



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

---

---

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

AMPLIACIÓN DEL ANCHO DE BANDA EN UNA RED  
DE FIBRA ÓPTICA EMPLEANDO UN SISTEMA DE  
MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIONES EN LONGITUDES  
DE ONDA DENSAS (DWDM)

TRABAJO PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

PRESENTA:

MARIO ALBERTO CASTRO LÓPEZ



DIRECTOR DE TRABAJO PROFESIONAL

M.I. JUVENTINO CUELLAR GONZÁLEZ

MÉXICO, D.F. FEBRERO DE 2014

*A mis padres, hermanas,  
abuelita en su memoria, a  
mis tíos, a mi amigo  
Enrique Guevara y familia,  
gracias a todos por  
brindarme su apoyo  
incondicional en cada  
momento.*

**GRACIAS A:**

**La Universidad Nacional Autónoma de México**, mi *alma máter* a quién debo mi formación profesional.

El **M.I. Juventino Cuellar González**, comprometido investigador, por contribuir a mi formación profesional, por el asesoramiento del presente trabajo profesional.

El **M.I. Luis Cesar Vázquez Segovia**, comprometido docente; por brindarme su amistad y por su contribución a mi desarrollo profesional y personal.

**MCOMM GROUP**, por darme la confianza y brindarme la oportunidad de desarrollarme como profesionista en el campo de las telecomunicaciones.

# CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....   | 6  |
| 2.1 Introducción.....  | 6  |
| 2.1.1 Operador de telecomunicaciones.....                                | 6  |
| 2.2. Definición del problema .....                                       | 7  |
| 2.2.1. Actividades asociadas a la implementación .....                   | 7  |
| ANTECEDENTES DEL TEMA .....  | 8  |
| 1.1. Fibra óptica.....   | 8  |
| 1.1.1 Componentes de una fibra óptica.....                               | 8  |
| 1.1.2 Parámetros fundamentales de la fibra óptica .....                  | 9  |
| 1.2 Tipos de fibra óptica .....  | 10 |
| 1.2.1 Fibra multimodo de índice escalonado .....                         | 10 |
| 1.2.2 Fibra multimodo de índice graduado .....                           | 11 |
| 1.2.3 Fibra mono-modo o modo único.....                                  | 12 |
| 1.3 Limitaciones de la tasa de trasmisión en los medios ópticos .....    | 12 |
| 1.3.1 Atenuación .....   | 12 |
| 1.3.2 Dispersión .....   | 13 |
| 1.3.3 Dispersión cromática.....  | 13 |
| 1.4 Banda de los sistemas de comunicaciones ópticos .....                | 14 |
| 1.4.1 Elementos de un enlace óptico .....                                | 14 |
| 1.4.2 Fuentes de luz y transmisores ópticos .....                        | 15 |
| 1.4.3 Foto diodos y receptores ópticos.....                              | 17 |
| 1.4.4 Amplificadores ópticos .....                                       | 20 |
| 1.5 PDH.....   | 24 |
| 1.6 SDH.....   | 26 |
| 1.7 SONET .....  | 30 |
| 1.8 WDM .....  | 33 |
| 1.8.1 Multiplexores ópticos Add/Drop.....                                | 35 |
| 1.8.2 Esquemas de protección y topologías para redes DWDM.....           | 35 |
| ANÁLISIS Y METODOLOGÍA EMPLEADA.....                                     | 39 |
| 3.1. Funcionamiento del equipo DWDM del PDE (Proveedor de Equipos) ..... | 39 |
| 3.1.1. Equipo de Transporte Óptico (ETO) .....                           | 39 |
| 3.1.2. Configuración del equipo ETO para modo submarino .....            | 43 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.1.3. Amplificadores ópticos de Línea (AOL) .....   | 44  |
| 3.2. Análisis de la red del operador de telecomunicaciones.....  | 48  |
| 3.2.1. Análisis de la red en el segmento Guatemala antes de la implementación.....                     | 48  |
| 3.2.2. Análisis del segmento de Guatemala para llevar a cabo la ampliación de red....                  | 54  |
| 3.3. Metodología empleada .....  | 63  |
| 3.3.1. Site survey .....   | 63  |
| 3.3.2. Instalación de los equipos .....  | 75  |
| 3.3.2.1. Normas generales de seguridad.....  | 75  |
| 3.3.2.2. Condiciones ambientales del sitio para la instalación del equipo.....                         | 77  |
| 3.3.2.4. Instalación del gabinete cerrado.....   | 78  |
| 3.3.2.5 Aterrizaje de un gabinete .....  | 80  |
| 3.3.2.6. Instalación del sistema antisísmico .....   | 80  |
| 3.3.2.8. Instalación del panel de fusibles.....  | 86  |
| 3.3.2.9. Instalación de un Amplificador e idler .....  | 87  |
| 3.3.3. Comisionamiento de los equipos .....  | 90  |
| 3.3.4. Activación de la ampliación del enlace terrestre Puerto Barrios-Puerto San José..               | 92  |
| 3.3.5. Activación de los enlaces submarino Boca Ratón- Puerto Barrios, Puerto San José-<br>Lurin. .... | 94  |
| 3.3.5.1. Verificación del terminal submarino.....  | 95  |
| 3.3.5.2. Reemplazo del amplificador submarino.....   | 96  |
| 3.3.5.3. Ajuste de la dispersión cromática .....   | 99  |
| 3.3.5.4. Parámetros y mediciones finales.....  | 100 |
| 3.3.5.5. Inserción de lambdas de 40G y ecualización de canales. ....                                   | 103 |
| PARTICIPACIÓN PROFESIONAL.....   | 113 |
| RESULTADOS Y APORTACIONES .....  | 114 |
| 5.1. Resultados .....  | 114 |
| 5.2. Aportaciones profesionales.....   | 114 |
| CONCLUSIONES .....   | 115 |
| Bibliografía.....  | 116 |

# Capítulo 1

## DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

---

### 1.1 Introducción

Distintos proveedores de servicios de telecomunicaciones han tenido que enfrentar un reto con el incremento de capacidad del ancho de banda de sus redes y buscar alternativas para poder satisfacer las necesidades de usuarios finales, los cuales demandan el uso de internet, telefonía fija, telefonía inalámbrica y servicios de video. Debido a que estos servicios son requeridos con mayor frecuencia, muchos de los operadores han ido evolucionando en la infraestructura de sus redes, ya que en sus inicios muchas de las redes de operadores eran basadas en el uso del cobre como medio de transmisión evolucionando hasta llegar al uso de la fibra óptica empleando distintas tecnologías como SDH, SONET, WDM y DWDM. Para poder hacer uso de las tecnologías descritas anteriormente en el mundo existen distintas empresas las cuales desarrollan y venden equipos de telecomunicaciones a operadores de servicios ofreciendo distintas soluciones y alternativas adecuándose a sus necesidades para poder hacer un uso eficiente del ancho de banda.

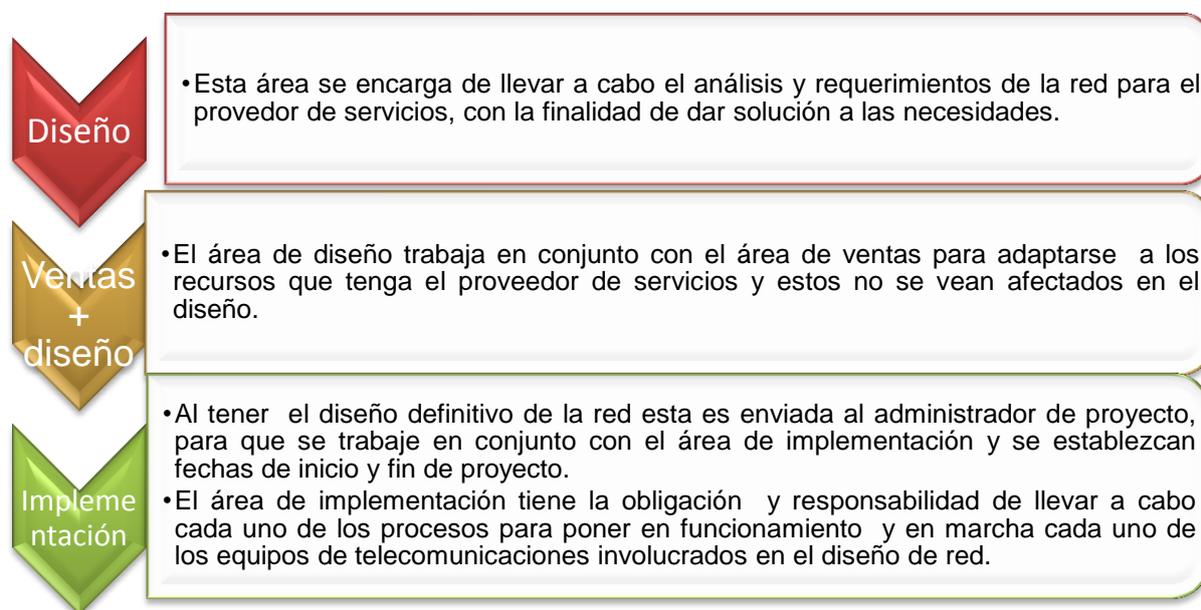
#### 1.1.1 Operador de telecomunicaciones

El operador de telecomunicaciones, es una empresa que brinda los servicios de voz, capacidad, satelitales, corporativos, de interconexión y de movilidad a nivel global, empleando enlaces submarinos y terrestres para poder llevar la comunicación de un punto a otro a nivel mundial. Desde sus inicios este operador ha contado con distintos proveedores de equipos de telecomunicaciones los cuales han permitido que su red trabaje de manera eficiente.

A partir del año 2009 el operador de telecomunicaciones ha decidido incluir a un nuevo proveedor de equipos que llamaremos PDE (para fines prácticos y de confidencialidad), puesto que para el año 2009 dicho proveedor de equipos ofrece grandes ventajas con la optimización del ancho de banda empleando la tecnología DWDM, por lo que de esta manera han seguido brindando servicios de calidad a sus usuarios finales. Para el año 2010 el operador de telecomunicaciones requirió de una ampliación de la red al PDE. No obstante la creciente demanda de servicios ha llevado a que este operador de telecomunicaciones, solicite la revisión de su red en el año 2011 al proveedor de equipos PDE para poder llevar a cabo un incremento de capacidad en dicha red la cual cubre la mayor parte de Latinoamérica conectando distintos países de la región, entre ellos, Estados Unidos, Guatemala, Perú, Chile, Argentina, Brasil y Puerto Rico.

### 1.2. Definición del problema

Incremento de capacidad (ancho de banda) de la red DWDM de uno de los operadores de telecomunicaciones más importantes en la región de Latinoamérica para satisfacer la demanda de sus servicios; a continuación se presenta un esquema en el cual se indican los procesos para llevar a cabo el proyecto.



**FIGURA 1.1 Procesos para llevar a cabo una implementación de red DWDM**

#### 1.2.1. Actividades asociadas a la implementación

De acuerdo a la planeación del proyecto se programan distintas etapas para poder llevar a cabo la implementación puesto que en la red se involucran distintos países y entre los retos que se enfrentan es no afectar el tráfico de la red ya que esta se encuentra en operación al momento que se hacen los trabajos.

Dentro de la etapa de implementación el trabajo es programado para cada uno de los países involucrados, sin embargo nos concentraremos a las actividades en el país de Guatemala ya que es donde se tomó la responsabilidad para desarrollar las distintas tareas para este proyecto, por lo que a continuación se describen:

1. Incremento de capacidad de la red del operador de telecomunicaciones haciendo uso de la tecnología DWDM del proveedor PDE, de acuerdo al diseño de la expansión 2011 para el país de Guatemala.
2. Puesta en marcha y servicio de los equipos para la red del operador de telecomunicaciones.
  - 2.1 Activación del enlace submarino Miami-Puerto Barrios (Guatemala).
  - 2.2 Activación del enlace terrestre Puerto Barrios-Puerto San José (Guatemala).
  - 2.3 Activación del enlace submarino Puerto San José (Guatemala)-Lurín (Perú).

# Capítulo 2

## ANTECEDENTES DEL TEMA

---

### 2.1. Fibra óptica

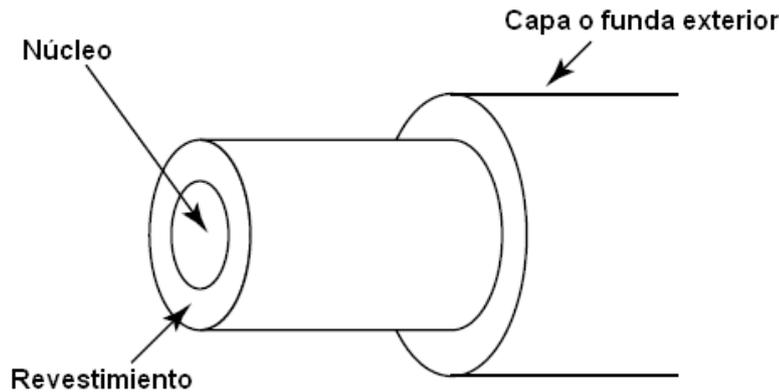
La fibra óptica es el medio en el cual las señales de comunicación son transmitidas de un lugar a otro en forma de luz guiadas a través de delgadas fibras de vidrio o plástico. Estas señales son pulsos digitales o un grupo de señales continuas analógicas de luz moduladas que representan la información; estas pueden ser voz, datos, video o algún otro tipo de información. Este tipo de información también puede ser mandada en medios de transmisión como el par trenzado, cable coaxial y también a través del aire usando frecuencias de microondas. La razón de usar fibra óptica es porque esta ofrece ventajas las cuales no pueden ser posibles en algún conductor metálico o de microondas.

La principal ventaja de la fibra óptica es que esta puede transportar más información en distancias grandes y en menor tiempo que cualquier otro medio de transmisión, además de que no es afectado por la interferencia de radiación electromagnética, haciendo posible la transmisión de información y datos con menor ruido y menor número de errores.[1]

#### 2.1.1 Componentes de una fibra óptica

La fibra óptica está compuesta por un núcleo, revestimiento y una capa o funda exterior. El núcleo de la fibra óptica puede ser construido de silicio, cuarzo fundido o plástico en el cuál se propagan los pulsos de luz. El revestimiento consiste de vidrio o plástico de una densidad diferente de la del núcleo y funciona como un mecanismo para contener la luz de la señal dentro de la fibra. Tanto el núcleo como el revestimiento son creados en el proceso de deposición modificada por vapor químico o en el proceso de deposición fuera de vapor; el núcleo y el revestimiento tienen diferentes índices de refracción que determinan como la luz es guiada por el núcleo del cable.

La capa o funda es creada en una segunda fase de manufacturación de la fibra la cual es aplicada alrededor del revestimiento representando la capa exterior del cable, esta puede ser de color naranja o amarillo. La capa o funda usualmente consiste de una o más capas de polímero que aíslan el núcleo y revestimiento de cualquier daño del medio ambiente como agua, solventes y raspaduras así como para evitar cualquier golpe. [2]



**FIGURA 2.1 componentes de una fibra óptica**

### 2.1.2 Parámetros fundamentales de la fibra óptica

**Índice de refracción:** Es un parámetro óptico fundamental de un material que se refiere a que tan rápido viaja la luz en este. Al entrar en un dieléctrico no conductor o medio, una onda de luz disminuye la velocidad, por lo que está ahora viajando a una velocidad de  $s$ , la cual es característica del material y es menor que  $c$ . El índice de refracción de un material es el cociente de la velocidad de la luz en el vacío y el del material. De esta manera podemos definir el índice de refracción como  $n = \frac{c}{v}$  donde  $c$  es la velocidad de la luz en el vacío y  $v$  representa la velocidad de la luz en un medio.

También es posible calcular el índice de refracción usando la ley de Snell la cual se define como  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$  donde  $n_1$  y  $n_2$  son los índices de refracción de cada material  $\theta_1$  y  $\theta_2$  representan el ángulo del rayo incidente con la normal y el ángulo del rayo refractado con la normal.

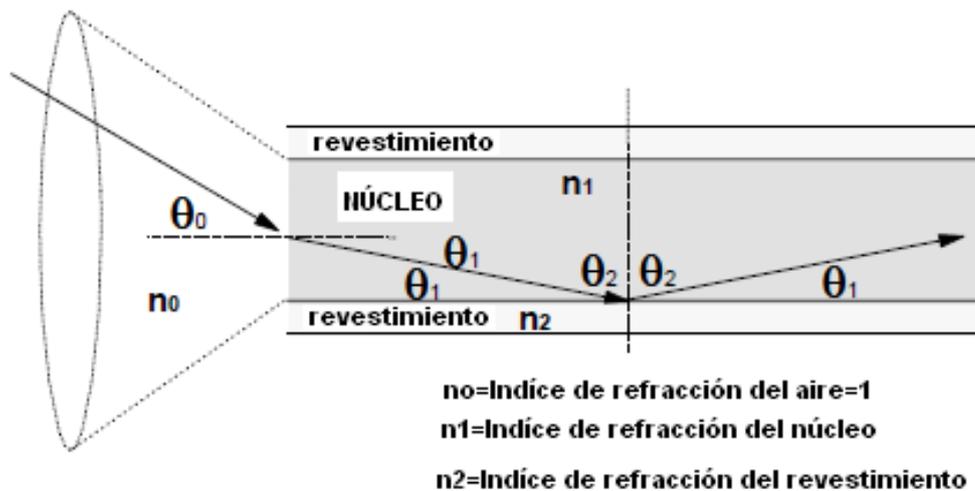
**Ángulo crítico:** Un segundo factor importante el cual hace que la luz se propague a lo largo de una fibra óptica está basado en el ángulo de los rayos inyectados dentro de la fibra. Para que los rayos de luz puedan ser reflejados, los rayos deben de ser inyectados en un ángulo de rayo incidente menor al cual es referido como ángulo crítico. Cuando un haz de luz golpea la coyuntura entre el núcleo y el revestimiento, la luz del haz será totalmente refractada de regreso dentro del núcleo, si el ángulo del haz con respecto a la coyuntura es mucho más grande que el ángulo crítico. Cuando el valor del ángulo es el del ángulo crítico se presentará el fenómeno de Reflexión Total Interna donde el 100% de haz de luz será reflejado. La ecuación que muestra este comportamiento es la siguiente.

$$\cos \theta_{\text{critico}} = \frac{n_{\text{revestimiento}}}{n_{\text{nucleo}}}, \text{ donde } \theta \text{ es medido desde el eje del núcleo de la fibra.}$$

Para obtener reflexión total interna, el índice de refracción del núcleo debe ser mucho más grande que el índice de refracción del revestimiento.

## Capítulo 2 Antecedentes del tema

**Apertura numérica:** Una de las características más mencionadas en la fibra óptica es su "Apertura Numérica". La apertura numérica puede ser entendida como una medida de la habilidad para poder capturar luz en una fibra; sin embargo está es usada para muchos otros propósitos, entre estos puede ser utilizada como una medida de la cantidad de pérdida que nosotros probablemente esperamos sobre una curva de un radio en particular.



**FIGURA 2.2 Apertura numérica**

En la figura 2.2 podemos ver que existe un "cono de aceptación". Si un rayo entra en la fibra en un ángulo dentro del cono entonces este será capturado y propagado. Si un rayo entra a la fibra en un ángulo fuera del cono de aceptación entonces este saldrá del núcleo y eventualmente saldrá de la fibra por sí mismo.

La apertura numérica es el seno del ángulo más grande contenido dentro del cono de aceptación. La apertura numérica puede ser calculada de la siguiente manera.  $A.N. = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ , donde  $n_1$  es el índice de refracción del núcleo y  $n_2$  es el índice de refracción del revestimiento. [3]

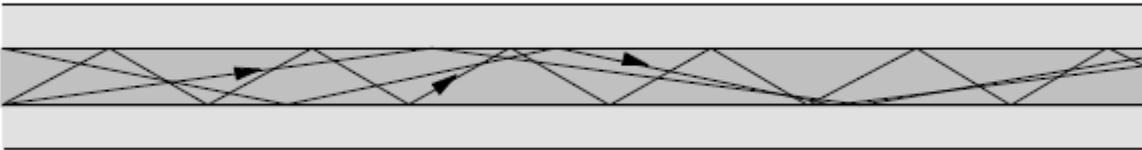
## 2.2 Tipos de fibra óptica

### 2.2.1 Fibra multimodo de índice escalonado

Las expectativas que la gente tiene cuando se dirige un haz de luz bajo una fibra es que la luz entra a la fibra en un número infinitamente grande de ángulos y se propaga por reflexión total interna, sobre un número infinito de posibles trayectorias. Esto no es verdad, lo que ocurre es que solo existe un número finito de posibles trayectorias que la luz puede tomar, estas trayectorias son llamadas modos e identifican la característica principal del sistema de transmisión de luz que ha sido utilizado.

## Capítulo 2 Antecedentes del tema

La fibra que tiene un diámetro en el núcleo lo suficientemente grande para que la luz encuentre múltiples trayectorias es llamada "Fibra multimodo". El problema con la operación de una fibra multimodo es que algunas de las trayectorias tomadas por modos particulares son más grandes que otras trayectorias, esto significa que la luz llegará en diferentes tiempos de acuerdo a la trayectoria tomada, por consiguiente el pulso tiende a dispersarse (expandirse) al viajar a través de la fibra, así mismo este efecto es una causa de "Interferencia entre símbolos" por lo que restringe la distancia que un pulso puede ser útil enviado a través de la fibra multimodo.



**FIGURA 2.3 Propagación de luz de la fibra multimodo de índice escalonado**

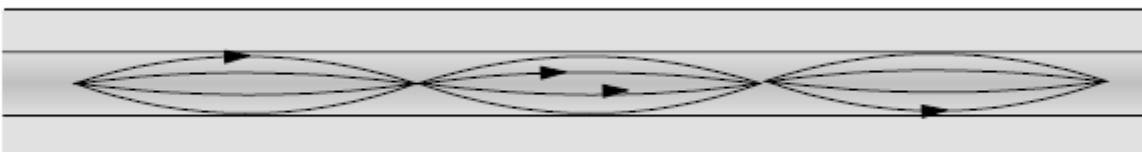
### 2.2.2 Fibra multimodo de índice graduado

Una forma de evitar el problema de dispersión modal en una fibra multimodo es hacer algo con el vidrio o plástico del que está hecho el núcleo de la fibra de tal manera que el índice de refracción del núcleo cambie gradualmente del centro hacia el borde.

La luz que pasa por el centro de la fibra experimenta un índice de refracción más alto que la luz que pasa más cerca del revestimiento, por lo tanto la luz en las trayectorias físicas más cortas viaja más lentamente que en las trayectorias físicas más largas; la luz sigue una trayectoria curvada dentro de la fibra, como se ilustra en la figura 2.4.

El objetivo de esto es mantener la misma velocidad de propagación de la luz en cada trayectoria con respecto al eje de la fibra. Así un pulso de luz compuesto de muchos modos permanecen juntos a medida que viajan por la fibra, esto permite la transmisión de mayores distancias que las que se pueden hacer regularmente con una transmisión multimodo.

Hay que tener en cuenta que solo el índice de refracción del núcleo es graduado y que existe un revestimiento de menor índice de refracción que la parte exterior del núcleo de la fibra.



**FIGURA 2.4 fibra multimodo de índice graduado**

### 2.2.3 Fibra mono-modo o modo único

Si el núcleo de la fibra es muy estrecho comparado a la longitud de onda de la luz en uso, entonces la luz no puede viajar en diferentes modos y así la fibra es llamada mono-modo o modo único. No existe ninguna reflexión entre la frontera del núcleo-revestimiento sino más bien la onda electromagnética se mantiene estrechamente para viajar por el eje de la fibra. Una fibra mono-modo puede ser hecha considerando alguna de las siguientes características:

- Haciendo el núcleo suficiente delgado.
- Haciendo la diferencia del índice de refracción entre el núcleo y el revestimiento lo suficiente pequeño.
- Usando una longitud de onda más larga.

Una fibra mono-modo tiene usualmente una atenuación significativamente más baja alrededor de un 50% que una multimodo. Esto no tiene que ver con la geometría de la fibra o manufactura. Las fibras mono-modo tienen una diferencia significativamente pequeña en el índice de refracción entre el núcleo y el revestimiento esto es hecho con el fin de minimizar la atenuación. [4]



**FIGURA 2.5 fibra mono-modo o único modo**

## 2.3 Limitaciones de la tasa de transmisión en los medios ópticos

En un ambiente de transmisión óptica la información puede ser transmitida por una alteración de la fuente de luz entre estados encendido y apagado. Tres factores importantes afectan la transmisión de la luz de pulsos sobre una fibra óptica: Atenuación, Dispersión y efectos no lineales en la fibra resultado de que la fibra no está hecha de vidrio puro.

### 2.3.1 Atenuación

La atenuación en una fibra es muy parecida a la atenuación de una señal transmitida en un circuito de cobre. En un ambiente óptico la atenuación representa una disminución de la potencia óptica, donde los pulsos de luz llegan a ser más pequeños y distorsionados cuando estos viajan a lo largo de la fibra. La atenuación resulta principalmente de la absorción y dispersión; la dispersión es una función de efectos no lineales en la fibra y dispersión cromática.

La atenuación óptica es usualmente expresada en decibeles sin algún prefijo o signo negativo a pesar de que la potencia óptica se pierde. Otro término

## Capítulo 2 Antecedentes del tema

estrechamente relacionado que merece atención es el coeficiente de atenuación, el cual representa pérdidas de la señal óptica por una longitud de fibra dada, típicamente por kilómetro, así el coeficiente es expresado en términos de dB/Km.

### 2.3.2 Dispersión

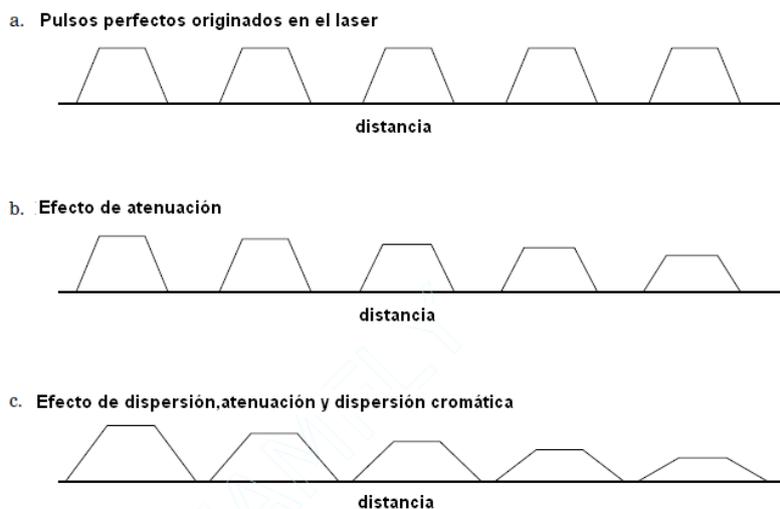
La mayor causa de atenuación es la dispersión, la dispersión ocurre cuando la luz choca con átomos individuales y esto produce un cambio en la dirección. La luz que es dispersada en ángulos fuera del ángulo crítico de la fibra serán absorbidos en el revestimiento o dispersos en todas las direcciones, incluso transmitidos de regreso a la fuente. La dispersión es una función también de la longitud de onda, inversamente proporcional a la cuarta parte de la potencia de la longitud de onda de la luz.

La pureza de una fibra también regula los datos de la tasa de transmisión, aunque esto lo hace indirectamente, por lo cual requiere un poco de explicación. Como la luz viaja a través de la fibra y encuentra una impureza, la dirección del flujo del fotón golpea la impureza, lo cual provocara un cambio en la dirección. Esto resulta en un efecto referido como dispersión, el cual hace que el pulso se extienda y haga más difícil la detección en el receptor.

### 2.3.3 Dispersión cromática

Otro factor que limita la tasa de pulsos de una transmisión óptica, es la dispersión cromática, la cual resulta del hecho que la velocidad de un pulso óptico que viaja en la fibra cambia como su longitud de onda del pulso cambia, como los fotones viajan a través de una fibra los 2-5nm de ancho espectral del láser resultan en una ampliación de pulsos, especialmente cuando los fotones sufren dispersión.

Efecto en la transmisión de pulsos cuando estos son enviados por la fibra óptica. [5]



**FIGURA 2.6 Efectos de transmisión en una fibra óptica**

### 2.4 Banda de los sistemas de comunicaciones ópticos

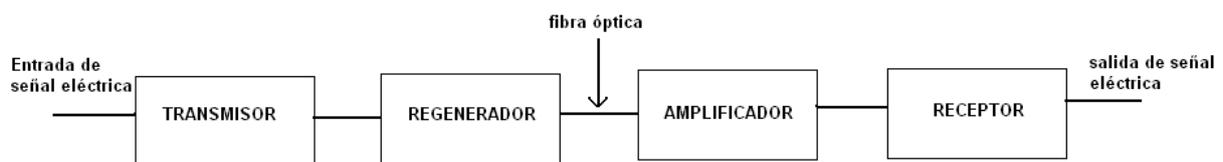
El rango del espectro óptico inicia desde los 5nm (ultravioleta) hasta 1mm (infrarrojo), la región visible comienza en la banda de 400 a 700nm. Las comunicaciones de fibra óptica usan la banda del espectro desde 800 hasta 1675nm.

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) ha diseñado seis bandas espectrales para usar en un rango intermedio, para grandes comunicaciones de fibra óptica se usa dentro de la región desde 1260 a 1675nm. Las designaciones de las bandas surgieron de las características físicas de la fibra, del comportamiento y funcionamiento de los amplificadores ópticos. Las regiones usadas para los sistemas ópticos son conocidos por las letras O, E, S, C, L y U, las cuales son definidas de la siguiente manera. [6]

- **Original Band (Banda-O): 1260 a 1360nm**
- **Extended Band (Banda-E): 1360 a 1460nm**
- **Short Band (Banda-S): 1460 a 1530nm**
- **Conventional Band (Banda-C): 1530 a 1565nm**
- **Long Band (Banda-L): 1565 a 1625nm**
- **Ultra long Band(Banda-U): 1624 a 1675nm**

#### 2.4.1 Elementos de un enlace óptico

Desde el punto de vista simple, la función de un enlace de fibra óptica es transmitir una señal desde un equipo electrónico (computadora, teléfono o un dispositivo de video) en alguna localidad para poder corresponder al otro equipo que se encuentra en otro lugar con un alto grado de fiabilidad y precisión. En la figura 2.7 se muestra un esquema clásico de un sistema de comunicaciones óptico.



**FIGURA 2.7 Elementos de un enlace óptico**

- **Transmisor.** El transmisor consiste de una fuente de luz asociado a una circuitería electrónica. La fuente puede ser un diodo emisor de luz o un diodo laser. La electrónica es usada para la configuración del punto de operación de la fuente, controlando la estabilidad de la salida de la luz y variando la salida óptica en proporción a la entrada de una señal con formato eléctrico.
- **Fibra óptica.** La fibra óptica se coloca dentro de un cable que ofrece una protección mecánica y ambiental. Existe una variedad de tipos de fibra y hay muchas maneras para la configuración de los cables dependiendo si el cable

va a ser instalado dentro de un edificio, en tuberías subterráneas, fuera de los polos o bajo el agua.

- Receptor. En el interior de la fibra óptica se encuentra un fotodiodo que detecta la debilidad y distorsión de una señal óptica emergida del final de la fibra óptica, convierte esta señal en una señal eléctrica. El amplificador también contiene dispositivos de amplificación y para restaurar la fidelidad de la señal.
- Amplificador óptico. Después de que una señal óptica ha viajado una distancia considerable a lo largo de una fibra, esta comienza a debilitarse debido a las pérdidas de potencia a lo largo de la fibra, en ese punto la señal óptica necesita obtener un incremento de la potencia. Tradicionalmente la señal óptica fue convertida a una señal eléctrica, amplificada eléctricamente y entonces convertida de regreso en una señal óptica. La invención de un amplificador óptico que incrementa el nivel de la potencia completamente en el dominio óptico sin necesidad de hacer este tipo de transmisiones el dominio eléctrico.
- Dispositivos pasivos. Los dispositivos pasivos son componentes que no requieren control eléctrico para su operación. Entre ellos podemos encontrar conectores ópticos para los cables, empalmes para unir una fibra desnuda a otra, aisladores ópticos que evitan que la luz no deseada fluya en una dirección de regreso, filtros ópticos que seleccionan un espectro estrecho de luz deseada, acopladores usados para aprovechar cierto porcentaje de luz.
- Dispositivos activos. Láseres y amplificadores ópticos caen en la categoría de dispositivos activos, los cuales requieren un control electrónico para su operación. Entre ellos podemos encontrar moduladores de señal de luz, filtros ópticos sintonizables, atenuadores ópticos variables y switches ópticos.[7]

### 2.4.2 Fuentes de luz y transmisores ópticos

El papel de los transmisores ópticos es convertir una señal eléctrica en la entrada en su correspondiente señal óptica y así lanzarla a través de la fibra óptica sirviendo como un canal de comunicaciones. El mayor componente de los transmisores ópticos es una fuente óptica. Los sistemas de comunicaciones ópticos algunas veces usan fuentes ópticas semiconductoras como los LED (Diodos emisores de luz) y láseres semiconductores, debido a las ventajas inherentes que estos ofrecen.

**Materiales para construcción de LEDs y diodo laser.** Para crear un dispositivo emisor de luz para el uso en la transmisión espectral de las bandas donde opera la fibra óptica, los ingenieros de materiales fabrican estructuras de capas consistentes de diferentes aleaciones. La tabla 1.8 muestra algunos materiales que son usados para fabricar LEDs y diodos laser mezclados juntos con su rango de operación de longitud de onda. Las capas que consisten de tres elementos son llamados compuestos ternarios y las aleaciones de cuatro se conocen como compuestos cuaternarios. Una específica operación para cierta longitud de onda puede ser seleccionada por compuestos como AlGaAs, InGaAs e

## Capítulo 2 Antecedentes del tema

InGaA por variación de las proporciones de la constitución de los átomos. Así los dispositivos pueden ser adaptados para emitir y seleccionar una longitud de onda en la banda 780 a 850nm o en alguna otra de las otras bandas de transmisión en el rango de 1280 a 1675nm para fibras de vidrio.

| Material | Rango de la longitud de onda, nm | Energía de la Banda prohibida, eV |
|----------|----------------------------------|-----------------------------------|
| GaAs     | 900                              | 1.4                               |
| GaAlAs   | 800-900                          | 1.4-1.55                          |
| InGaAs   | 1000-1300                        | 0.95-1.24                         |
| InGaAsP  | 900-1700                         | 0.73-1.35                         |

**TABLA 2.1 Materiales para la construcción de LEDs**

**LEDs.** Los LEDs que son usados en comunicaciones ópticas son mucho más pequeños y emiten en la región infrarrojo, pero comparadas con otras fuentes de luz usadas en los sistemas de comunicaciones, estos son mucho más caros y fáciles de usar en diseño de transmisores; sin embargo debido a su potencia relativamente baja, ancho patrón de emisión, lento tiempo de activación, su uso es limitado para bajas velocidades (hasta 200Mbps), cortas distancias (Unos cuantos kilómetros) y el uso para aplicaciones con fibra multimodo.

**Diodos laser.** Los diodos laser basados en semiconductores son anchamente usados en fuentes ópticas en los sistemas de comunicaciones. Los cuatro principales tipos de laser son el láser Fabry-Perot, El de distribución de retroalimentación (DFB), laser sintonizable, laser de fuente emisora de cavidad vertical (VCSEL). Las propiedades clave de estos láseres incluye una alta potencia de transmisión (más que 1mW), anchos de banda estrechos (una fracción de nm) y producción de rayos altamente directivos para que estos sean capaces de viajar dentro del núcleo de la fibra.

**Transmisores de LEDs.** La baja potencia de salida (típicamente-16dBm acoplado en una fibra de 62.5µm) y su baja respuesta en el tiempo, son características de un LED comparadas con un diodo laser, limitando su uso para distancias cortas, bajas velocidades (hasta 200Mbps en pocos kilómetros) aplicaciones usando fibra multimodo. Un ejemplo podría ser un enlace OC-3/STM-1 entre una construcción cercana el cual opera en 155Mbps. Para el uso de una red de área local a menudo se encuentra en el mismo paquete físico que el correspondiente al receptor.

Un transmisor típico de LEDs contiene una superficie de 1310nm de InGaAsP de LEDs emisores y un circuito controlador para la fuente. Como un transmisor usa una única fuente de potencia de -3.3V y opera bajo un rango estándar de

## Capítulo 2 Antecedentes del tema

---

temperatura de 0 a 70°C u opcionalmente (para un dispositivo más caro) sobre un rango de -40 a 85°.

**Transmisores laser.** Dado que la longitud de onda de un láser se desplaza por aproximadamente 0.1nm/°C y porque los cambios en la eficiencia cambia con la temperatura, un método estándar de estabilizar estos parámetros es usar un enfriador termoeléctrico. Este dispositivo usa un sensor de temperatura y un controlador electrónico para mantener el láser en una constante temperatura. Además normalmente existe un fotodiodo en el paquete que monitorea los niveles de potencia óptica emitida por el láser, ya que este puede cambiar con factores como el envejecimiento o por el voltaje de polarización. El modulo también puede contener un segundo fotodiodo para monitorear precisamente los picos de salida de longitud de onda. [8]

### 2.4.3 Foto diodos y receptores ópticos

La función de un receptor es interpretar la información contenida en la señal óptica. Un receptor consiste de un foto detector y varias cantidades de electrónicos. En el receptor están las funciones asociadas con el procesamiento de la señal y la recepción, estos dispositivos pueden ser desde simples funciones de amplificación, limpieza de alteraciones de la señal, detección de señales distorsionadas de altas tasas.

