

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



MIGRACIÓN DE UNA RED DE TRANSPORTE DE FIBRA ÓPTICA USANDO SISTEMAS DWDM

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR:

DANIEL CESAR SALINAS PARI

**PROMOCIÓN
2010 – I**

**LIMA – PERÚ
2013**

MIGRACIÓN DE UNA RED DE TRANSPORTE DE FIBRA OPTICA USANDO SISTEMAS DWDM

Dedico el presente informe a mi familia por su incondicional apoyo y también a aquellas personas que estuvieron desde el inicio conmigo y que no pudieron estar presentes en el final.

SUMARIO

Las solicitudes de mayores anchos de banda en el acceso por parte de los clientes y el incremento de nuevos usuarios se traducen en una mayor demanda de capacidad en el transporte o backbone de la red, dejando algunos sistemas prácticamente obsoletos. Debido a esto, los operadores de telecomunicaciones siempre están en busca de nuevas tecnologías que les permita soportar la creciente demanda. En base a esta problemática, el presente informe describe el proceso de migración de un sistema óptico de transporte capaz de soportar estos requerimientos usando la multiplexación por división de longitud de onda densa DWDM.

DWDM es la evolución de la multiplexación por división de longitud ligera CWDM y permite enviar por el mismo medio de transporte, en este caso mediante fibra óptica, capacidades de hasta 16 veces la que soporta un canal CWDM.

Con esta solución no solo se logrará atender las necesidades de acceso, sino también descongestionar el transporte de la red y preparar ésta para despliegues futuros orientados a atender nuevos servicios, contemplando todos los aspectos tales como confiabilidad, flexibilidad, robustez y sobre todo capacidad.

El informe se enfoca en la descripción de la situación previa de la red y la definición del problema. Luego en el desarrollo del marco teórico relacionado principalmente a los sistemas de multiplexación por división de longitud de onda WDM y revisión de conceptos técnicos referentes al equipamiento. Finalmente se detallan las pruebas y resultados de aceptación así como la evaluación económica respectiva y el cronograma de actividades del proyecto.

INDICE

SUMARIO	V
INDICE	VI
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	2
PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA	2
1.1. Antecedentes	2
1.1.1. Red SDH.....	2
1.1.2. Red MPLS	2
1.1.3. Red CWDM.....	2
1.2. Definición del problema	3
1.3. Objetivos del trabajo	3
1.4. Justificación	3
1.5. Alcances y Limitaciones	5
CAPITULO II	6
MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	6
2.1. Fundamentos de la Multiplexación por División de Longitud de Onda.....	6
2.1.1. FDM	6
2.1.2. TDM	7
2.1.3. WDM.....	8
2.2. Degradaciones ópticas	8
2.2.1. Efectos lineales.....	8
2.2.2. Efectos no lineales	10
2.3. Componentes de un sistema WDM.....	14
2.3.1. Fibra óptica monomodo.....	14
2.3.2. Equipos de transmisión.....	15
2.3.3. Equipos de recepción.....	16
2.3.4. Amplificadores	16
2.4. Tipos de Tecnología WDM	17

2.4.1.	CWDM	17
2.4.2.	DWDM	18
2.5.	Introducción a la Red de Transporte Óptico OTN.....	19
2.5.1.	Definición de OTN	19
2.5.2.	Características de la OTN.....	19
2.5.3.	Estructura de la interface OTN	20
CAPITULO III		23
METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA		23
3.1	Red DWDM propuesta	23
3.1.1.	Esquema de Red DWDM	23
3.2	Descripción del equipamiento.....	23
3.2.1.	Unidad Tributaria y Unidad de Línea.....	23
3.2.2.	Unidad de Cross Conexión (XCH)	30
3.2.3.	Multiplexor y Demultiplexor óptico.....	30
3.2.4.	Amplificadores ópticos.....	34
3.2.5.	Unidad supervisora de canal óptico bi-direccional (SC2).....	38
3.2.6.	Unidad de reloj centralizada (STG).....	38
3.2.7.	Unidad de compensación de dispersión (DCU)	40
CAPITULO IV.....		42
ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....		42
4.1	Test realizado por componentes.....	42
4.1.1.	OTU	42
4.1.2.	Ganancia de los amplificadores.....	45
4.1.3.	Multiplexor óptico	45
4.1.4.	Demultiplexor óptico.....	48
4.1.5.	Perdidas de inserción por compensación de dispersión cromática.....	50
4.2	Test de enlaces	51
4.2.1.	Validación de conmutación de servicios	51
4.2.2.	Implementación de escenario de prueba.....	51
4.2.3.	Conexión a la red DWDM.....	54
4.2.4.	Pruebas de BER	55
4.2.5.	Finalización de las pruebas.....	55
4.3	Presupuesto y tiempo de ejecución.....	59
4.3.1.	Presupuesto	59

4.3.2. Tiempo de ejecución.....	60
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
ANEXO A.....	63
BIBLIOGRAFÍA	67

INTRODUCCIÓN

El presente informe titulado “Migración de una red de transporte de fibra óptica usando sistemas DWDM”, desarrolla en cuatro capítulos como se llevó a cabo el cambio de un sistema de comunicaciones, perteneciente a un operador local de telecomunicaciones, limitado en capacidad de transmisión.

En el primer capítulo se hace una revisión de la situación inicial de la red de transporte, la definición del problema, los objetivos del trabajo y la justificación, teniendo como punto de partida los mayores anchos de banda solicitados por los clientes y la necesidad de implementar una plataforma de transporte que sea capaz de soportar esta demanda y además sea escalable a través del tiempo.

El marco teórico es desarrollado en el segundo capítulo, y en este revisamos directamente los conceptos referentes a la tecnología que usa el multiplexaje por división de longitud de onda o wavelength division multiplexing (WDM) y las degradaciones ópticas que se presentan. Adicionalmente, la definición de una red de transporte óptico u optical transport network (OTN) que engloba todos los conceptos.

La descripción de la red propuesta así como de todos los elementos que la conforman es presentada en el capítulo tres. La información que se resume está en base a la plataforma Optix OSN 8800 de Huawei.

En el cuarto y último capítulo se presentan los resultados que son las mediciones obtenidas; según diagrama de interconexión; previo a la migración y son contrastados con los valores teóricos en las tablas anexadas en esta parte. También, se hace un análisis de las ofertas presentadas por los proveedores luego de la cual se justifica la elección, así como el resumen de todas las actividades del proyecto en un diagrama de Gantt.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DE INGENIERÍA DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

El operador de telecomunicaciones actualmente posee un sistema de transporte CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing), el cual interconecta a través de una topología en anillo los 5 nodos que posee; los cuales llamaremos Nodo A, Nodo B, Nodo C, Nodo D y Nodo E. Este sistema soporta el tráfico generado por dos redes: SDH y MPLS. A continuación una breve descripción de cada una de estas redes, incluyendo la red de transporte CWDM.

1.1.1. Red SDH

La red SDH (Synchronous Digital Hierarchy) está conformada por equipos de la marca Alcatel y los modelos utilizados son Alcatel 1660 (instalado sólo en el Nodo A) y Alcatel 1662 (instalado en los otros cuatro nodos). Cada uno de los equipos utiliza dos puertas STM-16 y en configuración 1+1, quiere decir que en un sentido va la respectiva ruta activa y en el otro la ruta de protección.

1.1.2. Red MPLS

La red MPLS (Multiprotocol Label Switching) consta de routers Cisco 12000. Estos utilizan puertos ópticos Gigabitethernet para la interconexión entre ellos a través de la red CWDM. Del mismo modo, en la red MPLS se desarrolló un esquema de protección de los routers Cisco 12000 utilizando switches Cisco 2960G Gigabitethernet. Finalmente entre los routers ubicados en el Nodo A y el Nodo D, se habilitó una ruta para la interconexión de protección con un router de borde.

1.1.3. Red CWDM

La red CWDM tiene una capacidad de hasta 8 lambdas, sin embargo solo se pusieron en producción 7 de ellas, de las cuales 5 se utilizan para la red MPLS, 1 para la protección del router de borde entre el Nodo A y el Nodo D y 1 para la red SDH. Cada una de las 5 lambdas utilizadas en la red MPLS tienen la capacidad de soportar hasta dos puertos ópticos de 1 Gbps, siendo este el número máximo de puertos que se puede utilizar para transportar 1 lambda de 2.5 Gbps. En vista de esto, queda una capacidad 0.5 Gbps sin posibilidad de uso.

El resumen de las capacidades instaladas y el consumo por el tráfico actual se muestra en la Tabla N° 1.1. En la Figura 1.1 se puede observar la distribución actual de la red CWDM.

Tabla N° 1.1 Capacidades instaladas actuales

Lambda	Tramo Red MPLS	Capacidad Instalada	Tráfico Actual	% en uso
$\lambda 1$ (1510)	Nodo A - Nodo B	2000 Mbps	550 Mbps	27.5
$\lambda 3$ (1490-1570)	Nodo C - Nodo D	2000 Mbps	570 Mbps	28.5
$\lambda 4$ (1550)	Nodo A - Nodo E	2000 Mbps	500 Mbps	25.0
$\lambda 5$ (1570-1490)	Nodo B - Nodo C	2000 Mbps	520 Mbps	26.0
$\lambda 6$ (1590)	Nodo D - Nodo E	2000 Mbps	570 Mbps	28.5
$\lambda 2$ (1530)	Protección Router Borde	1000 Mbps	520 Mbps	52.0

1.2. Definición del problema

En los últimos años se ha dado un crecimiento en la necesidad de capacidad no solo referente a anchos de banda sino también en cobertura. Los servicios de voz, datos e Internet han hecho que el tráfico de la información requiera de medios con elevada capacidad de transmisión, siendo la fibra óptica una alternativa para ello. Hoy en día, la fibra se encuentra presente en casi todos los sistemas de telecomunicaciones.

Para el operador este crecimiento se verá reflejado en los nuevos productos que se van a ofrecer sumado a la mayor capacidad ofertada y las nuevas tecnologías de acceso que se planean implementar, como servicios móviles de cuarta generación, accesos xDSL (Digital Subscriber Line) con capacidades de hasta 22 Mbps simétrico (G.SHDSL) y acceso FTTx (Fiber To The), traducándose todo ello en la saturación de la red CWDM existente.

1.3. Objetivos del trabajo

Teniendo en cuenta la creciente demanda de ancho de banda que existe, en especial en Lima Metropolitana, el operador de telecomunicaciones encuentra la necesidad de migrar la red de transporte de un sistema WDM; que soporta hasta 2.5 Gbps por canal; a un sistema DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing); que soportará hasta 10 Gbps por canal.

1.4. Justificación

La madurez de los sistemas WDM ha permitido multiplexar una mayor cantidad de canales con menor espaciado entre estos, esto es conocido como multiplexación por división de longitud de onda o DWDM. A diferencia de CWDM, que soporta hasta 18 canales espaciados 20 nm, DWDM puede soportar hasta 160 canales espaciados 0.8 nm.

Si bien es cierto en un principio los costos de esta tecnología eran muy elevados, y no se justificaba la inversión ya que el retorno de la adquisición era muy lento, hoy en día el despliegue a gran escala del DWDM ha contribuido en la disminución de su costo.

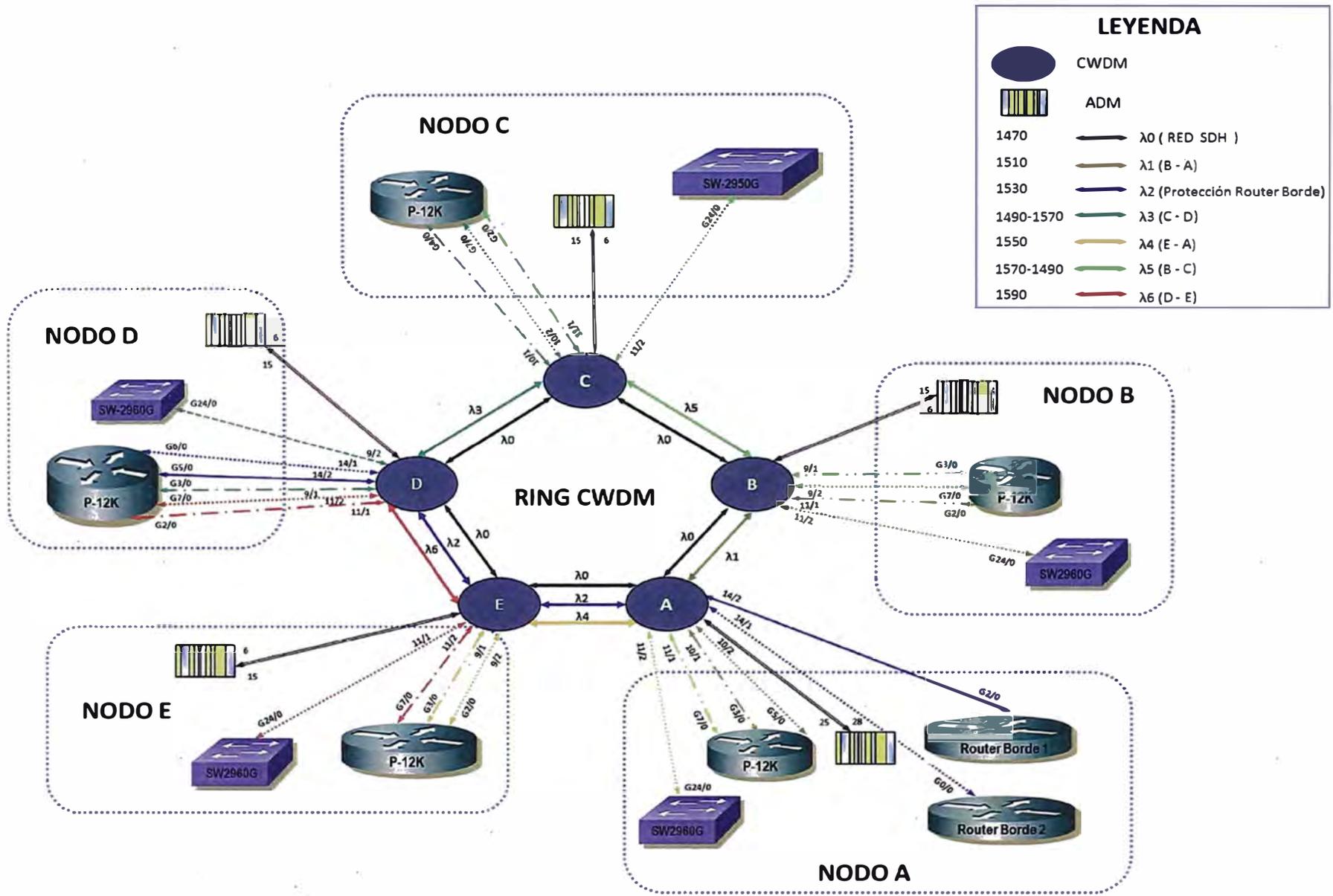


Figura N° 1.1 Distribución actual de la red CWDM

Finalmente, el tener un sistema CWDM en operación nos facilita el medio de transmisión, la fibra óptica monomodo. Entonces la evolución de la tecnología; traducida en una mayor capacidad de transmisión; sumada a la disminución de los costos y a la existencia de infraestructura; nos permite darle una alternativa de solución al problema definido.

1.5. Alcances y Limitaciones

La red DWDM será la nueva plataforma de transporte que soportará los requerimientos de los nuevos productos de Tecnologías de la Información, y otros que apuntan a entregar servicios de altas velocidades o mayor ancho de banda tanto en tecnologías legacy, SDH, Ethernet, MPLS.

En consecuencia, se detallará la solución tecnológica a implementar en los 5 nodos principales del operador y los costos que impliquen la migración de una red CWDM a DWDM, soporte técnico y mantenimiento de la red, para completar la cadena de valor que contribuirá a tener un sistema fiable en Lima Metropolitana.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. Fundamentos de la Multiplexación por División de Longitud de Onda

Para maximizar la información que se transfiere a través de un enlace de fibra óptica es común multiplexar varias señales en una sola fibra. Es posible transmitir estas señales por multiplexación en el dominio del tiempo o de la frecuencia. Por lo tanto, los esquemas de modulación de pulso pueden extenderse a una operación multicanal por multiplexación por división de tiempo (TDM) en la que los pulsos estrechos de múltiples moduladores transmitidos secuencialmente, están bajo el control de un reloj común.

Alternativamente, un número de canales en banda base pueden ser combinados por multiplexación por división de frecuencia (FDM). En FDM un canal óptico es dividido en un número de bandas de frecuencias que no se traslapan y cada señal es asignada a una de estas bandas de frecuencia.

Sin embargo, es posible utilizar una cierta cantidad de fuentes ópticas trabajando a diferentes longitudes de onda en enlaces únicos de fibra y enviar todas estas por un único enlace, esta técnica se denomina multiplexación por división de longitud de onda (WDM).

2.1.1. FDM

La multiplexación por división de frecuencia (FDM) es una técnica que permite dividir el ancho de banda total de un canal de comunicación en varios subcanales o canales menores y transmitir a través de estos, señales que originalmente tenían la misma frecuencia, pero que ahora se encontraran en bandas de frecuencia diferentes. Cabe indicar que entre cada canal hay un ancho de banda de guarda o de protección que separa a cada una de estas. Esto en caso la frecuencia central de uno de los canales se desplace por defectos en el reloj de sincronismo y se traslapan generando el ruido por intermodulación.

En el tramo del receptor o final del medio de transmisión, tenemos filtros que extraen las señales. También hay un módulo oscilador que genera una señal de frecuencia portadora. Las señales entrantes y la señal del oscilador se aplican a un circuito demodulador obteniendo así las señales de datos a su frecuencia de banda inicial.

El proceso de multiplexación por división de frecuencia se puede ver en la Figura 2.1.

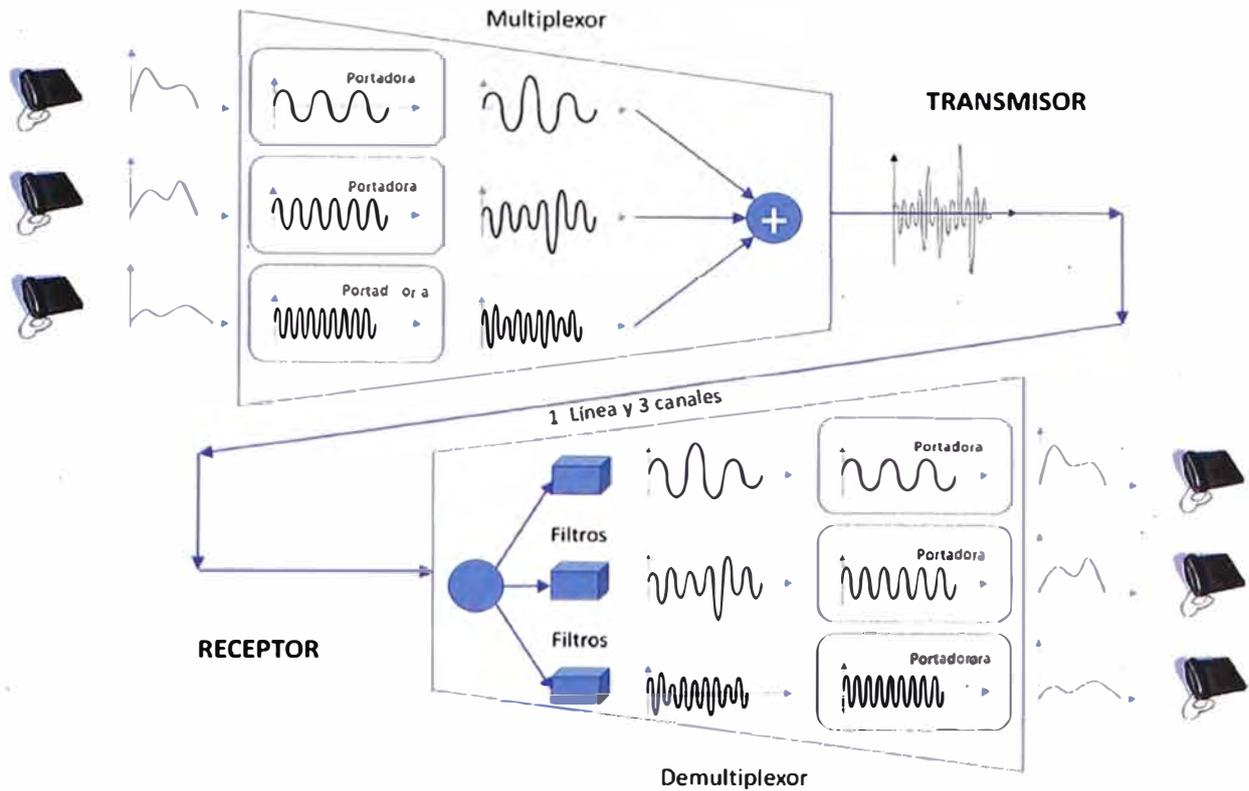


Figura N° 2.1 Multiplexación por división de frecuencia (FDM)

2.1.2. TDM

La multiplexación por división de tiempo (TDM) es una forma común de enviar múltiples señales de información a través de un medio al mismo tiempo en forma de una única señal y luego recuperarlas una a una en el receptor. En este esquema, varios canales de baja velocidad son multiplexados en un solo canal de alta velocidad para la transmisión a través de la red. TDM trabaja dividiendo el ancho de banda de la red en segmentos fijos. Cada segmento o canal es asignado a un dispositivo o usuario final y se le asigna su propio time slot para el uso de la red.

TDM es ampliamente usado en sistemas de comunicaciones telefónicas junto con técnicas de codificación digital como modulación por código de pulso (PCM), que ha sido la base del sistema de comunicación TDM. Se presentan 2 formas de transmisión TDM.

TDM síncrono; visto en la Figura 2.2; es el tipo de multiplexación donde se consideran todos los slots, aun así estén vacíos o sin información, convirtiendo a esta en una transmisión ineficiente.

TDM estático, conocido como TDM asíncrono. En el multiplexaje estático, si un dispositivo final no está activo o no está transmitiendo, no implicará el uso de slots. Solo se multiplexa la información a ser transmitida, por ende es una transmisión más eficiente.

En la Figura 2.3; TDM estático, se aprecia que todos los slots han sido utilizados.

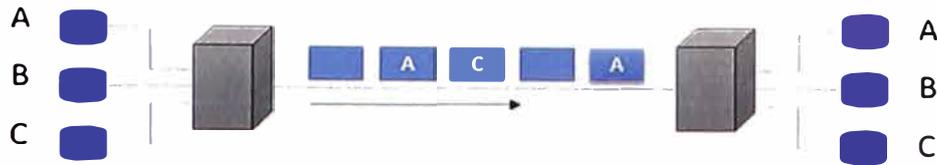


Figura N° 2.2 TDM síncrono

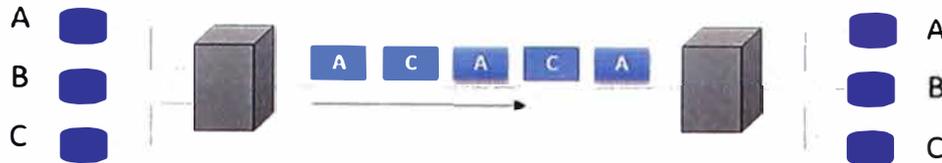


Figura N° 2.3 TDM estadístico

2.1.3. WDM

La multiplexación por división de longitud de onda (WDM) implica la transmisión de varias longitudes sobre una única fibra óptica. Normalmente estas longitudes de onda están cercanas a $1.3 \mu\text{m}$ o $1.55 \mu\text{m}$.

El termino WDM es usualmente aplicado a una portadora óptica; que por lo general es definida por su longitud de onda; mientras que FDM se aplica a una portadora de radio; que se describe por frecuencia. Dado que la longitud de onda y la frecuencia están relacionados inversamente, entonces ambos términos describen el mismo concepto.

Una de las ventajas de los sistemas WDM es que permiten incrementar la capacidad de transmisión sin la necesidad de desplegar más fibra óptica, mediante el uso de multiplexores y demultiplexores tanto en el lado de la transmisión como en la recepción.

Dentro del concepto de WDM podemos encontrar dos tipos de tecnologías de multiplexación: CWDM y DWDM. Estos serán definidos en la sección 2.4, sin embargo podemos mencionar que ambos tienen el mismo principio solo con la diferencia en el espaciamiento entre las longitudes de ondas, el número de canales y la capacidad para amplificar señales multiplexadas en el dominio óptico.

