

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**ANÁLISIS DE UN ENLACE DE TELECOMUNICACIONES ENTRE DOS
CIUDADES DISTANCIADAS 80KM. UTILIZANDO TECNOLOGÍA
DWDM E INFRAESTRUCTURA DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN
ELÉCTRICA**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

ELVIS BRANDON SILVA ALVAREZ

**PROMOCIÓN
2004 - I**

**LIMA – PERÚ
2009**

**ANÁLISIS DE UN ENLACE DE TELECOMUNICACIONES ENTRE DOS CIUDADES
DISTANCIADAS 80KM. UTILIZANDO TECNOLOGÍA DWDM E INFRAESTRUCTURA
DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA**

Dedicado a mi Familia

SUMARIO

El presente informe de suficiencia muestra un breve análisis del diseño e implementación de un enlace de telecomunicaciones de fibra óptica empleando tecnología DWDM e infraestructura de líneas de transmisión eléctrica. Este trabajo se desarrolla de la siguiente manera:

En el Capítulo I se presentan los antecedentes al proyecto, es decir, se mencionan algunas de las redes en la región que emplean una infraestructura similar a la que emplea la red descrita en el presente informe; además se desarrollan los fundamentos de la tecnología DWDM, las diferencias entre la tecnología DWDM y otras tecnologías de multiplexación así como sus principales características y la estructura básica del sistema DWDM.

En el Capítulo II se describen los aspectos relacionados con el diseño del enlace de fibra óptica, utilizando tecnología DWDM. Para ello se realiza una descripción del proyecto de diseño tomando en cuenta los factores de propagación que afectan a los sistemas ópticos. Se muestra además los servicios que serán soportados por la red y la infraestructura empleada para el tendido del cable de fibra óptica así como una breve descripción de los tipos de cable que podrían ser usados en el enlace.

En el Capítulo III se muestran los resultados obtenidos, luego de la puesta en operación de la red backbone, se mencionan los clientes que actualmente hacen uso de la red óptica y los beneficios que ha llevado a la región norte del país la implementación de esta red.

ÍNDICE

PRÓLOGO	1
CAPÍTULO I	
ANTECEDENTES Y FUNDAMENTO TEÓRICO	3
1.1.- Antecedentes	3
1.2.- Ciudades que conforman el enlace	3
1.3.- Base de la tecnología DWDM	4
1.4.- Breve descripción de la Tecnología DWDM	9
1.5.- Características y ventajas de la tecnología DWDM	12
1.6.- Estructura básica del sistema DWDM	13
1.7.- Breve introducción a la jerarquía del sistema DWDM	15
CAPÍTULO II	
ANÁLISIS DEL ENLACE DWDM	16
2.1.- Necesidad de crear una red Backbone de fibra óptica de gran capacidad	16
2.2.- Cálculo del ancho de banda total del Backbone en el enlace óptico	19
2.3.- Número de fibras del enlace óptico	20
2.4.- Fibra óptica usada en el enlace óptico	21
2.5.- Límite de distancia del enlace	21
2.6.- Medio usado para el tendido de la fibra	26
CAPÍTULO III	
RESULTADOS	28
3.1.- Principales Clientes y Servicios	28
3.2.- Principales Beneficios	29
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	30
ANEXO A: PRINCIPALES COMPONENTES DEL SISTEMA	33
ANEXO B: CARACTERÍSTICAS DEL CABLE OPGW	48
BIBLIOGRAFÍA	52

PRÓLOGO

Actualmente la fibra óptica se ha convertido en uno de los medios de transmisión más usados. Los avances logrados con este medio de transmisión han sido muy satisfactorios, ya que proporcionan una mayor velocidad de transmisión, disminuyen el efecto de ruido e interferencia y multiplican la capacidad de transmisión. La fibra óptica transporta señales en forma de luz; dentro del hilo de fibra las señales luminosas son guiadas por un filamento de vidrio fabricado con Dióxido de Silicio (SiO_2). En el caso de otros medios de transmisión, tales como el cable coaxial, las señales se transmiten usando cobre; y en el aire, el medio de transmisión es simplemente el espacio libre. Sin embargo, la fibra óptica supera por mucho al cable coaxial y al aire, principalmente en ancho de banda, velocidad de transmisión, inmunidad a las interferencias y en la reducción de atenuación. El hecho de que las señales se propaguen en forma de luz hace que la fibra óptica no necesite de voltajes o corrientes, lo cual la convierte en un medio de comunicación totalmente inmune a todo tipo de interferencia electromagnética a su alrededor y, por lo tanto, es un medio de comunicación altamente confiable y seguro.

La tecnología DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing – Multiplexación por División de Longitud de onda Densa) se aplica en las redes ópticas para aprovechar mejor la capacidad de la fibra óptica y crear un modelo de red de gran desempeño, flexibilidad y escalabilidad; integrando en la conmutación diferentes tipos de tecnologías. Por medio de multiplexores ópticos, esta tecnología combina múltiples canales ópticos sobre una misma fibra, de tal modo que puedan ser amplificados y transmitidos simultáneamente. Cada uno de estos canales, a distinta longitud de onda, puede transmitir señales de diferentes velocidades y formatos, tales como: SDH (Synchronous Digital Hierarchy – Jerarquía Digital Síncrona), ATM (Asynchronous Transfer Mode – Modo de Transmisión Asíncrona), IP (Internet Protocol – Protocolo de Internet), etc. Es decir, la tecnología DWDM puede multiplexar varias señales sobre una misma fibra.

La creciente demanda por servicios de red en conjunto con la demanda por ancho de banda crean la necesidad de renovar y optimizar la infraestructura actual de las redes de transmisión y hacer uso de nuevas tecnologías que permitan aumentar la capacidad de transporte de las redes existentes y que al utilizarlas garanticen que se cumplan las

necesidades de los clientes, de los servicios actuales y futuros y un buen desempeño de la red. El presente informe de suficiencia analiza la solución a esta necesidad, específicamente para el caso de las ciudades de Chiclayo, ubicada en el departamento de Lambayeque, y Guadalupe, ubicada en el departamento de La Libertad, ambas distanciadas 80Km. Esta solución consiste en implementar una red backbone del tipo óptico utilizando tecnología DWDM. Dicho enlace a su vez forma parte de una red óptica mucho más amplia, pero describe de manera general el modo en el que han sido pensados los enlaces entre los distintos nodos que la conforman. El diseño de estos enlaces se ha realizado para poder transportar hasta 40 canales con una tasa de transmisión de hasta 10Gbps por canal.

Para el enlace a analizar se considera además la infraestructura para el tendido de la fibra óptica y considerando que la empresa administradora de los recursos de la red pertenece al mismo grupo comercial que la empresa encargada del transporte de energía eléctrica, se plantea que la implementación del cableado de fibra se realice a través de las torres de alta tensión, para lo cual se describen las características y el tipo de cable de fibra a utilizar, esta solución aprovecha la inmunidad de la fibra óptica ante la interferencia electromagnética.

El presente trabajo ha sido logrado a través de la recopilación de información bibliográfica de sistemas de comunicaciones ópticas, principios y teoría DWDM y SDH obtenidas de libros técnicos, manuales de proveedores de equipos e instrumentos de medición ópticos y de la Internet.

Se espera que este material sea un aporte para quienes deseen conocer más acerca de la tecnología DWDM, esperando que la información presentada sea lo suficientemente explícita para lograr la comprensión del funcionamiento de la red DWDM, lo cual es necesario para poder afrontar los diferentes problemas que trae el gran crecimiento de esta tecnología y la dinámica e interrelación con las diferentes tecnologías a las cuales da soporte.

CAPITULO I

ANTECEDENTES Y FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1.- Antecedentes

Existen diversos proyectos de telecomunicaciones en la región y en el mundo que emplean la infraestructura de líneas de transmisión eléctrica para realizar el cableado de la fibra óptica. Entre ellos se pueden mencionar los siguientes:

- Red de fibra óptica entre las minicentrales Dolores, Pajarito y la subestación Yamural (Colombia), esta red es administrada por la compañía Empresas Públicas de Medellín (EPM), que fue la primera empresa colombiana en aprovechar las líneas de energía con propósitos de telecomunicaciones, tanto para servicio propio, como para su explotación a terceros. Este enlace ha sido implementado con cable OPGW (Optical Ground Wire) a través de las torres de alta tensión entre las zonas mencionadas.
- Red de fibra óptica en Quito que atraviesa las subestaciones de Santo Domingo, Santa Rosa, Pomasqui e Ibarra (Ecuador), red que emplea cable OPGW de 48 fibras a través de las torres de alta tensión, propiedad de la empresa TRANSELECTRIC, cuya capacidad promedio es de 7.5Gbps y forma parte de la red troncal ecuatoriana que se une por el norte al backbone de Colombia y por el sur a la red de Transnexa Ecuador.
- Red de fibra óptica REDESUR (Red Eléctrica del Sur) (Perú), esta red de fibra óptica ha sido implementada con dos tipos de cable de fibra óptica: SKYWRAP y OPGW; implementada entre las subestaciones de Socabaya – Moquegua con un cable de 28 fibras y una extensión de 100Km., Moquegua – Puno, con una totalidad de 40 fibras y una longitud aproximada de 100Km. y Moquegua – Tacna, con entendido de cable OPGW de 28 fibras en una distancia de 124Km.

1.2.- Ciudades que conforman el enlace

Las ciudades que serán interconectadas a través de este enlace son: Chiclayo y Guadalupe. En ambas ciudades (nodos) se contará con una sala de equipos, donde se concentrarán los equipos de telecomunicaciones propios y de los diferentes clientes que

ingresarán tráfico a la red; además se proveerá de una torre de telecomunicaciones en cada *nodo* para brindar la *infraestructura necesaria* para los clientes que se conecten a la red a través de enlaces microondas.

La distancia entre los nodos es de aproximadamente 80Km. Tal como se muestra en la Figura 1.1.

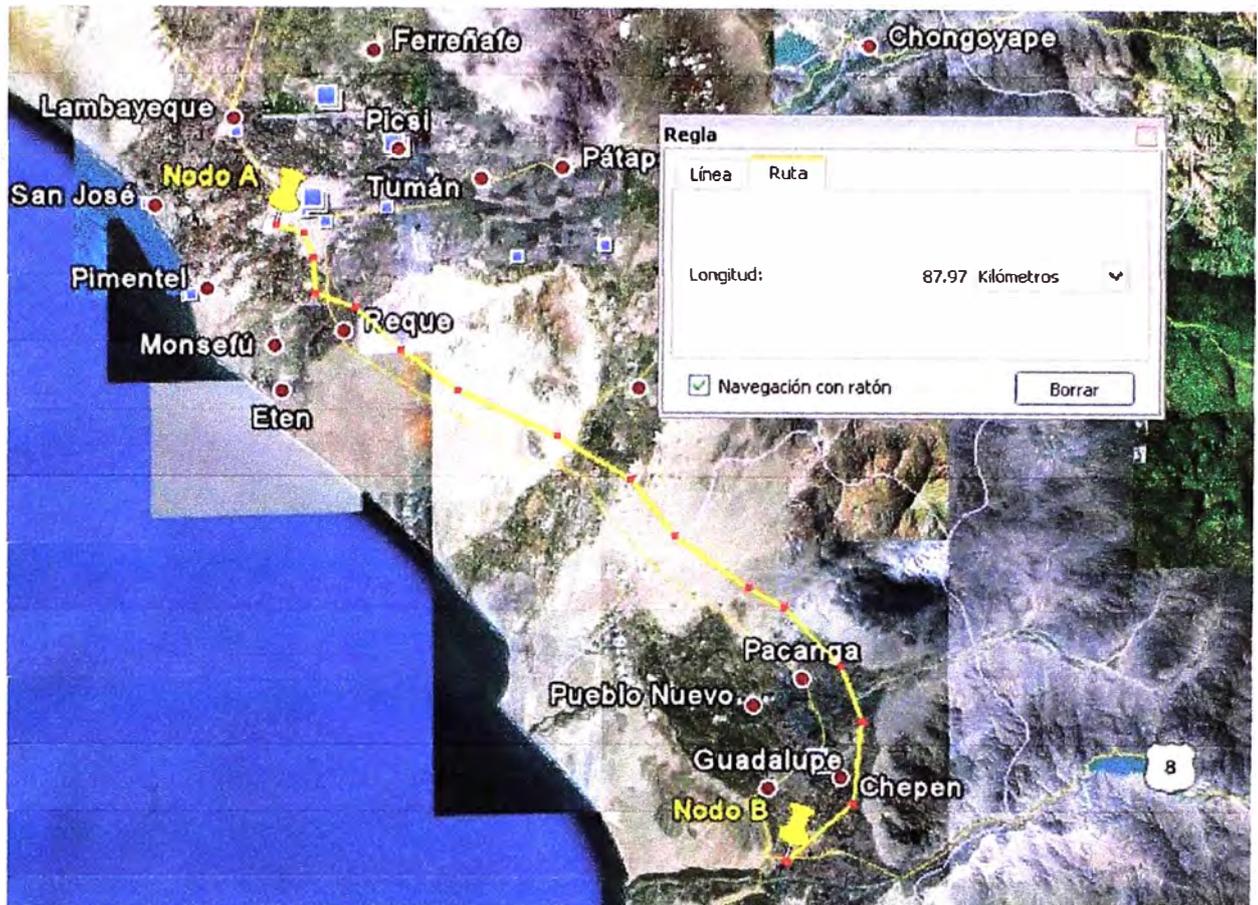


Figura 1.1 Ubicación de los nodos y distancia entre ellos

A continuación se presentará una breve descripción de la tecnología DWDM, empleada en el enlace entre estas ciudades.

1.3.- Base de la tecnología DWDM

Previamente a la introducción de la tecnología DWDM, debemos conocer el desarrollo de las redes ópticas. A continuación se mencionarán las bases de la tecnología DWDM en términos de tecnologías de multiplexado y transmisión [1].

1.3.1.- Desarrollo de las tecnologías de multiplexado en redes ópticas

La red de comunicación cubre diversos medios de transmisión, tales como par trenzado, cable coaxial, fibra óptica y transmisión inalámbrica. Entre todas estas, la

transmisión en fibra óptica se caracteriza por su capacidad de transmisión a larga distancia, buena calidad, menor atenuación, seguridad y grandes distancias troncales. Desde el desarrollo de servicios de banda ancha de alta velocidad, no sólo se espera que el sistema de transmisión óptica tenga mayor capacidad y cubra distancias más grandes, sino también que sea *interactivo, rápido y conveniente*. Por este motivo se introduce al sistema de transmisión óptica la tecnología de multiplexación. Esta tecnología consiste en usar el ancho de banda y la característica de gran capacidad que posee la fibra óptica para transmitir simultáneamente múltiples canales de señales en una fibra óptica o cable. En un sistema de transmisión multicanal, el modo de multiplexación de las señales afecta en gran parte el desempeño del sistema y los costos que éste acarrea.

La tecnología de multiplexación de las redes de transmisión óptica ha pasado por tres etapas de desarrollo: Multiplexación por división de espacio (SDM – Space Division Multiplexing), Multiplexación por división de tiempo (TDM – Time Division Multiplexing) y Multiplexación por división de longitud de onda (WDM – Wavelength Division Multiplexing).

Con un diseño simple y características prácticas, la tecnología SDM requiere que la cantidad de núcleos de fibras para transmitir sea configurada en concordancia con la cantidad de canales multiplexados, lo que se traduce en una alta inversión y ganancias mínimas. La tecnología TDM es ampliamente aplicada, es la base de PDH, SDH, ATM e IP; pero su desventaja es su baja tasa de uso de ancho de banda. La tecnología WDM soporta transportar múltiples canales (longitudes de onda) sobre un hilo de fibra. Por lo tanto, es la principal medida para la ampliación de la actual red de comunicaciones de fibra y se utiliza sobre todo en redes troncales.