**Foto diodo.** El primer elemento de un receptor es el foto detector censa la señal que entra en este y convierte la variación de la potencia óptica a una variación de corriente eléctrica correspondiente; desde que la señal óptica generalmente es debilitada y distorsionada cuando esta emerge del final de la fibra, el foto detector debe conocer los requerimientos estrictos de funcionamiento, uno de los que son más importantes se mencionan a continuación:

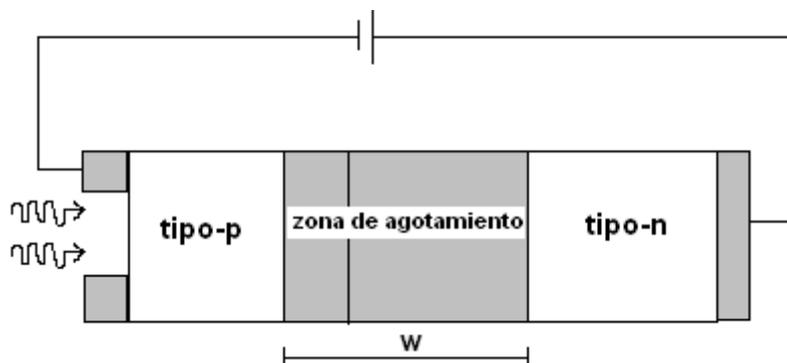
- Una alta sensibilidad al rango de emisión de longitud de onda de la señal de luz recibida.
- Una mínima adición de ruido a la señal.
- Una rápida velocidad de respuesta para manejar la tasa de datos deseada.
- Ser insensible a las variaciones de temperatura.
- Ser compatible con las dimensiones físicas de la fibra.
- Tener un costo razonable comparado con todos los otros dispositivos del sistema.
- Tener un largo tiempo de vida de operación.

**Materiales usados en un foto detector.** La elección de un material foto detector es importante desde sus propiedades de la banda prohibida ya que determina el rango de la longitud de onda para el cual el dispositivo estará en funcionamiento. En los principios de los sistemas de comunicaciones ópticos fueron usados foto detectores de Silicio (Si), Germanio (Ge), Arseniuro de Galio (GaAs), ya que estos materiales estaban disponibles y respondieron bien a los fotones en la

## Capítulo 2 Antecedentes del tema

región de 800 a 900nm. De aquellos el Silicio y el Arseniuro de Galio son usados con mayor frecuencia, una vez que el Germanio tiene niveles de ruido más altos que otros materiales; sin embargo Si y GaAs no son sensibles para longitudes de onda más allá de 1100nm donde los enlaces de comunicación de larga distancia operan. Por lo tanto los materiales ternarios, cuaternarios como el InGaAs e InGaAsP fueron desarrollados, de estos el InGaAs es usado más comúnmente para ambas longitudes de onda y para p-i-n y avalancha fotodiodos.

**Foto diodo p-n.** Una unión de polarización inversa p-n consiste de una región conocida como “zona de agotamiento”, que esencialmente está vacío de cargas portadoras libres y en donde un gran campo eléctrico incorporado se opone al flujo de electrones desde el lado n hasta el lado p. Cuando una unión es iluminada sobre un lado, se dice que en el lado p, los pares de electrón-hueco son creados a través de la absorción; debido a la gran incorporación de campo eléctrico, electrones y huecos generados dentro de la zona de agotamiento aceleran en direcciones opuestas derivando al lado n y p respectivamente. El flujo resultante de corriente es proporcional a la potencia óptica incidente, así la unión de polarización inversa p-n actúa como foto detector y es referido como foto diodo p-n. La limitación del ancho de banda ( $\omega$ ) de un foto diodo p-n es la presencia de una componente difusa en la foto corriente, el origen físico de la componente difusa está relacionado con la absorción de luz incidente fuera de la región de agotamiento.



**FIGURA 2.8 foto diodo P-N**

**Foto diodo p-i-n.** De los foto diodos más comunes es el foto diodo semiconductor p-i-n. La estructura del dispositivo consiste de p y n regiones semiconductoras separadas de una ligera región intrínseca n-dopada llama i. En una operación normal un voltaje de polarización inversa es aplicado a través del dispositivo de manera que no haya electrones libres o huecos existentes en la región intrínseca. Debido a su naturaleza la capa media i ofrece una alta resistencia y la mayoría de la caída del voltaje se produce a través de esta, teniendo como resultado un gran campo eléctrico existente en la capa i, en esencia la región de agotamiento se extiende por la región i y su ancho puede ser controlado cambiando el espesor de la capa media. La principal diferencia de un foto diodo es que la

## Capítulo 2 Antecedentes del tema

---

componente de desplazamiento de la foto corriente domina sobre la componente de difusión simplemente porque mucha de la potencia incidente es absorbida dentro de la región  $i$  de un foto diodo  $p-i-n$ .

**Foto diodos avalancha.** Un foto diodo avalancha internamente multiplica la señal primaria de fotocorriente antes de entrar en los circuitos de entrada del siguiente amplificador. El efecto de multiplicación es logrado por una aplicación de un campo eléctrico muy alto a través del foto diodo. Cuando un electrón de fotones generado encuentra este campo eléctrico alto, este puede adquirir la suficiente energía para poner más electrones de valencia a la banda de conducción con lo que son creados secundariamente pares de electrón-hueco, estos pares secundariamente también consiguen acelerar a energías más elevadas y por lo tanto se pueden generar aún más pares de electrón-hueco. Esto aumenta la sensibilidad del receptor ya que la foto corriente es multiplicada antes de encontrar el ruido eléctrico asociado con el circuito del receptor. El proceso es llamado multiplicación avalancha y por lo tanto el dispositivo se llama foto diodo avalancha.

**Receptor óptico.** Las características de un receptor óptico dependen del tipo de modulación en la transmisión.

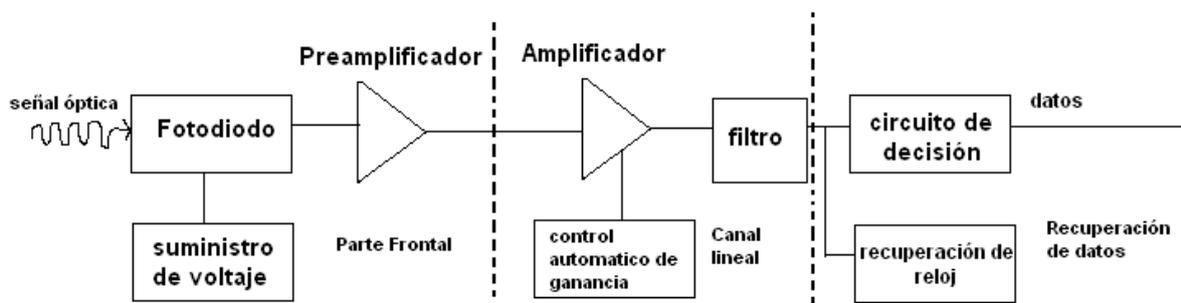
**Parte Frontal.** El frente de un receptor consiste de un fotodiodo seguido por un preamplificador. El fotodiodo convierte el flujo óptico de bits en una señal eléctrica variante en el tiempo, el papel del preamplificador es incrementar la potencia de la señal eléctrica para su posterior procesamiento. En algunas ocasiones es usado un ecualizador para incrementar el ancho de banda debido a que este actúa como un filtro que atenúa componente de baja frecuencia de la señal más que las componentes de alta frecuencia, por lo que efectivamente así se incrementa el ancho de banda.

**Canal lineal.** El canal lineal en un receptor óptico consiste de un amplificador de alta ganancia (el amplificador principal y un filtro paso bajas). Un ecualizador es algunas veces incluido antes del amplificador para corregir y limitar el ancho de banda. La ganancia del amplificador es automáticamente controlada para limitar el promedio de la salida de voltaje a un nivel medio fijo, independientemente del promedio de la potencia óptica incidente en el receptor. El filtro paso bajas da forma al voltaje del pulso, su propósito es reducir el ruido sin introducir mucha interferencia inter simbólica.

**Circuito de decisión.** La sección de recuperación de datos de un receptor óptico consiste de un circuito de decisión y un circuito de recuperación de reloj. El propósito del circuito de reloj es aislar una componente espectral en el ancho de banda de la señal recibida, este componente provee información del slot de bit para el circuito de decisión y ayuda a sincronizar el proceso de decisión. El circuito de decisión compara la salida de un canal lineal a un nivel umbral, en tiempos de muestreo determinados por la unidad de reloj y decide si la señal corresponde a un

## Capítulo 2 Antecedentes del tema

bit 1 o bit 0. Los receptores digitales son diseñados para operar en una manera que la probabilidad de error se a bastante pequeña típicamente  $<10^{-9}$  . [9]



**FIGURA 2.9 diagrama de un receptor óptico**

### 2.4.4 Amplificadores ópticos

**Mecanismo de amplificación.** Todos los amplificadores incrementan el nivel de la potencia de la luz incidente a través de un proceso de una emisión estimulada de radiación, esto puede ocurrir cuando una señal de fotón causa una excitación del electrón situándolo en un nivel de energía más alto para caer en el estado fundamental.

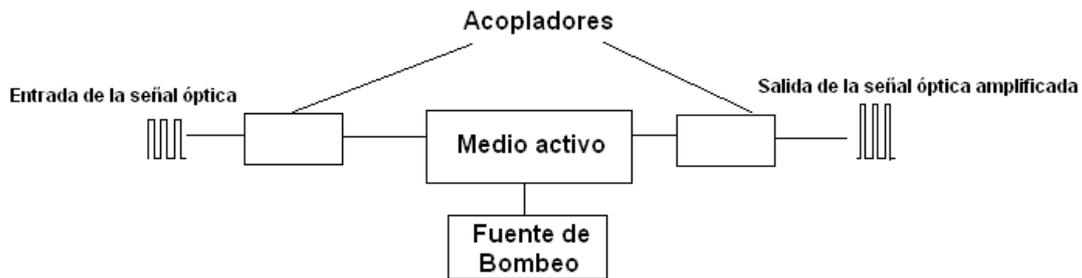
El fotón emitido en este proceso tiene la misma energía como la señal incidente (es decir la misma longitud de onda) como el fotón incidente y la señal está en fase con ella, esto significa sumar sus amplitudes para generar una luz más brillante.

Para que se produzca la emisión estimulada debe haber una inversión de población de portadoras, lo cual significa que existen más electrones en un estado de excitación que en el estado fundamental. Como esto no es una condición normal la inversión de población se logra suministrando energía externa para impulsar los electrones a un nivel de energía más alto.

Las técnicas de bombeo pueden ser eléctricas u ópticas, en este proceso el dispositivo absorbe energía suministrada de una fuente eléctrica u óptica externa llamada “bombeo” (pump). El bombeo suministra energía a los electrones en un medio activo que los eleva a niveles de mayor energía para producir una inversión de población.

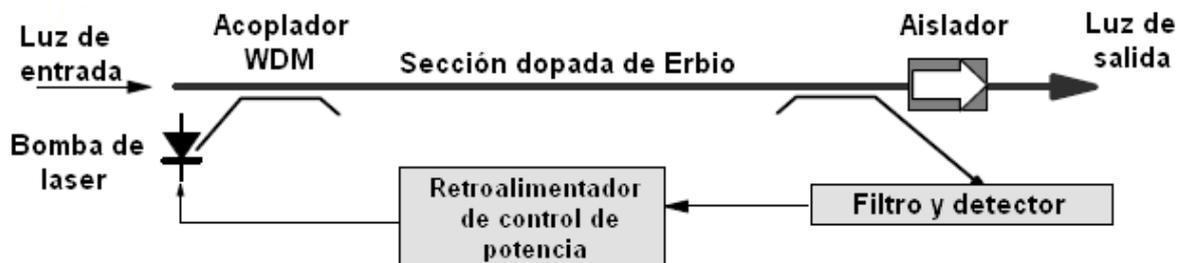
En una señal de fotón entrante se desencadena estos electrones excitados a caer a niveles inferiores a través de un proceso de emisión estimulada, produciendo así una señal amplificada.

Uno de los parámetros más importantes de un amplificador óptico es la señal de ganancia o amplificador de ganancia  $G$ , la cual se define como  $G = \frac{P_{out}}{P_{in}}$  .



**FIGURA 2.10** operación de un amplificador óptico

**Amplificadores EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier).** Un amplificador EDFA consiste de una sección corta de fibra la cual tiene una pequeña cantidad de elemento de tierra rara como el Erblio agregada al vidrio en el núcleo, en la forma de un ion ( $\text{Er}^{3+}$ ).



**FIGURA 2.11** diagrama de un amplificador EDFA

El principio del láser es fundamental para poder explicar cómo funciona el amplificador EDFA. Cuando un ion de Erblio está en un nivel de energía alto, un fotón de luz estimulará este y dará alguna de su energía y regresará a un nivel de energía más bajo, esto es llamado emisión estimulada. El principio básico de los amplificadores EDFA es ilustrado en la figura 2.12.

La operación es como sigue a continuación.

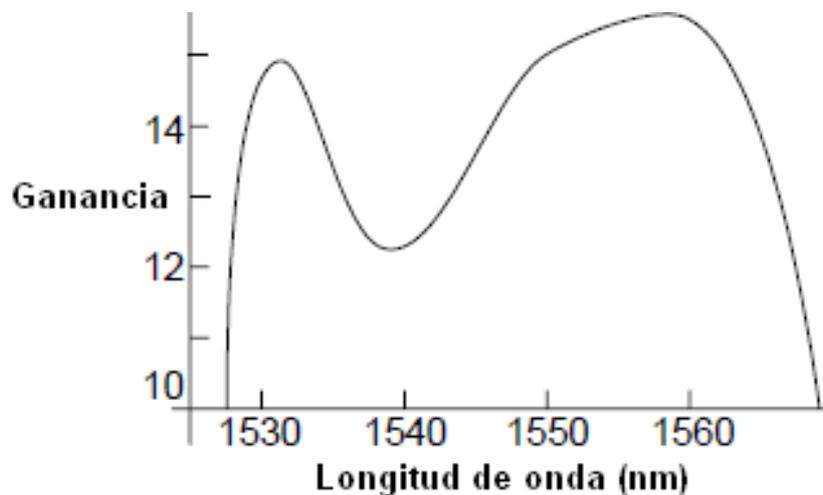
1. Un haz de luz de alta potencia es mezclado con la entrada de la señal usando un acoplador selectivo de longitud de onda. (La señal de entrada y la luz de excitación deben de ser significativamente longitudes de onda diferentes).
2. La luz mezclada es guiada en una sección de fibra con iones de Erblio incluidos en el núcleo de la fibra
3. El haz de luz de alta potencia excita los iones de Erblio a su nivel de energía más alto.
4. Cuando los fotones pertenecientes a la señal (en una longitud de onda de la luz de bombeo) se reúnen a los átomos excitados de Erblio, los átomos de Erblio ceden alguna de su energía a la señal y regresan a su estado más bajo de energía.

## Capítulo 2 Antecedentes del tema

---

5. Un punto significativo es que el Erblio cede su energía en la forma de fotones adicionales que se encuentran exactamente en la misma fase y dirección como la señal que está siendo amplificada, así la señal es amplificada a lo largo únicamente en la dirección que esta viaja, por lo tanto toda la potencia de la señal adicional se guía en el mismo modo de la fibra como la señal entrante.
6. Por lo general es colocado un aislador en la salida para prevenir que las reflexiones regresen desde la unión de la fibra. Este tipo de reflexiones perturban el funcionamiento del amplificador y en el caso extremo puede causar que el amplificador se convierta en un láser.

Las principales características de este tipo de amplificadores son: Bombeo eficiente, mínima sensibilidad de polarización, baja pérdida de inserción, alta potencia de salida, muy alta sensibilidad, baja distorsión y mínima interferencia intercanal. Las características cuantitativas de un amplificador son: Ganancia, coeficiente de ganancia, ancho de banda, ganancia de saturación, sensibilidad de polarización y ruido.



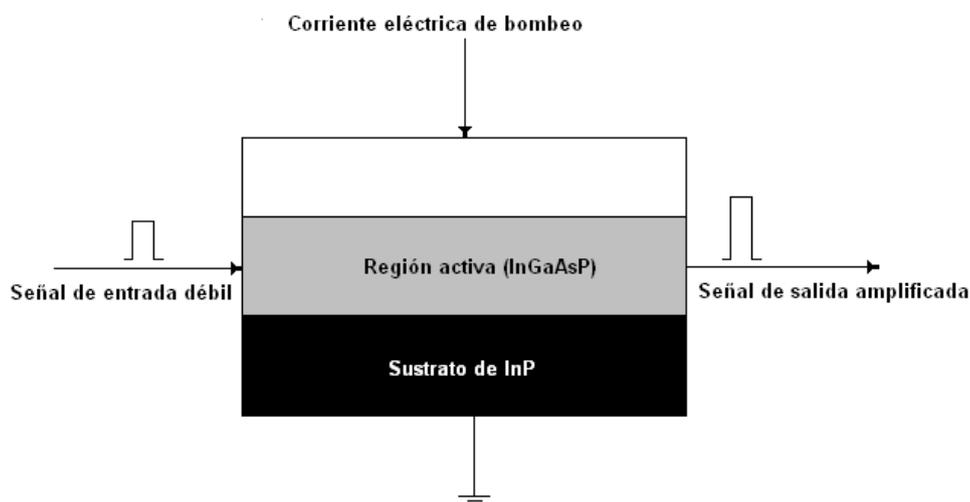
**FIGURA 2.12 curva de ganancia de un amplificador EDFA**

**Amplificadores SOA (Semiconductor optical amplifiers).** Los amplificadores SOA están basados en la misma tecnología que los diodos laser; de hecho un SOA es esencialmente un láser InGaAsP que está operando bajo su umbral. La atracción de esto es que los amplificadores SOA, pueden operar en todas las longitudes de onda en la que opera la fibra óptica, desde 1280nm en la banda O hasta 1650nm en la banda U.

## Capítulo 2 Antecedentes del tema

La limitación de un SOA es que su respuesta rápida de portadora cause ganancia en una longitud de onda en particular haciendo que esta tenga fluctuaciones con la tasa de la señal en bits hasta varios giga bits por segundo, dado que la ganancia en otras longitudes de onda también fluctúa, esto provoca un incremento a efectos de interferencia cuando un amplio espectro de longitudes de onda debe ser amplificado, dando esto como resultado que los amplificadores SOA no sean muy adecuados para aplicaciones DWDM.

Fosforo de indio es usado en amplificadores SOA para el sustrato y el material activo consiste de capas de InGaAsP, análogamente a la construcción de un diodo laser, la ganancia de la longitud de onda puede ser seleccionada aproximadamente entre 1100 y 1700 nm variando la composición del material activo. Como se mencionó anteriormente un amplificador SOA es esencialmente un láser semiconductor pero sin retroalimentación desde sus puertos de salida y entrada; esto significa que en contraste a un láser donde la señal óptica pasa muchas veces a través de la cavidad óptica, la pequeña diferencia en un amplificador SOA es que la señal óptica viaja a través del dispositivo una sola vez, durante este trayecto la señal gana energía y emerge intensificada en el otro extremo del dispositivo. Debido a que en un SOA no existe el mecanismo de retroalimentación el cual es necesario para dar lugar a la emisión con láser, este puede dar aumento a los niveles de la señal entrante, pero no puede generar una salida óptica coherente por sí mismo.



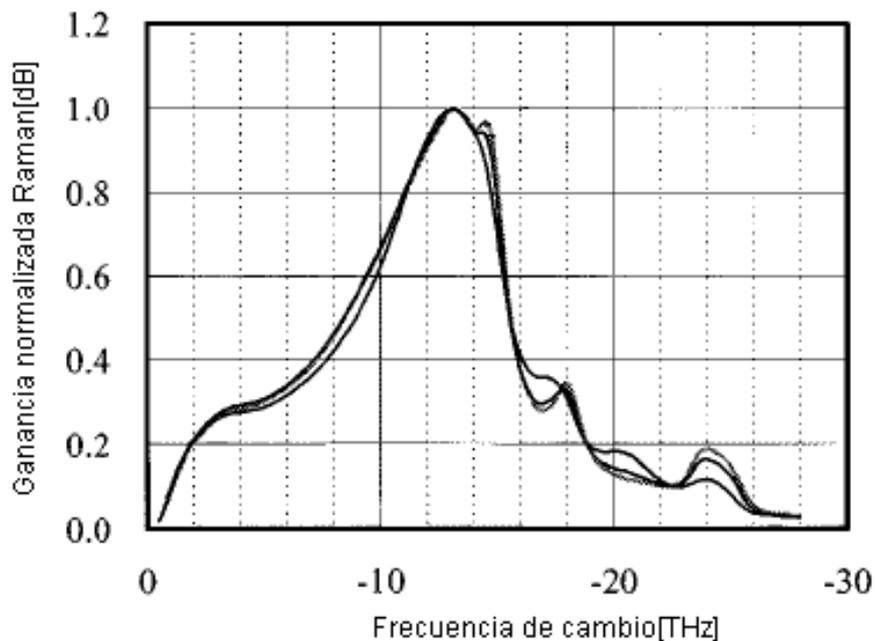
**FIGURA 2.13 diagrama de un amplificador SOA**

**Amplificadores RAMAN.** Un amplificador Raman está basado en un efecto llamado “dispersión estimulada Raman”, este efecto es debido a una interacción entre una energía de campo óptico y los modos de vibración de la estructura de la red de un material, básicamente lo que ocurre aquí es que primero un átomo absorbe un fotón en una energía y entonces libera otro fotón en una energía más baja, es decir en una longitud de onda más larga que la del fotón absorbido.

## Capítulo 2 Antecedentes del tema

La diferencia de energía entre la absorbida y la de los fotones liberados es transformada a un fonón, el cual es un modo de vibración del material. Los resultados de la potencia transferida en un desplazamiento de longitud de onda hacia arriba cambian de 80 a 100nm y el cambio referido a una longitud de onda más larga es referido como el cambio de Stokes.

En un amplificador Raman se transfiere energía óptica desde un fuerte haz de laser de una bomba a una señal de transmisión más débil que tiene una longitud de onda la cual es 80 o 100nm más grande que la longitud de onda del bombeo, por ejemplo si el bombeo es en 1450nm dará lugar a una ganancia de la señal en aproximadamente 1530 a 1550nm. [10]



**FIGURA 2.14 ganancia de un amplificador RAMAN**

### 2.5 PDH

La PDH (Jerarquía Digital Plesiócrona) es la tecnología más básica para la transmisión digital de banda ancha basada en la velocidad binaria de 2048 kbit/s (G.732, Jerarquía Europea) o en 1544 kbit/s (G.733, Jerarquía Norteamericana), las tributarias son intercaladas para su multiplexación dentro de un canal de mayor nivel. Hay realmente cuatro niveles en la jerarquía, con sus velocidades definidas en el estándar G.702 de la ITU-T, que son, para el sistema europeo, 2048 kbit/s, 8448 kbit/s (G.742), 34Mbit/s y 140Mbit/s (G.751).

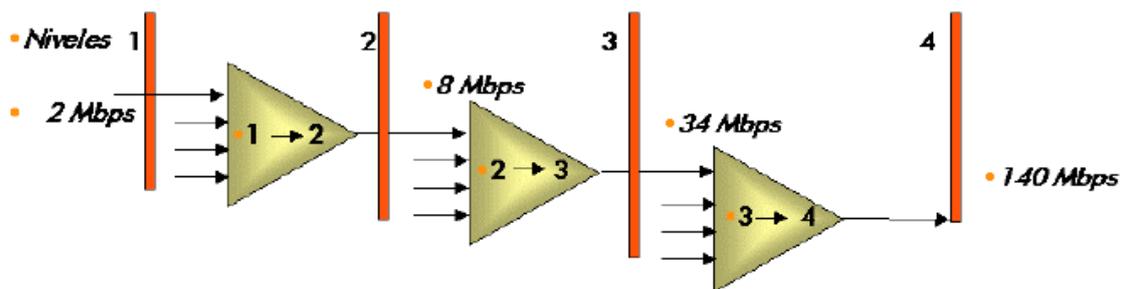
Los 2048 kbit/s (2Mbit/s) tienen capacidad de transmitir simultáneamente 30 canales de voz de 60 kbit/s. Los 128 kbit/s se utilizan de distintas formas, 64 kbit/s se utilizan para propósitos específicos de entramado, como alineamiento de trama y

## Capítulo 2 Antecedentes del tema

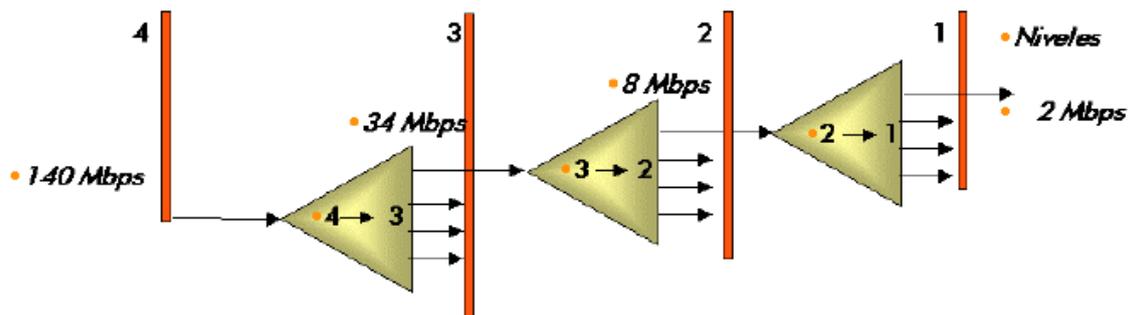
alarmas del extremo remoto, mientras que el resto de los 64 Kbps se utilizan principalmente para señalización CAS (asociada a los canales).

La PDH es una tecnología plesiócrona, por ello no es posible insertar o extraer (Add&drop) ningún canal o tributaria sin demultiplexar completamente la señal de entrada hasta el nivel requerido, se carece de apuntadores que indiquen donde encontrar alguna señal de interés y no existe una relación reservada para bits de monitoreo de medio de transmisión.

Desde el nivel primario a 2Mbit/s hacia arriba, cada nivel en la jerarquía se compone de 4 tributarias del nivel inmediatamente inferior. Cada nivel proporciona capacidad de transporte y justificación para cada una de ellas. Como ya se ha mencionado, la conmutación en PDH es sólo posible si previamente se demultiplexa la portadora hasta el nivel requerido de conmutación, por lo tanto puede ser deducido que el nivel de transporte básico es el de 2Mbit/s ( $30+2 \times 64 \text{Kbit/s}$ ), y que esta señal tendrá una estructura diferente de las otras (8,34 y 140Mbit/s).



**FIGURA 2.15 Multiplexaje Plesiócrono**

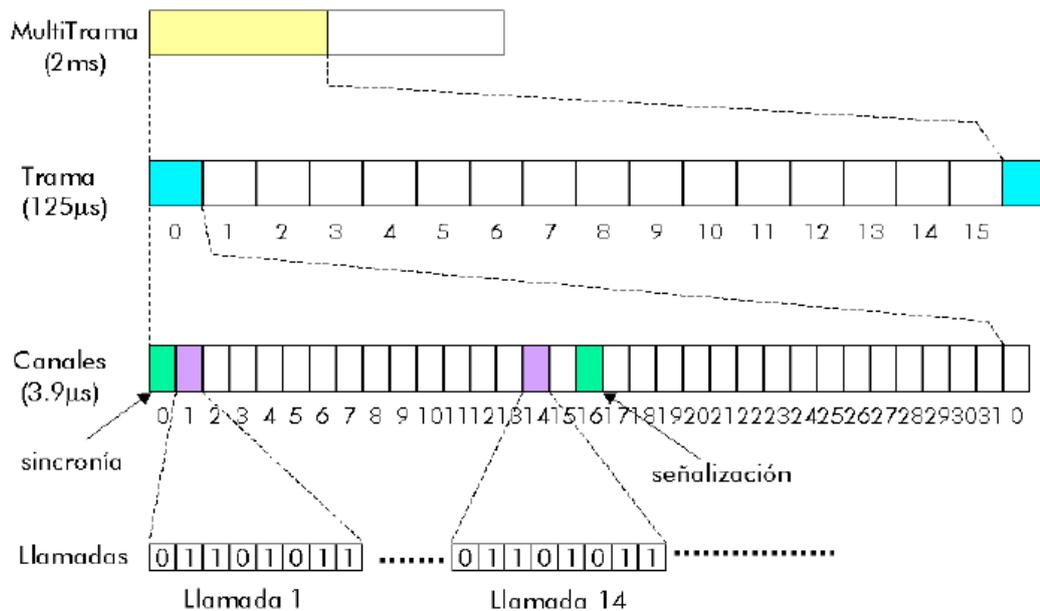


**FIGURA 2.16 demultiplexaje plesiócrono**

La trama de 2Mbit/s transporta 30 canales de voz y 2 canales adicionales para funciones de entramado de señalización. Esta estructura sobre la trama básica de 125, que contiene 32 canales de 64Kbit/s, o slot temporales. El slot 0 siempre se utiliza para control específico de trama: CRC, alineamiento de trama, alineamiento de submultitrama, señalización de alarmas y detección de errores de bit, mientras el slot 16 se utiliza para señalización asociada a los canales (CAS). Cada ocho tramas de  $125\mu\text{s}$  se consideran una submultitrama, porque el control de CRC (bits C), se

## Capítulo 2 Antecedentes del tema

genera para cada submultitrama (Una submultitrama transporta información de CRC-4 de su precedente), y dos submultitramas componen la multitrama completa que consiste en 16 tramas básicas. Resulta fácil ver la razón principal de esta organización; el hecho es que se necesitan cuatro bits (un canal de señalización de 2 Kbit/s) para señalar cada canal de 64 Kbit/s, por lo tanto 15 bytes son necesarios para señalar los 30 canales de voz, y un byte suplementario para proporcionar alineamiento de multitrama y bits de relleno.



**FIGURA 2.17 señal básica de PDH**

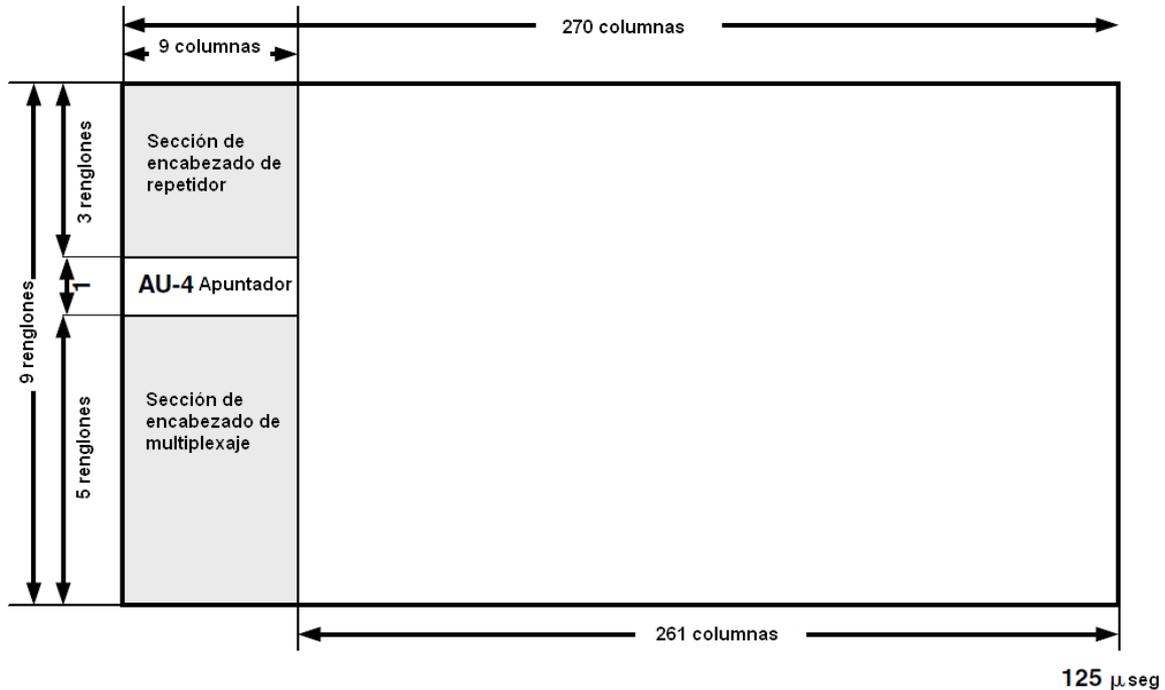
### 2.6 SDH

La jerarquía digital síncrona surge por la necesidad de evolucionar hacia un sistema de transmisión de más alta velocidad, más confiable y más fácil de administrar que su antecesor PDH. SDH es una tecnología síncrona es decir todos los elementos de la red utilizan un reloj en común, es compatible con sistemas PDH y ATM transportándolos de manera transparente. Realiza una multiplexación más visible, ya que una señal SDH está compuesta de señales de más bajo nivel, es decir, velocidades más bajas enclavadas en otras de más alto orden, las cuales pueden ser fácilmente identificables por su configuración de encabezados esto hace posible agregar y extraer (Add/Drop) estas señales de bajo orden de una manera más fácil y rápida sin tener que pasar por todos los niveles de multiplexación del flujo de alto orden. Tiene canales de voz y datos para administrar la red dentro de la señal SDH y permite un control centralizado de todos los elementos de la red SDH para operación y el mantenimiento.

SDH forma una tasa de multiplexación basado en la estructura del formato STM-n (Modulo de transmisión síncrona). El formato general del módulo STM

## Capítulo 2 Antecedentes del tema

funciona de la siguiente manera 270 columnas X 9 renglones = 2430 octetos, 9 columnas x 9 renglones = 81 octetos de sección de encabezado. [1]



**FIGURA 2.18 formato de la estructura STM-1**

Los datos son preparados para ser colocados dentro de la estructura del STM-1, por lo que diferentes modos de transporte están disponibles; en la entrada los datos fluyen dentro de un contenedor con una designación de tamaño. Por ejemplo el C11 es el equivalente de un mecanismo de transporte T-1 en 1.544 Mbps, C12 portará el mecanismo de transporte E-1 en 2.048 Mbps, otro transporte es C2, el cual es el equivalente de un DS-2 operando a 6.312Mbps. Cada uno de estos niveles de contenedor es entonces introducido en un contenedor virtual (VC nivel n), las entradas fluyen dentro de un contenedor básico y entonces son mapeados dentro del VC.SDH define un número de contenedores para cada uno corresponde una tasa plesiocrona existente, por lo que la información de una señal PDH es mapeada dentro de un contenedor relevante, de manera que cada contenedor tiene algún encabezado e información de control contenido en este, llamado POH (encabezado de trayecto).El contenedor y el POH juntos forman el VC.[1]

Los VC son mapeados y multiplexados dentro de la estructura en una unidad tributaria de nivel n. [1]

## Capítulo 2 Antecedentes del tema

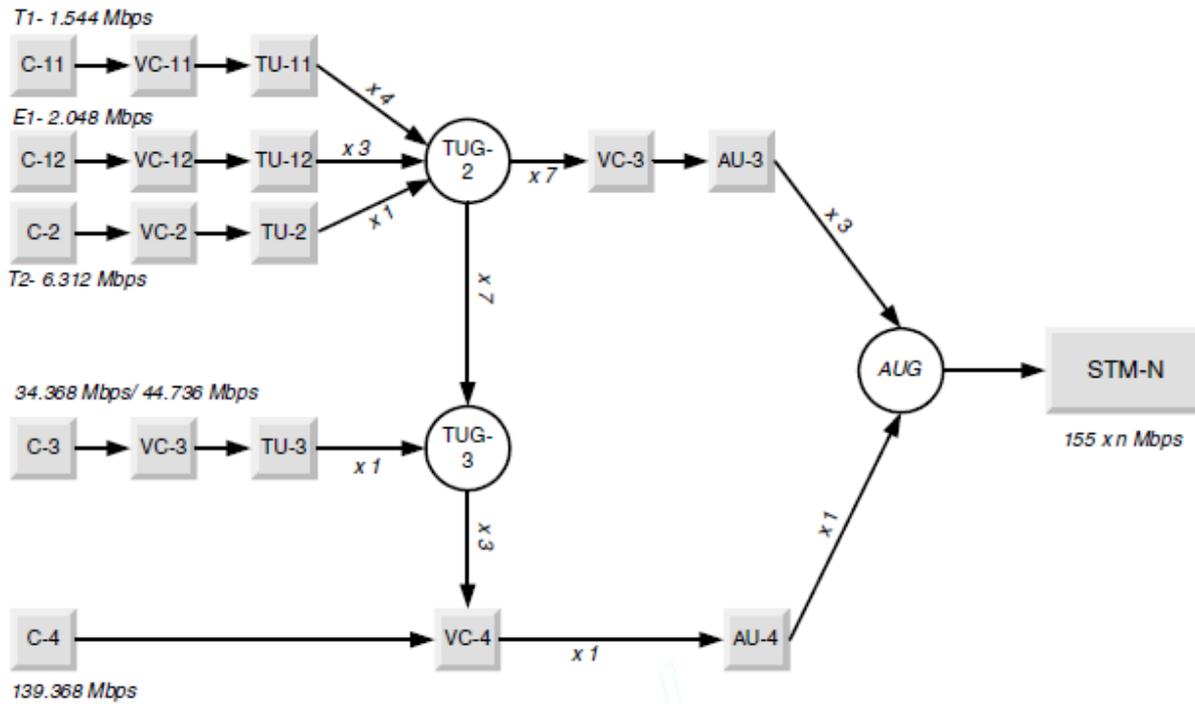
| Equivalente | Tasa Mbps     | Entrada | Mapeo | Alineamiento |
|-------------|---------------|---------|-------|--------------|
| DS-1        | 1.544         | C11     | VC11  | TU11         |
| E-1         | 2.048         | C12     | VC12  | TU12         |
| DS-2        | 6.312         | C2      | VC2   | TU2          |
| E-3/T-3     | 34.368/44.736 | C3      | VC3   | TU3          |
| E-3/T-3     | 34.368/44.736 | C3      | VC3   | AU3          |
| E-4         | 139.264       | C4      | VC4   | AU4          |

**TABLA 2.2 niveles de entrada que se asignan en las unidades tributarias**

Los contenedores se alinean con el reloj del sistema para crear una unidad tributaria (TU). Cuatro T-1(TU11) tres E-1 (TU12), o una T-2(TU2) pueden ser multiplexados dentro de un grupo 2 de TU, la arquitectura comienza de esta manera en los niveles de entrada de SDH. El siguiente paso en el proceso es desarrollar un nivel más alto de multiplexación, aquí las TU o grupos TU son multiplexados en un nivel más alto; siete TU de grupo 2 son multiplexadas en una TU de grupo 3, esto es un T-3 operando en la velocidad de  $\pm 45Mbps$ , la alternativa a esto es tomar un T-3 en lugar que un grupo 3 de TU y entonces será portada dentro del sistema como una unidad administrativa de grupo 3 AU. Por lo tanto tres de los TUG3 o un E-4 mapeados dentro de un C4 y luego son multiplexados dentro del siguiente nivel de jerarquía más alto llamado contenedor virtual 4 VC4.

