

TRABAJO FINAL INTEGRADOR

TÍTULO:

Estudio de la interoperabilidad entre distintos equipamientos DWDM

Alumno:

Ing. Pedro Ignacio Sequeira

Carrera:

Especialización en Telecomunicaciones
Instituto Tecnológico de Buenos Aires

Tutor: Ing. Pablo Ignacio Fierens, PhD

2017

Índice general

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	8
1.1 Necesidad de transporte de alta capacidad	8
1.2 Red OTN.....	14
1.3 Algunos aspectos de redes de transmisión.....	22
1.1.1 Protección SNCP.....	23
1.1.2 Lambda Alien.....	26
1.1.3 Transceptores Ópticos a Nivel Cliente.....	26
1.4 Objetivos y organización del trabajo.....	29
2. PROTECCIÓN SNCP	31
2.1 Detalle equipamiento DWDM	31
2.1.1 Huawei.....	31
2.1.2 ZTE.....	32
2.2 Protección SNCP en topología de red con equipos Huawei y ZTE	33
2.2.1 Escenario de prueba SNCP Protection para equipamiento Huawei	33
2.2.2 Escenario de prueba SNCP Protection para equipamiento ZTE.....	34

2.2.3	<i>Escenario de prueba de interoperabilidad de protección SNCP entre equipamiento de ambas marcas</i>	35
2.2.4	<i>Generador de tráfico y forma de medición de los tiempos de conmutación</i>	37
2.3	Resultados prueba interoperabilidad protección SNCP multimarcas	37
2.3.1	<i>Escenario protección SNCP sólo equipos Huawei</i>	37
2.3.2	<i>Escenario protección SNCP sólo equipos ZTE</i>	38
2.3.3	<i>Escenario protección SNCP equipos Huawei y ZTE (con el generador de tráfico conectado del lado de ZTE)</i>	39
2.3.4	<i>Escenario protección SNCP equipos Huawei y ZTE (con el generador de tráfico conectado del lado de Huawei)</i>	40
2.4	Conclusiones	41
3.	LAMBDA ALIEN	43
3.1	Equipamiento	43
3.2	Resultados prueba lambda alien.....	46
3.3	Conclusiones	52
4.	TRANSCEPTORES A NIVEL CLIENTE	54
1.2	Equipamiento	54
1.3	Resultados y escenarios de pruebas.....	54
1.3.1	<i>Medición de sensibilidad óptica transceptores cliente</i>	54
3.4	Conclusiones	59
5.	CONCLUSIÓN	60

Índice de figuras

Figura 1 – Ventanas de transmisión – Tomado de [1].....	9
Figura 2 – Comparación entre TDM – FDM – WDM – Tomado de [4].....	11
Figura 3 – Multiplexor y Demultiplexor – Tomado de [6].....	12
Figura 4 – Independencia del formato de entrada – Tomado de [7]	12
Figura 5 - Distribución de longitudes de ondas para grilla de 50 GHz – Tomado de [1].....	13
Figura 6 - Distribución de longitudes de ondas para grilla de 100 GHz – Tomado de [1].....	14
Figura 7 – Jerarquía OTN – Tomada de [11].....	17
Figura 8 – Estructura trama OTN- Tomado de [11].....	18
Figura 9 – Bytes encabezado trama OTN – Tomado de [11]	18
Figura 10 – Esquema TCM – Tomado de [12]	20
Figura 11 – Protección SNC/I – Tomado de [10]	23
Figura 12 - Protección SNC/N 1+1 – Tomado de [10].....	24
Figura 13 - Protección SNC/S - Tomado de [10].....	25
Figura 14 – Esquema conexionado entre Maqueta 1 y Maqueta 2 HUAWEI.....	34
Figura 15 – Esquema conexionado entre Maqueta 11, Maqueta 13 y Maqueta 12 ZTE ..	35

Figura 16 – Esquema conexionado entre equipos Huawei y ZTE	36
Figura 17 – Service Disruption	37
Figura 19 – Puntos de corte prueba SNCP sólo Huawei	38
Figura 20 - Puntos de corte prueba SNCP sólo ZTE.....	39
Figura 21 - Puntos de corte prueba SNCP Huawei y ZTE con instrumento lado ZTE	40
Figura 22 - Puntos de corte prueba SNCP Huawei y ZTE con instrumento lado Huawei	41
Figura 23 – Esquema topológico del conexionado de prueba de Lambda Alien.....	45
Figura 24 – Servicio ODU2 que conecta Mux 1 con Mux 2 a nivel cliente.....	45
Figura 25 - Esquema general prueba lambda alien con detalle OChs.....	46
Figura 26 – Configuración lambdas WSUAE.....	47
Figura 27 – Potencias de lambdas medidas con placa EOPM4 en R6	48
Figura 28 – Punto de monitoreo 1 medido con OSA	49
Figura 29 – Configuración de lambdas en WSUD.....	50
Figura 30 – Punto de Monitoreo 2 medido con OSA	51
Figura 31 – Potencias de lambdas medidas con la placa EOPM4 en R8	51
Figura 32 – Escenario de prueba medición de sensibilidad óptica transceptores cliente. .	56
Figura 33 – Módulo XFP de las placas CO2 de ZTE.....	58
Figura 34 - Módulo SFP+ de las placas TTX de Huawei.....	58
Figura 35 – Escenario prueba compatibilidad módulos	59

Índice de tablas

Tabla 1 - Velocidades de línea OTN comparadas con las velocidades de línea SONET/SDH	15
Tabla 2: Tiempos de conmutación – Huawei – ver Figura 17	38
Tabla 3: Tiempos de conmutación – ZTE – ver Figura 18	39
Tabla 4: Tiempos de conmutación – ZTE/Huawei – ver Figura 19	40
Tabla 5: Tiempos de conmutación – ZTE/Huawei - ver Figura 20.....	41
Tabla 6 – Comparativa potencias y sensibilidad módulos XFP.....	57

Resumen

Este trabajo de especialización propone el estudio experimental de diversos aspectos relacionados con la compatibilidad a nivel funcional entre equipamientos de transmisión DWDM de distintas marcas.

Se estudiaron los siguientes tres aspectos:

1) Protección SNCP (*Subnetwork Connection Protection*)

Se realizaron pruebas de conmutación de servicios pasantes por equipamientos de distintas marcas (Huawei y ZTE) con protección SNCP activada. En casi todos los casos, la conmutación del servicio activo se realizó en un tiempo menor a los 50 ms, cumpliendo con lo estipulado en la Recomendación ITU-G.841 [1].

2) Lambda Alien.

Se comprobó que el equipamiento DWDM de la marca ZTE serie 8000 admita sin ningún tipo de problema el ingreso de un canal de 40 Gb/s proveniente de una placa que no es marca ZTE. En particular, el lambda alien provino de un muxponder de la empresa ClariPhy Argentina.

3) Interconexiones de servicios a nivel cliente.

Se verificó la compatibilidad de funcionamiento de módulos de la marca Huawei en equipamiento DWDM de la marca ZTE. Además, se han comprobado en la práctica los correctos valores de potencia y sensibilidad óptica contra lo que informa el fabricante en la especificación técnica de cada módulo [2].

Capítulo 1

Introducción y Objetivos

1.1 Necesidad de transporte de alta capacidad

Debido a la aparición de nuevas tecnologías, como por ejemplo la transmisión de video (representa aproximadamente el 65% del tráfico de internet), la demanda de ancho de banda en las redes de telecomunicaciones se ha incrementado significativamente y en algunos casos, aún no se ha logrado satisfacer dicha demanda por completo. Años atrás, la disponibilidad de la fibra óptica era una limitante muy importante de las operadoras de telecomunicaciones a la hora de transportar el tráfico generado por sus clientes debido a que cada fibra transportaba a través de la red una única señal multiplexada en el tiempo (por ejemplo, tecnología PDH, SDH o ATM - ver apéndice “J” de [3]).

Hoy en día, el mejor medio de transmisión es la fibra óptica, destacándose por su alta capacidad de transmisión, su inmunidad a los campos electromagnéticos, su reducida atenuación y su fácil maniobrabilidad, entre otras características. Como principales desventajas podemos mencionar el costo y tiempo de instalación, el alto nivel de precisión requerido y la necesidad de sofisticados dispositivos.

Las fibras ópticas utilizadas habitualmente en telecomunicaciones no son adecuadas para la transmisión en todas las longitudes de onda, sino que sólo pueden transportar

longitudes de ondas dentro de ciertas ventanas de transmisión adecuadas. En la actualidad se usan fundamentalmente las siguientes ventanas de transmisión (ver Figura 1):

1. ‘Segunda ventana’ (alrededor de 1300 nm).
2. ‘Tercera ventana’ llamada banda C (*Conventional Band*) va de 1530 a 1565 nm.
3. ‘Cuarta ventana’ llamada banda L (*Long Band*) va de 1565 a 1620 nm [4].

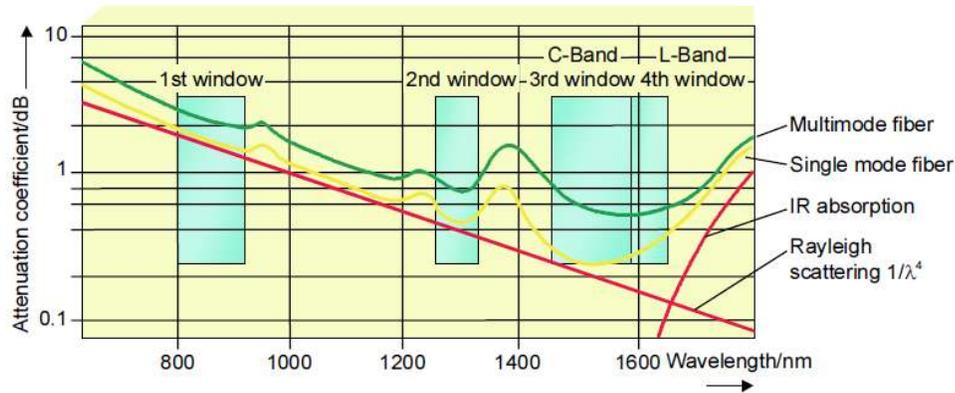


Figura 1 – Ventanas de transmisión – Tomado de [1]

La necesidad de extender la capacidad de un canal de comunicaciones, ha estado presente desde los comienzos de las telecomunicaciones. El objetivo podría ser el de permitir el uso de este canal por múltiples usuarios, para llevar a cabo una mejor gestión de los recursos disponibles o simplemente para aumentar la capacidad de transmisión. El desarrollo de estos sistemas siempre estuvo limitado por la máxima capacidad permitida por el canal de comunicación y por la disponibilidad tecnológica [4].

Cuando un medio de comunicación debe ser compartido por diversos usuarios o requiere soportar varios canales de comunicación, se utilizan diversas técnicas de multiplexación, como por ejemplo:

1. Multiplexación por división de tiempo (TDM – *Time Division Multiplexing*).
2. Multiplexación por división de frecuencia (FDM – *Frequency Division Multiplexing*).

Estas son técnicas utilizadas comúnmente en sistemas de radio y transmisión por cobre.

En TDM cada usuario es asignado a un cierto intervalo de tiempo, con lo cual, el tiempo de transmisión es compartido por todos los usuarios. En FDM cada usuario es asignado a una determinada franja de frecuencia transmitiendo solamente con la portadora correspondiente. De esta manera se comparte el ancho de banda disponible.

En el caso de los sistemas ópticos, el ancho de banda disponible puede superar los Terahertz (10^{12} Hz). TDM no se puede utilizar para aprovechar este enorme ancho de banda debido a las limitaciones en la tecnología electrónica. Los circuitos eléctricos simplemente no pueden trabajar en estas frecuencias. FDM también tiene el mismo problema ya no es posible utilizar multiplexación de frecuencia en el nivel eléctrico.

La solución fue utilizar multiplexación de frecuencia a nivel óptico o multiplexación por división de longitud de onda (WDM – *Wavelength Division Multiplexing*). La Figura 2 muestra, esquemáticamente, una comparación entre TDM, FDM y WDM.

La tecnología DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) surge gracias a los avances alcanzados en el campo de la fotónica a finales de la década del 90, mediante la cual, a través de una única fibra óptica, se pueden transportar cientos de señales, logrando incrementar significativamente la capacidad de la red de transporte sin tener que realizar nuevos tendidos de fibra. Esta tecnología permite dar solución al requerimiento de grandes cantidades de ancho de banda necesarios para cubrir la creciente demanda de tráfico en las redes actuales [6]. Un componente fundamental dentro de un sistema transmisión DWDM, son los amplificadores ópticos llamados EDFA (por su sigla en inglés, *Erbium Doped Fiber Amplifier* – amplificador de fibra dopada con Erbio) cuyo propósito es el de amplificación óptica de una señal. Estos sistemas consisten básicamente en un láser de bombeo (en 980 o 1480 nm), un dispositivo acoplador para unir la luz de la señal a ser amplificada y la luz de bombeo; y un segmento de fibra dopada con erbio. La ganancia depende de varios factores como pueden ser la concentración de iones de erbio, el radio del núcleo, la potencia y la configuración de la bomba, etc. Los EDFAs se utilizan para amplificar las bandas C y L.

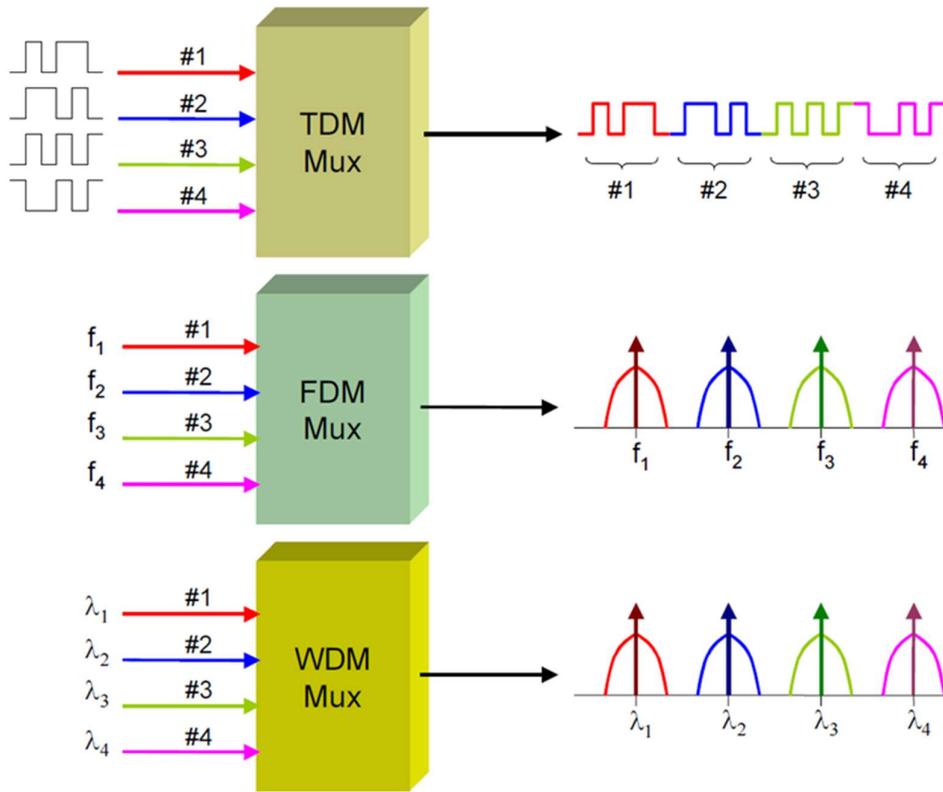


Figura 2 – Comparación entre TDM – FDM – WDM – Tomado de [4]

Los sistemas DWDM actuales de largo alcance son capaces de transportar por un único par de fibra óptica (un pelo para transmisión y otro pelo para recepción) hasta 160 canales ópticos o longitudes de ondas en torno a la tercera ventana (banda C y L de comunicaciones ópticas).