1.3.2.- PDH, SDH y DWDM

Las tecnologías tradicionales de transmisión de fibra, tales como Jerarquía Digital Plesiócrona (PDH – Plesiochronous Digital Hierarchy) y Jerarquía Digital Síncrona (SDH – Synchronous Digital Hierarchy) usan el modo “un canal en una fibra”. Estas tecnologías se encuentran tan restringidas por las características de sus propios equipos que ni su capacidad de transmisión ni el modo de expansión pueden cumplir con los requerimientos de la red de comunicaciones que se desarrolla a velocidades muy altas; dejando de lado los recursos de gran ancho de banda de la fibra óptica lejos de ser aprovechado plenamente [2], [3].

La tecnología DWDM se convierte en el medio más efectivo y práctico para la expansión de la fibra. Con sus ventajas técnicas únicas, esta tecnología representa una solución simple y económica para expandir la capacidad de transmisión de la fibra óptica

de una manera rápida y efectiva. Puede cumplir plenamente la necesidad actual de desarrollo de los servicios de banda ancha y establece una sólida base para el desarrollo de la futura red de transmisión totalmente óptica.

El proceso de desarrollo de PDH, SDH y DWDM se resume a continuación, así como ciertas especificaciones para cada tecnología:

a) PDH

Los primeros sistemas de transmisión óptica usaron PDH, que introduce la tecnología de transmisión digital con Modulación por Codificación de Pulso (PCM) basada en la antigua red de telefonía analógica. Esta tecnología multiplexa señales de baja tasa de transmisión en señales de alta velocidad por medio de llenado de bits e intercalado de dígitos.

Las principales señales del sistema PDH están en modo TDM síncrono y la multiplexación de otros grupos de alto orden, en modo TDM plesiócrono (o llamado asíncrono)

El sistema PDH cubre tres estándares regionales de tasas de transmisión en Europa, Norte América y Japón, como se muestra en la Tabla 1.1.

Entre los años 70's y 80's, el sistema PDH y sus dispositivos fueron popularmente usados en redes digitales; sin embargo, junto con el desarrollo de la tecnología de comunicación por fibra y el incremento en la demanda de servicios de comunicación, las desventajas del sistema PDH fueron más y más notorias.

- La compatibilidad entre tres estándares de tasas de transmisión no es posible, lo que obstruye el desarrollo de una interconexión internacional.
- No existe una especificación global para una interfase óptica estándar. Las interfases ópticas desarrolladas por diferentes empresas no son compatibles entre ellas, lo que limita la flexibilidad de la red e incrementa su complejidad y los costos de operación
- PDH es un tipo de estructura de multiplexado basado en transmisión punto a punto, soporta únicamente transmisiones punto a punto, pero no puede formar una red más compleja.
- La operación, mantenimiento y administración depende de cross conexiones y test de suspensión de servicio manuales, lo que no cumple con los requerimientos de monitoreo y administración de redes de comunicación modernas.

- Con el incremento de las tasas de transmisión, es más difícil implementar el multiplexado de grupos de alto orden usando la tecnología PDH y los requerimientos de la comunicación digital por fibra para transmisiones de gran capacidad y súper alta velocidad no pueden cumplirse.

Tabla 1.1 Tasas de transmisión PDH

País/Región	Primer Grupo (Primario)	Segundo Grupo	Tercer Grupo	Cuarto Grupo
Europa y China	2.048 Mbps 30 canales	8.448 Mbps 120 canales (30x4)	34.368Mbps 480 canales (120x4)	139.264Mbps 1920 canales (480x4)
Norte América	1.544Mbps 24 canales	6.312Mbps 96 canales (24x4)	44.736Mbps 672 canales (96x7)	274.176Mbps 4032 canales (672x6)
Japón	1.544Mbps 24 canales	6.312Mbps 96 canales (24x4)	32.064Mbps 480 canales (96x5)	97.728Mbps 1440 canales (480x3)

b) SDH

A mediados de los años 80's, el Bell Communications Research Institute de América impulsó el concepto de Red Óptica Síncrona (SONET). En 1988 la CCITT aceptó el concepto de SONET, formó el estándar de tecnología unificada a nivel mundial para redes de transmisión y lo renombró como SDH.

Las señales SDH usan el modo de multiplexado síncrono y flexible y una estructura de mapeo. Las cadenas de códigos de diferentes niveles son ordenados regularmente en el campo de datos de la estructura de trama. Los datos están sincronizados en la red, por lo que se puede de-multiplexar una señal de alta velocidad en una señal tributaria directamente, lo que se llama "de-multiplexación de un paso" [4].

El sistema SDH estandariza las características de las señales digitales, tales como estructura de trama, modo de multiplexación, nivel de tasa de transmisión entre otros. Provee una trama que es soportada globalmente sobre la cual se ha desarrollado una red de transmisión de telecomunicaciones de clase mundial, con características de flexibilidad, confiabilidad y de cómoda administración. Este tipo de redes de comunicación es de fácil expansión y se puede aplicar en el desarrollo de nuevos servicios de

telecomunicaciones. Además, hace posible que equipos de diferentes fabricantes puedan trabajar en conjunto.

Las tasas de transmisión del sistema SDH [5] se muestran en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2 Tasas de transmisión SDH

Nivel SDH	Nivel OC	Tasa (Mbps)
STM-1	OC-3	155.520
STM-4	OC-12	622.080
STM-16	OC-48	2.488.320
STM-64	OC-192	9.953.280

Sin embargo, cuando las tasas de transmisión son superiores a los 10Gbps, la dispersión del sistema y otros factores negativos incrementan la dificultad de la transmisión de larga distancia. Además, el sistema SDH es el sistema TDM basado en una longitud de onda. La transmisión de longitud de onda única no puede utilizar plenamente el ancho de banda de la fibra. Como consecuencia, la tecnología WDM se introduce en las redes backbone, incrementando de manera significativa la capacidad de transmisión de la fibra.

c) DWDM

DWDM es una versión de la tecnología WDM. Debido al pequeño intervalo que existe entre longitudes de onda (1nm – 10nm) se le llama DWDM (Multiplexación por División de Longitud de onda Densa) [6]. Actualmente, en la práctica, los sistemas DWDM trabajan en la ventana de 1550nm con el propósito de utilizar la característica de ganancia de espectro del amplificador EDFA, que permite amplificar directamente las señales de longitud de onda compuesta. Para hacer posible la compatibilidad entre sistemas, la longitud de onda central del canal óptico debe cumplir con el estándar G.692.

En el sistema DWDM, cada canal óptico puede llevar diferentes señales de clientes, tales como SDH, PDH y ATM.

Debido a las ventajas únicas de la comunicación por fibra y a sus tecnologías de networking para adaptar y agrupar requerimientos de ancho de banda y multiservicios, el sistema SDH de alta velocidad y los sistemas DWDM son los preferidos para la implementación del backbone de redes “core” o núcleo.

1.4.- Breve descripción de la Tecnología DWDM

La tecnología DWDM es un tipo de tecnología de comunicación por fibra que permite transmitir múltiples portadoras ópticas con diferente información (analógica o digital) sobre una única fibra y expandir el sistema sólo a través del incremento de canales o longitudes de onda. Puede combinar (multiplexar) señales ópticas con diferentes longitudes de onda para luego transmitirlos. Después de la transmisión, puede separar (de-multiplexar) las señales ópticas combinadas para luego enviarlas hacia diferentes terminales de comunicación. En otras palabras, el sistema puede proveer múltiples canales ópticos virtuales sobre una fibra óptica física.

1.4.1.- Diferencia entre la tecnología DWDM y otras tecnologías de multiplexación.

Esta sección compara algunas de las tecnologías usadas en la comunicación por fibra óptica.

a) SDM

SDM es la tecnología que divide el espacio en diferentes canales para implementar el multiplexado de la longitud de onda. Por ejemplo se puede incrementar la cantidad de núcleos en el cable o usar más hilos de fibra para formar diferentes canales. Cada canal es transmitido por una fibra, diferentes canales no se afectarán entre ellos, conllevando a un mejor desempeño de transmisión.

Con un diseño simple y características prácticas, la tecnología SDM requiere que la cantidad de núcleos de fibras para transmitir concuerde con la cantidad de canales multiplexados, lo que se traduce en ganancias mínimas en relación a la inversión.

b) TDM

TDM indica que diferentes canales usan diferentes intervalos de tiempo (timeslots) para la transmisión en la misma fibra.

TDM cuenta con una asignación fija de timeslots, lo que facilita el ajuste y control y es aplicable a la transmisión reinformación digital.

Su desventaja es la baja utilización de línea, ya que cuando una fuente de señal no tiene datos para transmitir, el canal correspondiente a ésta es transmitido sin datos y pasa a estado inactivo; por lo que no puede ser ocupado por otros canales. Además es difícil implementar sistemas con capacidad mayor a 40Gbps, puesto que esta tecnología se encuentra restringida por la capacidad de modulación de los componentes electrónicos de alta velocidad y los láseres.

La tecnología TDM es aplicada ampliamente, por ejemplo en las tecnologías PDH, SDH, ATM e IP.

c) WDM

WDM permite transmitir múltiples longitudes de onda (canales) en una única fibra y convertir esta fibra en múltiples "fibras virtuales" cada una de las cuales trabaja independientemente en diferentes frecuencias. Con eficiencia económica y viabilidad, la tecnología WDM es la principal tecnología de multiplexación por longitud de onda de uso común en la actual red de comunicación por fibra.

La tecnología DWDM se refiere a la tecnología WDM con pequeños intervalos entre longitudes de onda adyacentes, las longitudes de onda de trabajo se encuentran en la ventana de 1550nm. Puede llevar de 8 a 160 longitudes de onda o canales sobre una fibra y es usada preferentemente en sistemas de transmisión de larga distancia.

1.4.2.- Relación entre DWDM y SDH

a) Relación entre DWDM y SDH en la capa de transmisión de las redes ópticas.

Ambos sistemas, DWDM y SDH, pertenecen a la capa de transmisión en la red. Constituyen los medios de transmisión soportados por el medio de transporte de fibra. Su relación en la red de transporte se muestra en la Figura 1.2.

El sistema SDH implementa multiplexación, cross conexión y networking en la capa de canales a nivel eléctrico. El sistema DWDM implementa multiplexación, cross conexión y networking en el dominio óptico.

b) Modos de multiplexación de DWDM y SDH para señales portadoras.

El sistema SDH es el sistema TDM basado en una única longitud de onda monomodo (un hilo de fibra transmitiendo una longitud de onda). Cuando la tasa de transmisión excede 10Gbps, la dispersión del sistema y otros factores de influencia negativa incrementarán la dificultad de la transmisión a larga distancia.

La tecnología DWDM transmite simultáneamente múltiples señales portadoras de diferentes longitudes de onda en la misma fibra, utilizando de manera más eficiente los recursos de ancho de banda de la fibra e incrementando la capacidad de transmisión del sistema.

c) DWDM capaz de transmitir diferentes tipos de señales.

En el presente, muchas señales tributarias (o de servicio) en el sistema DWDM son señales SDH. Pero las λ s usadas en el sistema DWDM están mutuamente

separadas y no están necesariamente relacionadas con los formatos de las señales de servicio, por lo tanto, cada lambda puede transmitir señales ópticas con características totalmente diferentes, de esta manera se tiene una especie de transmisión híbrida de múltiples tipos de señales.

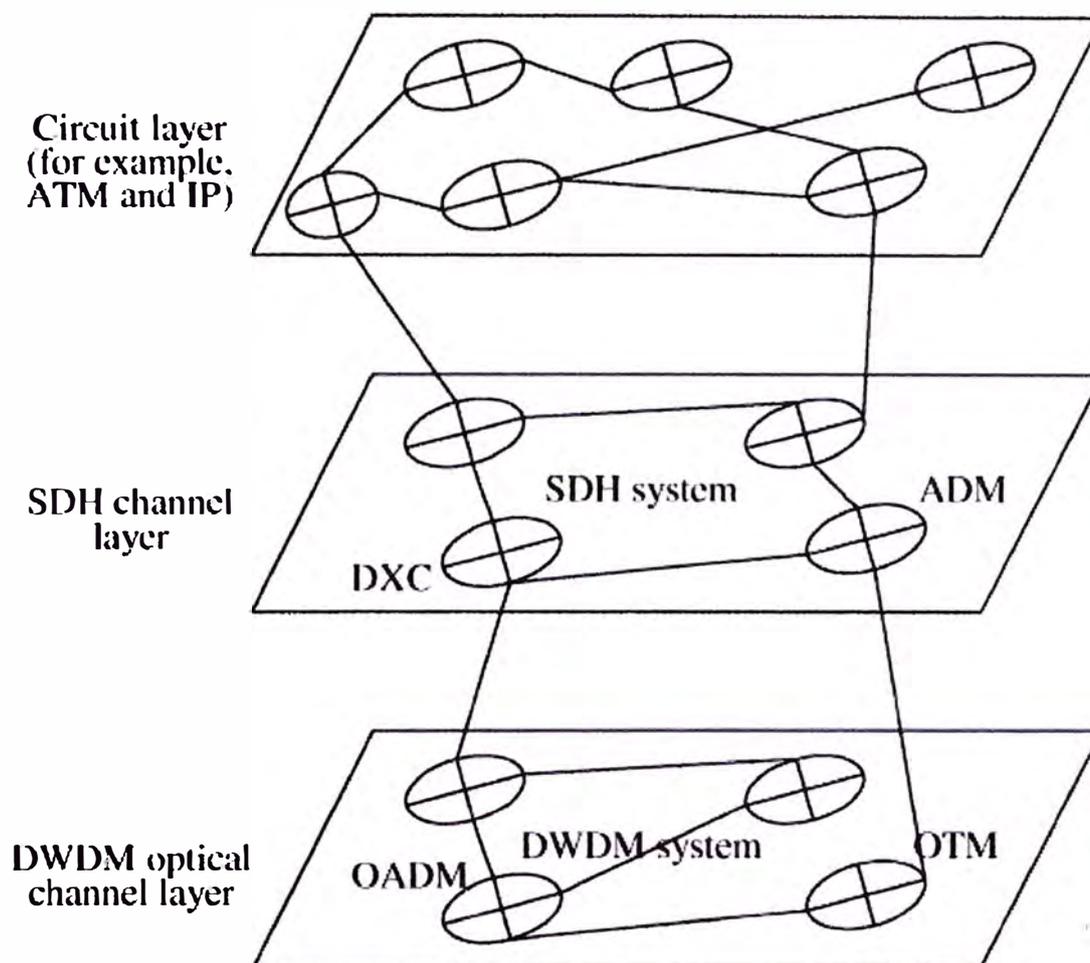


Figura 1.2 Relación entre DWDM y SDH en la red de transporte.

La relación entre el sistema DWDM y algunas de las tecnologías que emplean los servicios más comunes se muestra en la Figura 1.3.

d) Estándares de interfaces ópticas de las señales DWDM y SDH

Las interfaces ópticas de los dispositivos SDH deben cumplir con la recomendación ITU-T G.957, que no estipula la longitud de onda central de operación.

Las interfaces ópticas en el sistema DWDM deben cumplir la recomendación ITU-T G.692, la cual especifica la frecuencia de referencia de cada canal óptico, intervalo de canal, frecuencia nominal central (frecuencia central), frecuencia central Offset y otros parámetros.

Por lo tanto, un sistema DWDM puede ser un Sistema Abierto o un Sistema Integrado.

Es un Sistema Abierto cuando el lado transmisor del sistema provee del convertidor de longitud de onda (OTU) que hace posible "sintonizar" la longitud de onda "no estándar" de la señal de cliente en una longitud de onda que cumpla con la recomendación G.692. "Abierto" significa que el sistema DWDM no tiene requerimientos especiales para las longitudes de onda de trabajo de las señales de ingreso.