Cuando el VC4 es alineado dentro de la estructura SDH este se convierte en una Unidad administrativa de grupo 4 (AUG4), una vez que se tiene la unidad administrativa de grupo 4 se genera la señal básica de SDH llamada STM-1 la cual es portada a través del sistema con una velocidad de 155Mbps.

## Capítulo 2 Antecedentes del tema



**FIGURA 2.19 estructura de multiplexación basada en G.707**

- Contenedor (C-n): Estructura que forma la carga útil de información.
- Contenedor virtual (VC-n): Estructura de información usada para establecer conexiones entre los niveles del trayecto.
- Unidad tributaria (TU-n): Estructura que agrega apuntadores a los contenedores virtuales.
- Grupo de unidades tributarias (TUG-n): Agrupa varios TU's que se multiplexan juntos.
- Unidad administrativa (AU-n): Agrega apuntadores a los contenedores virtuales.
- Grupo de unidades administrativas (AUG-n): Agrupa varios AUs que van juntos para formar un SDH de primer orden.
- Módulo de transporte síncrono (STM-n): Estructura que agrega facilidades para supervisión y mantenimiento.

## Capítulo 2 Antecedentes del tema

| <b>SDH</b>     | <b>Mbps</b>     | <b>Tamaño de estructura</b> | <b>Reglones/Estructura</b> | <b>Bytes de carga útil</b> | <b>Bytes de carga útil/renglón</b> |
|----------------|-----------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| <b>STM-1</b>   | <b>155.52</b>   | <b>2430</b>                 | <b>270</b>                 | <b>2340</b>                | <b>260</b>                         |
| <b>STM-4</b>   | <b>622.08</b>   | <b>9720</b>                 | <b>1080</b>                | <b>9387</b>                | <b>1043</b>                        |
| <b>STM-16</b>  | <b>2488.32</b>  | <b>38880</b>                | <b>4320</b>                | <b>37575</b>               | <b>4175</b>                        |
| <b>STM-64</b>  | <b>9953.28</b>  | <b>155520</b>               | <b>17280</b>               | <b>148608</b>              | <b>16152</b>                       |
| <b>STM-256</b> | <b>39813.12</b> | <b>622080</b>               | <b>69120</b>               | <b>594432</b>              | <b>64608</b>                       |

**TABLA 2.3 velocidades de SDH**

### 2.7 SONET

SONET define una técnica para transportar muchas señales de diferentes fuentes en capacidades diferentes a través de una jerarquía óptica digital. La flexibilidad y robustez de SONET son dos de sus características más importantes. En el pasado muchas de las altas tasas de multiplexación (DS-2 y DS-3) usaron un bit de interpolación para poder multiplexar el grupo de datos a través de los multiplexores, SONET usa un formato de multiplexación llamado interpolación-byte; esto es muy importante porque mantiene la señal básica DS-0(64Kbps) intacta a través de la red haciendo más fácil los diagnósticos de rendimiento y la solución de problemas.

El nivel de una señal SONET es llamada “Señal de Transporte Síncrona” nivel 1 (STS-1), operando a una velocidad de 51.84Mps. El primer paso para formar la arquitectura SONET es crear el STS-1, existen otros niveles en múltiplos de STS-n para crear una familia completa de velocidades de transmisión. En SONET los niveles más altos de las tasas de línea son múltiplos directos de la tasa OC-1 (51.84 Mbps), lo cual significa que un bit de relleno adicional no es necesario en los procesos de multiplexación.

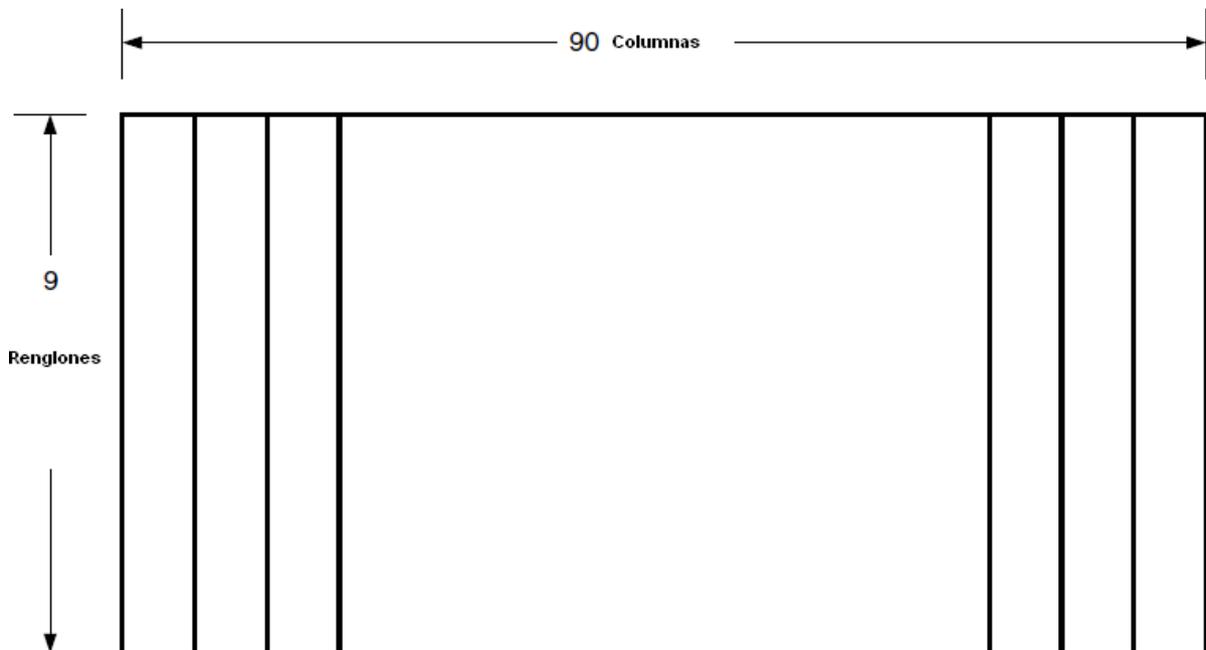
## Capítulo 2 Antecedentes del tema

| Señal Eléctrica | Valor óptico | Velocidad   | Capacidad           |
|-----------------|--------------|-------------|---------------------|
| STS-1           | OC-1         | 51.84Mbps   | 28DS-1 o 1DS-3      |
| STS-3           | OC-3         | 155.520Mbps | 84DS-1 o 3DS-3      |
| STS-12          | OC-12        | 622.08Mbps  | 336DS-1 o 12DS-3    |
| STS-24          | OC-24        | 1.244Gbps   | 672DS-1 o 48DS-3    |
| STS-48          | OC-48        | 2.488Gbps   | 1344DS-1 o 48DS-3   |
| STS-192         | OC-192       | 9.953Gbps   | 5376DS-1 o 192DS-3  |
| STS-768         | OC-768       | 40Gbps      | 21504DS-1 o 768DS-3 |

**TABLA 2.4 velocidades SONET**

SONET define un formato de estructura en el cual produce la tasa básica de 51.84Mbps (STS-1), cada tasa de multiplexación es un múltiplo de STS-1. El formato básico consiste de una estructura de 80 bytes (columna) de ancho y 9 bytes de alto por fila. La señal básica STS-1 es entonces aplicada es entonces aplicada en esta estructura de 810 byte-estructura y al estructura ocurrirá 8000 veces por segundo. Al realizar las operaciones correspondientes tenemos la siguiente expresión:

$$810 \text{ bytes} \left( 8 \frac{\text{bits}}{\text{byte}} \right) \left( 8000 \frac{\text{frames}}{s} \right) = 51.84 \text{ Mbps}$$



**FIGURA 2.20 estructura STS-1**

## Capítulo 2 Antecedentes del tema

La primera parte del encabezado es definido como el transporte de encabezado. El transporte de encabezado usa las primeras tres columnas y todos los nueve renglones, de tal manera que se crean 27 bytes de transporte de encabezado. Las primeras tres columnas y los primeros tres renglones 9(bytes) son usados para la sección de encabezado; los siguientes tres renglones en las primeras tres columnas (18 bytes) son usados para la línea de encabezado. Por último tenemos que las siguientes 87 columnas y 9 renglones (783 bytes) son designados como la carga envuelta síncrona del inglés synchronous payload envelope (SPE). Dentro del SPE una columna adicional de nueve renglones de alto de 9 bytes es reservado para en encabezado de trayectoria, después de que el encabezado de trayectoria es reservado, la carga resultante es de 774 bytes. En estos 774 bytes los servicios son mapeados dentro de la estructura. La carga STS-1 puede portar lo siguiente: 1 DS-3, 7 DS-2s, 21 E-1s y 28 DS-1s.

SONET provee un encabezado significativo habilitando técnicas de multiplexación más simples mejorando de esta manera la operación, administración mantenimiento y provisionamiento. La arquitectura de un enlace SONET puede ser definido en tres partes como se describe a continuación:

- Sección: La sección es definida como la porción del enlace entre dos repetidores o entre un repetidor y un equipo de línea terminal. Suficiente encabezado es permitido para detectar y resolver problemas en el enlace entre estos dos puntos.
- Línea: La línea de encabezado provee suficiente información para detectar y resolver problemas entre dos equipos terminales de línea.
- Trayectoria: El encabezado de trayectoria provee información para detectar y resolver problemas entre dos puntos finales de un equipo terminal de trayectoria.

SONET define los niveles de carga sub-STs los cuales pueden ser portados. La carga STS-1 puede ser subdividido en tributarias virtuales (VTs) señales síncronas para transportar señales de más baja velocidad. Los tamaños normales definidos por SONET son los siguientes.

| VT  | Tasa de Bit | Nivel equivalente DS-n | Bytes requeridos (renglones/columnas) |
|-----|-------------|------------------------|---------------------------------------|
| 1.5 | 1.728Mbps   | DS-1                   | 27(9X3)                               |
| 2   | 2.304Mbps   | E-1                    | 36(9X4)                               |
| 3   | 3.456Mbps   | DS-1C                  | 54(9X6)                               |
| 6   | 6.912 Mbps  | DS-2                   | 108(9X12)                             |

**TABLA 2.5 tributarias virtuales**

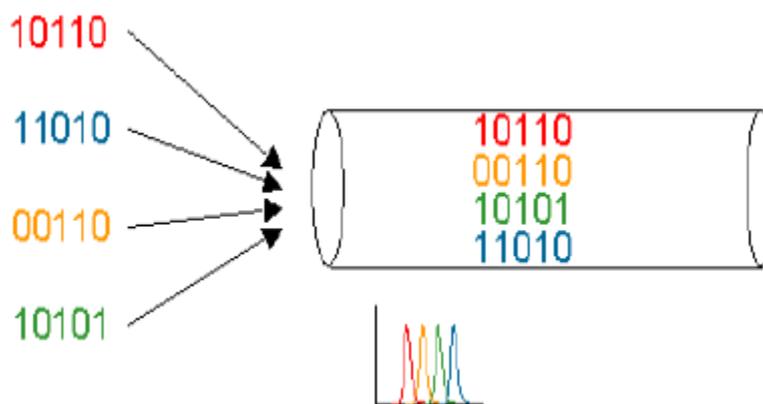
## Capítulo 2 Antecedentes del tema

SONET puede acomodar una variedad de tamaños de señales dentro de la carga STS-1 (49.536Mbps). SONET multiplexa juntas las señales individuales STS-1 con la finalidad de formar señales más grandes para transportar a través de un medio de fibra. SONET tiene también la habilidad para portar señales más grandes de carga que un STS-1 a través de un proceso llamado concatenación. El principal principio del funcionamiento de los multiplexores SONET es mostrado a continuación:

- Mapeo de las tributarias en una estructura STS-n.
  - Alineación de la información usando un puntero de información para determinar dónde está localizado el primer byte del tributario.
  - Multiplexación de señales de orden más bajo a señales de orden más alto.
  - Bits necesarios de relleno para manipular las diferentes velocidades bajas de canales asíncronos y rellenar hasta los bits de repuesto todo en la alineación.
- [11]

### 2.8 WDM

La multiplexación de señales ópticas teniendo diferentes longitudes de onda y transmitidas simultáneamente a través de una única fibra es conocido como multiplexación por división de longitud de onda (WDM), de esta manera WDM incrementa la capacidad del medio físico. En sus inicios WDM únicamente transportaba dos o cuatro longitudes de onda que fueron anchamente espaciadas. Tradicionalmente los sistemas pasivos WDM son anchamente espaciados con 2, 4, 8, 12 y 16 canales siendo una implementación normal. Esta técnica usualmente tiene una limitación de distancia alrededor de 100 Km.



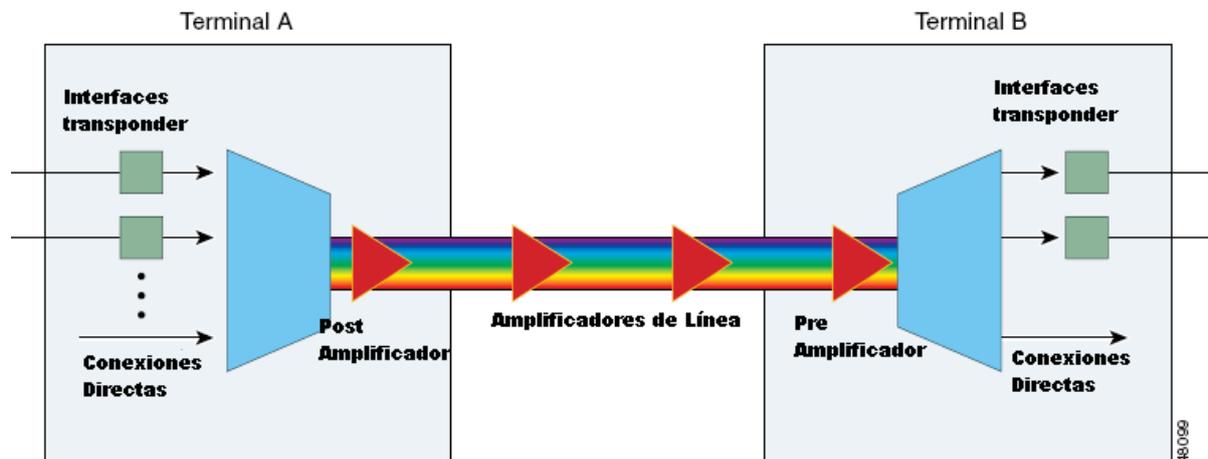
**FIGURA 2.21 multiplexación por división de longitud de onda**

CWDM: Coarse WDM está diseñado para soportar hasta 18 longitudes de onda definida dentro del rango 1270nm hasta 1610nm espaciados por 20nm y soportando distancias alrededor de 50 Km.

DWDM: Dense WDM, espacio común puede ser de 200, 100, 50 ó 25GHz con un recuento de canales que puede llegar hasta 128 ó más canales en distancias

de cientos de kilómetros con amplificación y regeneración a lo largo de esa ruta. [12]

### 2.1.1. Operación de un sistema transponder basado en DWDM



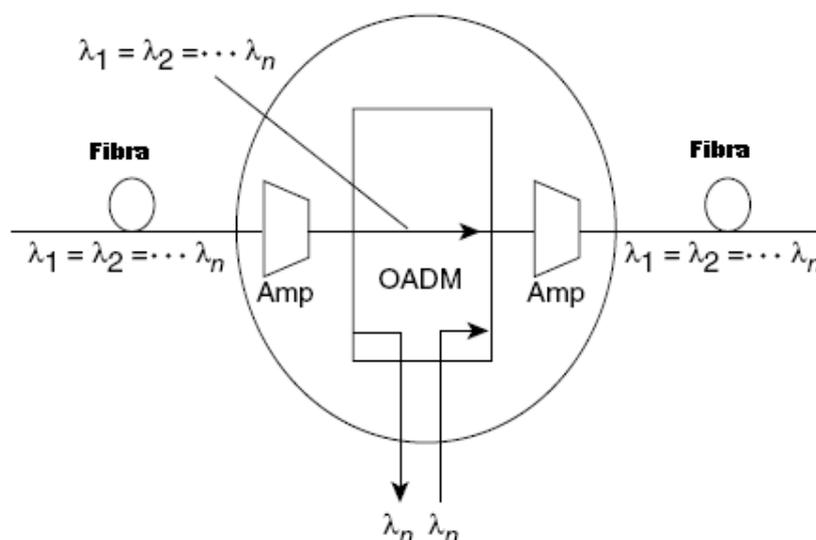
**FIGURA 2.22** operación de un sistema DWDM unidireccional end-to-end

- El transponder acepta entradas en la forma de un estándar de laser modo único o multimodal. La entrada puede venir de diferentes medios físicos, diferentes tipos de tráfico y diferentes protocolos.
- La longitud de onda de cada señal de entrada es mapeada a una longitud de onda DWDM.
- Las longitudes de onda DWDM de un transponder son multiplexadas dentro de una única señal óptica y enviadas dentro de la fibra.
- Un Post amplificador aumenta la amplitud de la señal óptica al salir del sistema.
- Los amplificadores de Línea se utilizan a lo largo del tramo de fibra según sea necesario.
- Un Pre-amplificador incrementa la amplitud de la señal óptica antes de llegar al sistema.
- La señal de entrada es demultiplexada en landas individuales DWDM o longitudes de onda.
- Las lambdas individuales DWDM son mapeadas para el tipo de salida requerido (por ejemplo OC-48), y son enviadas a través del transponder.

Muchos de los sistemas DWDM soportan estándares SDH/SONET de interfaces ópticas de corto alcance las cuales son compatibles con cualquier dispositivo SDH/SONET cliente. Hoy en día los sistemas WDM de largo alcance usan la interfaz OC-48/STM-16 operando en la longitud de onda de 1310nm. Además otras interfaces importantes utilizadas en redes de área metropolitana y redes de acceso comúnmente soportan las siguientes interfaces: Ethernet (incluyendo Fast Ethernet y Gigabit Ethernet), ESCON y Fibre Channel. El nuevo estándar 10Gigabit Ethernet es compatible usando una interfaz OC-192 de un alcance muy corto sobre una fibra mono modo entre 10 Gigabit Ethernet y un equipo DWDM. [13]

### 2.8.1 Multiplexores ópticos Add/Drop

Entre los puntos de multiplexación y demultiplexación de un sistema DWDM hay un área en la cual existen muchas longitudes de onda, por lo que algunas veces es deseable remover o insertar una o más longitudes de onda en el mismo punto por lo que un multiplexor óptico add/drop realiza esta función. En lugar de combinar o separar todas las longitudes de onda los multiplexores ópticos Add/drop pueden remover algunas mientras otras pasan sobre este. [14]

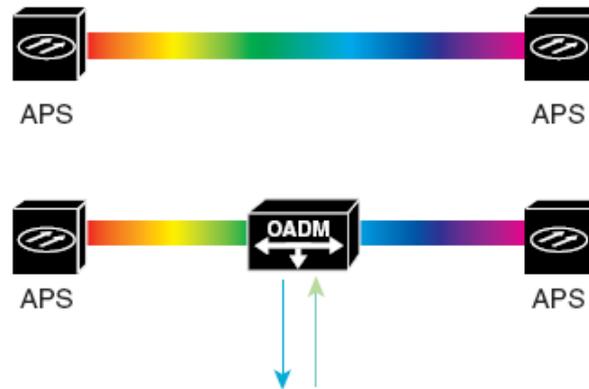


**Figura 2.23 multiplexor óptico add/drop**

### 2.8.2 Esquemas de protección y topologías para redes DWDM

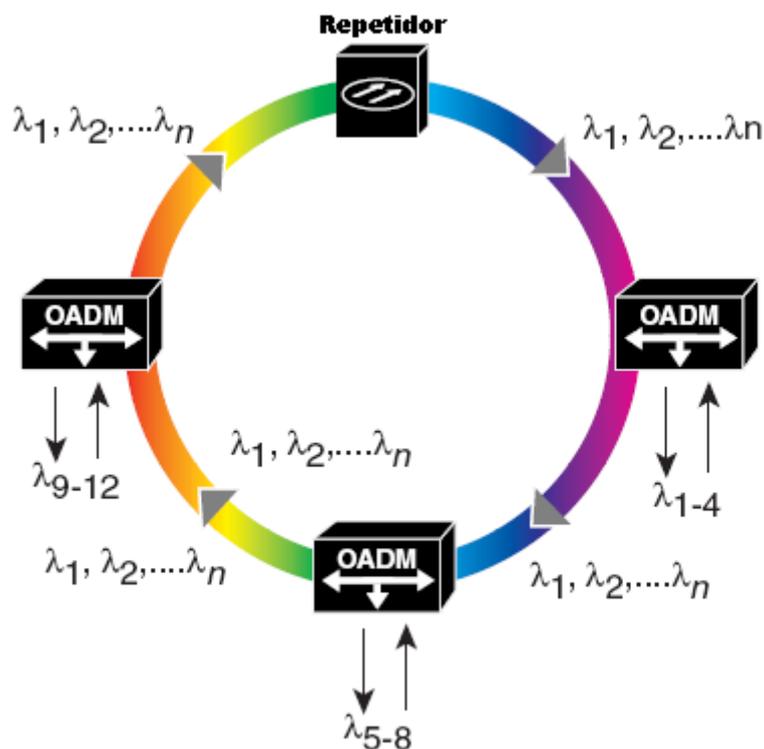
**Topología punto a punto:** Las topologías punto a punto pueden ser implementadas con o sin multiplexores ópticos add/drop, estas redes son caracterizadas por tener velocidades por canal muy altas (10 a 40Gbps), alta integridad de la señal, confiabilidad y una rápida trayectoria de restauración. En redes de largo alcance la distancia entre el transmisor y receptor puede ser de algunos cientos de kilómetros, el número de amplificadores requerido entre puntos finales es típicamente menos de 10.

La protección en topologías punto a punto puede ser hecha de dos maneras en la primera generación de equipamiento la redundancia está a nivel del sistema, enlaces paralelos conectados a sistemas redundantes y también al final; la conmutación es responsabilidad del equipo del cliente (un switch o router), mientras que los sistemas DWDM únicamente se encargan de dar la capacidad. En equipos de segunda generación la redundancia es a nivel de tarjeta, enlaces de conexión en paralelo conectados a un único sistema en cada extremo en donde contienen transponder redundantes, multiplexores y CPU's. Aquí la protección ha migrado al equipo DWDM con decisiones de conmutación bajo control local. Un tipo aplicación por ejemplo usa 1+1 esquema de protección basado de SONET conmutación de protección automática (APS).



**FIGURA 2.24 arquitectura punto a punto**

**Topología anillo:** Las topologías de anillo son con mayor frecuencia encontradas en áreas metropolitanas abarcando unas cuantas decenas de kilómetros. El anillo de fibra probablemente contenga alrededor de cuatro canales de longitud de onda y típicamente mucho menos nodos que canales. La velocidad esta en el rango de 622Mbps hasta 10Gbps por canal.



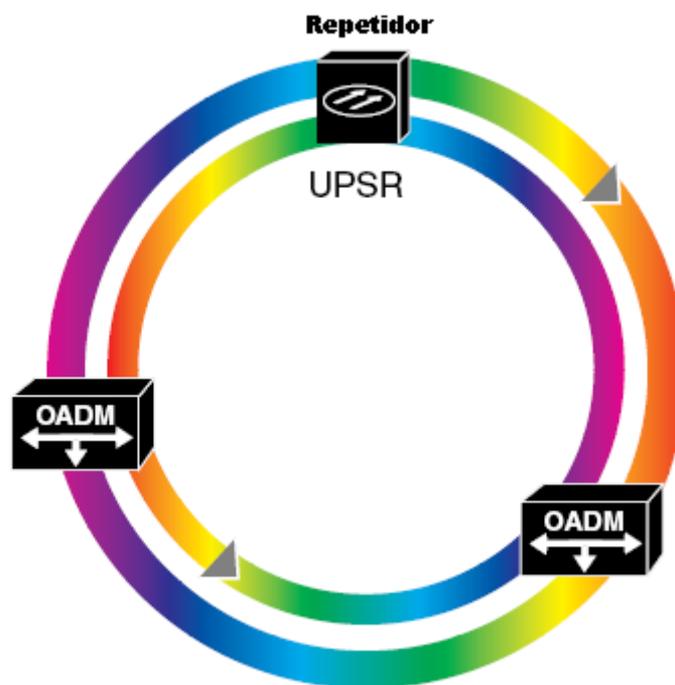
**FIGURA 2.25 arquitectura anillo**

Las configuraciones de anillo pueden ser implementadas con uno o más sistemas DWDM, soportando cualquier tipo de tráfico tendiendo una estación central y uno o más nodos de multiplexores ópticos add/drop, o satélites. En el nodo repetidor se origina tráfico el cual es terminado, administrado y conectado con otras

## Capítulo 2 Antecedentes del tema

redes establecidas. Los nodos de los multiplexores ópticos add/drop seleccionan las longitudes de onda que serán bajadas e insertadas, mientras que otras simplemente pasan. De esta manera las arquitecturas de anillo permiten a los nodos en el anillo a proveer acceso a los elementos de la red como routers, switches o servidores para agregar o bajar canales de longitudes de onda en el dominio óptico. Las redes DWDM aplicadas para área metropolitana algunas veces son basadas en las estructuras de anillo SONET con la protección de fibra de 1+1. Así que los esquemas de cómo anillo conmutado de trayectoria unidireccional de sus siglas en inglés (UPSR) o anillo conmutado de línea bidireccional (BLSR) puede ser rehusado para implementaciones DWDM.

En un anillo UPSR los repetidores y nodos envían la información a dos anillos que giran en direcciones opuestas, pero la misma fibra es normalmente utilizada por todo el equipo para recibir la señal, de ahí el nombre unidireccional. Si el anillo deja de funcionar el equipo receptor cambia al otro par de fibra, aunque esto proporciona una redundancia total a la ruta no es posible la reutilización del ancho de banda ya que la fibra redundante debe estar preparada para transportar el tráfico de trabajo.



**FIGURA 2.26 configuración anillo UPSR**

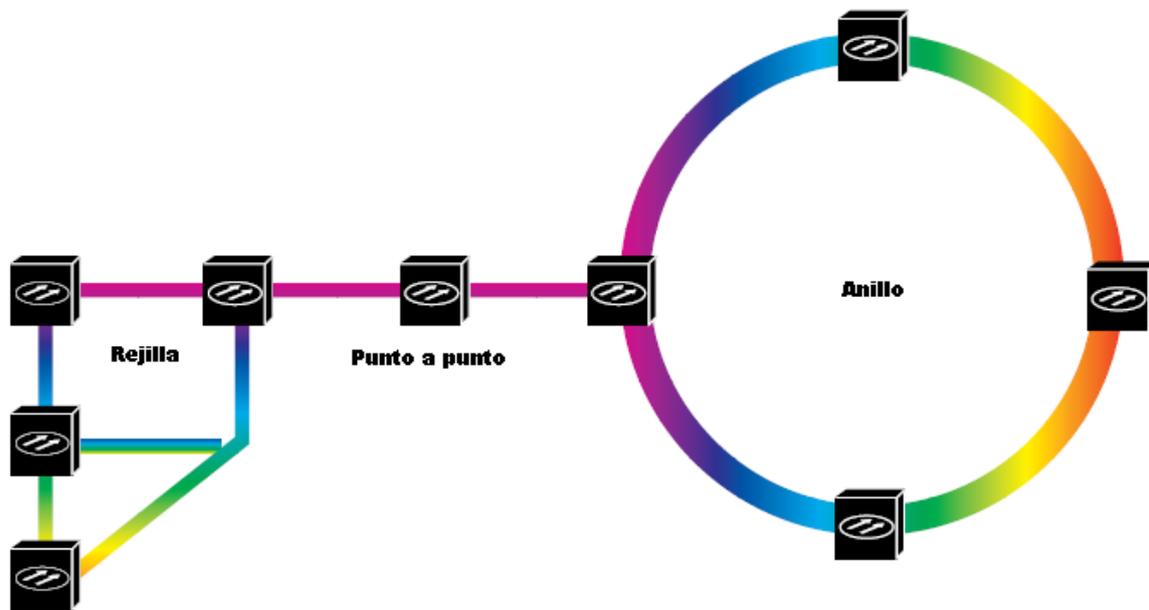
Otros esquemas como anillo conmutado de línea bidireccional (BLSR), permiten que el tráfico viaje desde el transmisor al nodo receptor por la ruta más directa.

**Topología de malla:** En este tipo de topología es posible tener conexiones cruzadas ópticas y switches, que en algunos casos reemplazan y en otros casos sustituyen a elementos fijos DWDM. En este tipo de topología se inicia con enlaces punto a punto, equipado con nodos add/drop desde el principio para la flexibilidad y

## Capítulo 2 Antecedentes del tema

---

posteriormente la interconexión entre ellos, la red puede convertirse en una malla sin un completo rediseño, además las topologías de malla y anillo pueden ser unidos mediante un enlace punto a punto.



**FIGURA 2.27 topología de malla**

Las redes DWDM de malla consisten de una interconexión con todos los nodos ópticos, este tipo de redes necesitan de un alto grado de inteligencia para ejecutar las funciones de protección y administración de ancho de banda, por lo que se tienen altos beneficios en flexibilidad y eficiencia. Finalmente las redes de malla dependen altamente del software para su gestión, por lo que en la actualidad se emplea un protocolo de inteligencia de los cuales podemos mencionar el MPLS del inglés Multiprotocol Label Switching, el cual soporta rutas de trayecto a través de toda la red óptica, de tal manera que en la tabla de rutas se establece cuáles son las más cortas para que en caso de falla en un segmento de la red siempre se elija la ruta más fácil. [15]

# Capítulo 3

## ANÁLISIS Y METODOLOGÍA EMPLEADA

### 3.1. Funcionamiento del equipo DWDM del PDE (Proveedor de Equipos)

Las redes DWDM del PDE tienen la capacidad de multiplexar, transportar, agregar, bajar, conmutar y proteger servicios SONET, SDH, Ethernet y otros, de tal manera que esto se lleve a cabo de manera transparente, fiable, flexible y rápida; este tipo de redes permiten la construcción de una sola red unificada de transporte óptico que escala aplicaciones de metro a ultra larga distancia. Existen dos elementos principales en las redes PDE entre estos se encuentran los referidos como ETO (Equipo de Transporte Óptico) proveen multiplexores digitales ópticos Add/drop reconfigurables y capacidades para la administración del ancho de banda, este equipo puede configurarse para enlaces terrestres y submarinos. Adicionalmente se tienen AOL (Amplificadores Ópticos de Línea) los cuales proveen y extienden el alcance entre nodos.

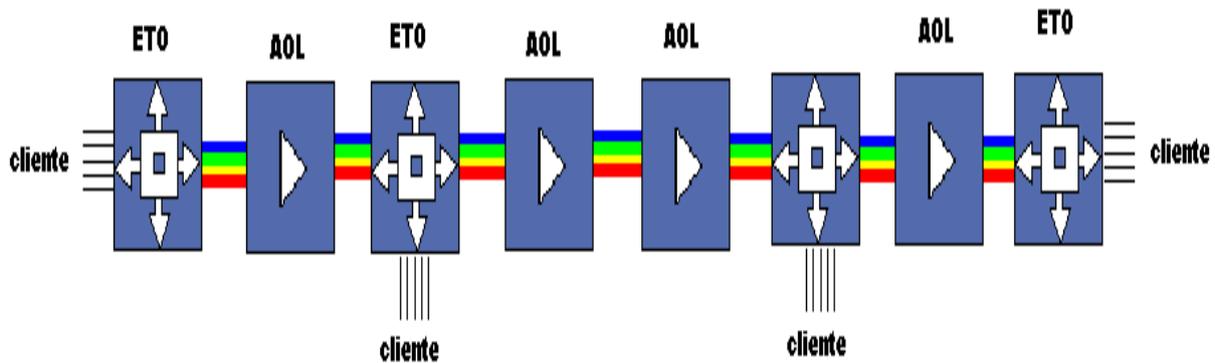


FIGURA 3.1 Red Digital Óptica del proveedor PDE

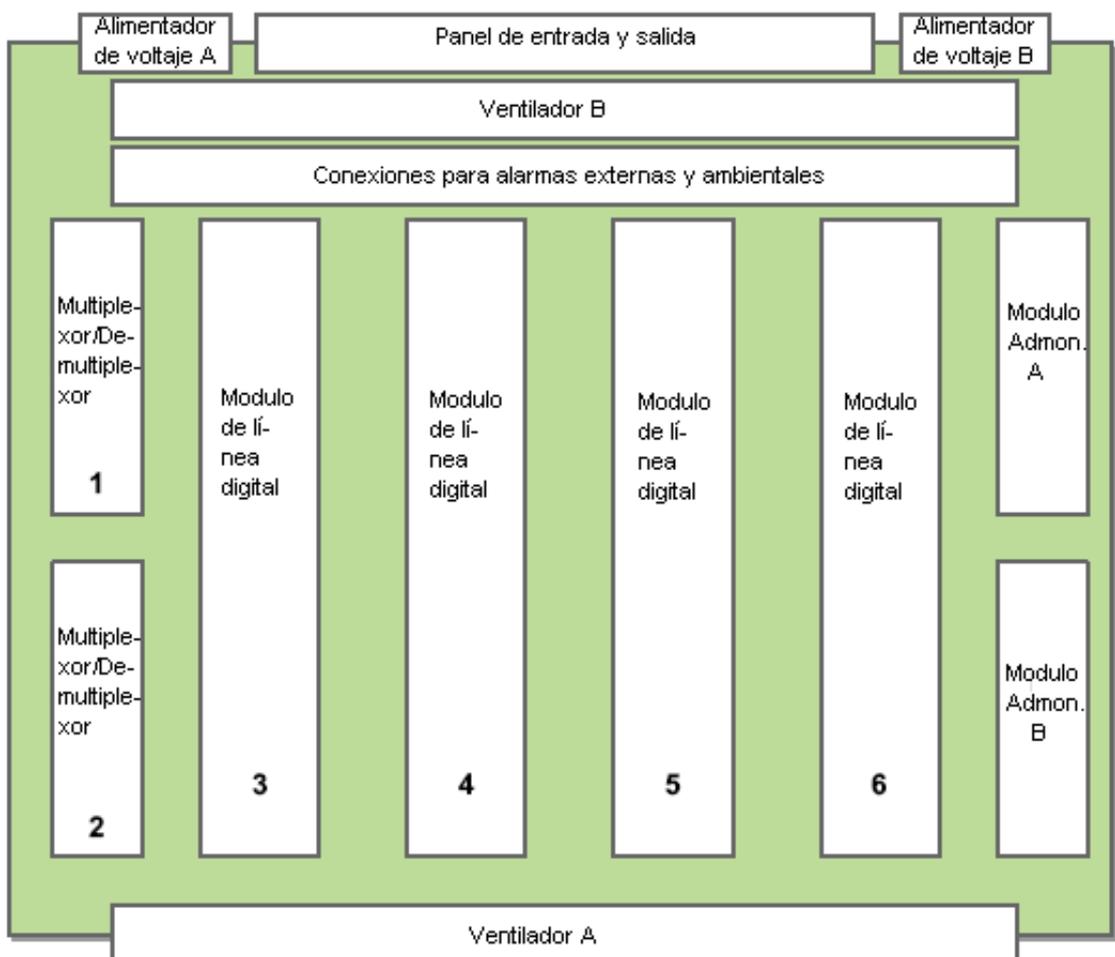
#### 3.1.1. Equipo de Transporte Óptico (ETO)

El equipo de transporte óptico lo conforman los siguientes elementos:

- **Módulos de alimentación eléctrica:** El equipo consta de dos alimentadores de voltaje (A, B), los cuales proporcionan la energía eléctrica necesaria al equipo, proporcionando un voltaje en el rango de -40 a -72 VDC, para un funcionamiento óptimo. El equipo opera con un módulo A de alimentación, sin embargo el módulo B, entrará en funcionamiento una vez que falle el primero para proveer la misma cantidad de voltaje al equipo.