2.2. Degradaciones ópticas

2.2.1. Efectos lineales

a. Atenuación

La atenuación o pérdida en la transmisión de las fibras ópticas es uno de los factores más importantes en la adopción de este medio en telecomunicaciones. La atenuación determina la máxima distancia que puede alcanzar una señal sin restauración y en el caso de la fibra óptica esta característica fue bastante atractiva ya que las pérdidas fueron reducidas por debajo de las alcanzadas en los conductores metálicos (menos de 5 dB Km^{-1}).

La atenuación en las fibras ópticas, como en los conductores metálicos, es expresada en la unidad logarítmica del decibel. El decibel, que es usado para comparar dos niveles de potencia (ver Fórmula 2.1), se define como la división de la potencia óptica de entrada P_i entre la potencia óptica de salida P_o .

$$\text{Número de decibeles}(dB) = 10 \log_{10} \frac{P_i}{P_o} \quad (2.1)$$

En los sistemas de comunicaciones ópticas la atenuación (ver Fórmula 2.2) es usualmente expresada en decibeles por unidad de longitud (dB Km⁻¹).

$$\alpha_{dB}L = 10 \log_{10} \frac{P_i}{P_o} \quad (2.2)$$

b. Dispersión cromática

La dispersión cromática de una fibra se expresa en $ps \text{ nm}^{-1} \text{ Km}^{-1}$, representando el retraso o incremento de tiempo en ps para una fuente con una anchura espectral de 1 nm que viaja en 1 kilómetro de fibra. Esto depende del tipo de fibra y limita la tasa de bits o la distancia de transmisión para una buena calidad de servicio.

El ensanchamiento que sufren los pulsos de luz, denominados dispersión, es un factor crítico que limita la calidad de la transmisión de señal sobre enlaces ópticos. La dispersión es una consecuencia de las propiedades físicas del medio de transmisión. Las fibras monomodo; usadas en redes ópticas rápidas; están sujetas a la dispersión cromática que causa un ensanchamiento de los pulsos de luz según la longitud de onda, y a la dispersión de modo de polarización (PMD) que provoca un ensanchamiento del pulso según la polarización. Un ensanchamiento excesivo provocará una superposición de los pulsos y errores en la decodificación.

Es importante destacar que la contribución de la dispersión cromática es determinante en el funcionamiento del sistema para largas distancias y altas tasas de transmisión. En distancias cortas de pocos kilómetros la contribución al total es pequeña y no afecta gravemente al comportamiento del sistema.

c. Dispersión por modo de polarización

La dispersión por modo de polarización (PMD), es un efecto de dispersión óptico, que limita la calidad de la transmisión en los enlaces de fibra óptica. Su control se está convirtiendo en esencial ya que limita fuertemente la capacidad de transmisión a altas tasas de transferencia, especialmente en aquellos por encima de los 10 Gbps. Es un parámetro difícil de medir y compensar dada su naturaleza estadística, y depende fuertemente de las condiciones físicas del cable (ambientales y mecánicas).

El origen físico de la PMD es fundamentalmente la birrefringencia de la fibra, que se produce por las diferencias en las constantes de propagación en los ejes ortogonales, produciéndose una diferencia de fase como se muestra en la ilustración de la Figura 2.4. Estas diferencias se producen por imperfecciones en el proceso de fabricación de la fibra o como resultado de fuerzas externas que producen doblados y tensiones en la fibra. Si la fibra fuera perfecta, con una geometría uniforme, homogeneidad en el material y sin efectos de tensión, ambos modos se propagarían exactamente a la misma velocidad y no existiría degradación sobre los bits transmitidos.

Numerosas pruebas con fibras de distintos largos han revelado que la PMD (ver Fórmula 2.3) es directamente proporcional a la raíz cuadrada del largo de la fibra (L) y a una constante denominada “Coeficiente de la PMD” (PMD_{COEF}).

$$PMD = \langle \Delta\tau \rangle = PMD_{COEF} \sqrt{L} \quad (2.3)$$

Las unidades del PMD_{COEF} son ps / \sqrt{Km} . El PMD_{COEF} es un parámetro especificado por el fabricante de fibras ópticas al momento de su venta y entrega, pero hay que tener en cuenta que debido a tensiones, cambios de temperatura, esfuerzos, curvaturas, el paso del tiempo y el medio en que se encuentran las fibras ópticas durante su vida útil, este coeficiente tiende a crecer. Es por esta razón que es recomendable medir sus valores periódicamente.

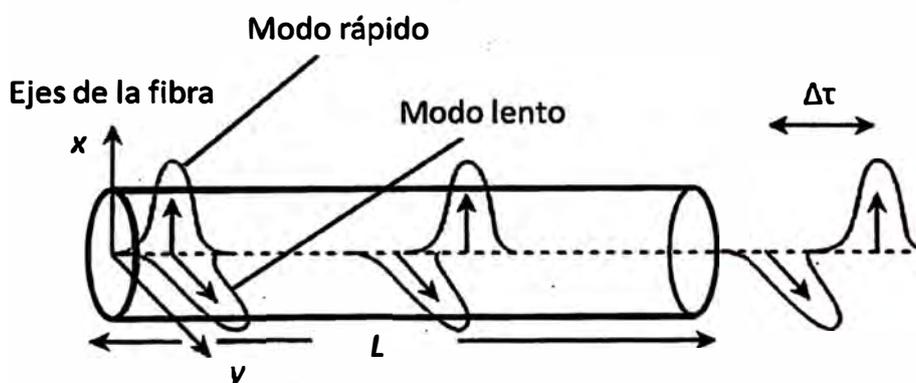


Figura N° 2.4 Dispersión por modo de polarización

2.2.2. Efectos no lineales

Para los sistemas WDM, los efectos no lineales pueden ocasionar restricciones en la potencia y la tasa de transmisión, por lo que estos representan un factor importante en la eficiencia de un sistema de alta tasa de transmisión. Existen dos parámetros a considerar en estos efectos, la longitud efectiva (ver Fórmula 2.4) y el área efectiva (ver Fórmula 2.5).

$$L_{ef} = \frac{1 - e^{-\alpha L}}{\alpha} \quad (2.4)$$

$$A_{ef} = w_o^2 \quad (2.5)$$

Donde:

α : Es la atenuación

L : La longitud del enlace

w_0 : Es el diámetro del campo modal

a. Modulación de fase inducida

La modulación de fase inducida (SPM) se presenta debido a que el índice de refracción de la fibra tiene un componente que depende de la intensidad de la señal; este índice de refracción no lineal induce un desplazamiento de fase que es proporcional a la intensidad de pulso. Es por esto que las diferentes partes del pulso se ven sometidas a diferentes cambios de fase, lo que da lugar a que se produzca un chirp (Fenómeno en el láser donde la longitud de onda de la luz emitida cambia durante la modulación) en el pulso, lo que también modificará los efectos de la dispersión cromática. Este efecto es proporcional a la intensidad de la señal de transmisión; es por esto que los efectos de la SPM son más pronunciados en los sistemas que utilizan altas potencias de transmisión. El ensanchamiento del pulso generado por SPM, está dado por la Fórmula 2.6.

$$\Delta\omega = \gamma L_{ef} \frac{dP(t)}{dt} \quad (2.6)$$

Donde:

γ : Es el parámetro de no linealidad

$P(t)$: La potencia del pulso

L_{ef} : Longitud efectiva

El parámetro de no linealidad γ (ver Fórmula 2.7) combina el índice de refracción no lineal y el área efectiva en un solo coeficiente.

$$\gamma = \frac{2\pi n_2}{\lambda A_{ef}} \quad (2.7)$$

Donde:

n_2 : Es el índice de refracción no lineal

A_{ef} : Área efectiva

La SPM modifica los efectos de la dispersión cromática, por lo tanto, es importante considerarlo para sistemas con altas tasas de transmisión de bits (sistemas operando a 10 Gb/s o más, o sistemas operando a velocidades más bajas, pero con potencias de transmisión elevadas), ya que estos tienen limitaciones significativas debido a la dispersión cromática. Un aspecto positivo de la SPM es que el chirp introducido es de signo opuesto a la generada por dispersión cromática, por lo que se puede pensar en la compensación de dicha dispersión.

b. Modulación de fase cruzada

La modulación de fase cruzada (XPM) se genera cuando dos o más canales ópticos son transmitidos simultáneamente a través de la fibra óptica, usando la técnica de WDM, debido a que el índice de refracción efectivo para una onda incidente no solo depende de la intensidad de esa onda, sino también de la intensidad de cualquier otra onda que se copropague a través del canal, debido a la interacción entre ellas. Cuando dos o más señales se propagan simultáneamente, el impacto de la XPM es similar a la SPM. La Fórmula 2.8 muestra el ensanchamiento que sufre el canal, despreciando la dispersión cromática.

$$\Delta\omega = \gamma L \frac{dP_1(t)}{dt} + 2\gamma L \frac{dP_2(t)}{dt} \quad (2.8)$$

Donde:

γ : Es el coeficiente de no linealidad

L : La longitud del enlace

$P_1(t)$ y $P_2(t)$: Potencias del canal 1 y 2 respectivamente

c. Mezcla de cuarta onda

La mezcla de cuarta onda (FWM) se da cuando dos o más señales ópticas de frecuencias centrales diferentes (diferentes canales WDM) se propagan en una fibra, se puede dar una mezcla de señales que puede generar nuevos componentes de interferencia de la señal óptica; esto debido a la dependencia del índice de refracción de la fibra con la potencia de la señal, lo que causa un medio no lineal de propagación y crea las condiciones para la mezcla de la señal. Para que el fenómeno de la FWM ocurra es necesaria la condición de phase-matching (coincidencia de fase), donde el efecto de la FWM depende de la potencia de la señal, dispersión y del espaciamiento de los canales WDM. La Figura 2.5 muestra el efecto de FWM para tres canales de comunicación.

A medida que se incrementa el número de canales en un sistema WDM, las componentes ópticas generadas por la FWM se incrementan de forma casi exponencial. En la Tabla N° 2.1 se muestra una relación de canales con componentes generadas por FWM.

Tabla N° 2.1 Número máximo de componentes FWM para sistemas WDM de diferentes tamaños

Número de Señales	Número total posible de las componentes generadas por FWM
2	2
3	9
8	224
16	1920

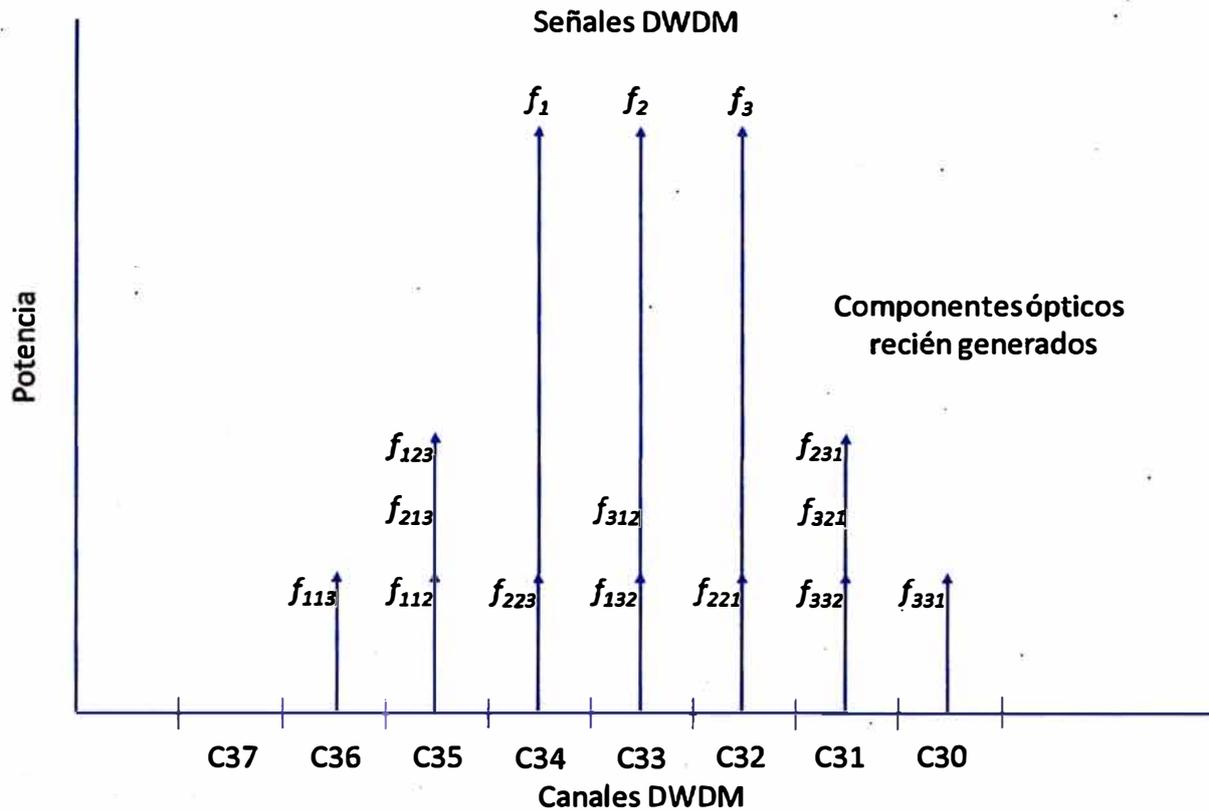


Figura N° 2.5 Efecto de FWM en tres señales equidistantes

d. Dispersión estimulada de Raman

La dispersión estimulada de Raman (SRS) genera transferencia de energía de los canales de mayor frecuencia a los canales de menor frecuencia. El coeficiente de ganancia de Raman (g_R) es el parámetro más importante para describir la dispersión estimulada de Raman. El límite de potencia (ver Fórmula 2.9) debido a la SRS es el nivel crítico en el cual la potencia incidente y la potencia dispersada son iguales.

$$P_{\text{Limite}} \approx \frac{16A_{ef}}{g_R L_{ef}} \quad (2.9)$$

Donde:

A_{ef} : Área efectiva

g_R : Ganancia de Raman

L_{ef} : Longitud efectiva

e. Dispersión estimulada de Brillouin

La dispersión estimulada de Brillouin (SBS) puede ocurrir a menores niveles de potencia de entrada que los necesarios para que se presente la dispersión estimulada de Raman. Ese efecto no lineal, al igual que la SRS, se presenta por la generación de una onda llamada onda de Stokes, que se propaga en dirección opuesta a la dirección de propagación de la onda incidente y tiene una frecuencia menor a la de la luz incidente. Debido a la SBS se presenta

un cambio en frecuencia de la onda de Stokes de 11 GHz, aproximadamente, el cual es más pequeño por tres órdenes de magnitud, comparado con el cambio en frecuencia que genera SRS, que es, aproximadamente 13 THz.

Un importante parámetro de este efecto no lineal es la potencia límite debido a la SBS, la cual se define como el nivel de potencia crítica en el cual la potencia incidente y la potencia dispersada son iguales; el valor de la potencia límite puede ser calculado con la Fórmula 2.10.

$$P_{\text{Limite}}(SBS) \approx \frac{21A_{ef}}{g_B L_{ef}} \quad (2.10)$$

Donde:

A_{ef} : Área efectiva

g_B : Ganancia de Brillouin

L_{ef} : Longitud efectiva

El valor de la potencia límite debido a la SBS limita la potencia incidente por canal en un sistema WDM y es independiente del número de canales que se esté empleando. La Figura 2.6 muestra una señal a una longitud de onda $\lambda = 1550\text{nm}$, y la onda dispersada que se genera debido a la SBS. El espectro de ganancia de la onda dispersada tiene un ancho de 20 MHz.

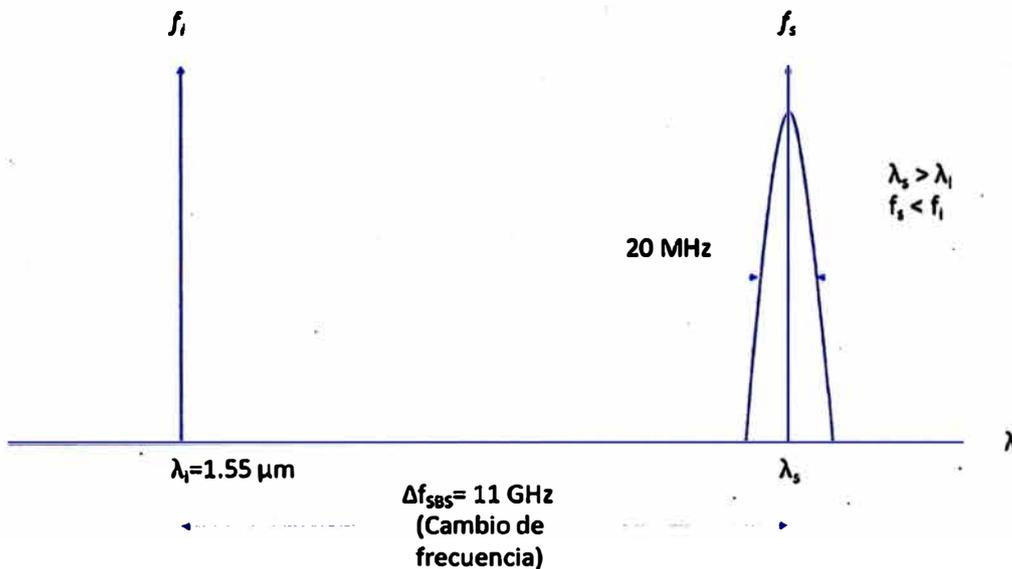


Figura N° 2.6 Señal a una longitud de onda $\lambda = 1550\text{nm}$, y onda dispersada que se genera debido a SBS

2.3. Componentes de un sistema WDM

2.3.1. Fibra óptica monomodo

La fibra se puede clasificar por el tipo de fabricación y forma de propagación de los rayos de luz, además de su capacidad de transmisión (el ancho de banda) y su facilidad de

acoplar a los equipos activos en las conexiones.

La fibra monomodo (Figura 2.7) es una fibra óptica en la que sólo se propaga un modo de luz. Se logra reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño (8,3 a 10 micras) que sólo permite un modo de propagación, su transmisión es en línea recta. A diferencia de las fibras multimodo, las fibras monomodo permiten alcanzar grandes distancias y transmitir elevadas tasas de bit.

La fibra monomodo es de largo alcance pudiendo recorrer varios kilómetros sin necesidad de repetidores. Normalmente son usadas para unir diferentes localizaciones separadas entre sí y van por galerías de cable por debajo del suelo.

Este tipo de fibras se utiliza en comunicaciones de media y larga distancia y en enlaces intercontinentales en los que existe una elevada transmisión de datos, lo que conlleva una justificada inversión.

El hecho de que se elimine la dispersión modal tiene que ver con el ángulo de admisión de entrada que es tan estrecho que casi coincide con el eje horizontal de la fibra, entrando los rayos de luz en línea recta.

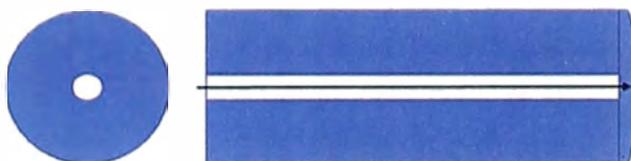


Figura N° 2.7 Fibra monomodo: tiene un único modo de propagación para la luz

2.3.2. Equipos de transmisión

Dentro de la parte de transmisión podemos encontrar los siguientes elementos: transponders, multiplexores, amplificadores y compensadores de dispersión.

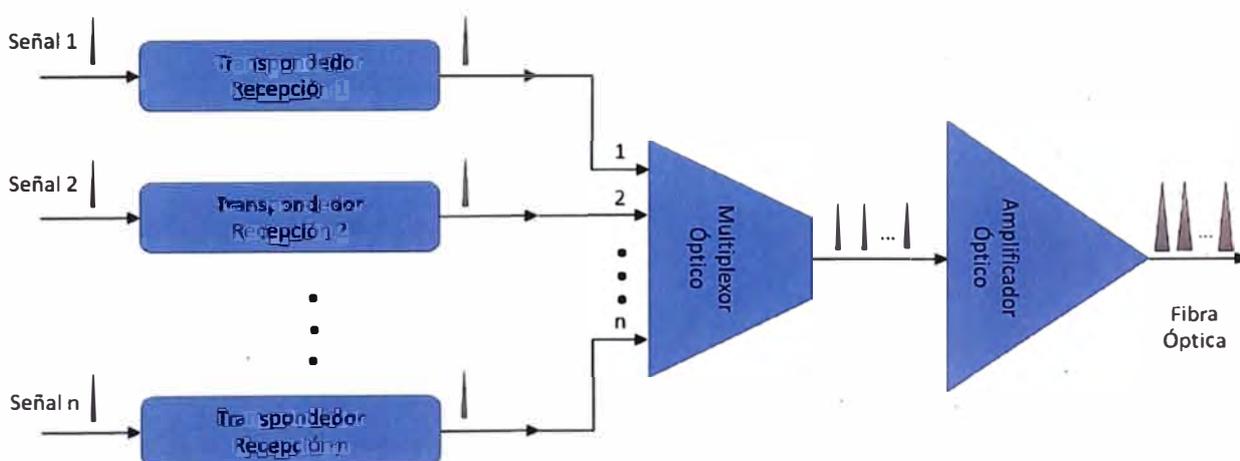


Figura N° 2.8 Equipos de transmisión WDM

De acuerdo a la Figura 2.8, los transponders son los que se encargan de convertir la longitud de onda de la segunda ventana de las señales de entrada a la longitud de onda

específica para cada tecnología WDM. Luego todas estas señales ingresan a un multiplexor para obtener una sola señal óptica, la cual será amplificada antes de ser enviada por el medio de transmisión, la fibra óptica monomodo.

Debido a los efectos de dispersión que se introducen en la fibra óptica, también se usa los compensadores que evitan el ensanchamiento espectral de cada uno de los canales transmitidos y de esta forma se impide el solapamiento de estos.

2.3.3. Equipos de recepción

Dentro de la parte de recepción podemos encontrar los elementos indicados en la Figura 2.9: preamplificador óptico, demultiplexores y transponders.

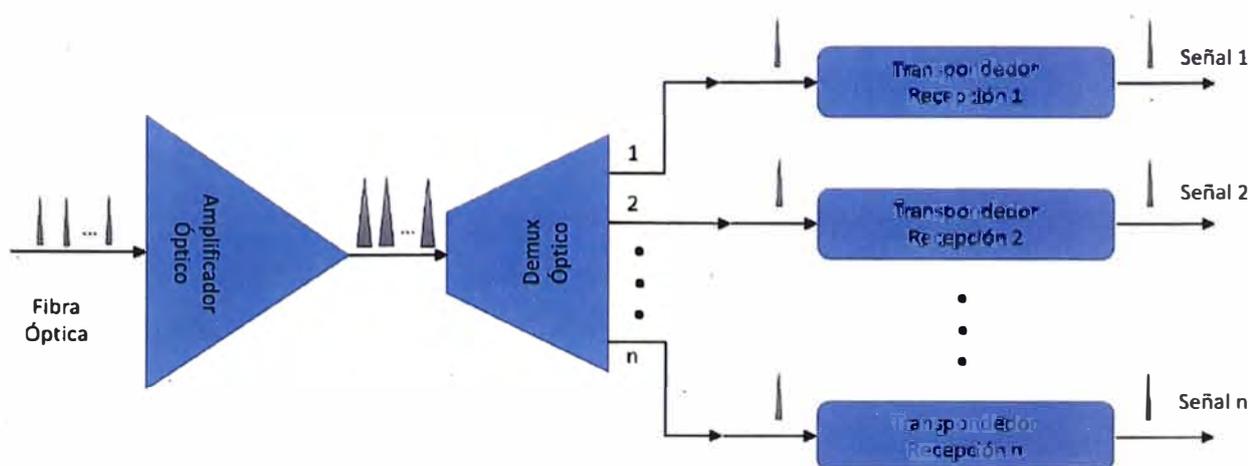


Figura N° 2.9 Equipos de recepción WDM

En esta etapa el preamplificador es usado para mejorar la señal óptica antes de ingresar al demultiplexor. Este último se encargará de separar la señal recibida en diferentes longitudes de onda.

El transponder al igual que en la etapa de transmisión realizará la misma función pero en sentido opuesto, es decir convertirá la señal óptica de la tecnología usada a una longitud de onda en segunda ventana.

2.3.4. Amplificadores

Los amplificadores ópticos, como su nombre lo dice, operan únicamente en el dominio óptico sin conversión opto eléctrica.

Entre estos tenemos los amplificadores EDFA que amplifican las señales ópticas mediante lentes de fibra dopada. El diagrama de bloques de un amplificador EDFA se puede observar en la Figura 2.10. El Erblio entrega usualmente una ganancia en longitudes de onda entre 1525 y 1560 nm. También tenemos los amplificadores de Raman en los cuales la señal que genera la amplificación será la propia señal que transmite la información, por lo que si se transmiten más de un canal, cada uno de estos dará lugar a su propia amplificación.