Se trata de un Sistema Integrado cuando todas las señales de clientes que acceden al sistema DWDM necesariamente cumplen con el estándar G.692. Por ejemplo las señales que ingresan al sistema sin pasar por la interfase óptica "abierta".

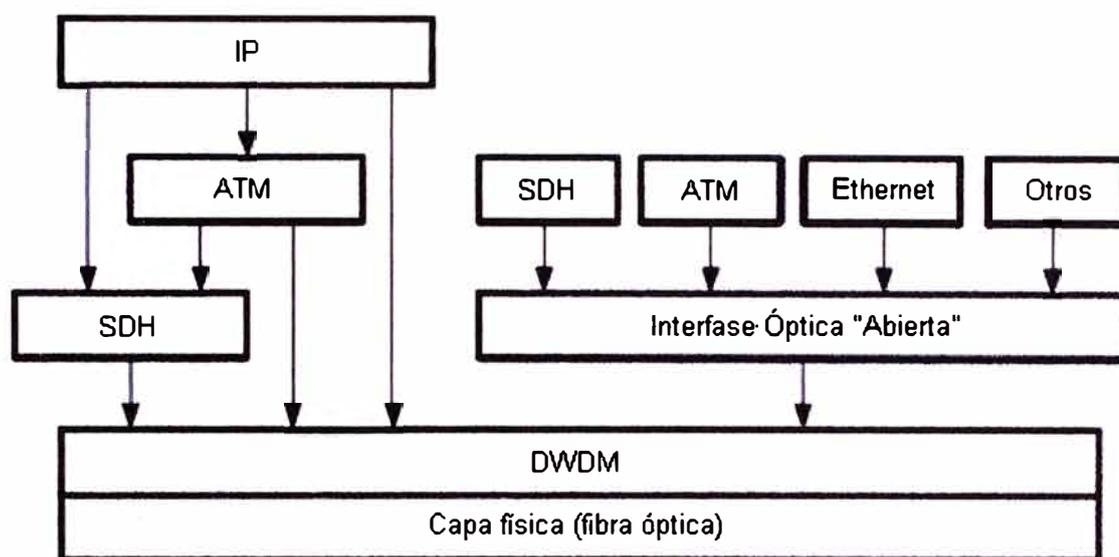


Figura 1.3 Relación entre DWDM y otras tecnologías.

1.5.- Características y ventajas de la tecnología DWDM

- Uso pleno de los recursos de ancho de banda de la fibra con gran capacidad de transmisión.- La tecnología DWDM realiza un uso muy eficiente del enorme ancho de banda de la fibra óptica (alrededor de 25THz), lo que le permite expandir la capacidad de transmisión del sistema.
- Transmisión a muy larga distancia.- Esto se logra gracias a las tecnologías de transmisión de muy largas distancias que utiliza el sistema DWDM, entre ellas, la tecnología EDFA que permite amplificar los canales al mismo tiempo.
- Acceso a abundantes tipos de servicios.- Los canales en el sistema DWDM están separados mutuamente, haciendo posible la transmisión de diferentes

servicios de manera transparente, tales como SDH, GbE y ATM, para constituir una transmisión híbrida de múltiples tipos de señales.

- Ahorro de recursos de fibra.- El sistema DWDM multiplexa múltiples longitudes de onda para transmitirlos en un solo hilo de fibra, ahorrando gran cantidad de recursos en fibra óptica y reduciendo los costos de construcción de línea.
- Sencilla actualización y expansión.- Como el sistema DWDM transmite los datos en cada canal de manera separada y no procesa estos datos individualmente, sólo es necesario la adición de canales para expandir el sistema, una característica muy conveniente y práctica.
- Utilización plena de tecnologías TDM que poseen un buen desarrollo.- Actualmente, las tecnologías de transmisión óptica en modo TDM, tales como SDH, han sido bien desarrolladas. A través de la tecnología WDM la capacidad de transmisión puede ser incrementada en muchas veces su valor actual implicando costos de expansión más bajos que en modo TDM.
- Formación de una red totalmente óptica.- Una red totalmente óptica es la tendencia de desarrollo de la actual red óptica de transporte. En dicha red, el sistema WDM se encuentra conectado con multiplexores ópticos de tipo OADM (de sus siglas en inglés: Optical Add/Drop Multiplexer) y dispositivos ópticos de cross-conexión (OXC), con el fin de realizar directamente la adición/extracción de canales y la cross-conexión de los servicios en la señal, formando de esta manera una red óptica en su totalidad con alta flexibilidad, confiabilidad, durabilidad y eficiencia económica para responder a los requerimientos futuros de la red de transporte de banda ancha.

1.6.- Estructura básica del sistema DWDM

El sistema DWDM multiplexa varios canales ópticos con distintas longitudes de onda nominal en un único hilo de fibra para su transmisión, cada canal óptico contiene una señal de servicio.

La estructura básica de un sistema DWDM unidireccional se muestra en la Figura 1.4.

1.6.1.- Extremo del Transmisor óptico.

Los transmisores ópticos TX1, TX2...TXn, transmiten respectivamente las señales ópticas con diferentes longitudes de onda nominales $\lambda_1, \lambda_2 \dots \lambda_n$ y sus frecuencias correspondientes $f_1, f_2 \dots f_n$. Cada canal óptico lleva diferentes señales de servicio, tales como señales estándar SDH, ATM y Ethernet. Luego, el multiplexor óptico combina estas

señales en una sola onda, la misma que será enviada hacia la fibra óptica a través de la OBA para su transmisión [7].

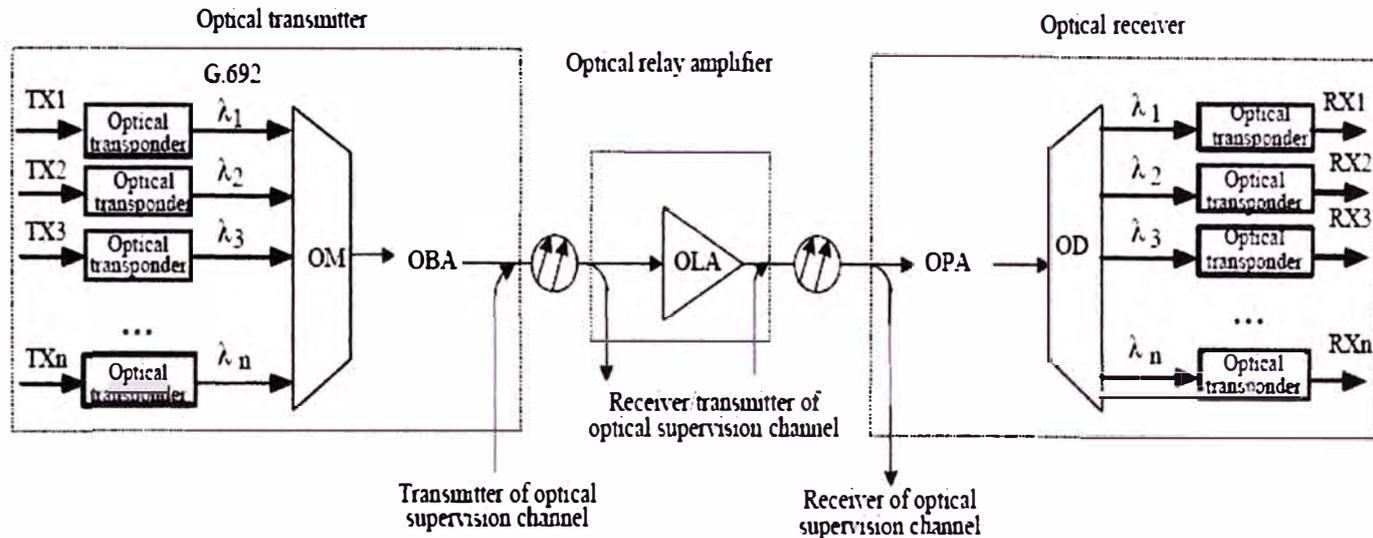


Figura 1.4 Estructura de un sistema DWDM

1.6.2.- Extremo del Receptor óptico.

Después de ser amplificados por la OPA, la señal de canales ópticos es demultiplexada por el de-multiplexor óptico y luego, dichos canales ópticos son respectivamente ingresados hacia los receptores ópticos RX1, RX2... RXn.

1.6.3.- Amplificador regenerador óptico

Está ubicado en el medio de la sección de transmisión óptica y la función de amplificador lo realiza la OLA.

1.6.4.- Canal de monitoreo

En el sistema DWDM mostrado en la Figura 1.4 una longitud de onda independiente (1550nm) es usada como canal de monitoreo óptico para las señales ópticas transmitidas. El canal de monitoreo es usado para llevar información de administración de los Elementos de red (NE: Network Element) y monitoreo del sistema DWDM. De esta manera se logra una administración efectiva del sistema en general.

1.6.5.- Sistema de administración de red

Este módulo ha sido omitido en la Figura 1.4. El sistema de administración de red (NMS de sus siglas en inglés: Network Management System) debe ser capaz de administrar todas las unidades del sistema DWDM además de supervisar el desempeño

de canales, todo sobre una sola plataforma. El NMS puede administrar los dispositivos en términos de desempeño, fallas, configuración y seguridad. La información en el NMS es llevada por las señales de monitoreo.

1.7.- Breve introducción a la jerarquía del sistema DWDM

El sistema DWDM se divide en: Capa o Sección de Multiplexado Óptico (OMS), Sección de Transporte Óptico (OTS), Capa de Canales Ópticos (OCH) y Capa de Acceso Óptico (OAC). La localización de estas capas en el sistema se muestra en la Figura 1.5 y sus funciones se mencionan en la Tabla 1.3.

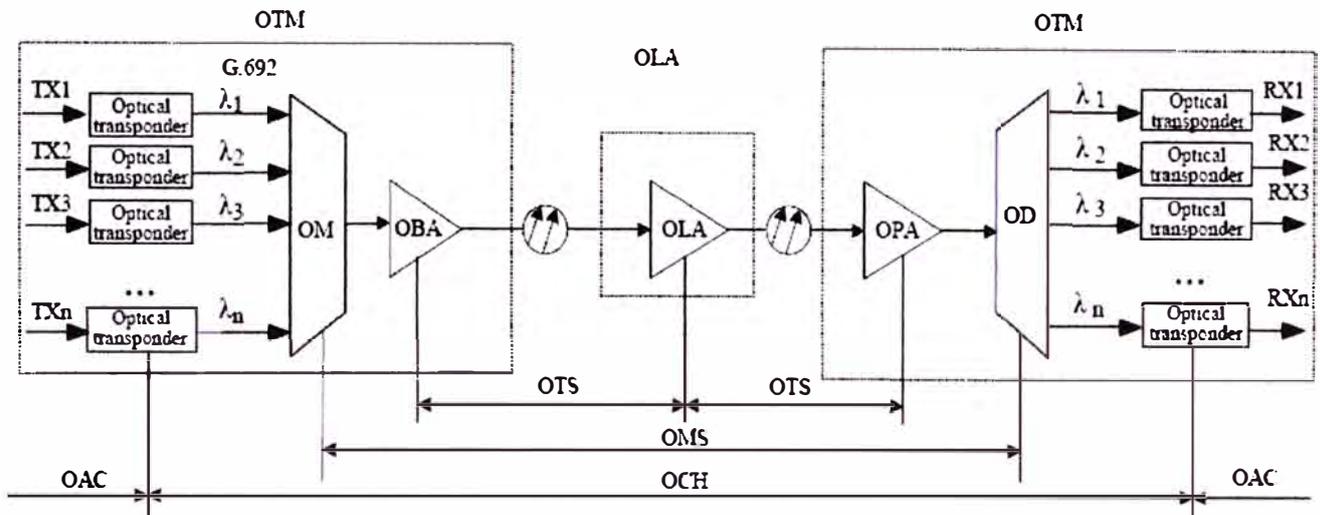


Figura 1.5 Secciones o Capas de un sistema DWDM

Tabla 1.3 Funciones de las diferentes capas del sistema DWDM

Capa o Sección	Posición	Funciones
OMS	Entre OTMs	Multiplexación y De-multiplexación de canales ópticos.
OTS	Entre OTMs y OLA; y entre OLAs	Transmitir las señales ópticas sobre las fibras.
OCH	En el lado de línea de la plataforma de Transponder Óptico	Dar soporte a la sección OAC para convertir las señales de clientes en señales ópticas que cumplan con la recomendación G.692 para su transmisión.
OAC	En el lado del cliente de la plataforma de Transponder Óptico	Brindar acceso a las señales de clientes.

CAPITULO II

ANÁLISIS DEL ENLACE DWDM

2.1.- Necesidad de crear una red Backbone de fibra óptica de gran capacidad

Se pretende crear una red backbone en condición de plataforma pura de transporte a nivel óptico de largo alcance que, gracias a su flexibilidad y transparencia, permita a los clientes poder definir el tipo de tráfico de acuerdo a su propia plataforma de transporte, siendo posible la transmisión de protocolos a nivel de servicios IP, ATM, SDH, entre otros.

2.1.1.- Características de Transmisión de la Línea

En cuanto a la Capacidad de Transmisión, el sistema soporta las longitudes de onda operativas: 8/32/40/80/160. La máxima velocidad de transmisión monocanal es de 10Gbps. Por lo tanto, el sistema podría proporcionar una capacidad de transmisión de 80Gbps, 320Gbps, 400Gbps, 800Gbps o incluso 1600Gbps.

Debido a los servicios ofrecidos el equipamiento del sistema debe ser capaz de proporcionar una capacidad de transmisión alta, por ello, la red se ha diseñado para transportar señales entre 2.5Gbps (STM16) y 10Gbps (STM64) por canal. En su primera etapa la red operará con señales de 2.5Gbps.

También, dicho ancho de banda puede expresarse en términos del número equivalente de canales, tal como se puede apreciar en la Tabla 2.1

Otra característica a considerar es el Requerimiento de Longitud de Onda, para este caso, el sistema cumple con la recomendación ITU-T G.692. La relación entre el número de longitudes de onda, banda operativa y separación de canales se muestra en la Tabla 2.2.

El número de canales ofrecidos y para el cuál la red ha sido diseñada es de 40 canales, trabajando en Banda C. Cabe mencionar que el término canal es usado generalmente como sinónimo de longitud de onda o lambda. De la Tabla 2.2 se puede observar que el espaciamiento entre longitudes de onda para los 40 canales debe ser de 100GHz.

Las longitudes de onda operativas del sistema cumplen estrictamente con los valores centrales de longitud de onda y frecuencia del sistema multicanal, tal como lo estipula la recomendación ITU-T G.692 y son mostradas en la Tabla 2.3

Por lo tanto, se tiene como dato que la capacidad de la red ha sido determinada en una cantidad de 40 canales.

La necesidad de tráfico se puede apreciar en la Tabla 2.4.

Considerando la forma de producto binómico de tráfico con ancho de banda de un canal, se podrá calcular el ancho de banda del backbone que podrá ser utilizado para transportar el tráfico de los diferentes servicios en el enlace de fibra óptica.

Tabla 2.1.- Ancho de Banda del Canal

Ítem	Tipo de Servicio	Ancho de banda Gbps	Número equivalente de canales
1	IP, ATM, SDH, otros	2.5	1

Tabla 2.2.- Relación entre el Número de Longitudes de Onda, Banda Operativa y Separación de Canales.