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

- **Módulos de ventilación:** Los ventiladores están ubicados en la parte superior (A) e inferior del equipo (B), los cuales mantienen la temperatura adecuada para el buen funcionamiento de cada uno de los dispositivos electrónicos del sistema. Alguno de los ventiladores es quien trabajara como primario, mientras que el otro estará como secundario a la espera de que falle el principal.
- **Módulos administrativos:** El equipo consta de dos módulos administrativos(A y B), el primero es quien lleva toda la información de configuración local del equipo, versiones de software, gestión de elementos del equipo; mientras que la otra será el respaldo de la primera en caso de que esta falle, ambos dispositivos cuentan con un router/switch el cual realiza el enrutado de paquetes adecuadamente. Por otro lado el modulo administrativo es quien se encarga de llevar a cabo la comunicación entre equipos, cuando estos son configurados como esclavos los cuales son interconectados a través de puertos Ethernet para poder llevar a cabo la gestión y además de establecer la comunicación con dispositivos externos como routers y switches para que a través de estos se tenga acceso al equipo ETO a nivel remoto.



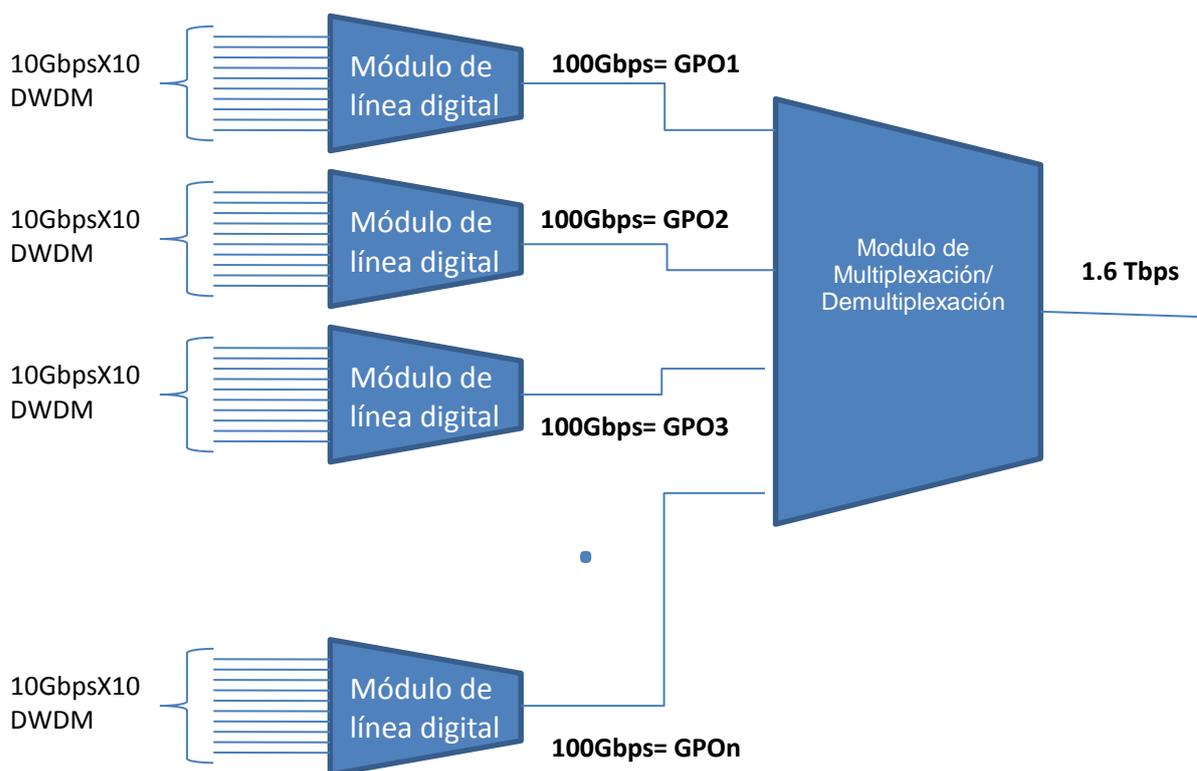
**FIGURA 3.2 Estructura del equipo ETO**

- **Panel de entrada y salida:** El panel de entrada y salida, consta de diversos puertos Ethernet, los cuales son usados para llevar la comunicación hacia el router principal y que este tenga salida a la red, además de que por medio de estos puertos se lleva a cabo la comunicación entre equipos ETO, cuando son conectados como expansiones. Por otro lado en este panel se encuentran indicadores LED'S, los cuales despliegan por un determinado color como: verde cuando el equipo se encuentra en perfecto estado, ámbar cuando alguna falla mínima se presenta y rojo cuando el funcionamiento del equipo no es bueno.
- **Conexiones para alarmas externas:** Los pines que se encuentran en esta parte son utilizados para poder sincronizar distintos indicadores externos, que pudieran afectar el funcionamiento del equipo, además de poder configurar indicadores ambientales.
- **Módulo de línea digital:** El módulo de línea digital transmite y recibe 10 señales DWDM de 10Gbps, generando 100Gbps, por cada módulo de línea, por lo que a este conjunto de señales se le llama Grupo de Portadoras Ópticas (GPO).A continuación se describen las funciones que ejecuta este importante elemento:
  1. Provee señales add/drop o switcheo de 40Gbps, 10Gbps, 2.5Gbps, 1GE, 622Mbps, o 155Mbps entre los módulos adaptadores tributarios, los cuales son parte del módulo de línea digital.
  2. Provee 100Gbps o 60Gbps de switcheo entre slots, para una configuración de anillo.
  3. Crea y termina la línea de la Estructura de Transporte Digital (ETD).
  4. Mapea las señales del cliente desde los módulos adaptadores tributarios (Tributario ETD), dentro de la línea ETD que son transmitidos y recibidos desde la salida del módulo digital de línea.
  5. Cada Módulo digital contiene un circuito fotónico que contiene láseres, moduladores, multiplexores ópticos, demultiplexores ópticos y fotodetectores.
  6. Codifica y decodifica el Forware Error Correction(FEC) de la señal para cada longitud de onda del GPO transmitidas y recibidas a través del circuito integrado fotónico de transmisión o recepción.
  7. Multiplexa 10 longitudes de onda individuales dentro de un GPO a través del circuito integrado fotónico de transmisión.
  8. Demultiplexa el GPO dentro de 10 longitudes de onda individuales a través del circuito integrado fotónico de recepción.

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

Existen distintos tipos de módulos de línea digitales, ya que cada uno de estos estará sintonizando un rango de longitudes de onda específico dentro de la banda C, de los 1530nm a los 1565nm.

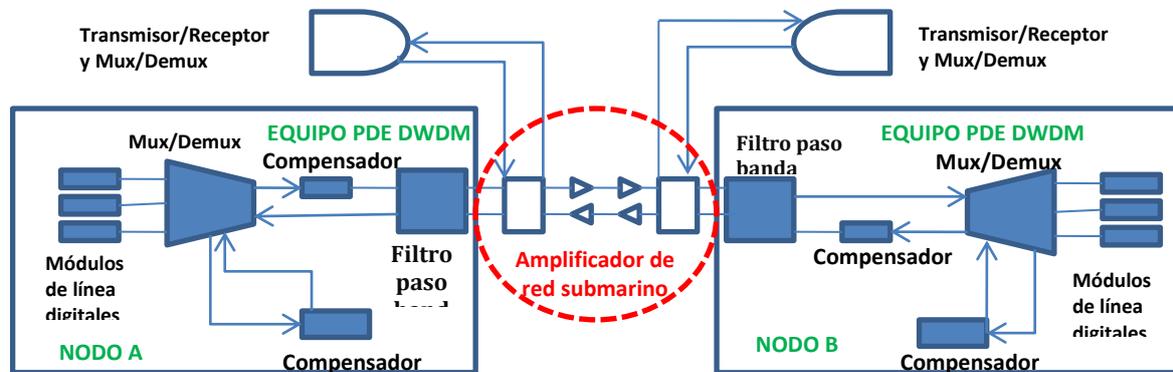
- **Módulo de Multiplexación/Demultiplexación:** Es este módulo se realiza la última etapa de multiplexación cuando la información va a transmitirse, ya que la información es recibida desde el módulo de línea digital en distintos GPO de 100Gbps cada uno; además de ser la primera etapa de demultiplexación cuando la señal es recibida creando distintos GPO. Proporciona una ganancia EDFA a la señal recibida y a la señal que será transmitida, por último a este módulo se puede conectar un elemento que proporcione compensación por dispersión cuando sea necesario. Existen distintos tipos de módulos de multiplexación/demultiplexación, algunos de estos módulos cuentan con cuatro u ocho puertos, además de que se pueden expandir utilizando el slot 2 del equipo para poder tener entre 16 y 8 puertos.



**FIGURA 3.3 Proceso de multiplexación del equipo ETO.**

### 3.1.2. Configuración del equipo ETO para modo submarino

El equipo ETO, puede ser usado para enlaces terrestres y también enlaces submarinos, sin embargo para que este último funcione adecuadamente se requieren de otros elementos que permitirán que el equipo trabaje para modo submarino.



**FIGURA 3.4 Configuración modo submarino del equipo ETO.**

En la figura 3.4 se muestra el diagrama general para llevar a cabo la transmisión de señales desde el NODO A hacia el NODO B en redes donde existen enlaces submarinos.

- La primera etapa de la transmisión es agrupar mediante los módulos de línea digital las señales tributarias del cliente, para que sean transmitidos en un GPO, y así el módulo de multiplexación junta todos los grupos de portadoras ópticas en uno solo.
- El siguiente paso es pasar la señal por un compensador, el cual ayuda a eliminar el ensanchamiento del pulso, antes de ser transmitido.
- Pasa por un filtro paso banda para que únicamente permite un determinado ancho de banda, y de esta manera no exista traslape con las portadoras del equipo submarino.
- Una vez que la señal sale del filtro paso banda la información es portada a través de otro proveedor de equipos el cual se encarga de transportar la información a través de equipos submarinos, los cuales son implementados en el mar o en su defecto hacer uso de otros elementos PDE para poder realizar este tipo de enlaces. De esta manera la señal viaja hasta el extremo del NODO B.
- Cuando la información arriba al NODO B el primer paso que hace el equipo del proveedor PDE, es filtrar la señal limitando el ancho de banda para que no se tomen portadoras del equipo submarino.

- Una vez que la señal es filtrada pasa a través del compensador para ayudar a eliminar los efectos de la dispersión cromática y ensanchamiento del pulso.
- La señal pasa a través del demultiplexor para crear cada uno de los grupos de portadoras ópticas, para que después cada GPO sea enviado a su correspondiente módulo de línea digital y de esta manera se haga el Add/drop de la señal, desde el NODO B.
- El sistema es bidireccional por lo que el proceso se repite cuando la información viaja del NODO B al NODO A.

El equipo ETO puede soportar las siguientes señales tributarias:

1. **SONET (Synchronous Optical Network):** OC-768, OC 192/10GbEWAN, OC-48, OC-12. OC-3.
2. **SDH (Synchronous Digital Hierarchy):** STM-256, STM-64, STM-16, STM-4 STM-1.
3. **Gigabit Ethernet (GbE):** 10 GbE LAN, 1GbE, Canalizado 2X1GbE.
4. **Estructura de Transporte Digital(ETD):** 10G(11.1G tasa de datos)
5. **Canal de fibra (FC):** 10GFC, 8GFC, 2GFC y 1GFC.
6. **Red de transporte óptico (OTN):** OTU2, OTU2e, OTU1 y OTU1e.
7. **Clear Channel (CC):** 10G Clear Channel, 2.5 Clear Channel, 4G Clear Channel, IB10G-CC, IB2-5G-CC, ESCON200M-CC, DV6000-CC, HD1-485G-CC, HD1-483G-CC, SD270M-CC y DVB270M-CC.

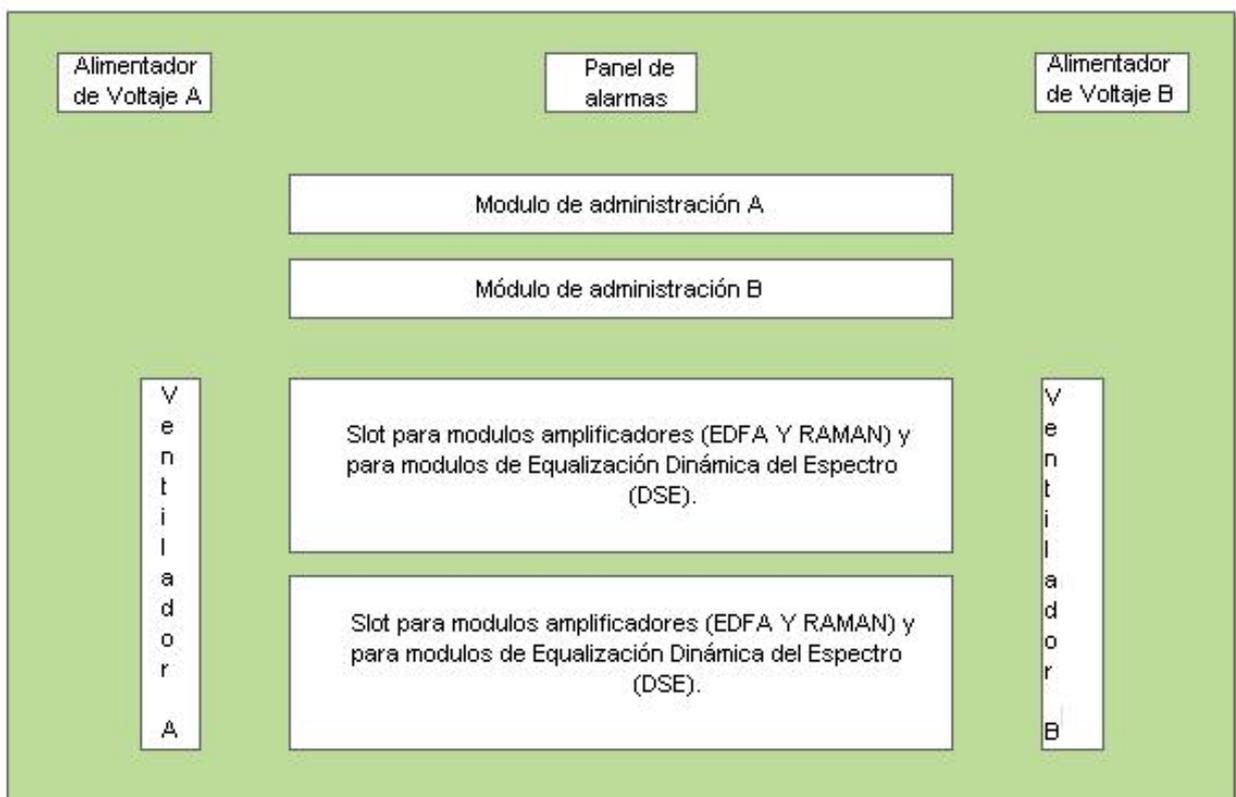
### 3.1.3. Amplificadores ópticos de Línea (AOL)

El AOL permite incrementar la amplitud de la señal transmitida en la banda C, además brinda un mayor alcance entre nodos, este equipo está conformado de elementos muy similares que el equipo ETO, por lo que a continuación se describen las partes que conforman el AOL:

- **Módulos de alimentación eléctrica:** El equipo consta de dos alimentadores de voltaje(A, B), los cuales proporcionan la energía eléctrica necesaria al equipo, proporcionando un voltaje en el rango de -40 a -72 VDC, para un funcionamiento óptimo. El equipo opera con un módulo de alimentación, sin embargo el otro modulo estará en espera de que falle el primero para proveer la misma cantidad de voltaje al equipo.
- **Módulos de ventilación:** Los ventiladores están ubicados a los costados del equipo (A) y (B), los cuales se encargan de mantener la temperatura adecuada para el buen funcionamiento de cada uno de los dispositivos electrónicos del sistema. Alguno de los ventiladores es quien trabajara como primario, mientras que el otro estará como secundario a la espera de que falle el principal.

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

- **Módulos administrativos:** El AOL al igual que el ETO consta de dos módulos administrativos(A y B), el primero es quien lleva toda la información de configuración local del equipo, versiones de software, gestión de elementos del equipo; mientras que la otra será el respaldo de la primera en caso de que esta falle, ambos dispositivos cuentan con un router/switch el cual realiza el enrutado de paquetes adecuadamente. Por otro lado el modulo administrativo es quien se encarga de llevar a cabo la comunicación entre equipos, cuando estos son configurados como esclavos los cuales son interconectados a través de puertos Ethernet para poder llevar a cabo la gestión y además de establecer la comunicación con dispositivos externos como routers y switches para que a través de estos se tenga acceso al equipo ETO a nivel remoto.

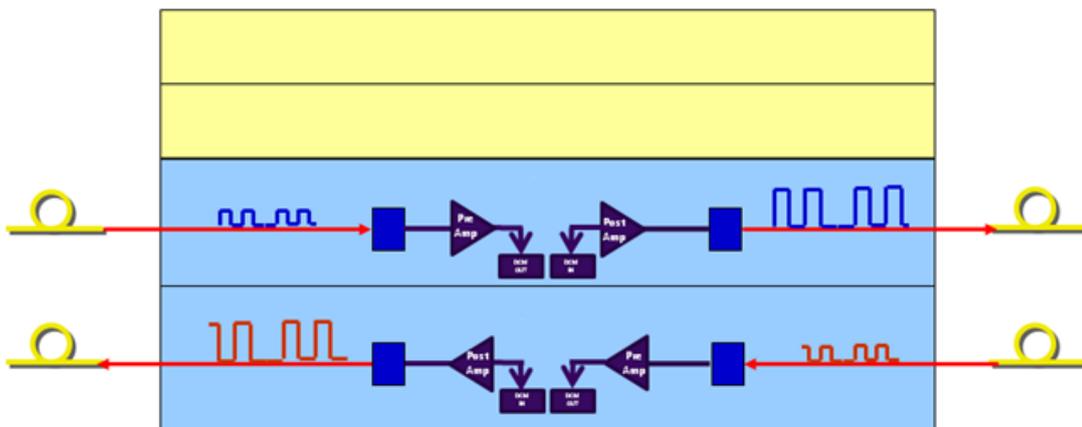


**Figura 3.5 Estructura del equipo AOL.**

- **Panel de alarmas:** El panel de alarmas está compuesto de interfaces Ethernet, las cuales permiten una conectividad a la red, contactos ambientales para poder controlar la temperatura del lugar donde se encuentra el equipo, LED'S indicadores del estado del equipo, ya que tendremos un color ámbar el cual indica que algo menor está pasando en el equipo, por lo que no hay riesgo en afectar el servicio, rojo mayor el cual indica que algo está afectando al equipo sin que este sufra un corte de servicio en la red, rojo critico indica que el equipo ha dejado de funcionar correctamente por lo que está impactando a la red y el servicio.

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

- Módulos de amplificación y ecualización:** Dentro de este tipo de componentes se pueden encontrar los módulos EDFA del inglés (Erbium Doped Fibre Amplifier), cada uno de este tipo de amplificadores, únicamente permitirá incrementar la amplitud de la señal en una sola dirección en la banda C hasta 160 canales, haciendo un pre amplificado al momento que la señal arriba al equipo, y un post amplificado a la salida del equipo, además de que la señal pasa a través de un compensador para eliminar el ensanchamiento del pulso cuando la señal lo requiere y este proceso se realiza después de la pre amplificación, como se muestra en la figura 3.6 . El PDE ofrece una amplia variedad de módulos EDFA, ya que estos son implementados de acuerdo a la atenuación requerida en el enlace.



**FIGURA 3.6 Funcionamiento del módulo EDFA.**

Dentro de este tipo de amplificadores se pueden encontrar distintos modelos los cuales se mostrarán la siguiente tabla, ya que cada uno de estos soporta distintos tipos de atenuación.

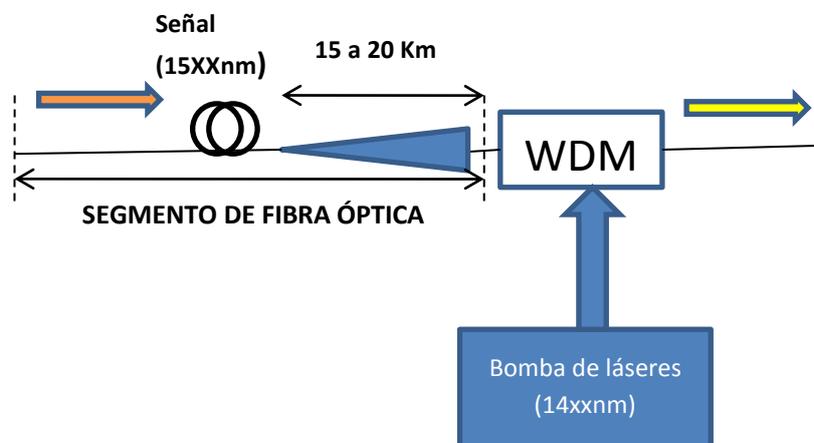
| Tipo de Amplificador | Ganancia | Atenuación en dB |
|----------------------|----------|------------------|
| Amplificador A       | 20.0dB   | 0 a 20           |
| Amplificador B       | 22.0dB   | 5 a 22           |
| Amplificador C       | 26.5dB   | 19 a 26          |
| Amplificador D       | 26.5dB   | 19 a 26.5        |
| Amplificador E       | 30.5dB   | 25 a 30          |
| Amplificador F       | 30.5dB   | 25 a 30.5        |

**TABLA 3.1**

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

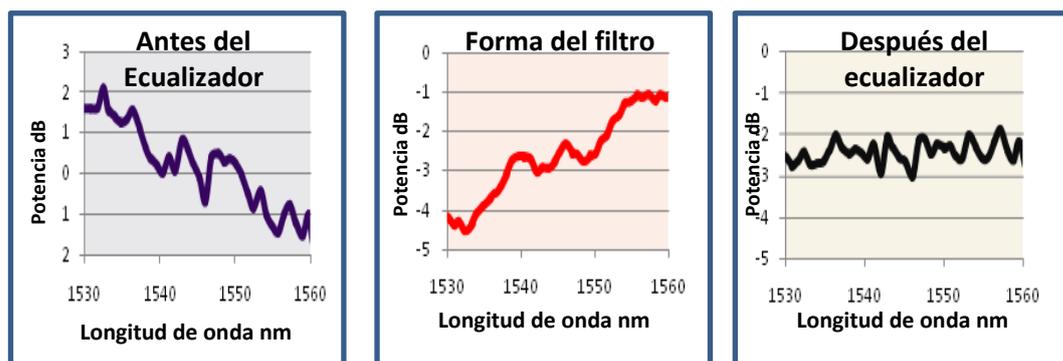
El PDE también ofrece un módulo RAMAN el cual es implementado cuando se requiere tener una mayor distancia entre nodos y las ventajas del uso de un amplificador RAMAN son las siguientes:

- Reduce el número de repetidores digitales o amplificadores.
- Es usado donde dos lugares geográficamente a líneas de costo óptimas.
- Soporta hasta 80 canales para enlaces de muy largos.
- De acuerdo a las configuraciones ofrecidas por el PDE este puede ser implementado para redes transoceánicas.
- El módulo RAMAN es una fuente de potencia de bomba.
- El funcionamiento de la ganancia es altamente dependiente de la fibra.
- El funcionamiento de la ganancia es altamente dependiente de la atenuación entre el modulo y la atenuación de la fibra.
- La ganancia del efecto RAMAN ocurre en la atenuación de la fibra de transmisión en los primero 15 a 20 Km.
- Las bombas de luz RAMAN están acopladas en la atenuación de la fibra con un combinador WDM.
- La energía de la bomba (14XXnm) es transferida a la señal (15XXnm) en la fibra para proveer ganancia.
- La misma cantidad de potencia de las bombas proveen diferentes ganancias para diferentes tipos de fibra óptica.



**FIGURA 3.7 Funcionamiento del módulo RAMAN.**

El módulo de Ecuación Dinámica de Espectro es un elemento activo; es empleado cuando la distancia muy larga, debido a que la señal gana una inclinación, por lo que en el receptor es difícil definir cero y uno, este módulo de ecuación permite eliminar la inclinación que la señal ha obtenido, además de eliminar el rizado y el ruido que ha adquirido durante su trayectoria, en la figura 3.8 se puede visualizar de una manera gráfica cual es la función del ecualizador.



**FIGURA 3.8 Efecto que tiene la señal al pasar por el módulo ecualizador**

### 3.2. Análisis de la red del operador de telecomunicaciones

#### 3.2.1. Análisis de la red en el segmento Guatemala antes de la implementación

De acuerdo a la implementación de red del año 2010, el segmento de Guatemala está conformado por tres enlaces bidireccionales, los cuales se describen a continuación:

1. **Enlace submarino Miami, EUA-Puerto Barrios, Guatemala:** Este enlace tiene una capacidad de 800Gbps, en ambas direcciones como se muestra en la figura 3.8. La transmisión es realizada con equipos ETO (Equipo de Transporte Óptico), haciendo uso de la configuración submarina, para poder realizar enlaces submarinos.

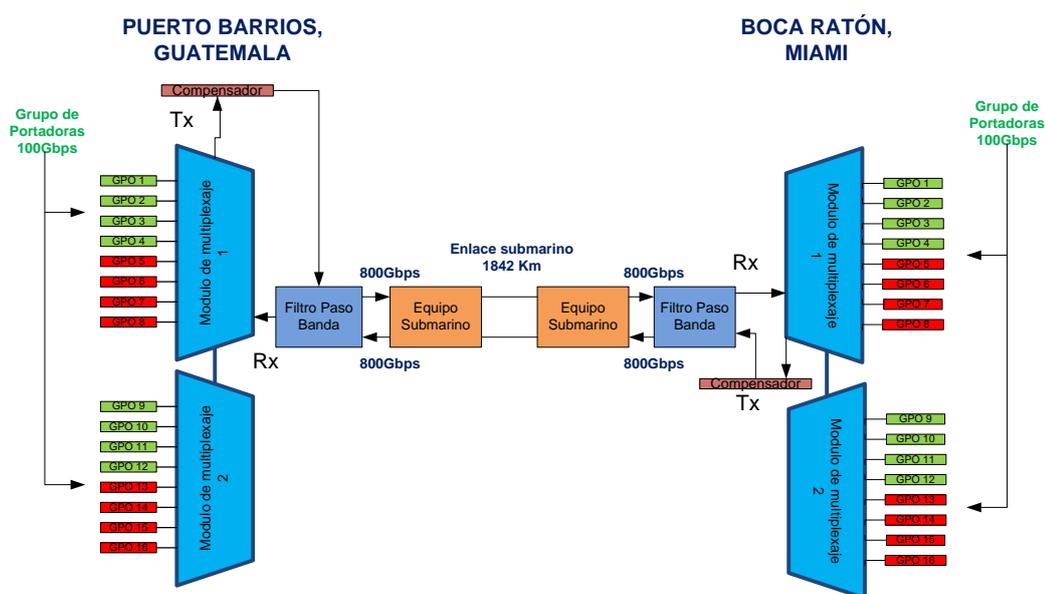
| GPO   | Rango de operación de frecuencias | Modulo digital Puerto Barrios | Modulo digital Miami    |
|-------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| GPO1  | 1548.915nm-1563.455nm             | Insertado en ETO1, slot3      | Insertado en ETO1,slot4 |
| GPO2  | 1548.515nm-1563.047nm             | Insertado en ETO1, slot6      | Insertado en ETO1,slot5 |
| GPO3  | 1548.115nm-1562.640nm             | Insertado en ETO2, slot3      | Insertado en ETO2,slot4 |
| GPO4  | 1547.715nm-1562.223nm             | Insertado en ETO2, slot6      | Insertado en ETO2,slot5 |
| GPO9  | 1549.115nm-1563.659nm             | Insertado en ETO3, slot3      | Insertado en ETO3,slot4 |
| GPO10 | 1548.715nm-1563.251nm             | Insertado en ETO3, slot6      | Insertado en ETO3,slot5 |
| GPO11 | 1548.315nm-1562.844nm             | Insertado en ETO4, slot3      | Insertado en ETO4,slot4 |
| GPO12 | 1547.915nm-1562.436nm             | Insertado en ETO 4, slot6     | Insertado en ETO4,slot5 |

**Tabla 3.2**

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

El proceso del sistema de comunicaciones que se muestra en la figura 3.8 es el que a continuación se describe:

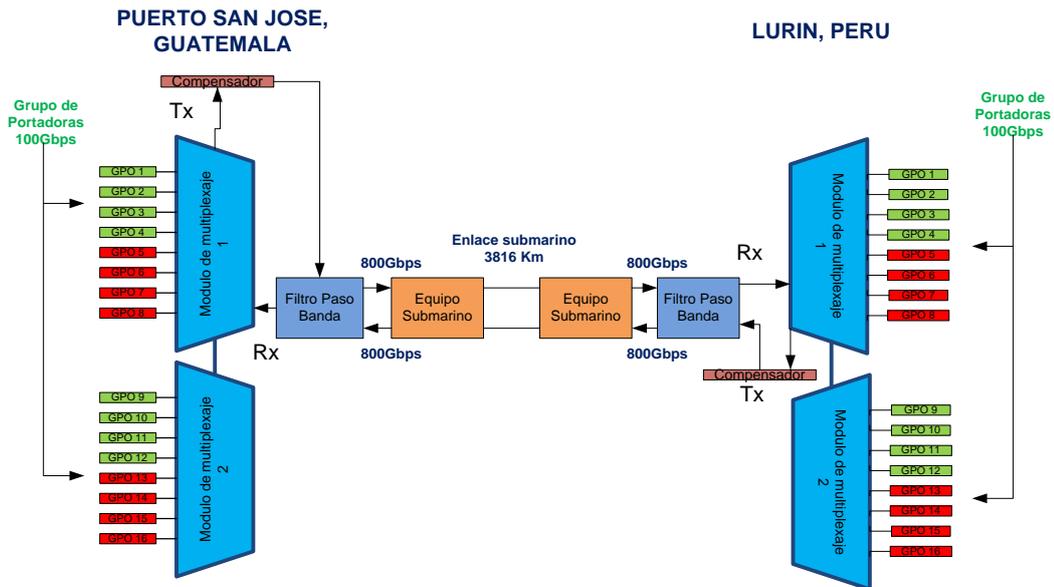
- Los módulos de línea digital, son de vital importancia en el sistema de comunicaciones puesto estos usan la tecnología del PIC (Circuito Integrado fotónico) de 100Gbps, uno para la transmisión y otro para la recepción, cada uno de estos está compuesto de distintos elementos discretos como láseres, moduladores, multiplexores y demultiplexores, por lo que allí se hace el primer proceso de multiplexación y demultiplexación, formando así los grupos de portadoras ópticas, cada uno de estos de 100Gbps.
- Una vez que se han generado los distintos grupos de portadoras ópticas estos son enviados al módulo de multiplexaje 1 y 2, teniendo así una agrupación de 8GPO, dando como resultado la capacidad antes mencionada 800Gbps, por lo que en la recepción se hace el proceso contrario es decir se lleva la demultiplexación de la señal.
- La señal necesita ser compensada puesto que la trayectoria del enlace submarino es de 1842Km, de esta forma se evita el ensanchamiento de pulso en la transmisión.
- El filtro paso banda es empleado para eliminar la señal de monitoreo del equipo submarino, logrando de esta manera obtener la señal en banda C en la recepción, mientras que en la transmisión se insertan canales para el monitoreo. Después de este punto la señal es enviada al equipo submarino (amplificador terminal de línea), a lo largo del enlace se cuentan con amplificadores submarinos los cuales son controlados por el Operador. El mismo proceso de comunicaciones que se ha descrito es empleado en ambas estaciones, Puerto Barrios y Boca Ratón Miami.



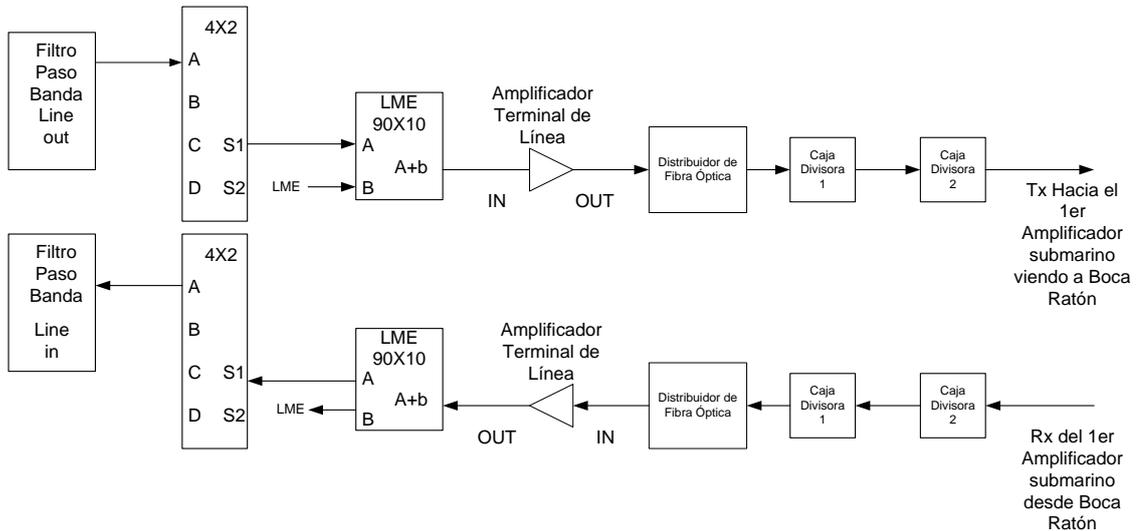
**FIGURA 3.9 Enlace submarino Miami-Puerto Barrios**

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

2. **Enlace submarino Puerto San José- Lurín, Perú:** Este enlace tiene una capacidad de 800Gbps, en ambas direcciones como se muestra en la figura 3.9. La transmisión es realizada de la misma manera que el sistema de comunicaciones del enlace Puerto Barrios-Boca Ratón empleando equipos ETO, por lo que también son usados los GPO 1, 2, 3, 4 y 9, 10, 11,12 dando de esta manera continuidad al anillo de Latinoamérica. La información es tratada para que pueda ser enviada a los equipos submarinos y pueda llegar de un punto a otro viajando a través del océano a una distancia de 3816Km.



**Figura 3.10 Enlace submarino Puerto Sn José-Lurín**



**Figura 3.11 Equipo submarino**

En la imagen 3.11 se muestra el equipamiento usando submarino para establecer los enlaces.

**3. Enlace terrestre Puerto Barrios-Puerto San José, Guatemala:** Este enlace tiene una capacidad de 800Gbps en forma bidireccional.

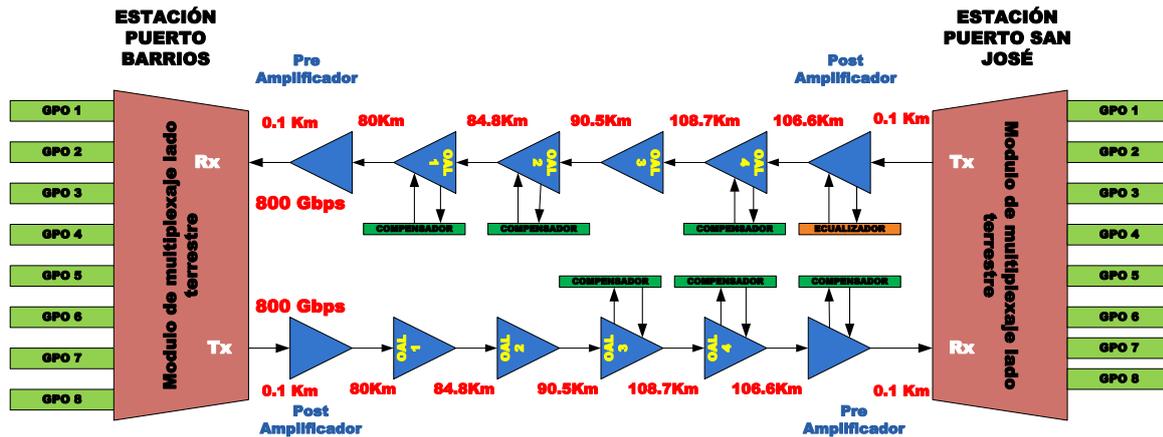
### Estación Puerto Barrios y Puerto Sn José

- Cada estación cuenta con 8 módulos digitales distribuidos en cuatro equipos ETO, los cuales generan 8GPO (Grupo de Portadoras Ópticas de los 8 disponibles que pueden ser conectados en el módulo de Multiplexación/Demultiplexación).

| GPO  | Rango de frecuencias  | Modulo digital Puerto Barrios | Modulo digital Puerto Sn José |
|------|-----------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| GPO1 | 1548.915nm-1563.455nm | Insertado en ETO1, slot4      | Insertado en ETO1,slot3       |
| GPO2 | 1548.515nm-1563.047nm | Insertado en ETO1, slot5      | Insertado en ETO1,slot6       |
| GPO3 | 1548.115nm-1562.640nm | Insertado en ETO2, slot4      | Insertado en ETO2,slot3       |
| GPO4 | 1547.715nm-1562.223nm | Insertado en ETO2, slot5      | Insertado en ETO2,slot6       |
| GPO5 | 1531.507nm-1545.720nm | Insertado en ETO3, slot4      | Insertado en ETO3,slot3       |
| GPO6 | 1531.116nm-1545.322nm | Insertado en ETO3, slot5      | Insertado en ETO3,slot6       |
| GPO7 | 1530.725nm-1544.924nm | Insertado en ETO4, slot4      | Insertado en ETO4,slot3       |
| GPO8 | 1530.334nm-1544.526nm | Insertado en ETO4, slot5      | Insertado en ETO4,slot6       |

**Tabla 3.3**

- La transmisión del módulo de Multiplexación/Demultiplexación de Puerto Barrios se conecta hacia un amplificador B y de igual manera en Puerto Sn José, donde funcionan como Post-amplificadores para ambos casos, sin embargo en la entrada del amplificador B, se tiene un ecualizador dinámico de espectro, puesto que la señal gana una inclinación debido a la distancia del enlace.
- La recepción del módulo de Multiplexación/Demultiplexación recibe la señal de un amplificador D para el caso de Puerto Barrios y para el caso de Puerto Sn José la señal se recibe de un amplificador F, ambos funcionan como Pre-amplificadores.
- Los amplificadores B, D y F están conectados hacia el módulo de Multiplexación/Demultiplexación mediante una fibra mono modo SMF-28 produciendo una atenuación de 0.02dB entre los puntos de interconexión.
- En el módulo de Multiplexación/Demultiplexación es colocado un compensador para soportar los efectos del ensanchamiento del pulso para ambas estaciones.