En el sentido de transmisión se multiplexan los canales ópticos y en el sentido de recepción se los demultiplexan (ver Figura 3). El multiplexor es el encargado de inyectar los canales centrados en distintas longitudes de onda sobre la misma fibra óptica y el demultiplexor es el encargado de separarlos. La capacidad total del enlace resulta de la suma de las señales de entrada y cada señal es transportada independientemente de la otra. Esto significa que cada canal tiene su propio ancho de banda dedicado.

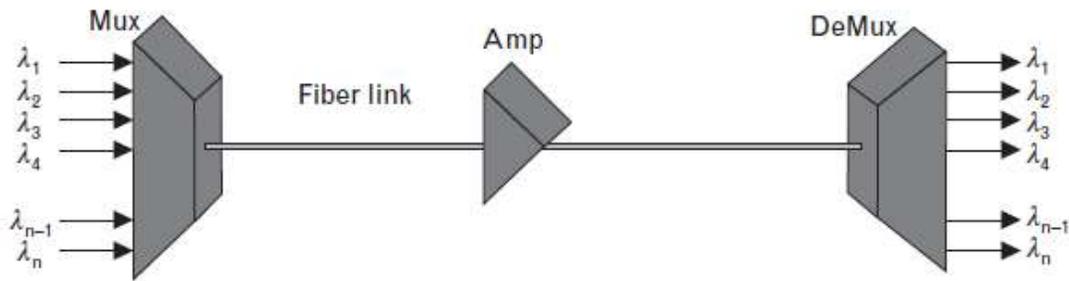


Figura 3 – Multiplexor y Demultiplexor – Tomado de [6]

Una característica importante para destacar de los sistemas DWDM es su independencia respecto al formato de las señales de entrada, es decir, se pueden transportar múltiples protocolos sin un formato de señal común [7].

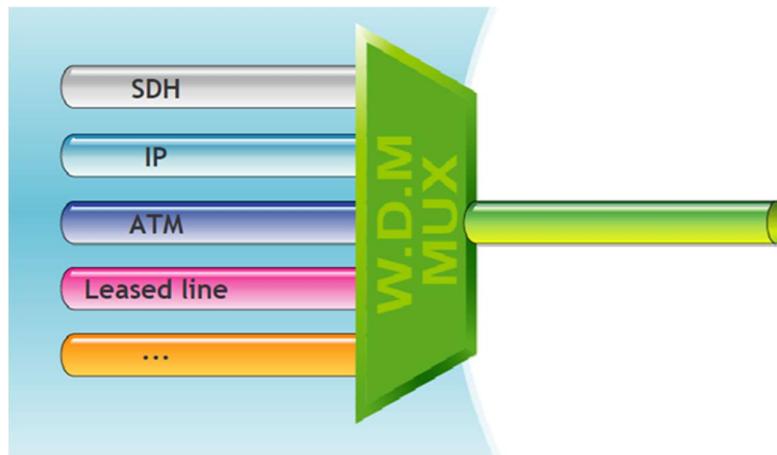


Figura 4 – Independencia del formato de entrada – Tomado de [7]

Las redes DWDM ofrecen conmutación de canales ópticos extremo a extremo entre sus nodos de red para poder brindar diversos servicios a los usuarios, o clientes conectados a ella. Un canal óptico se compone de una banda centrada en una longitud de onda óptica (λ) entre dos nodos de red que se enruta a través de múltiples nodos intermedios. Los nodos intermedios pueden cambiar y convertir las longitudes de onda.

Por lo tanto, estas redes pueden ser consideradas como redes de ruteo de longitud de onda con la posibilidad de subir o bajar tráfico (nodos llamados ADD / DROP, distintos a los nodos amplificadores lo cuales no pueden subir o bajar tráfico) en cada nodo según lo dictado por los distintos usuarios de la red [3].

A través de cada canal óptico se puede transportar una señal de cualquier tipo (SONET/SDH [1], ESCON [8], Fibre Channel [8], Gigabit Ethernet [9], IP [9], etc.) de, habitualmente, hasta 100 Gb/s. Según cual sea la grilla con la cual se esté trabajando, estas longitudes de ondas pueden estar separadas por 12,5 GHz, 25 GHz, 50 GHz, 100 GHz. Las grillas se encuentran estandarizadas en la recomendación ITU-T G.694.1. Además de grillas fijas, existe la posibilidad de utilizar grillas ‘flexibles’ que permiten acomodar sistemas de transmisión con distintas tasas y esquemas de modulación (ver, por ej., [9]). Si bien las grillas flexibles no son parte de ningún estándar, están tratadas en el Apéndice 1 de la recomendación previamente citada y varios fabricantes ofrecen productos que, según publicitan, ofrecen soporte para las así denominadas *flexgrids*.

Las Figuras 5 y 6 muestran los rangos de frecuencias de las longitudes de ondas de la banda C para una separación de canal de 100 GHz y 50 GHz, respectivamente.

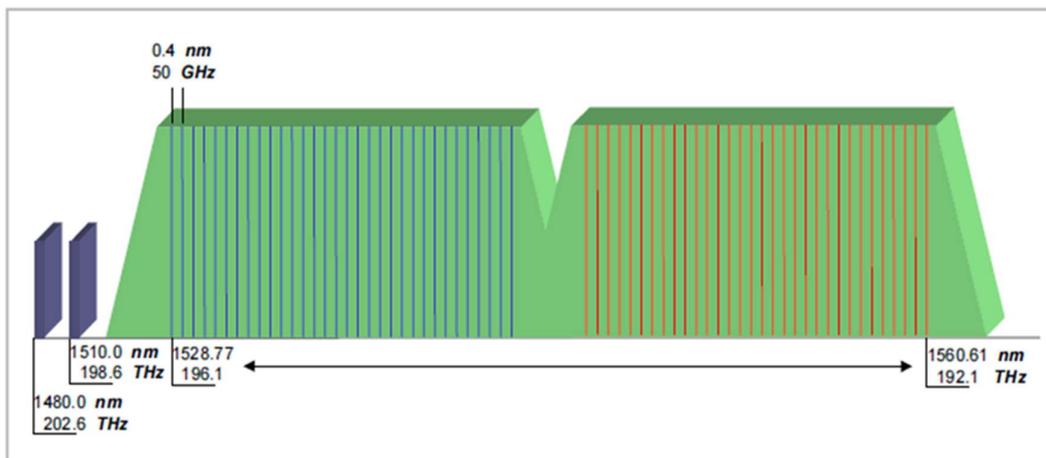


Figura 5 - Distribución de longitudes de ondas para grilla de 50 GHz – Tomado de [1]

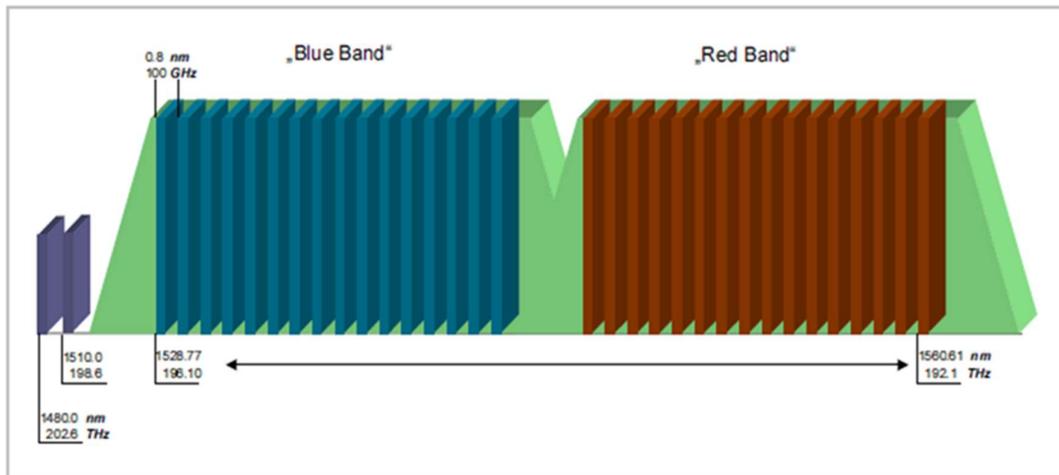


Figura 6 - Distribución de longitudes de ondas para grilla de 100 GHz – Tomado de [1]

1.2 Red OTN

En esta sección presentaremos una breve introducción a las redes ópticas de transporte [3] necesaria para la comprensión del resto del trabajo.

La Red de Transporte Óptico (OTN según su sigla en inglés) se encuentra definida en varios estándares (ver, por ej., [10]), entre otros ITU-T G.709, G.872, G.873.1, G.873.2 y G.959.1. Es común denominarla red G.709, siendo éste uno de los documentos más relevantes. La OTN fue diseñada para transportar tráfico de paquetes de datos tales como IP y Ethernet sobre fibra óptica, así como también tráfico 'legacy' y, en particular, SONET / SDH. Se denomina 'tecnología de encapsulamiento digital' (*digital wrapper technology*) porque encapsula cualquier señal de cliente en información de encabezado para operación, administración y gestión. Sus tasas de línea OTU k (*Optical Transport Unit k*) se muestran en la Tabla 1. OTUC n es un tipo específico de contenedor que permite canalizar múltiplos de 100 Gb/s, ofreciendo soporte a redes de mayor capacidad.

OTN (G.709)	Tasa de línea [Gb/s]	SONET/SDH	Tasa de línea [Gb/s]
OTU1	255/238 × STM-16	OC-48/STM-16	2,488
OTU2	255/237 × STM-64	OC-192/STM-64	9,953
OTU3	255/236 × STM-128	OC-786/STM-128	39,813
OTU4	255/227 × STM-640	OC-1920/STM-640	99,532
OTUCn	n × 239/226 × STM-640		

Tabla 1 - Velocidades de línea OTN comparadas con las velocidades de línea SONET/SDH

Algunas de las capacidades de OTN son las siguientes:

- 1. Corrección de errores hacia adelante (FEC):** OTN ha sido diseñado para transportar FEC y emplea el código Reed-Solomon (255,239), es decir, para cada bloque de 255 bytes, hay 16 redundantes. El FEC puede corregir errores en un bloque de hasta 8 bytes de error y detectar un error en un bloque con 16 bytes de error como máximo. La utilización de FEC es opcional en OTUk con $k = 1,2,3$ y obligatoria en OTU4. Los bloques se entrelazan para aumentar la longitud de las ráfagas de error que se pueden corregir.
- 2. Gestión:** SONET / SDH soporta monitoreo y administración de la señal a nivel de sección, línea y enlace¹. Este encabezado incluye la identificación de la señal, la medición de BER y la información de alarma de comunicación. Por su parte, OTN proporciona una estructura para supervisar una conexión de extremo a extremo y sobre varios segmentos. Estos segmentos pueden solaparse con hasta seis segmentos de monitoreo en un punto dado. Un ejemplo de aplicación sería una conexión de una red A que pasa a través de otra red B; es decir, B sirve como portadora para la red A. Entonces los operadores de ambas redes deben supervisar la conexión a medida que pasa por B,

¹ En SONET/SDH, una sección es un solo camino de fibra terminado por un elemento de red o un regenerador óptico. Una línea va entre dos *Line-Terminating Equipment* (LTE) y puede comprender una o varias secciones. Cada LTE (por ej., un *Add/Drop Multiplexer*) provee sincronización y puede multiplexar información de diversas tramas. Un camino o *path* se corresponde con el transporte extremo a extremo. Ver, por ej., [26].

utilizando su propio conjunto de señales de supervisión y gestión. Estas señales deben estar operando en tándem.

3. Interfaz transparente a los protocolos: OTN proporciona un servicio de tasa de bits constante. Tiene operación, administración y gestión de sus conexiones las cuales son transparentes para sus clientes. Puede transportar todo tipo de tráfico de paquetes de datos incluyendo IP y 10 Gigabit Ethernet, así como tramas SONET / SDH. Las tramas OTN pueden transportar tramas SONET / SDH completas incluyendo encabezado sin modificación. La Tabla 1 muestra que las tasas de línea OTN son un 7% más altas que las tasas de línea SONET / SDH, y esto se debe a su información adicional de encabezado y FEC.

4. Tiempo asíncrono: OTN permite mapear de manera síncrona o asíncrona señales de cliente en tramas OTN. Si el mapeo es asíncrono, el reloj que genera las tramas puede ser un simple oscilador *free running*, independiente del reloj del cliente. Ante cualquier desajuste entre los relojes de las tramas OTN y la señal del cliente, la carga útil OTN flota dentro de la trama. El uso de osciladores *free running* permite simplificar la implementación y reducir los costos. OTN también tiene un mapeo sincrónico donde el reloj para generar las tramas OTN se deriva de la señal del cliente.

Jerarquía en OTN

Las capas de la jerarquía OTN se muestran en la Figura 7. La sección de transmisión óptica (OTS - *Optical Transmission Section*), la sección de multiplexación óptica (OMS – *Optical Multiplexed Section*), y las capas de canal óptico (OCh – *Optical Channel*) están en el dominio óptico. La capa OTS gestiona segmentos de enlace de fibra entre componentes ópticos como, por ejemplo, entre amplificadores ópticos, o entre amplificadores ópticos y multiplexores WDM. La capa OMS gestiona enlaces de fibra entre multiplexores ópticos y conmutadores, y la capa OCh gestiona conexiones ópticas entre regeneradores 3R (*Regenerator/Reshaper/Retimer*, donde la función de ‘regenerator’ es la de reamplificación).

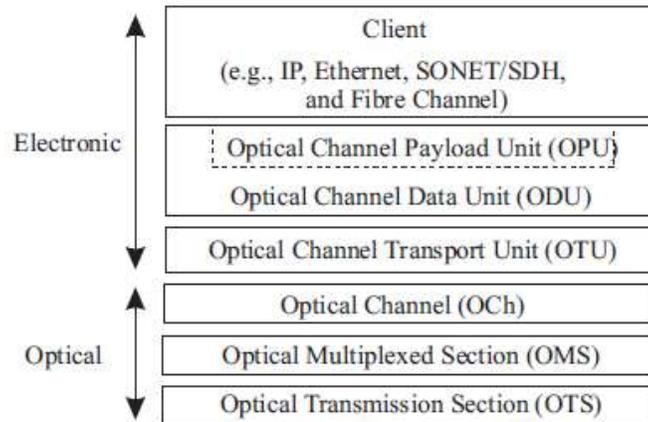


Figura 7 – Jerarquía OTN – Tomada de [11]

La capa OTU (*Optical Transport Unit*), similar a la capa de sección de SONET / SDH, proporciona conexiones ópticas entre los regeneradores 3R. Tiene encabezado para delinear tramas OTN, proporcionar identificación de la conexión óptica, monitorear el rendimiento de la tasa de error de bits (BER), llevar indicadores de alarma de fallas de señal y proporcionar un canal de comunicación entre los puntos finales de la conexión óptica. La capa añade FEC y codifica las tramas antes de la transmisión. Además, proporciona información de sincronización para multitramas. Las multitramas son un método para enviar mensajes a través de múltiples tramas OTN. Por ejemplo, un mensaje de 256 bytes puede enviarse a través de un único byte de encabezado sobre 256 tramas. Una multitrama tiene un período fijo que debe ser una potencia de dos.

La capa ODU (*Optical Data Unit*) tiene funciones similares a las capas de línea y enlace de SONET / SDH, ofreciendo la funcionalidad de comunicación *end-to-end*. Soporta el monitoreo de conexiones en tándem de hasta 6 segmentos, proporcionando identificación, monitoreando el desempeño del BER y llevando indicadores de alarma.

Finalmente, capa OPU (*Optical Payload Unit*) encapsula y realiza la adaptación de las señales de cliente a las tramas OTN.