Número de longitudes de onda	Banda operativa	Separación de canales
8/32/40	Banda C	100GHz
	Banda L	100GHz
80	Banda C	50GHz
	Banda L	50GHz
	Banda C+L	100GHz
80 - 120	Banda C+L	Banda C: 50GHz (implementa la transmisión de 80 longitudes de onda) Banda L: 100GHz (implementa la transmisión de 40 longitudes de onda)
120 - 160	Banda C+L	50GHz

Tabla 2.3.- Distribución de longitud de onda para 40CH/100GHz en banda C

Longitud de onda Número	Frecuencia Central Nominal (THz)	Longitud de onda central nominal (nm)
1	192,1	1560,61
2	192,2	1559,59
3	192,3	1558,98
4	192,4	1558,17
5	192,5	1557,36
6	192,6	1556,55
7	192,7	1555,75
8	192,8	1554,94
9	192,9	1554,13
10	193,0	1553,33
11	193,1	1552,52
12	193,2	1551,72
13	193,3	1550,92
14	193,4	1550,12
15	193,5	1549,32
16	193,6	1548,51
17	193,7	1547,72
18	193,8	1546,92
19	193,9	1546,12
20	194,0	1545,32
21	194,1	1544,53
22	194,2	1543,73
23	194,3	1542,94
24	194,4	1542,14
25	194,5	1541,35
26	194,6	1540,56
27	194,7	1539,77
28	194,8	1538,98
29	194,9	1538,19
30	195,0	1537,40
31	195,1	1536,61
32	195,2	1535,82
33	195,3	1535,04
34	195,4	1534,25
35	195,5	1533,47
36	195,6	1532,68
37	195,7	1531,90
38	195,8	1531,12
39	195,9	1530,33
40	196,0	1529,55

Tabla 2.4.- Capacidad de canales del Backbone

Item	Servicios	No. Canales
1	IP, ATM, SDH, otros	40

2.1.2.- Servicios ofrecidos

La empresa que administra los recursos de la red descrita en el presente informe está dedicada al transporte de señales de telecomunicaciones de todo tipo (voz, datos e imagen) sobre sus redes que cubren gran parte del territorio en Perú, Colombia y Ecuador. En Perú se ha posicionado como una red de telecomunicaciones neutral, abierta y diseñada para todos los operadores del país. Esta red es la segunda de fibra óptica en el mercado y tiene como objetivo convertirse en la alternativa de transporte para los operadores de telecomunicaciones del país. El portafolio de servicios incluye:

a) Acceso IP

Servicio creado para garantizar enlaces de comunicación desde los nodos de la compañía hasta la plataforma IP. Manejando características de Calidad de Servicio (QoS), suministro de direcciones IP e incluye la ubicación de equipos de último kilómetro suministrados por el cliente para la conexión al servicio.

b) Transporte POP TO POP

Este servicio está diseñado para operadores que requieren transportar información entre dos puntos de la red de telecomunicaciones utilizando el backbone propio de la compañía, a través de interfases E1, STM1, STM4, STM16 según las necesidades del cliente y disponibilidad en el sitio.

2.2.- Cálculo del ancho de banda total del Backbone en el enlace óptico

Conociendo la capacidad de canales que serán multiplexados con la tecnología DWDM, se puede calcular el ancho de banda total del Backbone en el enlace de fibra óptica con la ayuda de la siguiente fórmula [8]:

$$BW = NC \times 2.5Gbps \quad (2.1)$$

Donde:

BW es Ancho de banda del tráfico de telefonía en el enlace óptico en Kbps.

NC es El número de canales para el cual ha sido diseñada la red.

Tomando los valores de la Tabla 2.4, se tiene:

NC = 40 canales

Reemplazándolos en la fórmula (2.1), se tiene:

$$BW = 40 \times 2.5\text{Gbps}$$

Finalmente:

$$BW = 100\text{Gbps}$$

La transmisión digital ocupará 40 canales de 2.5Gbps cada uno. Por lo tanto, el enlace de fibra óptica tendrá que soportar una velocidad de transmisión de 100Gbps para servicios que estén acorde a los requerimientos de los clientes.

2.3.- Número de fibras del enlace óptico

El enlace DWDM en sí hará uso de dos hilos de fibra óptica. Además teniendo en cuenta que el OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) es una herramienta básica en la instalación y mantenimiento de enlaces de fibra óptica, ya que permiten efectuar mediciones del enlace a nivel físico desde un extremo de la fibra, se ha considerado un hilo de fibra óptica dedicado para la conexión de este equipo a manera de testeador.

Cabe mencionar que conjuntamente con el equipamiento para el enlace DWDM la red también contará con equipos SDH que proporcionarán mayor flexibilidad al sistema brindando interfaces ópticas estándar dentro de la jerarquía propia de la tecnología que se muestra en la Tabla 2.5, además de interfaces eléctricas E1 y E3.

Para conectar equipos SDH se requieren dos fibras activas, es decir, fibras que estén en funcionamiento permanente; más dos fibras de respaldo que deberán ser instaladas y preparadas para entrar en funcionamiento cuando ocurra una falla en las activas [9].

De lo expuesto anteriormente, se puede calcular el número necesario de hilos de fibra óptica, que para este caso serían como mínimo 7.

Es conocido que los avances en telecomunicaciones han traído consigo mejores posibilidades de desarrollo en este campo y lo seguirán haciendo. Muy pronto velocidades mucho mayores a las presentadas en este informe de suficiencia serán una

realidad así como una mayor demanda de tráfico. Por estas razones se ha considerado una reserva adicional en el número de hilos tendiendo un cable de 12 fibras.

Tabla 2.5.- Jerarquía SDH

Señal	Bit Rate (Mbps)	Canales
STM-1	155.52	63-E1 ó 1-E4
STM-4	622.08	252-E1 ó 4-E4
STM-16	2 488.32	1008-E1 ó 16-E4
STM-64	9 953.28	4032-E1 ó 64-E4
STM-256	39 813.12	16 128-E1 ó 256-E4

2.4.- Fibra óptica usada en el enlace óptico

La fibra óptica es el medio de conducción más importante para la transmisión óptica. Está compuesto por un núcleo de alto índice de refracción, una armadura de índice de refracción bajo y una cubierta de plástico. Las fibras ópticas usadas en enlaces de larga distancia son todas del tipo monomodo.

De acuerdo al modo de dispersión se clasifican en G.652, G.653, G.654 y G.655. La fibra más usada en el proyecto de transmisión descrito en este informe de suficiencia es la del tipo G652D. Este tipo de fibra provee una ventana de transmisión extendida desde 1310nm a 1550nm de manera continua eliminando permanentemente el “pico de agua” presente a 1385nm. De esta manera se hace posible la transmisión en la región total desde 1260 a 1620nm, incrementando la capacidad espectral utilizable para DWDM.

En la ventana de los 1550nm el coeficiente de atenuación de la fibra monomodo se encuentra entre 0.18dB/Km y 0.22dB/Km, típicamente se considera 0.22dB/Km.

2.5.- Límite de distancia del enlace

En un enlace de fibra óptica se debe asegurar que el equipo Receptor pueda “percibir” la señal que está siendo transmitida, para ello, dicha señal debe poseer un nivel de potencia mayor que o igual a la sensibilidad máxima del equipo Receptor [10]. El límite

de distancia nos permite determinar si será necesario el uso de amplificadores u otros elementos que hagan posible que la señal llegue al extremo receptor con parámetros adecuados para que la información contenida en ella cumpla con los valores de BER planificados.

Se debe tener en cuenta además, la tasa de transmisión del sistema, ya que para sistemas con tasa de transmisión alta, las condiciones de la señal no serán las mismas.

El límite de distancia del enlace se determina por el límite de distancia por atenuación y el límite de distancia por dispersión, tal como se muestra a continuación.

2.5.1.- Límite de distancia por Atenuación

Para el cálculo de la distancia límite se consideran las atenuaciones provocadas por los componentes del enlace y las penalizaciones que recomiendan las consideraciones de diseño, y se relacionan en la siguiente fórmula:

$$LA = \frac{P_T - P_R - (N_C \alpha_C) - (N_E \alpha_E) - P_P - M_S}{\alpha} \quad (2.2)$$

Donde:

LA	es	Longitud por Atenuación (Km)
P_T	es	Potencia del transmisor (dBm)
P_R	es	Sensibilidad máxima del receptor para (dBm)
N_C	es	Número de enfrentamiento de conectores
α_C	es	Atenuación media del enfrentamiento de conectores (dB)
N_E	es	Número de empalmes
α_E	es	Atenuación media de empalme (dB)
P_P	es	Penalización por ecualización (dB)
M_S	es	Margen de los equipos (dB)
α	es	Coeficiente de atenuación de la fibra (dB / Km)

La red DWDM diseñada cuenta con empalmes cada 4Km aproximadamente, por lo que el número de empalmes se puede calcular con la ayuda de la siguiente fórmula:

$$N_E = \left\lceil \left\lfloor \frac{L}{L_E} \right\rfloor \right\rceil + 2 \quad (2.3)$$

Donde:

L es Longitud del enlace (Km.)

L_E es Distancia entre empalmes (Km.)

Para el cálculo del número de empalmes, se sabe que:

L = 80 Km

L_E = 4 Km

Reemplazando estos datos en la fórmula (2.3), se tiene:

$$N_E = \left[\frac{80}{4} \right] + 2 = 22$$

Por lo tanto en el enlace descrito se están utilizando 22 empalmes

Para el cálculo del límite por atenuación, se sabe que:

P_T	= Potencia inyectada del transmisor	= 3dBm
P_R	= Sensibilidad máxima del receptor	= -25dBm
N_C	= Número de enfrentamiento de conectores	= 2
α_C	= Atenuación media del enfrentamiento de conectores	= 0.5 dB
N_E	= Número de empalmes	= 22
α_E	= Atenuación media de empalme	= 0.1 dB
P_P	= Penalización por ecualización	= 1 dB
M_S	= Margen de los equipos	= 1 dB
α	= Coeficiente de atenuación de la fibra (dB/Km)	= 0.22@1 550nm

Reemplazando estos datos en la fórmula (2.2), se tiene:

$$LR = \frac{3 - (-25) - (2)(0.5) - (22)(0.1) - 1 - 1}{0.22}$$

$$LR = \frac{28 - (1) - (2.2) - 1 - 1}{0.22}$$

$$LR = \frac{28 - 5.2}{0.22}$$

$$LR = \frac{22.8}{0.22} Km$$

$$LR = 103.63 Km$$

Se observa que:

La longitud limitada por la atenuación es de 103.63Km y es mayor que la longitud del enlace, dada en 80Km

De este modo no será necesario el uso de amplificadores entre ambos nodos, pero si se desea interconectar estas ciudades a otras uno de estos nodos o ambos debe contar con amplificadores para que la señal pueda ser transmitida.

2.5.2.- Límite de distancia por Dispersión

La dispersión en fibra óptica significa que el pulso de señal se hace más ancho o incluso se dispersa después de la transmisión, debido a que diferentes espectros tienen diferentes velocidades de transmisión en la fibra óptica, lo cual limita la distancia entre repetidores [11].

El factor de dispersión típico de la fibra óptica G.652 es de 18ps/(nm.Km) [12]. Para sistemas de tasa de transmisión alta la distancia también está limitada por la Dispersión por Modo de Polarización (PMD por sus siglas en inglés: Polarization Mode Dispersion) que se suma a las pérdidas de línea y a la dispersión en la fibra óptica. En ingeniería, el límite por PMD sólo se considera para sistemas DWDM de 10Gbps.

El PMD es generado por una doble refracción aleatoria de la fibra óptica, es decir, el índice de refracción de la fibra óptica varía con el estado de polarización, produciendo diferentes desfases. En manifestación en el dominio del tiempo, el retardo de grupo varía con el estado de polarización dispersando o ensanchando el pulso.

Para el sistema DWDM de 10Gbps la limitación de distancia por dispersión por modo de polarización (PMD) satisface las recomendaciones de la ITU-T, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$B^2 (PMD)^2 L < 10^4 \quad (2.4)$$

Donde:

B es el Ancho de Banda (Gbps)

L es la Distancia del enlace (Km.)

PMD es la Dispersión por Modo de Polarización (ps/Km^{1/2})

La ITU-T estipula un PMD de 0.5ps/Km^{1/2}. Reemplazando este valor en la fórmula (2.4) se tiene:

$$(10)^2 (0.5)^2 L < 10^4$$

Por lo que la limitación de distancia por PMD para un sistema DWDM 40x10Gbps es alrededor de 400Km.

En los sistemas de tasa de transmisión alta, la dispersión de la fibra óptica es el factor más importante en la restricción de la distancia de transmisión del backbone. El costo de la potencia de dispersión incrementa dramáticamente al aumentar la distancia de transmisión, el ancho espectral y el coeficiente de dispersión. El límite de distancia por dispersión en la fibra óptica está dado por la siguiente fórmula:

$$B^2 DL < 105 \quad (2.5)$$

Donde:

B – Ancho de Banda (Gbps)

L – Longitud del enlace (Km)

D – Coeficiente de dispersión de la fibra óptica.

El valor típico del factor de dispersión de la fibra óptica tipo G.652 es 18ps/(nm·Km). Luego de realizar los cálculos de la distancia límite se debe considerar que en la práctica el verdadero límite de la distancia es entre 20% y 40% menor que la distancia teórica calculada inicialmente.

Si al realizar el diseño, el límite de distancia por dispersión es menor que la distancia real requerida para la transmisión, se debe considerar la inserción y configuración de un módulo de compensación de dispersión (DCM por sus siglas en inglés: Dispersión Compensation Module).

Para un sistema de 2.5Gbps:

Reemplazando los valores para la fibra tipo G.652 en la fórmula (2.5)

$$(2.5Gbps)^2 (18ps / nm.Km) L < 105$$

$$L < 960Km$$

Para un sistema de 10Gbps:

Reemplazando los valores para la fibra tipo G.652 en la fórmula (2.5)

$$(10Gbps)^2 (18ps / nm.Km) L < 105$$

$$L < 60Km$$

De los valores obtenidos se puede concluir que la compensación de dispersión por lo general no es considerada en sistemas de transmisión a 2.5Gbps. Sin embargo, en una segunda etapa, cuando el enlace en estudio transporte señales de 10Gbps, sí será necesario considerar una compensación de dispersión.

2.6.- Medio usado para el tendido de la fibra

La empresa que ha implementado y que administra los recursos del proyecto descrito en el presente informe de suficiencia pertenece al mismo grupo comercial que una de las empresas eléctricas que brinda el servicio de transporte de energía eléctrica de alta tensión (entre 60 y 220KV) desde los centros de generación (empresas generadoras de energía eléctrica) hasta los centros de consumo (clientes libres y empresas distribuidoras); por ende, tiene la facilidad de usar la infraestructura de las torres de las líneas de transmisión para realizar el tendido aéreo del cable de fibra óptica, sumando ventajas al proyecto, entre ellas, un área amplia de cobertura a nivel nacional y la condición de seguridad que proporciona esta infraestructura.

Para el tendido de fibra óptica en la estructura de transmisión aérea de energía existen tres alternativas, utilizando diversos tipos de cables que pueden contener el mismo tipo y número de fibras ópticas:

- Usar cable tipo LASHED adosado al cable de guarda o a una de las líneas de fase. Puede ir devanado, engrapado o colgado.
- Usar cable ADSS (de sus siglas en inglés: All Dielectric Self-Supported), colgado siguiendo el camino de las líneas de alta tensión.
- Enviar la fibra a través del cable de guarda tipo OPGW (de sus siglas: Optical Ground Wire).

Los cables adosados tipo LASHED son cables dieléctricos, instalados longitudinalmente a lo largo del cable de tierra o de uno de los cables de fase o fijados con grapas. La instalación de este cable se realiza con maquinaria especializada y es más lenta y costosa, en comparación a otros cables auto sustentados. Este método es el más delicado, porque si la línea se rompe, el cable óptico perdería su soporte, acarreando un mayor tiempo de reparo para restaurar la red.

Los cables ADSS son cables auto sustentados totalmente dieléctricos (All Dielectric Self Supported), han sido sometidos a rigurosas pruebas ambientales y mecánicas.