**FIGURA 3.12 Enlace terrestre Puerto Barrios-Puerto San José**

- El compartimiento de información que tienen los equipos ETO entre enlaces submarinos y terrestres se lleva a cabo a través del backplane del equipo por medio de una señal eléctrica de los cuatro slots (del 3 al 6) donde se insertan los módulos digitales, 3 y 6 pueden ser usados para la parte submarina o terrestre, de igual manera los slots 2y3 serán para la parte terrestre o submarina e irán conectados al módulo de multiplexación/demultiplexación del ETO.
- En la estación Puerto Barrios se cuenta con cuatro ETO y un AOL; los cuales disponen de dos módulos digitales para la parte submarina en los slots 3 y 6, dos para la parte terrestre en los slots 4 y5.
- En la estación Puerto Sn José dispone de cuatro ETO, un AOL y un Ecualizador; los ETO contienen módulos digitales para la parte terrestre en los slots 3,6 y para la parte submarina en los slots 4 y 5.

### Estaciones de amplificación

- En esta red se cuentan con seis equipos de amplificación usando los equipos AOL del proveedor PDE, cuatro de estos se encuentran distribuidos en estaciones del operador de telecomunicaciones, a lo largo de la carretera, uno más en la estación de Puerto Barrios y otro en la estación Puerto Sn José. Cada equipo AOL tiene dos amplificadores EDFA los cuales amplifican hacia un solo sentido, es decir Puerto Barrios hacia Puerto Sn José ó Puerto Sn José hacia Puerto Barrios.
- Los amplificadores que son empleados en estas estaciones soportan hasta 160 canales de 100Gbps. Las fibras de recepción y transmisión que son conectadas a estos equipos, pasan a través de un distribuidor de fibra óptica que es donde llegan las fibras del exterior a partir de este punto son conectadas al APS del operador de telecomunicaciones para que la red tenga protección en caso de que exista alguna falla física en la fibra.

A continuación en la tabla 3.2 y 3.3 se muestran a detalle las características físicas del tramo terrestre de la red del operador de telecomunicaciones 1.

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

### Características del Enlace terrestre en el sentido Puerto Barrios- Puerto Sn José

| Estación       | Distancia  | Tipo de Fibra en Tx | Atenuación  | Tipo de amplificador | Tx/Rx                                  | Uso de compensador |
|----------------|--|---------------------|---|----------------------|--|--------------------|
| Puerto Barrios | 0.1 Km entre el OTE y el AOL-0                               | SMF-28              | 0.02 dB entre el ETO y el AOL-0                             | Amplificador B       | Tx hacia AOL-1y Rx del ETO             | NO                 |
| AOL -1         | 80 Km Entre Puerto Barrios y el AOL-1                        | SMF-28              | 22.3 dB entre Puerto Barrios y el AOL-1                     | Amplificador D       | Tx hacia AOL-2 y Rx de Puerto Barrios  | NO                 |
| AOL- 2         | 84.8 Km entre El AOL-1 y el AOL-2                            | SMF-28              | 23.2 dB entre el AOL-1 y el AOL-2                           | Amplificador D       | Tx hacia AOL-3 y Rx del AOL-1          | NO                 |
| AOL- 3         | 90.5 Km Entre el AOL-2 y el AOL-3                            | SMF-28              | 23.9dB entre el AOL-2 y el AOL-3                            | Amplificador D       | Tx hacia AOL-4 y Rx del AOL-2          | SI                 |
| AOL- 4         | 108.7 Km el AOL-3 y el AOL-4                                 | Tera light          | 25.2 dB entre AOL-3 y el AOL-4                              | Amplificador D       | Tx hacia Puerto Sn José y Rx del AOL-3 | SI                 |
| Puerto Sn José | 106.6 Km Entre el AOL-4 y AOL-5, 0.1 Km entre AOL-5 y el ETO | Tera light          | 30.8 dB entre el AOL-4 y AOL-5, 0.02dB entre AOL-5 y el ETO | Amplificador F       | Tx hacia ETO y Rx del AOL-4            | SI                 |

**Tabla 3.4**

### Características del Enlace terrestre en el sentido Puerto Sn José- Puerto Barrios

| Estación       | Distancia   | Tipo de Fibra en Tx | Atenuación  | Tipo de amplificador | Tx/Rx                                  | Uso de compensador    |
|----------------|---|---------------------|---|----------------------|--|-----------------------|
| Puerto Sn José | 0.1 Km entre el OTE y el AOL-5                            | Tera light          | 0.02 dB entre el ETO y el AOL-5                             | Amplificador B       | Tx hacia AOL-4y Rx del ETO             | Ecuadorador dinámico. |
| AOL -4         | 106.6 Km Entre Puerto Sn José y el AOL-4                  | Tera light          | 33.6 dB entre Puerto Sn José y el AOL-4                     | Amplificador F       | Tx hacia AOL-3 y Rx de Puerto Sn José  | SI                    |
| AOL- 3         | 108.7 Km entre El AOL-4 y el AOL-3                        | SMF-28              | 26.6 dB entre el AOL-4 y el AOL-3                           | Amplificador F       | Tx hacia AOL-2 y Rx del AOL-4          | NO                    |
| AOL- 2         | 90.5 Km Entre el AOL-2 y el AOL-3                         | SMF-28              | 22.3dB entre el AOL-2 y el AOL-3                            | Amplificador D       | Tx hacia AOL-1 y Rx del AOL-3          | SI                    |
| AOL- 1         | 84.8Km el AOL-1 y el AOL-2                                | SMF-28              | 22.9 dB entre AOL-1 y el AOL-2                              | Amplificador D       | Tx hacia Puerto Barrios y Rx del AOL-2 | SI                    |
| Puerto Barrios | 80 Km Entre el AOL-1 y AOL-0, 0.1 Km entre AOL-0 y el ETO | SMF-28              | 20.4 dB entre el AOL-1 y AOL-0, 0.02dB entre AOL-0 y el ETO | Amplificador D       | Tx hacia ETO y Rx del AOL-1            | SI                    |

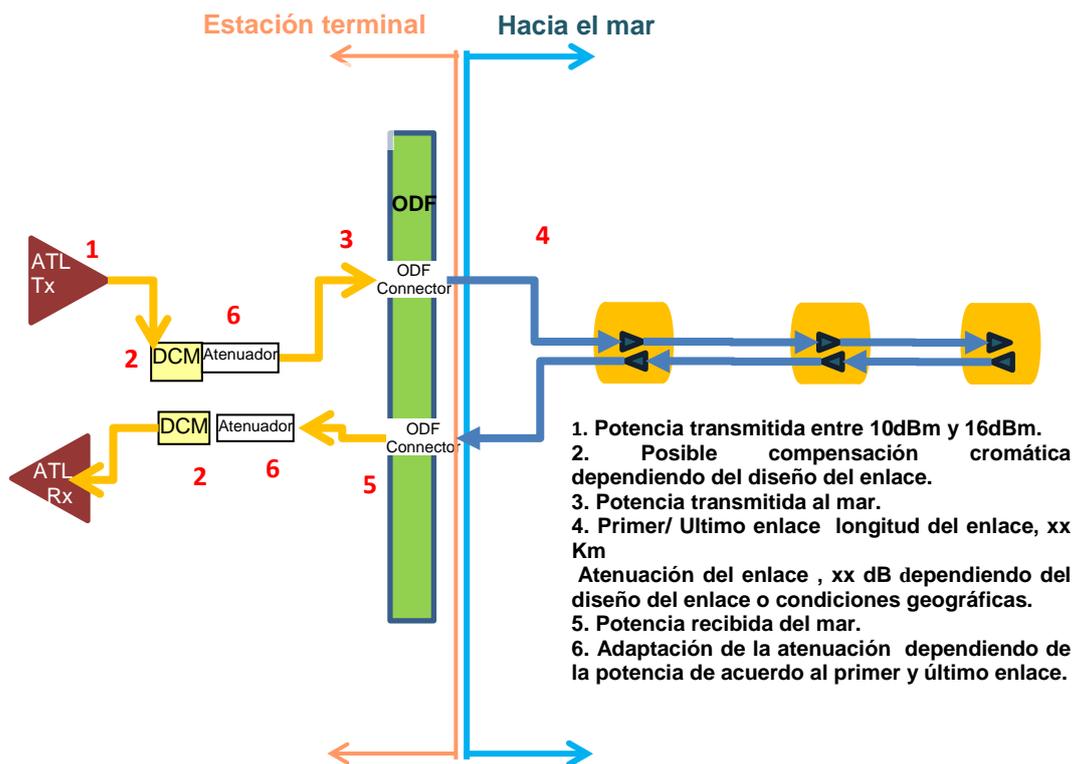
**Tabla 3.5**

### 3.2.2. Análisis del segmento de Guatemala para llevar a cabo la ampliación de red

Los objetivos a realizar durante la implementación de la red 2011 se concentran en los siguientes puntos:

- **Reemplazo del amplificador terminal de línea para cada una de las estaciones de amarre.**
- **Inserción de 8 canales de 40Gbps.**
- **Incremento de la capacidad del ancho de banda del enlace terrestre en Guatemala.**

**Reemplazo del amplificador terminal de línea entre Miami, Boca Ratón-Puerto Barrios, Guatemala y Puerto San José, Guatemala-Lurín, Perú:** Para poder llevar a cabo el reemplazo de los amplificadores se consideran los siguientes parámetros:



**Figura 3.13 Análisis enlace submarino**

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

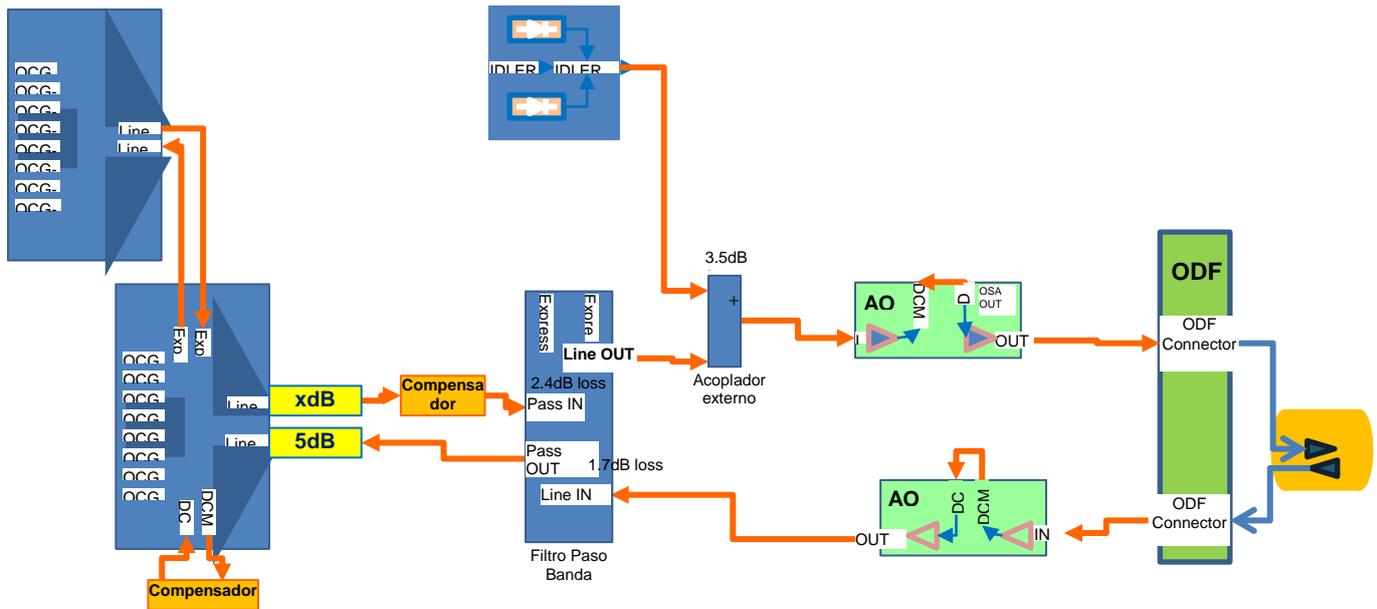
- Longitud en Km del primer y último enlace entre el amplificador submarino más cercano.
- Atenuación en dB del primer y último enlace entre el amplificador submarino más cercano.
- Compensador en la transmisión y recepción.
- Potencia de transmisión del amplificador terminal de línea.
- Potencia de recepción en el amplificador terminal de línea.
- Potencia de transmisión hacia el mar.
- Potencia de recepción del mar.
- Tipo de conectores en el distribuidor de fibras ópticas.

Una vez que se conocen todos los parámetros y análisis por parte de diseño se procede a elegir el equipamiento en la estación terminal, algunos de los datos deben de ser supuestos y otros son proporcionados por el proveedor de servicios, tomando valores del último diseño de los amplificadores submarinos.

### Datos para los enlaces submarinos

| Datos   | Puerto Barrios-Boca Ratón | Puerto San José- Lurín |
|---|---------------------------|------------------------|
| Tipo de conector  | FC-APC                    | FC-APC                 |
| Atenuador en la Rx  | No                        | No                     |
| Atenuador en la Tx  | No                        | No                     |
| Compensación en la Rx   | No                        | No                     |
| Compensación en la Tx   | No                        | No                     |
| Distancia al primer amplificador hacia el mar (Km)                  | 43.9                      | 42.5                   |
| Atenuación del primer enlace(0.2dB/Km)                              | 8.8                       | 8.5                    |
| Potencia esperada de entrada en el primer amplificador del mar(dBm) | 0.0                       | 0.0                    |
| Potencia lanzada hacia el mar(dBm)                                  | 8.8                       | 8.5                    |
| Potencia de salida esperada del primer amplificador(dBm)            | 12.0                      | 12.0                   |
| Potencia entrante del mar(dBm)                                      | 3.2                       | 3.5                    |

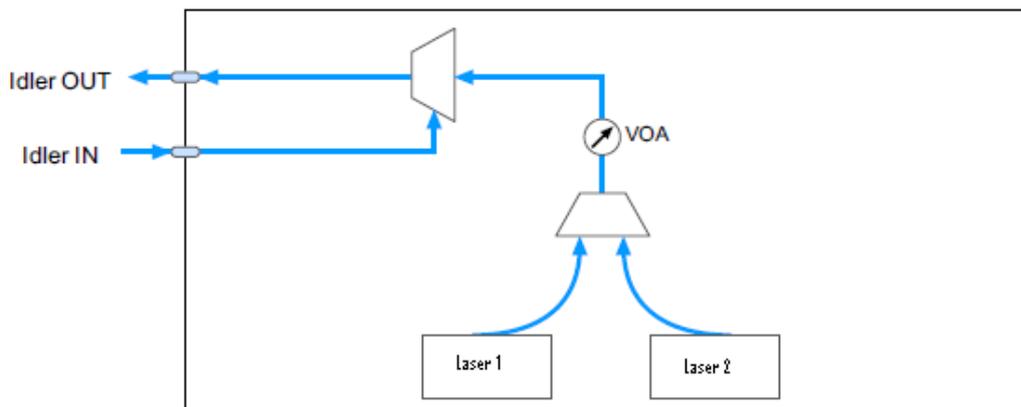
**Tabla 3.6**



**FIGURA 3.14 Sistema de comunicación de reemplazo Puerto Barrios**

El sistema de comunicaciones mostrado en la figura 3.14 muestra los elementos que serán usados para el reemplazo del amplificador terminal de línea de la estación de Puerto Barrios, como podemos observar se ha agregado un Idler, acoplador, dos amplificadores uno para la recepción y uno más a la transmisión.

Idler: Es un elemento que permite que la densidad de carga sea igual en todo el espectro sin que queden espacios libres, si quedarán espacios estos serían llenados con las landas que maneja este elemento, esto con la finalidad de disminuir el ruido en la transmisión hacia el primer amplificador del mar.

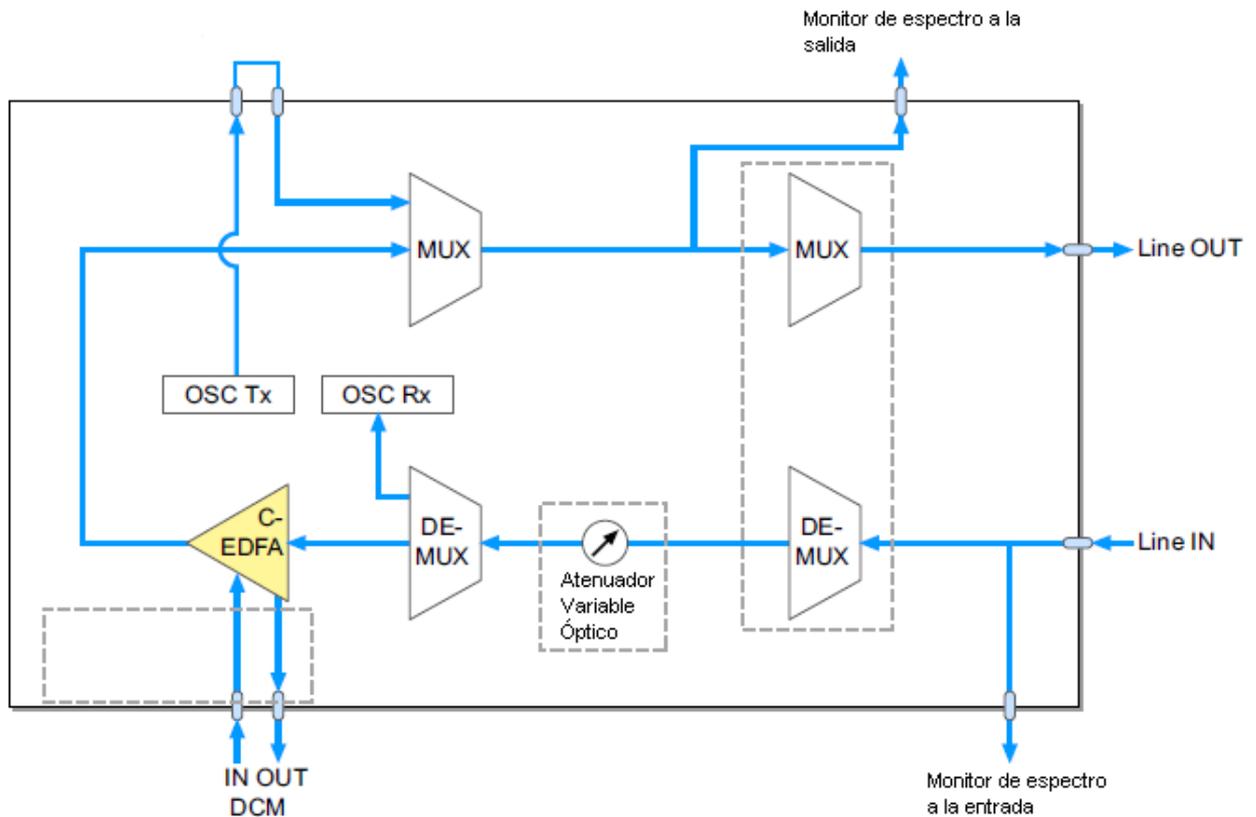


**Figura 3.15 Diagrama de bloques de Idler**

Acoplador: Este dispositivo permite sumar la señal que será transmitida hacia el mar y la señal del idler.

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

Amplificador: El tipo de amplificador a usar es de tipo B, el cual tiene una aceptación de atenuación en el rango de 5 a 22 dB.

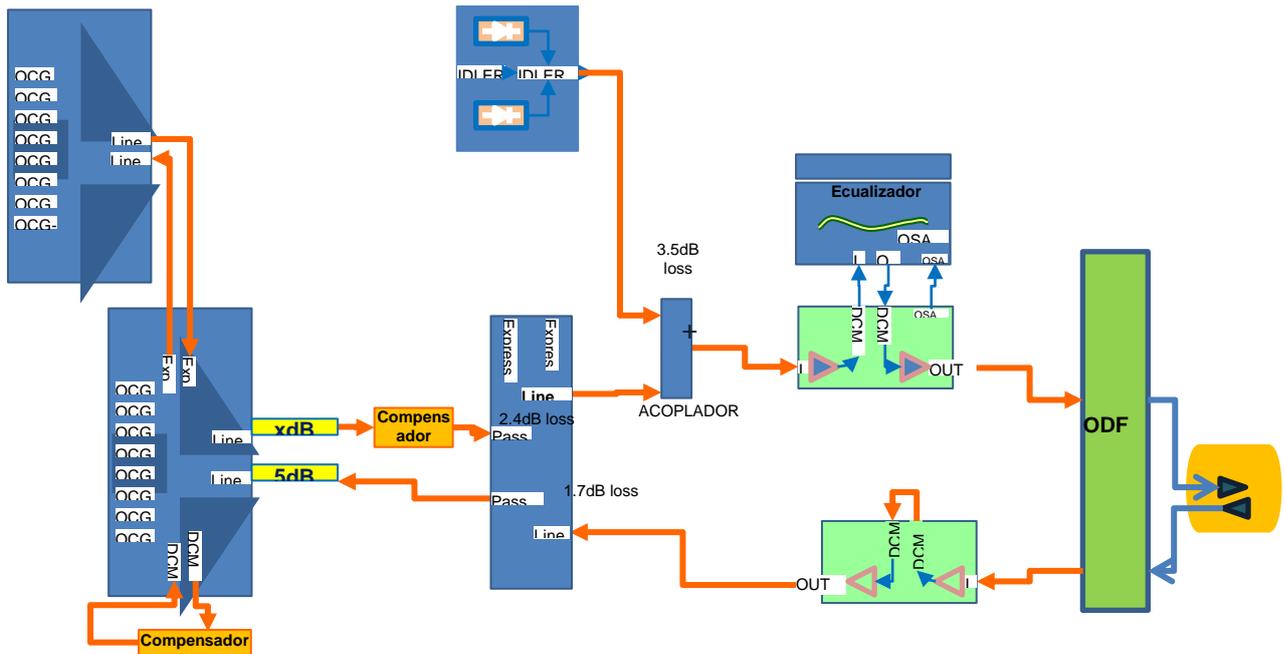


**Figura 3.16 Diagrama de Amplificador**

El sistema de comunicaciones mantiene algunos de los elementos como los multiplexores, compensadores y filtro paso banda que mantenía en operación el sistema anterior. Con los valores presentados en la tabla 3.6 se ajusta la ganancia de los amplificadores, hasta obtener los valores esperados de potencia de recepción y transmisión hacia el primer amplificador submarino.

Una vez que se tiene la solución para el remplazo del amplificador submarino, se espera que la calidad de la señal incremente y se tenga una mayor vida de los amplificadores, además de la facilidad al usar elementos del PDE.

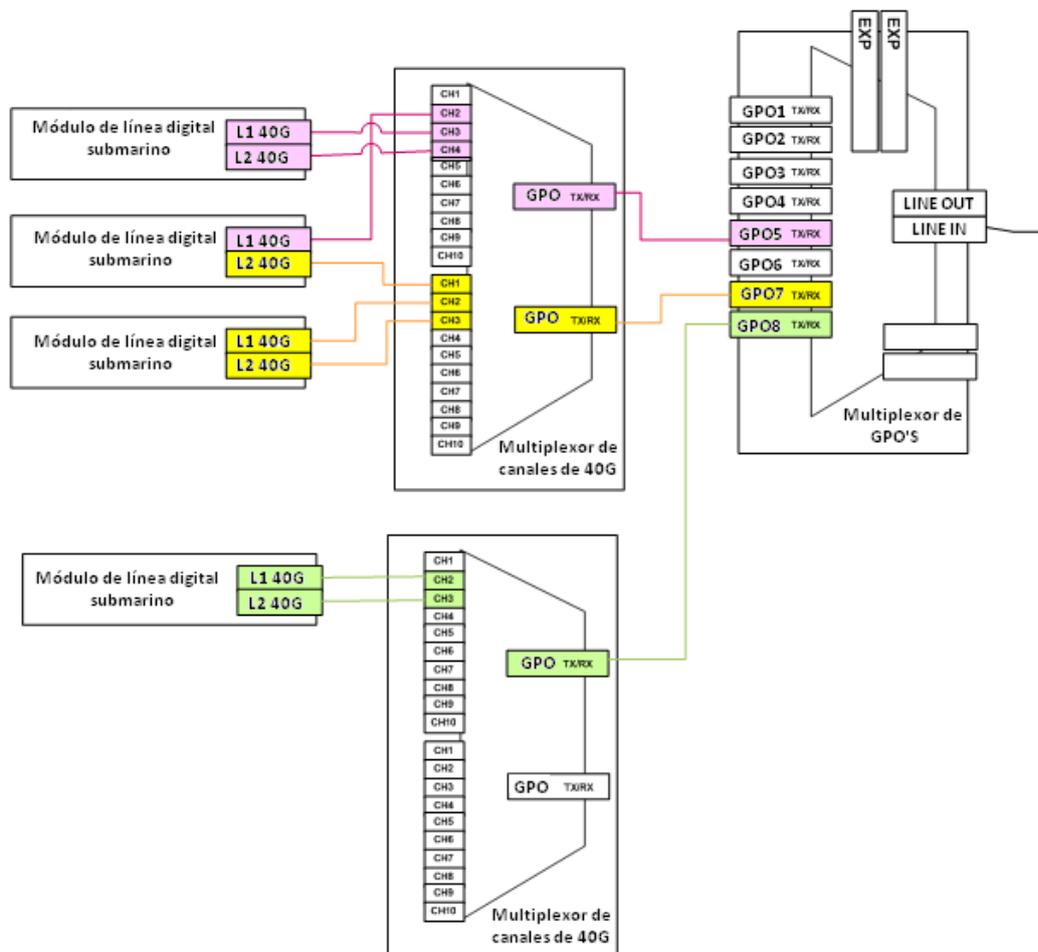
La solución del diagrama de bloques que se presenta en la siguiente figura representa el diseño a implementar en el remplazo del amplificador terminal de línea de la estación Puerto San José en Guatemala.



**Figura 3.15 Sistema de comunicación de reemplazo Puerto San José**

La diferencia entre el sistema de comunicación empleado Puerto Barrios y Puerto San José es el ecualizador que se emplea en el amplificador de transmisión, esto se debe a que el enlace es de 3816Km por lo que a lo largo del enlace son usados un gran número de amplificadores submarinos provocando que la señal obtenga una inclinación a lo largo de la trayectoria, razón por la cual se emplea dicho elemento para poder eliminar este efecto.

**Inserción de 8 canales de 40Gbps:** Los canales de 40G funcionan haciendo uso de un módulo de línea digital submarino de 80G; dicho módulo contiene dos fuentes múltiples en arreglo para transmitir y recibir longitudes de onda de 40G empleando una modulación de fase QPSK con detección coherente. El módulo de línea submarino codifica y decodifica Forward Error Correction (FEC) para cada señal que se transmite de 40G. Un vez que la señal esta lista se transmite a los multiplexores de 40G, los cuales pueden generar y recibir hasta 20 canales para multiplexar/ demultiplexar sobre dos GPO empleando una modulación de fase QPSK, además de dar una ganancia EDFA de 16.5 dB por GPO. Existen dos tipos de multiplexores de 40G los que trabajan en la banda C del espectro azul (1530.0nm-1545.92nm) y del espectro rojo (1547.5nm-1563.75nm), para la solución que se presenta se usará la banda azul. Cada GPO de salida de los multiplexores de 40G puede llegar hasta una capacidad de 400G, los cuales son transmitidos hacia el multiplexor de GPO's para ser transmitidos en una sola línea.



**Figura 3.16 Sistema de 40G para Puerto Barrios**

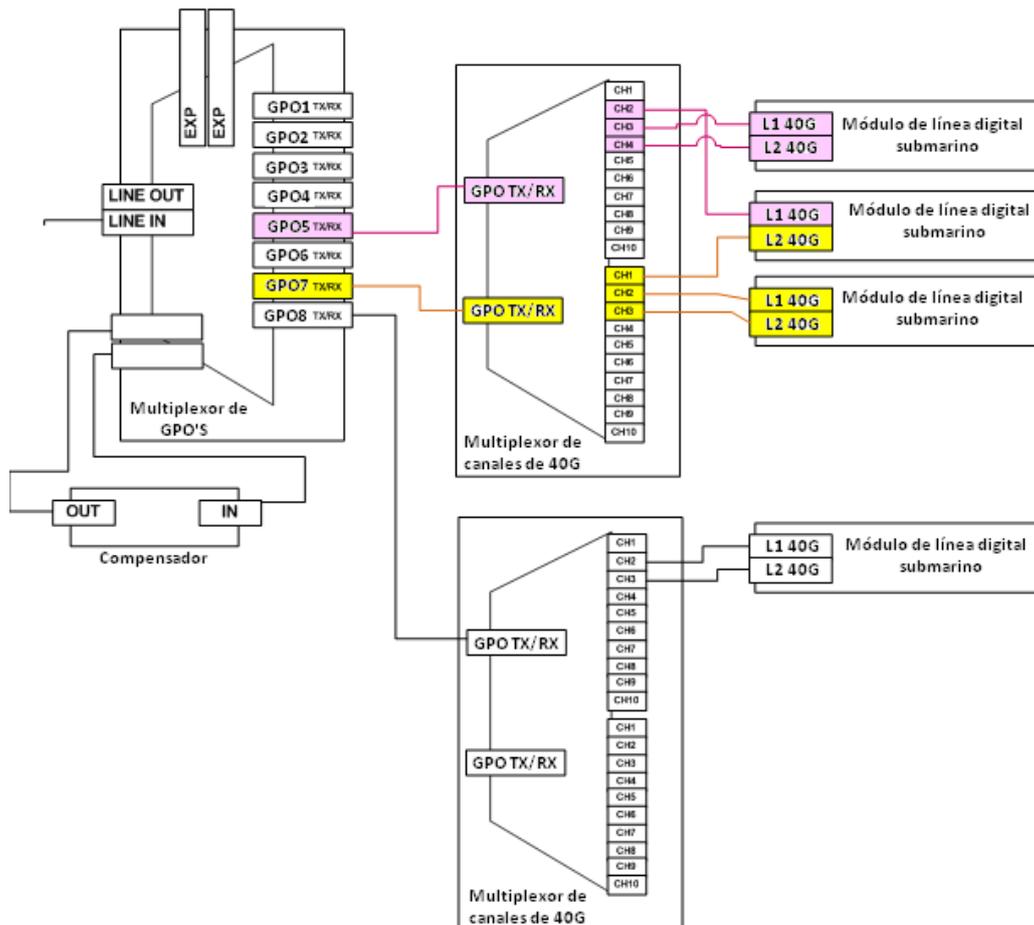
El ancho de banda disponible al insertar los multiplexores de 40G es de 1.6 Tbps, del cual únicamente será usado 320Gpbs. El Grupo de Portadoras Ópticas 5, 7 y 8 que son implementadas, de acuerdo a la planeación de frecuencias. Para que el sistema pueda operar con landas de 10G y 40G, se emplea una modulación OOK para longitudes de onda de 10G, y una modulación PM-QPSK para longitudes de onda de 40G, por lo que esto puede ser configurado vía software en los multiplexores de GPO'S. La configuración de canales es de la misma manera tanto para Puerto Barrios y Puerto San José.

A continuación en la siguiente tabla se muestra las longitudes de onda que son usadas por cada Grupo de Portadoras Ópticas.

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

| Módulo Digital | Canal empleado en multiplexor de 40G | Multiplexor de 40G | Longitud de onda | GPO |
|----------------|--------------------------------------|--------------------|------------------|-----|
| 1              | Canal 3                              | 1                  | 1544.92          | 5   |
| 1              | Canal 4                              | 1                  | 1542.54          | 5   |
| 2              | Canal 2                              | 1                  | 1540.95          | 5   |
| 2              | Canal 11                             | 1                  | 1544.13          | 7   |
| 3              | Canal 12                             | 1                  | 1543.33          | 7   |
| 3              | Canal 13                             | 1                  | 1541.75          | 7   |
| 4              | Canal 2                              | 2                  | 1541.35          | 8   |
| 4              | Canal 3                              | 2                  | 1542.94          | 8   |

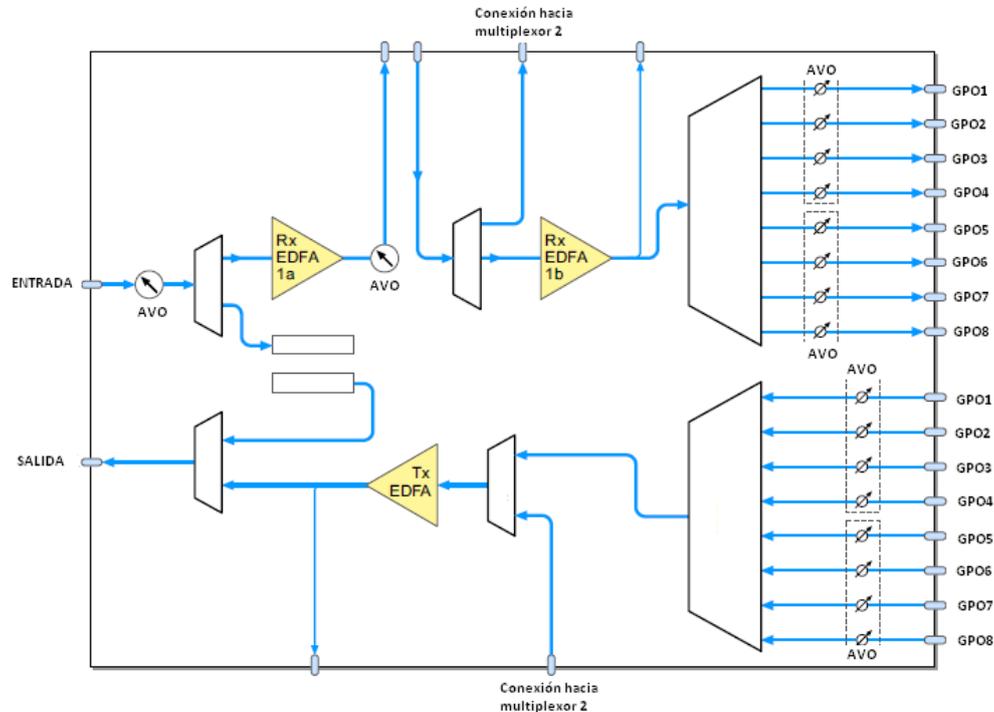
**Tabla 3.7**



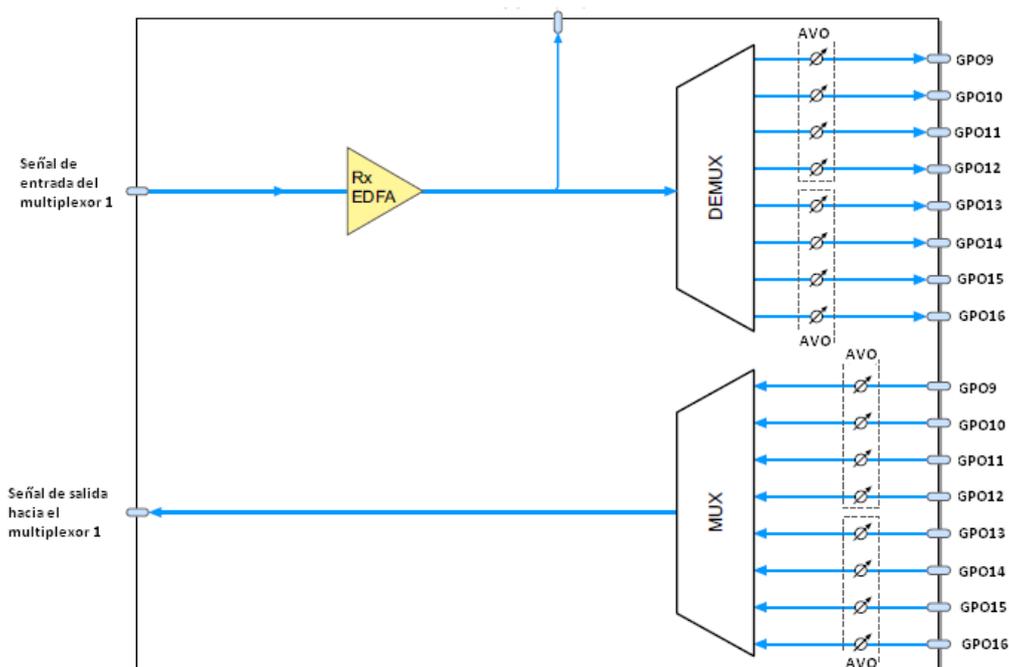
**Figura 3.17 Sistema de 40G Puerto San José**

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

**Incremento de la capacidad del ancho de banda del enlace terrestre de Guatemala.** Para poder incrementar la capacidad del ancho de banda es necesario insertar un nuevo elemento el cual puede multiplexar/demultiplexar hasta 16GPO's, dejando un ancho de banda de 1.6Tbps. La capacidad a incrementar es de 400Gbps, por lo que se tendrá un ancho de banda 1.2Tbps en uso por lo que se hará uso de 4 módulos de línea digital por estación.



