1 carácter). El Bloque de información del dispositivo (*DIB Device Information Block*) puede contener datos, control, estado y comandos.

3.2.7. CONEXIÓN DE FIBRA (FICON - FIBER CONNECTIVITY)

FICON el Protocolo de conexión de fibra (FICON) es la siguiente generación ESCON desarrollada por IBM para dar soporte de conectividad entre unidades centrales y dispositivos de almacenamiento localizados a distancias que requieren enlaces de fibra más largos y tazas de transmisión mayores. Para lograr esto, el protocolo FICON soporta.

-Enlaces con ancho de banda entre 100 Mbps y 2 Gbps para FICON express (comparado con 20 Mbps para ESCON).

-Las Conexiones desde 20 kilómetros y hasta 100 kilómetros (comparado con 9 kilómetros para ESCON).

-MMF (*Multimode Fiber*) 62.5/125, 50/125 um (diámetro del núcleo/diámetro de la cubierta) en 850 nm y SMF (*Single-Mode Fiber*) (9/125) en 1.300 nm.

-Transferencia de datos full -dúplex. En dispositivos de almacenamiento, full dúplex significa que los datos pueden ser leídos y pueden ser escritos simultáneamente sobre el mismo enlace.

-Un espacio de direccionamiento de 16.384 dispositivos (comparado con 1.024 para ESCON).

FICON ha adoptado la capa de mapeo de Canal de fibra FC (FC-4) y así es capaz de multiplexar pequeños y grandes paquetes sobre el mismo enlace.

3.3. CALIDAD DE FUNCIONAMIENTO DE LA RED

La red de transporte óptica deberá poder detectar degradaciones de calidad de funcionamiento para evitar fallos y verificar la calidad de servicio. Los trayectos ODUk conforme a los objetivos de la Recomendación G.8201**,** permitirán que el tráfico de la capa cliente satisfaga los objetivos de calidad de funcionamiento pertinentes. La detección de los eventos de calidad de funcionamiento (por ejemplo, *Bloques con errores de fondo* (BBE- Background Block Error), *Segundo con muchos errores* (SES- Severely Errored Second), se efectúa después de cualquier corrección de error.

3.3.1. ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE FUNCIONAMIENTO

Para trayectos de transmisión ODUk, se puede estimar el conjunto completo de parámetros de calidad de funcionamiento utilizando los siguientes eventos:

Segundo con muchos Errores (SES Severely errored second)

Se observa un SES cuando, durante un segundo, se produce como mínimo el 15% de bloques con errores o un defecto conforme a la tabla siguiente.

Bloque con Error de Fondo (BBE Background block error)

Se observa un BBE cuando en un bloque que no forma parte de SES se produce una anomalía.

Velocidad de transmisión	***Tipo de trayecto***	***Umbral de SES (Número de bloques con errores en un segundo)***
2498775	ODU1	3064
10037273	ODU2	12304
40319218	ODU3	49424

Tabla 3. 2: Umbral para determinar un segundo con muchos errores

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.

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.

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.

Para una solución de supervisión óptima en una red de transporte son importantes los siguientes puntos:

-Se debe tener en cuenta el 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.

La OTN provee extensiva funcionalidad OAM&P para múltiples longitudes de onda y así requiere una extensa cabecera. Para garantizar la disponibilidad de ancho de banda y la calidad de la transmisión de la red, los octetos de la cabecera necesitan ser monitorizados. Además de monitorizar el estado de estos octetos de cabecera, el sistema necesita ser verificado bajo presión. Este procedimiento ejecuta principalmente por la introducción de alarmas y errores en el sistema y a continuación medir su efecto en la transmisión.

Las pruebas son principalmente funcionales y cubren:

– La verificación de la integridad de la señal (potencia óptica, posibilidad del DUT para sincronizar la trama, y otros parámetros).

– pruebas de mapeo del OTUk (por ejemplo mapeo de una estructura SDH en el OTUk).

– Pruebas de error del FEC.

– Estimulación de los Elementos de Red con anomalías (por ejemplo: alarmas y errores).

3.4. PRUEBA DE INTEGRIDAD DE SEÑAL

Verificación de los parámetros de potencia óptica y sincronización del enlace a velocidades de señal de OTN que se muestra en la Tabla 3.3, son pruebas más importantes y básicas. De forma opcional, los usuarios pueden considerar pruebas de desviación de reloj y pruebas de generación y tolerancia al jitter.

La prueba de sincronización del enlace se llevará a cabo antes de la prueba de potencia óptica. Un atenuador óptico puede ser utilizado en serie con *dispositivos bajo prueba* (DUT) *Device Under Trust.*

Mientras se mide el porcentaje de bits errados (BER) la señal óptica aplicada es continuamente atenuada hasta que el umbral del receptor OTN es alcanzado.

Desviación del reloj es probada aplicando una señal OTN y verificando la integridad de la señal en presencia de una frecuencia variable para compensar hasta un límite máximo. El *máximo jitter* y el jitter intrínseco se obtienen del desempeño del receptor y del transmisor óptico.

Interfaz	***Velocidad de Línea (Gbps)***
OC48/STM16	2,488
OC192/STM64	9,953
OC768/STM256	39,813
10GbE LAN	10,313
10GbE WAN	9,953
OTU1	2,666
OTU2	10,709
OTU2e	11,049/11,095
OTU3	43,018

Tabla 3. 3: Velocidad de la señal OTN

3.5. PRUEBAS DE ESTÍMULOS

Un estímulo se envía al *Dispositivo bajo prueba* (DUT- Device Under Trust) y la señal devuelta se monitoriza en el equipo de medida. La señal recibida se debe correlacionar con el estímulo. Las dos señales no deberían ser iguales, entonces el usuario recibe la información en el *dispositivo bajo prueba* (DUT- Device Under Trust) permitiendo que posteriormente se puedan llevar a cabo más investigaciones. Se presenta un esquema de una prueba de estímulos a continuación:

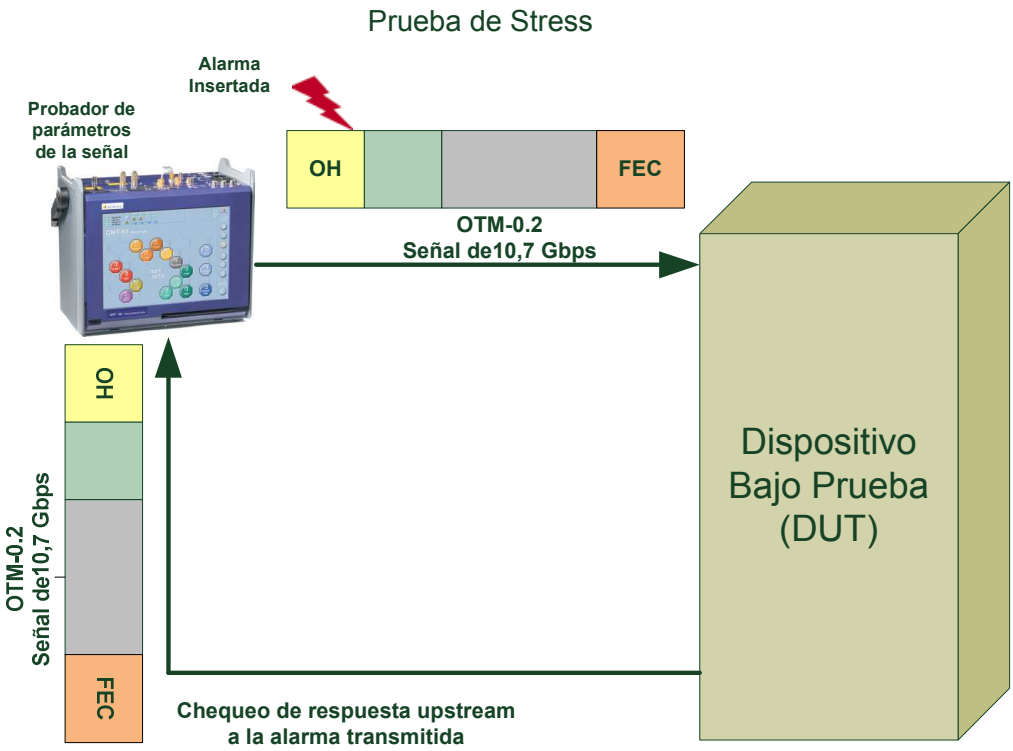


Figura 3.7. Prueba de Estímulos

3.6. MAPEO Y DESMAPEO DE LAS SEÑALES CLIENTE

La estructura de las tramas de OTN hacen posible el mapeo de varios tipos de tráfico en las Unidades de cabida útil de canal óptico (OPUs *optical channel payload unit*). Esto incluye por ejemplo; SDH (STM-256) en OPU3, mapeo de celdas ATM en el OPU y el mapeo de tramas *Generic Frame Procedure* (GFP) en el OPU.

Por supuesto las diferencias de velocidad entre el cliente y el OPU necesitan ser ajustadas. También esta prueba es extremadamente útil ya que se requieren mapeos síncronos o asíncronos para los distintos mapeos del cliente.

Teniendo como fin realizar esta medida, entonces se debe transmitir una señal de rango variable para su mapeo en el OPU por el *dispositivo bajo prueba* (DUT Device Under Trust). Entonces el receptor puede detectar si el cliente ha sido mapeado apropiadamente en el OPU como se ilustra a continuación.

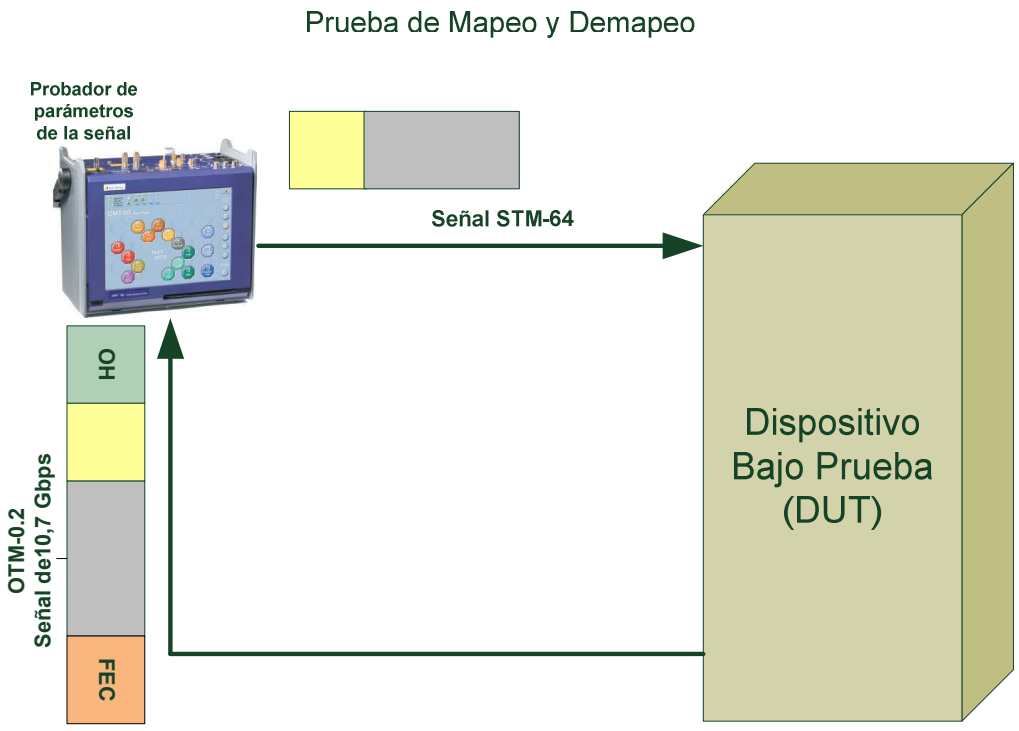


Figura 3.8. Prueba de Mapeo y Desmapeo de señales

3.7. PRUEBAS DEL FEC

Con el fin de hacer una comprobación completa del FEC, se inserta un error en el OCh y entonces se transmite a través de los Elementos de la Red OTN.