Inicialmente con el uso de cables ópticos auto sustentados ADSS se eliminó la necesidad de un cable mensajero, constituyendo de esta manera una excelente solución para distancias largas tales como travesías de ríos y carreteras ofreciendo ventajas en costos y facilidad de instalación. Estos cables ópticos son inmunes a interferencias de las redes eléctricas y no son susceptibles a la caída de rayos ya que carecen de elementos metálicos. Además cuenta con un revestimiento extra de polietileno que envuelve al cable óptico dieléctrico y al elemento de sustentación externo no metálico. Lo cual proporciona la necesaria resistencia a la tracción.

El cable OPGW combina las funciones de un cable de tierra y de comunicaciones, reemplazando el cable de guarda existente en la red de transmisión eléctrica. Este cable contiene una estructura tubular con varias fibras ópticas dentro, rodeadas por capas de acero y cable de aluminio. La parte conductora del cable sirve para aterrizar torres adyacentes y para proteger a los conductores de alto voltaje de ser dañados por los rayos. El núcleo de fibras ópticas se aloja en el interior de un tubo de aluminio extruido que proporciona tanto protección mecánica al núcleo óptico como estanqueidad frente a la humedad o penetración de agua. Este tubo de aluminio proporciona a su vez alta conductividad eléctrica necesaria para la disipación de las descargas atmosféricas o cortocircuitos accidentales. Sobre este tubo de aluminio se cablea una capa de alambres de acero recubiertos de aluminio (ACS, del inglés Aluminum Clad Steel) o, mezcla de ACS y aleación de aluminio (AA), lo que da a este conjunto la configuración típica de los cables de tierra para líneas de alta tensión. El ACS es ideal, ya que combina una alta resistencia a la tracción con una alta conductividad eléctrica debido a su capa de aluminio. Asimismo, se evita la posibilidad de que aparezcan fenómenos corrosivos entre el tubo y la capa exterior de ACS. Estos cables se diseñan y fabrican teniendo en cuenta los parámetros de instalación de las líneas aéreas como son las tensiones y las flechas, de forma que soporten las condiciones climáticas extremas a las que pueden estar sometidos, principalmente el hielo y el viento. Asimismo están diseñados para soportar las altas temperaturas producidas por las corrientes de corto circuito y rayos.

El cable usado en la implementación del presente proyecto es del tipo OPGW (Optical Ground Wire), el resumen de sus especificaciones técnicas, características físicas del cable y el modelo del tendido de cable de fibra óptica OPGW utilizando las líneas de transmisión eléctrica se muestran en el Anexo B.

Este cable ha sido tendido a lo largo de las torres de alta tensión y se han considerado empalmes cada 4km aproximadamente, con un promedio de atenuación de 0.1dB por empalme y pérdidas en los ODF de 0.5dB cada uno.

CAPITULO III

RESULTADOS

En este capítulo se explicarán algunos de los resultados obtenidos luego de la puesta en operación de la red backbone de fibra óptica, materia de estudio del presente informe.

3.1.- Principales Clientes y Servicios

Los principales clientes que actualmente emplean la red óptica son los siguientes:

3.1.1.- Red CLARA

La red CLARA (Cooperación Latino Americana de Redes Avanzadas) es una agrupación regional de redes mayores que conforman una gran troncal (backbone), cuyo objetivo es construir una red de transporte, servicios y sistemas de información para interconectar todas las regiones del Perú integrando las instituciones de educación e investigación en una red avanzada de alto rendimiento y potenciar la investigación e intercambio de información entre las universidades e institutos de investigación del país y sus similares en el extranjero.

Esta red usa los nuevos protocolos y arquitecturas de red IPv6 y tiene comunicación hacia las redes internacionales de investigación basadas en IPv6, a través de esta red también será enrutado el tráfico de datos provenientes de Ecuador y Colombia hacia las redes basadas en IPv6.

3.1.2.- Global Crossing

Para lograr brindar el servicio de transporte de voz y datos a uno de sus clientes en el norte del Perú, Global Crossing ha ingresado a la red óptica haciendo uso de un ancho de banda equivalente a 1E1 de tipo eléctrico.

3.1.3.- Claro

Claro hace uso de un ancho de banda equivalente a 32E1 de tipo eléctrico, los cuales llegan al nodo de Chiclayo a través de dos enlaces microondas y además cuenta

con un enlace STM1 a nivel de fibra óptica hasta este nodo. Con la implementación de estos enlaces, Claro logró lanzar el año pasado sus servicios con tecnología 3G o UMTS (Universal Mobile Telephone System) y 3.5G o HSDPA (High Speed Downlink Packed Access) en el norte del país; los cuales incluyen llamadas de voz, video llamadas (voz e imágenes) y transferencia de datos (navegación en Internet, email, etc.).

3.1.4.- Winet

Es una empresa de telecomunicaciones que brinda los servicios de Internet de banda ancha y enlaces a través de redes VPN (Red Privada Virtual), estas redes funcionan empleando un proceso simple que encapsula o encripta la información contenida en los paquetes de datos, luego la envía a distintos puntos remotos mediante el uso de infraestructuras de transporte públicas o privadas. Los paquetes de datos de la red privada viajan por medio de un “túnel” definido en la red.

En el caso de acceso remoto, la VPN permite al usuario acceder a su red corporativa, asignándole a su PC o laptop remota las direcciones y privilegios de la misma, a pesar que la conexión haya sido realizada a través de una red pública como es Internet.

Para poder abastecer la demanda de sus diversos clientes en el departamento de La Libertad, esta empresa actualmente utiliza un ancho de banda de 6Mbps dentro del backbone.

3.2.- Principales Beneficios

Los principales beneficios logrados con la implementación de esta red son haber aumentado sustancialmente la disponibilidad de facilidades de transporte de información para operadores de telecomunicaciones en esta zona del Perú y establecer una interconexión fronteriza con el sur del Ecuador, para permitir su integración con el backbone óptico de este país y con esto lograr conformar un backbone regional entre Venezuela, Colombia, Ecuador y Perú.

La red permite el desarrollo de diferentes proyectos de telecomunicaciones en la región tales como internet de banda ancha, telefonía, TV digital, etc. Dichos proyectos tendrán un gran impacto social, al lograr la integración de muchas zonas alejadas, caseríos y distritos de la región, los que se beneficiarán con la implementación de estos nuevos servicios. Asimismo debido a que la red óptica es la única destinada a la prestación de servicios a todos los operadores de telecomunicaciones y a la gran capacidad de transporte que presenta, ésta contribuirá a promover la competencia y de esta manera conseguir mejores costos en los servicios.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. En la actualidad los sistemas DWDM prácticos trabajan en la ventana de 1550nm con el fin de aprovechar la característica del Amplificador de Fibra Dopado con Erblio (EDFA) de amplificar directamente la señal multiplexada y así poder cubrir mayores distancias.
2. La cualidad más significativa de la tecnología DWDM es la de brindar una potencial capacidad de transmisión casi ilimitada, esta característica nos permite ir incrementando la capacidad del sistema a medida que la demanda de tráfico aumenta; el modo de incrementar esta capacidad es simplemente agregando nuevos canales o longitudes de onda en la fibra. Esto hace que dicha tecnología de transmisión óptica sea esencial para las redes de banda ancha de alta capacidad, ya que la demanda de tráfico para telecomunicaciones continúa creciendo.
3. La información que transporta un canal o longitud de onda es independiente de la transportada por los demás canales, por lo que el sistema DWDM nos permite transmitir diferentes tipos de servicios con absoluta transparencia. Es decir, se puede transmitir por el mismo cable de fibra y al mismo tiempo tráfico del tipo Gigabit Ethernet, ATM, SDH, etc.
4. Tener como posibilidad agregar nuevos canales o longitudes de onda al sistema le brinda a la empresa que administra la red backbone rapidez para proveer servicios y crear nuevas oportunidades de ingresos al alquilar los canales.
5. La compensación por dispersión en la fibra óptica generalmente no se considera en sistemas DWDM con tasas de transmisión de 2.5Gbps; sin embargo, para un sistema

trabajando a 10Gbps sí es necesario considerar la inserción y configuración de un Módulo de Compensación de Dispersión (DCM).

6. El cable OPGW combina las funciones de un cable de tierra y de comunicaciones, reemplazando el cable de guarda existente en la red de transmisión eléctrica. Estos cables se diseñan y fabrican de forma que soporten las condiciones climáticas extremas a las que pueden estar sometidos, principalmente el hielo y el viento. Asimismo están diseñados para soportar las altas temperaturas producidas por las corrientes de corto circuito y rayos. Todas estas características convierten al cable OPGW en el tipo de cable idóneo para ser usado en el tendido de fibra para la red descrita en el presente informe.
7. La implementación de la red ha permitido el desarrollo de diferentes proyectos de telecomunicaciones en la región tales como el lanzamiento del servicio 3.5G de Claro en el norte del Perú. Este tipo de proyectos permite la integración regional, reduciendo la brecha en telecomunicaciones.
8. Debido a que la red óptica descrita es la única destinada al servicio Portador de Portadores para todos los operadores de telecomunicaciones y a la gran capacidad de transporte que presenta, esta red contribuirá a promover la competencia en la región y de esta manera conseguir mejores costos en los servicios.

RECOMENDACIONES

1. Se deben tener en cuenta los requerimientos ambientales de los equipos dentro del nodo y los requerimientos para realizar las rutinas de Operación y Mantenimiento del nodo, por ello, en cada nodo se debe contar tanto con equipos de telecomunicaciones (equipos que en su mayoría usan voltaje DC) como con equipos de aire acondicionado, luminarias y tomas de corriente (que utilizan voltaje AC). Por este motivo se recomienda instalar en cada nodo un rectificador que permita brindar la correcta alimentación eléctrica a los equipos de telecomunicaciones.
2. Debido a la naturaleza tan delicada del tráfico que se transporta y considerando que un corte en la transmisión de éste se traduciría en una pérdida económica considerable, se recomienda que cada nodo cuente con un sistema de protección

eléctrica; un grupo electrógeno que sirva como soporte para los equipos AC y un banco de baterías, en caso de falla del rectificador, para los equipos DC.

3. También se recomienda que el sistema cuente con un mecanismo de protección óptico, que permita, en caso de desconexión o corte, interrumpir la potencia emitida en la fibra que sufrió el corte y a la vez redireccionar el tráfico transportado por dicha fibra a través de una ruta alterna.
4. En la etapa de implementación de la red o en el momento de instalación de equipos de nuevos clientes se recomienda el correcto etiquetado de todos estos equipos y de los cables conectados a ellos, indicando en cada etiqueta toda la información relevante que permita su rápida identificación y ubicación.
5. Durante el tendido del cable de fibra óptica se recomienda dejar una reserva de fibra adecuada, con la finalidad de facilitar la revisión en caso de fallas, mantenimiento o corte de fibra.

ANEXO A
PRINCIPALES COMPONENTES DEL SISTEMA

DESCRIPCIÓN DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES DEL SISTEMA Y SU PRINCIPIO DE OPERACIÓN

En este capítulo se explicará de manera resumida el funcionamiento de un Elemento de Red o NE (del inglés: Network Element) [13], [14], para ello nos apoyaremos en la gráfica de la posible distribución de tarjetas en uno de los nodos del enlace materia de análisis del presente informe. Esta gráfica se muestra en la Figura A.1.

A.1.- Tarjeta Amplificadora (OA: Optical Amplifier)

La tarjeta OA adopta el Amplificador de Fibra Dopado con Erblio (EDFA) para amplificar señales ópticas, el cual usa el modo de amplificación de luz para reemplazar el modo de regeneración eléctrica original. De esta forma, se reducen tanto el costo como la complejidad del sistema.

En términos de su posición y función en la red, la tarjeta OA puede ser de tres tipos:

A.1.1.- Amplificador Reforzador Óptico (OBA)

Se ubica en la parte frontal de un OMS, después del equipo OTM o emisor de luz del equipo regenerador. Eleva la potencia de emisión con el fin de extender la distancia de transmisión.

A.1.2.- Amplificador Óptico de Línea (OLA)

Está ubicado en la mitad de un OMS. Inserta el EDFA en el enlace de transmisión para amplificar las señales ópticas directamente. Se pueden usar múltiples OLA en una OMS, según se necesiten.

A.1.3.- Preamplificador Óptico (OPA)

Posicionado al final de un OMS y antes del receptor de luz. Tiene la función de amplificar las señales ópticas que han sido atenuadas a través de la línea óptica, con el fin de incrementar la potencia óptica para cumplir con los requisitos de sensibilidad de los receptores ópticos.

A.1.4.- Funciones de la Tarjeta Amplificadora

La tarjeta amplificadora provee las siguientes funciones:

- Ajuste de ganancia, fijación de ganancia y función de limitación de potencia.
 - Ajuste de ganancia: Cuando la atenuación de línea fluctúa, el OA puede hacer un ajuste fino de la ganancia a través del software de gestión sin interrumpir el tráfico, para asegurar que el sistema trabaja en el estado óptimo.
 - Fijación de ganancia: La tarjeta OA del equipo DWDM adopta el modo de amplificación fija de ganancia. Están disponibles varias tarjetas OA con diferentes ganancias fijas para cumplir con las necesidades de diferentes líneas y sistemas.
 - Limitador de potencia: Cuando la potencia óptica de entrada es demasiado alta o demasiado baja, la tarjeta OA puede controlar su potencia de salida a través de la función de limitación de potencia, con el fin de evitar los impulsos ópticos de EDFA.

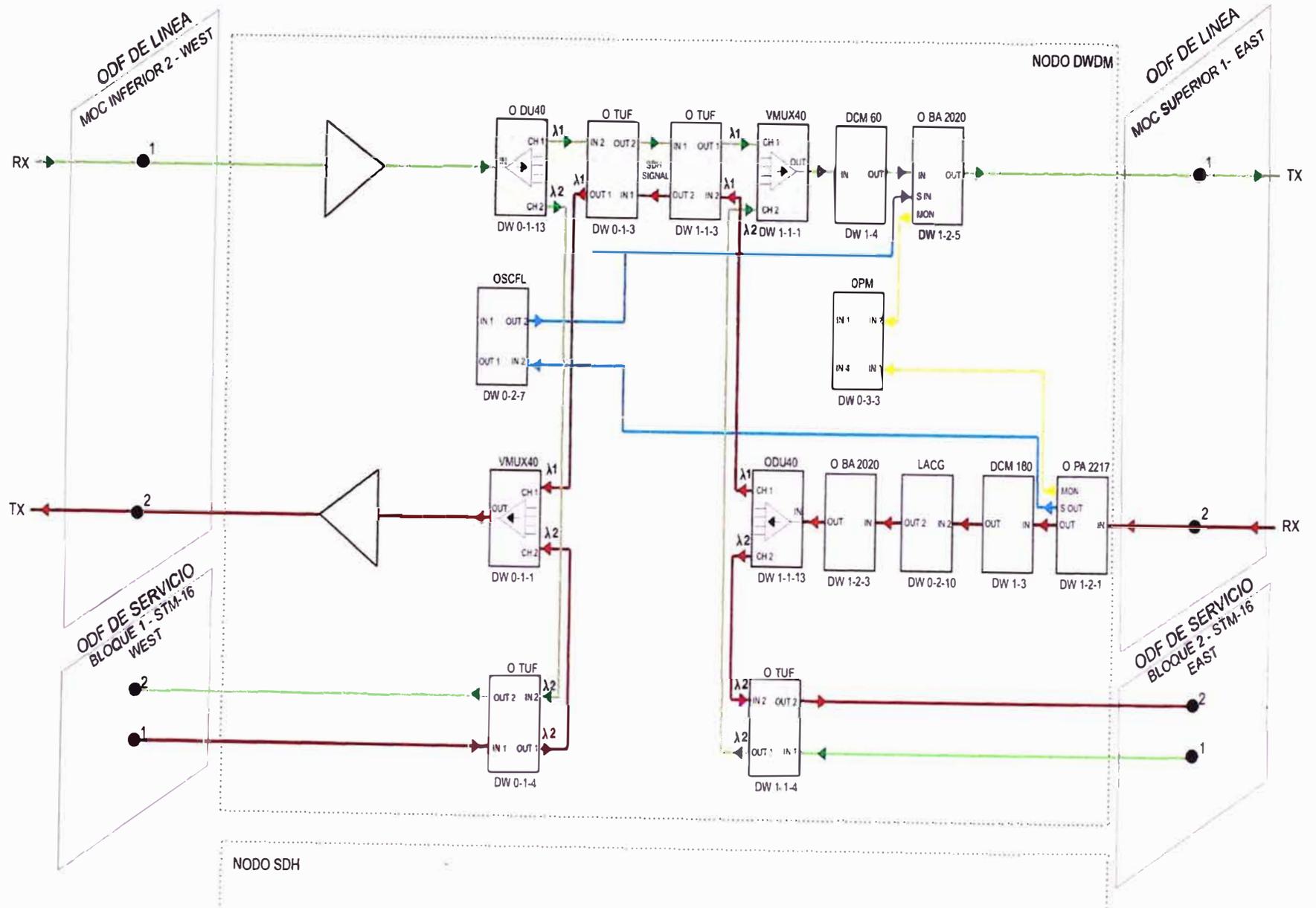
La limitación de potencia incluye dos modos:

Limitación superior: Bajo este modo, la potencia de salida siempre mantiene el valor de salida nominal aún cuando la potencia de entrada alcance la potencia de saturación de salida.