**Figura 3.18 Multiplexor/Demultiplexor de 16 canales GPO1-GPO8**



**Figura 3.19 Multiplexor/Demultiplexor 16 canales GPO9-GPO16**

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

La inserción de los módulos debe ser para la estación de Puerto Barrios así como Puerto San José, los módulos mostrados en las figuras 3.18 y 3.19 deben de ser interconectados para que se tengan disponibles 16 Grupos de Portadoras Ópticas, cabe mencionar que esto es posible remplazando el módulo de 8GPO's que se encuentra en operación e insertar en los dos módulos en los slots 1 y 2 de los equipos que ven hacia el lado terrestre en cada. Para ambas estaciones se emplean los GPO's 9, 10,11 y 12, las frecuencias empleadas se muestran en la tabla 3.8, debido a que los módulos de multiplexación/demultiplexación contienen atenuadores variables ópticos estos simplifican el trabajo cuando se sintonizan las longitudes de onda que se necesitan.

La inserción de 400Gbps en la ampliación del tramo terrestre y de acuerdo a las propiedades de la fibra se requiere de un ecualizador a 150Km, de la Estación de Puerto Barrios, ya que en el número de longitudes de onda será de 120, por lo que algunas de estas ganan una inclinación cuando estas son transmitidas; para contrarrestar la inclinación que se obtiene de algunas longitudes a lo largo de la transmisión se usa un Ecualizador Dinámico de Espectro en el amplificador 2(AOL 2) en el sentido Puerto Barrios-Puerto San José como se muestra en la figura 3.20.

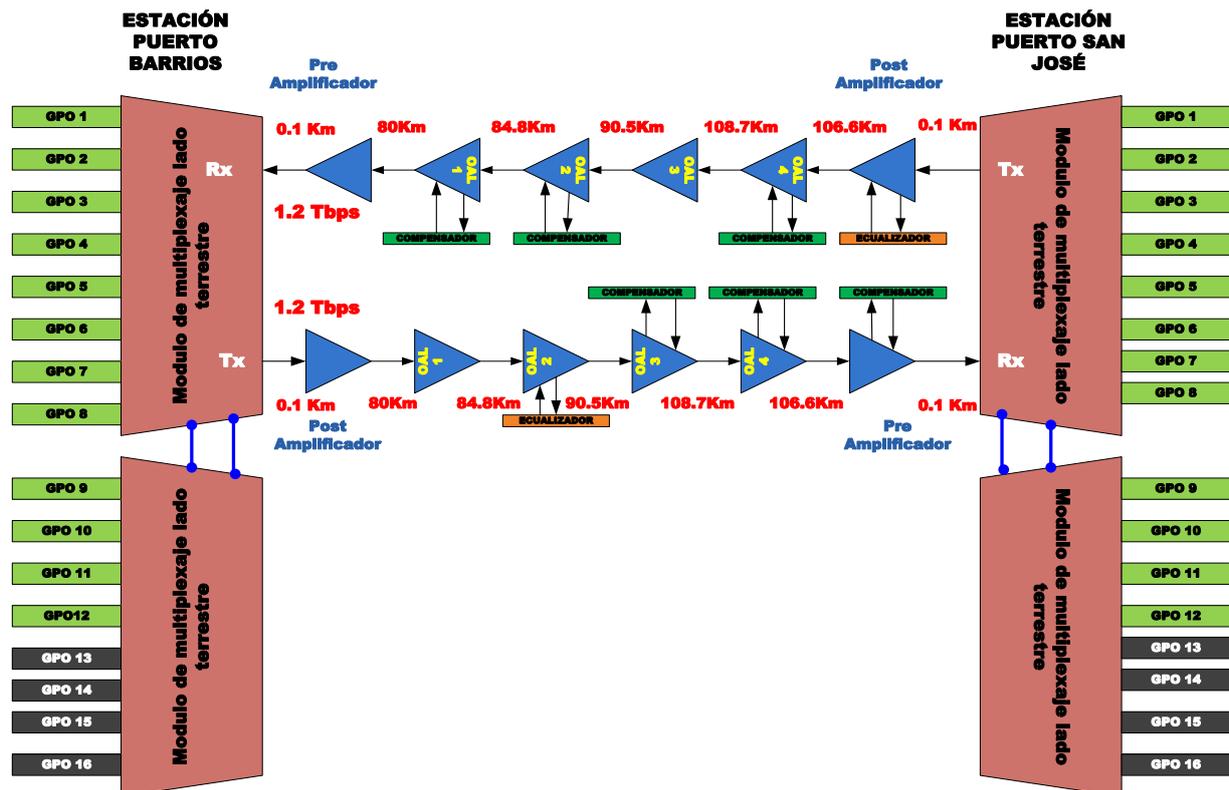


Figura 3.20 Enlace Terrestre 1.2Tbps

| GPO   | Rango de frecuencias  | Modulo digital Puerto Barrios | Modulo digital Puerto San José |
|-------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| GPO9  | 1549.115nm-1563.659nm | A insertar en ETO5, slot4     | A insertar en ETO5,slot4       |
| GPO10 | 1548.715nm-1563.251nm | A insertar en ETO5, slot5     | A insertar en ETO5,slot5       |
| GPO11 | 1548.315nm-1562.844nm | A insertar en ETO6, slot4     | A insertar en ETO6,slot4       |
| GPO12 | 1547.915nm-1562.436nm | A insertar en ETO6, slot5     | A insertar en ETO6,slot5       |

**Tabla 3.8**

### 3.3. Metodología empleada

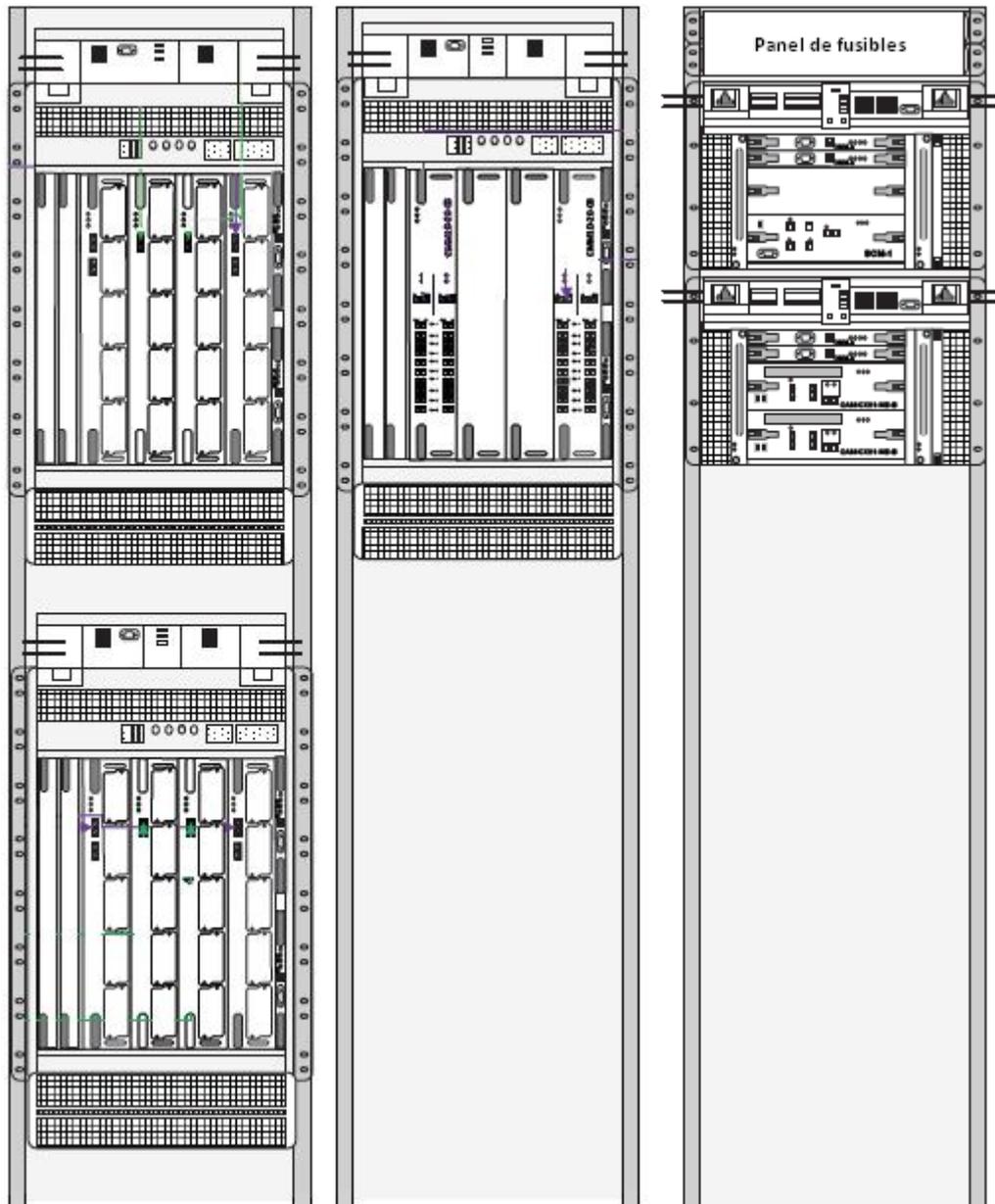
El desarrollo de actividades que se llevan durante el proceso de implementación y puesta en marcha de los equipo de telecomunicaciones describen los caminos y soluciones de ingeniería para la instalación y configuración de los mismos. A continuación se describen los métodos empleados para desarrollar el proyecto de ampliación de la red para el proveedor de telecomunicaciones.

#### 3.3.1. Site survey

Un site survey consiste en la validación y verificación de las condiciones en las que se va instalar el equipo de telecomunicaciones, considerando los siguientes aspectos:

- Gabinetes para instalar los equipos.
- Planta de energía
- Cableado eléctrico
- Cables de aterrizaje
- Cableado Ethernet
- Fibra óptica

De acuerdo al diseño de ingeniería de las figuras 3.14, 3.15,3.16, 3.17 y 3.20, se requiere instalar en la Estación de Puerto Barrios y Puerto San José 3 Equipos de Transporte Óptico y 2 Amplificadores Ópticos de Línea, estos deben quedar instalados en tres gabinetes, de acuerdo a las siguiente figura, para ambas estaciones.



**Figura 3.21 Frente de los gabinetes a instalar en las estaciones terminales**

**Gabinetes:** Los equipos ETO y amplificadores deben ser instalados en gabinetes cerrados de 23"X44RU con una base de 800X800mm (Figura 3.22), de acuerdo a la disponibilidad de espacio para la estación de Puerto Barrios y Puerto San José; cada gabinete necesita de un sistema antisísmico como medida de seguridad en caso de temblores; este es instalado en la parte superior del gabinete usando unicanal de 1" (Figura 3.23), tornillos tropicalizados de 3/8"X3". Para la instalación hacia el suelo de concreto se deben construir soportes fabricados con unicanal, tuercas unicanal de 3/8" (Figura 3.24) y escuadras metálicas de 1". Debido a que ambas estaciones tienen piso falso de madera de 25cm las bases deben de ser construidas de la misma altura. Estos materiales son considerados para ambas estaciones.



**Figura 3.22 Gabinete de 23" 800X800mm**



**Figura 3.23 Unicanal de 1"**



**Figura 3.24 Tuerca de 3/8" para unicanal**

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

---

Los gabinetes deben de ser aterrizados al sistema de tierras principal para evitar que las descargas eléctricas fluyan por el gabinete evitando así cualquier daño a los equipos de telecomunicaciones que sean instalados sobre este; ambas estaciones terminales cuentan con un anillo de tierra que corre a lo largo de la estación por lo que se usa este anillo para dichos gabinetes. Para esto se necesita cable calibre#6 AWG color verde, Uniones de cobre(C-tap, figura 3.25) para unir el anillo de tierra con el cable de tierra del gabinete, cobertor plástico (figura 3.26) para cubrir la unión de cobre, terminales de cobre para cable calibre#6 de  $\frac{1}{4}$  de diámetro por  $\frac{5}{8}$  de espaciamiento entre orificios.



**Figura 3.25 Unión de cobre**



**Figura 3.26 Cobertor de plástico**

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

**Planta de energía:** Cada equipo de transporte óptico requiere de dos interruptores de 70A para tener protección 1+1 y para cada amplificador se necesitan dos de 10A; la disponibilidad de las plantas de energía para ambas estaciones dispone del suficiente espacio y capacidad para la inserción de interruptores de 70A para cada ETO. Como se observa en la figura 3.21 en uno de los gabinetes se tiene un amplificador y un idler, para la alimentación de energía de estos se emplea un panel de fusibles de 6X10A con una protección 1+1, además de un interruptor de 20A conectado a la planta de energía el cual alimenta al panel de fusibles. Por otro lado el voltaje que proporciona cada planta de energía es de -54VDC y se encuentra dentro del rango de operación de los equipos (-40VDC a -72VDC).

Para ambas estaciones terminales se emplean las características de planta eléctrica.



**Figura 3.27 Panel de fusibles**

**Cableado eléctrico:** El cable eléctrico a usar se determina con la distancia y la máxima corriente que puede circular entre la planta de energía y el equipo, por lo que para ambas estaciones la distancia es de 25m, además de que se valida que exista una ruta exclusiva para cables de energía para evitar inducciones hacia otro tipo de cableado. La máxima corriente para cada ETO es de 52A y para cada amplificador, idler o ecualizador es de 8A y el voltaje suministrado por la planta de energía es de -54VDC.

Usando el concepto de caída de voltaje (ICV) se estima el calibre de cable adecuado considerando que la temperatura ambiente de cada estación es de 25°C.

$$ICV = \frac{(\text{Corriente})(\text{Distancia})(3.281)}{(\%CV)(\text{Voltaje})}$$

### Ecuación 3.1

Se considera que el porcentaje de caída de voltaje (%ICV) sea del 3%. Para el cálculo del calibre para los ETO tenemos que  $I_{\text{máx}}=52\text{A}$ ,  $d=25\text{m}$ ,  $VDC=54$

$$ICV = \frac{(52)(25)(3.281)}{(3)(54)} = 26.32$$

### Ecuación 3.2 de ICV para ETO

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

---

Para el cálculo del ICV del panel de fusibles hacia la planta de energía se tiene que la corriente a circular por el cable es de 16A, 8A para el primer equipo y otros 8A para el segundo equipo; d=25m; por consiguiente tenemos:

$$ICV = \frac{(16)(25)(3.281)}{(3)(54)} = 8.10$$

### **Ecuación 3.3 de ICV para panel de fusibles**

Para el amplificador tenemos  $I_{m\acute{a}x}=8A$ ,  $d=2m$  entre el panel de fusibles y el equipo,  $VDC=54$

$$ICV = \frac{(8)(2)(3.281)}{(3)(54)} = 0.32$$

### **Ecuación 3.4 de ICV para Idler y amplificador**

Una vez que se ha calculado el ICV se determina la relación con el AWG (calibre del cable) empleando la tabla 3.9.

| Calibre AWG | ICV |
|-------------|-----|
| 4/0         | 99  |
| 3/0         | 78  |
| 2/0         | 62  |
| 1/0         | 49  |
| 2           | 31  |
| 4           | 20  |
| 6           | 12  |
| 8           | 8   |
| 10          | 5   |
| 12          | 3   |
| 14          | 2   |
| 16          | 1   |

**Tabla 3.9 Calibre de cable AWG**

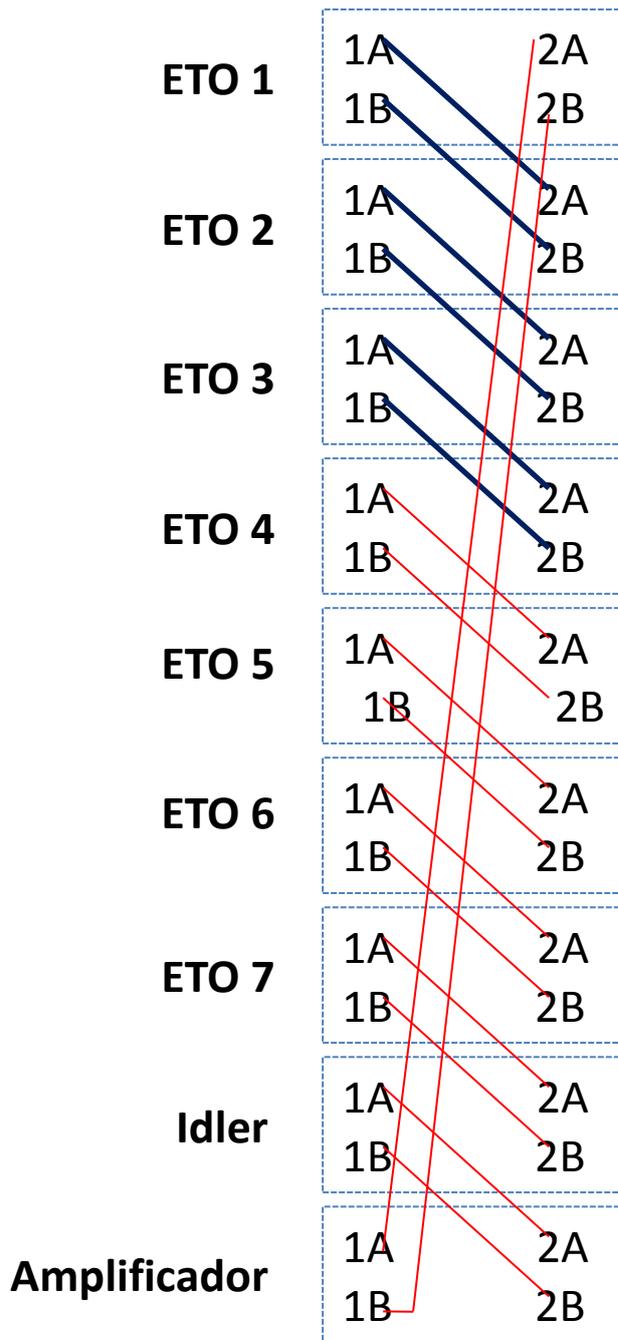
Empleando la tabla 3.9 se determina que el calibre de cable para cada equipo ETO debe ser 2AWG, 6AWG para el panel de fusibles y 16AWG para amplificador e idler que son alimentados hacia el panel de fusibles, para ambas estaciones. El cable empleado es flexible para corriente directa con un voltaje máximo de 600V y una temperatura máxima de 105°C.

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

---

**Cables de aterrizaje:** El equipo ETO, amplificador e idler deben de ser conectados a un sistema de aterrizaje para evitar que alguna descarga dañe al equipo, para ello se emplea cable calibre#6AWG de color verde y terminales de dos ojillos de 1/4 con 5/8 entre centros; el sistema de tierra que se emplea es conectando el cable y la terminal hacia el equipo y el otro extremo se conecta hacia el gabinete, puesto que una vez que el gabinete se ha conectado al bus principal de aterrizaje este permitirá tener una tierra en común para los demás equipos haciendo posible la conexión. Este análisis es empleado para el sistema de tierra de ambas estaciones.

**Cableado Ethernet:** El cableado Ethernet es muy importante puesto que a través de este se establece la comunicación y el reconocimiento con los equipos existentes. Además de eso se hace la configuración de cableado para que todos los equipos estén intercomunicados uno con otro de esta manera se garantiza que la gestión del nodo siempre va tener respaldo, en caso de falla. Para la construcción de este cable se usa cable UTP categoría 6, y conectores RJ-45. La figura 3.28 muestra los puertos de interconexión por cada equipo y configuración de la conexión para todos los equipos, considerando que los de color azul son los cables existentes y los rojos son los que deben ser construidos. Para ambas estaciones se emplea la configuración de la figura 3.28.



**Figura 3.28 Interconexión de equipos con cable UTP**

**Fibra óptica:** El tipo de fibra empleada es mono modo de 3mm de espesor de revestimiento, cada cable ya está construido y estos pueden variar desde 50cm hasta 30 m o más; a continuación se escribe que tipo de conector que debe tener cada una de las fibras para hacer la interconexión:

1. Fibras SC/UPC-FC/APC, usadas para la interconexión del amplificador hacia el distribuidor de fibra óptica.



**Figura 3.29 Fibra SC-FC**

2. Fibras LC/UPC-LC/UPC, usadas para la interconexión entre el módulo de línea digital submarino y el multiplexor de canales de 40G.



**Figura 3.30 Fibra LC-LC**

3. Fibras LC/UPC-SC/UPC, empleadas para la interconexión entre el multiplexor de canales de 40G y el multiplexor de GPO'S.



**Figura 3.31 Fibra LC-LC**

4. Fibras SC/UPC-SC/UPC, empleadas para la interconexión entre el multiplexor de GPO'S y el módulo de línea digital, entre el acoplador-amplificador e idler, entre filtro paso banda, acoplador y amplificadores.



**Figura 3.32 Fibra SC-SC**

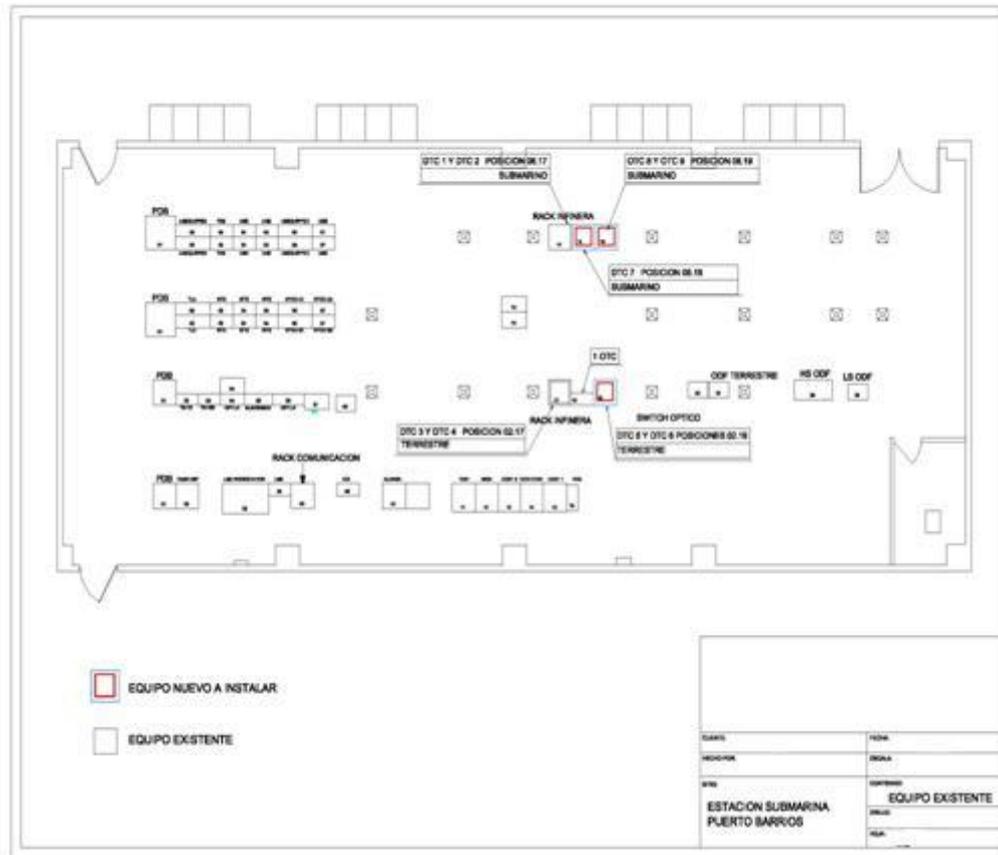
Una vez que se ha identificado cada uno de los materiales a usar por estación, se hace un listado de materiales además de planos para detallar las diferentes trayectorias del cableado. Debido a que cada la estación de Puerto Barrios y Puerto San José son idénticas se emplea el mismo listado de materiales ya que se instalará el mismo número de equipos.

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

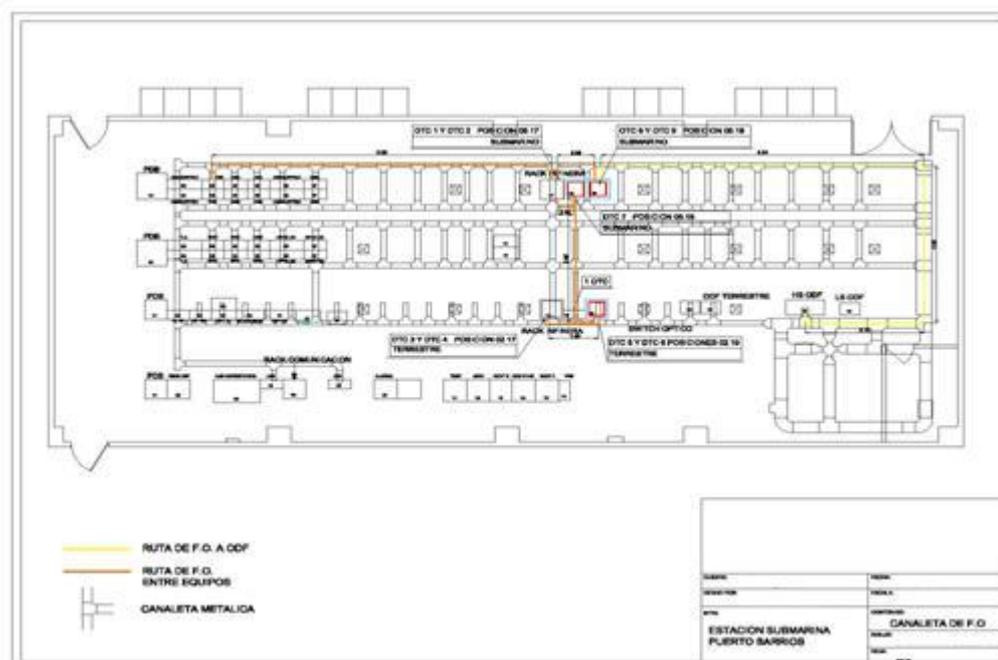
| MATERIAL DESCRIPTION (Materiales de instalación)                   | MFG (Marca proveedor). | MATERIAL I.D. | U O M     | QTY. |
|--|------------------------|---------------|-----------|------|
| <b>Rack ETSI 600 x 800 x 2200</b>                                  |                        |               |           |      |
| CABLE RACK CABINET 600X800X2200                                    |                        |               | EA        | 3    |
| KIT ANTISISMICO  |                        |               | EA        | 3    |
| <b>FIBER RACEWAY</b>   |                        |               |           |      |
| Corrugated duct for fiber Panduit P/N CLT150F-X4 (1/2" amarillo),  |                        |               | METROS    |      |
| Corrugated duct for fiber Panduit P/N CLT150F-X4(1 1/2" amarillo), |                        |               | METROS    | 9    |
| <b>POWER CABLE</b>   |                        |               |           |      |
| <b>Cable</b>   |                        |               |           |      |
| Power Cable type 35 mm. (2AWG ) RED                                |                        |               | METROS    | 120  |
| Power Cable type 35 mm. (2AWG ) BLUE                               |                        |               | METROS    | 120  |
| Power Cable type 16mm (8 AWG) RED (Fuse Panel)                     |                        |               | METROS    | 40   |
| Power Cable type 16mm (8 AWG) BLACK (Fuse Panel)                   |                        |               | METROS    | 40   |
| Earth Cable Unipolar 13mm (8AWG) YELLOW-GREEN                      |                        |               | METROS    | 15   |
| Earth Cable Unipolar 8mm (8AWG) YELLOW-GREEN                       |                        |               | METROS    | 8    |
| Power Cable type (10 AWG) RED                                      |                        |               | METROS    | 8    |
| Power Cable type (10 AWG) BLACK                                    |                        |               | METROS    | 8    |
| <b>POWER LUGS, C-TAPS</b>  |                        |               |           |      |
| <b>LUGs &amp; Terminals</b>  |                        |               |           |      |
| AWG #2 ; 35mm Terminal doble ojal (BROWN DIE) Straight             |                        |               | UNIDAD    | 14   |
| AWG #6 ; 16 mm Terminal doble ojal (BLUE DIE) Straight             |                        |               | UNIDAD    | 4    |
| AWG #8 ; 8 mm Terminal doble ojal (RED DIE) Straight               |                        |               | UNIDAD    | 12   |
| AWG #8 ; 8 mm Terminal 1 ojal aislante plastico.                   |                        |               | UNIDAD    | 14   |
| AWG #10 ; Terminal 1 ojal abierta                                  |                        |               | UNIDAD    | 10   |
| C-TAPS Orange  |                        |               | UNIDAD    | 4    |
| <b>FUSE PANEL AND FUSING</b>                                       |                        |               |           |      |
| FUSE PANEL -48V D.C. 2X20A BUSES / 5+5 / 10A Positions,            |                        |               |           | 1    |
| <b>DCN - NCT</b>   |                        |               |           |      |
| Cable UTP Cat 6  |                        |               | METROS    | 100  |
| RJ-45 conectores, PACK 50  |                        |               | UNIDAD    | 2    |
| <b>FIBERS</b>  |                        |               |           |      |
| Line fiber SC/PC - SC/PC 3mm (SINGLE, SM), 9 mts,                  |                        |               |           | 4    |
| Line fiber SC/PC - SC/PC 2mm (SINGLE, SM), 2 mts,                  |                        |               |           | 4    |
| Line fiber SC/PC - FC/APC 3mm (DUPLEX, SM), 15mts                  |                        |               |           | 4    |
| Line fiber SC/PC - FC/APC 3mm (DUPLEX, SM), 24mts                  |                        |               |           | 2    |
| Line fiber SC/PC - SC/PC 3mm (DUPLEX SM), 8mts                     |                        |               |           | 3    |
| Line fiber SC/PC - SC/PC 3mm (DUPLEX SM), 7mts                     |                        |               |           | 7    |
| Line fiber LC/PC - LC/PC 3mm (DUPLEX SM), 12mts                    |                        |               |           | 6    |
| Line fiber LC/PC - LC/PC 3mm (DUPLEX SM), 11mts                    |                        |               |           | 6    |
| <b>BULK MATERIAL / CABLE TIE</b>                                   |                        |               |           |      |
| Velcro Panduit P/N HLM-15R3 (8.4 mm., 15', orange)                 |                        |               | 15 FT     | 1    |
| Tying Cord P/N 095017 Cordon encerado para amarrar de cables       |                        |               | CONO      | 1    |
| Heatshrink tubing, 1/2 in. dia., clear (ft), 1m                    |                        |               | METROS    | 3    |
| Heatshrink tubing, 3/8 in. dia., clear (ft), 1m                    |                        |               | METROS    | 3    |
| Tie Wraps White 7.38 in  |                        |               | 100 UNDS. | 1    |
| Tie Wraps White 4 in   |                        |               | 100 UNDS. | 1    |
| Coraza metálica flexible recubierta con PVC, 1"                    |                        |               | METROS    | 8    |
| Conectores para coraza metálica recubierta con PVC, 1"             |                        |               | UNIDAD    | 10   |

**Tabla 3.10 Materiales para instalación Puerto Barios y San José**

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

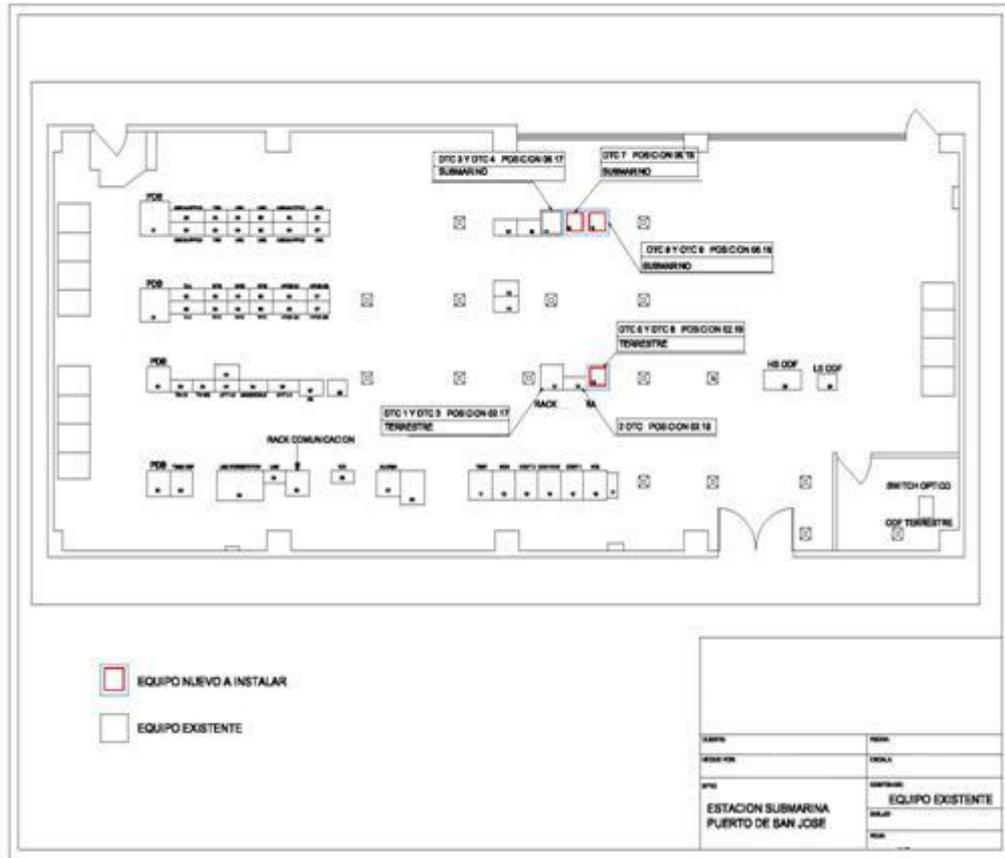


**Figura 3.33 Ubicación nuevos equipos Puerto Barrios**

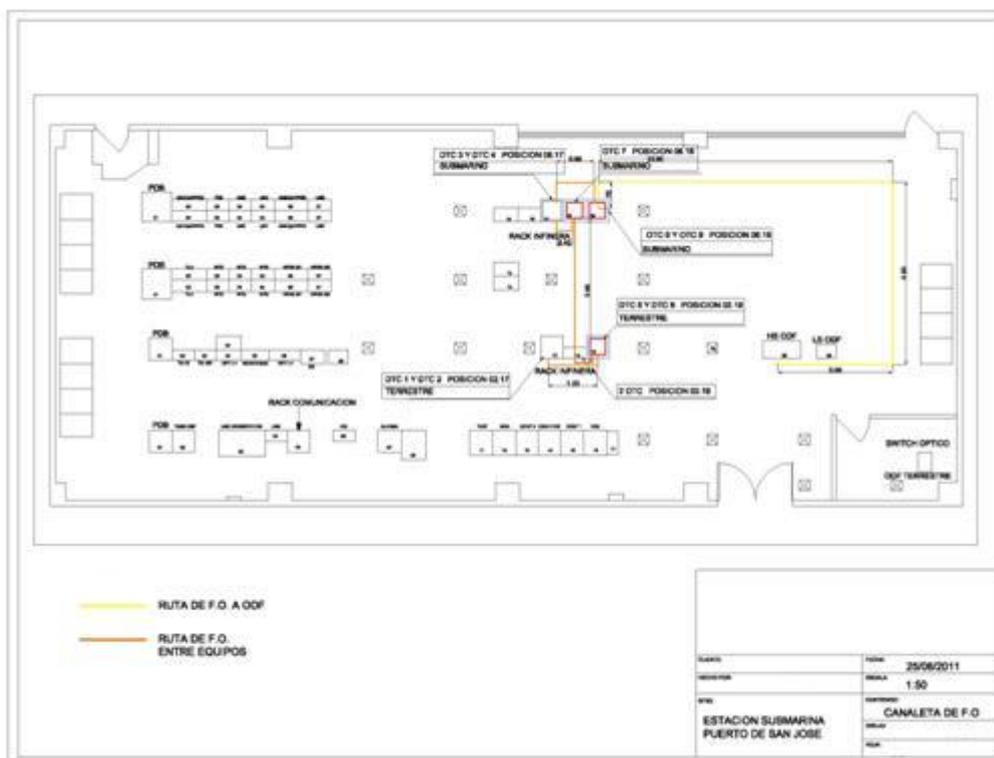


**Figura 3.34 Trayectorias para Fibra Óptica Puerto Barrios**

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada



**Figura 3.35 Ubicación nuevos equipos Puerto San José**



**Figura 3.36 Trayectorias para Fibra Óptica Puerto San José**

### 3.3.2. Instalación de los equipos

Para llevar a cabo la instalación de los equipos se hace en conjunto con los técnicos de instalación, por lo que se siguen los procedimientos que a continuación de describen.

#### 3.3.2.1. Normas generales de seguridad

En todo momento durante el proceso de instalación de equipos se siguen las siguientes normas generales de seguridad.