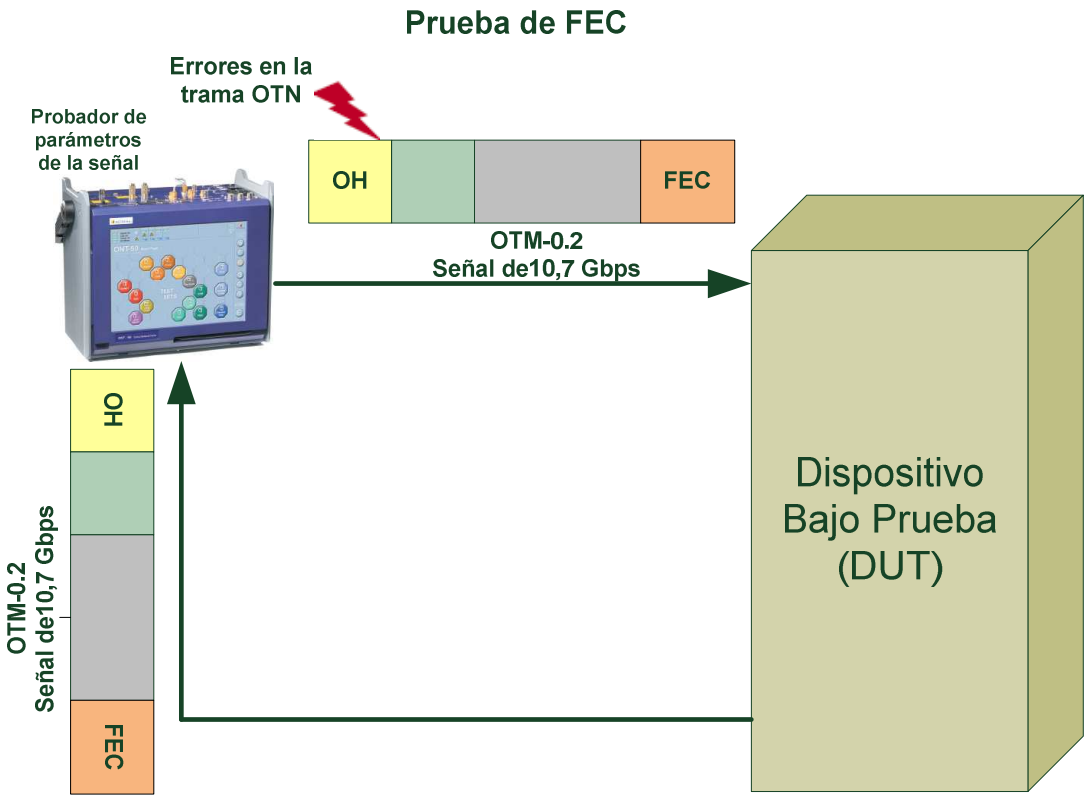


Figura 3.9. Pruebas del FEC

En el extremo receptor, se comprueba el OCh para determinar si el error fue corregido por el *dispositivo bajo prueba* Device Under Trust (DUT). Esta prueba se realiza insertando distintas cantidades de errores y permitiendo al usuario comprobar sucesivamente la capacidad de corrección de error de su elemento de red. Si el número de errores insertados excede la capacidad de corrección del elemento de red, el equipo de medida lo reflejará como error o errores incorregibles, los elementos para esta prueba se presenta en la figura 3.9.

CAPÍTULO 4

4. VENTAJAS DE LAS REDES DE TRANSPORTE ÓPTICO OTN

Una red de transporte óptica (OTN) ofrece canales ópticos unidireccionales o bidireccionales transparentes al formato y a la velocidad de la señal cliente que transportan, lo que permite crear una plataforma multi-cliente (IP, ATM, SDH, PDH, Ehternet, etc.) donde cada cliente puede operar con una velocidad independiente de las demás.

Entre los beneficios de la tecnología OTN se puede mencionar que mejora la transparencia y sincronización del servicio por medio del uso del recubridor digital G.709. Su FEC ofrece un mayor rendimiento del transporte.

La flexibilidad de OTN es posible gracias a su habilidad para ampliar su transparencia, esta habilidad permite la mezcla de ambos tipos de señal sincrónica y asincrónica en una longitud de línea, la capa de servicio representa los servicios del usuario final tal como GbE, SONET, SDH, FC o cualquier otro protocolo. Para servicios asincrónicos tales como ESCON, GbE o FC, añade capacidad de supervisión, como veremos en este capítulo.

Mapea todos los servicios en un grupo común de longitudes de onda, así como simplifica todo lo relacionado con la red, OTN es la única capa de transporte que puede transportar toda una 10GbE LANPHY, la interfaz estándar de la siguiente generación de redes IP/Ethernet.

4.1. TRANSPARENCIA DE PROTOCOLO

Los caminos ópticos proporcionados por la capa óptica pueden ser transparentes al protocolo, formato y velocidad de datos una vez establecidas las conexiones. Se dice entonces que la red es transparente. La transparencia posee ventajas y ofrece

beneficios que puede aportar una red por el hecho de ser óptica. Entre las ventajas más importantes cabe destacar:

-La posibilidad de proporcionar diferentes servicios en una única infraestructura.

-La posibilidad de que la infraestructura de la red pueda soportar modificaciones en los formatos y protocolos futuros.

OTN mejora la transparencia y sincronización del servicio por medio del uso del Recubridor Digital G.709. El Recubridor Digital (Digital Wrapper) brinda transparencia en la red y flexibilidad permitiendo así soportar todos los tipos de tráfico y servicios tradicionales, con la tecnología OTN múltiples redes y servicios tales como SDH, Ethernet y almacenamiento los cuales se combinan de una forma sencilla en una infraestructura común.

OTN fue diseñado para ser transparente al tipo de servicio, dando un tratamiento individual a cada uno de los servicios transportados sobre OTN, conservando su funcionalidad y rendimiento.

4.2. EMPLEO DE CODIFICACIÓN FEC

El FEC permite la detección y la corrección de errores de bits causados por fallos físicos en el medio de transmisión. Estos fallos se pueden clasificar en efectos lineales (atenuación, ruido y dispersión) y no lineales (Auto modulación de la fase, Mezcla de cuatro ondas, Modulación cruzada de fase).

Cuando se usa FEC en un enlace de red, el operador de red puede aceptar una señal de calidad más baja en el enlace ya que estos errores potenciales se pueden corregir.

En el cuadro se ilustra el efecto de un aumento de la calidad de la señal en tres casos. En un caso, no se usa FEC. En los restantes dos casos, se utiliza FEC pero con diferentes algoritmos de codificación.

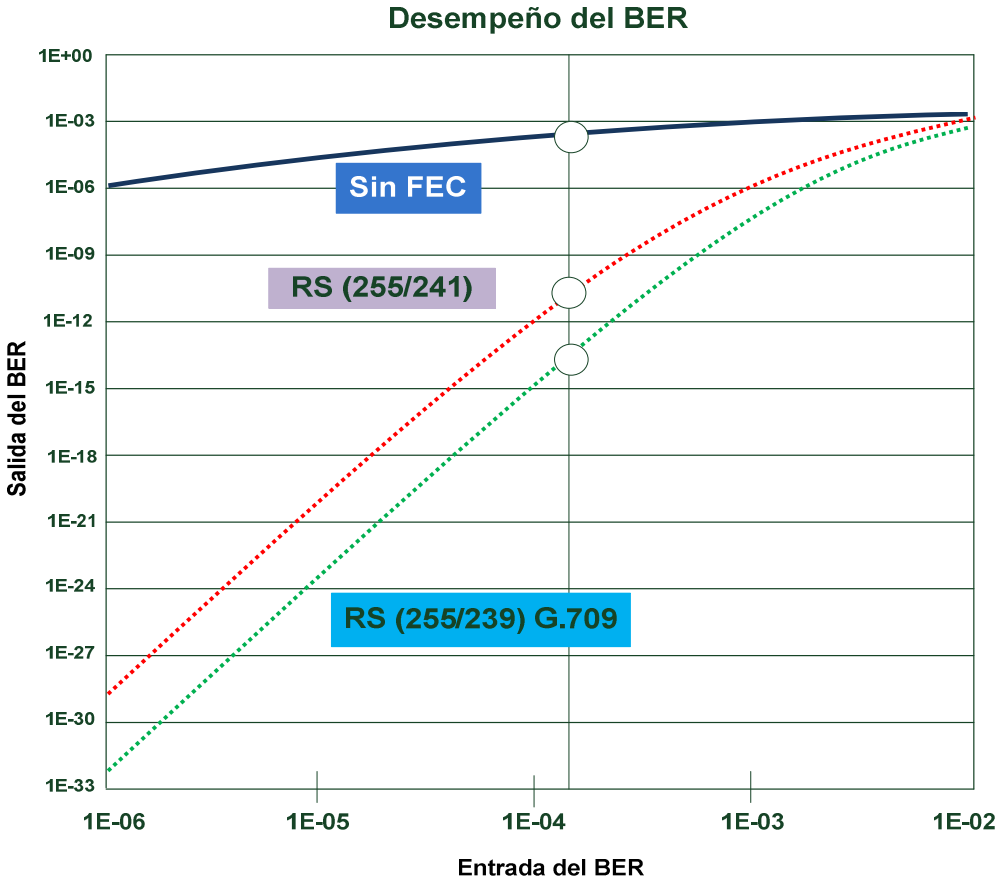


Figura 4.1. Efectos del FEC al usar varios algoritmos

En este ejemplo un BER (Bit Error Rate) de entrada de aproximadamente 10^{-4}, se puede mejorar a un BER de salida de aproximadamente 10^{-15} en el mejor de los casos. Sin embargo el BER de salida no demuestra mejora cuando no se usa un algoritmo FEC.