Estructura de la trama OTN

La Figura 8 muestra la estructura de una trama OTN del tipo OTUk, siendo las tramas OTUCn similares, aunque no iguales (por ej., el número de columnas es menor). Cada trama se organiza en 4 filas y 4080 columnas de bytes. Una trama se transmite en serie comenzando por la fila 1 y por fila de izquierda a derecha. Cada fila está compuesta de 16 bloques FEC entrelazados de 255 bytes que son un total de $16 \times 255 = 4080$ bytes. Cada bloque tiene 1 byte de encabezado, 238 bytes de carga útil y 16 bytes de bytes FEC redundantes. Dado que se intercalan 16 bloques y cada bloque puede corregir hasta 8 bytes de errores, las ráfagas de errores se pueden corregir hasta $16 \times 8 = 128$ bytes. Los encabezados OTU y ODU residen en las columnas 1 a 14 de la trama OTN, donde la sobrecarga OTU está en la fila 1 y la sobrecarga ODU está en las filas 2 a 4. El encabezado OPU está en las columnas 15 y 16 de la trama. La Figura 9 presenta los bytes del encabezado de la trama OTN. La trama es codificada antes de ser transmitida.

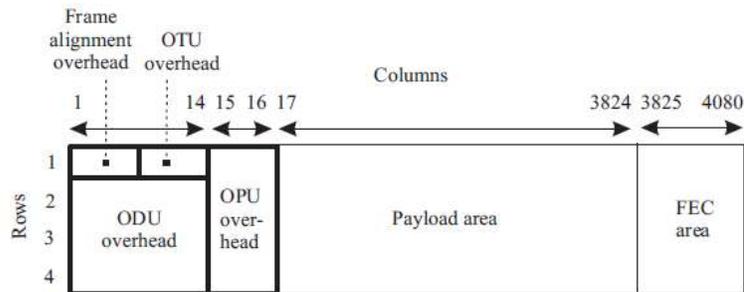


Figura 8 – Estructura trama OTN- Tomado de [11]

		Columns																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Rows	1	FAS				MFAS	SM			GCC0		RES		JC	RES			
	2	RES		TCM ACT	TCM6			TCM5			TCM4		FTFL	JC	RES			
	3	TCM3		TCM2		TCM1			PM			EXP		JC	RES			
	4	GCC1	GCC2		APS/PCC				RES					PSI	NJ0	PJ0		

Figura 9 – Bytes encabezado trama OTN – Tomado de [11]

A continuación, se describe el resto del encabezado mostrado en las Figuras 8 y 9.

Campos de alineamiento de trama del encabezado:

1. **FAS - Frame Alignment Signal:** Estos 6 bytes se utilizan para alinear la trama.
2. **MFAS - Multiframe Alignment Signal:** Algunos de los campos del encabezado transportan información que se dispersa en múltiples tramas, denominadas multitramas. El byte MFAS se incrementa por cada trama proporcionando 256 valores que indican el número de la trama dentro de una multitrama. El byte MFAS se utiliza para sincronizar bytes de multitramas.

Campos del encabezado OTU:

1. **SM - Section Monitoring:** El campo SM es de 3 bytes y se compone de los siguientes campos:
 - a) **TTI - Trail Trace Identifier:** 64 bytes (a lo largo de una multitrama). Los primeros 32 bytes llevan las identificaciones de los dos extremos y los restantes 32 bytes son específicos del operador.
 - b) **BIP – Bit Interleaved Parity:** Un byte de paridad que permite el monitoreo del error.
 - c) **Señales de alarma:** BEI (*Backward Error Indicator*), BIAE (*Backward Incoming Alignment Error*), BDI (*Backward Defect Indication*), IAE (*Incoming Alignment Error*). Los 4 bits del BEI / BIAE indican el número de errores medidos con el byte BIP-8, o pueden indicar que hay un error de entrada de alineación. El bit BDI indica si hay un defecto de señal. El bit IAE indica al receptor que el emisor ha detectado un error de alineación.
2. **GCC0 - General Communications Channel:** Este campo de 2 bytes proporciona un canal limpio de conexión entre los puntos de terminación OTU.

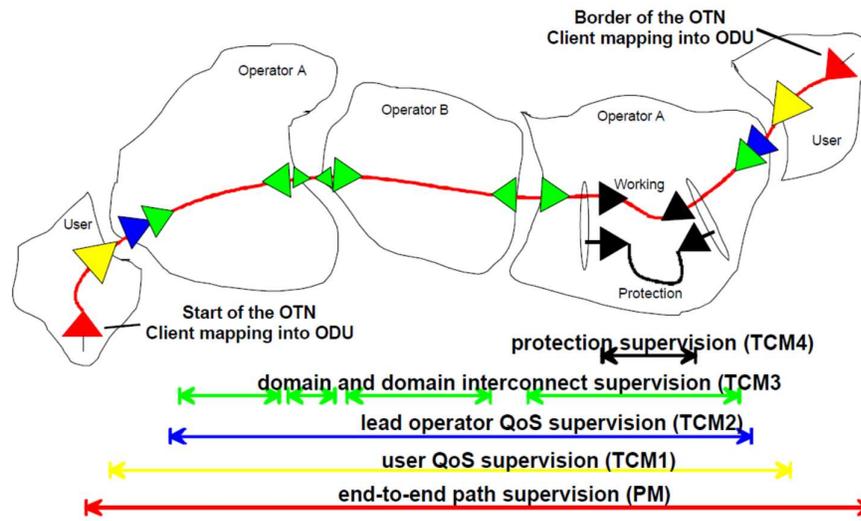


Figura 10 – Esquema TCM – Tomado de [12]

Campos del encabezado ODU:

1. **PM - Path Monitoring:** Estos 3 bytes son utilizados para supervisar la ruta de extremo a extremo. Tiene una estructura similar al campo de supervisión de sección de 3 bytes (SM) descrito anteriormente para el encabezado OTU. Esto incluye bytes para TTI, BIP-8 y señales de alarma. Las señales de alarma incluyen un campo de estado de supervisión de enlace (STAT), que puede usarse para transportar una señal de indicación de alarma (AIS – *Alarm Indication Signal*). El campo STAT puede transportar otras señales, como por ejemplo indicar que el canal óptico está abierto. El campo PM también incluye un bit que señala el comienzo de una prueba de medición del retraso (DMP – *Delay Measurement*).
2. **TCM Tandem Connection Monitoring:** Hay seis campos TCM, cada uno de 3 bytes y tienen la misma estructura que el campo PM descrito anteriormente. Un operador de red puede utilizar un campo TCM para supervisar el comportamiento de errores de una señal para diferentes aplicaciones, por ejemplo, supervisar la conexión a través de la red pública. Debido a que las normas no especifican quién debe utilizar los campos TCM, los operadores de

red deben negociar un acuerdo. La Figura 10 esquematiza, a modo de ejemplo, una aplicación de los campos TCM interactuando sobre redes de distintos operadores donde cada TCM monitorea conexiones independientes. Cabe aclarar que los campos TCM ACT y FTFL fueron sacados en la última versión (ver página 3 de ITU-T G.709/Y.1331 [10]) del estándar y colocados en los bytes de encabezado de EXP.

3. **GCC - General Communication Channel:** Se trata de un canal de comunicación de 2 bytes similar al campo GCC en la sobrecarga OTU.
4. **APS/PCC - Automatic Protection Switching/Protection Communication Channel:** Estos 4 bytes proporcionan un canal para transportar información de señalización para la conmutación automática de protección (APS). El APS está soportado en diferentes niveles de monitoreo.
5. **EXP - Experimental:** Estos 4 bytes están reservados para propósitos experimentales y pueden ser utilizados por operadores y vendedores.
6. **RES - Reserved:** Estos bytes están reservados para futuras estandarizaciones.

Campos del encabezado OPU:

El encabezado OPU se utiliza para adaptar las señales del cliente a la trama OTN. En el modo asíncrono OTN, el reloj para la trama OTN puede tener una velocidad ligeramente diferente que el reloj para la señal del cliente. Para hacer frente a este desajuste, el encabezado OPU puede agregar o quitar bytes de datos de la carga útil OTN.

1. **PSI - Payload Structure Identifier:** Este byte forma parte de un mensaje multitrama de 256 bytes que describe la carga útil. El primer byte del mensaje es el tipo de carga útil (PT – *Payload Type*). Identifica el tipo de carga útil que se transporta en la trama.
2. **JC, NJO, PJO Justificación:** Para hacer frente a las diferencias en las velocidades de reloj, la capa ODU agregará o quitará un byte de datos de la carga útil de la trama OTN. El byte de control de justificación (JC - *Justification Control*) indica si los datos se transportarán por alguno de los

siguientes dos bytes: NJO (*Negative Justification Opportunity*) y PJO (*Positive Justification Opportunity*).

Multiplexación

OTN soporta multiplexación de señales ODU: cuatro ODU1 pueden multiplexarse en una ODU2, dieciséis ODU1 o cuatro ODU2 pueden multiplexarse en una ODU3, o una mezcla de ODU1 y ODU2 pueden multiplexarse en una ODU3. OTN también admite la concatenación virtual.

Las tramas OTU2 se organizan en multitramas de tamaño cuatro, donde cada multitrama lleva las tramas de cuatro ODU1: ODU1 [1], ODU1 [2], ODU1 [3] y ODU1 [4].

Las cargas útiles de las ODU1 son un byte intercalado en la carga útil de una trama ODU2.

El encabezado OPU de una trama OTU2 llevará información en su byte PSI sobre las señales multiplexadas. El tipo de carga indica señales multiplexadas de ODU. Los bytes 2 a 17 del PSI indican el tipo de señales que se multiplexan, por ejemplo, si las señales son ODU1, ODU2 u ODU3 y su posición dentro de la carga útil.

1.3 Algunos aspectos de redes de transmisión

En el presente trabajo se estudian tres aspectos de redes de transmisión DWDM:

- 1) Protección SNCP (subnetwork connection protection).
- 2) Lambda alien.
- 3) Transceptores ópticos e interconexiones de servicios a nivel cliente.

En esta sección, presentaremos algunos detalles de cada uno de estos aspectos.

1.1.1 Protección SNCP

SNCP (*Subnetwork Connection Protection* - ver, por ej., [11]) se utiliza para proteger un segmento de un *trail*² dentro de una red o de redes múltiples. La subred puede estar entre dos puntos de conexión (CPs - *Connection Points*), como se muestra en la Figura 11, o entre un CP y un punto terminación (TCP - *Termination Connection Point*), o entre dos TCP en una red completa.

SNCP puede funcionar en varias arquitecturas de protección y tipos de conmutación y operación. Puede ser utilizado en varias estructuras de red, como malla o anillos o mezclado, y se puede aplicar en cualquier capa en una red en capas.

SNCP se caracteriza además por la forma en que se monitorean los defectos dentro de su dominio.

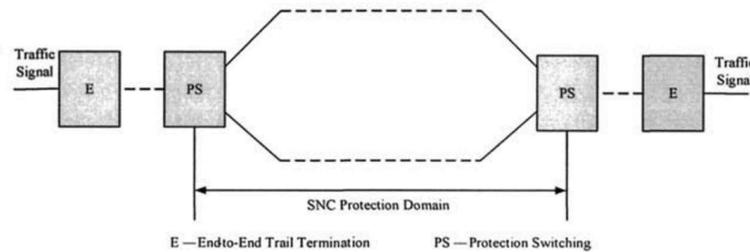


Figura 11 – Protección SNC/I – Tomado de [10]

- a) SNC / I - Inherente: En esta variante, SNC opera sólo en las condiciones de defectos de capa de servidor. Las funciones de terminación y adaptación de capa de servidor determinan las condiciones de falla de señal y degradación de señal (SF / SD - *Signal Fail / Signal Degrade*).
- b) SNC / N - No intrusivo: Este enfoque requiere el uso de funciones de monitoreo no intrusivas para determinar las condiciones SF / SD. Puede aplicarse mediante la detección extremo a extremo, donde se monitorean los defectos de la capa de

² *trail* es un término utilizado en SDH para denotar un camino de transporte entre dos extremos o *trail termination points*. *Trails* en diferentes capas reciben diferentes nombres: *path* es un *trail* en la *path layer*, *section* es un *trail* en el *section layer*, etc. Ver, por ej., [25]. Recordemos que la protección SNCP en OTN del tipo G.709 hereda varios de los conceptos de la protección análoga en SDH.

servidor, los defectos de continuidad / conectividad, la degradación de errores y el encabezado OAM (*Operations Administration Management*) de extremo a extremo.

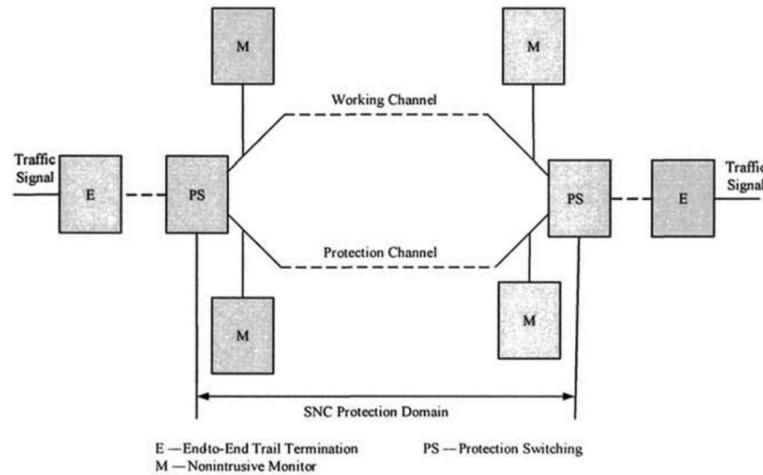


Figura 12 - Protección SNC/N 1+1 – Tomado de [10]

c) SNC / S – Subcapa: Alternativamente, se puede usar una detección de subcapa, que es similar a la detección de extremo a extremo excepto que se supervisa el encabezado de OAM de la subcapa. Esto se aplica típicamente en una subcapa de segmentos (referida como la capa de conexión en tándem - TC). Las funciones de monitoreo de TC también se implementan para determinar las condiciones SF / SD.

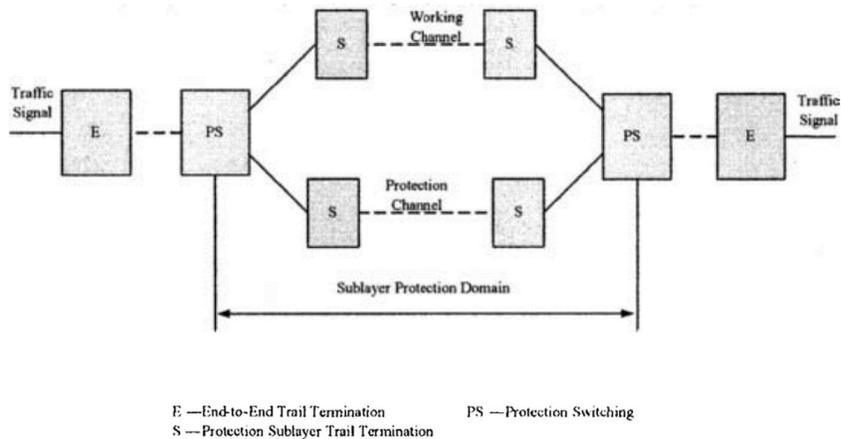


Figura 13 - Protección SNC/S - Tomado de [10]

Anillo de conmutación de camino unidireccional

SDH define los esquemas de protección anteriores, donde los canales de trabajo para ambas direcciones de tráfico pueden seguir caminos físicos diferentes en un anillo protegido (UPSR - *Unidirectional Path Switch Ring*). En general, puede usarse tanto para SNC / I como para SNC / N, pero no para SNC / S o para protección de trail. Este esquema puede resultar en un retraso de transferencia más largo y es diferente para las dos direcciones de tráfico en comparación con esquemas en los que los canales de trabajo para ambas direcciones de tráfico siguen el mismo camino físico.