Limitación inferior: Asegura que una pequeña porción de potencia óptica será producida por la tarjeta OA aún cuando no haya luz de entrada.

- Función de Apagado Automático de Potencia (APSD) y Reducción Automática de Potencia (APR). Cuando el sistema detecta que no hay luz de entrada en el enlace, apagará o reducirá la potencia óptica de salida de la tarjeta OA automáticamente. Cuando se recupera la luz de entrada, la tarjeta OA trabajará de nuevo. En esta forma, el nivel de potencia óptica siempre está en el rango seguro mientras los operadores mantienen o reparan fibras de la línea óptica.
- Las tarjetas OA tiene un multiplexor 1510/1550 y un demultiplexor 1510/1550 para adición o extracción de la longitud de onda supervisora (1510 nm). Sin embargo, la tarjeta OA no procesa la señal supervisora (1510 nm).

Figura A.1.- Distribución de Tarjetas



A.1.5.- Principio de Operación

La Figura A.2 ilustra el principio de operación de la tarjeta OA.

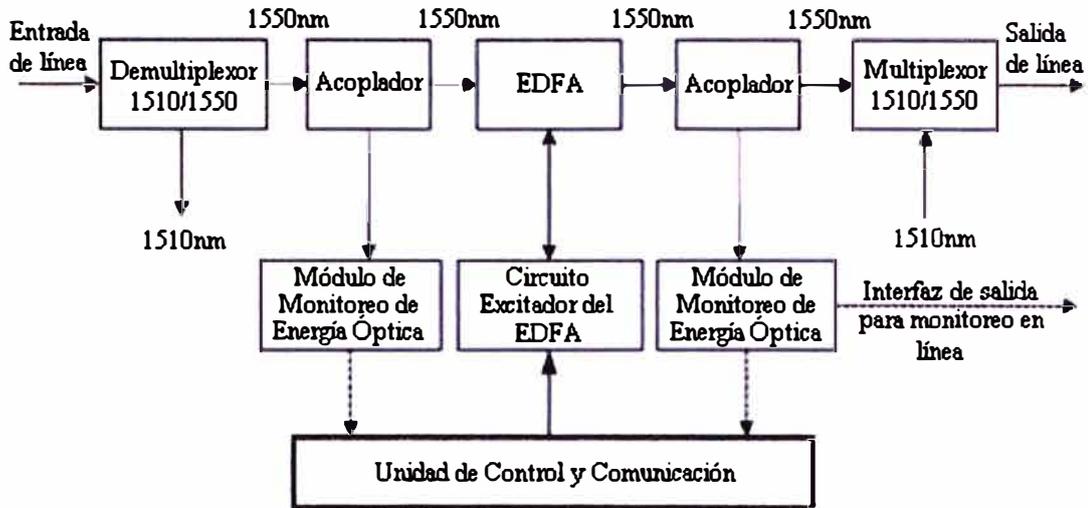


Figura A.2.- PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA TARJETA OA

Después de ingresar a la tarjeta OA, el demultiplexor separa la señal óptica de línea en una señal con la longitud de onda de 1510 nm y una señal con la longitud de onda de 1550 nm. La longitud de onda de 1510 nm se envía a la tarjeta OSCF mientras que la longitud de onda de 1550 nm se envía al módulo de EDFA para amplificación. Después de ello, el multiplexor 1510/1550 combina de nuevo estas dos longitudes de onda y entonces son entregadas desde la tarjeta OA.

La función de cada unidad mostrada en la Figura A.2 está descrita como sigue.

- Los bloques Demultiplexor 1510/1550, multiplexor 1510/1550 se ubican en los extremos receptor y transmisor de la tarjeta OA respectivamente, el demultiplexor y el multiplexor ejecutan la separación y combinación del canal de supervisión (1510 nm) y el canal óptico principal (1550 nm). La tarjeta OBA solamente tiene el multiplexor; la tarjeta OPA solamente tiene el demultiplexor.
- Un Acoplador está después del demultiplexor 1510/1550 y otro acoplador está antes del multiplexor 1510/1550. Ellos extraen luz de la señal de canal óptico principal y la envía a dos módulos de monitoreo de potencia óptica.
- El Módulo de monitoreo de potencia óptica Recibe una pequeña cantidad de señal óptica del acoplador, monitorea la potencia óptica y ejecuta el control de ganancia. El módulo de monitoreo de potencia óptica en el extremo transmisor también suministra una interfaz de monitoreo en línea con el propósito de

monitorear parámetros tales como espectro de línea y potencia óptica con instrumentos sin influenciar el tráfico.

- El bloque EDFA amplifica la señal óptica con la longitud de onda de 1550 nm. La amplificación es controlada por el circuito excitador del EDFA, el cual tiene las funciones de ajuste de ganancia, limitación de potencia, fijación de ganancia, APSD y APR. El rango de ajuste de ganancia de la tarjeta OA adecuada para sistemas de 40 canales es de ± 2 dB. La precisión del ajuste es de 0.1 dB.
- La Unidad de control y comunicación verifica la potencia óptica de entrada/salida y la reporta al software de gestión. Al mismo tiempo, recibe los comandos de éste.

A.2.- Tarjeta de Control de Atenuación de Línea (Regeneración) - LACG

La tarjeta LAC ajusta su atenuador óptico variable eléctricamente (EVOA) a través del software de gestión, de acuerdo con la potencia óptica de línea medida para asegurar que la potencia de cada alcance, la potencia recibida en el extremo receptor y el OSNR se mantienen normales.

Tarjeta LACG: tiene dos EVO, siendo aplicable a OLA, OADM y estaciones de OTM espalda a espalda.

A.2.1.- Principio de Operación

El software de gestión envía el comando de ajuste de atenuación a través de la unidad de control y comunicación en la tarjeta LAC. Después de recibir el comando, el circuito excitador EVOA actúa sobre el EVOA correspondiente en el módulo receptor óptico para ajustar la cantidad de atenuación.

- EVOA: atenuador óptico variable eléctricamente.- Se configura un EVOA para cada dirección óptica, el cual es manejado por el circuito excitador EVOA. La Unidad de control y comunicación verifica la potencia óptica de entrada/salida y la reporta al software.
- Acoplador 5/95: separa la señal óptica y envía un 5% de ella a la unidad de medición de potencia óptica.
- Circuito excitador EVOA: recibe comandos de control desde la unidad de control y comunicación y envía el comando de ajuste al EVOA en el módulo receptor óptico.

- Unidad de medición de potencia óptica: mide la potencia óptica de salida y alimenta a la unidad de control y comunicación.
- Unidad de Control y Comunicación: supervisa la potencia óptica de salida y la reporta al software de gestión. También recibe comandos de control del software de gestión.

La Figura A.3 ilustra el principio de operación de la tarjeta LACG.

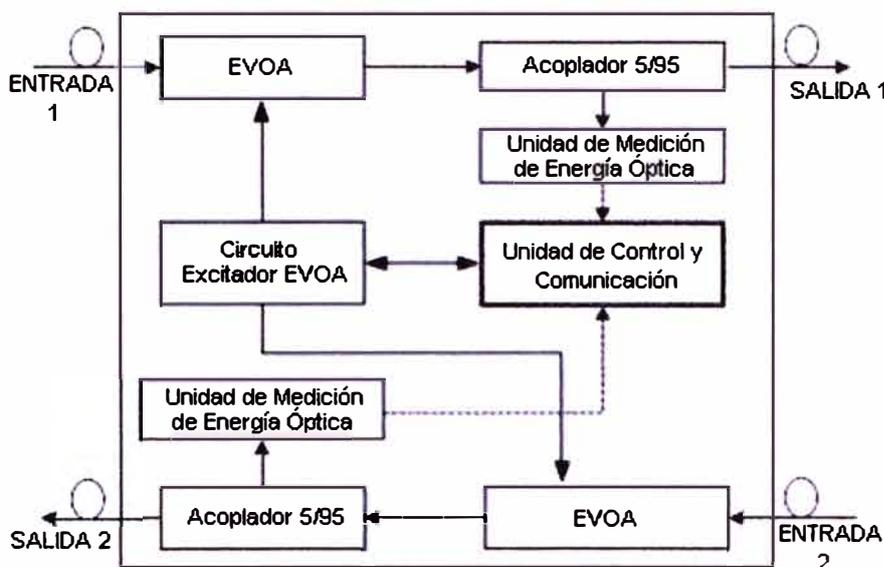


Figura A.3.- PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA TARJETA LAC (LACG)

A.3.- Unidad de Demultiplexado Óptico - ODU

La tarjeta ODU ejecuta la demultiplexación de longitudes de onda y provee una interfase especial para monitoreo en línea de la señal óptica multiplexada.

Para el sistema de 40 canales se utiliza la tarjeta ODU40 que puede utilizar multiplexores del tipo AWG Array Waveguide Grating (Sistema de Rejillas de Guía de longitudes de Onda), TFF Thin Film Filter (Filtro de Película Delgada).

A.3.1.- Principio de Operación

La Figura A.4 ilustra el principio de operación de la tarjeta ODU40

El DeMUX en la tarjeta ODU separa las señales ópticas de diferentes canales en una fibra única y luego los envía a los receptores ópticos correspondientes.

Antes de entregar la señal óptica multiplexada, parte de ella se envía al módulo de monitoreo de potencia óptica, el cual provee la interfaz de monitoreo para supervisión en

línea. El módulo de monitoreo de potencia óptica informa al software de gestión sobre la potencia óptica total de salida, a través de la unidad de control y comunicación.

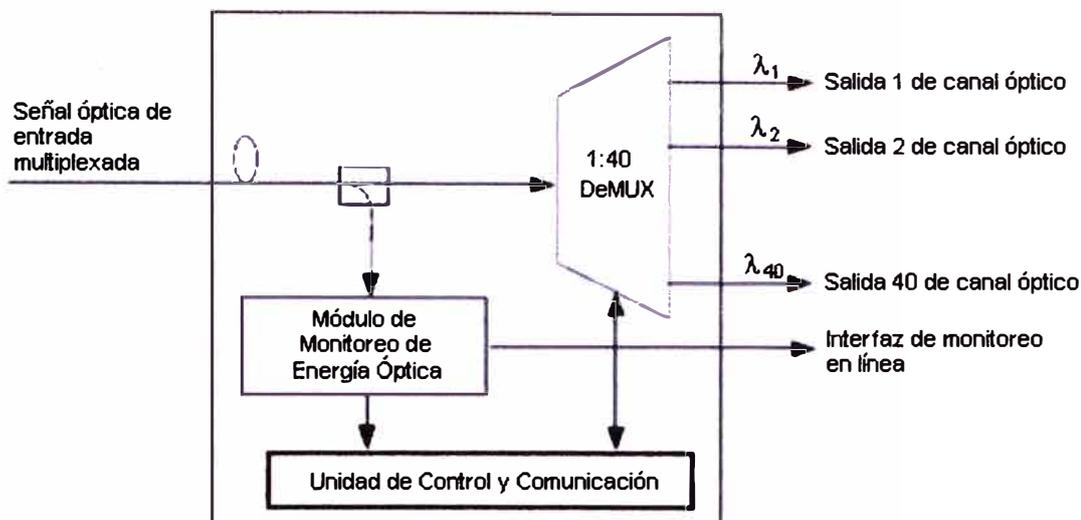


Figura A.4.- PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA TARJETA ODU40

A.4.- Unidad de Transponder Óptico - OTU

Se adopta el modo de conversión óptico/eléctrico/óptico para ejecutar la conversión de longitud de onda y la regeneración de datos en la tarjeta Unidad de Transponder Óptico (OTU). Se puede dividir en dos tipos, terminal OTU y regenerador OTU (OTUG).

- El terminal OTU convierte longitudes de onda de señales multiservicio de doble canal en la tasa STM-16 (2.5Gbit/s) o menores. El terminal OTU se puede dividir en transmisor OTU (OTUT), receptor OTU (OTUR) y OTU bidireccional de un solo canal.
Las interfases ópticas de la tarjeta OTU están ubicadas en el lado de línea y el lado cliente.
 - En el lado de línea, transportando señales G.692 con información de longitud de onda, soporta el láser de longitud de onda fija y láser de longitud de onda sintonizable.
 - En el lado del cliente transporta señales del cliente, incluyendo señales ópticas STM-1/STM-4/STM-16/GbE o señales de servicios de tasa continua.
- El regenerador OTU (OTUG) ejecuta la conformación de onda, extracción del sincronismo y la regeneración de datos para señales ópticas de línea de doble

canal. Todas las interfases ópticas de la tarjeta OTUG están ubicadas en el lado de línea.

Tanto las señales ópticas de recepción como las de transmisión en el lado línea cumplen los requisitos de G.692. Y las señales ópticas pueden ser STM-1/STM-4/STM-16/GbE o señales de servicio de tasa continua.

El OTUG soporta el láser de longitud de onda fija y el láser de longitud de onda sintonizable.

Puede ser utilizada como tarjeta regeneradora entre la tarjeta del terminal OTU y la tarjeta OTU con función de protección de canal (OTUP).

- El terminal OTU y el regenerador OTU destacan las siguientes características cuando se accede a los servicios de tasa continua.

- Cualquiera de las señales ópticas que cumplen los requisitos de la G.957 pueden ser accedidos en el lado cliente dentro del rango de tasas de 12.3 Mbps a 2.7 Gbps, tales como señales ópticas STM-1/STM-4/STM-16/GbE, señales ópticas de conexión del sistema corporativo (ESCON), señales ópticas de interfaz de datos distribuidos por fibra (FDDI), señales de canal de fibra (FC), señales ópticas de transmisión broadcasting de video digital (DVB) y señales ópticas de TV de alta definición (HDTV).
- El tipo de servicio de acceso está configurado a través del software de gestión, el cual provee los siguientes tres métodos de configuración de servicio.

Enganchar automáticamente el tipo de servicio: la tarjeta detectará la tasa de servicio automáticamente y tratará de enganchar el servicio.

Enganchar manualmente el tipo de servicio: la tasa de servicio del puerto es enganchada, especificando el tipo de servicio de acceso. Cada servicio corresponde a una tasa de servicio.

Enganchar manualmente la tasa de servicio: se engancha el servicio, especificando el tipo de servicio de acceso. La precisión de la tasa de entrada es de 100 ppm. Eso significa que al menos cuatro dígitos efectivos de la tasa de entrada deberían ser comparados con la tasa real; de lo contrario, el servicio no se puede asegurar.