4.2.1. LOS BENEFICIOS DEL FEC EN LAS REDES ÓPTICAS

La mejora del potencial en la calidad de la señal en un enlace óptico ofrece muchas ventajas incluyendo:

– Ganancia en nivel de potencia de aproximadamente 5 dB. Esto se consigue cuando se usa 7% FEC. (relacionado a una expansión de enlace de aproximadamente 20km).

– Reducción en el uso de regeneradores 3R (Regeneración, reformación y resincronización). Esto permite incrementar la distancia entre enlaces.

– Uso de los enlaces existentes de 2.5Gbps transportará tráfico de 10Gbps. Esto ha sido intentado y puede ser posible dado que el FEC permite la corrección de una calidad de señal más baja.

– Posibilidades de aviso anticipado. Algunos Elementos de la Red (NE-Network Element) monitorizan los errores corregidos en los enlaces.

Este parámetro se puede usar sucesivamente como una herramienta de aviso anticipado mediante el cual la cantidad de errores corregidos en un enlace puede significar el debilitamiento de un componente del propio enlace.

4.2.2. APLICACIONES DE MEDIDA DEL FEC

OTN provee extensiva funcionalidad OAM&P para múltiples longitudes de onda y así requiere una extensa cabecera. Para garantizar la disponibilidad de ancho de banda y la calidad de la transmisión de la red, los octetos de la cabecera necesitan ser monitorizados. Además de monitorizar el estado de estos octetos de cabecera, el sistema necesita ser verificado bajo presión. Este procedimiento se ejecuta principalmente por la introducción de alarmas y errores en el sistema y a continuación mide su efecto en la transmisión como se revisó en el anterior capítulo.

4.3. MAPEO Y DESMAPEO DE LAS SEÑALES CLIENTE

Otra de las características que han sido incorporadas en las redes ópticas de transporte es la capacidad de mapeo y adaptación de señales. Las redes actuales son muy diversas, utilizan diferentes tecnologías y tipos de tramas, las redes de transporte ópticas tienen que tener la capacidad de poder incluir tramas de un amplio aspecto y forma.

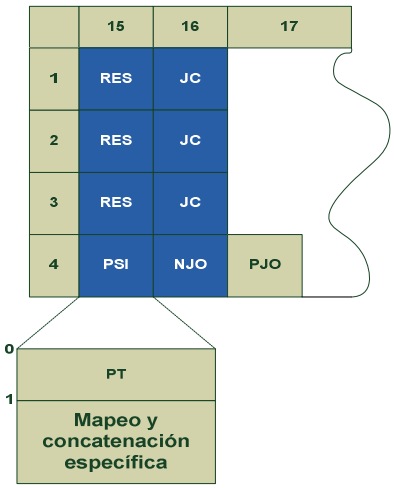
Para el transporte de datos en redes OTN las señales son mapeadas en contenedores, una función desempeñada por funciones de adaptación que son definidas para este propósito. El mecanismo más común de mapeo es el Procedimiento de Entramado Genérico (GFP- *Generis Framing Procedure)*. Con este tipo de mapeo los bloques de información que llegan son decodificados y mapeados en bloques fijos de tramas GFP, y después se transmiten inmediatamente sin esperar a recibir todo el paquete de información. Esto permite que topologías de red como LAN o SAN tengan una muy baja latencia.

Como se menciona en el capítulo dos, la Unidad de Carga Útil de canal óptico de orden k OPU-k incluye: carga útil y cabecera. La carga útil incluye la información del cliente con su técnica de mapeo específica y la cabecera incluye la información para soportar la adaptación específica del cliente. Cada tipo de cliente tiene su estructura específica de encabezado.

El mapeo del tipo de clientes de velocidad constante se lo maneja a través de mecanismos de justificación. Dos tipos de mapeo están definidos: Sincrónico y Asincrónico.

En el mapeo sincrónico la justificación no se requiere debido al hecho que la velocidad OTU es proporcional a la velocidad del cliente. En mapeo asincrónico, las velocidades OTU y del cliente son independientes, para este tipo de mapeo existen tres bytes de control de justificación, que reportan la operación de justificación, los cuales son: oportunidad de gestión negativa (NJO-Negative Justification Opportunity) y oportunidad de justificación positiva (PJO-Positive Justification Opportunity) para la adaptación de la velocidad en la figura 4.2.

En caso de que la velocidad del cliente sea mayor que la velocidad OTU, el byte de gestión negativa (NJO-Negative Justification Opportunity) es usado para acomodar la velocidad adicional. Para el caso de velocidad del cliente más lenta, el byte justificación positiva (PJO-Positive Justification Opportunity) es usado para compensar la velocidad “perdida”.



Generación JC, NJO y PJO por proceso de mapeo asincrónico		
JC	**NJO**	**PJO**
00	Byte de Justificación	Byte de datos
01	Byte de Datos	Byte de datos
10	No Generado	No Generado
11	Byte de Justificación	Byte de Justificación

Figura 4.2. Control de Justificación

4.4. MAPEO DE JITTER EN OTN

El mapeo asincrónico de clientes de tasa de transmisión constante (CBR), como SONET o SDH requiere la adaptación de la tasa de transmisión de SONET/SDH a tasa de transmisión asincrónica OTU-k usando mecanismos de bytes de relleno.

Como consecuencia del proceso de justificación una fluctuación de fase de ± 8 UI son introducidos. En principio un byte de datos adicional o uno menos causa una fluctuación de fase de 8UI. Un Intervalo unitario (UI- *unit interval*) es una medida común del jitter, donde 1 UI corresponde a un período completo de reloj o, correspondiente a un tiempo de bit. El empleo de UI permite independizar las mediciones de jitter de la velocidad de transmisión, pues todo tiempo de bit, independiente mente de su valor, equivale a 1 UI en el grafico 4.3 se muestra un intervalo UI.

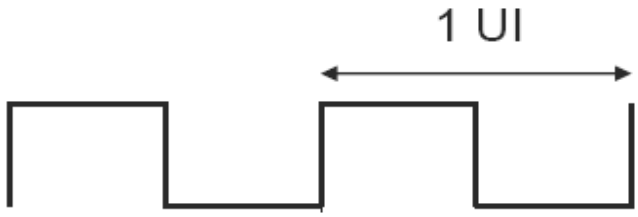


Figura 4.3. Intervalo Unitario

En algunos casos incluso ráfagas de n x 8 UI pueden ser generadas en tramas OTUk consecutivas. Se verifica que el período de una trama (por ejemplo alrededor de 12 us para OTU2) es pequeño en comparación con la constante de tiempo de la salida del reloj; la recuperación de la ráfaga puede ser considerada como una simple fluctuación de fase de n x 8UI (intervalo unitario).