- Únicamente personal autorizado y certificado debe realizar la instalación de un equipo ETO, Amplificador e idler.
- Excluir a todo el personal no autorizado del área de instalación.
- Mantener el área de trabajo libre de obstáculos y polvo antes y durante la instalación.
- Mantener las herramientas y equipo alejados del paso donde se transita.
- No usar ropa suelta o algún otro objeto que pueda quedar atrapado en el equipo durante la instalación.
- Asegurar el cabello largo.
- Nunca intentar levantar algún objeto que probablemente sea muy pesado.
- Localizar el interruptor de emergencia de la sala de transmisión.
- Ser cuidadoso de posibles peligros en el área de trabajo como pisos mojados, extensiones de energía no aterrizadas.
- La temperatura ambiente máxima recomendada para los elementos de la red es de 55°C (131°F). Tomar cuidado para permitir la suficiente circulación de aire o espacio entre unidades cuando los elementos de la red es instalado en un sistema cerrado o en un multirack, tener en cuenta que la temperatura del rack cerrado pudiera ser mayor que la temperatura ambiente.

**Precaución remover cualquier objeto de joyería:** Antes de trabajar sobre el equipo que está conectado a las líneas de energía, remover de las manos cualquier tipo de joyería incluyendo, anillos, collares y relojes, ya que si no son removidos pueden causar graves daños cuando se conecta la energía provocando quemaduras y un alto impacto de descarga.

**Precauciones para el levantamiento de objetos:** Cuando se manipule o levante materiales manualmente usar métodos que garanticen la seguridad del personal y protección del equipo. Nunca intentar levantar los objetos que sean demasiado voluminosos y pesados; siempre que sea posible empuje las cajas en lugar de jalar de ellas.

Siempre que se intente levantar o mover algún objeto pesado tomar las siguientes precauciones:

- ✓ Considerar la asistencia de una segunda persona, no intentar hacerlo por sí mismo.
- ✓ Asegurar e pie durante la elevación, equilibrar el peso levantando en partes iguales entre sus pies.

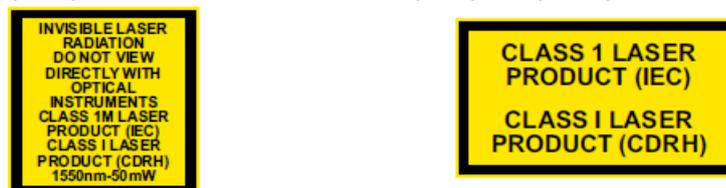
## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

- ✓ Levantar el objeto lentamente, evitar hacer movimientos bruscos o doblar el cuerpo mientras se levanta.
- ✓ Mantener la espalda recta y levantar con las piernas. Si tiene que agacharse para levantar el objeto doble las rodillas para reducir la tensión en su espalda y así evitar que se lastime la cintura.

**Seguridad contra descarga electrostática:** Los equipos de transmisión tienen módulos reemplazables que son susceptibles a daños causados por electricidad estática que se acumula en las superficies de trabajo y personal. El efecto de la descarga eléctrica probablemente provoque una falla inmediata o puede manifestarse como una falla latente la cual afectaría la fiabilidad del equipo. Tomar las siguientes precauciones para evitar un daño por descarga electrostática.

- Usar una pulsera a tierra en la muñeca cada vez que se tenga manipulación con circuitos electrónicos.
- La correa de la pulsera debe encajar cómodamente y hacer un contacto firme con la piel.
- Conectar el cordón de la pulsera hacia el punto de tierra de la derecha del chasis.
- Mantener la humedad relativa por encima del 20%.

**Seguridad a exposición de laser:** Los equipos ETO, amplificadores e idler tienen paquetes de circuitos que probablemente emitan energía dentro de la fibra óptica. La energía se encuentra dentro de la banda de luz infrarroja (No visible) del espectro electromagnético. Todos los circuitos tienen etiquetas como las que se muestran a continuación.



**Figura 3.37 Etiquetas de laser**

Las etiquetas de precaución explican el riesgo asociado a la exposición de los láseres empleados en las terminales de cada circuito. Tomar las siguientes precauciones cuando maneje paquetes de circuitos ópticos:

- Nunca desconectar una fibra óptica y observar a través del conector directamente.
- No ajustar el láser puesto que podría exponerse a una radiación peligrosa ocasionando lesiones en la piel.
- Ver la salida de un láser con determinados instrumentos ópticos (lupas, videoscopio, lentes de aumento) a una distancia de 100 mm puede suponer un peligro para los ojos.

**Manejo de placas o tarjetas de equipo:** Todas las tarjetas o placas tienen dispositivos electrónicos que son susceptibles a daño debido a un inapropiado manejo o descarga electrostática. Tomar las siguientes precauciones cuando se manejen este tipo de elementos:

- No remover las tarjetas del empaque hasta que estas se vayan a instalar.
- Remover la tarjeta de la protección antiestática una vez que la instalación de esta se encuentre próxima.
- Cuando las tarjetas no están siendo usadas guardarlas en su respectiva bolsa antiestática.
- Revisar los pines de una tarjeta antes de insertarla en el equipo.
- Proteger todos los conectores hembra de la tarjeta con capuchones de plástico cuando estos no tienen fibras conectadas.

### **3.3.2.2. Condiciones ambientales del sitio para la instalación del equipo**

Los equipos ETO, Amplificadores e idler deben operar con un sistema de aire acondicionado con control de humedad, el mínimo y máximo nivel de tolerancia son los siguientes:

- ❖ Humedad: De 5% a 85% de humedad relativa sin condensación.
- ❖ Temperatura normal de operación: De 5°C a 40°C (41°F a 104°F).
- ❖ Funcionamiento de temperaturas a corto plazo: -5°C a 55°C (23°F a 131°F) sin falla en el ventilador y de -5°C a 50°C (23°F a 122°F) con un ventilador dañado.
- ❖ Altitud: 1800 metros

### **3.3.2.3. Herramientas requeridas para la instalación**

- Pulsera antiestática
- Desarmador Phillips y planos #1, #2 y #3 con aislamiento.
- Desarmador TORX
- Llave carraca (matraca) de 1/2 con sus respectivos dados (copas).
- Pelador de cable.
- Cortador de cable.
- Pistola de calor.
- Entorchadora.
- Prensa terminales (Crimping tool).
- Aspiradora
- Taladro
- Brocas para concreto de 3/8, 5/16, 3/4.
- Martillo de goma.
- Martillo metálico.
- Flexometro.
- Nivel.
- Plomo
- Escuadras metálicas.
- Llaves milimétricas y americanas (Standard).
- Tijeras
- Aguja curva metálica
- Pinzas de corte al ras
- Navaja
- Pinzas de presión
- Escalera

- Cámara fotográfica
- Caladora
- Porta banda
- Ponchadora para cables RJ-45.
- Probador para cables Ethernet
- Multímetro digital.
- Arco son segueta.
- Destornilladores de relojero.
- Grasa NoOx.
- Medidor de potencia(Power meter)
- Visor óptico
- Paños para limpieza
- Alcohol isopropílico
- Jabonera(Limpiador de conectores macho)
- Hisopos de 2.5mm y 1.25mm

### 3.3.2.4. Instalación del gabinete cerrado

Dependiendo de las dimensiones de la base del rack y de la altura entre el concreto y el piso falso, se construyen soportes para poder sostener el gabinete sin dañar el piso falso. A continuación se presenta se describe como se instala:

- ❖ Unicanal T-1000:El cual es cortado con una maquina porta banda, en caso de no tener se hace con arco y segueta, fuera de las instalaciones de los equipos de telecomunicaciones puesto que el corte de metal genera ferrita y puede quedar dentro de la sala de transmisión ocasionando daños al funcionamiento de otros equipos. El número de peldaños a cortar será de acuerdo a las necesidades de la base.
- ❖ Tuercas para Unicanal de 3/8: Este tipo de tuercas son empleadas para formar las uniones entre unicanales.
- ❖ Escuadras metálicas para unicanal de 1".
- ❖ Taquetes de 3/8 doble expansivos.
- ❖ Tornillos tropicalizados de 3/8X 3" y 2 1/2"
- ❖ Tuercas de 3/8
- ❖ Rondanas planas
- ❖ Rondanas de presión.

En la siguiente figura se muestra la base que se forma al usar estos elementos.



**Figura 3.38 Peldaños para base de gabinete**

Cuando se tienen listas las bases con unicanal se procede a realizar el anclaje del gabinete de la siguiente manera:

### ❖ **Perforación del piso de concreto**

- Se marcan las posiciones de los orificios de acuerdo a la ubicación asignada para el gabinete.
- Se emplea una broca para concreto de  $\frac{3}{4}$ .
- Se requieren de dos personas para iniciar con la perforación, una de ellas deberá hacer las perforaciones con el taladro, mientras que la segunda deberá aspirar al mismo tiempo el polvo que se genere a una distancia de 5cm de donde se inicie la perforación, para evitar que el polvo dañe los equipos de telecomunicaciones de los alrededores.
- Se debe emplear 4 taquetes doble expansivos de  $\frac{3}{8}$ , 4 tornillos de  $\frac{3}{8} \times 2 \frac{1}{2}$ " tropicalizados, 4 rondanas planas de  $\frac{3}{8}$  y 4 rondanas de presión de  $\frac{3}{8}$ ".
- Se instalan las bases hechas con unicanal para que queden sujetas al piso.

### ❖ **Perforación del piso falso**

- Se deben realizar las marcas de los orificios para anclar entre el unicanal y la base del gabinete.
- Una vez marcados los orificios se procede a perforar con broca de metal de  $\frac{3}{8}$ , esto debe realizarse fuera de la sala de transmisión.
- Marcar la base de en medio del rack para que esta sea cortada con maquina caladora y de esta manera quede espacio libre en el centro del gabinete para poder correr cables de energía, fibras o cables Ethernet.

### ❖ Nivelación del gabinete

- Se coloca el aislante entre el piso falso y el rack
- Se ajusta el unicanal que permanecerá entre la base del rack y el piso falso, hasta que los orificios coincidan con los realizados en el piso falso.
- Usar tuercas planas de 3/8, de presión y tornillos de 3/8X3” para el ajuste del anclaje.
- Se ajusta el nivel del rack con respecto al piso falso y los equipos aledaños.

### 3.3.2.5 Aterrizaje de un gabinete

Para el aterrizaje se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- ✓ El tipo de cable debe ser del calibre #6 AWG color verde.
- ✓ La terminal que se emplea para aterrizar es Panduit P/N LCD2-14A-Q, #6AWG, ¼ de diámetro por 5/8 de espaciado entre orificios.
- ✓ Se coloca la terminal con cable en algún punto del gabinete dejando esté libre de pintura y suciedad además de aplicar grasa NOX.
- ✓ Una vez que se ha prensado la terminal se debe de poner termo retráctil entre el cañón de la terminal y la unión con el cable.

El otro extremo del cable de tierra se conecta hacia el bus principal de la estación, empleando un C-Tap, y un cobertor de plástico para aislamiento.

### 3.3.2.6. Instalación del sistema antisísmico

**Antisísmico empleando herraje:** En este tipo de antisísmico se emplea unicanal, y herrajes H y tipo L, el cual debe ser del mismo que se encuentra instalado en la parte aérea, empleando tornillos de 3/8, rondanas planas y tuercas, para que el gabinete sea sostenido de la parte superior con las guías que corren a lo largo de la estación.

### 3.3.2.7. Instalación del Equipo de Transporte Óptico

#### Montaje de un ETO en el gabinete

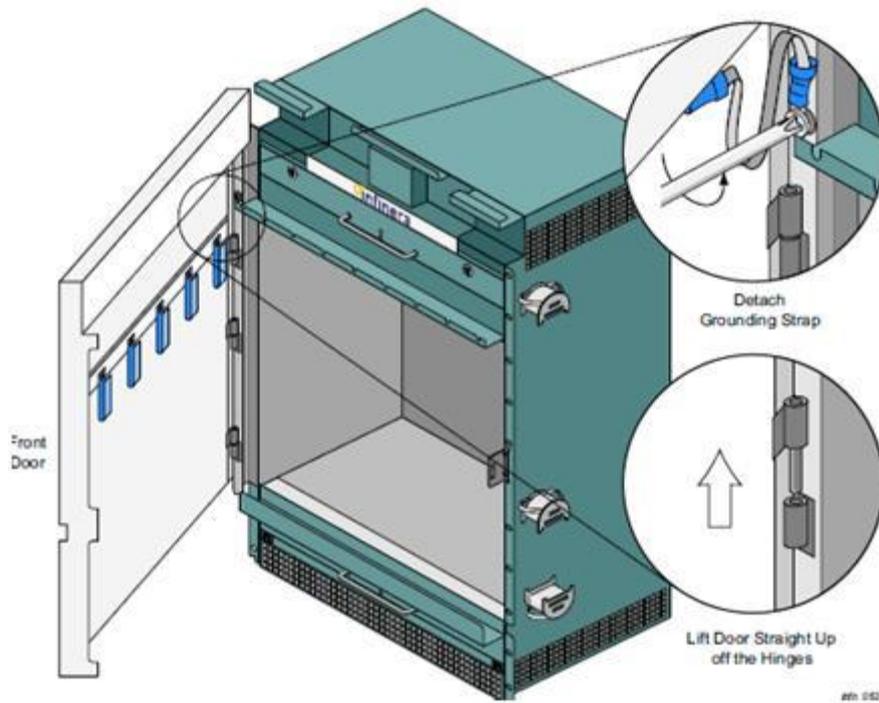
*Precauciones que deben ser consideradas antes de iniciar con el montaje de un DTC:*

- *El ETO es un objeto pesado que pesa aproximadamente 40.1 Kg Y requiere mínimo de dos personas para levantarlo.*
- *No usar los soportes de los ventiladores, ya podrían dañar y romper el ventilador.*

A continuación se describen los pasos a seguir para el montaje de un ETO:

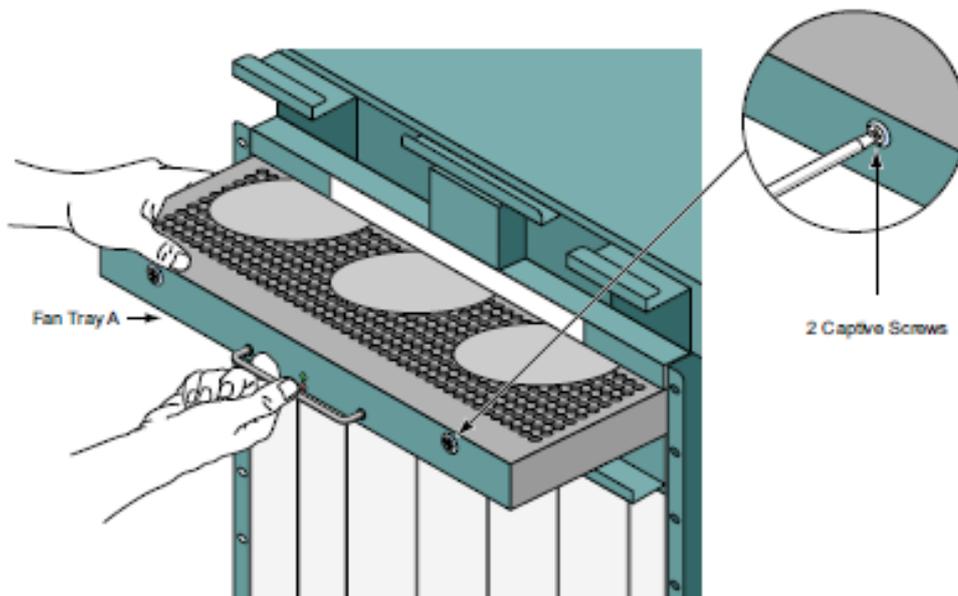
- ✓ Remover la puerta del frente del DTC
- ✓ Desatornillar la correa de tierra que une a la puerta y el DTC.
- ✓ Levantar la puerta hacia arriba hasta que esta salga de las bisagras.

- ✓ Guardar la puerta en un lugar seguro



**Figura 3.39 Bisagras de la puerta**

- ✓ Remover los ventiladores del ETO

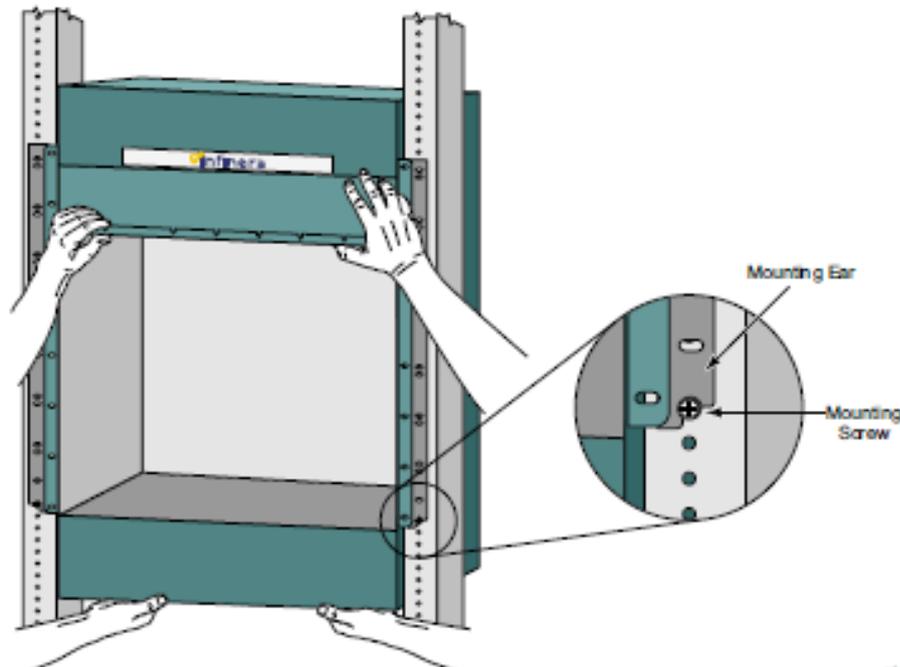


**Figura 3.40 Ventiladores**

- ✓ Colocar dos tornillos provisionales sobre cada lado del gabinete para poder soportar el ETO.

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

- ✓ Con dos personas colocar el ETO sobre los tornillos provisionales como se muestra en la figura.



**Figura 3.41 Montaje del ETO**

- ✓ Alinear los agujeros de las orejas de sujeción con los orificios del rack
- ✓ Insertar los tornillos en cada orificio de las orejas de sujeción comenzando con la parte inferior del ETO.
- ✓ Usar 10 tornillos para cada lado cuando.
- ✓ Insertar los ventiladores que fueron removidos en un inicio.
- ✓ Instalar la puerta que se removió en el inicio.
- ✓ Instalar y atornillar la correa de tierra de la puerta.

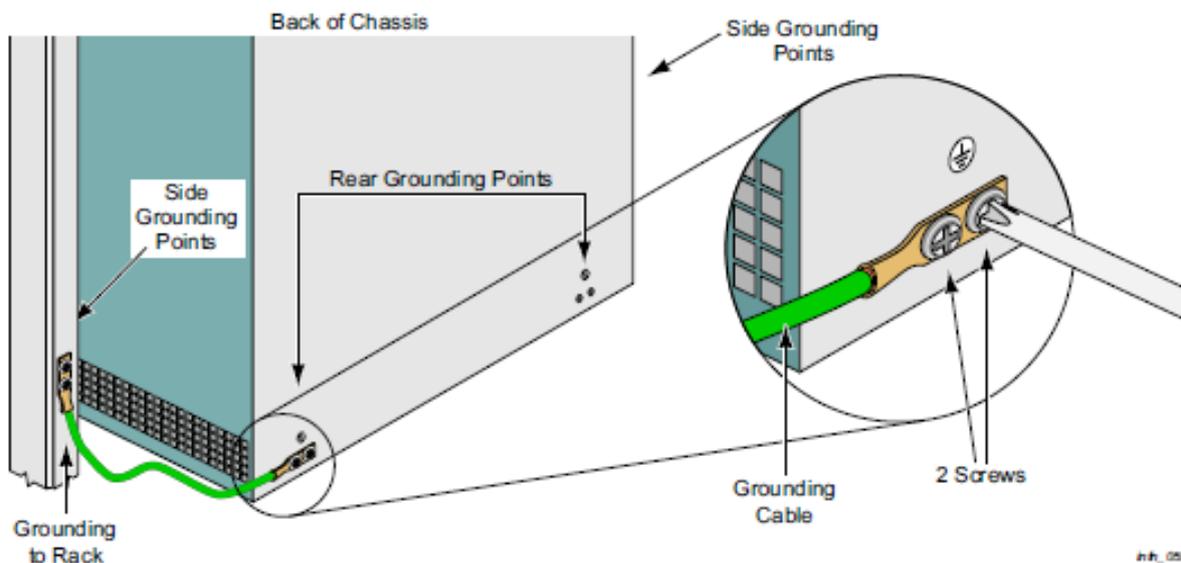
### Instalación y verificación del cable de tierra

Un ETO tiene cuatro puntos para instalar una conexión a tierra, dos en la parte trasera y dos más hacia el lado frontal; por lo que se recomienda usar alguna de estos. Se recomienda usar cable de color verde para el aterrizaje del ETO con terminales Panduit P/N LCD2-14A-Q, #6 AWG con diámetro de  $\frac{1}{4}$  del orificio para el tornillo y  $\frac{5}{8}$  de distancia entre centros. A continuación se describen los pasos para aterrizar un ETO:

- ✓ Verificar que el interruptor del distribuidor de energía se encuentre en estado off.
- ✓ Verificar que el interruptor A y B del ETO se encuentren en estado off.

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

- ✓ Correr el cable del rack al punto de tierra del DTC como se muestra en la figura 7.9.
- ✓ Deslizar temo retráctil en los extremos del cable antes de comprimir las terminales, para que este cubra la unión entre el cable y la terminal.
- ✓ Usar la pistola de calor para que el termo retráctil se adhiera al cable en cada extremo.
- ✓ Un extremo del cable conectarlo en alguno de los puntos disponibles de para aterrizar en el ETO.
- ✓ Dejar libre de pintura, suciedad el punto del rack donde se colocara el otro extremo del cable de tierra.



**Figura 3.42 Instalación del cable de tierra**

Una vez realizada la conexión física del cable se procede a validar que este haya sido instalado correctamente.

- Encender el multímetro y seleccionar el rango más bajo de resistencia (100 Ohm ó RX1)
- Validar que el multímetro se encuentre en buen estado uniendo ambas puntas, la lectura debe ser alrededor de 0.0 Ohm (Este valor puede variar por 0.1 Ohm debido a la resistencia del cable)
- Conectar una punta de prueba del multímetro a la terminal del cable de tierra conectado al ETO.
- Conectar la otra punta del cable a un punto del rack.
- Leer la lectura de la pantalla del multímetro; la lectura debe ser 0.0 o menos que 0.1 Ohm. Una resistencia mayor que 0.1 indica un inapropiado sistema de tierra.

### Instalación y verificación de los cables de energía

Un ETO requiere de dos interruptores de 70A en el distribuidor de energía principal, uno para alimentar A y el segundo para el alimentador B. El equipo puede operar

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

---

de forma adecuada en un rango de voltaje de -40 VDC a -72VDC, si el voltaje no estuviera dentro de este rango los módulos de alimentación podrían no funcionar. La potencia de consumo típica es de 1618 W y la potencia de consumo máxima es de 2800 W.

- Verificar que el interruptor de la planta de energía se encuentren en estado OFF.
- Verificar que los módulos de alimentación de energía A y B se encuentren en estado OFF.
- Correr cuatro cables dos para -48 VDC y dos para el retorno (Se emplea rojo y azul), desde el distribuidor de energía principal hasta los módulos de alimentación A y B.
- Los cables de energía deberán de ir sobre la escalerilla que se tenga disponible para energía, estos deberán ir amarrados con hilo encerado cada 20 cm.
- Sobre el gabinete deberán de correrse por la escalerilla de la parte lateral de tal manera que estos puedan ocultarse.
- Cortar a la medida adecuada el cable para poder colocar la terminal.
- Insertar el termo retráctil aproximadamente 1/2" en el extremo del cable
- Colocar la terminal y hacer compresión a esta con una crimping tool.
- Pasar la pistola de calor al termo retráctil para que este se adhiera el cable.
- Conectar los cables de energía a los módulos de alimentación A y B, observando la correcta polaridad.

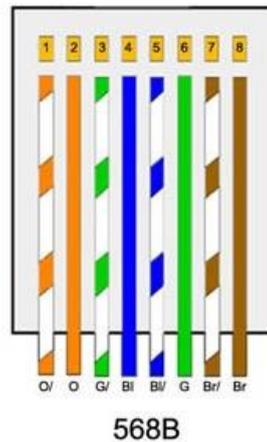
Una vez realizada la conexión física de los cables de alimentación se procede a verificar si todo ha sido instalado correctamente usando un multímetro.

- ❖ Verificar que los interruptores del distribuidor de energía se encuentren en estado ON.
- ❖ Usando el multímetro configurarlo para medir DC y medir el voltaje que circula sobre los tornillos de los módulos de alimentación A y B.
- ❖ Validar que la lectura obtenida se encuentra dentro del rango de -40 a 72 V DC con correcta polaridad.
- ❖ En caso de que no cumpla la prueba en el paso anterior resolver el problema
- ❖ Una vez realizada la validación del voltaje y polaridad encender el interruptor de los módulos de alimentación A y B.

### **Instalación y verificación de los cables Ethernet.**

Los cables Ethernet son instalados cuando se requiere conexión hacia la DCN y para configuraciones de múltiples equipos a través de los puertos NCT empleando CAT5-Ethernet. La máxima distancia que es permitida para interconectar dos elementos es de 100m. El proceso para la construcción y validación del cable se describe a continuación:

- Para la configuración de los cables Ethernet usar el estándar ANSI/TIA/EIA-568B



**Figura 3.43 Estándar 568-B**

- Con el estándar 568-B se procede a realizar la construcción del cable empleando conectores RJ-45 y usando una ponchadora.
- Una vez realizado los conectores en ambas puntas del cable RJ-45 se deberá validar que la construcción del cable haya sido la correcta empleando un probar para cables Ethernet.

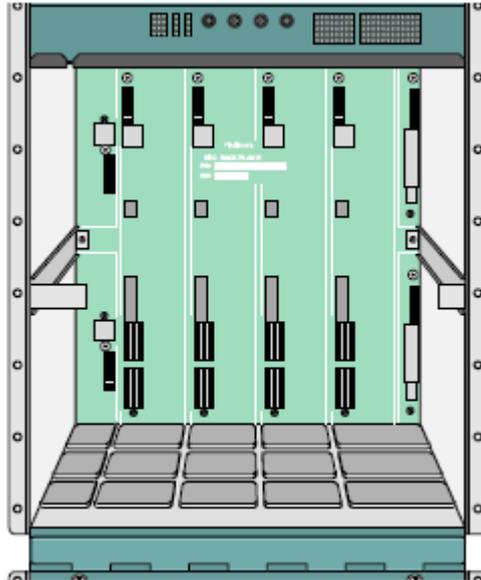


**Figura 3.44 Probador de cables**

- Se recomienda que las trayectorias de los cables Ethernet no crucen cables de energía para evitar inducciones.
- Para enrutar los cables de la DCN hacia el puerto DCN del ETO, usar las bandejas que se tienen disponibles en sitio para este tipo de cables.
- Usar la guía para cables Ethernet del ETO.
- Conectar los cables Ethernet en sus respectivas posiciones de acuerdo las configuraciones establecidas durante el site survey.
- Usar cinchos plásticos o hilo encerado para la sujeción del cable sobre el rack.

### Instalación de las tarjetas o placas

- ✓ Validar que ninguno de los pines del backplane del ETO se encuentre en mal estado usando una lámpara de mano y pulsera antiestática.



**Figura 3.45 Validación de backplane**

- ✓ Al finalizar la inspección del back plane proceder con la inserción de tarjetas.
- ✓ Retirar cuidadosamente del empaque antiestático cada una de las tarjetas.
- ✓ Abrir los seguros de la tarjeta en forma perpendicular
- ✓ Alinear la tarjeta con los rieles del ETO
- ✓ Empujar gentilmente hasta que haga contacto con los pines del back plane.
- ✓ Cerrar los seguros de la tarjeta y atornillar los seguros con un giro de  $\frac{1}{4}$

### 3.3.2.8. Instalación del panel de fusibles

El fuse panel es instalado en la parte superior del gabinete donde se quedan instalados el amplificador e idler. Se colocan dos tornillos con tuerca sobre el gabinete tanto en el lado derecho e izquierdo para que este quede fijo. A continuación se siguen los pasos para la instalación:

- Se emplea una terminal plástica color amarillo para aterrizar el panel de fusibles en el gabinete.
- En el otro extremo del cable se instala una terminal de un ojo con diámetro de  $\frac{1}{4}$  para calibre 6.
- Se instala el cable de energía calibre 6 hasta la planta de energía por un extremo y por el otro se corre el cable a lo largo de la escalerilla amarrando el cable con hilo cada 20 cm.
- Se emplean cuatro terminales de  $\frac{5}{8}$  entre centros y  $\frac{1}{4}$  de diámetro en el centro, dos para la alimentación A y dos para la Alimentación B.
- Una vez que esta energizado el panel de fusibles se mide el voltaje y la polaridad empleando un multímetro configurado para DC.

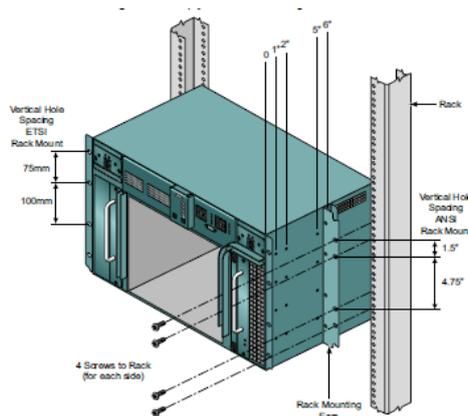
- Se insertan los fusibles de 10A en el frente del fuse panel, para que alimenten de energía al amplificador e idler.

### 3.3.2.9. Instalación de un Amplificador e idler

#### Montaje de un Amplificador o idler en el gabinete

*Precauciones que deben ser consideradas antes de iniciar con el montaje de un OTC:*

- *El OTC es un objeto pesado que pesa aproximadamente 22.4 Kg y requiere mínimo de dos personas para levantarlo.*
- ✓ El primer tornillo para el soporte de instalación en un gabinete de 23" debe ser posicionado a 5 pulgadas del frente del OTC.
- ✓ El segundo tornillo debe ser colocado a 6 pulgadas del frente del OTC.
- ✓ Colocar el soporte lateral izquierdo y lateral derecho a la distancia mencionada en los pasos anteriores.
- ✓ Coloque los tornillos y apriete como se muestra en la figura 8.3.



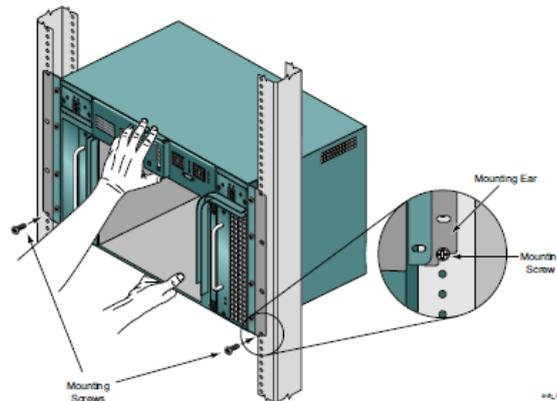
**Figura 3.46 Instalación de soportes 23"**

Para llevar a cabo el montaje de un Amplificador o idler en un gabinete de 23" seguir los siguientes pasos:

- Colocar un tornillo de apoyo en lado izquierdo y derecho del rack.
- Apretar parcialmente los tornillos de apoyo
- Cuidadosamente levantar el Amplificador o idler y usar los tornillos de apoyo para que sobre ellos cargue el peso del equipo.
- Alinear los agujeros del equipo con los agujeros disponibles del gabinete.
- Colocar cuatro tornillos de cada lado
- Apretar los tonillos usando un desarmador Phillips# 3.

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

Debido a que sobre el mismo gabinete se instalan dos Equipos, un amplificador y un idler el Fuse Panel se instala 1RU debajo de este, para permitir el cableado.



**Figura 3.47 Montaje de un Amplificador o idler sobre el gabinete**

### Instalación y verificación del cable de tierra del Amplificador e Idler

La instalación del cable de tierra se lleva a cabo de la misma manera que se instala en el ETO.

### Instalación y verificación del cable de energía

Un Amplificador o Idler requiere de dos interruptores de 10A en el panel de fusibles, uno para alimentar A y otro para B. El equipo puede operar de forma adecuada en un rango de voltaje de -40 VDC a -72VDC, si el voltaje no estuviera dentro de este rango los módulos de alimentación podrían no funcionar. La potencia de consumo típica es de 192 W y la potencia de consumo máxima es de 400 W.

Las terminales a usar deben cumplir con un ancho de 0.31 pulgadas de ancho, esta puede ser para cable calibre #14AWG, #12AWG, #10AWG ó #8AWG.

Tomando en cuenta los requerimientos mencionados con anterioridad a continuación se describen los pasos para la instalación del cable:

- Verificar que el interruptor de la planta de energía se encuentren en estado OFF.
- Correr cuatro cables dos para -48 VDC y dos para el retorno (Empleando los colores azul y rojo), desde el fuse Panel hasta los alimentadores de Energía.
- Los cables de energía deberán de ir sobre la escalerilla del gabinete.
- Cortar a la medida adecuada el cable para poder colocar la terminal.
- Colocar la terminal y hacer compresión a esta con una crimping tool para terminales plásticas.
- Conectar los cables de energía a los módulos de alimentación, observando la correcta polaridad.

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

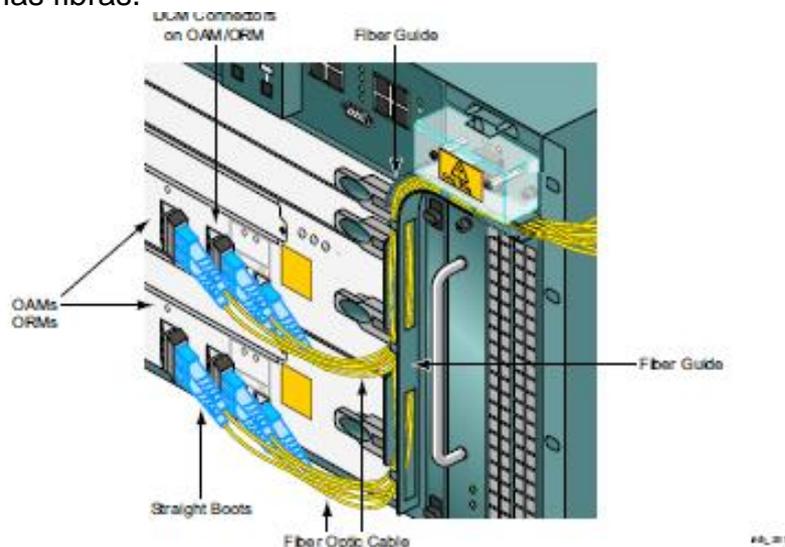
Una vez realizada la conexión física de los cables de alimentación se procede a verificar si todo ha sido instalado correctamente usando un multímetro, de la misma manera que se hace con el ETO.

### Instalación de las tarjetas o placas

Se lleva a cabo de la misma manera que para el ETO.

### Instalación y enrutado de las fibras ópticas

- ✓ Correr la fibra entre el distribuidor de fibra óptica y LINE OUT/LINE IN del amplificador sobre la canaleta asignada para la fibra.
- ✓ La fibra sobre el gabinete se protege con manguera corrugada.
- ✓ El sobrante de la fibra se debe colocar sobre las canaletas de fibra.
- ✓ Las fibras entre los amplificadores y compensadores deben de ser protegidas con manguera de ½" corrugada.
- ✓ Antes de conectar una fibra se debe de verificar la limpieza de los conectores hembra de cualquier tarjeta y de los conectores macho de cada fibra.
- ✓ Verificar se encuentren en buen estado y limpios usando videoscopio, jabonera e hisopos que los conectores hembra de las tarjetas y el conector macho de las fibras.
- ✓ En caso de encontrar dañado el conector reportarlo de inmediato, hacer cambio de la fibra o tarjeta.
- ✓ Conectar las fibras.



**Figura 3.48 Instalación de fibras**

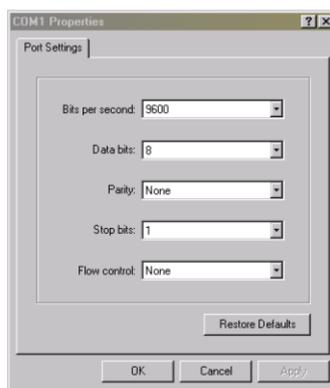
Para la estación de Puerto Barrios y Puerto San José, se instalan tres gabinetes y se realiza empleando la descripción de la instalación del gabinete del punto 3.3.2.4, 3.3.2.5 y 3.3.2.6. Para cada estación se instalan 3 ETO, un amplificador e idler y 1 panel de fusible para cada estación siguiendo los pasos de la instalación de los puntos 3.3.2.7, 3.3.2.8 y 3.3.2.9.

### 3.3.3. Comisionamiento de los equipos

El comisionamiento de un equipo consiste en hacer la primera configuración al equipo después de haber sido energizado, con la finalidad de que un tercero tenga acceso al nuevo equipo vía remota, identificándolo como un nuevo elemento de red.

Para poder realizar el comisionamiento a los equipos instalados en cada una de las estaciones se llevan a cabo los siguientes pasos, teniendo en cuenta que los equipos nuevos serán una expansión de los ya existentes, en donde la información será enviada desde el primer equipo hacia el que será configurado por medio de la conexión de cables Ethernet, hasta que la información del software llegue al módulo de administración A y este quede cargado por completo.