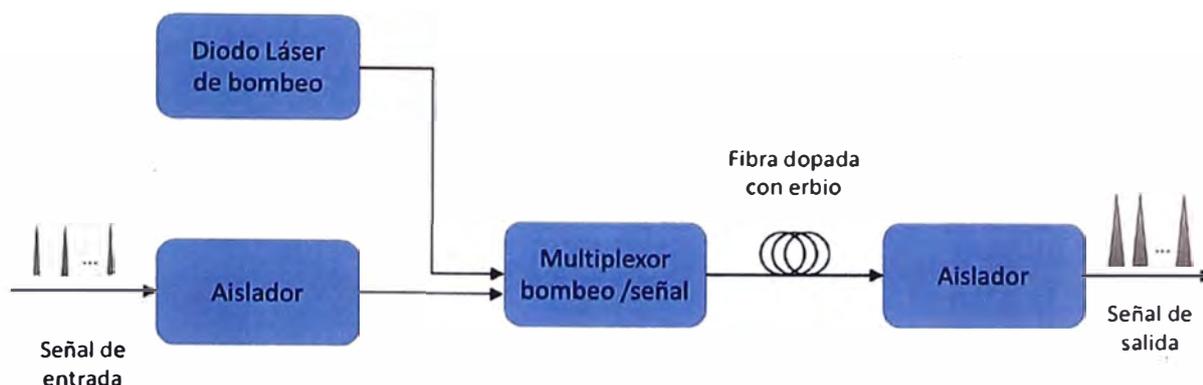


Figura N° 2.10 Amplificador de fibra dopada con Erblio (EDFA)

2.4. Tipos de Tecnología WDM

2.4.1. CWDM

Los sistemas de multiplexación por división en longitudes de onda ligeras o coarse wavelength division multiplexing (CWDM) son adecuados para el transporte de datos, voz, video, almacenamiento y servicios multimedia. Estos sistemas trabajan con infraestructura de fibras con tramos de hasta 50 Km o menos en los cuales no se necesita regenerar la señal o no se requiere la presencia de amplificadores ópticos.

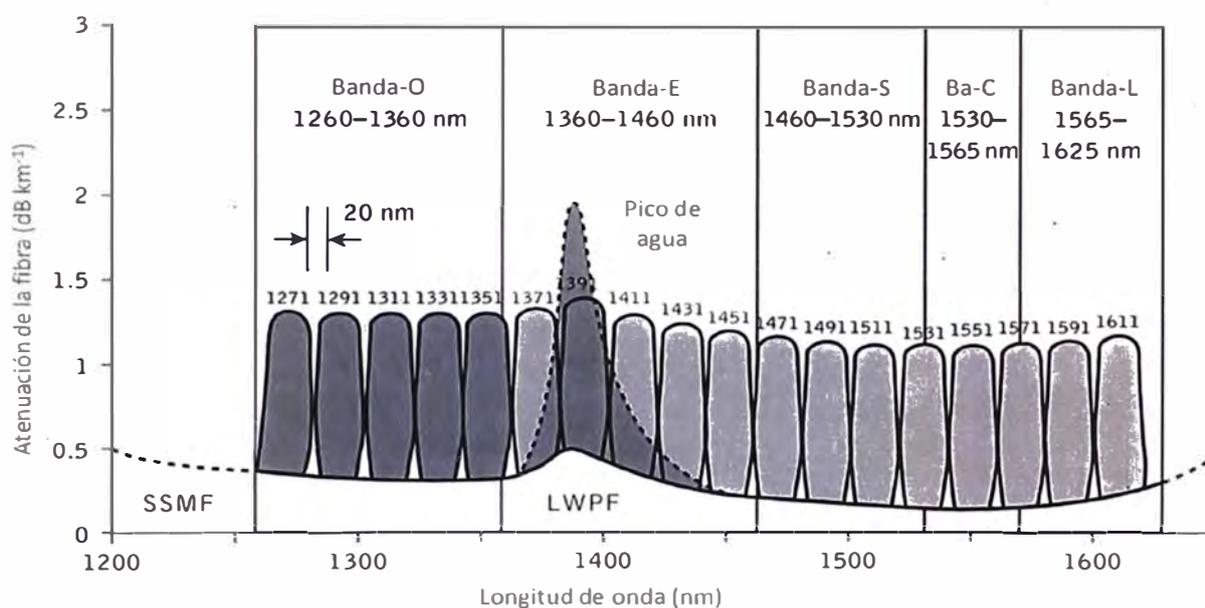


Figura N° 2.11 Bandas para sistemas CWDM según la recomendación ITU-T G.694.2

CWDM está especificado en la recomendación ITU-T G.694.2 que define longitudes de onda con espaciamiento de canal de 20 nm e incluye 18 longitudes de onda entre 1271 nm y 1611 nm como se muestra en la Figura 2.11. En esta figura también se muestra la característica de atenuación para una fibra monomodo estándar que indica que 5 de los canales CWDM están dentro de la banda E y no pueden ser usados debido al pico de agua.

Sin embargo, con fibras con pico de agua cero o low-water-peak fiber (LWPF) puede

usarse la región E con la característica de atenuación mostrada también en la Figura 2.11. Luego 16 canales bidireccional CWDM han llegado a estar comercialmente disponibles. Por ejemplo, el desempeño de un sistema CWDM con 2.5 Gbps por canal bajo una distancia de 75 Km ha demostrado un ancho de banda de 40 Gbps empleando LWPF. Cabe resaltar que el alcance de estos sistemas puede ser extendido a más de 200 Km cuando se usa amplificadores ópticos.

2.4.2. DWDM

La multiplexación por división en longitudes de onda densa o dense wavelength division multiplexing (DWDM) es una técnica de transmisión de señales a través de fibra óptica usando la banda C y la banda L, como se puede apreciar en la Figura 2.12. Lo que se hace es aumentar las longitudes de onda en una sola fibra, pudiendo incrementar la capacidad de esta entre 16 y 32 veces.

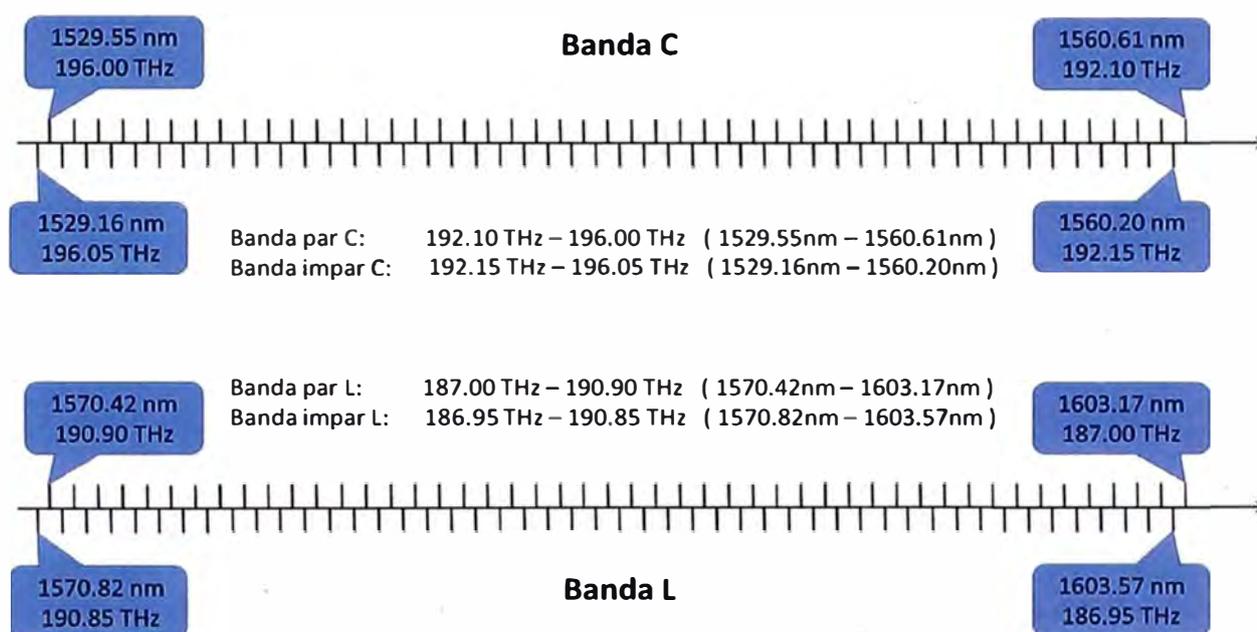


Figura N° 2.12 DWDM - Bandas C y L

Actualmente se pueden obtener 40, 80 y 160 canales ópticos separados entre sí a frecuencias de 100 GHz, 50 GHz y 25 GHz respectivamente, es así como al reducir las distancias entre los canales se pueden ir obteniendo más canales y por ende mayor ancho de banda. Con 160 canales que es lo máximo que se utiliza hoy en día se alcanzan velocidades de hasta 1600 Gbps (10 Gbps por canal), aunque también se han probado velocidades cercanas a los 40 Gbps por canal. Teóricamente existe un ancho de banda infinito en la red que utiliza fibra óptica ya que al ir aumentando las longitudes de onda en cada una de las fibras correspondientes a la red se va incrementando el ancho de banda de la red, es por esto que no se conoce con exactitud el potencial que puedan tener estas redes.

2.5. Introducción a la Red de Transporte Óptico OTN

2.5.1. Definición de OTN

La OTN es una red que consiste de elementos ópticos conectados por enlaces de fibra. La red provee transmisión, multiplexación, enrutamiento, gestión, supervisión y protección de servicios basados en canales ópticos.

2.5.2. Características de la OTN

a. Forward Error Correction (FEC)

G.709 define un FEC, algoritmo que permite la detección y corrección de errores producidos por fallos físicos como efectos lineales y no lineales, usando el código Reed-Solomon. Esta característica puede ser usada para:

- Incrementar las distancias máximas entre tramos, lo que resulta en un mayor alcance y reducción de costos al disminuir el número de regeneradores.
- Incrementar el número de canales en un sistema DWDM que está limitado por la potencia de salida de los amplificadores.
- Disminuir los niveles de los parámetros configurados en los componentes de la OTN como por ejemplo la potencia, figuras de ruido, etc, lo que se traduce a reducción de costos en estos.

b. Múltiples niveles de monitoreo de conexiones tandem (TCM)

Si un operador A lleva su señal teniendo que pasar por un operador B, el operador A necesita una forma de monitorear la señal a través de la red de B. Esto es lo que se conoce como conexión Tandem. G.709 permite hasta 6 niveles de monitoreo.

Tal como se observa en la Figura 2.13, TCM1 es usado por el usuario para monitorear la Calidad de Servicio (QoS) que ellos ven. TCM2 es usado por el primer operador para monitorear su QoS end to end. TCM3 es usado para el monitoreo de varios dominios independientes. TCM4 es usado para el monitoreo de la protección del operador A.

c. Transmisión transparente de servicios

El medio proporcionado por la capa óptica puede ser transparente al protocolo, formato y velocidad de datos una vez que se hayan establecido las conexiones. Por ende, se dice que la transmisión es transparente. La OTN permite garantizar la integridad de las señales de los clientes, tanto en contenido, en sincronización y en retardo, conservando su funcionalidad y rendimiento. Dentro de sus ventajas esta que la infraestructura de red pueda soportar modificaciones en los formatos y protocolos futuros así como la posibilidad de ofrecer distintos servicios bajo la misma plataforma.

d. Switching scalability

Esta escalabilidad es posible a las funciones de multiplexación y demultiplexación de los elementos de la OTN, ofreciendo servicios a varias velocidades de bits como por ejemplo 2.5 G, 10 G, etc.

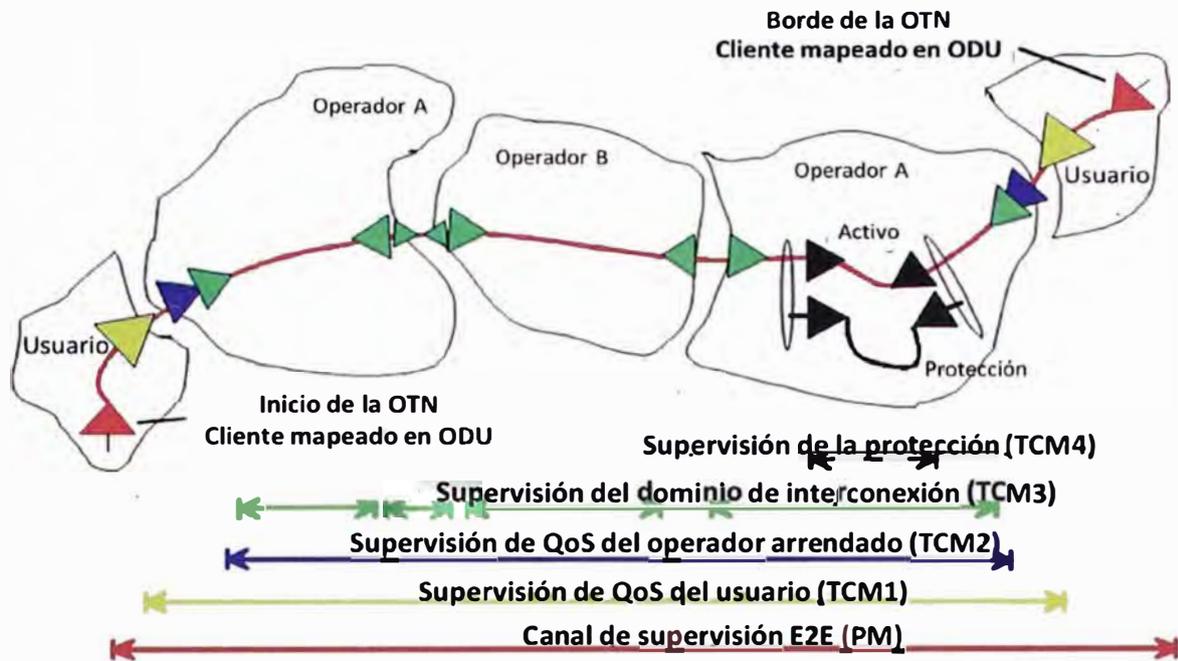


Figura N° 2.13 Niveles de monitoreo TANDEM

2.5.3. Estructura de la interface OTN

La recomendación G.709 de la ITU-T define un número de capas en la jerarquía OTN. Estas capas se ilustran en la Figura 2.14.

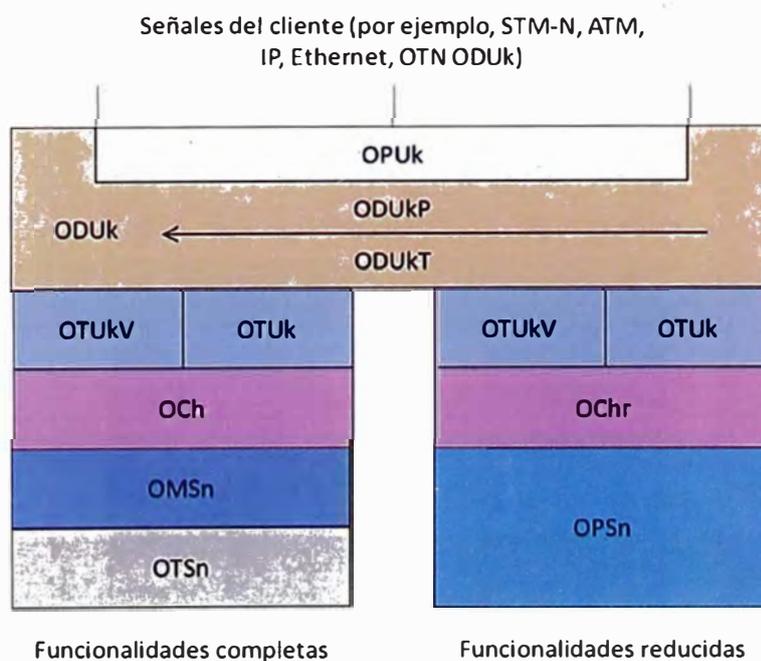


Figura N° 2.14 Jerarquía OTN según G.709

Sin embargo para todos los efectos solo hay 4 capas que se resumen en la Figura 2.15.

Señales del cliente (por ejemplo, STM-N, ATM,
IP, Ethernet, OTN ODUk)

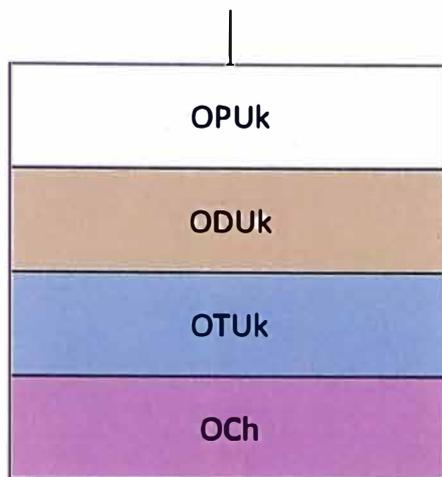


Figura N° 2.15 Jerarquía OTN

La OPUk, ODUk y OTUk están en el dominio eléctrico. La OCh está en el dominio óptico. Hay más capas en el dominio óptico pero estas no están siendo usadas ahora.

La OPUk (Optical Channel Payload Unit) encapsula las señales del cliente (por ejemplo SONET/SDH) y realiza cualquier ajuste que sea necesario para soportar estas. También suministra información sobre el tipo de señal encapsulada.

La ODUk (Optical Channel Data Unit) permite el monitoreo dentro de la red y la localización de fallos en esta.

La OTUk (Optical Channel Transport Unit) se usa para para el transporte vía una o más conexiones de canales ópticos. También especifica la alineación de trama y el FEC.

Los bits rates especificados en la recomendación G.709 tanto para OPU, ODU y OTU se indican en las Tablas N° 2.2, 2.3 y 2.4 respectivamente.

Tabla N° 2.2 Tipo de OPU y su capacidad

Tipo de OPU	Tasa de transmisión nominal
OPU1	2 488 320.000 kbit/s
OPU2	9 995 276.962 kbit/s
OPU3	40 150 519.322 kbit/s

Tabla N° 2.3 Tipo de ODU y su capacidad

Tipo ODU	Tasa de transmisión nominal
ODU1	2 498 775.126 kbit/s
ODU2	10 037 273.924 kbit/s
ODU3	40 319 218.983 kbit/s

Tabla N° 2.4 Tipo de OTU y su capacidad

Tipo OTU	Tasa de transmisión nominal
OTU1	2 666 057.143 kbit/s
OTU2	10 709 225.316 kbit/s
OTU3	43 018 413.559 kbit/s

CAPITULO III METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

3.1 Red DWDM propuesta

3.1.1. Esquema de Red DWDM

La red propuesta; según la Figura 3.1; está basada en una topología anillo en la cual se utilizan dos lambdas, λ_1 y λ_2 . El sistema está preparado para soportar hasta 40 canales de 10 Gbps cada uno, traducándose esto en una capacidad total de 400 Gbps.

La primera longitud de onda λ_1 , la utilizaremos para agrupar todos los servicios MPLS, incluyendo la ruta de protección del router de borde. La segunda longitud de onda λ_2 , será destinada para la red SDH.

La red está conformado por tarjetas tributarias hacia el lado del cliente y tarjetas de línea hacia el lado DWDM. La correspondencia entre ambas se da mediante la unidad de cross-conexión. Luego las señales de línea pasan a un multiplexor y a la salida de este, los canales multiplexados son amplificados y listos para ser multiplexados una vez más con la señal de control. Para el lado de planta externa se mantiene la fibra óptica monomodo G652 que se usa en el sistema de transporte CWDM a migrar.

3.2 Descripción del equipamiento

3.2.1. Unidad Tributaria y Unidad de Línea

a. Tarjeta de línea ND2

El nombre ND2 está en base a una nomenclatura: N indica que es una tarjeta de línea, D indica dos interfaces de salida hacia el lado WDM y 2 indica el tipo de salida, que en este caso es OTU2. Como tarjeta de línea, la ND2 implementa la conversión entre 16 señales ODU0 o 8 señales ODU1 o 2 señales ODU2 a dos canales OTU2/OTU2e. También soporta la transmisión híbrida de servicios ODU0, ODU1 y ODU2.

La función básica de la ND2 es lograr la cross-conexión en la capa eléctrica. Una aplicación típica es la mostrada en la Figura 3.3. La tarjeta ND2 según la Figura 3.4, está conformada por un módulo óptico hacia el lado WDM, un módulo de procesamiento OTN; que recibe y envía las señales eléctricas, un módulo 1588; que se encarga de recibir y enviar la señal de reloj, un módulo de control y comunicación, y un módulo de energía.

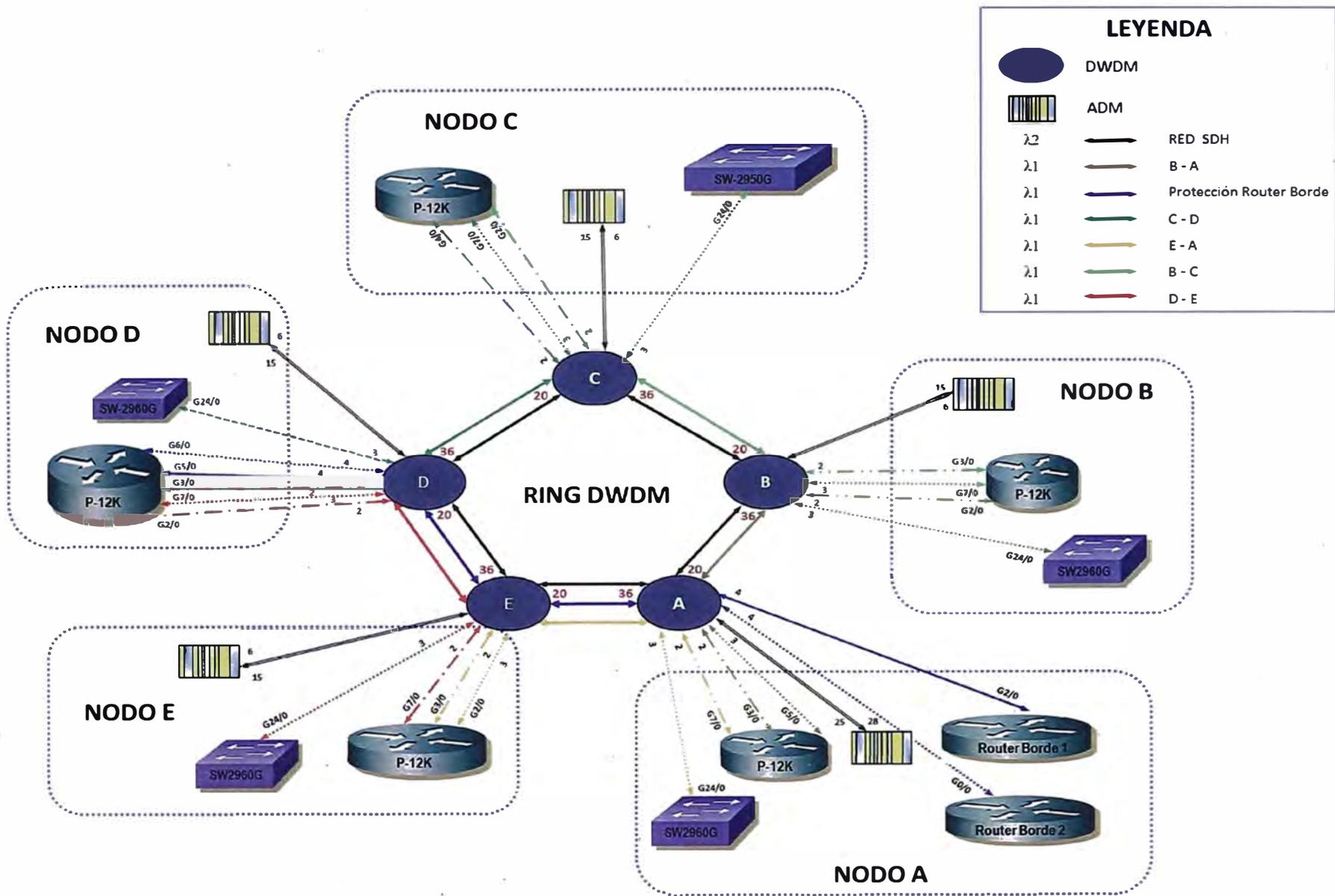
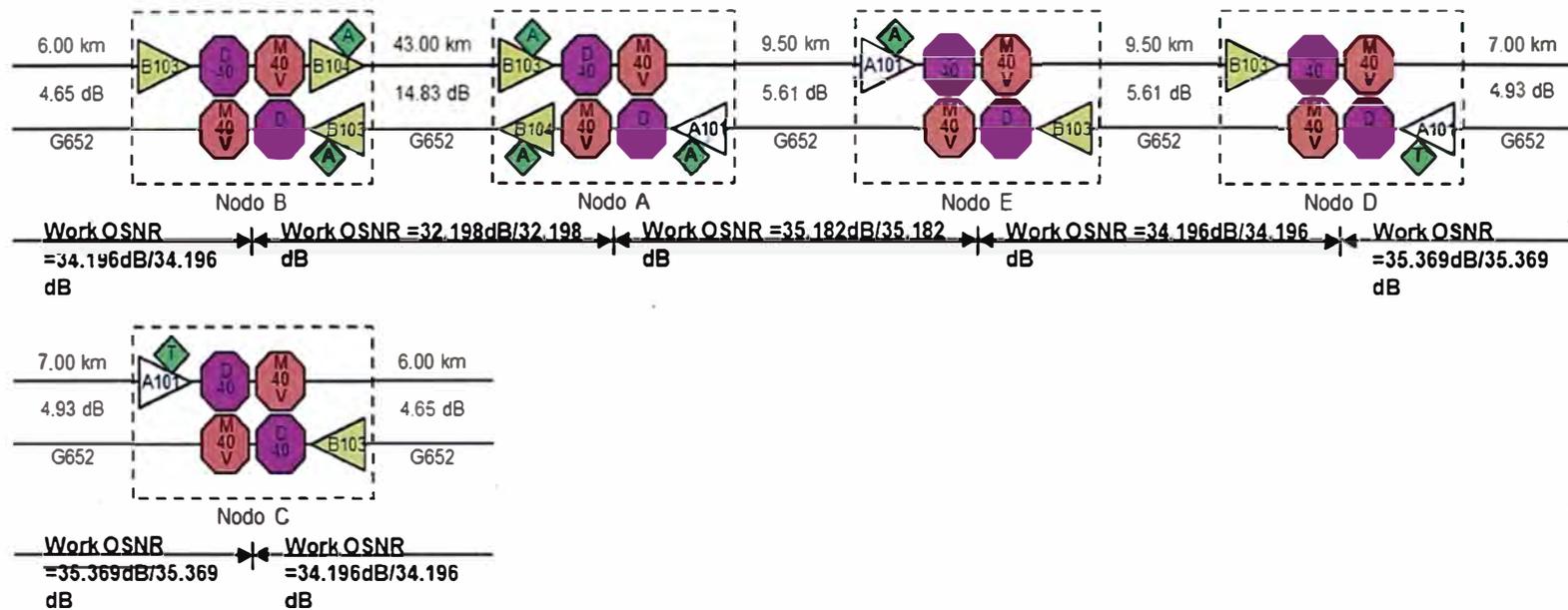