En el proceso de desmapeo el reloj original de la señal del cliente tasa de transmisión constante CBR es reconstruida. La señal de datos es leída bajo el control de un reloj sincronizado (igualmente espaciado).

Debido a la fluctuación de fase de n x 8 UI(intervalo unitario) en el flujo de datos una cierta cantidad de jitter se mantiene, dependiendo de la frecuencia de justificación (relleno) de eventos y las características pasa bajos del circuito de recuperación del reloj. En UIT-T la recomendación G.8251 menciona que para un ancho de banda de 300 Hz máximo se especifica la salida de un reloj de tasa de transmisión constante (CBR).

Las tasas de justificación en pocas ocasiones no pueden ser removidas completamente, altas amplitudes de jitter en rangos de baja frecuencia todavía están presentes. Tanto más, se coloque justificación equidistante no apropiada puede generar amplitudes de jitter más altas que 8 UI.

La medida de jitter en funciones pasa altos se atenúa en estos componentes de baja frecuencia. Sin embargo ellos están presentes en el detector de fase o en el medidor de jitter provocando resultados incorrectos en las mediciones.

En la siguiente figura se presenta un esquema para la medición de jitter así como también la salida de la señal después de un filtro.

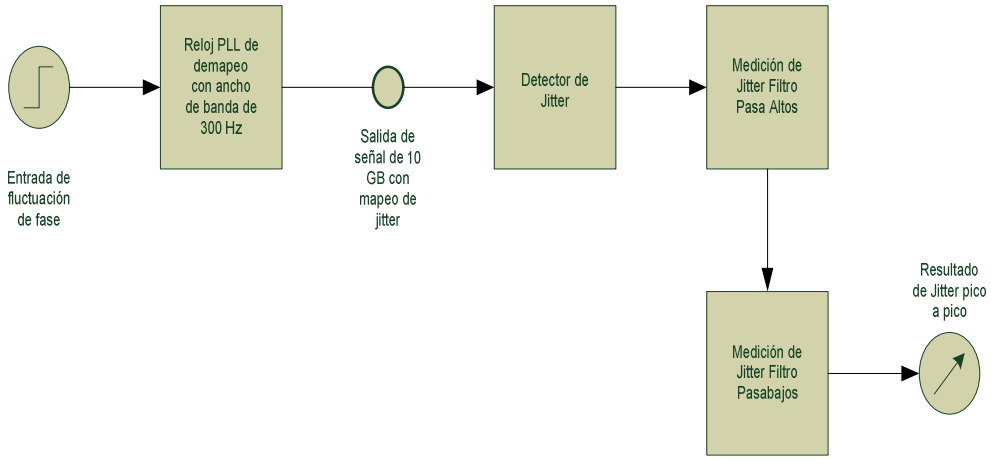


Figura 4.4. Representación de los bloques funcionales involucrados en la generación de jitter y la detección de mapeo de jitter

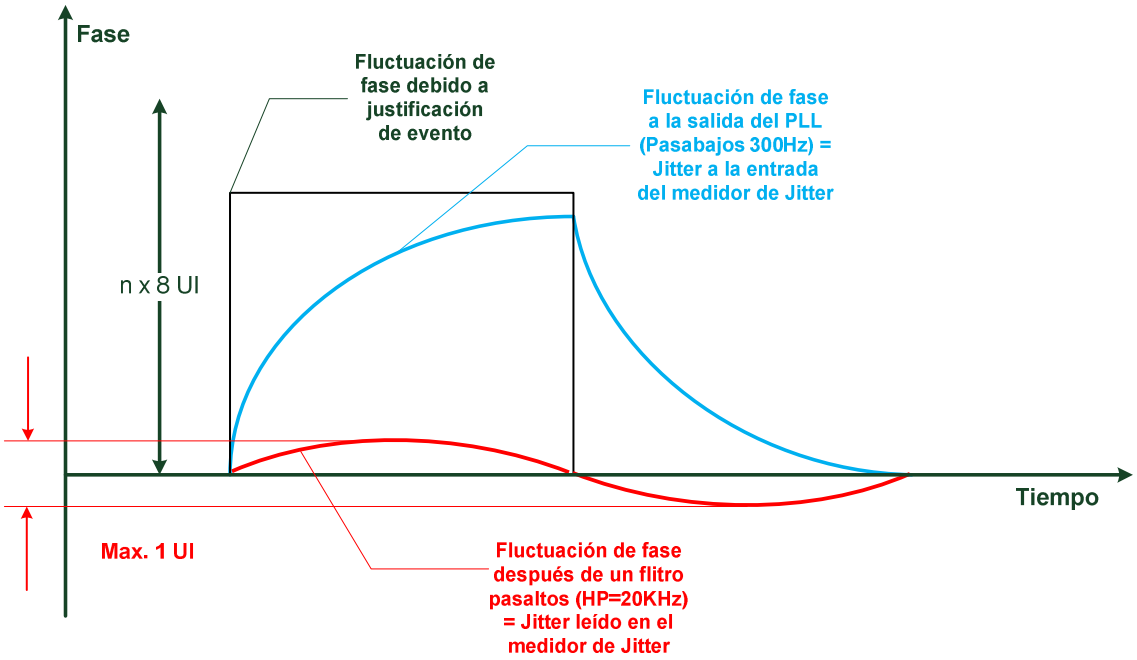


Figura 4.5. Señal de fase y el correspondiente resultado de jitter.

4.4.1. APLICACIÓN DE LA PRUEBA DE MAPEO DE JITTER

En la figura 4.5 se muestra una típica aplicación de la prueba, donde se menciona la prueba de jitter alto están presente en las salidas SONET/SDH de 10 Gbps del *dispositivo bajo prueba* Device Under Trust (DUT). Particularmente en pequeños valores de desplazamiento eventos de justificación se generan de manera poco frecuente. Las medidas deberían ser realizadas con diferentes valores de desplazamiento.

Figura 4.6. Prueba de Mapeo de Jitter sobre trama OTU

4.4.2. VERIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA MEDICIÓN DE MAPEO DEL JITTER OBTENIDO

Interfaz	***Medida del Ancho de banda; frecuencias a -3 dB (Hz)***	***Amplitud pico a pico (UIpp)***
CBR 2G5	5 kHz a 20 MHz	1,0
ODU1	1 MHz a 20 MHz	0,1
CBR10G	20 kHz a 80 MHz	1,0
ODU2	4 MHz a 80 MHz	0,1
CBR40G	80 kHz a 320 MHz	1,0
	16 MHz a 320 MHz	0,14

Tabla 4. 1: Requerimiento de generación del jitter

Para probar que un medidor de jitter si es capaz de medir con precisión el mapeo del jitter OTN en la recomendación O.172 las pruebas de tolerancia de fase están definidas para medidores de jitter apropiados para la medición de mapeo de jitter en salidas tributarias PDH. Señales sinusoidales están especificadas, las cuales simulan el caso de las peores condiciones con respecto a la máxima desviación de fase y amplitud.