Tiempos de espera

En un mecanismo de protección anidado. Un único fallo puede desencadenar múltiples mecanismos de restauración, que pueden interactuar entre sí, dando como resultado estados de red indeseables y desconocidos. Para evitar este estado, se utiliza un temporizador de retención o espera (*hold-off timer* en inglés). Esto permite que la conmutación de protección más interna funcione primero y restaure el tráfico antes de que se active la conmutación de protección más externa.

Estos *timers* proporcionan los medios para limitar los eventos innecesarios de conmutación de protección. En algunas aplicaciones se utiliza un temporizador en cada selector de protección. Por ejemplo, en los tipos de conmutación de protección 1 + 1 SNC

/ N y SNC / I, se utilizan tiempos de espera para evitar la conmutación temprana debido a la diferencia de retardo diferencial entre la ruta larga y la corta.

Un temporizador se activa cuando se detectan una o más condiciones de defecto tales como SD o SF en el grupo protegido, y se ejecuta durante un período de 0 a 10 segundos. La Recomendación G.841 define pasos provisionales de 50 ms para SDH, y se define un valor similar para OTN.

Cuando el *hold-off timer* expira, el estado SF / SD de todas las señales de tráfico pasa al proceso de conmutación de protección para actuar sobre ellas. No se requiere que las condiciones SF / SD estén presentes durante toda la duración del período de retención, ya que sólo se requieren los estados al final del período de retención.

1.1.2 *Lambda Alien*

Lambda alien, también denominada *alien wavelength*, es la forma de conectar una interfaz DWDM de cualquier elemento externo a una red óptica de terceros, existente o nueva, aprovechando sólo las partes comunes de la red DWDM, es decir, la capa fotónica.

El escenario más común es un transponder externo del proveedor A que se conecta a la capa fotónica del proveedor B.

La introducción de una señal proveniente de un equipo no compatible puede traer varios problemas. En la Ref. [13], por ej., se analiza la influencia del ancho de banda de una *alien wavelength* en el crosstalk de canales, sugiriéndose que el ancho de banda sea controlado por filtros ópticos dedicados para evitar problemas. Si las *alien wavelengths* no son controladas o administradas explícitamente de alguna manera, pueden generar problemas de seguridad (por ej., *jamming*), como se describe en la Ref. [14]. Un ejemplo de cómo administrar lambda alien es brindado en la Ref. [15].

1.1.3 *Transceptores Ópticos a Nivel Cliente*

El requerimiento del mercado de aumentar la capacidad de los equipos también requiere que la densidad de equipos de red mejore. Este requerimiento, a su vez, se ha

manifestado en la necesidad de mejorar la densidad de las interfaces en una placa. Esto se abordó poniendo múltiples canales (por ejemplo, múltiples transceptores de 1x9) en una sola placa, pero finalmente requirió que el módulo sea rediseñado. Aprovechando la disponibilidad de conectores de fibra óptica LC, que eran mucho más pequeños que los conectores anteriores, un nuevo módulo transceptor fue introducido por múltiples vendedores, de tan sólo la mitad del tamaño de un transceptor 1x9. Este nuevo tipo de transceptor es comúnmente denominado dispositivo de factor de forma pequeño (SFF – *Small Form Factor*). Su ancho es de sólo 12,7 mm, y la interfaz óptica consta de dos conectores ópticos LC. La interfaz eléctrica consiste en dos filas paralelas de pines, ya sea en una configuración 2*5 o 2*10, dependiendo de las características del transceptor. Este módulo se desarrolló a través de un esfuerzo cooperativo voluntario de la industria, una práctica que ahora se conoce comúnmente como MSA (*Multi-Source Agreement*).

Los acuerdos Multi-source (MSA) son acuerdos tenidos en cuenta por los proveedores de equipos al momento de desarrollar factores de forma para interfaces de comunicaciones, de manera de garantizar la interoperabilidad y la intercambiabilidad entre módulos de interfaz, los proveedores de equipos se basan en las recomendaciones de los MSA [16] [17] [11].

1.1.3.1 Módulos SFP

La disponibilidad de dispositivos SFF permitió densidades de puertos muy altas en sistemas de transmisión óptica. La disposición física muchos dispositivos en la placa resultó ser un desafío increíble. Además, generalmente no era posible soportar múltiples aplicaciones (por ejemplo, alcance de transmisión diferente) en la misma tarjeta. Por último, existe un mayor riesgo de confiabilidad cuando tantos dispositivos ópticos están montados en una sola tarjeta. En el caso de un fallo único del transceptor, se debe reemplazar y reparar la tarjeta completa, o bien el puerto óptico pertinente ha de quedar permanentemente fuera de servicio. Con el fin de resolver los inconvenientes antes mencionados, se desarrolló una generación completamente nueva de transceptores conectables eléctricamente. El transceptor más destacado de hoy se llama el módulo de factor de forma pequeño (SFP – *Small Form-factor Pluggable*). Los módulos SFP son similares en tamaño a los dispositivos SFF. Sin embargo, son ‘enchufables’ en caliente

(*hot-pluggable*), lo que implica que se pueden insertar y retirar de una tarjeta de circuito en vivo (no es necesario apagar o extraer la placa del equipo). Este nuevo concepto ofrece una flexibilidad total, permitiendo una mezcla de varios tipos de transceptores en una sola tarjeta en un escenario '*pay as you grow*'. Además, en caso de un fallo del transceptor, sólo el dispositivo impactado requerirá reemplazo (ref. [18]).

El área de aplicación para los módulos SFP cubre todas las velocidades de hasta 2,5 Gb/s. El SFP se utiliza en aplicaciones de canal único, así como en aplicaciones WDM, tal como se especifica en la Recomendación G.695 de la ITU. Para tasas superiores, hasta 16 Gb/s, se utiliza el SFP+ (*enhanced Small Form-factor Pluggable*) [19] [20]. Existe una versión para 28 Gb/s conocida como SFP28 [21]. También hay otros formatos similares para 16 Gb/s (QSFP – *Quad-SFP*, 4x4 Gb/s [22] [23]), 40 Gb/s (4x10, QSFP+), 56 Gb/s (4x14, QSFP14 [24]) y 112 Gb/s (4x28, QSFP28 [25]).

1.1.3.2 Módulos XFP

Debido a la necesidad del mercado por la reducción de tamaño en módulos ópticos y la necesidad de flexibilidad con respecto al área de aplicación, junto con la disponibilidad prevista de nuevas generaciones de circuitos integrados que podrían operar directamente a velocidades de interfaz de 10 Gb/s, fue concebido un transceptor de pequeño factor de forma, llamado XFP [26]. El XFP se definió específicamente para cubrir todas las posibles aplicaciones de 10 Gb/s, incluyendo las velocidades SDH / SONET STM-64 / OC-192, jerarquía OTU-2/OTU-2e, 10 Gigabit Ethernet y Fibre Channel. Este transceptor XFP tiene una interfaz serie, lo que implica que la velocidad de la interfaz eléctrica y óptica está funcionando a 10 Gb/s.

Se ha definido un MSA, que incluye especificaciones para el módulo XFP, hardware de caja para adaptarse a la placa, diagnóstico digital y especificaciones de interfaz eléctrica.

El tamaño del módulo es de aproximadamente 18x71x8,5 mm. La interfaz eléctrica se realiza a través de un conector de 30 pines y los conectores ópticos son del tipo LC, similares a los utilizados en los módulos SFP para velocidades de bits de hasta 2,5 Gb/s.

El acuerdo XFP MSA también contiene directrices sobre las disposiciones mecánicas para proporcionar una gestión óptima térmica en la placa.

Inicialmente, sólo se disponía de versiones para aplicaciones STM-64 / OC-192 intra-oficina / corto alcance (2 km) y 10 GbE (10 km). La disponibilidad de láseres de 1550 nm semi-enfriadas ha abierto un camino hacia dispositivos XFP para aplicaciones de un solo canal y DWDM de largo alcance con distancias de transmisión de hasta 80 km.

1.4 Objetivos y organización del trabajo

El objetivo del presente trabajo es estudiar la interoperabilidad entre distintos equipos DWDM basados en los siguientes tres aspectos:

- 1) Protección SNCP (subnetwork connection protection).
- 2) Lambda Alien.
- 3) Interconexiones de servicios a nivel cliente (incluyendo compatibilidad de transceivers ópticos).

Para poder estudiar estos temas y posteriormente obtener conclusiones, se trabajará sobre una maqueta de pruebas constituida por equipos de transmisión óptica DWDM de última tecnología de las marcas ZTE [27] y HUAWEI [28]. Mediante la utilización de instrumentos de medición especializados, como pueden ser generador de tráfico, medidor de potencia óptica y analizador de espectro, se cuantificarán y verificarán los resultados obtenidos una vez realizadas las pruebas referidas a la interoperabilidad de diversas funcionalidades de dichos equipos.

La primer prueba se describe en el capítulo llamado “Protección SNCP”, donde lo que se busca verificar es, en primer lugar, que los tiempos de conmutación de la protección SNCP de un puerto cliente, cumplen con las Recomendaciones ITU-G.798 [29], G-808.1, G-870, G-873.1 (recomendaciones incumbentes para OTN que definen y especifican los tiempos de conmutación menores a los 50 ms) y en segundo lugar, que la protección SNCP funciona en un escenario compuesto con equipamiento multi-marca, es decir, se puede proteger un servicio cliente que atraviesa hardware de distintos fabricantes.

El siguiente capítulo es llamado “Lambda Alien”. Se entiende como lambda alien, a aquella señal óptica ‘coloreada’ que se origina a partir de equipos que no están bajo el control directo del operador de la red de transmisión. Dentro del mismo, se presentan los resultados y conclusiones obtenidas respecto de las pruebas de compatibilidad de una lambda alien, señal de línea de 40 Gb/s generada por un muxponder desarrollado por personal de la Fundación Fulgor, dentro de la capa fotónica de los equipos de transmisión marca ZTE.

En el capítulo llamado “Transceptores a nivel Cliente”, se exponen las pruebas típicas que permiten caracterizar a los módulos. Las pruebas son estándar para la homologación de los equipos de transmisión DWDM. Se miden potencia de transmisión óptica y sensibilidad de la interfaz. Se evalúa también la compatibilidad a nivel cliente entre dos equipos DWDM de distinto fabricante.

Finalmente se cierra el trabajo con las conclusiones y líneas de trabajo futuras.

Capítulo 2

Protección SNCP

Para el desarrollo del presente trabajo se emplearon equipamientos de la marca Huawei modelo OSN8800 [28] y de la marca ZTE modelo ZXONE 8000 [27]. Ambos equipos se encuentran instalados en un laboratorio de pruebas de la empresa ARSAT y listos para ser configurados conforme la topología de red necesaria para cada tipo de prueba.

2.1 Detalle equipamiento DWDM

2.1.1 Huawei

El equipamiento de la marca Huawei es sumamente desplegado en las redes de ASON WDM/OTN ver [11], backbone y agregación metropolitana de los principales proveedores de servicios de telecomunicaciones del mundo, incluyendo la Argentina. El OptiX OSN8800 soporta la *cross conexión*³ unificada de servicios OTN, SDH y paquetes conformando una plataforma multiservicios denominada Multi-Service Optical Transport Network (MS-OTN).

³ Se denomina cross conexión al camino virtual temporal o permanente que vincula dos puertos, tanto físicos como lógicos, mediante el empleo de elementos configurables (matriz) o no.

Gracias a la capacidad de cross-conexión OTN, servicios de cualquier granularidad pueden ser integrados y mezclados en canal de 40 Gb/s-100 Gb/s, incluso los provenientes de distintos sitios. Esto aporta un alto grado de flexibilidad para manejar los recursos de red mejorando la utilización del ancho de banda disponible.

La plataforma de gestión de Huawei se llama iManager U2000, la cual es un sistema de administración que ofrece funciones de gestión de elementos, redes y servicios permitiendo: Monitoreo de OSNR de OCH de 40 Gb/s y 100 Gb/s y optimización de performance de los mismos (Optical Doctor); Puesta en Marcha de forma Remota, Mantenimiento Sencillo; Soporte de Plataforma Cross-Domain y Creación de Servicios.

Como referencia se adjunta la hoja de datos del equipo y del software de gestión al presente trabajo (ref. [30]).

2.1.2 ZTE

El equipamiento de la marca ZTE es una plataforma que soporta la última tecnología de transmisión de 100 Gb/s con modulación coherente, soportando conmutación óptica de longitudes de onda dinámica por ROADM WSS (*Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer Wavelength Selective Switch* - ver sección 7.3 de [3]), plano de control GMPLS/WASON (*Generic Multiprotocol Packet Label Switching/WDM ASON* - ver capítulo 3 de [31]) para protecciones de malla con SLA (*Service Level Agreement*) entre otras funcionalidades las cuales están actualizadas con el último estado del arte.

A modo de resumen, ZTE ofrece las siguientes facilidades:

- Capacidad: $80\lambda \times 100$ Gb/s/40 Gb/s
- Red con Modulación Coherente
- Servicios: 10 Gb/s Multiprotocol (OTU2/OTU2e, STM-64, Eth WAN/LAN), STM-16/4/1, GE (ver apartado 1.2)
- ROADM
- WASON/GMPLS
- Sistema de Gestión: Sistema de Gestión Unificado Multi Producto

La serie de productos iOTN de ZTE incluyen los equipos de la serie ZXONE 8000 DWDM los cuales proveen una gran capacidad de ancho de banda y una potente capacidad de cross-conexión para ser aplicados en las capas de red de backbone.

Como referencia se adjunta la hoja de datos del equipo y del software de gestión al presente trabajo [27].

2.2 Protección SNCP en topología de red con equipos Huawei y ZTE

En el presente trabajo se realizaron las siguientes configuraciones con SNCP tipo SNC/N:

- 1) Comprobación del funcionamiento de SNCP Protection para equipamiento Huawei.
- 2) Comprobación del funcionamiento de SNCP Protection para equipamiento ZTE.
- 3) Comprobación de la interoperabilidad de dicha funcionalidad en un esquema de red con equipamiento de ambas marcas.

Además de la funcionalidad (correcta conmutación), se verificaron los tiempos de conmutación del canal de trabajo por el de protección.

2.2.1 Escenario de prueba SNCP Protection para equipamiento Huawei

En la Figura 14 se puede observar el esquema de conexionado que se configuró sobre dos equipos Huawei (Maqueta 1 Huawei y Maqueta 2 Huawei) para probar la protección SNCP a nivel OTU.

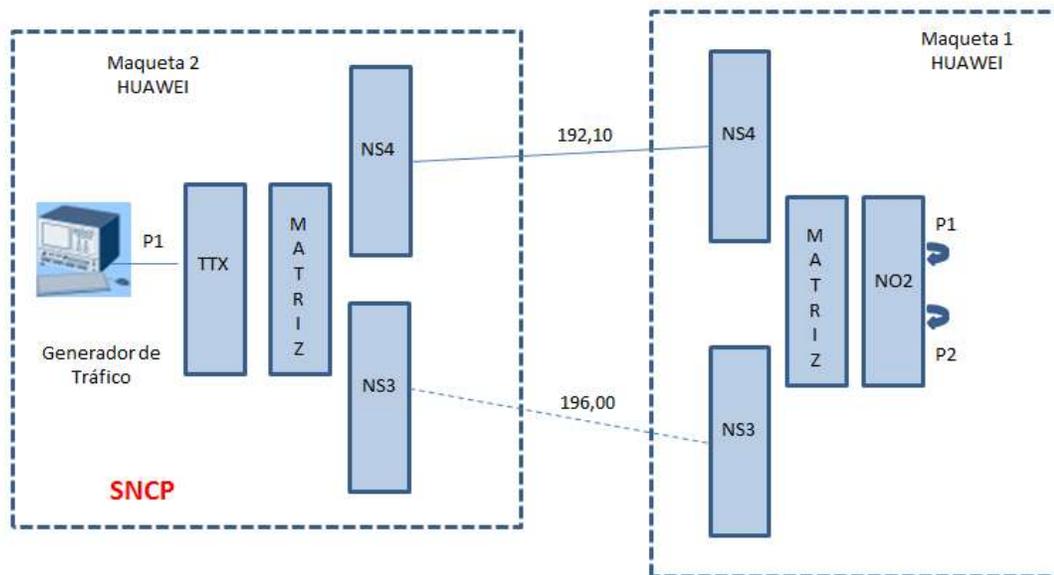


Figura 14 – Esquema conexionado entre Maqueta 1 y Maqueta 2 HUAWEI

Sobre el equipo llamado **Maqueta 1 Huawei** se realizaron dos cross conexiones manualmente (sin el uso de la herramienta de gestión de servicios del U2000), entre las placas de cliente (NO2) y placas de línea (NS4 y NS3). En este equipo no se configuró la protección SNCP; esta protección se configuró en el equipo Maqueta 2 Huawei.