Figura N° 3.1 Distribución de la red DWDM propuesta



-  Tarjeta Multiplexora de 40 Canales con VOA(C_Even,196.00THz~192.10THz,100 GHz,LC)
-  Tarjeta Demultiplexora de 40 Canales(C Even,196.00THz~192.10THz,100GHz,Thermal AWG,LC)
-  Unidad Óptica Booster C-BAND(MAX - 1dBm IN and 16dBm OUT,Gain 17dB)
-  Unidad de Compensación de Dispersión (A,20km,for G.652)
-  Unidad Óptica Booster C-BAND (MAX - 3dBm IN and 20dBm OUT,Gain 23dB)
-  Unidad Amplificadora Óptica C-BAND(MAX 0dBm IN and 20dBm OUT,Gain 20~31dB)
-  Unidad de Compensación de Dispersión(T,10km,for G.652)

Figura N° 3.2 Diagrama de bloques de la red DWDM

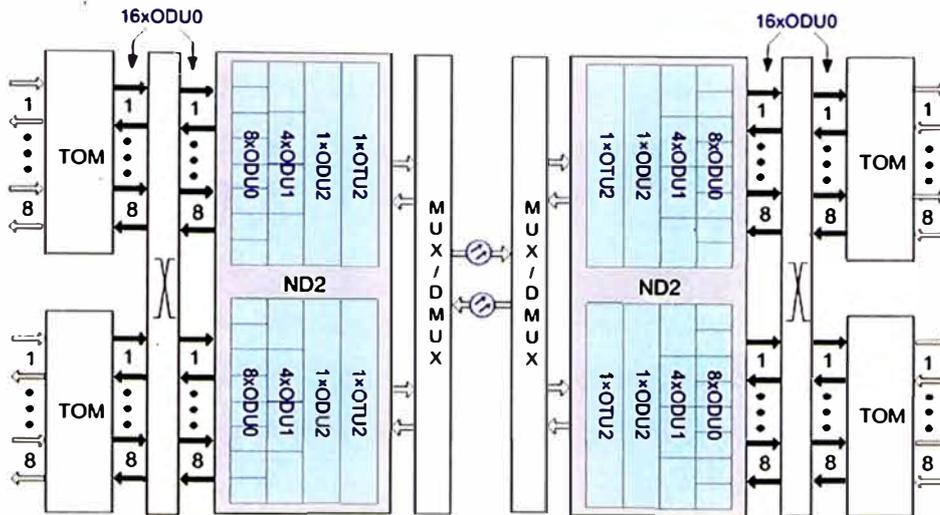


Figura N° 3.3 Tarjeta de línea ND2

• Transmisión

La dirección de transmisión en la tarjeta ND2 está definida como la dirección desde el backplane hacia la dirección del módulo WDM.

El módulo de procesamiento OTN puede recibir 16 canales de señales eléctricas ODU0, ocho canales de señales eléctricas ODU1, cuatro canales de señales eléctricas ODUflex o dos canales de señales eléctricas ODU2/ODU2e de la tarjeta de cross-conexión, a través del backplane. Luego realiza operaciones como OTN framing y codificación FEC/AFEC. Después de este proceso, el módulo envía a la salida dos canales de señales OTU2/OTU2e.

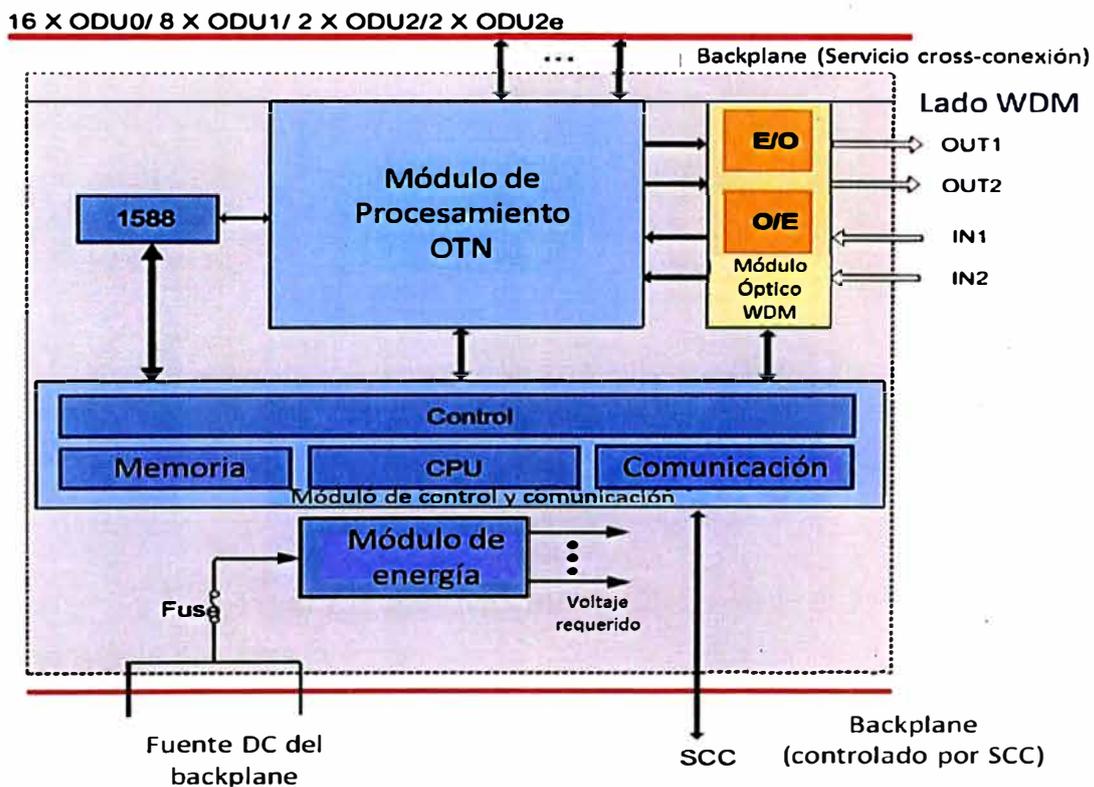


Figura N° 3.4 Módulos funcionales de la tarjeta de línea ND2

Las señales OTU2/OTU2e son enviadas al módulo WDM y una vez llevada a cabo la conversión eléctrica a óptica E/O, el módulo transmite la señal óptica OTU2/OTU2e a una longitud de onda estándar DWDM de acuerdo al estándar ITU-T G.694.1 a través de las interfaces ópticas OUT1-OUT2.

- **Recepción**

El módulo WDM recibe dos canales ópticos OTU2 a una longitud de onda estándar DWDM a través de las interfaces ópticas IN1-IN2. Después de recibir las señales, el módulo ejecuta la conversión óptica a eléctrica O/E. Luego las señales son enviadas al módulo de procesamiento OTN donde se realizan operaciones como OTU2 framing y decodificación FEC/AFEC. Finalmente, este módulo envía 16 canales eléctricos ODU0, 8 canales eléctricos ODU1, 4 señales eléctricas ODUflex o 2 canales eléctricos ODU2 al backplane para el servicio de cross-conexión. La Figura 3.5 muestra la vista frontal de la tarjeta.

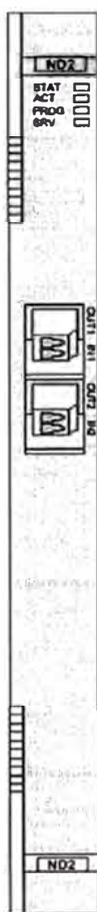


Figura N° 3.5 Vista frontal de la tarjeta ND2

b. Tarjeta tributaria TOA

Como tarjeta tributaria, la TOA se encarga de la conversión de las siguientes señales:

8 x (125 Mbit/s a 1.25 Gbit/s) ↔ 8 x ODU0

8 x (1.49 Gbit/s a 2.67 Gbit/s) ↔ 8 x ODU1

8 x (125 Mbit/s a 2.5 Gbit/s) ↔ 1 a 8 x ODU1

8 x OTU1 ↔ 16 x ODU0

5 x 3G-SDI (Serial Digital Interface) ↔ 5 x ODUFlex

4 x FC (Fiber Channel) 400/FICON (Fiber Connectivity) 4G ↔ 4 x ODUFlex

Dentro de los escenarios que soporta la TOA, se tendrán en cuenta solo tres de estos:

Escenario 1: ODU0 modo no convergente (Any → ODU0)

Se realiza la conversión entre ocho canales de señales ópticas a cualquier tasa de transferencia en el rango de 125 Mbit/s a 1.25 Gbit/s y ocho canales de señal eléctrica ODU0.

Escenario 2: ODU1 Modo no convergente (Any → ODU1)

Se realiza la conversión entre ocho canales de señales ópticas a cualquier tasa de transferencia en el rango de 1.49 Gbit/s a 2.67 Gbit/s y ocho canales de señal eléctrica ODU1.

Escenario 3: ODU1 Modo convergente (n*Any → ODU1)

Se realiza la conversión entre ocho canales de señales ópticas a cualquier tasa de transferencia en el rango de 125 Mbit/s a 2.5 Gbit/s y de uno a ocho canales de señal eléctrica ODU1. En este escenario la TOA converge uno o múltiples servicios del lado del cliente a un único canal de señal eléctrica ODU1.

La tarjeta tributaria TOA según la Figura 3.6, consiste de un módulo óptico del lado del cliente, un módulo de procesamiento de señal, un módulo 1588; que se encarga de recibir y enviar la señal de reloj de la tarjeta STG (Centralized Clock Board); un módulo de control y comunicación, y un módulo de fuente de poder.

- **Transmisión**

El módulo del lado del cliente recibe ocho canales de señales ópticas del equipo del cliente a través de la interfaces RX1-RX8 y lleva a cabo la conversión óptica a eléctrica O/E.

Después, los ocho canales de señal eléctrica son enviados al módulo de procesamiento de señal. Este, ejecuta operaciones tales como el servicio de cross-conexión, encapsulamiento y OTN framing. Luego se envía a la salida un máximo de 16 canales de señales ODU0, ocho canales de ODU1 o cinco canales ODUFlex al backplane.

- **Recepción**

El módulo de procesamiento recibe las señales eléctricas enviadas desde el backplane y se encarga del ODU0 o ODU1 o ODUFlex framing, del desmapeo y del desencapsulamiento. Luego, el módulo envía 8 canales de cualquier señal al módulo del lado del cliente. En el lado del cliente lleva a cabo la conversión eléctrica a óptica E/O y finalmente envía a la salida 8 señales a través de las interfaces TX1-TX8. Ver la tarjeta en a Figura 3.7.

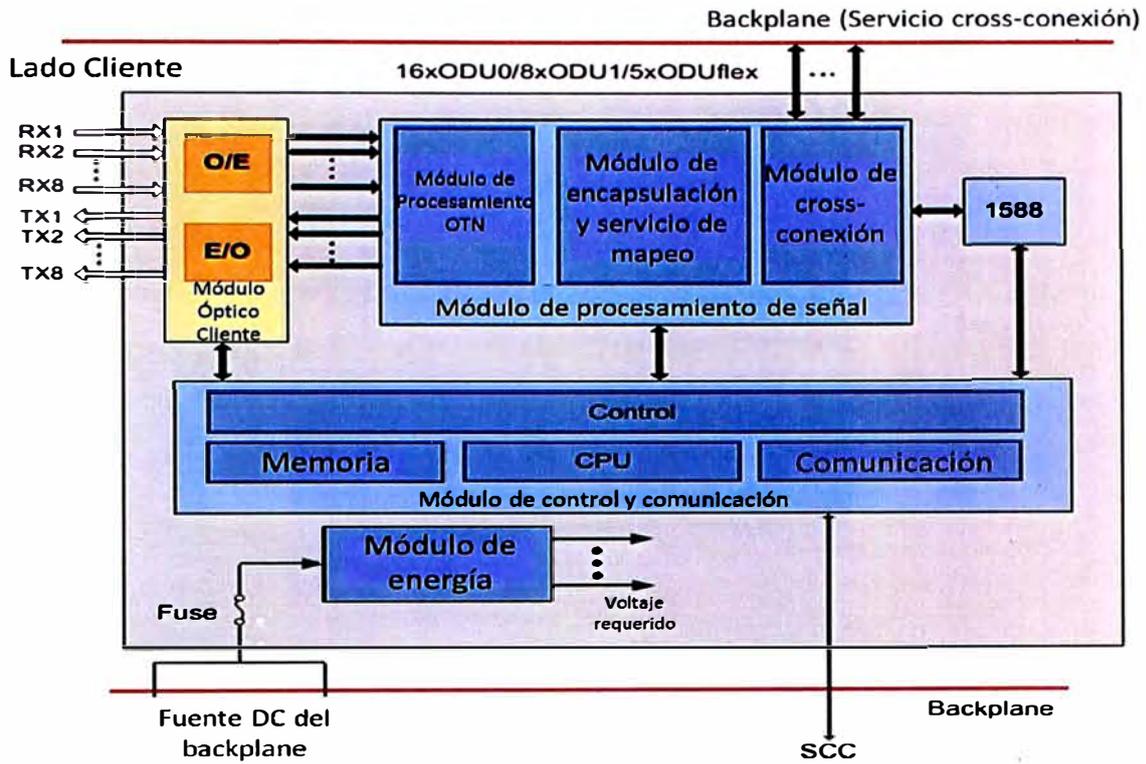


Figura N° 3.6 Módulos funcionales de la tarjeta tributaria TOA

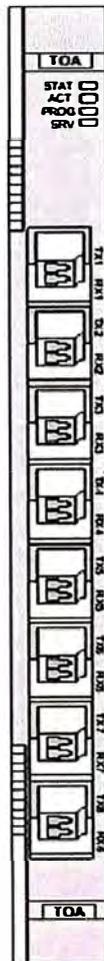


Figura N° 3.7 Vista frontal de la tarjeta TOA

3.2.2. Unidad de Cross Conexión (XCH)

La tarjeta XCH es principalmente usada para cross-conectar servicios en la capa eléctrica. Cuenta de un módulo de cross-conexión, un módulo de control y comunicación, y un módulo de fuente de poder.

El módulo de cross-conexión recibe la información de cada tarjeta de servicio o TOA a través del backplane, realiza el ordenamiento eléctrico de los servicios ODU_k (k=0, 1, 2, 3 o flex), y luego envía los servicios a cada tarjeta de línea o ND2. Es así como se implementa la cross-conexión. La Figura 3.8 muestra los módulos que conforman una tarjeta XCH.

La Figura 3.9 muestra la vista frontal de la tarjeta.

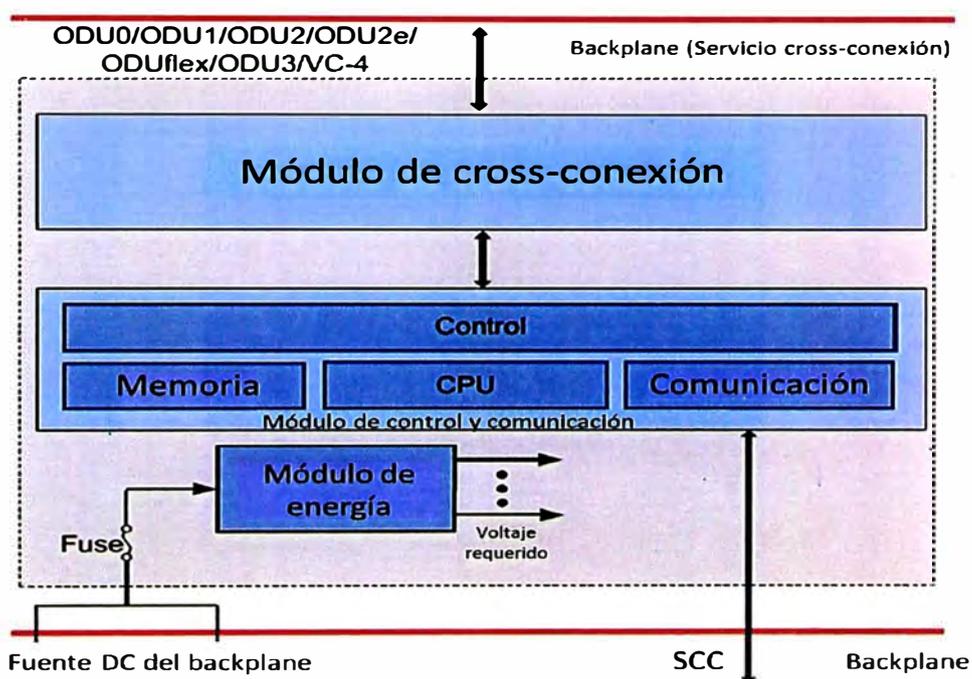


Figura N° 3.8 Módulos funcionales de la tarjeta de cross-conexión XCH

3.2.3. Multiplexor y Demultiplexor óptico

a. Tarjeta multiplexora de 40 canales con atenuador óptico (M40V)

La tarjeta M40V tiene como función básica multiplexar un máximo de 40 canales en un solo canal, ajustando la potencia óptica de entrada de cada uno de estos mediante un atenuador óptico (VOA). Además permite el monitoreo en línea del desempeño de las señales ópticas así como de la potencia óptica y alarmas.

La tarjeta M40V consiste de un módulo óptico, un módulo de detección y control de temperatura, un módulo de control y comunicación, y un módulo de fuente de poder. Estos se muestran en la Figura 3.10.

Cada una de las interfaces ópticas M01-M40 reciben una longitud de onda y envían la señal al multiplexor después de que la potencia óptica haya sido regulada por el VOA. El

multiplexador multiplexa los 40 canales ópticos en un canal de señales ópticas, y son enviadas finalmente a la interfaz de salida OUT. Ver tarjeta en la Figura 3.11.



Figura N° 3.9 Vista frontal de la tarjeta XCH

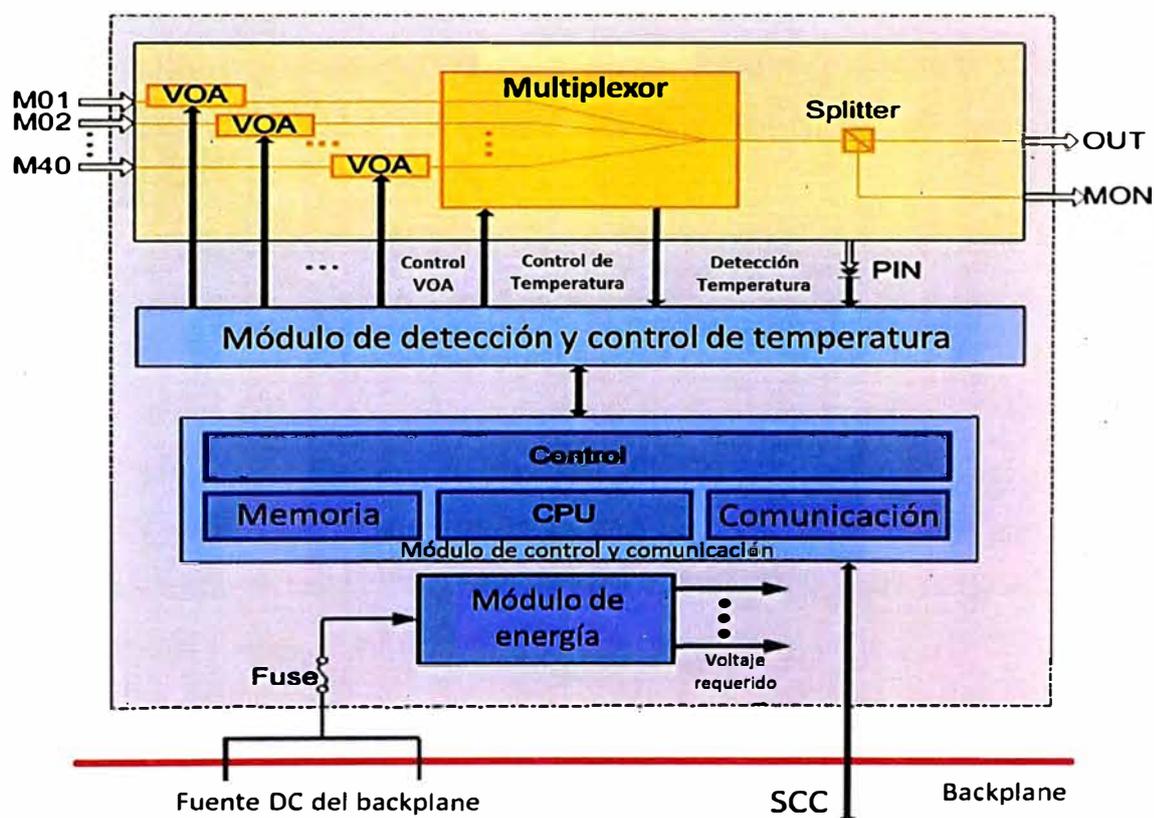


Figura N° 3.10 Módulos funcionales de la tarjeta multiplexora M40V

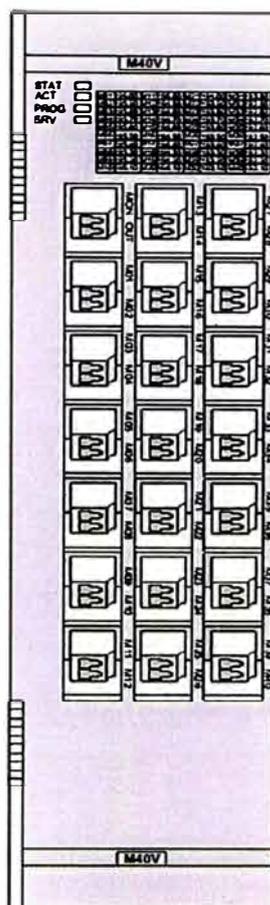


Figura N° 3.11 Vista frontal de la tarjeta M40V

b. Unidad de interfaz de fibra (FIU)

La tarjeta FIU (Fiber Interface Unit) tiene como función principal la multiplexación y demultiplexación de la señal transmitida a lo largo del tramo principal y el canal de supervisión óptico.