Las mismas consideraciones pueden ser aplicadas a la medición de mapeo de jitter OTN. El punto de inicio es el máximo jitter pico a pico permitido de 1 UIpp medido con el filtro pasa alto de 20 KHz (STM-64) como se especifica en la tabla siguiente que se encuentra en la recomendación G.8251.

Teniendo en cuenta una onda sinusoidal con una inclinación de fase que cruza por cero cercanamente equivalente a la inclinación de una fluctuación de fase filtrada por un pasa bajos de primer orden de 300 Hz del reloj de recuperación de desmapeo, (curva azul) guía a una frecuencia de 300 Hz como se muestra en la figura 4.7 (curva roja). El filtro de jitter pasa alto de primer orden de 20 KHz tiene una atenuación de 36 dB para 300 Hz. Para un jitter de 1.0 UIpp de amplitud pico a pico de una señal sinusoidal de 300 Hz sería 67 UIpp.

En cuanto a la fluctuación de fase de múltiplos de 8 UI se sugiere aplicar el equivalente de una onda sinusoidal de 64 UIpp. En este caso, el resultado ideal de jitter debería ser 0,96 UIpp.

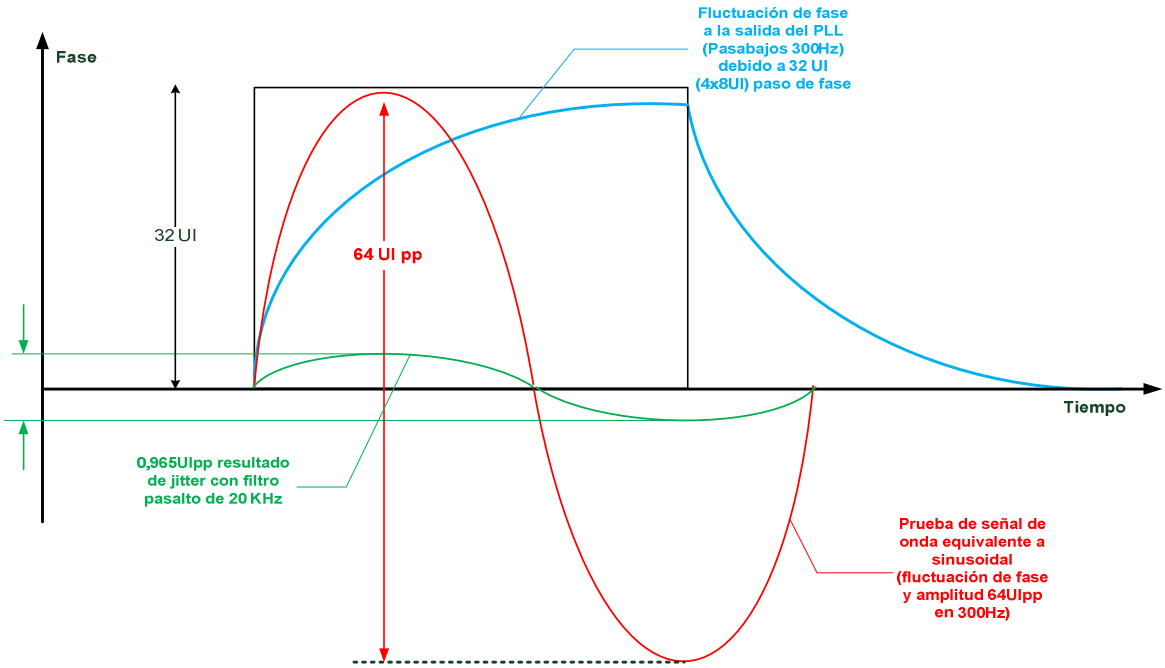


Figura 4.7. Equivalencia de fase de una onda sinusoidal

4.5. DIFERENCIAS ENTRE OTN CON SDH

OTN ofrece otras ventajas en comparación con las alternativas SDH/SONET. Como ejemplos específicos se puede mencionar: FEC fuera de banda, grandes capacidades de conmutación y transporte cercanos a los terabits por segundo. La diversidad de granularidad de conmutación superior de la OTN sobre SDH asegura mayor efectividad y menores costos cuando se utiliza en servicios IP de banda ancha.

En OTN existe un mejoramiento de funcionalidades de red en características como planeamiento de administración para capas de redes eléctricas y ópticas, mecanismos avanzados de flexibilidad, FEC, Monitoreo de conexiones tándem en múltiples niveles y mapeo GFP.

Tomando en cuenta a la sincronización, es importante notar que a diferencia de SDH, los elementos de la red OTN no necesitan ser sincronizados con un reloj central. Sin embargo, es posible transmitir señales de reloj a través de OTN para sincronizar elementos remotos SDH.

OTN a diferencia de SDH no solo provee mecanismos de supervisión y mantenimiento en el dominio eléctrico sino que provee este tipo de mecanismos estandarizados en el dominio óptico.

Una importante característica de OTN es el Monitoreo de la Conexión Tándem (TCM) dentro de diferentes dominios administrativos, la mejora de las capacidades de TCM provee hasta 6 niveles independientes de TCM para monitoreo de dominios anidados y en cascada, en contraste a SDH que solo provee monitoreo en cascada. Con SDH es solo posible supervisar la red de cada portador separadamente (aplicación TCM en cascada), contrario a TCM en OTN donde es posible supervisar distintos segmentos de red en paralelo.

OTN brinda alta capacidad de transporte en relación a SDH, brinda interacción sin problemas entre dominios de red eléctricos y ópticos, mantenimiento de señal y monitoreo de canales de banda ancha, FEC y buena interoperabilidad a nivel de un canal y de múltiples canales.

Características	***OTN***	***SDH***
Monitoreo de trayectoria mayor o igual a 2.5Gbps	++	-
Función FEC estandarizada	++	+
Monitoreo TCM	++	-
Interoperatibilidad a nivel de un Och	++	-
Transparencia terminal a terminal	++	+
Sincronización	++	-

Escalabilidad	++	-

Tabla 4. 2: Cuadro comparativo entre OTN y SDH

4.6. DIFERENCIAS ENTRE OTN CON WDM

A diferencia de las alternativas de multiplexado por WDM División de Longitud de Onda (Wavelength Division Multiplexing), la tecnología OTN provee capacidades de networking de extremo a extremo, como por ejemplo provisión, cross-conectividad, grooming de tráfico. La OTN también ofrece más capacidades de operación y mantenimiento.

WDM no posee capacidad de networking. La OTN posibilita extender los sistemas WDM a verdaderas redes ópticas de múltiples longitudes de onda al agregar capacidades de operación y mantenimiento como así también conectividad de longitud de onda y sub-longitud de onda extremo a extremo ODUk.

OTN	***WDM***
Capacidad de networking extremo a extremo.	No posee capacidad de networking.
Capacidades de Operación y mantenimiento.	Carece de capacidad de Operación y mantenimiento.