Sobre el equipo llamado **Maqueta 2 Huawei** se configuró la protección SNCP protegiendo el servicio del puerto 1 de la placa cliente TTX con las placas de líneas NS4 y NS3 de Maqueta 2 Huawei.

2.2.2 Escenario de prueba SNCP Protection para equipamiento ZTE

La Figura 15 presenta el esquema de conexionado que se configuró sobre tres equipos ZTE (Maqueta 11 ZTE, Maqueta 12 ZTE y Maqueta 13 ZTE) para probar la protección SNCP a nivel OTU.

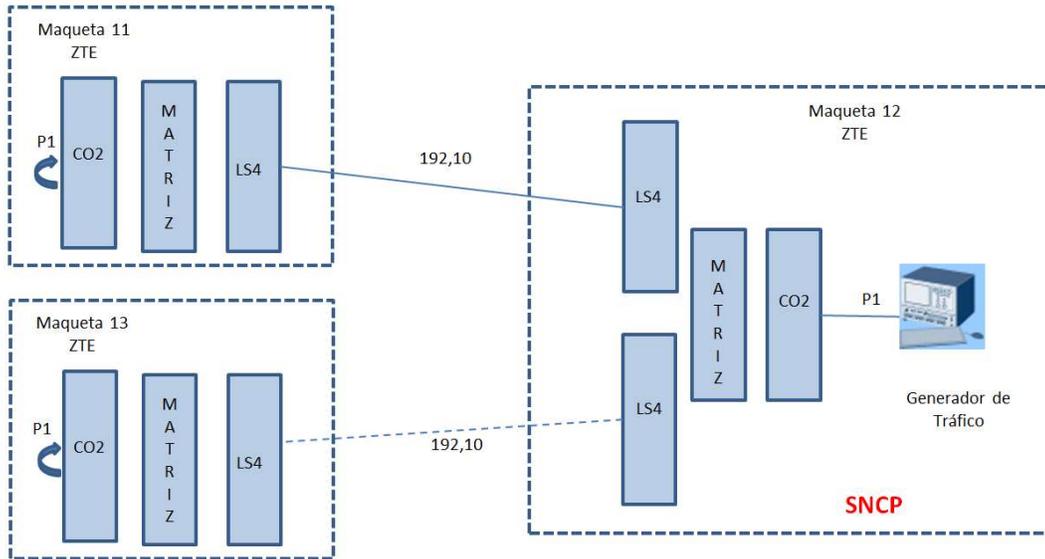


Figura 15 – Esquema conexionado entre Maqueta 11, Maqueta 13 y Maqueta 12 ZTE

Sobre los equipos llamados Maqueta 11 ZTE y Maqueta 13 ZTE, se realizaron cross conexiones manualmente (sin el uso del software NetNumen U31, herramienta de gestión de servicios de ZTE ver pág. 58 de ref. [27]), entre las placas de cliente (CO2) y placas de línea (LS4). En estos equipos no se configuró la protección SNCP, esta protección se configuró en el equipo Maqueta 12 ZTE.

2.2.3 Escenario de prueba de interoperabilidad de protección SNCP entre equipamiento de ambas marcas

En la Figura 16 se puede observar el esquema de conexionado que se configuró en laboratorio para poder probar la compatibilidad de la protección SNCP funcionando conjuntamente entre equipos de marca Huawei y ZTE.

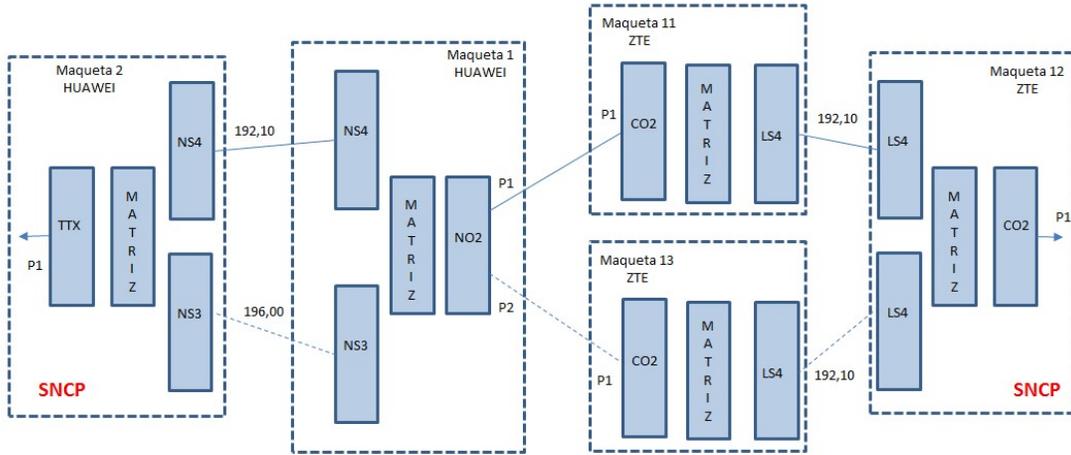


Figura 16 – Esquema conxionado entre equipos Huawei y ZTE

2.2.4 *Generador de tráfico y forma de medición de los tiempos de conmutación*

En todos los escenarios de prueba, se utilizó un instrumento generador de tráfico marca EXFO modelo FTB-8830NGE (ver [32]). Los tiempos de conmutación que midieron fueron medidos por el mismo instrumento con la opción de 'Service Disruption' (ver Figura 17) habilitada, la cual posee un umbral configurado en 50 ms y si el mayor tiempo de conmutación (*longest*) supera dicho umbral, el veredicto de la conmutación da como Falla. Los valores que se tabularon son los indicados en el campo "Longest (ms)" como se puede ver en la **Error! Reference source not found.** Se realizó un solo corte de forma manual (extracción del patchcord correspondiente) en cada punto indicado en cada escenario de prueba. No se realizaron pruebas de conmutación por comando o por extracción de placas.

Service Disruption	
Defect	Bit Error
No Defect Time (ms)	300.0
Pass/Fail Verdict	Enabled
SDT Threshold (ms)	50.0

Figura 17 – Service Disruption

2.3 Resultados prueba interoperabilidad protección SNCP multimarcas

2.3.1 *Escenario protección SNCP sólo equipos Huawei*

En la Tabla 2 se puede observar un resumen con los valores de tiempo de conmutación de servicio luego de que se realizaran cortes en distintos puntos del escenario de prueba conformado por equipos de la marca Huawei. Estos resultados fueron obtenidos al conectar un instrumento generador de tráfico marca EXFO modelo FTB-8830NGE (ver [32]) en el puerto 1 de la placa cliente TTX. Además, se puede observar que los tiempos

de conmutación son mucho menores cuando el servicio pasante conmuta de las placas de línea de 40 Gb/s a las placas de línea de 100 Gb/s, tanto como cuando se corta a nivel cliente (punto de corte B) como cuando se corta a nivel línea (punto de corte D).

Tabla 2: Tiempos de conmutación – Huawei – ver Figura 17

Punto de corte	Tiempo de conmutación [ms]
A	19,047
B	15,621
C	4,217
D	11,722

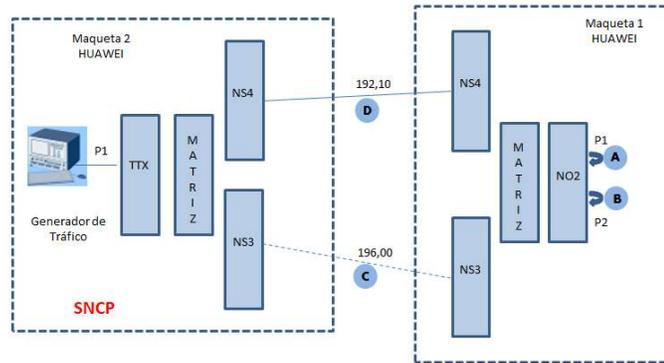


Figura 18 – Puntos de corte prueba SNCP sólo Huawei

2.3.2 Escenario protección SNCP sólo equipos ZTE

En la Tabla 3 se puede observar un resumen con los valores de tiempo de conmutación de servicio luego de que se realizaran cortes en distintos puntos del escenario de prueba conformado por equipos de la marca ZTE. Estos resultados fueron obtenidos al conectar un instrumento generador de tráfico marca EXFO modelo FTB-8830NGE en el puerto 1 de la placa cliente CO2. En este escenario los tiempos de conmutación, que se han obtenido luego de realizar los distintos cortes según los puntos indicados en la Figura 19, no han arrojado grandes diferencias unos con otros, esto puede deberse a que las cuatro placas de línea que conforman los dos canales (*working* y *protect*) son de 100 Gb/s. En el caso del escenario planteado con equipos Huawei (Figura 18) se

puede observar que un par de placas de línea son de 100 Gb/s y el otro par son de 40 Gb/s, por lo que esta diferencia de velocidades entre los enlaces de línea, puede estar ocasionando un retardo a la hora de realizarse la conmutación de uno a otro.

Tabla 3: Tiempos de conmutación – ZTE – ver Figura 18

Punto de corte	Tiempo de conmutación [ms]
E	21,563
F	18,072
G	19,359
H	16,611

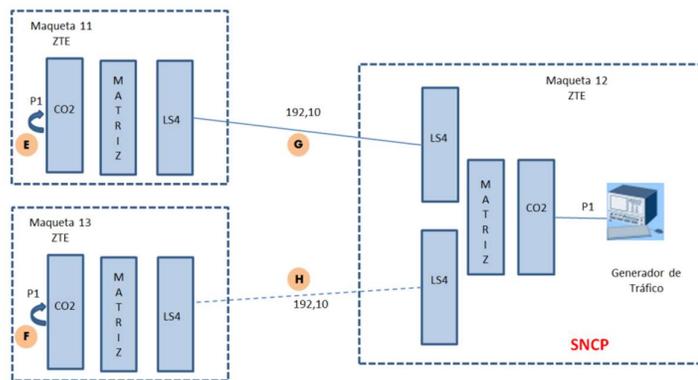


Figura 19 - Puntos de corte prueba SNCP sólo ZTE

2.3.3 Escenario protección SNCP equipos Huawei y ZTE (con el generador de tráfico conectado del lado de ZTE)

La Tabla 4 presenta los valores de tiempo de conmutación de servicio luego de que se realizaran cortes en distintos puntos del escenario de prueba conformado por equipos de la marca ZTE y Huawei. El hecho que el tiempo con el corte K es superior al tiempo con el corte G puede deberse a que el corte K se realiza con el escenario completo (Huawei y ZTE juntos) y, por lo tanto, el servicio atraviesa más hardware (matrices, placas de líneas, placas clientes) y esto agrega un retardo en cada punto. El motivo por el cual el tiempo de conmutación cuando el corte se realiza en M sea tan bajo, en relación a los demás tiempos de conmutación, puede ser que el servicio conmuta de placa de líneas de 40 Gb/s

a placas de líneas de 100 Gb/s, induciendo esta diferencia de velocidades una significativa diferencia en los tiempos de conmutación.

Tabla 4: Tiempos de conmutación – ZTE/Huawei – ver Figura 19

Punto de corte	Tiempo de conmutación [ms]
I	16,701
J	17,283
K	29,416
L	12,231
M	1,421
N	4,284

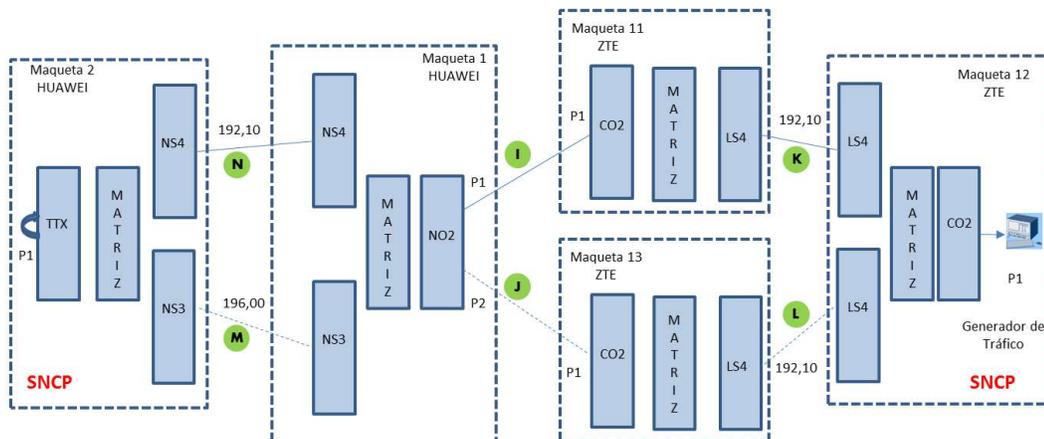


Figura 20 - Puntos de corte prueba SNCP Huawei y ZTE con instrumento lado ZTE

2.3.4 Escenario protección SNCP equipos Huawei y ZTE (con el generador de tráfico conectado del lado de Huawei)

A continuación, en la Tabla 5 se resumen los tiempos de conmutación de servicio luego de que se realizaran cortes en distintos puntos del escenario de prueba conformado por equipos de la marca ZTE y Huawei. La gran diferencia entre los tiempos de conmutación de los puntos de corte O y P, puede deberse al mismo motivo que se viene comentando en los anteriores escenarios, la diferencia de caminos en el escenario de

Huawei, hay un camino de línea con placas de 40 Gb/s y el otro camino de línea es con placas de 100 Gb/s. Evidentemente, hubo algún motivo por el cual cuando se corta en el punto P, lo tiempos de conmutación dan muy elevados, no cumpliendo con lo esperado, que den menos de 50 ms. Desconocemos cuál es la causa última de este tiempo de conmutación fuera de especificación.

Tabla 5: Tiempos de conmutación – ZTE/Huawei - ver Figura 20

Punto de corte	Tiempo de conmutación [ms]
O	26,159
P	164,235
Q	4,214
R	19,807
S	9,484
T	2,848

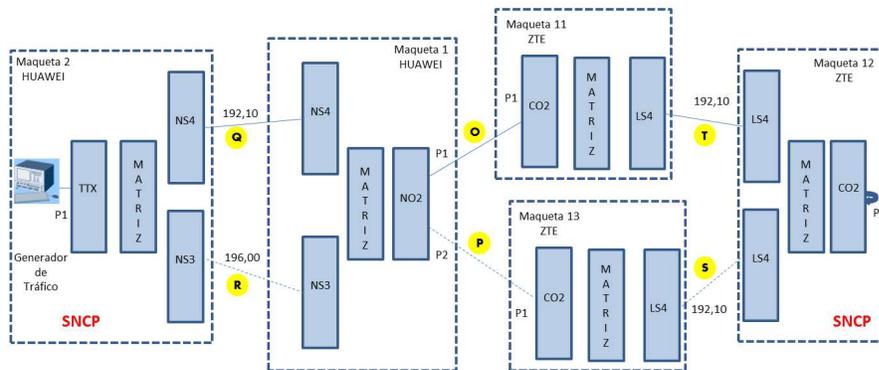


Figura 21 - Puntos de corte prueba SNCP Huawei y ZTE con instrumento lado Huawei

2.4 Conclusiones

En todos los escenarios de pruebas se verificó que los tiempos de conmutación de la protección SNCP de un puerto cliente, cumplen con las Recomendaciones ITU-G.798 [29], G-808.1, G-870, G-873.1 (recomendaciones incumbentes para OTN que definen y especifican los tiempos de conmutación menores a los 50 ms). Sólo en un caso la

protección no conmutó en un tiempo menor a 50 ms; en ese caso la conmutación del servicio al camino de protección se dio a los 164,23 ms. Este caso ocurrió en el escenario mixto Huawei – ZTE con el instrumento generador de tráfico conectado al equipo Huawei y abriendo el servicio en el punto P indicado en la figura 20.