Según la Figura 3.12, la FIU cuenta con un módulo óptico, el cual a su vez está conformado por un multiplexor y un demultiplexor, un módulo de detección de potencia óptica; que detecta en tiempo real la potencia óptica de entrada de las señales de servicio; un módulo de comunicación y control, y un módulo de fuente de poder.

La señal principal recibida en la interfaz óptica RC y la señal de supervisión de canal recibida en la interfaz RM, son multiplexadas en un canal de señales ópticas y enviadas a través de la interfaz de salida OUT. Antes de salir, parte de la señal es tomada a través del splitter y enviada a la interfaz MON para su detección y monitoreo.

La interfaz óptica IN recibe las señales ópticas de línea, las cuales son enviadas al demultiplexor, este último separa la señal de línea en la señal del tramo principal y la señal de supervisión de canal las cuales son enviadas a través de las interfaces TC y TM.

La vista frontal de la tarjeta FIU se puede apreciar en la Figura 3.13.

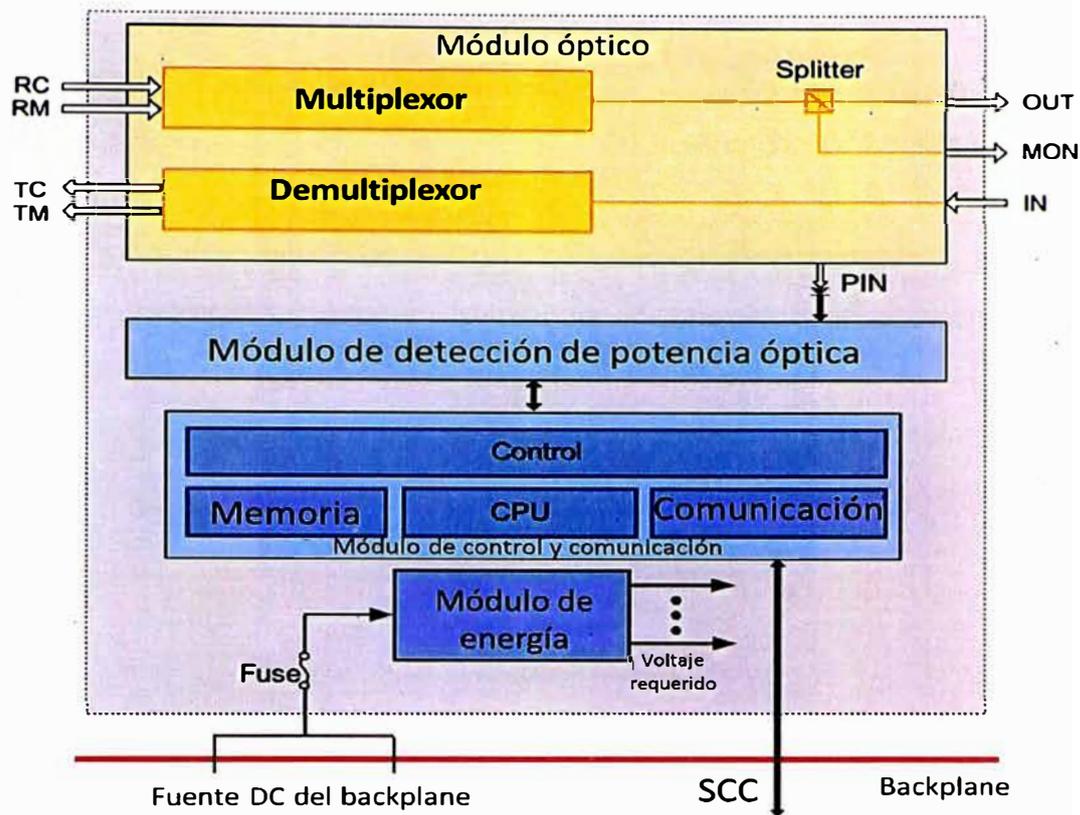


Figura N° 3.12 Módulos funcionales de la tarjeta multiplexora FIU

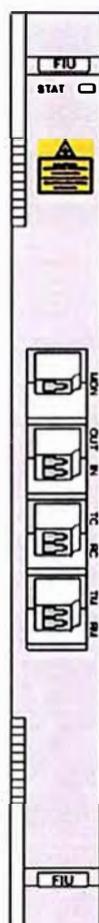


Figura N° 3.13 Vista frontal de la tarjeta FIU

c. Tarjeta demultiplexora de 40 canales (D40)

La tarjeta D40 implementa el demultiplexaje de una señal óptica en un máximo de 40 canales. Además permite el monitoreo en línea del desempeño de las señales ópticas así como alarmas.

Esta tarjeta; como se aprecia en la Figura 3.14; consiste de un módulo óptico, un módulo de detección y control de temperatura, un módulo de control y comunicación, y un módulo de fuente de poder.

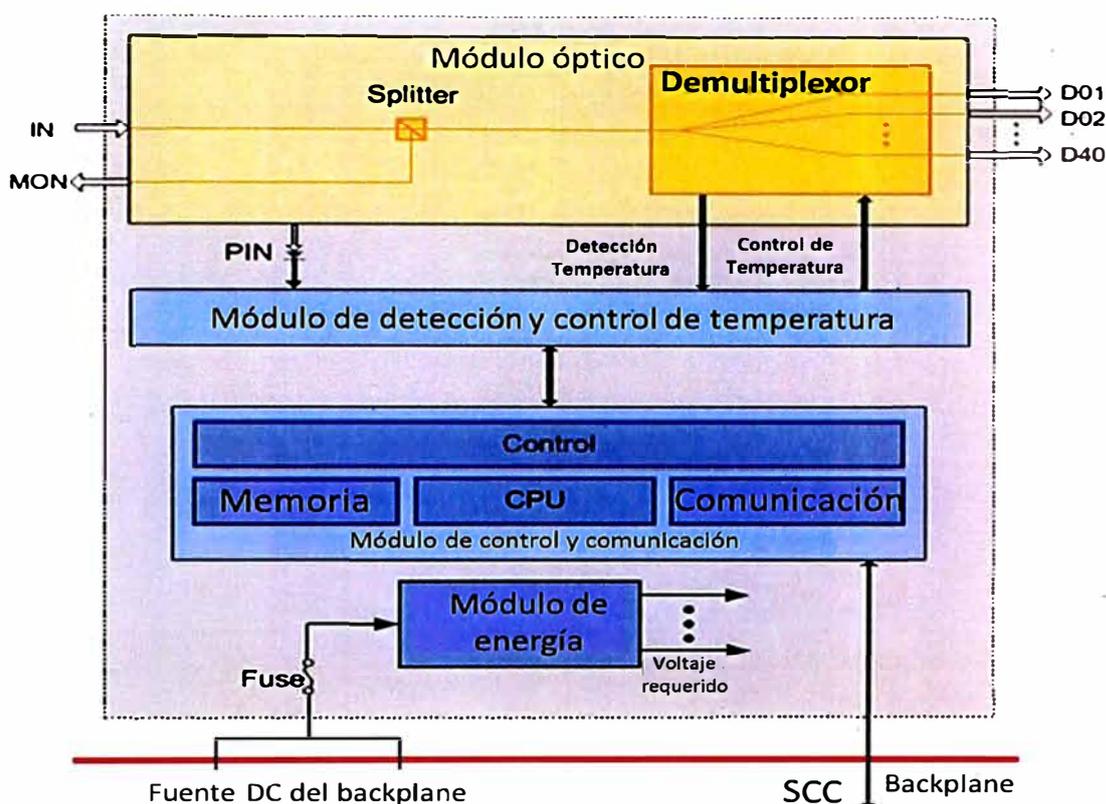


Figura N° 3.14 Módulos funcionales de la tarjeta demultiplexora D40

La interfaz óptica IN recibe un canal de señales multiplexadas y envía este al demultiplexador. El demultiplexador demultiplexa las señales en 40 canales que luego son enviadas a través de las interfaces ópticas D01-D40.

Parte de la señal óptica que llega a la tarjeta D40 es tomada a través del splitter y enviada a la interfaz MON para su monitoreo. La vista frontal de la tarjeta en la Figura 3.15.

3.2.4. Amplificadores ópticos

a. Unidad de amplificación óptica (OAU1)

La tarjeta OAU1 tiene como principal función la amplificación las señales ópticas en la banda C. El rango de longitudes de onda que abarca va desde 1529 nm a 1561 nm. Con esto le otorga a un sistema la posibilidad de la transmisión de servicios a través de diferentes tramos de fibra sin regeneración eléctrica.

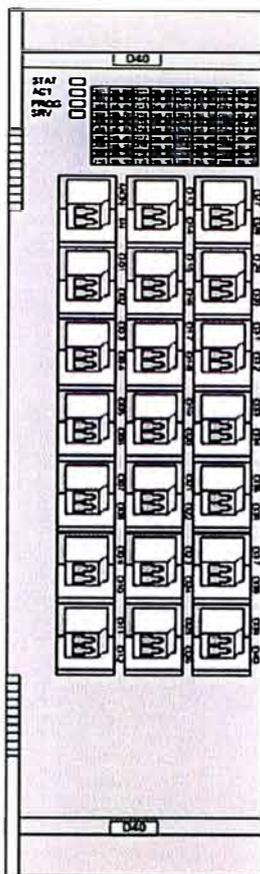


Figura N° 3.15 Vista frontal de la tarjeta D40

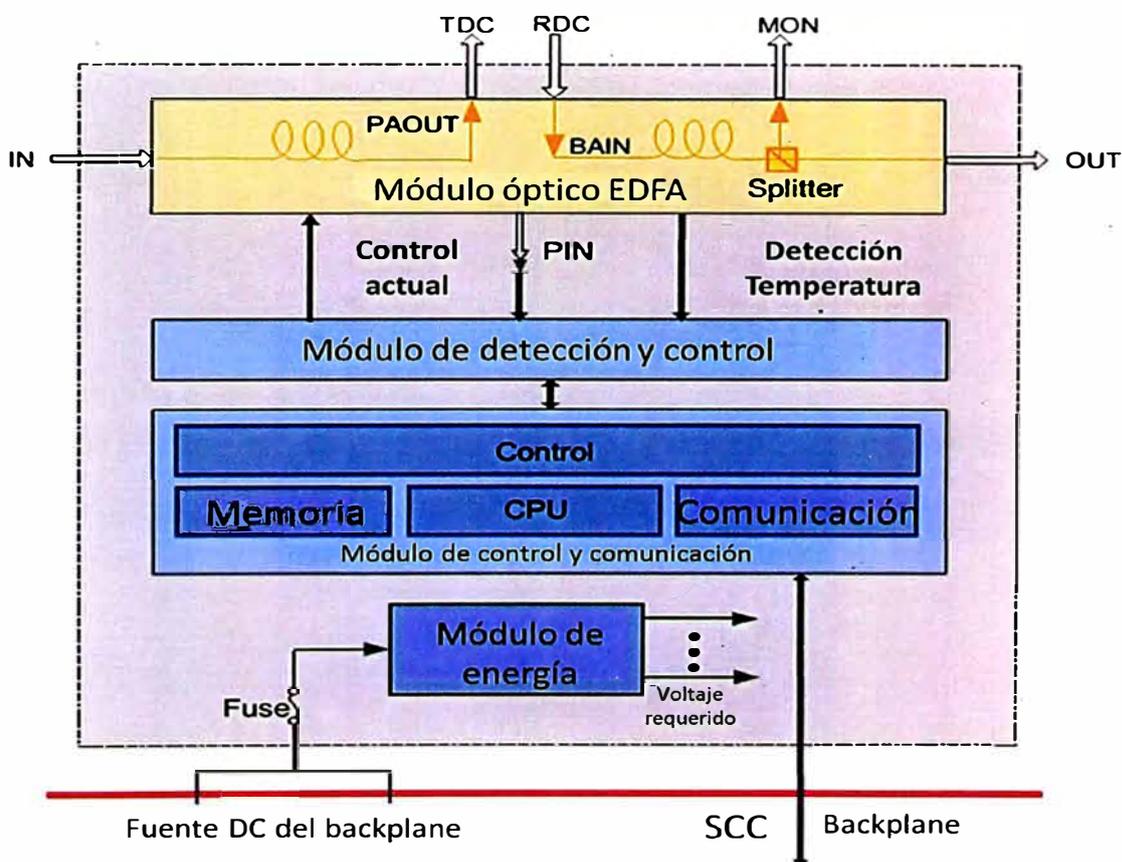


Figura N° 3.16 Módulos funcionales de la tarjeta amplificadora OAU1

La OAU1 (Ver Figura 3.16) consiste de un módulo óptico EDFA, un módulo de control y comunicación y un módulo de fuente de poder.

Un canal de señal óptica multiplexada es recibida en la interfaz IN; que a su vez es la entrada del módulo óptico EDFA. El EDFA amplifica la potencia óptica de la señal y luego se envía hacia el DCM (módulo de compensación de dispersión) por la interfaz TDC y retorna una vez más al EDFA a través de la interfaz RDC. Cabe resaltar que esta tarjeta amplificadora se usa en conjunto con un módulo de compensación de dispersión, que es una tarjeta independiente. Finalmente la señal amplificada va por la interfaz de salida OUT.

La vista frontal de la tarjeta en la Figura 3.17.

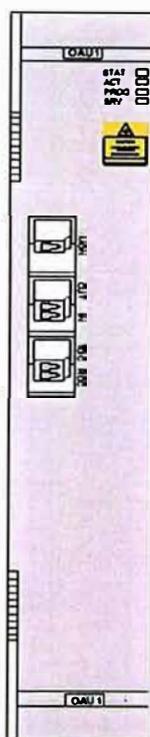


Figura N° 3.17 Vista frontal de la tarjeta OAU1

b. Unidad óptica booster (OBU1)

La tarjeta OBU1 tiene como principal función la amplificación las señales ópticas en la banda C. El rango de longitudes de onda que abarca va desde 1529 nm a 1561 nm. Con esto permite la transmisión de servicios a través de diferentes tramos de fibra sin regeneración eléctrica.

La OBU1; según la Figura 3.18; consiste de un módulo óptico EDFA, un módulo de control y comunicación y un módulo de fuente de poder. Una señal multiplexada puede ser recibida en la interfaz IN o en su defecto la potencia óptica puede ser ajustada previamente a través de la VOA (Variable Optical Attenuator), para finalmente ser amplificada. Parte de esta, puede ser utilizada para su monitoreo. La vista frontal de la tarjeta en la Figura 3.19.

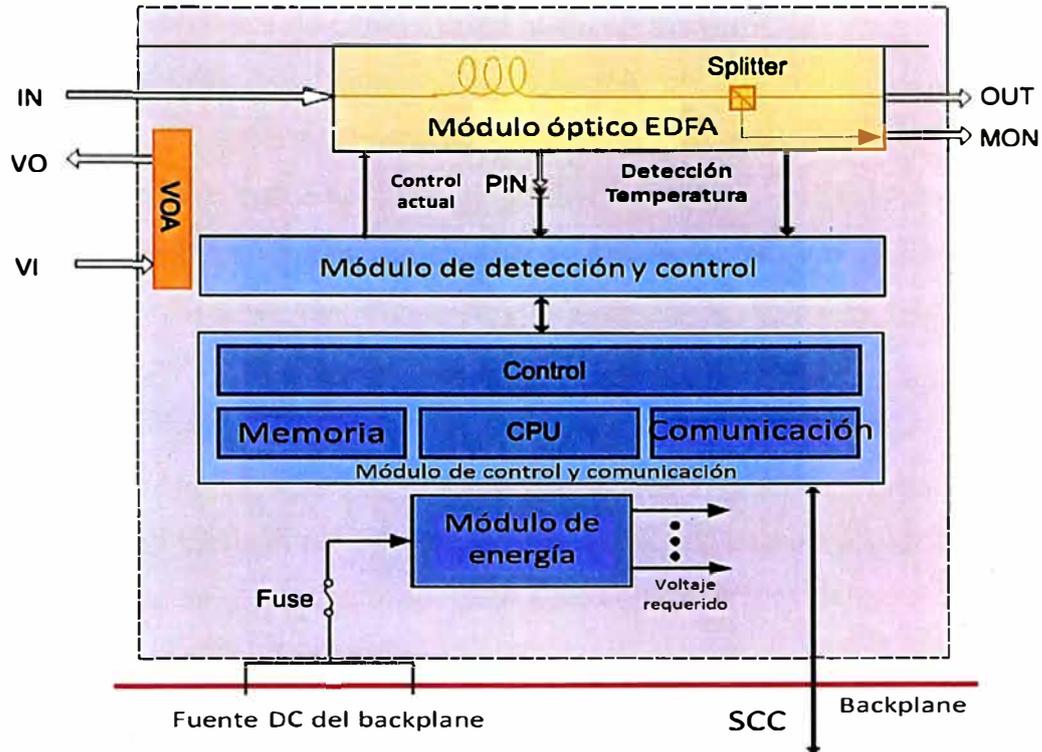


Figura N° 3.18 Módulos funcionales de la tarjeta amplificadora OBUI

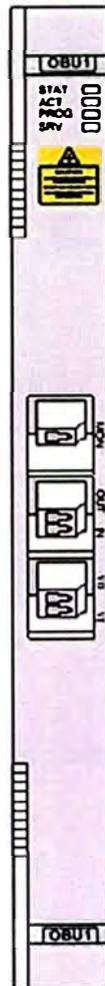


Figura N° 3.19 Vista frontal de la tarjeta OBUI

3.2.5. Unidad supervisora de canal óptico bi-direccional (SC2)

La tarjeta SC2 tiene como función básica recibir, procesar y transmitir dos señales de supervisión óptica. La señal de supervisión trabaja en 1550 nm.

En la Figura 3.20 se puede apreciar que la tarjeta consiste de un módulo receptor óptico, un módulo de transmisión óptico, un módulo codificador CMI (coded mark inversion), un módulo decodificador CMI, un módulo de comunicación y control, y módulo de fuente de poder.

El módulo receptor óptico convierte la señal de supervisión de la FIU en señales eléctricas. Estas señales entran al módulo procesador de encabezados después de ser decodificado por el CMI. El módulo procesador extrae los encabezados y los envía al SCC para su procesamiento. Luego de esto, el SCC envía las señales para ser codificadas en el CMI. Finalmente la señal de supervisión eléctrica es convertida en señales ópticas a través del módulo de transmisión.

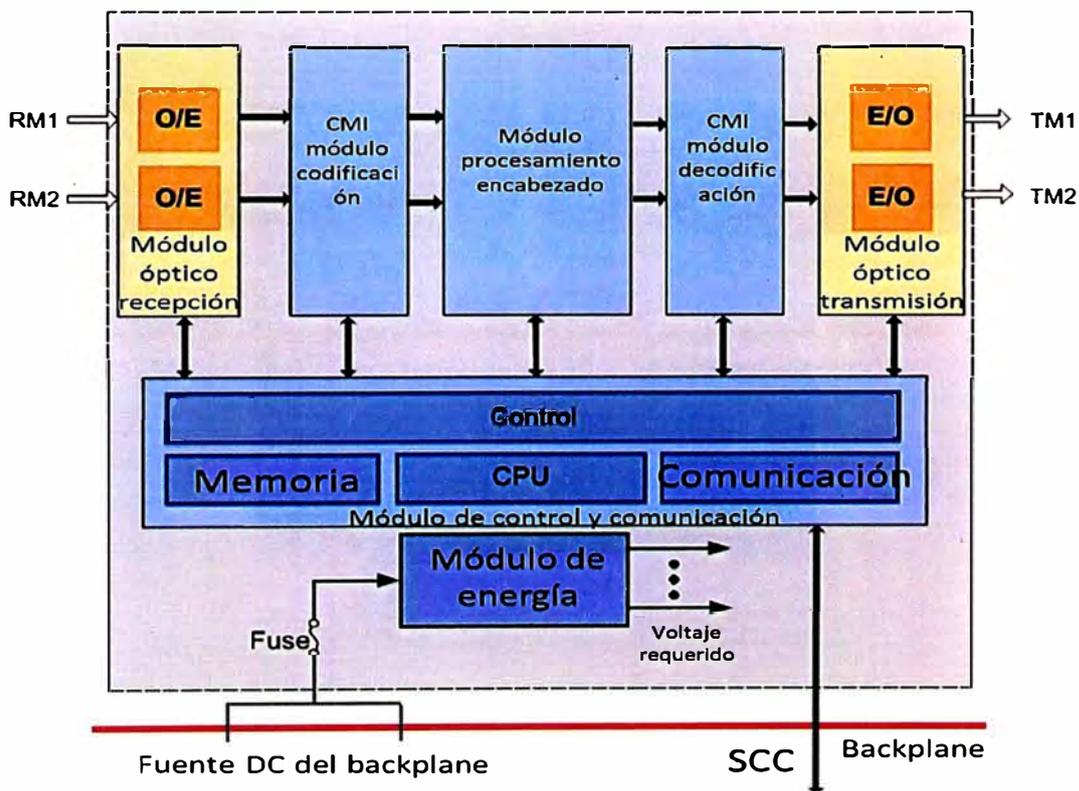


Figura N° 3.20 Módulos funcionales de la tarjeta SC2

La vista frontal de la tarjeta en la Figura 3.21.

3.2.6. Unidad de reloj centralizada (STG)

La tarjeta STG (Centralized Clock Board) se encarga de desactivar o bloquear la fuente de reloj de referencia y provee señales de reloj a todo el sistema de acuerdo a las normas ITU-T G.813 y ITU-T G.823.



Figura N° 3.21 Vista frontal de la tarjeta SC2

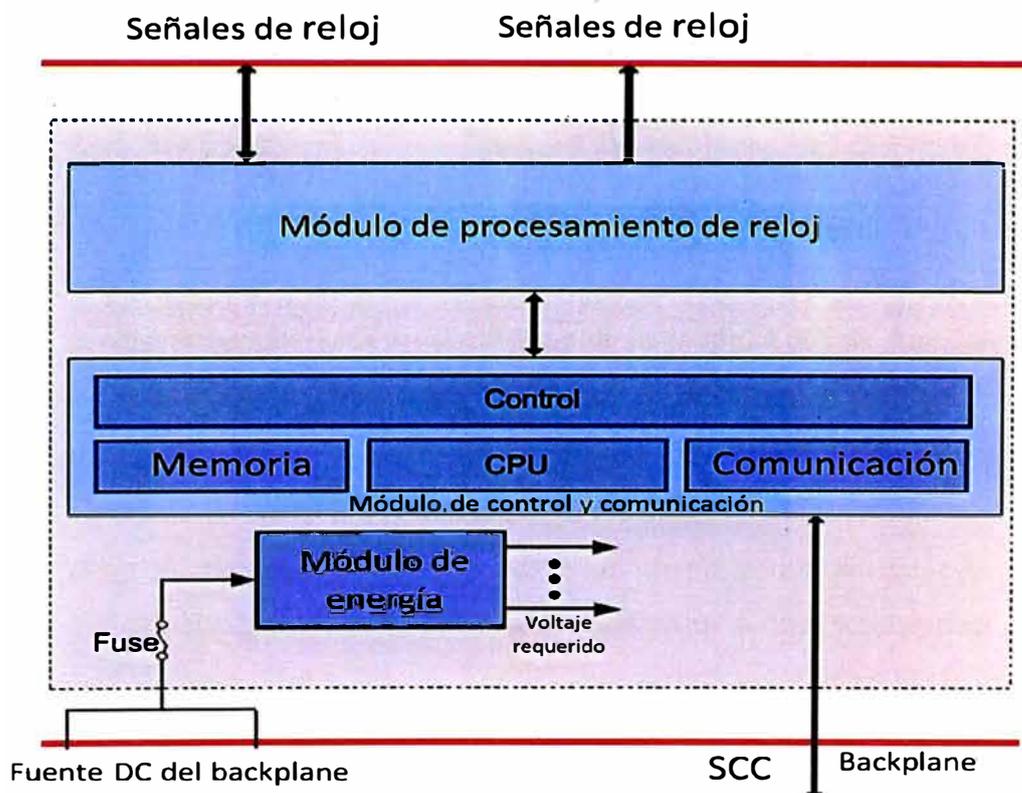


Figura N° 3.22 Módulos funcionales de la tarjeta de reloj STG

El sistema Optix OSN 8800 usa el sistema de protección 1+1 para este tipo de tarjeta. Cuando ambas están operando con normalidad una de ellas trabaja como la tarjeta activa y la otra como en modo stand by. Las tarjetas de servicio seleccionan la fuente de reloj de acuerdo al estatus de estas dos.

Cuando la STG activa falla, se realiza una conmutación y entra a trabajar la STG en stand by. La STG (Ver Figura 3.22) tiene un módulo de control y comunicación, y módulo de procesamiento de reloj.