- La OTU tiene la función de revisar el byte B1 y J0 en señales STM-4/STM-16 y paquetes de error en señales GbE.

- La OTU soporta el lazo del lado cliente y el lazo del lado de la línea para facilitar la localización de fallas.

A.4.1.- Principio de Operación

La Figura A.5 ilustra el principio de operación de la tarjeta OTU Terminal

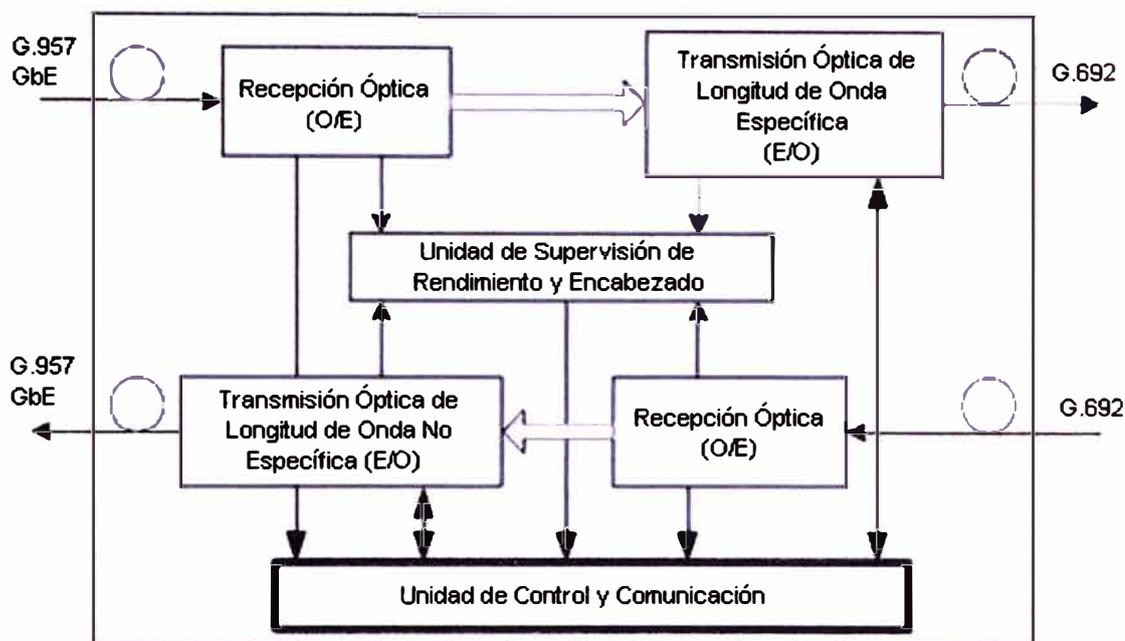


Figura A.5.- PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA TARJETA OTU TERMINAL

La tarjeta OTU consiste en módulos de recepción óptica, módulos de transmisión óptica, unidad de supervisión de desempeño y encabezado y unidad de control y comunicación.

- El Módulo de recepción óptica transforma las señales ópticas recibidas, en señales eléctricas, a través de conversión óptica/eléctrica (O/E).
- Existen dos clases de Módulos de transmisión óptica; el Módulo de transmisión óptica de longitud de onda específica, que convierte señales eléctricas en señales ópticas, las cuales cumplen los requisitos de G.692 y el Módulo de transmisión óptica de longitud de onda no específica, que convierte señales eléctricas en señales ópticas, sin requerimientos de G.692.
- La Unidad de Supervisión de Desempeño y Encabezado procesa información de supervisión de desempeño y encabezado de los módulos ópticos y de transmisión y entonces la transmite a la unidad de control y comunicación.

- La Unidad de control y comunicación recibe información de monitoreo de cada uno de los módulos e información de supervisión de la unidad de supervisión de desempeño y encabezado y entonces las transmite al software de gestión. Al mismo tiempo, recibe los comandos de éste para controlar la salida de longitudes de onda, potencia y encabezados.

La Figura A.6 ilustra el principio de operación de la tarjeta OTU Regeneradora

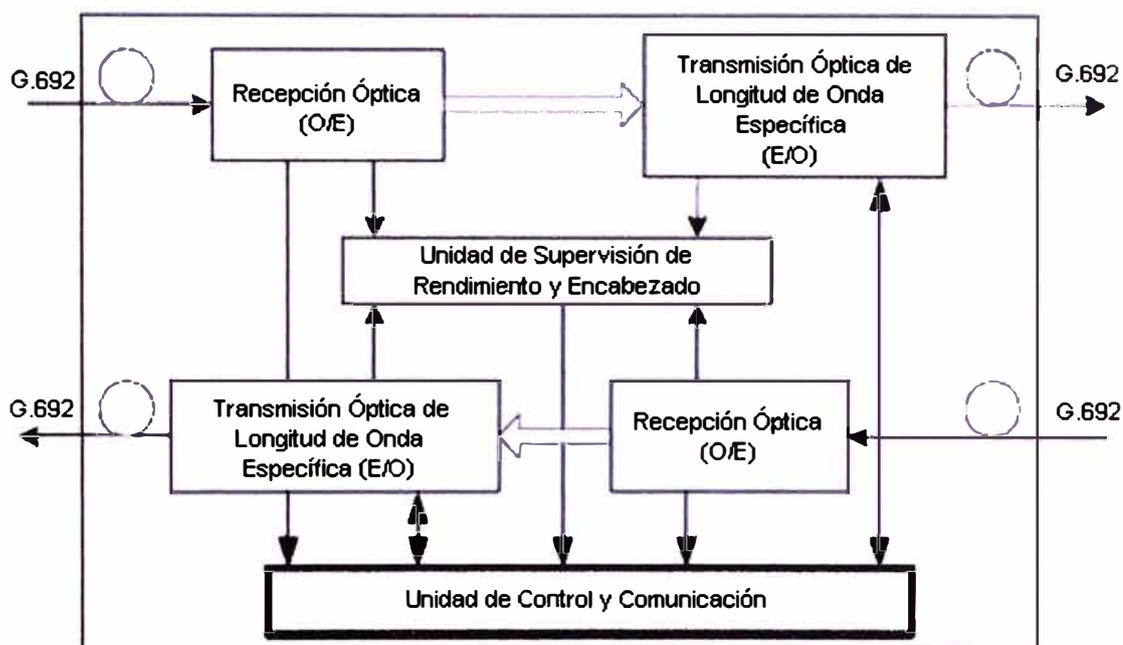


Figura A.6.- PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA TARJETA OTU REGENERADORA

A.5.- Multiplexor con pérdida de inserción variable (VMUX - Variable insertion loss Multiplexer)

La tarjeta VMUX provee las siguientes funciones.

Función multiplexora basada en la pre-ecualización de potencia de canal: Adopta el AWG y la tecnología del Atenuador Óptico Variable (VOA) para ajustar la atenuación de cada canal antes de multiplexar. Soporta la Multiplexación de 40 longitudes de onda.

Función de monitoreo de la potencia: Monitorea la potencia óptica de la señal multiplexada de salida.

Función de ajuste y control de potencia de canal: Cooperando con la tarjeta OPM y con el software de gestión, la tarjeta VMUX puede ajustar la potencia de un canal único o ajustar la potencia de todos los canales al mismo tiempo. La precisión de ajuste de potencia es: 0.1 dB. El rango ajustable: 0-10 dB y la pérdida intrínseca de inserción: 8 dB.

Se pueden usar las siguientes tres maneras de controlar el ajuste de potencia del canal:

- La tarjeta OPM detecta la potencia realimentada por el extremo de salida de la tarjeta de la interfaz MON en la tarjeta VMUX/OBA o la interfaz MON T en la tarjeta OBM. Ajusta la potencia de canal manualmente en el software de gestión.
- La tarjeta OPM detecta la potencia realimentada por el extremo de entrada de la tarjeta de la interfaz MON en la tarjeta ODU/OPA/OBA o la interfaz MON_R en la tarjeta OBM. Ajuste la potencia de canal manualmente en el software de gestión.
- El subsistema de administración de potencia de la capa OCH controla el ajuste de potencia automáticamente. Comprueba la potencia del canal óptico en el extremo receptor y luego ajusta la tarjeta VMUX en el extremo transmisor automáticamente.

La tarjeta VMUX adopta el AWG como su multiplexor. En términos del rango de longitud de onda de señales, la tarjeta VMUX está dentro de la banda C, banda C+, banda L y banda L+.

A.5.1.- Principio de Operación

La Figura A.7 ilustra el principio de operación de la tarjeta VMUX.

El VMUX utiliza el circuito de control de temperatura para manejar el VOA de cada canal, el cual ajusta la atenuación de cada canal y luego combina todos los canales en uno sólo para la señal de salida. Los VOA, AWG y el circuito de control y manejo de temperatura están todos ubicados en el módulo óptico de la tarjeta VMUX.

La unidad de control y comunicación envía el comando de ajuste VOA de cada canal y verifica la información de desempeño y alarma del módulo óptico en la tarjeta.

La función de cada unidad mostrada en la Figura A.7 está descrita como sigue.

- Cada canal está equipado con un VOA, el cual está controlado por la parte del circuito de control y manejo de temperatura.
- El AWG Es una clase de multiplexor adoptado por la tarjeta VMUX, el cual está controlado por la sección de control de temperatura dentro del circuito de control y manejo de temperatura.
- El Circuito de Manejo y control de Temperatura incluye dos partes, el circuito de control de temperatura y el circuito de manejo VOA, controlando del VOA de cada canal y el AWG respectivamente.

- El Acoplador 5/95 recibe la señal óptica combinada del AWG para luego producir una salida de 95% de la señal óptica y enviar el 5% restante al módulo de monitoreo de potencia óptica.
- El Módulo de Monitoreo de Potencia Óptica provee la interfaz de monitoreo en línea y reporta la potencia óptica detectada de salida a la unidad de control y comunicación.
- La Unidad de Control y Comunicación monitorea la potencia de salida de la señal óptica combinada, lo reporta al software de gestión y recibe comandos desde éste.

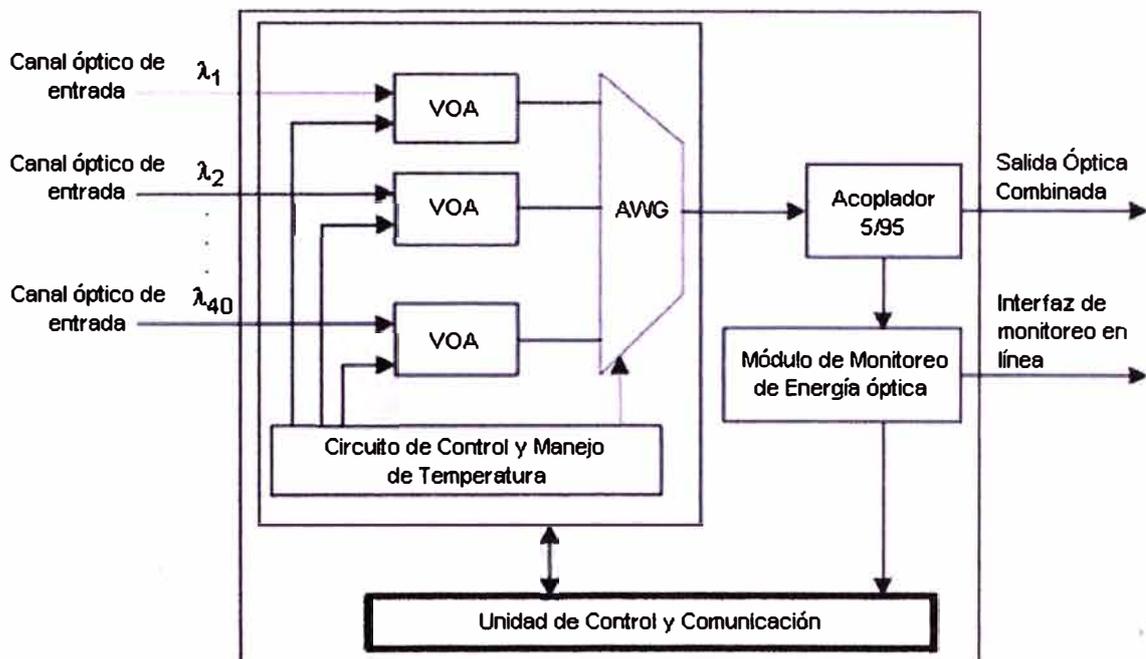


Figura A.7.- PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA TARJETA VMUX

A.6.- Monitor de Desempeño Óptico (OPM - Optical Performance Monitor)

La tarjeta OPM ejecuta la supervisión del desempeño del canal óptico, midiendo parámetros de cada canal óptico, tal como potencia óptica, longitud de onda central y OSNR y luego informa estos datos al software de gestión.

Cada tarjeta OPM detecta desempeños de cuatro interfases ópticas.

La precisión para medición de parámetros es como sigue.

Potencia óptica: ± 1.0 dBm

Longitud de onda central: ± 0.1 nm

OSNR: ± 1.5 dB (OSNR < 25 dB)

OSNR es la relación Señal a Ruido (de sus siglas en inglés: Optical Signal to Noise Ratio).

A.6.1.- Principio de Operación

La Figura A.8 ilustra el principio de operación de la tarjeta OPM.

Como se muestra en esta figura, la tarjeta OPM tiene cuatro interfases ópticas. La unidad de detección y procesamiento mide parámetros de cada canal óptico. Luego la unidad de control y comunicación informa al software de gestión los datos de desempeño detectados, los cuales pueden emitir comandos de consulta de parámetros de canal óptico, a través de la unidad de control y comunicación.

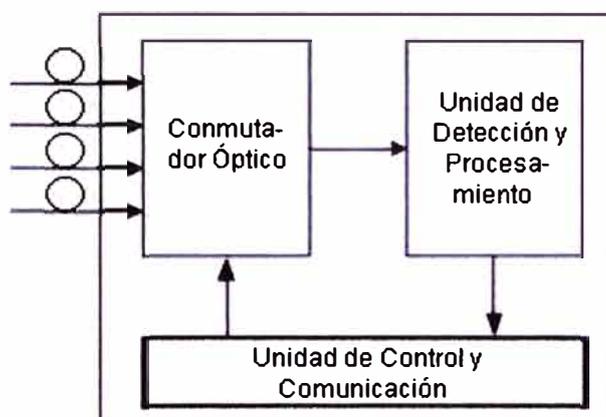


Figura A.8.- PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA TARJETA OPM

A.7. - Canal de Supervisión Óptica para Fast Ethernet (OSCF - Optical Supervision Channel for Fast Ethernet)

La tarjeta OSCF se utiliza en sistemas de supervisión de 100M (Fast Ethernet) para ejecutar la transferencia e intercambio de datos ECC (Canal de Control Integrado), datos del canal de servicio y del canal transparente de usuario e información APS (Conmutación Automática de Protección) entre los NE. Provee las siguientes funciones:

- Encapsular en paquetes IP datos de los canales entre los Elementos de red en un sistema de supervisión de 100M, para ejecutar transferencias e intercambio de estos datos
- Provee seis interfases eléctricas Ethernet 10/100BASE-T, con la función automática cruzada. A través de estas interfases, otras tarjetas (tales como NCPF, OHPF y APSF), el software de gestión, tarjeta OSCF esclavo y ruta de

respaldo pueden acceder al sistema de supervisión de 100 M, para ejecutar la transferencia de información de supervisión interna de un Elemento de Red.

- Provee dos interfases ópticas Ethernet 10/100BASE-FX o 10/100BASE-FL para acceder al canal de supervisión óptica de 1510 nm o 1625 nm para ejecutar la transferencia de información de supervisión entre los NE. Las interfases 10BASE-FL son usadas en sistemas de supervisión de 10 M, mientras que las interfases 100BASE-FX se usan en sistemas de supervisión de 100 M.
- Provee capacidad de transferencia en la capa 3 basada en hardware.
- Soportar la ruta dinámica adoptando como protocolo de enrutamiento al OSPF (abrir primero la ruta más corta).