En ningún caso se realizaron pruebas de restauración.

Se pudo comprobar que la protección SNCP funciona en un escenario compuesto con equipamiento multi-marca, es decir, se puede proteger un servicio cliente que atraviesa hardware de distintos fabricantes.

Capítulo 3

Lambda Alien

3.1 Equipamiento

Para la realización de las pruebas de lambda alien, desarrolladas en el laboratorio de comunicaciones ópticas de Arsat, se trabajó en colaboración con la gente de la Fundación Fulgor. En este sentido, los resultados que se presentan en este capítulo son el fruto de una colaboración con el Ing. Guillermo Gribaudo, el Ing. Nicolás Giraudo y el Dr. Ing. Carlos Alberto Zerbini, de la Fundación Fulgor, el Ing. Germán Schwoyer y el Ing. Hector Ocaranza, de Arsat.

La Fundación Fulgor es una ONG que promueve la educación y el desarrollo científico en la Argentina. Comenzó brindando apoyo financiero y científico al Laboratorio de Comunicaciones Digitales (LCD) de la Universidad Nacional de Córdoba. Este apoyo ha hecho posibles muchos de los logros del LCD. La Fundación Fulgor también proporcionó el marco en el cual se incubó ClariPhy Argentina S.A. (CASA).

La Fundación Fulgor se ha embarcado en un ambicioso programa de desarrollo de sistemas de transmisión por fibra óptica a velocidades de 40 Gb/s y superiores. Este programa consiste en el desarrollo de sistemas completos de transmisión por fibra óptica y su provisión a empresas prestatarias de servicios de telecomunicaciones. Los sistemas a

desarrollar incluyen componentes de hardware y software, así como la prestación de servicios de instalación y mantenimiento a los clientes.

La etapa inicial de este programa se ha focalizado en el desarrollo de muxponders, transponders y regeneradores para transmisión coherente a velocidades de 40 Gb/s y superiores.

El área de ingeniería de la Fundación Fulgor, entre otras cosas, necesitaba poder comprobar las capacidades de su recientemente desarrollado muxponder (Transmisión óptica de 40 gigabit por segundo sobre una señal de línea OTU3, modulación coherente DP-QPSK o DP-DQPSK, Soporte de 4 clientes ópticos asíncronos totalmente independientes de 10 Gbps, Incorporación de Forward Error Correction (FEC) para todas las señales cliente y de línea, amplificador óptico incorporado que permite una potencia máxima de transmisión de línea de 16 dBm) y además probar la compatibilidad del mismo con equipamiento de transmisión de marcas comerciales de primera línea (en este caso equipos DWDM de la marca ZTE modelo 8000).

El escenario de prueba planteado se presenta en la Figura 22. En la figura se puede observar un generador de tráfico EXFO modelo FTB-8830NGE (ver [32]) configurado en 10 GbE (10 Gigabit Ethernet, ver sección 6.4 de [3]), el cual se conecta contra uno de los cuatro puertos clientes de 10 GbE del muxponder 1 (Mux 1) marca Fotónica modelo 40 Gb/s Muxponder GSG-4001 (ver [33]). El conjunto Mux 1 – instrumento, se conecta ópticamente a nivel cliente en 1310 nm y a continuación la señal ingresa coloreada y mapeada en un OTU2, a través de la placa OMU (*Optical Multiplexer Unit*) al equipo R6-BLAB-8000-13. Luego dicha señal es transportada a nivel fotónico por los otros dos equipos DWDM marca ZTE y es extraída en la placa ODU (*Optical Demultiplexer Unit*) del equipo R8-BLAB-8000-11 para luego ser insertada a nivel línea en el muxponder 2 (Mux 2). La señal cliente del Mux 2 se conecta al puerto cliente 0-3-32-1 de la placa CO2 del equipo R8-BLAB-8000-11 para luego ser transportada a nivel eléctrico (pasando por las matrices crossconectoras de los equipos intermedios) hasta el puerto 0-3-32-1 de la placa CO2 del equipo R6-BLAB-8000-13, el cual posee un loop físico permitiendo que la señal pueda retornar al instrumento generador de tráfico de donde fue originada verificándose que el enlace cierra sin errores. Los RX-BLAB-8000 son equipos marca

ZTE modelo ZXONE 8000 (ver [27]), configurados como ROADM (*Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexer*).

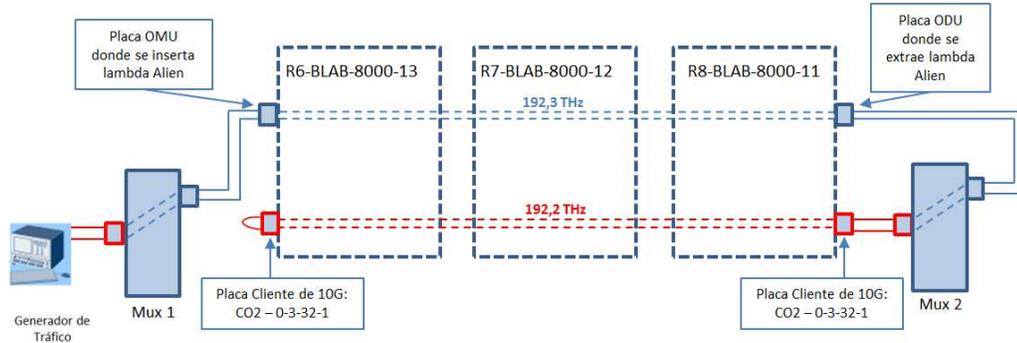


Figura 22 – Esquema topológico del conexionado de prueba de Lambda Alien

Configuración del servicio a nivel cliente entre R6-BLAB-8000-13 CO2-0-3-32-1 y R8-BLAB-8000-11 CO2-0-3-32-1 a través del gestor U31 de ZTE se muestra en la Figura 23.

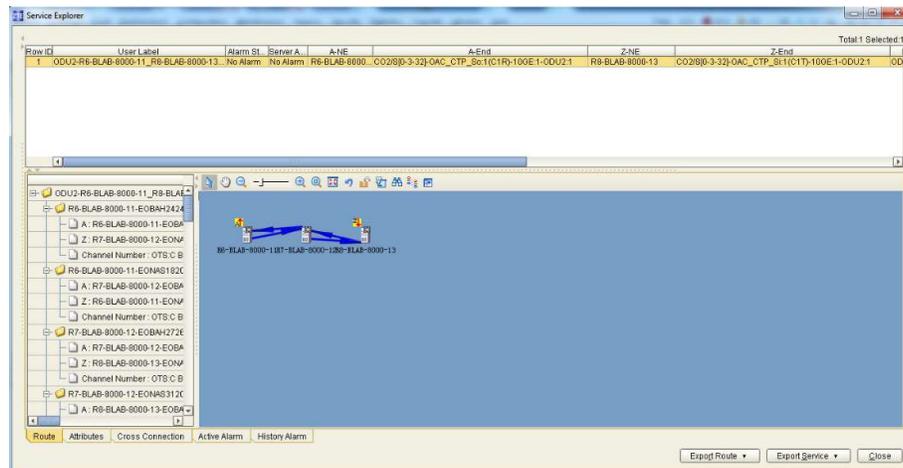


Figura 23 – Servicio ODU2 que conecta Mux 1 con Mux 2 a nivel cliente.

3.2 Resultados prueba lambda alien

En la Figura 24 se puede observar un esquema general de prueba con algunos detalles del hardware involucrado, configuración de canales ópticos y puntos de monitoreo externos e internos al equipo. Si bien el sistema de gestión de los equipos ZTE no permite modificar parámetros de la lambda alien agregada a la red, sí efectúa monitoreo y equalización de la misma a lo largo de la red. Es posible equalizar dicha lambda mediante el empleo de los atenuadores variables provistos en las placas WSUA (*4/9-port Wavelength Selection Switching-type multiplexing unit*) y WSUD (*Wavelength Selection Switching-type multiplexing unit*). Sin embargo, no es posible la equalización automática de la lambda alien, debido a la falta de control por parte del sistema de gestión de ZTE.

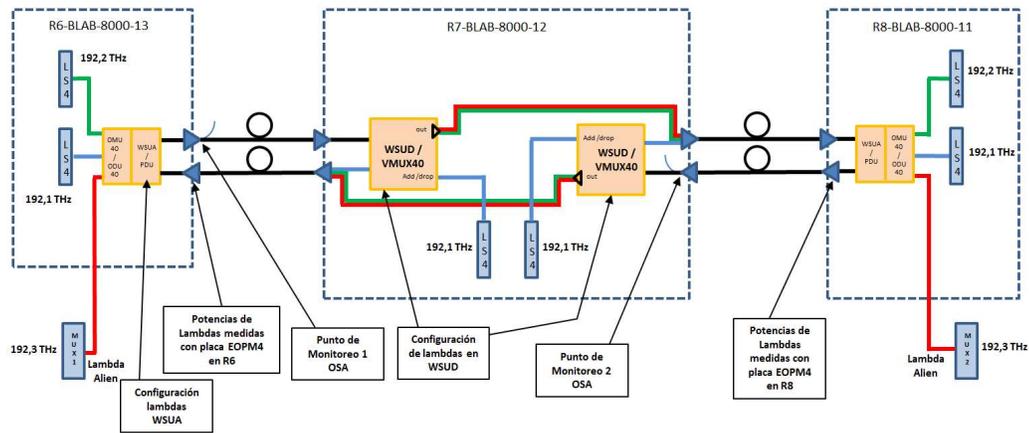


Figura 24 - Esquema general prueba lambda alien con detalle OChs

A continuación, se presentan las capturas de cada punto de monitoreo detallado en el esquema anterior.

**Configuración
lambdas
WSUA**

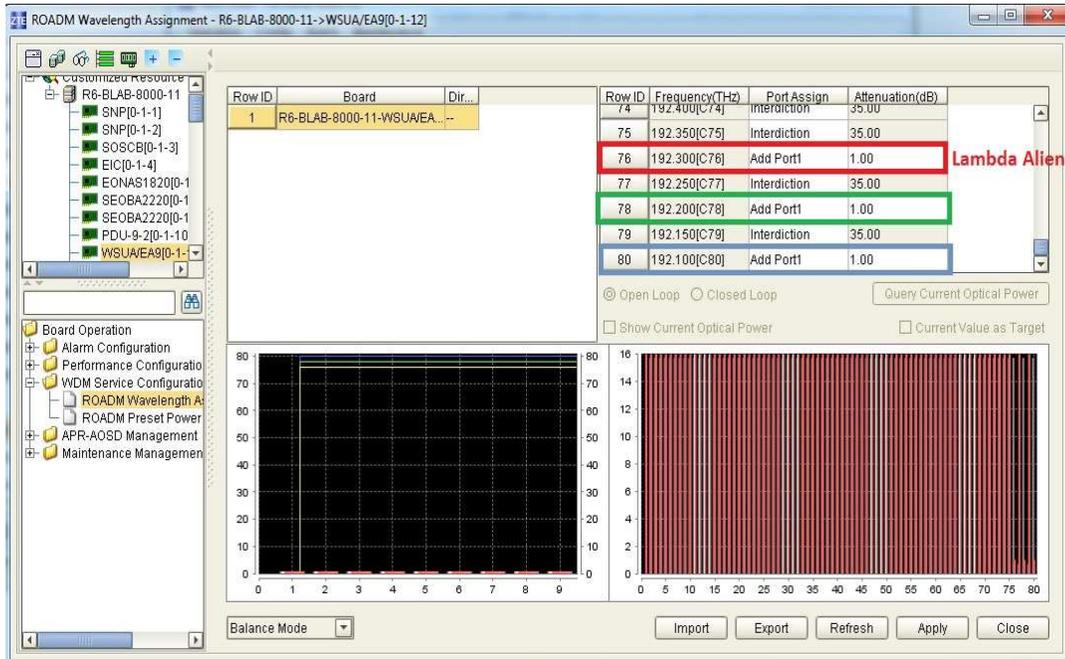


Figura 25 – Configuración lambdas WSUAE

En la Figura 25 se observa la configuración de la placa WSUA donde las tres lambdas son agregadas en dicha placa y por lo tanto es necesario configurar los puertos donde se conectan como “Add Port”. Se observa también que los tres canales están configurados con una atenuación de 1 dB. Los dos canales de 100 Gbps nativos ZTE fueron configurados en las frecuencias 192,1 THz y 192,2 THz. Las placas de línea utilizadas para el establecimiento de estos dos canales se llaman LS4 (Bit rate 120 Gbps, formato de modulación de la señal óptica PM-QPSK, para más datos sobre estas placas remitirse a los puntos 4.4.3 y 8.3.6 de la referencia [27]).

En la Figura 26 se observan los valores de potencia de las tres lambdas medidos con la placa EOPM4 instalada en el equipo R6-BLAB-8000-13. Se puede apreciar que se mide un valor de potencia menor (3,47 dBm) sobre la lambda alien respecto a las otras dos lambdas nativas ZTE. Esto se debe a que el muxponder generador de la lambda que

llamamos alien (más datos sobre las interfaces del muxponder en referencia [33]), por características de fabricación, genera una señal de línea con valores de potencia menores que las placas de línea de marca ZTE.

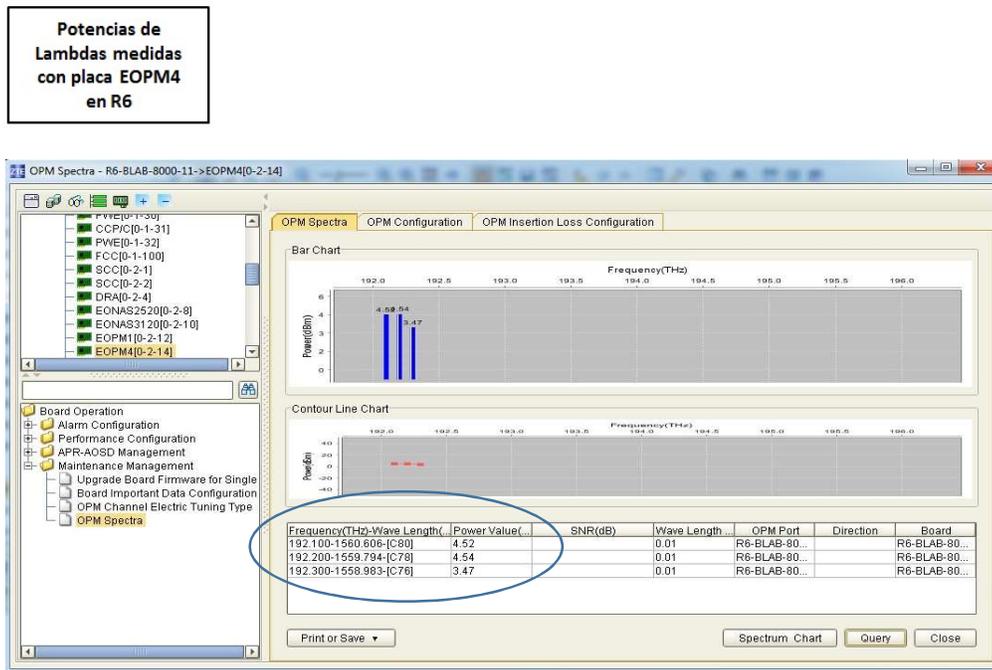


Figura 26 – Potencias de lambdas medidas con placa EOPM4 en R6

En la Figura 27 se muestra una captura de una medición con un analizador de espectro óptico (OSA, según su sigla en inglés) modelo EXFO FTB-5240S (ver [34]) en un punto de monitoreo del amplificador Booster indicado en la Figura 22. Se puede ver que las tres lambdas están siendo amplificadas para luego ser transmitidas hacia el siguiente equipo. También se puede observar que el OSNR de la lambda alien (192,3THz) es similar al de la lambda con frecuencia 192,2 THz, pero el OSNR de la lambda con frecuencia 192,1 THz es mucho mayor que las otras dos. Ninguna de las tres lambdas es regenerada en el escenario de prueba planteado, por ello es que no puedo encontrar un motivo específico para justificar la diferencia de valor de OSNR entre la lambda 192,1 THz y 192,2 THz.