La Figura 3.23 muestra la vista frontal de la tarjeta.

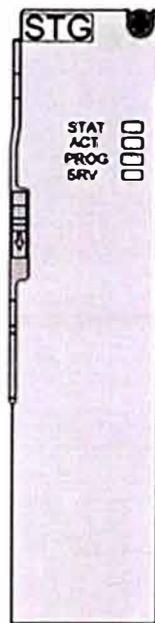


Figura N° 3.23 Vista frontal de la tarjeta STG

3.2.7. Unidad de compensación de dispersión (DCU)

Este tipo de tarjeta compensa la dispersión cromática acumulada en un sistema de transmisión óptica y comprime el pulso de la señal óptica. Esto permite que las señales transmitidas puedan ser restauradas en el extremo de la salida. Además cuando se usa junto con un amplificador óptico, se pueden implementar transmisiones de grandes distancias.

En la Figura 3.24 se observa que la DCU consiste de un módulo de compensación de dispersión, un módulo de control y comunicación, y un módulo de fuente de poder.

Con respecto al módulo de compensación de dispersión (DCM), esta emplea la dispersión negativa para compensar la dispersión positiva en la fibra y comprime el pulso de entrada de la señal óptica. Cabe señalar que la acumulación en el sistema de la dispersión produce un ensanchamiento en el pulso de la señal óptica, por lo que al comprimirla, la señal es restaurada a la señal original en el extremo de la salida.

La Figura 3.25 muestra la vista frontal de la tarjeta.

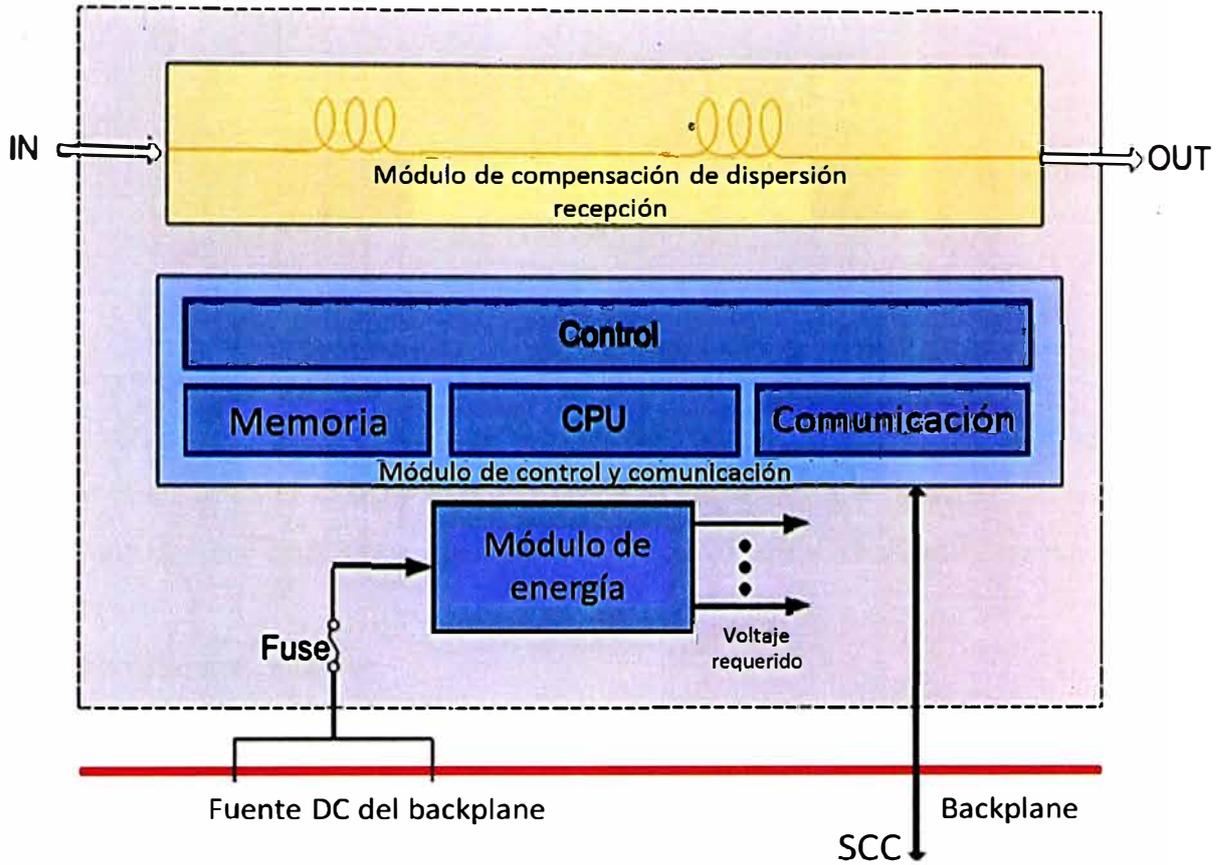


Figura N° 3.24 Módulos funcionales de la tarjeta DCU

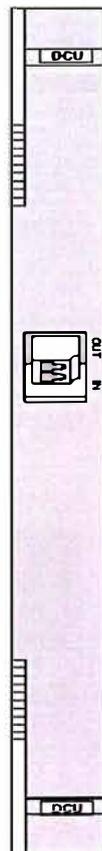


Figura N° 3.25 Vista frontal de la tarjeta DCU

CAPITULO IV ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Test realizado por componentes

Para el caso de las pruebas por componente, nos centraremos en el Nodo A; nodo principal ubicado en el distrito de Santiago de Surco. Estos test también fueron realizados en cada uno de los 4 nodos restantes que conforman el anillo de la red de transporte.

4.1.1. OTU

a. Sensitividad del receptor

- **Objetivo**

Verificar que la sensibilidad tanto en el lado del cliente como el lado WDM de la tarjeta OTU cumple con las especificaciones técnicas.

- **Diagrama de interconexión**

El diagrama topológico para la prueba se muestra en la Figura 4.1.

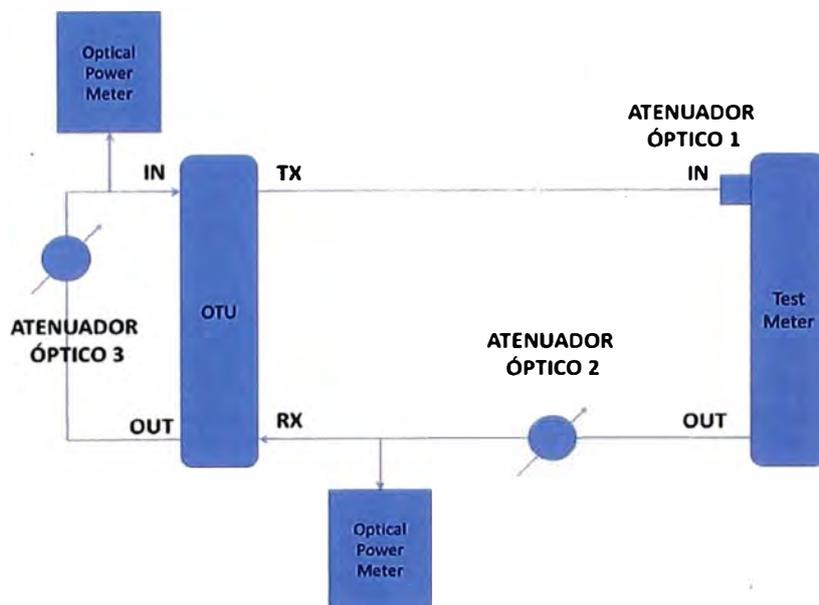


Figura N° 4.1 Diagrama de interconexión

- **Procedimiento**

- Ajustar el atenuador óptico 2 para incrementar gradualmente la atenuación de tal forma que la tasa de bits errados detectados por el Test Meter este muy cercana pero sin errores por 3 minutos.

- Remover la fibra del puerto de Rx y luego conectar la fibra al Optical Power Meter. La potencia óptica obtenida en el instrumento de medida es la sensibilidad del receptor en el lado del cliente.

- Reemplazar el atenuador óptico 3 por un atenuador óptico variable (VOA – Variable Optical Attenuator) y el atenuador óptico 2 por un atenuador óptico fijo de 10 dB (FOA – Fixed Optical Attenuator). Luego, incrementar la atenuación de los atenuadores ópticos de tal forma que la tasa de bits errados detectados por el Test Meter este muy cercana al límite pero sin errores por 3 minutos.

- Remover la fibra del puerto IN y luego conectar la fibra al Optical Power Meter. La potencia óptica obtenida es la sensibilidad del receptor en el lado WDM.

La Tabla N° 4.1, muestra el resumen de las mediciones de sensibilidad en el receptor para el Nodo A.

Tabla N° 4.1 Sensibilidad y sobrecarga de la OTU

Test				Sensibilidad y sobrecarga del receptor		
Nodo	Slot	Tipo de tarjeta	Canal o interfaz óptica	Valor esperado (dBm)	Resultado (dBm)	Conclusión
A	21	ND2	IN1	-16/0	-21.78/-0.90	OK
A	21	ND2	IN2	-16/0	-21.38/-0.64	OK
A	20	TOA	RX1	-19/-3 (GE)	-27.14/-4.21	OK
A	20	TOA	RX2	-19/-3 (GE)	-27.38/-4.21	OK
A	20	TOA	RX3	-19/-3 (GE)	-27.44/-4.21	OK
A	20	TOA	RX4	-18/0 (SDH)	-23.69/ 0.78	OK
A	20	TOA	RX5			No cuenta con eSFP
A	20	TOA	RX6			No cuenta con eSFP
A	20	TOA	RX7			No cuenta con eSFP
A	20	TOA	RX8			No cuenta con eSFP
A	35	ND2	IN1	-16/0	-22.76/-0.31	OK
A	35	ND2	IN2	-16/0	-20.59/-0.40	OK
A	36	TOA	RX1	-19/-3 (GE)	-26.77/-4.21	OK
A	36	TOA	RX2	-19/-3 (GE)	-28.06/-4.21	OK
A	36	TOA	RX3	-19/-3 (GE)	-27.77/-4.21	OK
A	36	TOA	RX4	-18/0 (SDH)	-23.77/ 0.78	OK
A	36	TOA	RX5			No cuenta con eSFP
A	36	TOA	RX6			No cuenta con eSFP
A	36	TOA	RX7			No cuenta con eSFP
A	36	TOA	RX8			No cuenta con eSFP

b. Longitud de onda central y desviación

• Objetivo

Verificar que la longitud de onda central de las señales ópticas a la salida del lado WDM cumple con las especificaciones técnicas.

- **Diagrama de interconexión**

El diagrama topológico para la prueba se muestra en la Figura 4.2. En este caso, el analizador de espectros se ubica en la interfaz de salida de la OTU o en su defecto de la tarjeta ND2.

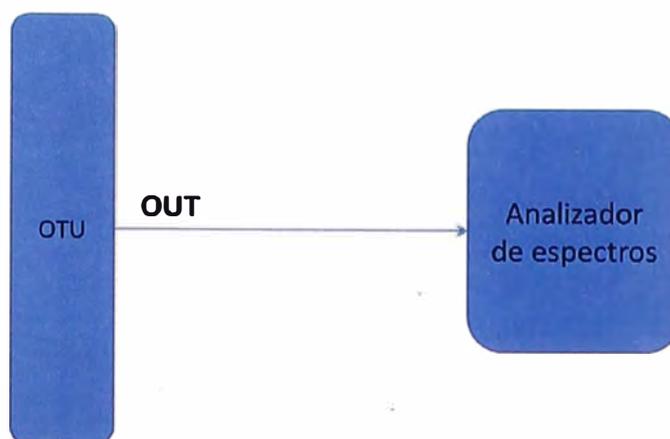


Figura N° 4.2 Diagrama de interconexión

- **Procedimiento**

- Configurar el escenario de prueba de acuerdo al diagrama previo y forzar el puerto OUT de la OTU para que emita luz. Encender el analizador de espectro óptico y una vez que este operativo, conectar las fibras a este.
- Calibrar el analizador de espectro de tal forma que el pico principal y los dos modos secundarios se muestren claramente y el modo principal sea visualizado en el medio de la pantalla.
- Revisar si es que la longitud de onda central visualizada está dentro del rango especificado.

La Tabla N° 4.2, muestra el resumen de las mediciones de longitud de onda central y desviación para el Nodo A.

Tabla N° 4.2 Longitud de onda central y desviación

Test				Longitud de onda central y desviación			
Nodo	Slot / Tipo de tarjeta	Canal o Interfaz óptica	Longitud de onda central / Frecuencia Central (nm /THz)	Resultado (nm/THz)	Desviación de frecuencia central (nm/GHz)	Desviación nominal de frecuencia central (GHz)	Conclusión
A	21 /ND2	OUT1	195.9	1530.326 nm / 195.9010 THz	1	±5	OK
A	21 /ND2	OUT2	196.0	1529.538 nm / 196.0020 THz	2	±5	OK
A	35 /ND2	OUT1	195,9	1530.325 / 195.9012 THz	1.2	±5	OK
A	35 /ND2	OUT2	196.0	1529.537 / 196.0021 THz	2.1	±5	OK

4.1.2. Ganancia de los amplificadores

a. Objetivo

Verificar que la ganancia de los amplificadores cumple con las especificaciones técnicas.

b. Diagrama de interconexión

El diagrama topológico para la prueba se muestra en la Figura 4.3.

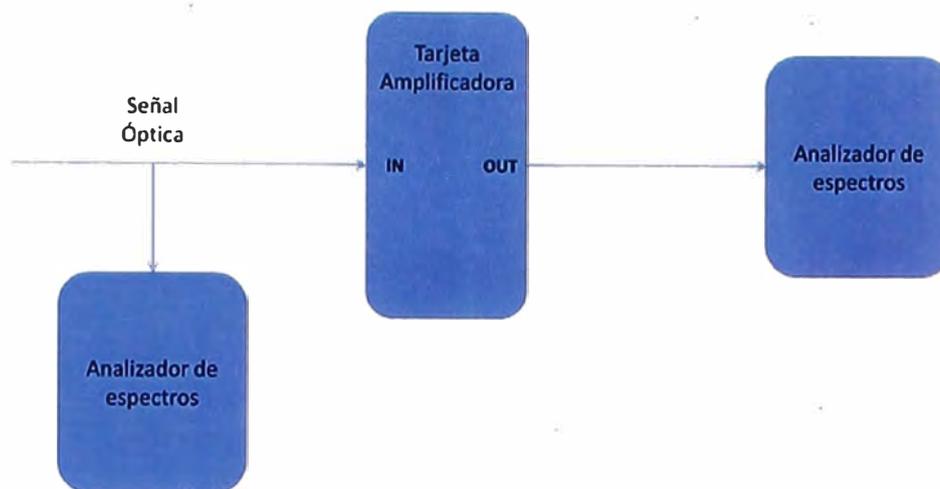


Figura N° 4.3 Diagrama de interconexión

c. Procedimiento

- Medir la potencia óptica de entrada P_{in} en la tarjeta amplificadora.
- Medir la potencia óptica a la salida P_{out} de la tarjeta amplificadora.
- La ganancia del amplificador resulta de la diferencia entre la potencia de salida P_{out} y la potencia de entrada P_{in} .

La Tabla N° 4.3, muestra las mediciones de ganancia de los amplificadores del Nodo A.

Tabla N° 4.3 Ganancia de los amplificadores

Test			Ganancia de los amplificadores					
Nodo	Slot	Tipo de tarjeta	Medidas				Conclusión	
			P_{IN} Esperada	P_{IN} (dBm)	P_{OUT} (dBm)	Ganancia		Ganancia esperada (dB)
A	05	OBU103	-32 ~ -19	-22.08	1.28	23.36	23	OK
A	27	OBU104	-32 ~ -17	-22.54	-5.62	16.92	17	OK
A	15	OAU101	-32 ~ 11	-22.15	-2.06	20.09	20 ~ 31	OK

4.1.3. Multiplexor óptico

a. Pérdidas de inserción en el multiplexor

• Objetivo

El cambio de la potencia óptica de las señales después de pasar a través del multiplexor óptico (M40V) cumple con las especificaciones técnicas.

- **Diagrama de interconexión**

El diagrama topológico para la pruebas de pérdida por inserción del MUX se muestra en la Figura 4.4.

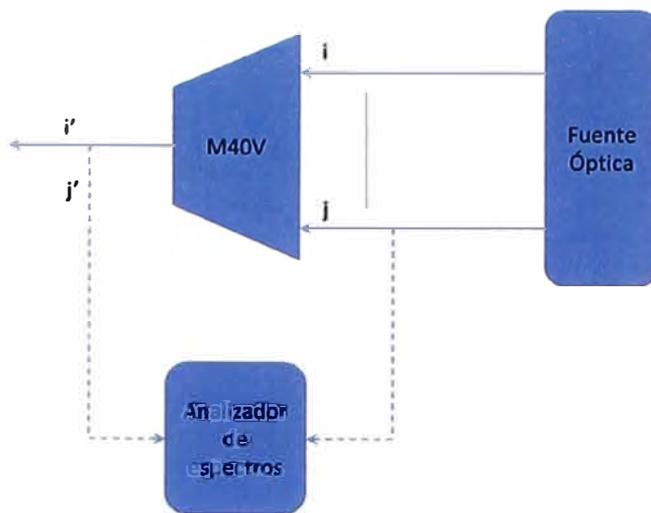


Figura N° 4.4 Diagrama de interconexión

- **Procedimiento**

- Usar un analizador de espectro óptico para medir la potencia óptica de salida de la fuente óptica (Potencia de entrada del MUX).
- Usar el analizador para medir la potencia óptica de salida del MUX.
- Calcular la diferencia entre la potencia de entrada y la potencia de salida de cada canal usando la Fórmula 4.1.

$$W(dB) = Wi(dBm) - Wi'(dBm) \quad (4.1)$$

La diferencia resulta la pérdida de inserción del canal i.

- Repetir el mismo procedimiento para medir la pérdida de inserción de cada uno de los otros canales (de i a j) y grabar los valores medidos.

Nota: Para esta prueba se configuró la atenuación del M40V al mínimo valor en todos los puertos.

En la Tabla N° 4.4 se muestran las mediciones de pérdida de inserción en el multiplexor del Nodo A.

b. Pérdidas de inserción de multiplexación en la tarjeta FIU

- **Objetivo**

Verificar que el cambio de la potencia óptica de las señales después de pasar a través de la tarjeta FIU cumple con las especificaciones técnicas.

- **Diagrama de interconexión**

El diagrama de configuración para medir la pérdida de inserción de la longitud de onda

multiplexada en base a la potencia de entrada de la señal óptica y la potencia de salida en la tarjeta FIU se puede observar en la Figura 4.5.

Tabla N° 4.4 Perdidas de inserción en el multiplexor

Test					Perdidas de inserción en el multiplexor					
Nodo	Slot	Tipo de tarjeta	Interfaz o canal óptico	Perdidas de inserción nominal (dB)	Medidas					Conclusión
					P_{IN}	P_{OUT} (At 0 dB)	Resultado (dB)	P_{OUT} (At 15 dB)	Resultado (dB)	
A	03	M40V	M01	≤ 8	-0.83	-7.21	6.38	-22.37	15.16	OK
A	03	M40V	M02	≤ 8	-0.88	-6.82	5.94	-22.15	15.33	OK
A	03	M40V	M03	≤ 8	-0.79	-7.00	6.21	-22.11	15.11	OK
A	03	M40V	M04	≤ 8	-1.28	-6.96	5.68	-22.18	15.22	OK
A	03	M40V	M05	≤ 8	-1.10	-7.00	5.9	-22.51	15.51	OK
A	03	M40V	M06	≤ 8	-0.80	-6.88	6.08	-22.17	15.29	OK
A	03	M40V	M07	≤ 8	-0.66	-6.69	6.03	-21.96	15.27	OK
A	03	M40V	M08	≤ 8	-0.93	-7.39	6.46	-22.63	15.24	OK
A	03	M40V	M09	≤ 8	-0.81	-7.44	6.63	-22.88	15.44	OK
A	03	M40V	M10	≤ 8	-0.85	-6.87	6.02	-21.93	15.06	OK

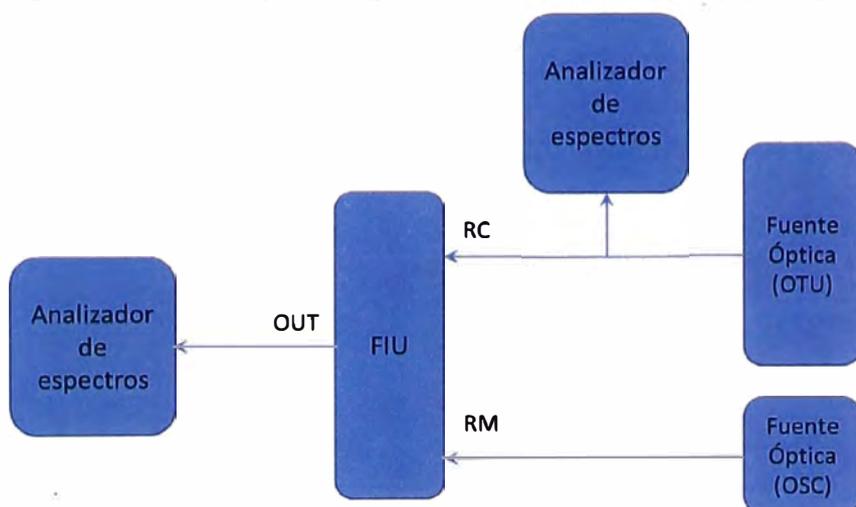


Figura N° 4.5 Diagrama de interconexión

• Procedimiento

- Usar un analizador de espectro óptico para medir la potencia óptica de salida P_{out} del puerto OUT de la tarjeta FIU y grabar el resultado. Luego conecte la fuente óptica al puerto RC.
- Usar el analizador de espectros para medir la potencia óptica P_{rc} en el puerto RC y grabar el resultado.
- Restar la P_{out} (dBm) de la P_{rc} (dBm) y el valor P (dB) es la pérdida del canal RC. Esta pérdida corresponde a la pérdida de inserción del canal RC.
- Repetir el mismo procedimiento para medir la pérdida de inserción del canal RM y tomar nota de los resultados.

En la Tabla N° 4.5 se muestran las mediciones de pérdida de inserción en la tarjeta multiplexora FIU del Nodo A.

Tabla N° 4.5 Pérdidas de inserción en el multiplexor FIU

Test					Pérdidas de inserción en el multiplexor				
Nodo	Slot	Tipo de tarjeta	Interfaz o canal óptico	Pérdidas de inserción nominal (dB)	Medidas			Conclusión	
					P _{IN} (dBm)	P _{OUT} (dBm)	Resultado (dB)		
A	07	FIU	RM1	≤ 1.5	-2.26	-2.72	0.46	OK	
A	07	FIU	RC1	≤ 1	-13.77	-14.10	0.33	OK	
A	12	FIU	RM1	≤ 1.5	-2.26	-3.13	0.87	OK	
A	12	FIU	RC1	≤ 1	-13.77	-14.01	0.24	OK	

4.1.4. Demultiplexor óptico

a. Pérdidas de inserción en el demultiplexor

- **Objetivo**

El cambio de la potencia óptica de las señales después de pasar a través del demultiplexor óptico (DMUX) cumple con las especificaciones técnicas.

- **Diagrama de interconexión**

En la Figura 4.6 se ve el diagrama para testear las pérdidas por inserción del DMUX.

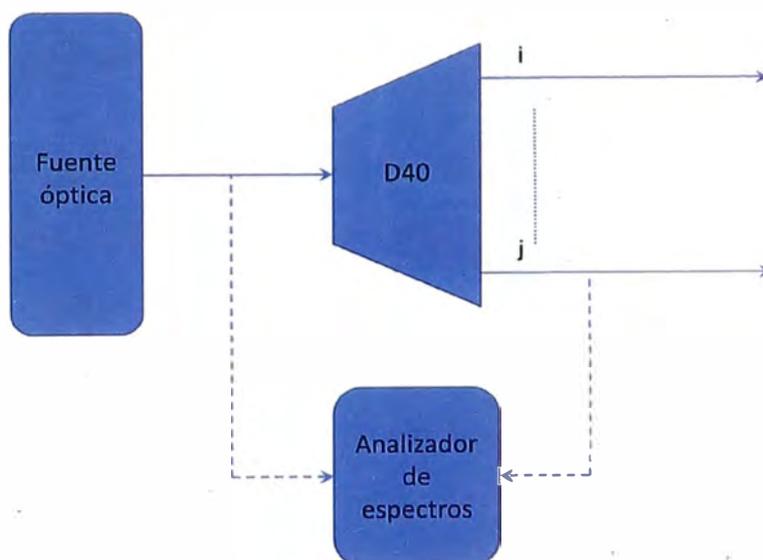


Figura N° 4.6 Diagrama de interconexión

- **Procedimiento**

- Usar un analizador de espectro óptico para medir la potencia óptica de salida W_j' del canal j' de la fuente óptica y grabar el resultado.
- Usar el analizador para medir la potencia óptica de salida W_j del canal j del DMUX y grabar el resultado.
- Calcular la diferencia entre la potencia de entrada y la potencia de salida de cada canal usando la Fórmula 4.2.

$$W(\text{dB}) = W_j(\text{dBm}) - W_j'(\text{dBm}) \quad (4.2)$$

La diferencia resulta la pérdida de inserción del canal j.