Tabla 4. 3: Comparación entre OTN y WDM

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El gran avance de redes de fibra óptica responde al desarrollo de dispositivos que ofrecen regeneración, amplificación de señales fotónicas, así como también la aparición de una serie de importantes tecnologías de conmutación en el dominio óptico.

- La utilización de la fibra óptica en redes de transporte de información es de vital importancia ya que ofrece un gran ancho de banda así como baja atenuación superando notablemente a otros medios de transporte utilizados.

- A través de los diferentes capítulos de esta tesis se ha discutido la arquitectura de la Red de Transporte Óptico que es definida por la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU a través de las recomendaciones G.709, G.872, G.798, combinando ventajas de tecnologías tales como SDH y WDM.

- La arquitectura de transporte óptico OTN está diseñada para satisfacer las necesidades de los operadores que buscan una solución rentable que les permita soportar múltiples servicios en una plataforma común.

- En vista de la gran competitividad por mejores servicios, la tecnología estudiada en el presente proyecto, permite el monitoreo de la red extremo a extremo al igual que detección de degradación y fallas a través de su Unidad de Datos Óptica ODU.

- OTN brinda la posibilidad de añadir nuevos canales de cabecera que le dan a la señal la funcionalidad necesaria para desempeñar Operaciones, Administración, Mantenimiento y Provisionamiento en la red.

- OTN presenta claramente mejores características que la tecnología SDH al proveer a la red un FEC fuera de banda y una adaptación de la señal cliente adecuada.

- Este proyecto de titulación muestra las propiedades favorables que los operadores pueden percibir al introducir la tecnología OTN, la flexibilidad avanzada es una de ellas, la cual se constata en la restauración basada en protocolos de señalización.

5.2. RECOMENDACIONES

- En este proyecto se contempla el estudio de la Red de Transporte Óptico por lo que se recomienda su implementación sobre una red real para poner a prueba su desempeño.

- El aprovechamiento de todas las ventajas de OTN exigirá una evolución de las regulaciones actuales en el área de las Telecomunicaciones principalmente en el área correspondiente al operador.

- Para alcanzar una mejor comprensión acerca de la tecnología aquí expuesta se recomienda entender el funcionamiento de las tecnologías que son parte de OTN es decir SDH y WDM.

- En el país se debe implementar gradualmente redes totalmente ópticas con el objeto de posibilitar servicios de mayor ancho de banda.

- Toda red de transporte debe poner énfasis en el aspecto de seguridad de la red, ya que en este proceso de convergencia a plataformas más robustas se enfrenta a amenazas cada vez mayores.

- Es necesario estar al tanto de las continuas reformas a las que están expuestas las normativas pertenecientes al sector de las telecomunicaciones para poder brindar un correcto asesoramiento.

- En la actualidad el estudio de nuevas tecnologías en el campo óptico es de vital importancia, por esta razón la Escuela Politécnica Nacional debe poner énfasis a la hora de impartir conocimientos acerca de las diferentes tecnologías de nueva generación así como promover la investigación de las mismas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍCAS

HELVOORT, Huub, (2005). SDH/SONET Explained in Functional Models Modeling the Optical Transport Network: John Wiley & Sons Ltd.

KARTALOPOULOS, Stamatios. (2008).Next Generation Intelligent Optical Networks; Springer.

PERROS, Harry G.(2005). Connection-oriented Networks SONET/SDH, ATM, MPLS and OPTICAL NETWORKS; John Wiley & Sons Ltd.

CAPMANY, José; ORTEGA, Beatriz:.(2006). Redes Ópticas.

HERRERA, Enrique; Tecnologías y redes de transmisión de datos.

[G.873] ITU-T Recomendation G.873 Optical Transport Network (OTN): Linear Protection.

[G.709/Y.1331] ITU-T Recommendation G.709/Y.1331 Sistemas y Medios de Transmisión, Sistemas y Redes digitales, Equipos terminales digitales – Generalidades (2003).

[G.872] ITU-T Recommendation G.872 Sistemas y Medios de Transmisión, Sistemas y Redes digitales, Redes digitales – Redes ópticas de transporte(2005).

[G.870/Y.1352] Recommendation G.870/Y.1352 Terms and definitions for optical transport networks (OTN) (2008).

[G.8081/Y.1353] ITU-T Recommendation G.8081/Y.1353 Terms and definitions for Automatically Switched Optical Networks (ASON).

Agilent Technologies, An overview of ITU-T G.709.pdf.

RAMOS, Francisco. 100 Gigabit Ethernet . pdf (2008).

CASTREJO, Juan .Arquitecturas en anillo para redes IP.

EXFO, Expertise Reaching Out.OTN(G.709).Reference Guide.

GENDRON, Robert y GIDARO, Amato, The g.709 Optical Transportnetwork — an overview pdf.(2009).

SCHUBERT, Andreas, G.709 – The Optical Transport Network OTN, pdf (2007).

HUAWEI, El surgimiento de las redes de transporte de banda ancha orientadas a tráfico IP.pdf. (2008).

VDE,Verband der Elektrotechnik. Optical Transport Network OTN.2009.

http://asignaturas.diatel.upm.es/sstx/archivos08_09/documentacion_adicional/ST_2008-12_C7_WDM.pdf.

http://www.conectronica.com/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=1857.

http://www.ciena.com/files/The_Value_of_OTN_for_Network_Convergence. pdf,8/2006.

http://www.ciena.com/products/flexselect_otn.htm,2008.

http://arantxa.ii.uam.es/jms/seminarios_doctorado/abstract2006/20060608AAGuilar.pdf.

http://www.innocor.com/pdf_files/g709_tutorial.pdf.

http://www.huawei.com/es/catalogo/.

ANEXOS

ANEXO A

ACRÓNIMOS UTILIZADOS

ATM Modo de Transferencia Asincrónica *(Asynchronus Transfer Mode*A

DWDM Multiplexación por división en longitudes de onda densas *(Wavelenght Division Multiplexion Dense)*

FAS: Señal de Alineación de trama.(frame alignment signal)

GCC *Canal de Comunicaciones Generales* (*General communication channels*)

GFP Procedimiento de entramado genérico (*Generic Framing Protocol*)

GFP-F Mapeo de tramas *(framed-mapped)*

GFP-T Mapeo transparente *(transparent-mapped)*

HEC: Cabecera de control de error.(header error control)

MSOH Cabecera de Sección de Multiplexación (*Multiplexing Section Overhead)*

NE Elementos de Red (*Network Elements*)

OADM Multiplexores de Adición-Extracción de Longitud de Onda Completamente Ópticos (*Optical Add-Drop Multiplexer*)

OAMP Operaciones, Administración, Mantenimiento y Disposición (*Operations, Administration, Maintenance and provisioning*)

OBS Conmutación de Ráfagas Ópticas (*Optical Burst Switching*)

OCh Canal Óptico *(Optical Channel)*

ODU Unidad Óptica de Datos (*Optical Data Units*)

OLT Terminales Ópticos de Línea (*Optical Line Termination*)

OMS Sección de Multiplexación Óptica *(Optical Multiplex Section)*

OTN Red de transporte óptica *(Optical Transport Network)*

OTS Sección de Transmisión Óptica (Optical transmission Section)

OTU Unidad de Transporte Óptico (*optical transport units*)

OXC Matrices de Conmutación Óptica *(Optical Cross-Connect*)

RSOH Cabecera de Sección de Regeneración (*Regenerator Section Overhead*)

RWA Enrutamiento y Asignación de Longitud de Onda (*Routing and Wavelength Assignment*)

SDH Jerarquía Digital Síncrona *(Synchronous Digital Hierarchy*)

SLE Establecimiento de Caminos Ópticos Estáticos (*Static LigthPath Establishment*)

ANEXO B

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Ancho de banda: En los sistemas digitales, la unidad básica del ancho de banda es bits por segundo (bps). El ancho de banda es la medición de la cantidad de información, o bits, que puede fluir desde un lugar hacia otro en un período de tiempo determinado, o segundos. La unidad de medida básica del ancho de banda analógico es el hercio (Hz), o ciclos por segundo.