En la Figura 28 se presenta una captura de pantalla con el detalle del estado de los puertos que intervienen sobre las lambdas involucradas en la red de prueba. Las lambdas de frecuencia 192,2 THz y 192,3 THz en el equipo R7-BLAB-8000-12 pasan de largo, es decir, no bajan en la dirección local, por ello se les configuraron sus respectivos puertos de la placa WSUD como “Pass”. En cambio, la lambda de agregación con frecuencia

192,1 THz sí baja en dicho equipo y su puerto correspondiente en la placa WSUD está configurado como “Drop Port1”.



Figura 27 – Punto de monitoreo 1 medido con OSA

Configuración de lambdas en WSUD

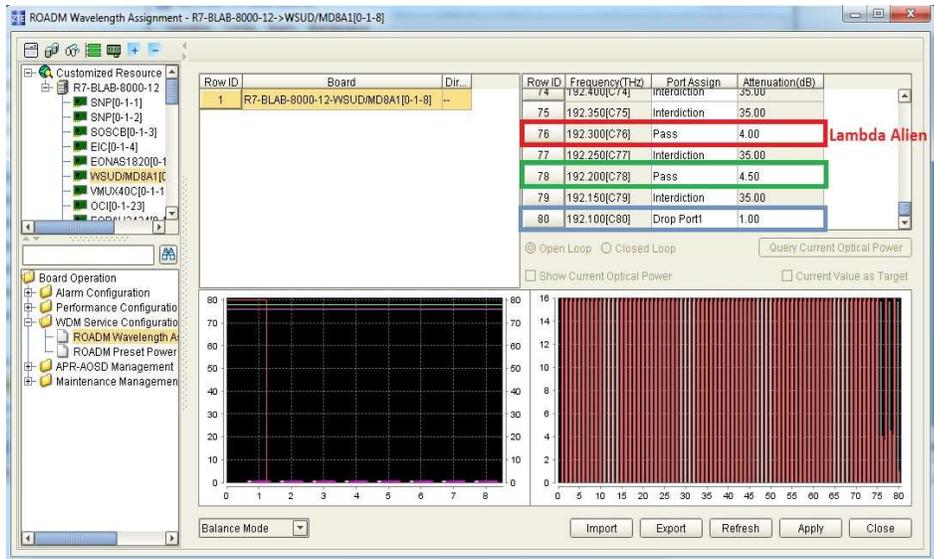


Figura 28 – Configuración de lambdas en WSUD

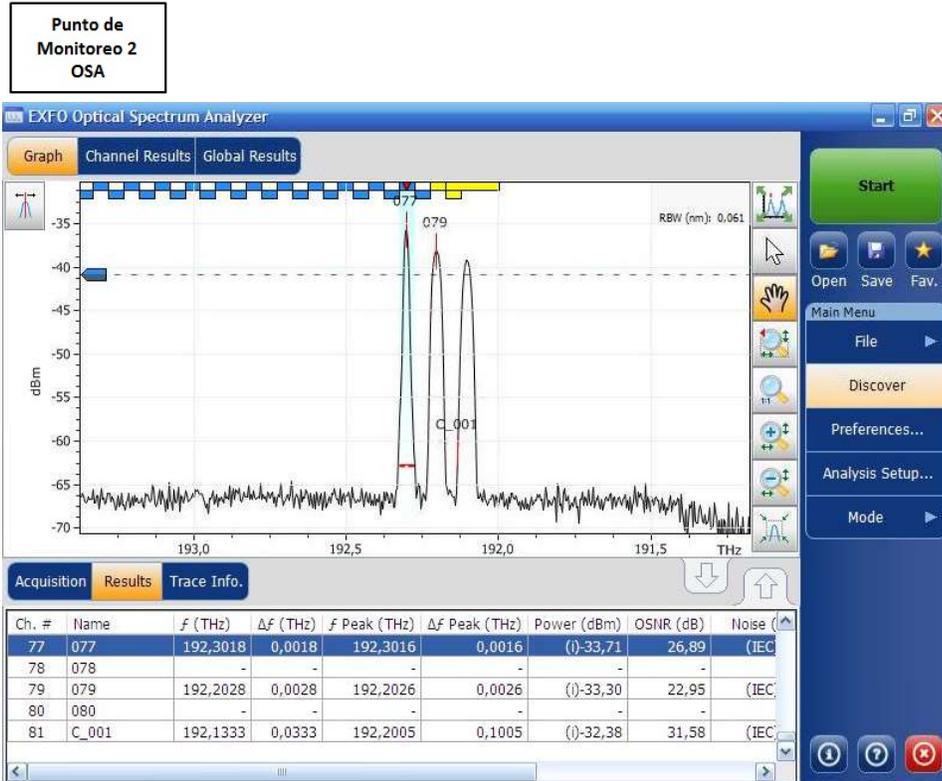


Figura 29 – Punto de Monitoreo 2 medido con OSA

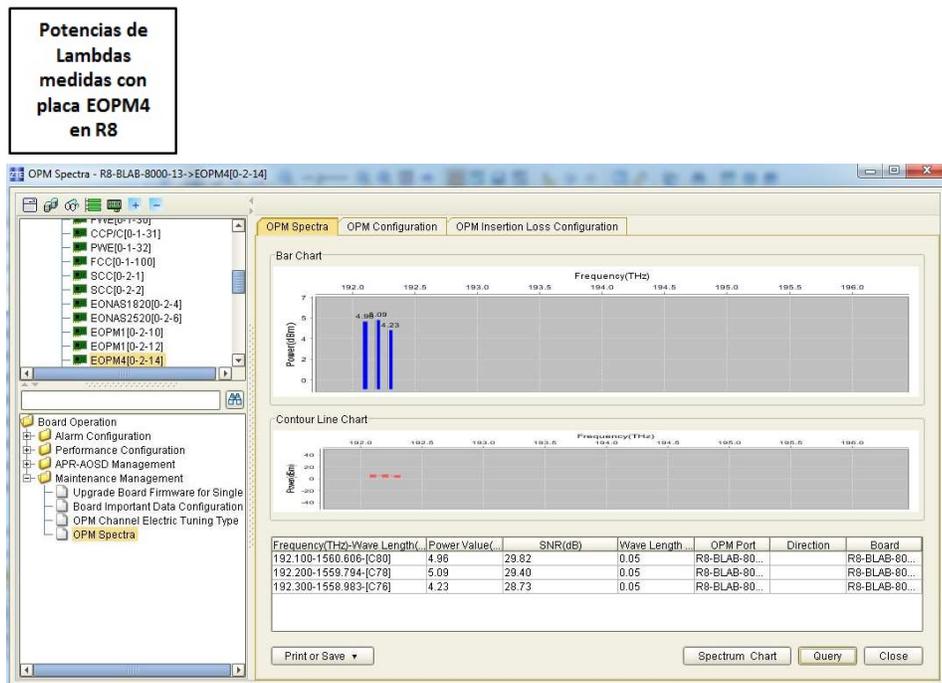


Figura 30 – Potencias de lambdas medidas con la placa EOPM4 en R8

Al igual que en la Figura 27, en la Figura 29 se puede observar una medición realizada con el OSA, pero esta vez sobre el punto de monitoreo del pre-amplificador del equipo R7-BLAB-8000-12. Se pueden observar los valores de potencia y OSNR de cada OCh. Aquí se observa que la lambda alien tiene un valor mejor de OSNR comparado a las otras dos lambdas.

En la Figura 30 se observan los valores de potencia de las tres lambdas medidos con la placa EOPM4 instalada en el equipo R8-BLAB-8000-13. Se puede apreciar que se mide un valor de potencia menor (4,23 dBm) sobre la lambda alien respecto a las otras dos lambdas nativas ZTE. Aquí los valores de potencia de las tres lambdas se ven levemente superiores a los observados en la figura 28, esto se debe a que las tres señales han sido amplificadas y luego se ha medido sus valores de potencia, pero las tres señales mantienen su proporción, o sea la 192, 2 sigue siendo la de mayor valor de potencia, la 192,1 la que tiene valores intermedios y la lambda alien la que tiene valores más bajos de potencia.

3.3 Conclusiones

Se observó que la lambda alien fue detectada sin problemas por los equipos de la marca ZTE, reflejándose esto en su sistema de gestión. Si bien se detecta, la potencia y longitud de onda no pueden modificarse, como era esperable. Sin embargo, en la WSS es posible atenuar dicha lambda alien.

Se verificó que la lambda generada por el muxponder externo es compatible con la grilla DWDM 50 GHz habiendo sido insertada en primer lugar en longitud de onda. Asimismo, pudo comprobarse que la inserción del canal alien no afectó de modo anormal el OSNR de las otras dos lambdas locales, en partículas la contigua a ella.

Los ingenieros de la fundación Fulgor necesitaban poder probar la compatibilidad su muxponder con equipamiento DWDM de marcas de primera línea funcionando en el mercado. Aparte de ver que la señal de línea generada por su equipo muxponder era reconocida por el equipamiento DWDM de la marca ZTE, ellos han realizado un protocolo de aceptación de equipo en conjunto con el personal de Arsat presente en ese

momento. El protocolo de aceptación de equipo consiste en una serie de pruebas que garantizan que, de cumplir con la totalidad de las pruebas detalladas en el protocolo, el equipo se encuentra apto para ser utilizado en una red de telecomunicaciones. Algunas de las pruebas que se incluyen dentro de dicho protocolo son: medición de potencias y sensibilidad óptica de los módulos ópticos del equipo, pruebas de loops (in-loop y out-loop), medición de consumo del equipo y tiempo de restauración de servicio, etc.

Capítulo 4

Transceptores a nivel cliente

1.2 Equipamiento

Para la realización de estas pruebas se configuró un servicio utilizando la máxima velocidad disponible entre el puerto cliente a probar y otro puerto cliente de las mismas características. A este segundo puerto, que lo llamaremos puerto auxiliar, se conectó el instrumento generador/analizador de tráfico marca EXFO modelo FTB-8830NGE (ver [32]). Se insertó un atenuador óptico variable (VOA) en el puerto cliente a probar, de forma tal de generar un loop.

1.3 Resultados y escenarios de pruebas

1.3.1 Medición de sensibilidad óptica transceptores cliente

Lo primero que se hizo fue medir los valores de potencia de transmisión real de los diferentes XFP a probar. Una vez medidos estos valores de potencia, se los compararon con los valores configurados a través del sistema de gestión local de cada equipo.

Luego se realizó la medición de la sensibilidad óptica de cada módulo XFP a probar. Aquí es necesario realizar una digresión sobre qué se entiende por sensibilidad del receptor. Dado que se probarán módulos fabricados para 10 GbE, es razonable referirse al estándar IEEE 802.3 (versión revisada del 2015):

*“Receiver sensitivity, which is defined for an ideal input signal, is informative and testing is not required. [...] Instead, the normative requirement for receivers is **stressed receiver sensitivity**.”* [Cláusula 52.9.8 del estándar 802.3. Las negritas son nuestras.]

La medición de la *stressed receiver sensitivity* está especificada con detalle en el estándar, incluyendo características como apertura del ojo, jitter, etc. La tasa de error considerada es 10^{-12} . En nuestras pruebas, sin embargo, realizamos una estimación de la sensibilidad del receptor sólo teniendo en cuenta el límite de BER de 10^{-12} , pero sin considerar el detalle de las características impuestas por el protocolo de testeo del estándar. En este sentido, puede ser que los resultados de nuestras mediciones sean un tanto favorables para los módulos, al menos en lo que respecta a la *stressed receiver sensitivity*. En particular, el estándar especifica una sensibilidad bajo estrés de -10,3 dBm (ver Tabla 52-13 del estándar 802.3).

Es común encontrar en las hojas de datos de los módulos un valor de sensibilidad de receptor de -14,4 dBm. Esto parece ser un valor mucho mejor (3 dB) que el de la sensibilidad bajo estrés mínima especificada en el estándar. Sin embargo, la realidad es que ese es exactamente el valor referido en el estándar (Tabla 52-13) como el correspondiente a la mínima media potencia recibida. Citando nuevamente el estándar 802.3:

*“Average receive power (min) is **informative** and not the principal indicator of signal strength. A **received power below this value cannot be compliant**; however, a value above this does not ensure compliance.”* [Nota al pie de la Tabla 52-13 del estándar 802.3. Las negritas son nuestras.]

Es decir, las hojas de datos de los módulos sólo reproducen, como valor de la ‘sensibilidad’ del receptor, a aquel valor por debajo del estándar tal que la señal deja de ser adecuada (*compliant*).

En base a todo esto, en principio, se espera que los valores de sensibilidad medidos de la forma explicada sean menores al de la *stressed receiver sensitivity* especificada (-10,3

dBm), pero no necesariamente menor a la “sensibilidad” especificada en las hojas de datos (-14,4 dBm).

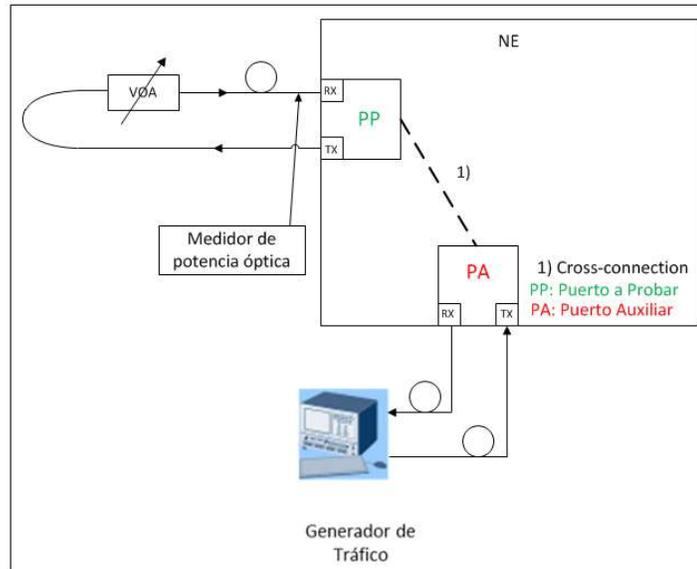


Figura 31 – Escenario de prueba medición de sensibilidad óptica transceptores cliente.

Los pasos que se siguieron para poder medir la sensibilidad de los módulos, son los siguientes:

- 1) Configurar un servicio de 10 GbE entre el puerto a medir la sensibilidad y otro puerto de iguales características, al que llamaremos puerto auxiliar.
- 2) Conectar el instrumento generador de tráfico al puerto auxiliar y colocar un atenuador variable sobre el puerto a probar de forma de generar un lazo. Al inicio, el atenuador debe estar en su mínimo valor.
- 3) Se debe aumentar en forma continua la atenuación del atenuador variable hasta que el instrumento comience a contabilizar errores.
- 4) Mediante el medidor de potencia, comprobar a la salida del atenuador variable (antes de entrar al XFP) la potencia óptica.
- 5) Comparar la medición con la especificación de sensibilidad del XFP en cuestión.
- 6) Repetir las pruebas para los distintos tipos de XFP.