-Repetir el mismo procedimiento para medir la pérdida de inserción de cada uno de los otros canales (de i a j) y grabar los valores medidos.

En la Tabla N° 4.6 se ven las mediciones de pérdidas en el demultiplexor del Nodo A.

Tabla N° 4.6 Pérdidas de inserción en el demultiplexor

Test					Pérdidas de inserción en el demultiplexor			
Nodo	Slot	Tipo de tarjeta	Interfaz o canal óptico	Pérdidas de inserción nominal (dB)	Medidas			Conclusión
					P _{IN} (dBm)	P _{OUT} (dBm)	Resultado (dB)	
A	01	TN12D40	D01	≤ 6.5	0.13	-5.39	5.52	OK
A	01	TN12D40	D02	≤ 6.5	-1.24	-5.36	4.12	OK
A	01	TN12D40	D03	≤ 6.5	-0.90	-5.24	4.34	OK
A	01	TN12D40	D04	≤ 6.5	-0.90	-5.34	4.44	OK
A	01	TN12D40	D05	≤ 6.5	-1.08	-5.43	4.35	OK
A	01	TN12D40	D06	≤ 6.5	-0.81	-5.32	4.51	OK
A	01	TN12D40	D07	≤ 6.5	-0.78	-5.06	4.28	OK
A	01	TN12D40	D08	≤ 6.5	-0.91	-5.32	4.41	OK
A	01	TN12D40	D09	≤ 6.5	-0.79	-5.34	4.55	OK
A	01	TN12D40	D10	≤ 6.5	-0.83	-5.31	4.48	OK

b. Pérdidas de inserción de demultiplexación en la tarjeta FIU

- **Objetivo**

Verificar que el cambio de la potencia óptica de las señales después de pasar a través de la tarjeta FIU cumple con las especificaciones técnicas.

- **Diagrama de interconexión**

El diagrama de configuración para medir la pérdida de inserción de la longitud de onda demultiplexada en base a la potencia de entrada y la potencia de salida en la FIU se puede observar en la Figura 4.7.

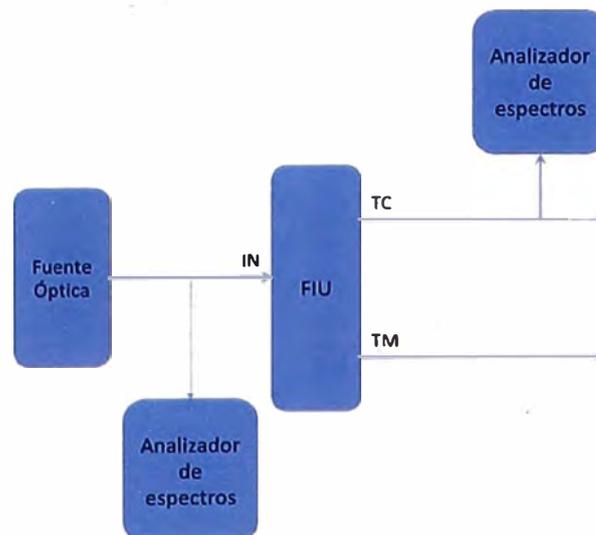


Figura N° 4.7 Diagrama de interconexión

- **Procedimiento**

- Usar un analizador de espectro óptico para medir la potencia óptica de salida del puerto IN (de la fuente óptica) y grabar el resultado.

- Usar el analizador de espectro para medir la potencia óptica P_{tc} en el puerto TC y grabar el resultado.

- Restar la P_{tc} (dBm) de la P_{IN} (dBm) y el valor P (dB) es la pérdida del canal TC. Esta pérdida corresponde a la pérdida de inserción del canal TC.

- Repetir el mismo procedimiento para medir la pérdida de inserción del canal TM y tomar nota de los resultados.

En la Tabla N° 4.7 se muestran las mediciones de pérdida de inserción en la tarjeta demultiplexora FIU del Nodo A.

Tabla N° 4.7 Pérdidas de inserción en el demultiplexor FIU

Test					Pérdidas de inserción en el demultiplexor			
Nodo	Slot	Tipo de tarjeta	Interfaz o canal óptico	Pérdidas de inserción nominal (dB)	Medidas			Conclusión
					P_{IN} (dBm)	P_{OUT} (dBm)	Resultado (dB)	
A	07	FIU	TM1	≤ 1.5	-2.26	-2.96	0.70	OK
A	07	FIU	TC1	≤ 1	-13.56	-13.90	0.34	OK
A	12	FIU	TM1	≤ 1.5	-2.26	-2.76	0.50	OK
A	12	FIU	TC1	≤ 1	-13.56	-13.84	0.28	OK

4.1.5. Pérdidas de inserción por compensación de dispersión cromática

a. Objetivo

Verificar que las pérdidas de inserción cumplen con las especificaciones indicadas en los manuales técnicos.

b. Diagrama de interconexión

El diagrama de configuración para medir la pérdida de inserción en la tarjeta DCU en base a la potencia de entrada y la potencia de salida, es el mostrado en la Figura 4.8.

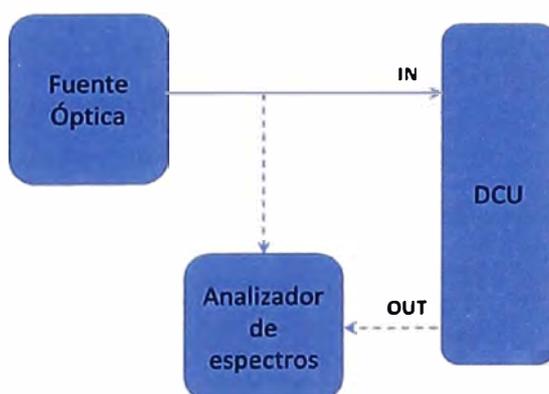


Figura N° 4.8 Diagrama de interconexión

c. Procedimiento

- Usar el Power Meter para medir la potencia óptica de salida del puerto Pin de la fuente óptica y grabar el resultado.
- Usar el Power Meter para medir la potencia óptica Pout a la salida de puerto de la tarjeta DCU y grabar el resultado.
- Restar la Pout (dBm) de la Pin (dBm) y el valor obtenido es la pérdida de inserción correspondiente a la tarjeta DCU.

La Tabla N° 4.8 resume las mediciones de pérdida de inserción en la tarjeta DCU del Nodo A.

Tabla N° 4.8 Pérdidas de inserción por compensación de dispersión cromática

Test				Pérdidas de inserción			
Nodo	Slot	Tipo de tarjeta	Pérdidas de inserción nominal (dB)	Medidas			Conclusión
				P _{IN} (dBm)	P _{OUT} (dBm)	Resultado (dB)	
A	06	DCU01	3.3	-10.57	-13.00	2.43	OK
A	08	DCU01	3.3	-10.57	-13.15	2.58	OK
A	14	DCU01	3.3	-10.57	-13.20	2.37	OK

4.2 Test de enlaces

Las pruebas descritas a continuación se llevaron a cabo para cada uno de los tramos de la topología en anillo conformada por los 5 nodos (A, B, C, D y E). Sin embargo, en este capítulo se detallarán solo los test realizados para el tramo Nodo A – Nodo B comprendidos entre los distritos de Santiago de Surco y Miraflores con una distancia de 43 Km.

4.2.1. Validación de conmutación de servicios

Inicialmente se realizó la verificación del estado de las lambdas existentes para luego pasar a la conmutación de los servicios Gigabitethernet de uno de los tramos del anillo CWDM a la ruta de respaldo. Una vez confirmado el correcto estado de estos servicios se realizó la conmutación de los servicios STM-16, los cuales también fueron verificados.

4.2.2. Implementación de escenario de prueba

Se realizaron loops físicos en un extremo del tramo de tal forma que se puedan realizar las pruebas de BER a nivel STM-16 y las pruebas a nivel Gigabitethernet.

En el lado del Nodo B, se tienen un loop para el tráfico STM-16 y dos loops para el tráfico Gigabitethernet según la Figura 4.9.

En el lado del Nodo A se conectarán los analizadores STM-16 y Gigabitethernet en los puertos asignados, según la Figura 4.10.

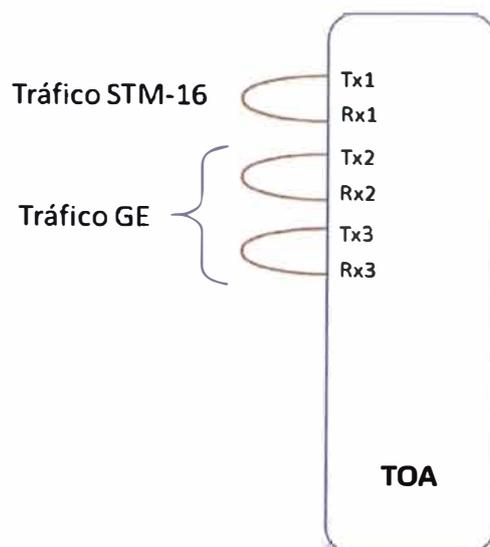


Figura N° 4.9 Loops físicos en la tarjeta TOA

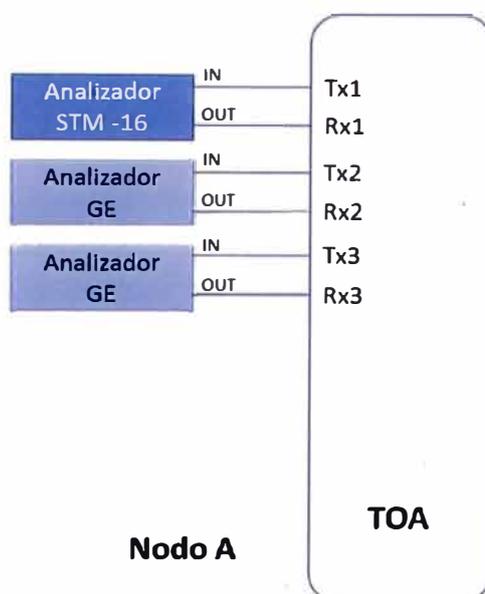


Figura N° 4.10 Analizadores STM -16 & Gigabitethernet

Posterior a estos loops, se verificó que las cross-conexiones se encuentren realizadas según la predisposición de los puertos asignados y los servicios que pasarán por el enlace. Se realizó una inspección de la configuración de los puertos y validó que los equipos analizadores cuenten con la misma configuración.

El tráfico STM-16 proveniente de la interfaz tributaria Tx1/Rx1 de la TOA es cross-conectado a un canal ODU1, el cual será enviado a través de $\lambda 2$. El tráfico correspondiente a las dos interfaces Gigabitethernet de las interfaces tributarias Tx2/Rx2 y Tx3/Rx3 son mapeados a través de dos canales ODU0 y transportadas por $\lambda 1$. La misma configuración de cross-conexión se realizó del Nodo B al Nodo A y viceversa.

En las Figura 4.11 y 4.12 se podrán observar el nivel al cual se deben realizar las cross-conexiones entre la TOA y la ND2.

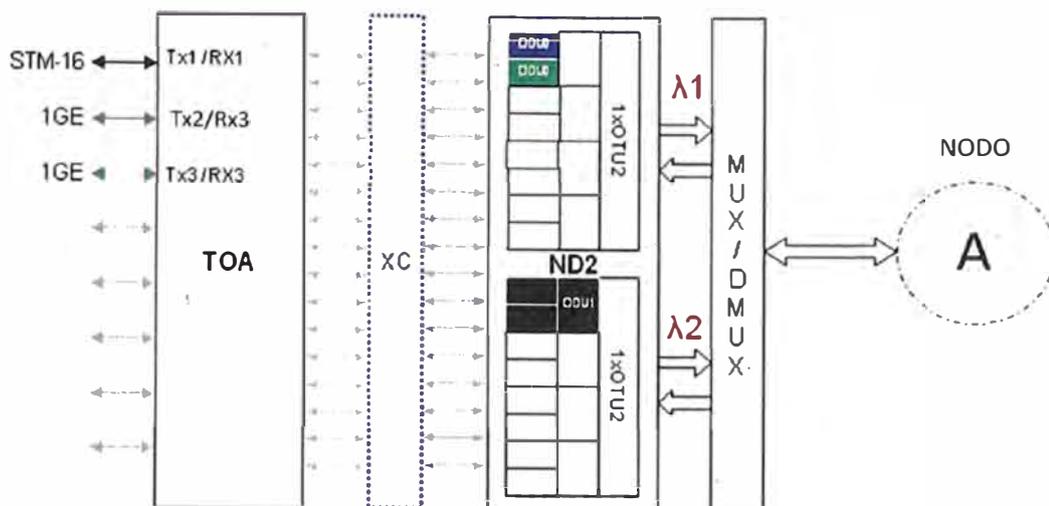


Figura N° 4.11 Cross-conexiones en el Nodo B

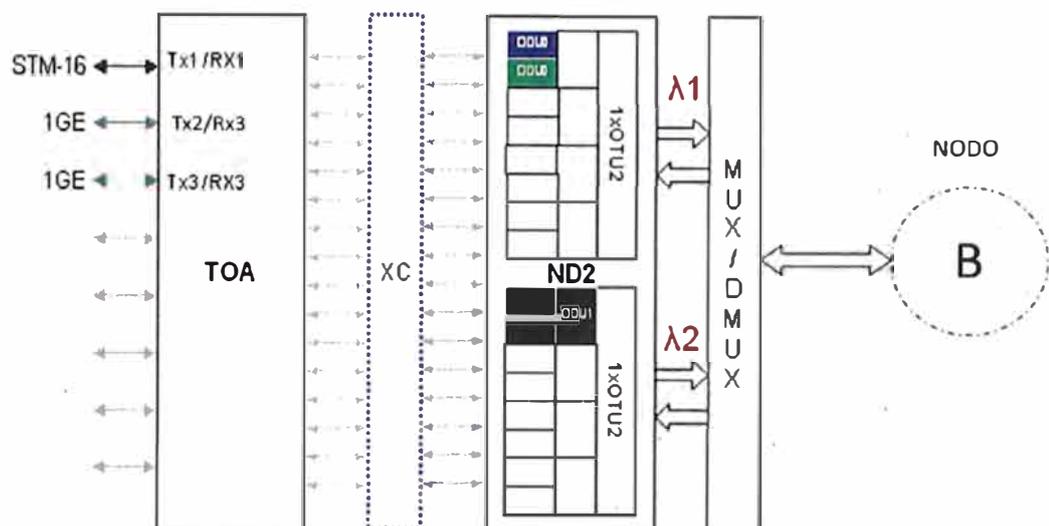


Figura N° 4.12 Cross-conexiones en el Nodo A

Los parámetros que se tomaron en cuenta son los mostrados en la Tabla N° 4.9.

Tabla N° 4.9 Parámetros en consideración para las pruebas de conmutación de servicios

Nodo A		Enlace DWDM	Nodo B	
Puertos	OSN 8800		OSN 8800	Puertos
TX1 / RX1	TOA	Lambda 2	ND2	TX1 / RX1
TX2 / RX2	SLOT 20	195.9 THz	SLOT 35	TX2 / RX2
TX3 / RX3	ND2	Lambda 1	(IN1 /	TX3 / RX3
TX4 / RX4	(IN1 /	196.0 THz	OUT1)	TX4 / RX4
	OUT1)		SLOT 36	

Configuración Tarjeta TOA Nodo A

Configuración Tarjeta TOA Nodo B

Puerto	Parámetro	Value
TX1 / RX1	Service Type	STM-16
	Max. Packet Length	---
	Ethernet Working Mode	---
	Port Working Mode	Any -> ODU1
TX2 / RX2	Service Type	GE
	Max. Packet Length	9600
	Ethernet Working Mode	Auto-Negotiation
	Port Working Mode	Any -> ODU0
TX3 / RX3	Service Type	GE
	Max. Packet Length	9600
	Ethernet Working Mode	Auto-Negotiation
	Port Working Mode	Any -> ODU0

Value	Parámetro	Puerto
STM-16	Service Type	TX1 / RX1
---	Max. Packet Length	
---	Ethernet Working Mode	
Any -> ODU1	Port Working Mode	
GE	Service Type	TX2 / RX2
9600	Max. Packet Length	
Auto-Negotiation	Ethernet Working Mode	
Any -> ODU0	Port Working Mode	
GE	Service Type	TX3 / RX3
9600	Max. Packet Length	
Auto-Negotiation	Ethernet Working Mode	
Any -> ODU0	Port Working Mode	

A modo de descartar de algún tipo de problema interno en el equipamiento se conectó un VOA en las tarjetas FIU (ver Figura 4.13), configurando el valor de estas a la atenuación contemplada en el diseño, a fin de simular la planta externa. Bajo esta configuración se dejó corriendo una prueba de BER por 15 minutos. Los resultados fueron exitosos.

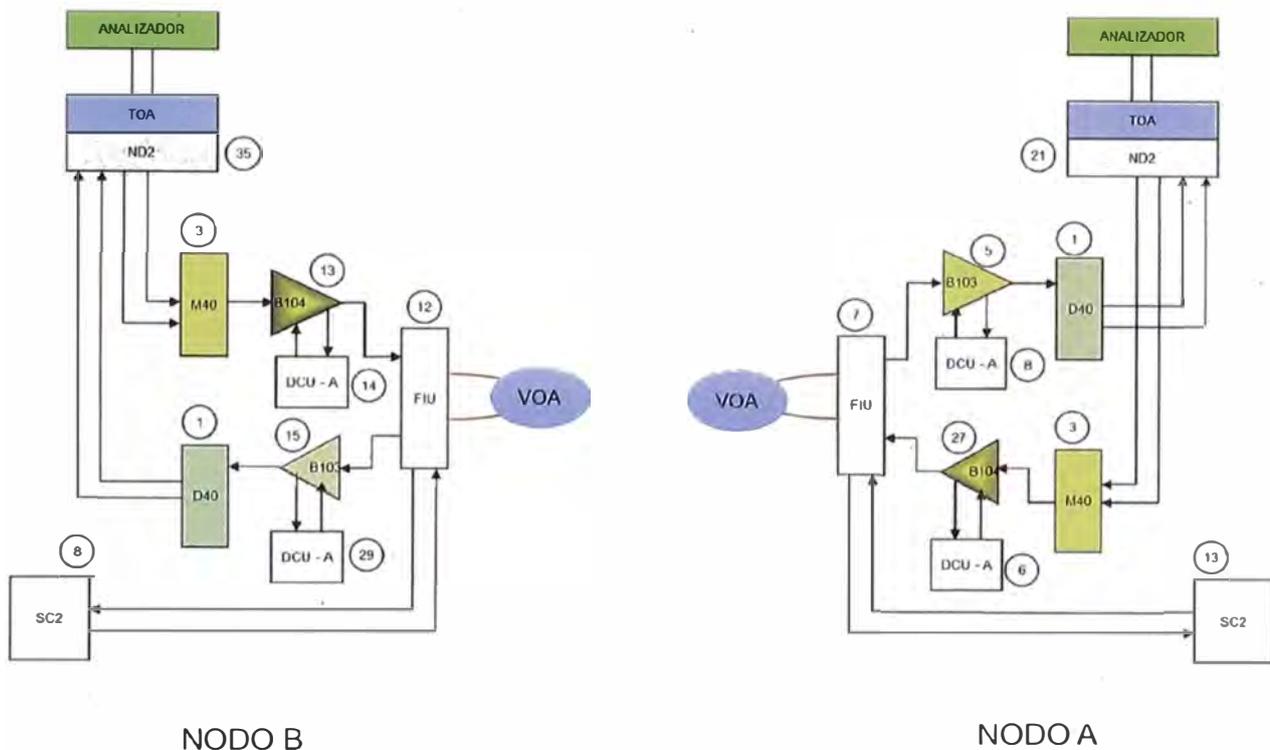


Figura N° 4.13 Diagrama de interconexión usando VOAs para simular planta externa

4.2.3. Conexión a la red DWDM

Una vez que se realizó la conmutación de servicios al enlace de respaldo y preparado el escenario de pruebas, se procedió a la desconexión de las fibras provenientes de planta externa y pertenecientes a los equipos CWDM para conectarlas al nuevo sistema DWDM (equipos Optix OSN 8800).

Se midió los valores de atenuación de la fibra óptica de planta externa, los valores en las Tablas N° 4.10 y 4.11.

Luego se calibraron las potencias en ambas direcciones, se revisó la potencia en los puertos de recepción y uso de los atenuadores fijos necesarios.

NOTA: El valor medido debe estar por debajo al valor de diseño.

Tabla N° 4.10 Sentido Nodo A – Nodo B

Parámetros	Valor de diseño	Medición 2009	Medición 2013	
			Lambda 1	Lambda 2
Atenuación	14.83	10.63	8.59	8.66
OSNR	32.198	-	31.49	31.46

Tabla N° 4.11 Sentido Nodo B – Nodo A

Parámetros	Valor de diseño	Medición 2009	Medición 2013	
			Lambda 1	Lambda 2
Atenuación	14.83	10.63	9.47	9.43
OSNR	32.198	-	31.35	31.31

Los puntos de medición para la atenuación son en los puertos de la FIU, mientras que el OSNR debe ser medido a la salida de los amplificadores de recepción.

Las mediciones se realizaron en orden secuencial, empezando en la dirección Nodo B - Nodo A y viceversa. Las Tablas N° 4.12 y 4.13; que muestran las mediciones de potencia y OSNR; se completaron teniendo como referencia el diagrama mostrado en la Figura 4.15.

4.2.4. Pruebas de BER

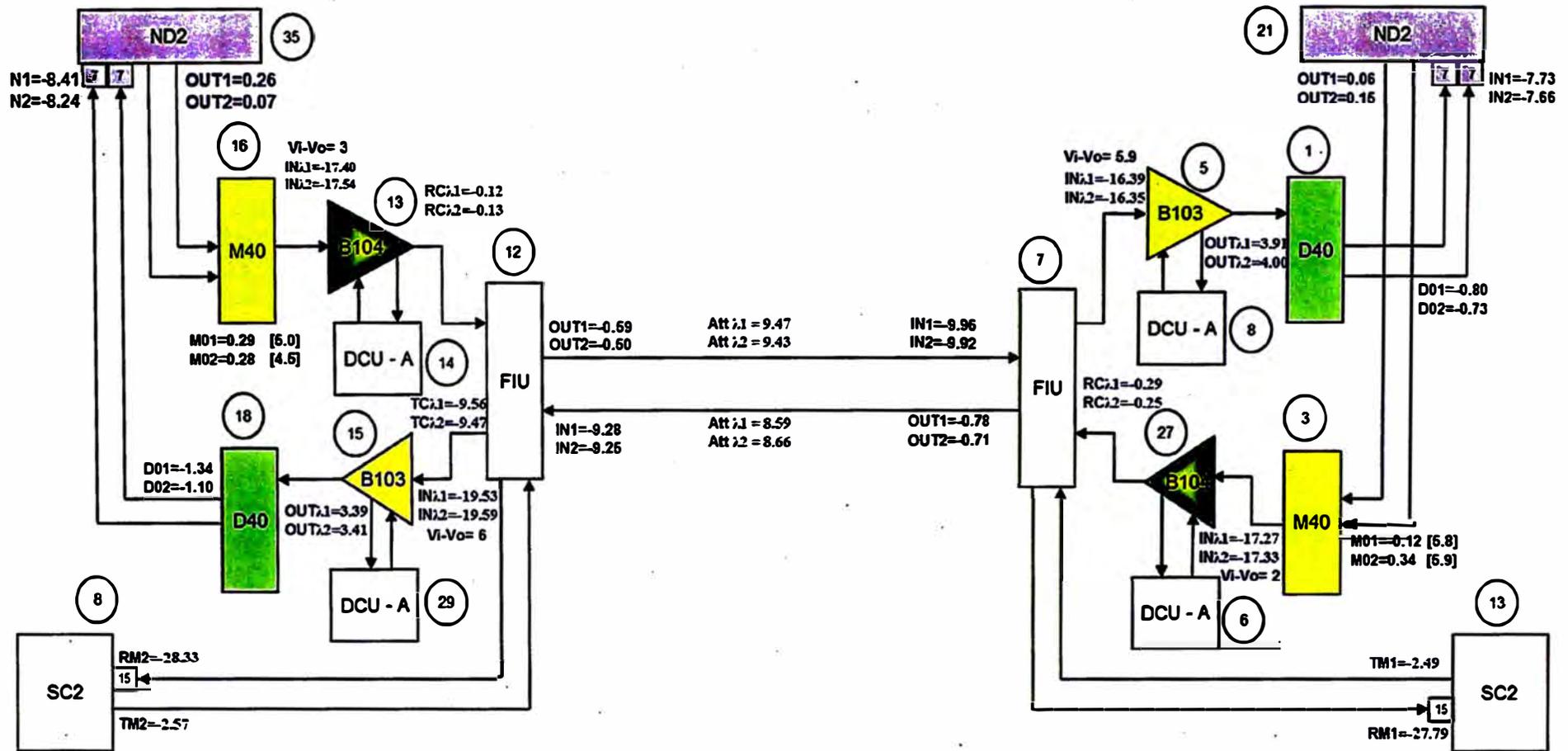
Las pruebas de BER se realizaron a nivel Gigabitethernet y STM-16 por un periodo mayor o igual a 3 horas para poder garantizar que la calidad del enlace sea óptima.