Automodulación de Fase SPM (self-phase modulation): Consiste básicamente en la generación de frecuencias espurias en el entorno del pulso, que a causa del efecto de dispersión viajan a diferentes velocidades y provocan un estrechamiento o ensanchamiento del pulso en base al perfil de dispersión de la fibra ,lo que degrada la señal.

Canal óptico unidireccional: es en el todas las longitudes de onda viajan en la misma dirección.

Canal óptico bidireccional: es en el cual el set de longitudes de onda se divide en dos bandas, una para cada sentido de transmisión.

Carrier class: Se refiere a hardware o software que es suficientemente fiable para satisfacer las demandas de un operador de red.

Corrección de errores hacia adelante (FEC- Forward Error Correction): es un tipo de mecanismo de corrección de errores en una transmisión de datos.

Cross-Conexion*:* Una cross-conexión es una técnica de transmisión usada para establecer conexiones semi-permanentes bajo el control del operador, a través de su sistema de gestión de red. El operador cambiará esta conexión semi-permanente según cambie el patrón del tráfico.

Código Reed-Solomon: es un código cíclico no binario pertenece a la categoría FEC (Forward Error Correction), es decir, corrige los datos alterados en el receptor y para ello utiliza unos bits adicionales que permiten esta recuperación.

Cuello de botella: Embotellamiento de paquetes de datos (información) que circulan por una conexión causando demoras en la comunicación.

Grooming: se refiere a una consolidación o segregación de tráfico para hacer un uso más eficiente de las instalaciones de red. Consolidación significa combinando tráfico desde distintos lugares en una sola instalación, mientras la segregación es la separación de tráfico.

Jerarquía digital síncrona (SDH-Synchronous Digital Hierarchy): es el estándar internacional de comunicaciones aceptado por la UIT para redes de transmisión de alta capacidad.

Jitter: Se define técnicamente como la variación en el tiempo en la llegada de los paquetes, causada por congestión de red, perdida de sincronización o por las diferentes rutas seguidas por los paquetes para llegar al destino**.**

Intervalo Unitario (Pico-Pico): Para reflejar el máximo jitter que un equipo esta recibiendo, son útiles medidas pico-pico, el valor pico a pico equivale a la diferencia de fase entre la señal medida y la nominal**.**

Insertadores y Extractores de Canales Ópticos OADMs (Optical Add-Drop Multiplexer): Toman una señal WDM de su puerto de entrada extrayendo de forma selectiva algunas longitudes de onda hacia sus puertos locales dejando pasar el resto intacto al puerto de salida. Al mismo tiempo puede inyectar selectivamente longitudes de onda desde sus puertos locales hacia el puerto de salida.

Longitud de una onda: es la distancia entre dos crestas consecutivas, en otras palabras describe lo larga que es la onda ($\lambda = c/f$); donde λ es la longitud de onda, *c* es la velocidad de la onda, y *f* es la frecuencia.

Mezcla de cuatro ondas (FWM-Four Wave Mixing): es producido por la naturaleza no lineal del índice de refracción de la fibra y puede describirse como un proceso en el cual interactúan tres frecuencias que se propagan, las cuales originan una cuarta longitud de onda cuando la longitud de onda generada tiene la misma amplitud que uno de los canales, la calidad de la señal por este canal se degrada.

Matrices de Conmutación Óptica OXC (Optical Cross-Connect): Es capaz de conmutar una longitud de onda presente en uno de sus puertos de entrada hacia cualquier puerto de salida.

Mapeo: es un proceso de convertir o adaptar la señal al formato apropiado para introducirlas en una trama o sobre un enlace.

Modulación de fase cruzada (XPM): El efecto XPM(Cross-Phase Modulation), sucede cuando dos o más canales transmiten simultáneamente por medio de portadoras diferentes dentro de la misma fibra óptica.

Multiplexación por división de longitud de onda (WDM- Multiplexación por división en longitudes de onda): consiste en acomodar múltiples señales de ópticas en una sola fibra, utilizando diferentes frecuencias.

Multiplexar: Técnica que permite transmitir diferentes comunicaciones a través de un único canal.

Procedimiento de entramado genérico (GFP-Generic framing procedure): es el paso intermedio entre los tipos de tráfico de tasa variable y los protocolos de transporte basados en octetos o bytes.

Procedimiento de entramado genérico Transparente (GFP-T): Los servicios tales como Fast Ethernet, Gigabit.Ethernet, IP son mapeados trama a trama a la trama GFP.

Procedimiento de entramado genérico Por Trama (GFP-F): Los servicios tales como ESCON, FICON, Fibra Channel, Ethernet, entre otros, son mapeados byte a byte a la trama GFP.

Red de Transporte Óptico (OTN-Optical Transport Networks): según la norma G.709 permitirá que los operadores preparen el terreno para una infraestructura de red de servicios múltiples optimizada en tráfico IP, definida por las recomendaciones ITU-T G.872, G.709 y G.798.

Red de Fibra Óptica Sincrónica (SONET- Synchronous Optical Network): es un estándar para el transporte de telecomunicaciones en redes de fibra óptica, el estándar de red SONET fue desarrollado para satisfacer las exigencias de los nuevos servicios de comunicación según el modelo americano, mientras que SDH también fue desarrollado para el resto del mundo.

Señal de Transporte Sincrónica de nivel 3 (STS-3/OC-3): El nivel base para SONET es STS-1 (o OC-1) y es equivalente a 51.84 Mbps. STS-3 de SONET (3 x 51.84 Mbps = 155.52 Mbps) a STM-1 de SDH.

Tráfico: En las comunicaciones es el grado de ocupación de un canal o enlace.

Terminales de Línea Ópticos OLTs (Optical Line Termination): Multiplexan (desmultiplexan) varias longitudes de onda de una o varias fibra(s) de entrada a una o (varias) de salida.

Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU): es el organismo especializado de las Naciones Unidas encargado de regular las telecomunicaciones, a nivel internacional, entre las distintas administraciones y empresas operadoras.

Unión Internacional de Telecomunicaciones sector de estandarización grupo de estudio 15 (ITU-T SG 15): Este grupo de estudio perteneciente al sector de transporte.