A.7.1.- Principio de Operación

La Figura A.9 ilustra el principio de operación de la tarjeta OSCF.

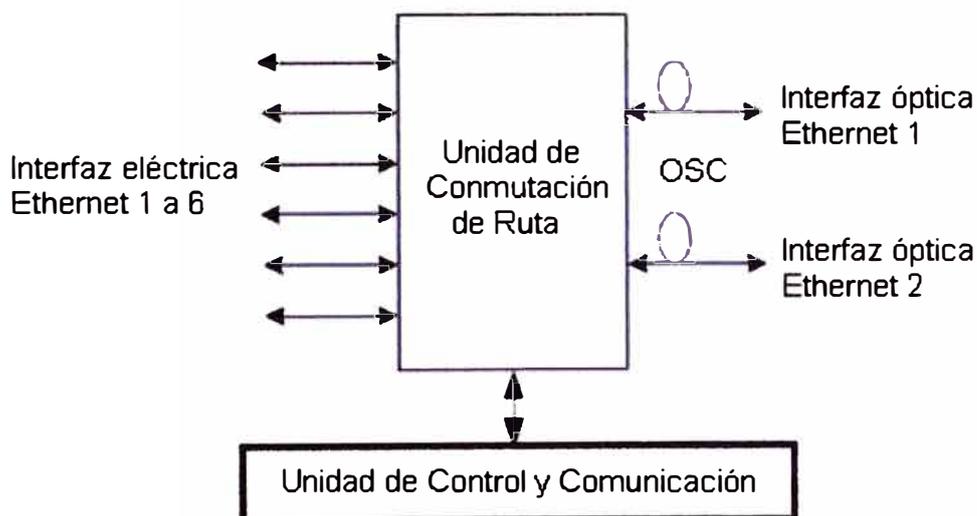


Figura A.9.- PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA TARJETA OSCF

En el extremo transmisor, la tarjeta OSCF recibe los paquetes de datos de las tarjetas NCPF, APSF y OHPF en el NE a través de interfases eléctricas Ethernet. Estos paquetes de datos están dirigidos a otras NE después de ser conmutadas a las interfases ópticas de Ethernet por la unidad de conmutación de ruta. A través de estas interfases, los paquetes son dirigidos a las tarjetas NCPF, APSF y OHPF en la NE.

ANEXO B
CARACTERÍSTICAS DEL CABLE OPGW

Tabla B.1.- Principales características del cable OPGW

Condiciones Operativas	Riesgos para la fibra óptica	Soluciones adoptadas - Cable OPGW
Viento, temperatura, acumulación de hielo	Aumento de atenuación o rotura por alargamiento y/o compresión	Protección holgada de las fibras que permite el alargamiento o compresión del cable sin afectar a las fibras
Generación de hidrógeno en la estructura metálica	Aumento de atenuación por absorción de hidrógeno en la fibra óptica	Relleno del núcleo con gel absorbente de hidrógeno
Humedad y lluvia	Aumento de atenuación por penetración de agua en la fibra óptica	Estanqueidad radial intrínseca del tubo extruido de aluminio Gel taponante en el núcleo óptico
Cortocircuito de la línea Impacto de rayos	Aumento de atenuación o rotura de los hilos de ACS o AA por exceso de temperatura o por el impacto de la carga transferida	Diseño con alto contenido de aluminio. Selección de hilos de ACS y/o AA. Protección térmica del núcleo. Adecuado preformado de hilos que impide el descableado en caso de rotura de los mismos.

Tabla B.2.- Especificaciones Mecánicas y Eléctricas del cable OPGW

Diámetro aproximado	12.6mm
Máxima tensión del cable	3739Kg.
Peso aproximado	399Kg./Km.
Carga de rotura	5001Kg.
Coeficiente de dilatación lineal	1.77E-05/°C
Módulo de elasticidad	9809Kg./mm ²
Cortocircuito 1 seg.	8.5KA
Resistencia eléctrica (20°C)	0.43 Ohms/Km
Temperatura ambiental / Temperatura máxima	30°C / 200°C

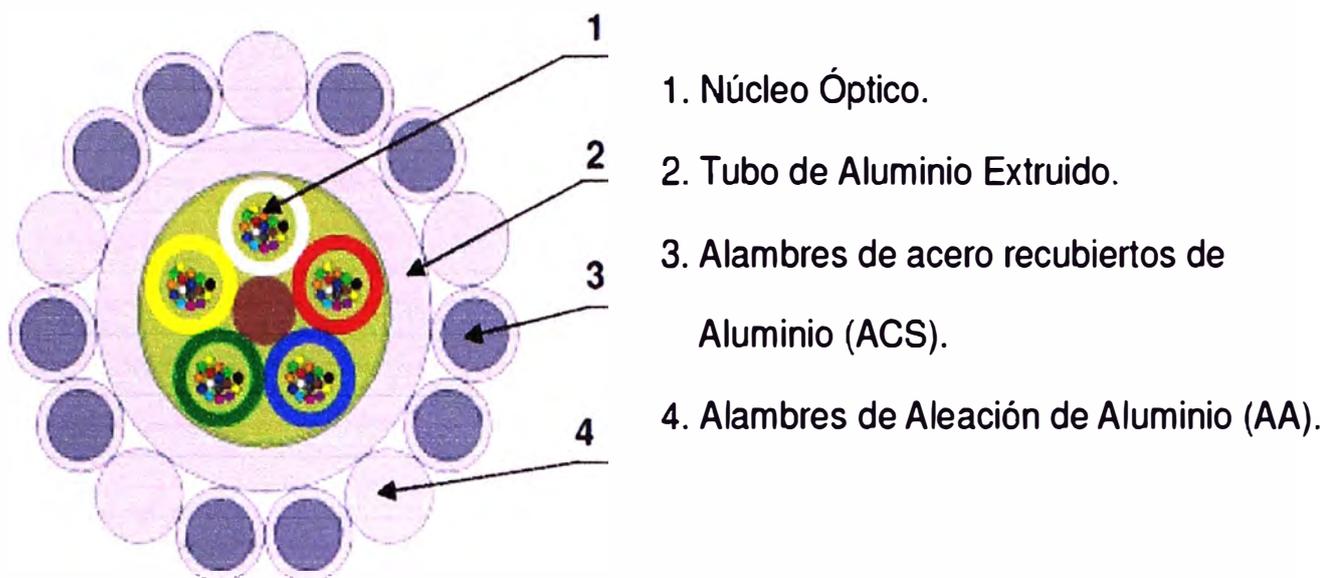


Figura B.1.- Corte transversal del cable OPGW (Optical Ground Wire)

Estructura

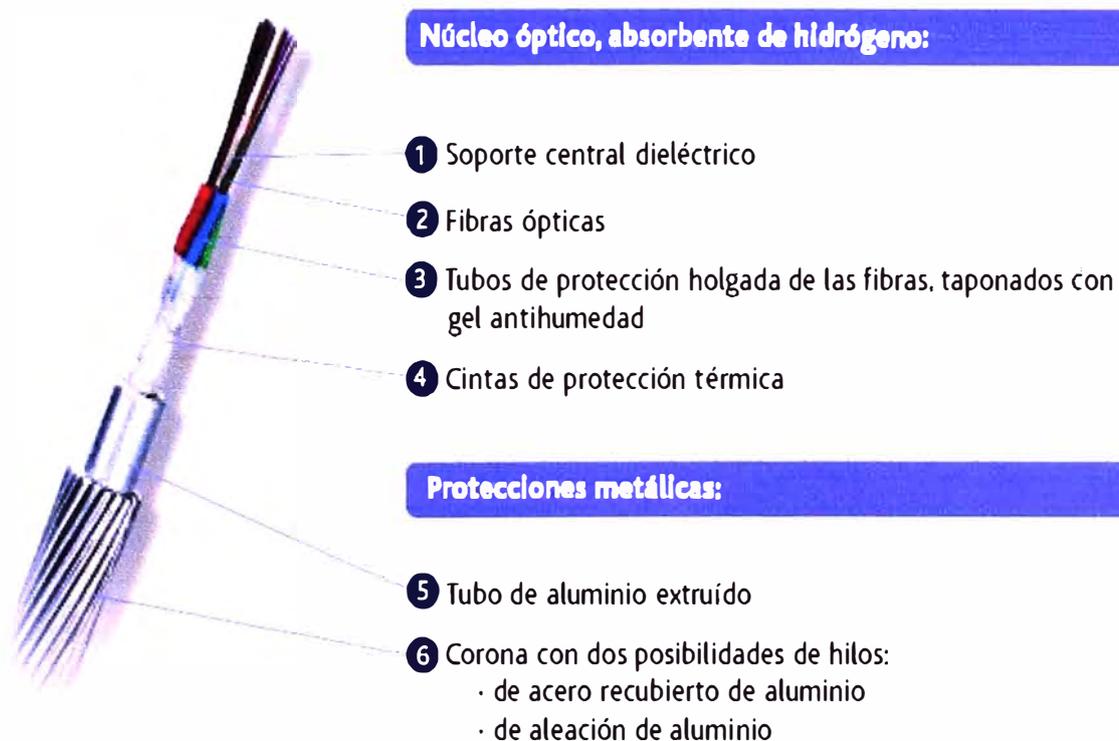


Figura B.2.- Estructura del cable OPGW (Optical Ground Wire)

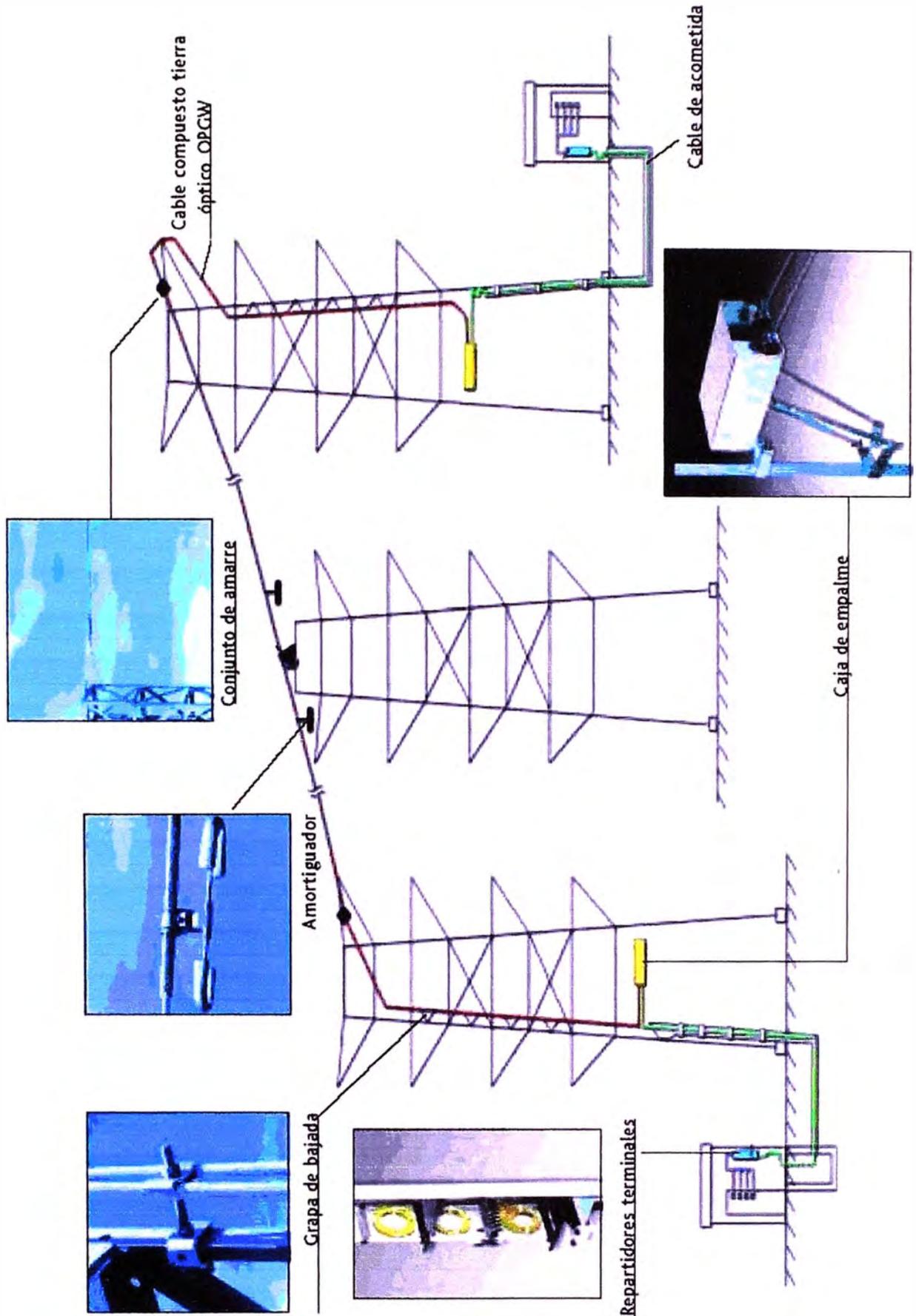


Figura B.3.- Ejemplo del tendido de cable OPGW usando infraestructura de líneas de transmisión eléctrica

BIBLIOGRAFÍA

1. ZTE Corporation, "DWDM Principal Training Manual", ZTE University, Shenzhen – P.R. China, 2005.
2. CISCO SYSTEMS, "Introduction to DWDM Technology".
www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/product/mels/cm1500/dwdm/dwdm_ovr.pdf
3. FUJITSU, "Prerequisite Training, Tutorial DWDM".
www.fujitsu.com/downloads/TEL/fnc/pdfservices
4. ZTE Corporation, "SDH Fundamentals", ZTE University, Shenzhen – P.R. China, 2006.
5. Harry J.R. Dutton, "Understanding Optical Communications", RedBook, International Technical Support Organization, IBM, 1998.
6. JDSU, "Dense Wavelength Division Multiplexing Pocket Guide".
www.jdsu.com
7. ZTE Corporation, "Unitrans ZXWM M900 Dense Wavelength Division Multiplexing Optical Transmission System" Technical Manual, ZTE Corporation, Shenzhen – P.R. China, 2006.
8. Tony Anthony - Ashwin Gumaste, "DWDM Network Designs and Engineering Solutions", 1era Edición, Cisco Press, Indianapolis – USA, 2002
9. Vivek Alwayn, "Optical Network Design and Implementation", 1era Edición, Cisco Press, Indianapolis – USA, 2004.
10. INICTEL, Diseño de Sistemas de Comunicaciones Ópticas; Manual, 2006.
11. ZTE Corporation, "Unitrans ZXWM M900 (V1.0) DWDM Optical Transmission Equipment" Engineering Commissioning Guide, ZTE Corporation, Shenzhen – P.R. China, 2005
12. ZTE Corporation, "Unitrans ZXWM M900 (V1.0) Dense Wavelength Division Multiplexing Optical Transmission System" Project Survey Guide, ZTE Corporation, Shenzhen – P.R. China, 2005.
13. ZTE Corporation, "Unitrans ZXWM M900 Dense Wavelength Division Multiplexing Optical Transmission System" Hardware Manual, ZTE Corporation, Shenzhen – P.R. China, 2006.

14. ZTE Corporation, "Unitrans ZXWM M900 (V1.0) Dense Wavelength Division Multiplexing Optical Transmission System" Engineering Installation Guide, ZTE Corporation, Shenzhen – P.R. China, 2005.
15. <http://www.zte.com.cn>
16. <http://www.alcatel.com>
17. <http://www.corning.com>
18. <http://www.huawei.com>
19. <http://www.juniper.net>
20. <http://www.pimasa.com>