Se probaron 4 módulos SFP+ de 10 Gb/s – 10 Km – 1310 nm - SM insertados en una placa TTX (equipo Huawei) y 4 módulos XFP de 10 Gb/s – 10 Km – 1310 nm - SM insertados en una placa CO2 (equipo ZTE). Fotos de dos de los transponders probados se presentan en la Figura 32 y la Figura 33.

En la Tabla 6 se presentan los valores de potencia óptica de transmisión (tanto los medidos con el medidor de potencia, como los obtenidos a través de la herramienta de gestión del equipo LCT – Local Craft Terminal) y los valores de sensibilidad óptica (valores de potencia recibida a partir de la cual comienzan a contarse errores).

Se observa que hay una pequeña diferencia entre los valores de potencia obtenidos por LCT y los obtenidos con el medidor de potencia. Esta diferencia no superó 0,72 dBm y 0,29 dBm en los módulos Huawei y ZTE, respectivamente. Esta diferencia se debe a que, mientras el medidor de potencia externo mide el nivel a la salida, el valor obtenido por LCT es un valor calculado matemáticamente por el gestor tomando como referencia ciertos puntos de medición internos de la placa.

También se observan niveles de sensibilidad menores a los especificados por las hojas de datos e inferiores al especificado en el estándar IEEE 802.3. El hecho que sean menores al valor especificado para el *stressed receiver sensitivity*, no ha de sorprender pues la medición de éste se da en condiciones de señal de entrada más desfavorables.

Tabla 6 – Comparativa potencias y sensibilidad módulos XFP

Equipo	Slot	Puerto	Tx [dBm]	Tx LCT [dBm]	Diferencia Tx y Tx LCT	Sensibilidad [dB]	XFP Type	Fabricante	Serial Number	Description
HUAWEI	TTX	1	-3,80	-3,30	0,50	-17,8	MTRS-2E30-01	Finisar para Huawei	MB14360160245	10300Mb/s-1310nm-LC-10km(0.009mm)
		2	-3,52	-2,80	0,72	-17,4	MTRS-2E30-01	Finisar para Huawei	MB14360160250	10300Mb/s-1310nm-LC-10km(0.009mm)
		3	-3,25	-3,10	0,15	-18,3	MTRS-2E30-01	Finisar para Huawei	MB14360160455	10300Mb/s-1310nm-LC-10km(0.009mm)
		4	-3,74	-3,2	0,54	-16,4	MTRS-2E30-01	Finisar para Huawei	MB14360160451	10300Mb/s-1310nm-LC-10km(0.009mm)
Valor Medio			-3,58	-3,10		-17,48				
ZTE	CO2	1	-2,55	-2,26	0,29	-15,25	M3LO2.D04-V1.00	Finisar	286288700083	10G Service Access Board(8)
		2	-2,23	-1,97	0,26	-15,54	M3LO2.D04-V1.00	Finisar	286288700035	10G Service Access Board(8)
		3	-2,33	-2,09	0,24	-15,7	M3LO2.D04-V1.00	Finisar	286288700071	10G Service Access Board(8)
		4	-2,09	-2,2	0,11	-15,19	M3LO2.D04-V1.00	Finisar	286288700054	10G Service Access Board(8)
Valor Medio			-2,30	-2,13		-15,42				



Figura 32 – Módulo XFP de las placas CO2 de ZTE



Figura 33 - Módulo SFP+ de las placas TTX de Huawei

3.5.1 *Compatibilidad a nivel cliente entre dos equipos DWDM de distinto fabricante*

En la Figura 34 se observa un instrumento generador de tráfico marca EXFO modelo FTB-8830NGE (ver [32]) conectado a un puerto de 10 Gb/s del equipo ZTE (puerto auxiliar), el cual a su vez se encuentra cross-conectado contra otro puerto del mismo equipo marca ZTE (puerto a probar). Ese último puerto se conecta físicamente mediante un par de patchcords LC-LC contra un puerto de 10 Gb/s de otro equipo marca Huawei (puerto a probar), que a su vez tiene configurada una cross-conexión con otro puerto (con un loop físico puesto) del mismo equipo Huawei (puerto auxiliar). De esta forma se logra cerrar un servicio a nivel cliente pasando por cuatro transceptores ópticos a nivel cliente (dos de la marca ZTE y dos de la marca Huawei). Los dos puertos a probar de ambas marcas, se encuentran enlazados mediante un patchcord el cual tiene insertado un atenuador variable configurado con un valor de atenuación de 2,5 dB. El estándar IEEE 802.3 sugiere (ver Table 52-14) un *power budget* de 9,4 dB, de los cuales son 6,2 dB correspondientes a atenuación del cable (10 km y 0,4 dB/km en 1310 nm) y pérdidas por conexiones y empalmes. Sin embargo, es común usar el valor de 2,5 dB en pruebas de campo, correspondiendo a, aproximadamente, unos 5 km de fibra.

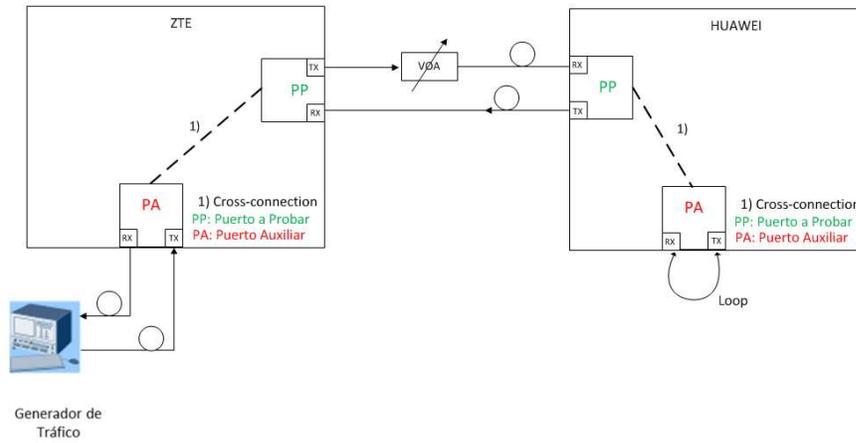


Figura 34 – Escenario prueba compatibilidad módulos

La potencia óptica transmitida del módulo XFP del equipo ZTE es de -2,41 dBm, por lo tanto el módulo SFP+ del equipo Huawei recibió un valor de 0,1 dBm aproximadamente.

Las mediciones de sensibilidad óptica de los dos puertos han sido las siguientes:

Sensibilidad XFP (ZTE): -15,32 dBm

Sensibilidad SFP+ (Huawei): -18,2 dBm

3.4 Conclusiones

Se verifica que la sensibilidad de todos los puertos medidos, tanto los de la marca Finisar para Huawei como los de la marca ZTE (Finisar), **cumplen** con lo especificado en las hojas de datos de dichos transceptores ópticos. Para el caso de los módulos **Finisar para Huawei** la **sensibilidad** por hoja de dato es de **-14,4 dBm** (ver hoja de datos [35]) y para los de la marca **Finisar** (ver hoja de datos [36]) **también es de -14,4 dBm**. Sin embargo, estos valores deben ser tomados con cuidado, especialmente a partir del análisis del estándar realizado más arriba.

Existe compatibilidad entre los transceptores a nivel cliente para los equipos de tecnología ZTE y Huawei. La interconexión entre ambos equipos es perfectamente posible y la misma es totalmente transparente al enlace establecido.

Capítulo 5

Conclusión

En el desarrollo del trabajo se han podido estudiar distintos aspectos de la interoperabilidad de equipamiento DWDM de diversos fabricantes, encarado desde un punto de vista práctico empleando recursos poco accesibles la mayoría de las veces cuando es necesario plantear este tipo de pruebas dado su alto costo económico.

Particularmente se ha podido comprobar el correcto funcionamiento de la protección SNCP bajo distintos escenarios de pruebas entre equipamiento de la marca Huawei y ZTE, como se ha podido verificar en el desarrollo del capítulo 2. Los escenarios de pruebas desarrollados cumplen en casi la totalidad de los casos con la Recomendación ITU-G.841 [1] (tiempo de conmutación menor a los 50 ms).

Se ha podido verificar en el capítulo 3 que la inserción de una lambda alien es una solución factible para algunos escenarios que pueden plantearse en una red DWDM ya desplegada. En particular, podría solucionar el transporte de un determinado carrier sobre una red ya existente, mediante el empleo de algún recurso proporcionado por dicho carrier (Mux 1 y Mux 2).

Finalmente se pudo comprobar la compatibilidad de transeptores ópticos de 10 Gb/s a nivel cliente provistos por equipamiento de la marca Huawei y ZTE.

Glosario

FEC	<i>Forward Error Correction</i>
FOADM	<i>Fixed Optical Add-Drop Multiplexer</i>
ODU	<i>Optical Channel Data Unit</i>
OPS	<i>Optical Physical Section</i>
OPU	<i>Optical Channel Payload Unit</i>
OSC	<i>Optical Supervisory Channel</i>
OSNR	<i>Optical Signal-to-Noise Ratio</i>
OTU	<i>Optical Transport Unit</i>
OTS	<i>Optical Transport Section</i>
ROADM	<i>Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer</i>
SNCP	<i>Sub-Network Connection Protection</i>
TCM	<i>Tandem Connection Monitoring</i>
WSS	<i>Wavelength Selective Switch</i>

Referencias

- [1] UIT-T, «Recomendación UIT-T G.841 - Sistemas de transmisión digital – Redes digitales –,» Ginebra, 1998.
- [2] Huawei Technologies Co., Ltd., «ASON User Guide - OptiX OSN 8800 Intelligent Optical Transport Platform,» Huawei, Shenzhen, 2010.
- [3] Ramaswami Rajiv, Sivarajan Kuma N., Sasaki Galen H., Optical Networks - A Practical Perspective, 3 ed., Burlington, MA: ELSEVIER Inc., 2010.
- [4] Siemens, *WDM Basic Features - TT2560EU01TT_0001_Introduction*.
- [5] Ashwin Gumaste; Tony Antony, DWDM Network Designs and Engineering Solutions, Cisco Press, 2002.
- [6] Alcatel-Lucent, *Transmission Networks WDM Technology - Fundamentals*, 1 ed., 2007.
- [7] INCITS - International Committee for Information Technology Standards, «SCSI-3 Fibre Channel Protocol (FCP),» 17 10 2011. [En línea]. Available: https://standards.incits.org/apps/group_public/project/details.php?project_id=257.
- [8] IEEE Network, «802.3z Gigabit Ethernet Standard,» 1998.
- [9] P. Wright, A. Lord y L. Velasco, «The network capacity benefits of Flexgrid,» de *2013 17th International Conference on Optical Network Design and Modeling*

(ONDM), 2013.

- [10] ITU, «Recommendation ITU-T G.709/Y.1331,» ITU, Ginebra, 2016.
- [11] Khurram Kazi, *Optical Networking Standards: A Comprehensive Guide for Professionals*, New York: Springer, 2006.
- [12] ITU, «<https://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com15/otn/OTNtutorial.pdf>,» [En línea].
- [13] K. Perlicki, «Impact of an alien wavelength on wavelength division multiplexing transmission quality,» *Photonics Letters of Poland*, vol. 4, n° 3, pp. 118-120, 2012.
- [14] M. Furdek, N. Skorin-Kapov, S. Zsigmond y L. Wosinska, «Vulnerabilities and Security Issues in Optical Networks,» de *2014 16th International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, 2014.
- [15] A. Lord, Y. R. Zhou, P. Wright, P. Willis, C. Look, G. Jeon, S. Nathan y A. Hotchkiss, «Managed alien wavelength service requirements and demonstration,» de *2011 37th European Conference and Exhibition on Optical Communication*, 2011.
- [16] FS.COM, «Fiber Optic Transceiver Modules Tutorial,» FS.COM, 4 12 2013. [En línea]. Available: <http://www.fs.com/fiber-optic-transceiver-modules-tutorial-aid-377.html>. [Último acceso: 15 03 2017].
- [17] COMMSCOPE, «Acuerdos Multi-source,» COMMSCOPE, [En línea]. Available: <http://es.commscope.com/Resources/Standards/Enterprise/Multi-source-agreements/>. [Último acceso: 15 03 2017].
- [18] Storage Networking Industry Association (SNIA), *INF-8074i - Specification for SFP (Small Formfactor Pluggable) Transceiver*, 2001.
- [19] Storage Networking Industry Association (SNIA), *SFF-8418 - SFF-8418 SFP+ 10 Gb/s Electrical Interface. Rev 1.4*, 2015.
- [20] Storage Networking Industry Association (SNIA), *SFF-8419 - Specification*

- for SFP+ Power and Low Speed Interface. Rev. 1.3, 2015.*
- [21] Storage Networking Industry Association (SNIA), *SFF-8402 - Specification for SFP+ 1X 28 Gb/s Pluggable Transceiver Solution (SFP28). Rev. 1.1, 2014.*
- [22] Storage Networking Industry Association (SNIA), *INF-8438i - Specification for QSFP (Quad Small Formfactor Pluggable) Transceiver. Rev. 1.0, 2006.*
- [23] Storage Networking Industry Association (SNIA), *SFF-8436 - Specification for QSFP+ 10 Gbs 4X PLUGGABLE TRANSCEIVER. Rev. 4.8. Standardized as EIA-964., 2013.*
- [24] Storage Networking Industry Association (SNIA), *SFF-8685 - Specification for QSFP+ 14 Gb/s 4X Pluggable Transceiver Solution (QSFP14). Rev 0.6, 2015.*
- [25] Storage Networking Industry Association (SNIA), *SFF - 8665 - Specification for QSFP+ 28 Gb/s 4X Pluggable Transceiver Solution (QSFP28). Rev. 1.9, 2015.*
- [26] Storage Networking Industry Association (SNIA), *INF-8077i - 10 Gigabit Small Form Factor Pluggable Module. Rev. 4.5, 2005.*
- [27] ZTE Corporation, *ZXONE 8000 Product Description, V2.40 ed., 2013.*
- [28] HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD., *OptiX OSN 8800 Intelligent Optical Transport Platform Feature Description, 1 ed., Shenzhen, China, 2014.*
- [29] ITU, «G-798. Characteristics of optical transport network,» ITU, Ginebra, 2002.
- [30] Huawei Technologies Co., «Huawei OptiX OSN 8800».
- [31] M. Networks, «ASON And GMPLS - The Battle Of The Optical Control Plane,» UK, 2002.
- [32] EXFO Inc., *FTB-8830NGE Power Blazer, Canada, 2014.*
- [33] F. -. F. Fulgor, *40G Muxponder - GSG-4001, Córdoba - Argentina.*
- [34] E. Inc., *FTB-5240S OPTICAL SPECTRUM ANALYZER, Canada, 2009.*

- [35] FINISAR Corporation, *Product Specification 10Gb/s 10Km Single Mode Datacom SFP+ Transceiver*, California, 2015.
- [36] FINISAR Corporation, *Product Specification 10Gb/s, 10km XFP Optical Transceiver*, California, 2013.
- [37] D. Minoli, *Telecommunications Technology Handbook*, 2 ed., Norwood, MA: Artech House, Inc., 2003.
- [38] L. Huawei Technologies Co., «OptiX OSN 8800 Product Documentation - HedEx Lite,» 2012.
- [39] European Telecommunications Standards Institute, «ETR 114 - Transmission and Multiplexing (TM); Functional architecture of Synchronous Digital Hierarchy (SDH) Transport networks,» ETSI, 1993.
- [40] CISCO, «A Brief Overview of SONET Technolog,» 2005.
- [41] Storage Networking Industry Association (SNIA), *SFF-8635 - Specification for QSFP+ 4X 10 Gb/s Pluggable Transceiver Solution (QSFP10). Rev. 0.6*, 2015.