4.2.5. Finalización de las pruebas

Se volvieron a conectar las fibras a los equipos CWDM, conmutando los servicios Gigabitethernet y STM-16 a su estado original y verificando el correcto estado de estos. Estas pruebas se repitieron por cada tramo para descartar inconvenientes referentes a planta externa y al equipamiento DWDM. Una vez finalizada esta etapa se programó la migración.



Figura N° 4.14 Izquierda: Entrega de equipo Optix OSN 8800 – Derecha: Optix OSN 8800 instalado en el Nodo A



Nodo B

Nodo A

Figura N° 4.15 Diagrama de interconexión del tramo Nodo B – Nodo A

Tabla N° 4.12 Resumen de mediciones en el Nodo B

Tarjeta	Slot	Puerto	At. (dB)	Potencia esperada (dBm)	Margen de tolerancia	Potencia Medida (dBm)		OSNR (dB)		Observaciones
						Lambda 1 = 196.00 THz	Lambda 2 = 195.90 THz	Lambda 1 = 196.00 THz	Lambda 2 = 195.90 THz	
ND2	35	IN1	7	-2.5	±4	-1.53/ -8.41	-	37.32/ 37.33	-	Sin atenuador Con aten. de 7dB
		OUT1	---	0.5	±2	0.26	-	50.17	-	---
		IN2	7	-2.5	±4	-	-1.04/ -8.24	-	37.84/ 37.82	Sin atenuador Con aten. de 7dB
		OUT2	---	0.5	±2	-	0.07	-	50.83	---
DCU(A)	14	IN	---	-13,7	±5	-14.40	-14.54	52.88	51.70	---
		OUT	---	-17	±1	-17.16	-17.17	51.70	50.31	---
OBU104	13	Vi	3.0	-10.2	±4	-11.19	-11.34	52.37	51.22	---
		Vo		-13,7	±1	-14.11	-14.21	52.31	51.48	---
		IN	---	-17	±1	-17.40	-17.54	51.41	51.07	---
		OUT	---	0	±0.5	-0.11	-0.11	35.59	35.46	---
M40V	16_17	M01	5.00	0.5	±2	0.29	-	50.21	-	---
		M02	4.50	0.5	±2	-	0.28	-	50.68	---
FIU	12	RC	---	0	±4	-0.12	-0.13	35.63	35.52	---
		OUT	---	-1	±4	-0.59	-0.60	35.57	35.45	---
		IN	---	-15.5	±4	-9.28	-9.25	35.79	35.70	Atenuación del medio es menor que la de diseño
		TC	---	-16.5	±4	-9.56	-9.47	35.74	35.72	Atenuación del medio es menor que la de diseño
		RM	---	-2.0	±5	-2.53		48.18		Canal de supervisión 1510nm
		TM	---	-19.33	±5	-12.99		50.83		Canal de supervisión 1510nm
OBU103	15	Vi	6	-16.5	±4	-10.22	-10.18	35.75	35.68	---
		Vo		-18	±2	-15.51	-15.46	35.75	35.70	---
		IN	---	-20.5	<-19	-19.53	-19.59	35.81	35.63	---
		OUT	---	1.5	<4	3.39	3.41	31.35	31.31	---
DCU(A)	29	IN	---	-18	±2	-16.23	-16.18	35.72	35.64	---
		OUT	---	-20.5	<-19	-19.24	-19.23	35.75	35.60	---
D40	18_19	D01	---	-2.5	±4	-1.34	-	37.28	-	---
		D02	---	-2.5	±4	-	-1.10	-	37.76	---
SC2	8	TM2	---	-2.0	±5	-2.57		48.62		Canal de supervisión 1510nm
		RM2	15	-19.33	±5	-13.03 / -28.33		51.12 / 43.93		Sin atenuador Con aten. de 15dB

NOTA: Las mediciones fueron realizadas con una OSA (Optical Spectrum Analyzer o Analizador de Espectro Óptico). Solo para el caso de las tarjetas ND2 y SC2 se usó atenuadores externos fijos. Para el caso de las tarjetas OBU104, 103 y M40V la atenuación de las señales se generó con los atenuadores variables integrados VOA que estos poseen.

Tabla N° 4.13 Resumen de mediciones en el Nodo A

Tarjeta	Slot	Puerto	At. (dB)	Potencia esperada (dBm)	Margen de tolerancia	Potencia Medida (dBm)		OSNR (dB)		Observaciones
						Lambda 1 = 195.00 THz	Lambda 2 = 195.00 THz	Lambda 1 = 195.00 THz	Lambda 2 = 195.00 THz	
ND2	21	IN1	7	-2.5	±4	-0.82 / -7.73	-	37.87 / 37.86	-	Sin atenuador Con aten. de 7dB
		OUT1	---	0.5	±2	0.06	-	49.50	-	--
		IN2	7	-2.5	±4	-	-0.68 / -7.66	-	37.88 / 37.89	Sin atenuador Con aten. de 7dB
		OUT2	---	0.5	±2	-	0.15	-	49.98	--
DCU(A)	6	IN	---	-13,7	±5	-14.63	-14.71	48.89	47.82	--
		OUT	---	-17	±1	-17.11	-17.19	48.60	46.94	--
OBU104	27	Vi	2.0	-10.2	±4	-12.34	-12.38	48.79	48.05	--
		Vo		-13,7	±1	-14.51	-14.61	48.83	47.53	--
		IN	---	-17	±1	-17.27	-17.33	47.50	46.32	--
		OUT	---	0	±0.5	0.08	0.10	35.68	35.63	--
M40V	3	M01	5.8	0.5	±2	-0.12	-	48.21	-	--
		M02	5.9	0.5	±2	-	0.34	-	49.97	--
FIU	7	RC	---	0	±4	-0.29	-0.25	35.69	35.62	--
		OUT	---	-1	±4	-0.78	-0.71	35.68	35.67	--
		IN	---	-15.5	±4	-9.96	-9.92	35.55	35.46	Atenuación del medio es menor que la de diseño
		TC	---	-16.5	±4	-10.17	-10.10	35.48	35.44	Atenuación del medio es menor que la de diseño
		RM	---	-2.0	±5	-2.31		52.17		Canal de supervisión 1510nm
		TM	---	-19.33	±5	-12.65		47.95		Canal de supervisión 1510nm
OBU103	5	Vi	5.9	-16.5	±4	-10.40	-10.33	35.52	35.42	--
		Vo		-18	±2	-16.38	-16.27	35.44	35.40	--
		IN	---	-20.5	<-19	-16.39	-16.35	35.43	35.29	--
		OUT	---	1.5	<4	3.91	4.0	31.49	31.46	--
DCU(A)	8	IN	---	-18	±2	-16.39	-16.35	35.43	35.29	--
		OUT	---	-20.5	<-19	-19.14	-19.03	35.38	35.22	--
D40	1	D01	---	-2.5	±4	-0.80	-	37.73	-	--
		D02	---	-2.5	±4	-	-0.73	-	38.01	--
SC2	13	TM1	---	-2.0	±5	-2.49		52.64		Canal de supervisión 1510nm
		RM1	15	-19.33	±5	-12.79		48.02		Sin atenuador (Al final se dejó un atenuador de 15dB)

NOTA: Las mediciones fueron realizadas con una OSA (Optical Spectrum Analyzer o Analizador de Espectro Óptico). Solo para el caso de las tarjetas ND2 y SC2 se usó atenuadores externos fijos. Para el caso de las tarjetas OBU104, 103 y M40V la atenuación de las señales se generó con los atenuadores variables integrados VOA que estos poseen.

4.3 Presupuesto y tiempo de ejecución

4.3.1. Presupuesto

Como parte del proceso de selección de los equipos a utilizarse en esta nueva red, se presentaron diferentes proveedores cuyas propuestas se analizarán a continuación.

Para el caso del proveedor ZTE, este nunca presentó detalle de la cotización en cuanto al equipamiento ofertado. En un principio su propuesta estuvo conformada por equipos compactos y posteriormente su diseño fue modificado a equipos más sofisticados y a pesar de esto su oferta resultó la más económica. Como antecedente negativo se puede mencionar que la única red DWDM que tienen a nivel nacional actualmente viene siendo reemplazada por otro fabricante.

Respecto a ECI, su presentación fue muy cercana al final del cierre de la entrega de propuestas y de la misma forma que ZTE, cambiaron su diseño inicial compacto por uno de mayor escalabilidad sin embargo su oferta económica terminó siendo la más elevada en comparación a los otros oferentes.

Luego de este análisis preliminar se seleccionó solo a 3 proveedores Alcatel Lucent, Huawei e Infinera, los cuales pasarían a una segunda etapa.

En cuanto a características técnicas los tres presentaron un diseño inicial para 40 canales 10/40/100 Gbps con la posibilidad de crecer hasta 80 canales a excepción de Infinera, variedad de tarjetas tributarias que incluyen interfaces SDH, Ethernet y SAN, y variedad de equipos compactos para última milla.

Otra característica importante a tomar en cuenta es el modo de cross conexión, Alcatel propuso solo una matriz OTN para un nodo y muxponder para los 4 restantes, sin embargo este último no permite el uso de ODUFlex siendo ineficiente en el uso de lambdas. Infinera maneja la matriz pero a nivel de tarjeta de línea, lo que limita la flexibilidad entre estas. A diferencia de ambos proveedores Huawei trabaja con la matriz OTN en todos los nodos siendo eficiente y flexible al mismo tiempo.

En cuanto a fiabilidad los equipos soportan esquemas de protección a nivel tributario, de línea y de control, sin embargo un dato importante a este nivel es el posicionamiento que ha alcanzado Huawei, casi el 100% del mercado local en redes DWDM, mientras que Infinera no precisa un porcentaje local, su mayor despliegue es en EEUU y finalmente Alcatel no posee redes DWDM en operación o entregadas comercialmente en Perú. Los costos propuestos por los participantes se exponen en la Tabla N° 4.14.

En base a lo expuesto, se optó por Huawei debido a la tecnología comprobada y

experiencia obtenida a través de las redes DWDM que están en operación en el mercado local y la mejor propuesta económica.

Tabla N° 4.14 Costos propuestos por los proveedores

Detalle	Alcatel	Huawei	Infinera	ZTE	ECI
Equipamiento	441 589.49	434 506.35	550 579.75	217 498.83	648 207.20
Gestión	20 065.26	29 366.83	39 675.00	45 088.45	67 071.18
Repuesto	83 775.74	24 000.00	55 700.25	18 644.71	51 086.76
Servicios(Incluye instalación, configuración, migración y puesta en marcha)	44 995.71	64 307.06	74 721.25	17 540.97	86 114.07
Capacitación	16 000.00	32 061.60	16 531.25	70 733.77	28 313.25
Soporte Técnico	42 000.00	0.00	31 625.00	16 598.19	0.00
Descuento Especial		64 241.85	138 000.00		
TOTAL	\$ 648 426.20	\$ 519 999.99	\$ 630 832.50	\$ 386 104.92	\$ 880 792.46

4.3.2. Tiempo de ejecución

En la Figura 4.16 se muestra el diagrama de Gantt con el cronograma de actividades para la migración del sistema de transporte óptico CWDM a DWDM, donde se incluyen los tiempos desde la manufactura del equipamiento, la implementación de la nueva red y la programación de las migraciones en los distintos nodos.

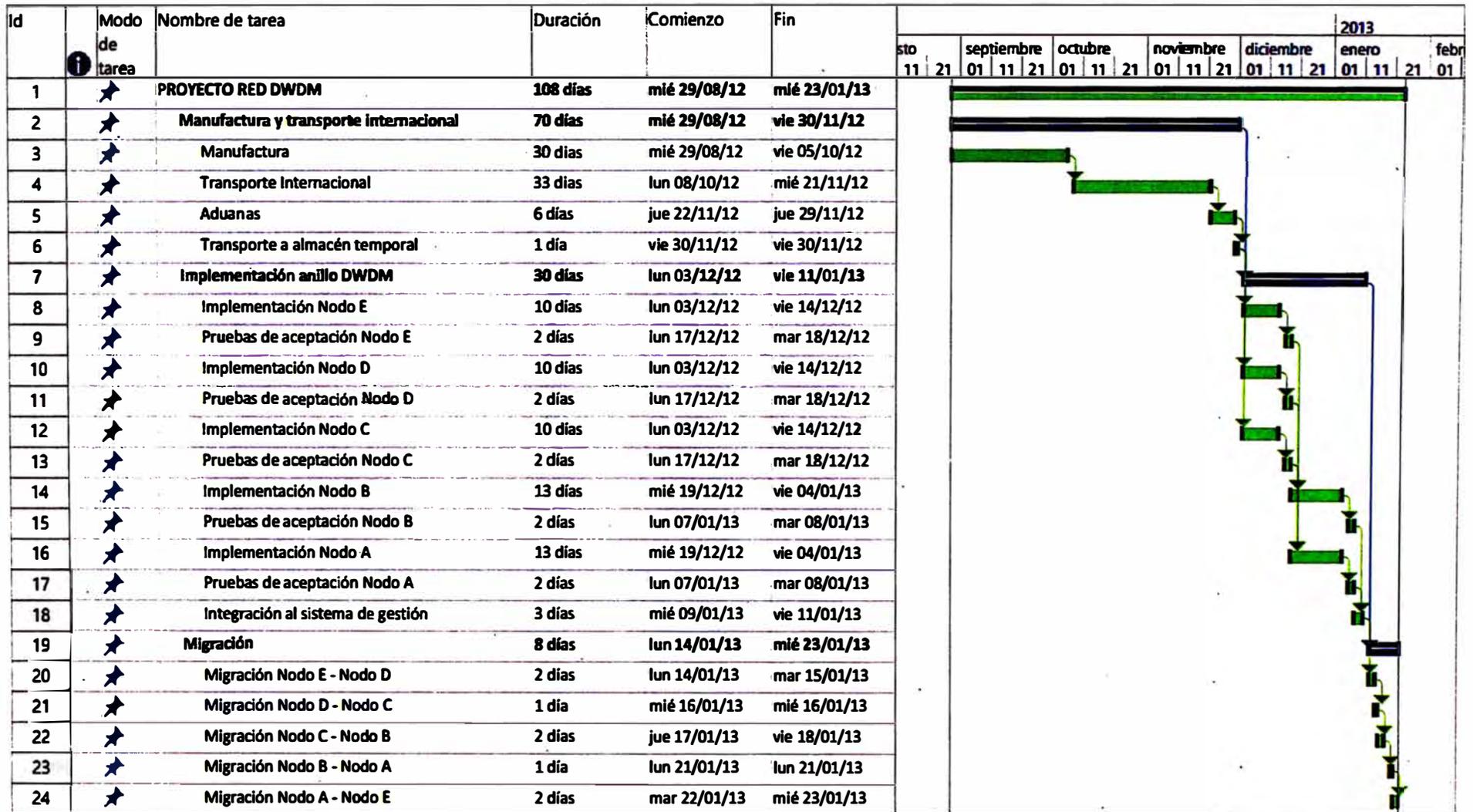


Figura N° 4.16 Cronograma de actividades para la migración

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. El desarrollo de nuevas tecnologías como el caso de la multiplexación por división de longitud de onda densa o DWDM permiten incrementar la capacidad de transporte para el envío de información.
2. Dentro del proceso de migración se reemplazó por completo el equipamiento utilizado en la red CWDM. Lo único que se reutilizó fue la fibra óptica monomodo G652 que interconecta los cinco nodos, comprobando de esta forma la compatibilidad del sistema DWDM con las fibras ópticas existentes.
3. El sistema de redundancia de la red DWDM se basa en la topología anillo que se ha implementado, haciendo un balanceo de tráfico en ambas direcciones desde cada nodo. Se está evaluando la implementación de una red estrella (mesh) entre los cinco nodos para tener redundancia completa.
4. La red DWDM soporta longitudes de onda con una capacidad de 10 Gbps y al trabajar con tarjetas multiplexoras y demultiplexoras de 40 puertos; M40V y D40 respectivamente; llegará a soportar hasta 400 Gbps en el futuro.
5. Se ha comprobado la gestión de los equipos desplegados a través de la plataforma existente del proveedor Huawei; el gestor U2000. Este último se ha usado para la administración de ADMs y DSLAMs del mismo proveedor, por lo que solo se adquirieron licencias para poder liberar las características requeridas por el equipamiento DWDM.
6. Se recomienda implementar un sistema de mayor respaldo para los enlaces entre los nodos, como por ejemplo una topología estrella.
7. Para agilizar el monitoreo del equipamiento frente a un evento, se sugiere registrar las alarmas más relevantes mediante el protocolo SNMP.

ANEXO A
GLOSARIO DE TÉRMINOS

3G-SDI	Interfaz digital serial 3G (3G-Serial Digital Interface)
ADM	Multiplexor Add-Drop (Add-Drop Multiplexer)
AFEC	Corrección de errores adaptativa hacia adelante (Adaptive Forward Error Correction)
ATM	Modo de transferencia asíncrona (Asynchronous Transfer Mode)
BER	Tasa de error de bit (Bit Error Rate)
CMI	Inversión de marca codificada (Coded Mark Inversion)
CWDM	Multiplexación por división en longitudes de onda ligera (Coarse Wavelength Division Multiplexing)
D40	Tarjeta demultiplexora de 40 canales (40-Channel Demultiplexing Board)
DCM	Módulo de compensación de dispersión (Dispersion Compensation Module)
DCU	Unidad de compensación de dispersión (Dispersion Compensation Unit)
DMUX	Demultiplexor (Demultiplexer)
DSLAM	Multiplexor de línea de acceso de abonado digital (Digital Subscriber Line Access Multiplexer)
DWDM	Multiplexación por división en longitudes de onda densas (Dense Wavelength Division Multiplexing)
EDFA	Amplificador de fibra dopada con Erblio (Erbium Doped Fiber Amplifier)
FC	Canal de fibra (Fiber Channel)
FDM	Multiplexación por división de frecuencia (Frequency Division Multiplexing)
FEC	Corrección de errores hacia adelante (Forward Error Correction)
FICON	Conexión de fibra (Fiber Connect)
FIU	Unidad de interfaz de fibra (Fiber Interface Unit)
FTTx	Fibra a la x (Fiber to the x)
FWM	Mezcla de cuarta onda (Four Wave Mixing)
G.652	Características del cable de fibra óptica monomodo (Characteristics of a single-mode optical fibre cable)
G.694.1	Planes espectrales para aplicaciones WDM (Spectral grids for WDM applications)
G.694.2	Planes espectrales para las aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda (CWDM wavelength grid)
G.709	Interfaces para redes de transporte óptico (Interfaces for the Optical Transport Network)

G.813	Características de temporización de relojes subordinados de equipos de la jerarquía digital síncrona (Timing characteristics of SDH equipment slave clocks)
G.823	Control de la fluctuación de fase y de la fluctuación lenta de fase en las redes digitales basadas en la jerarquía de 2048 kbit/s (The control of jitter and wander within digital networks which are based on the 2048 kbit/s hierarchy)
G.SHDSL	Línea digital de abonado de un solo par de alta velocidad (Global Standard High-Bit-Rate Digital Subscriber Line)
ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones (International Telecommunication Union)
LWPF	Fibra pico de agua cero (Low Water Peak Fiber)
M40V	Tarjeta multiplexora de 40 canales con atenuador óptico variable (40-Channel Multiplexing Board with VOA)
MPLS	Conmutación de etiquetas multiprotocolo (Multiprotocol Label Switching)
MUX	Multiplexor (Multiplexer)
ND2	Tarjeta de línea procesadora de servicios de 2 interfaces de 10 Gbps (2 x 10G Line Service Processing Board)
OAU1	Unidad de amplificación óptica (Optical Amplifier Unit)
OBU1	Unidad óptica booster (Optical Booster Unit)
ODUk	Unidad de datos óptico (Optical Channel Data Unit-k)
OPUk	Unidad de carga óptica (Optical Channel Payload Unit-k)
OSA	Analizador de espectro óptico (Optical Spectrum Analyzer)
OSNR	Relación señal a ruido óptica (Optical Signal-to-Noise Ratio)
OTN	Red de transporte óptico (Optical Transport Network)
OTU	Unidad de transporte óptico (Optical Transponder Unit)
PCM	Modulación por código de pulso (Pulse Code Modulation)
PMD	Dispersión por polarización de modo (Polarization Mode Dispersion)
QoS	Calidad de servicio (Quality of Service)
SAN	Red de área de almacenamiento (Storage Area Network)
SBS	Dispersión estimulada de Brillouin (Stimulated Brillouin Scattering)
SC2	Unidad de supervisión óptica de canal bi-direccional (Bi-directional Optical Supervisory Channel Unit)
SCC	Sistema de control y comunicación (System Control and Communication)

SDH	Jerarquía digital síncrona (Synchronous Digital Hierarchy)
SNMP	Protocolo Simple de Administración de Red (Simple Network Management Protocol)
SONET	Red óptica síncrona (Synchronous Optical Network)
SPM	Modulación de fase inducida (Self Phase Modulation)
SRS	Dispersión estimulada de Raman (Stimulated Raman Scattering)
STG	Tarjeta centralizada de reloj (Centralized Clock Board)
STM-16	Módulo de transporte síncrono de orden 16 (Synchronous Transport Module of order 16)
TCM	Monitoreo de la conexión Tándem (Tandem Connection Monitoring)
TDM	Multiplexación por división de tiempo (Time Division Multiplexing)
TOA	Tarjeta procesadora de 8 puertos de servicios (8 Any-rate Ports Service Processing Board)
VOA	Atenuador óptico variable (Variable Optical Attenuator)
WDM	Multiplexación por división de longitud de onda (Wavelength Division Multiplexing)
XCH	Tarjeta de cross conexión (Centralized Cross Connect Board)
xDSL	Línea digital de abonado (x Digital Subscriber Line)
XPM	Modulación de fase cruzada (Cross-phase Modulation)

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Antonio Ricardo Castro Lechtaler, “Teleinformática para Ingenieros en Sistemas de Información”, Editorial Reverté S.A., Marzo 2006.
- [2] Vivek Alwayn, “Optical Network Design and Implementation”, Cisco Press, March 2004.
- [3] John M. Senior, “Optical Fiber Communications Principles and Practice”, Prentice Hall, Inc 2009.
- [4] TELNET Redes Inteligentes, “Fibra óptica para redes de nueva generación (NGN)”, Noviembre 2009, disponible en URL
<http://www.telnet-ri.es/soluciones/cable-fibra-optica-y-componentes-pasivos/>
- [5] “Efectos no lineales y su relación con los parámetros de transmisión de una red WDM”, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2011, disponible en URL
<http://virtual.uptc.edu.co/revistas/index.php/ingenieria/article/viewArticle/1489>
- [6] “Estudio de redes de transporte óptico (OTN), como plataforma para redes multiservicio”, Escuela Politécnica Nacional de Quito, 2009, disponible en URL
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4172>
- [7] Huawei, “OptiX OSN 8800 Intelligent Optical Transport Platform, Feature Description”, Huawei Technologies Co., 2011.
- [8] ITU-T, “Optical Transport Network (OTN) Tutorial”, disponible en URL
<http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com15/otn/OTNtutorial.pdf>
- [9] Huawei, “Optix OSN 8800/6800/3800, Hardware Description”, Huawei Technologies Co., 2012.