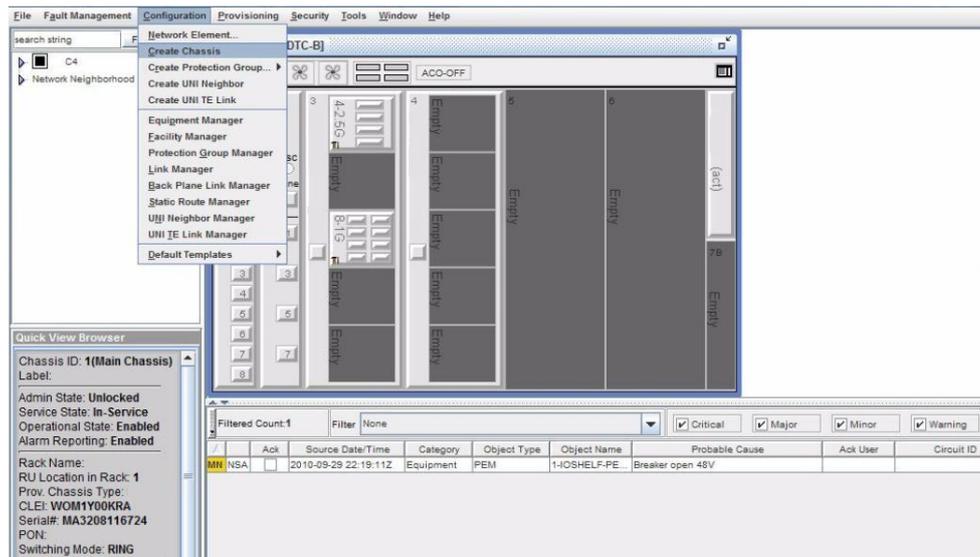
- Creación de una conexión serial usando los siguientes valores



**Figura 3.49 Parámetros conexión serial**

- Creación del nuevo elemento ETO, amplificador ó idler del equipo usando el software de aplicación.

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada



**Figura 3.50 Creación de nuevo equipo**

- Una vez que se crea el nuevo elemento mediante la conexión serial creada mediante un cable DB-9 se conecta hacia el módulo de administración A y en la pantalla de hyperterminal aparecerán los siguientes datos:

Main Chassis [yes/no] (yes)?

En este punto seleccionamos la opción no ya que cada uno de los nuevos equipos debe funcionar como una ampliación ya que el control del nodo lo hace el ETO1.

Do you want to change system date and time (Y/N) [N]?

En este paso únicamente cambiamos la fecha y hora actual.

Commit (C)/Reconfigure (R)/reboot (B)?

Una vez verificada que la información ingresada al equipo haya sido la correcta, se escribe la letra C mayúscula para que el proceso de descarga del software sobre el módulo de administración A comience y al finalizar el nuevo equipo quedará comisionado y podrá ser visualizado por un tercero de manera remota. En caso de haber cometido algún error se debe seleccionar la letra R para cualquier reconfiguración.

El proceso descrito anteriormente se lleva a cabo para cada uno de los equipos de la estación de Puerto Barrios y Puerto San José.

### 3.3.4. Activación de la ampliación del enlace terrestre Puerto Barrios-Puerto San José.

Para llevar a cabo la activación del enlace terrestre se trabaja en conjunto con tres personas en las estaciones de Puerto Barrios, Puerto San José y en la estación del amplificador de línea 2. Esta actividad se realiza durante una ventana de mantenimiento debido a que existe una afectación de tráfico sobre la red y es de alto impacto para clientes finales. Sin embargo los clientes finales no pierden la comunicación puesto que la red es protegida y los circuitos pueden conmutar, hacia otra ruta garantizando de esta manera la continuidad de servicios.

#### *Actividades estación Amplificador de línea 2*

En la estación del Amplificador de línea 2 una vez que se ha instalado y comisionado, se inserta en módulo de ecualizador. Se desconecta la fibra que se encuentra haciendo loop en el módulo de amplificador del slot 3, y se conectan las fibras del ecualizador para ajustar la inclinación que las señales sufren al incrementar el número de canales. Los ajustes se hacen mediante software.

#### *Actividades estación Puerto Barrios y Puerto San José*

- Verificación y etiquetado de cada una de las fibras que están conectadas al módulo de multiplexación que se encuentra en operación.
- Verificación de todas las alarmas antes de comenzar los trabajos de ampliación.
- Tomar los valores de calidad de la señal Q.
- Bloqueo de la tarjeta mediante el software de aplicación esto permite mantener apagado el láser dejando de transmitir.
- Remover cuidadosamente cada una de las fibras que se encuentran conectadas al módulo de multiplexación del GPO1 al GPO8.
- Retirar el módulo de multiplexación del ETO.
- Eliminar del ETO mediante software la tarjeta retirada.
- Configurar la nueva tarjeta para 160 canales mediante software y dejar en estado bloqueado para que no transmita.
- Hacer limpieza de los conectores SC macho y hembra, de las fibras a conectar al nuevo módulo del GPO1 al GPO8.
- Insertar el nuevo módulo en el ETO y esperar que sea reconocido.
- Conectar las fibras a cada GPO.
- Desbloquear el nuevo módulo mediante software para que el láser inicie nuevamente la transmisión.
- Para el incremento a 160 canales se debe asociar el nuevo módulo con el otro multiplexor del GPO9 al GPO16.
- Insertar los nuevos módulos digitales en cada uno de los ETO correspondientes, para crear los cuatro nuevos GPO.

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

- Mantener en estado de bloqueo

| GPO   | Rango de frecuencias  | Modulo digital Puerto Barrios | Modulo digital Puerto San José |
|-------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| GPO9  | 1549.115nm-1563.659nm | A insertar en ETO5, slot4     | A insertar en ETO5,slot4       |
| GPO10 | 1548.715nm-1563.251nm | A insertar en ETO5, slot5     | A insertar en ETO5,slot5       |
| GPO11 | 1548.315nm-1562.844nm | A insertar en ETO6, slot4     | A insertar en ETO6,slot4       |
| GPO12 | 1547.915nm-1562.436nm | A insertar en ETO6, slot5     | A insertar en ETO6,slot5       |

**Tabla 3.11 Frecuencias y módulos**

- Sintonizar el GPO en cada uno de los módulos digitales antes de interconectarse con el módulo de multiplexación.
- Interconectar las fibras entre el módulo de multiplexación del GPO9 al GPO12, y cada uno de los módulos digitales.
- Pasar a estado desbloqueo cada uno de los módulos digitales.
- Encender la banda C
- Hacer ajuste de potencia entre los módulos digitales y el módulo de multiplexación.
- Verificación de atenuación entre cada una de las interconexiones entre el módulo de multiplexación y el módulo digital esta atenuación no debe exceder 0.5 dB, en caso que esto sea así se realiza una limpieza de los conectores.
- Levantamiento de los canales digitales de cada uno de los grupos de portadoras, 10 canales por cada GPO.
- Análisis del valor de calidad de la señal, verificando que este sea lo más alto posible, puesto que este valor entre más alto sea nos indica que la señal está libre de ruido y errores, se considera un valor de 16.55 como máximo y un mínimo de 12.

Una vez que se han llevado a cabo cada uno de los puntos mencionados anteriormente, el tráfico de la información vuelve a la normalidad y se concluye el trabajo de la activación del enlace terrestre, por lo que abajo se muestran una tabla de los valores de calidad de la señal. Valores máximo y mínimo de 16.28, 14.63 para Puerto Barros y 15.51, 13.06 para Puerto San José.

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

|          | GPO1  | GPO2  | GPO3  | GPO4  | GPO5  | GPO6  | GPO7  | GPO8  | GPO9  | GPO10 | GPO11 | GPO12 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Circuito | 1-A-4 | 1-A-5 | 2-A-4 | 2-A-5 | 3-A-4 | 3-A-5 | 4-A-4 | 4-A-5 | 5-A-4 | 5-A-5 | 6-A-4 | 6-A-5 |
| L1-1     | 14.95 | 15.02 | 15.10 | 14.95 | 15.06 | 14.84 | 14.94 | 15.99 | 16.11 | 16.14 | 16.14 | 16.04 |
| L1-2     | 14.92 | 14.98 | 14.99 | 14.63 | 15.14 | 15.08 | 14.86 | 15.91 | 16.28 | 16.14 | 15.98 | 15.55 |
| L1-3     | 14.75 | 15.03 | 14.95 | 14.84 | 15.08 | 14.71 | 14.89 | 15.89 | 15.84 | 15.78 | 15.82 | 15.89 |
| L1-4     | 15.13 | 15.15 | 15.31 | 14.95 | 14.95 | 14.87 | 14.93 | 15.64 | 15.68 | 15.76 | 15.70 | 15.68 |
| L1-5     | 15.03 | 15.13 | 15.11 | 15.05 | 14.94 | 14.70 | 14.93 | 16.02 | 15.91 | 15.97 | 16.04 | 15.81 |
| L1-6     | 15.12 | 15.25 | 14.84 | 15.09 | 14.98 | 14.91 | 15.12 | 15.84 | 15.90 | 16.05 | 15.96 | 15.70 |
| L1-7     | 15.14 | 15,24 | 15.23 | 15.10 | 15.39 | 14.81 | 15.38 | 16.05 | 15.94 | 15.91 | 15.97 | 15.69 |
| L1-8     | 15.12 | 15.02 | 15.30 | 15.22 | 15.44 | 14.91 | 15.22 | 16.05 | 15.94 | 15.86 | 15.57 | 15.55 |
| L1-9     | 15.47 | 15.02 | 15.41 | 15.39 | 15.41 | 15.04 | 14.93 | 16.14 | 15.94 | 15.71 | 15.84 | 15.71 |
| L1-10    | 15.15 | 15.63 | 15.71 | 15.52 | 15.45 | 14.94 | 15.43 | 16.05 | 16.14 | 15.79 | 15.84 | 15.34 |

**Tabla 3.12 Valores de Q circuitos Puerto Barrios**

|          | GPO1  | GPO2  | GPO3  | GPO4  | GPO5  | GPO6  | GPO7  | GPO8  | GPO9  | GPO10 | GPO11 | GPO12 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Circuito | 1-A-3 | 1-A-6 | 2-A-3 | 2-A-6 | 3-A-3 | 3-A-6 | 4-A-3 | 4-A-6 | 5-A-4 | 5-A-5 | 6-A-4 | 6-A-5 |
| L1-1     | 13.97 | 14.23 | 13.32 | 13.35 | 14.28 | 14.29 | 14.43 | 15.39 | 15.25 | 15.12 | 15.16 | 14.67 |
| L1-2     | 13.39 | 14.10 | 13.06 | 13.33 | 14.22 | 14.14 | 14.24 | 15.13 | 15.06 | 14.99 | 15.19 | 14.40 |
| L1-3     | 13.45 | 14.23 | 13.23 | 13.24 | 14.57 | 14.10 | 14.16 | 15.37 | 14.80 | 14.90 | 15.11 | 14.52 |
| L1-4     | 13.80 | 14.18 | 13.30 | 13.61 | 14.01 | 14.12 | 14.39 | 15.14 | 14.61 | 14.88 | 14.87 | 14.28 |
| L1-5     | 13.49 | 14.33 | 13.48 | 13.50 | 14.40 | 13.99 | 14.24 | 15.02 | 14.52 | 14.84 | 14.95 | 14.37 |
| L1-6     | 13.73 | 14.61 | 13.37 | 13.22 | 14.20 | 14.44 | 14.53 | 15.28 | 14.79 | 14.91 | 15.00 | 14.50 |
| L1-7     | 13.73 | 14.04 | 13.56 | 13.61 | 14.51 | 14.30 | 14.51 | 15.02 | 14.58 | 14.57 | 14.87 | 14.38 |
| L1-8     | 14.21 | 14.65 | 14.18 | 13.87 | 14.40 | 14.26 | 14.48 | 14.89 | 14.54 | 14.88 | 14.99 | 14.59 |
| L1-9     | 14.17 | 14.85 | 14.55 | 14.03 | 14.89 | 14.50 | 14.64 | 15.23 | 14.97 | 14.68 | 14.64 | 14.52 |
| L1-10    | 14.39 | 15.09 | 14.90 | 15.01 | 15.04 | 14.84 | 14.75 | 15.51 | 14.98 | 14.66 | 15.06 | 14.95 |

**Tabla 3.13 Valores de Q circuitos Puerto San José**

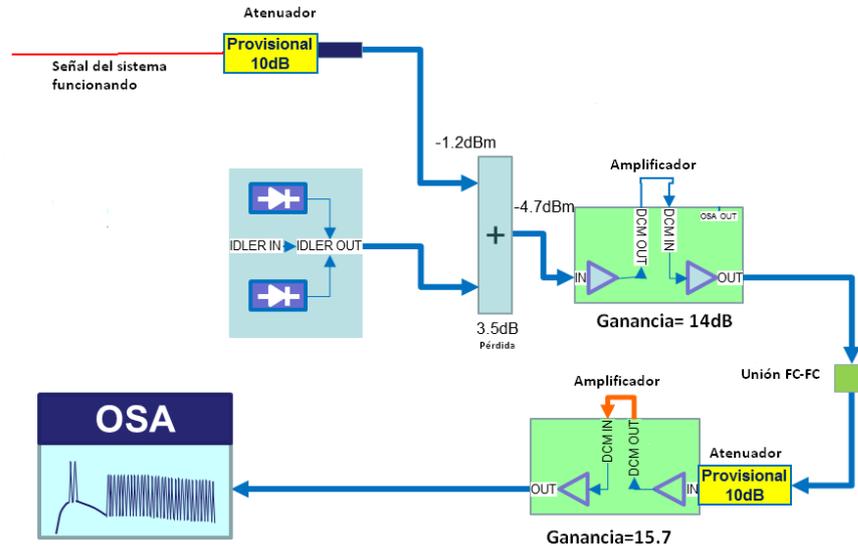
### 3.3.5. Activación de los enlaces submarino Boca Ratón- Puerto Barrios, Puerto San José-Lurín.

El primer punto para poder llevar a cabo la activación del sistema de comunicaciones es probar las conexiones de fibra entre los distintos equipos y el distribuidor de fibra óptica, antes de que sea remplazado el sistema que se encuentra en operación, de esta manera se garantiza que no existan malas conexiones y que el remplazo al nuevo sistema se realice rápidamente, puesto que los trabajos se realizan durante ventana de mantenimiento, ya que se genera un impacto de tráfico afectación el servicio; sin embargo la red estará protegida para que los clientes no pierdan sus servicios. Se inicia con el remplazo del amplificador submarino para una ventana de mantenimiento y en una segunda se insertan los nuevos canales e incremento del ancho de banda.

### 3.3.5.1. Verificación del terminal submarino

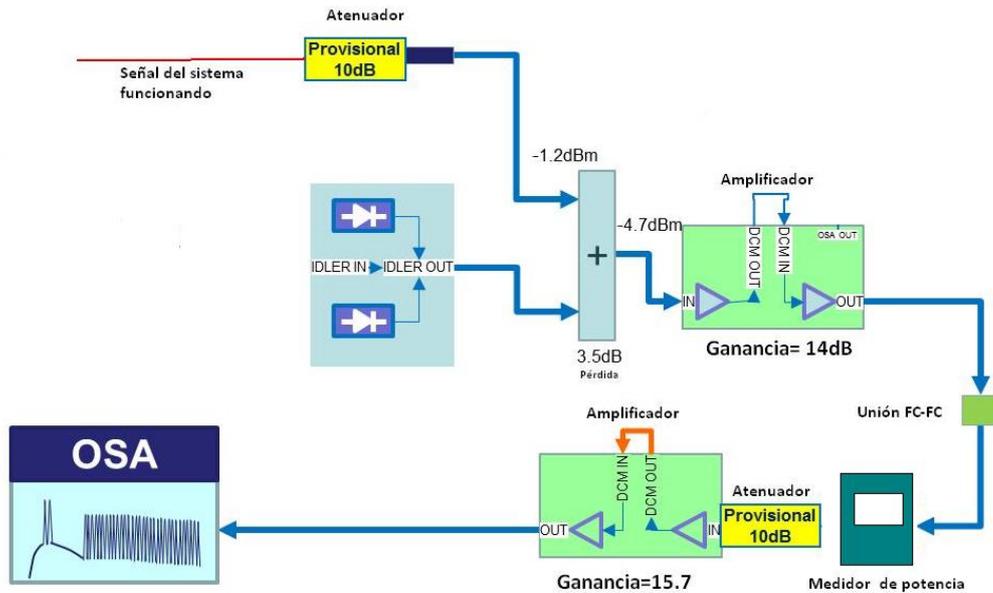
Una vez que se encuentran instalados todos los equipos se realizan las siguientes actividades:

- Conectar el sistema como se muestra en la figura 3.51



**Figura 3.51 Diagrama de conexión para prueba del sistema**

- Configurar el Amplificador en modo de funcionamiento submarino a través de la aplicación de software.
- Enrutar todas los cables de fibra hasta los puntos finales de conexión.
- Tomar una señal que no se esté usando del viejo sistema a través de un cable de fibra óptica, para tener una señal de entrada con potencia a nuestro sistema, para verificar las pérdidas entre cada punto.
- Se mide la señal de entrada al sistema mediante un analizador de espectro.
- Medición de la potencia de entrada al sistema mediante un medidor de potencia.
- Medición de la potencia después del atenuador de 10dB, para verificar que este atenuando 10dB.
- Tomar el valor de potencia después del acoplador, antes de que la señal entre al amplificador.
- Usando el software de aplicación desbloquear la transmisión del amplificador y medir la potencia recibida a través del software.
- Con el medidor de potencia tomar el valor a la salida del amplificador de transmisión.
- Conectar la transmisión del amplificador de transmisión, empleando el cable de fibra óptica que irá al distribuidor de fibra óptica, usando un acoplador FC/FC con la fibra que va al distribuidor de fibra óptica del puerto de entrada del amplificador de recepción.
- Tomar la potencia al final del cable de fibra que se conectará a la entrada del amplificador de recepción.



**Figura 3.52 Medición de potencia**

- Usando el software de aplicación tomar la potencia de entrada y de salida del amplificador de recepción.
- Medir la potencia de salida del amplificador de recepción con medidor de potencia está debe ser casi igual que la medida con el software.
- Tomar los espectros de la señal en los puertos OSA del acoplador, OSA de entrada en el amplificador de recepción, OSA de salida en el amplificador de transmisión.
- Todas las potencias son comparadas usando el software de aplicación y el medidor de potencia, de esta manera se verifica la consistencia, excesos de atenuación y por pérdida de inserción.
- Una vez que se ha validado las conexiones el siguiente paso es llevar a cabo el remplazo del amplificador submarino.

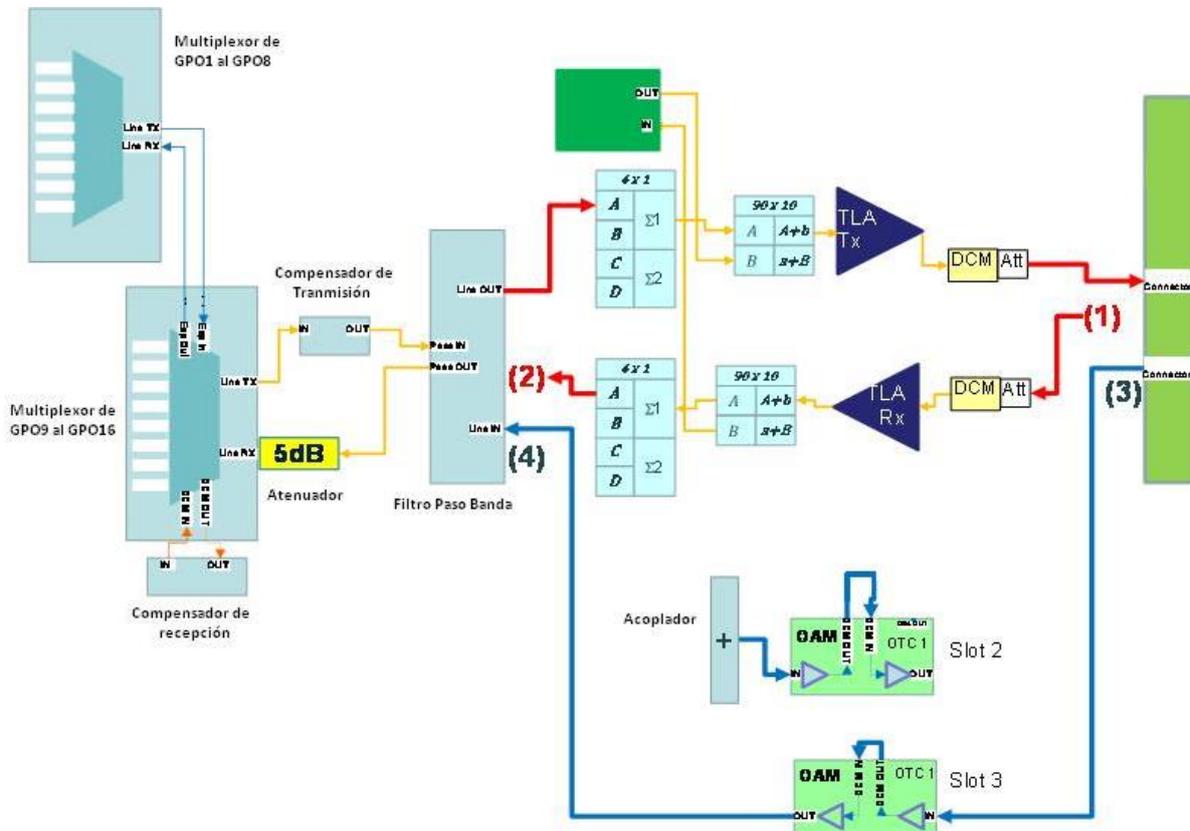
### 3.3.5.2. Remplazo del amplificador submarino

Mediante el remplazo se busca medir la potencia recibida del mar, remplazar el amplificador de recepción sin degradación de la señal, remplazar el amplificador de transmisión y ajustar la potencia lanzada hacia el mar, guardar los niveles de la potencia y ajustar la dispersión cromática hasta obtener el mejor valor de calidad para el sistema. Para obtener estos resultados a continuación se describe el procedimiento para esta actividad:

- Configurar el amplificador en modo de equipo terminal de línea submarino mediante la aplicación de software.
- Enrutar todos los cables de fibra correctamente a cada tarjeta como se muestra en la figura 3.53.
- Verificar que todo el equipamiento de tarjetas sea el adecuado de acuerdo a la figura 3.53.

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

- Instalar un atenuador de 5dB en la salida del amplificador de transmisión.
- Mediante la aplicación de software guardar los valores de calidad de la señal.
- Guardar el espectro óptico mediante un analizador de espectro.



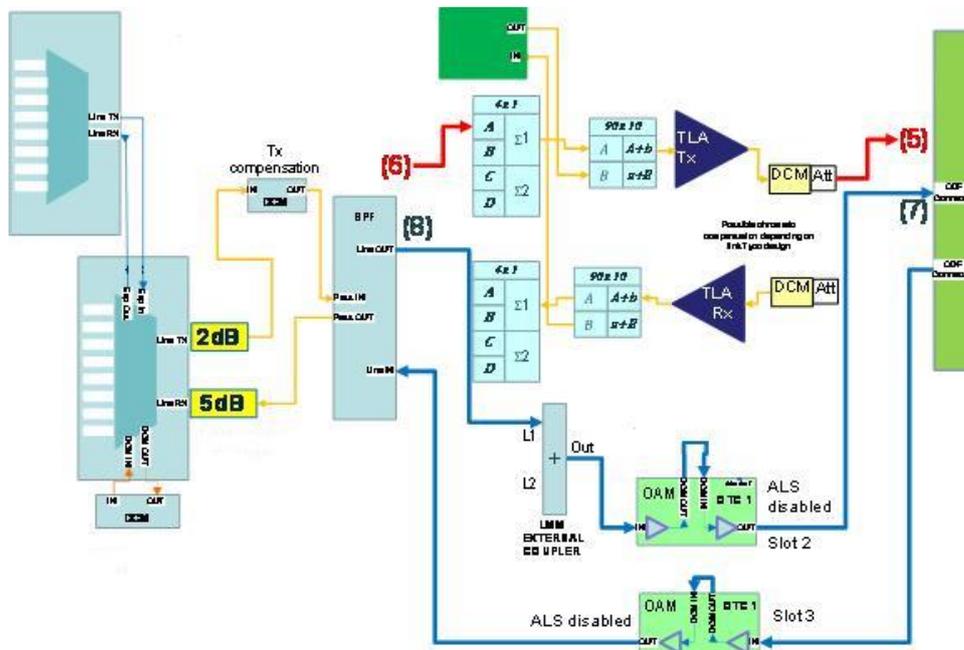
**Figura 3.53 Reemplazo amplificador recepción**

- Desconectar el cable de fibra óptica de color rojo número 1 como se muestra en la figura 3.53.
- Desconectar el cable de fibra óptica de la entrada al filtro paso banda de color rojo número 2.
- Medir la potencia recibida del mar en el distribuidor de fibra óptica.
- Conectar el cable de fibra óptica azul número 3 en el distribuidor de fibra óptica.
- Mediante la aplicación de software encender el láser del amplificador para que este inicie la transmisión hacia el filtro paso banda.
- Medir la potencia recibida del mar mediante la aplicación del software, validando que la atenuación del cable de fibra óptica sea mínima.
- Ajustar la ganancia del amplificador para que a la salida se tenga un valor de 15dBm.
- Conectar el cable de fibra óptica de con el número 4 hacia la entrada del filtro paso banda.
- Insertar un atenuador de 5dB en la entrada del multiplexor.
- A través del software de aplicación medir la potencia de transmisión.

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

- Con el uso del software ajustar la ganancia del multiplexor para un buen nivel de calidad de la señal.
- Guardar los valores de calidad de la señal.

La ejecución de estas actividades nos da como resultado un remplazo de amplificador de recepción exitoso, obteniendo un buen nivel de calidad de la señal.



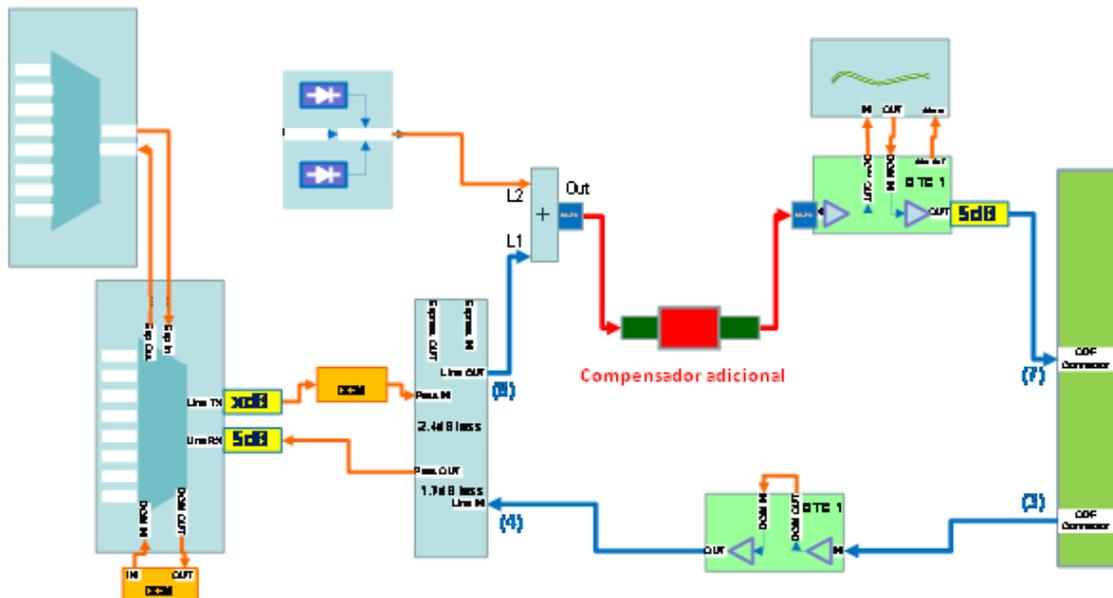
**Figura 3.54 Reemplazo del amplificador de Tx**

Las actividades realizadas para el reemplazo del amplificador de transmisión son como a continuación de describe:

- De acuerdo al diagrama mostrado en la figura 3.54 se procede con la desconexión de la fibra marcada de color rojo la cual está identificada con el número 5.
- Desconectar la fibra de la transmisión del filtro paso bandas.
- Medición de la potencia de transmisión a la salida del filtro paso banda empleando el medidor de potencia.
- Insertar un atenuador de 5dB en la transmisión del módulo de multiplexación.
- Conectar la fibra de la transmisión del filtro paso banda la cual está identificada con el número 8 en el diagrama 3.54, hacia la recepción del acoplador.
- Medición de la potencia de recepción en la entrada del amplificador, empleando el software, verificando que las pérdidas no sean altas.
- Ajustar la ganancia del amplificador para que esa sea la adecuada dentro del presupuesto de potencia.
- Conectar la fibra identificada con el número 7 hacia el distribuidor de fibra óptica.
- Ajustar la ganancia del amplificador hasta obtener el mejor valor de Q.

- Guardar los valores de Q.

### 3.3.5.3. Ajuste de la dispersión cromática



**Figura 3.55 Compensador adicional al sistema**

Una vez tomados los valores de calidad de sistema se analizan, ya que estos han sufrido una pequeña degradación debido al incremento de ruido en el sistema, para poder mejorar estos niveles de calidad de la señal se procede a insertar un compensador adicional en la transmisión del sistema como se muestra en la figura 3.55. Los valores que se prueban son de  $+170\text{ps/nm}$  y  $+255\text{ps/nm}$ .

### 3.3.5.4. Parámetros y mediciones finales

Al seguir los procedimientos descritos anteriormente acerca del remplazo de amplificadores y ajuste de dispersión cromática, se obtuvieron los siguientes resultados para el segmento de Guatemala.

| <b>Dirección de Recepción desde Boca Ratón</b>   |   | <b>Potencia</b> |            |
|--|---|-----------------|------------|
| <b>1</b>   | <b>Potencia llegando desde el mar medida en el ODF con medidor de potencia</b>  | <b>0.06</b>     | <b>dBm</b> |
| 2  | Potencia en la entrada del amplificador de Recepción medido con Software. Potencia que viene del mar cuando no hay atenuador en el puerto de entrada. | -0.25           | dBm        |
| 3  | Potencia de salida del amplificador de recepción medido con software.   | 15.08           | dBm        |
| 4  | Ganancia configurada en el amplificador de recepción con software.  | 15.2            | dB         |
| 5  | Potencia medida con software en la entrada del módulo de multiplexación.  | 8.60            | dBm        |
| 6  | Ganancia del amplificador en el módulo de multiplexación medido con software.   | 17.1            | dB         |
| 7  | Ganancia del amplificador en el módulo de multiplexación de expansión medido con software.  | 23.0            | dB         |
| <b>Dirección de Transmisión hacia Boca Ratón</b> |   |                 |            |
| <b>1</b>   | <b>Potencia de salida del Filtro Paso Banda con medidor de potencia.</b>  | <b>8.08</b>     | <b>dBm</b> |
| <b>2</b>   | <b>Potencia de salida con el Nuevo atenuador en la salida del multiplexor.</b>  | <b>3.29</b>     | <b>dB</b>  |
| 3  | Potencia de entrada en el amplificador de transmisión medido con software. Potencia que viene del acoplador.  | -3.21           | dBm        |
| 4  | Potencia de salida del amplificador de transmisión medido con software.   | 18.35           | dBm        |
| 5  | Ganancia configurada en el amplificador de transmisión medido con software.   | 21.5            | dB         |
| 6  | Potencia de salida en el módulo de multiplexación medido con software.  | 17.18           | dBm        |
| 7  | Potencia de transmisión en el acceso intermedio del amplificador de transmisión   | 2.23            | dBm        |
| 8  | Potencia de recepción en el acceso intermedio del amplificador de transmisión.  | 1.92            | dBm        |

**Tabla 3.14 Valores estación Puerto Barrios**

En la figura 3.56 se muestra el diagrama final empleado durante el remplazo del amplificador terminal submarino de la estación de la Estación de Puerto Barrios, en donde se agregó un atenuador de 2dB en la transmisión del módulo de multiplexación, además de dos compensadores de 255 y 170 ps/nm.

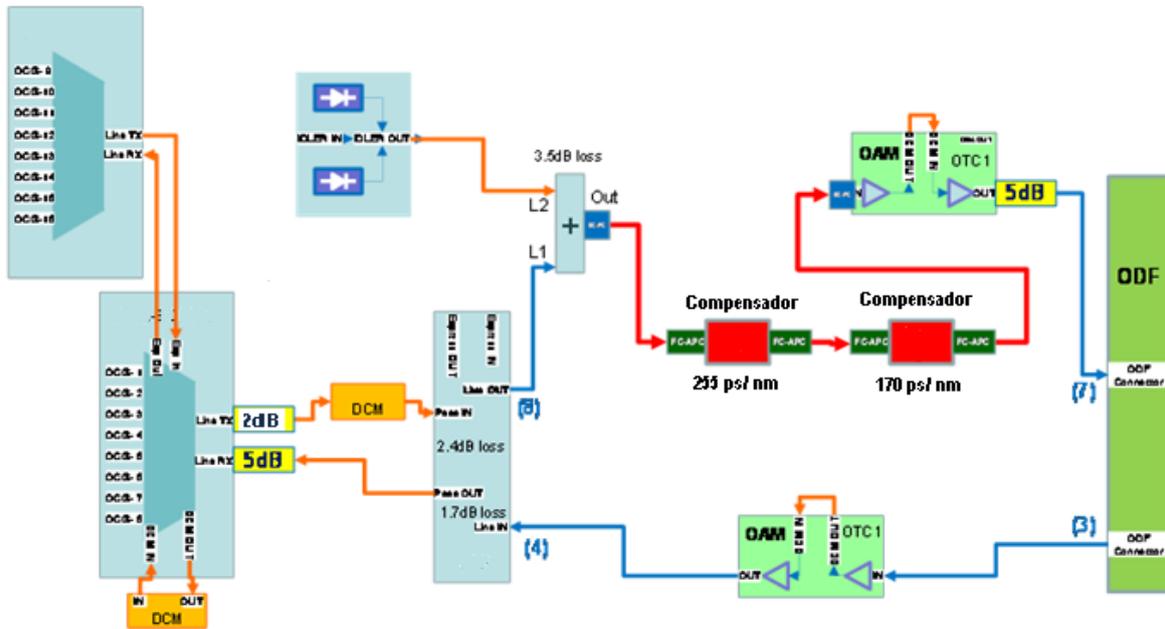


Figura 3.56 Diagrama final Estación Puerto Barrios

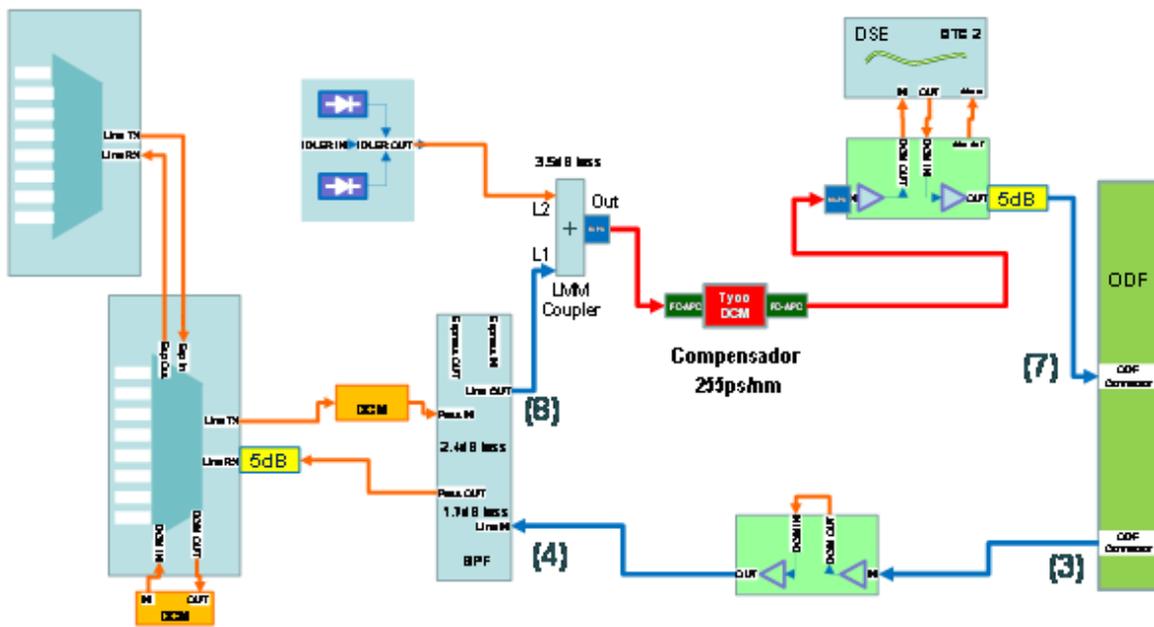


Figura 3.57 Diagrama final Estación Puerto San José

En la figura 3.57 se muestra el diagrama final empleado durante el remplazo del amplificador terminal submarino de la estación de la Estación de Puerto San José, en donde se agregó un compensador de 255 ps/nm.

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

|          | <b>Dirección de Recepción desde Lurín Perú</b>  | <b>Potencia</b> |            |
|----------|---|-----------------|------------|
| <b>1</b> | <b>Potencia llegando desde el mar en el ODF con medidor de potencia</b>   | <b>1.10</b>     | <b>dBm</b> |
| 2        | Potencia en la entrada del amplificador de Recepción medido con Software. Potencia que viene del mar cuando no hay atenuador en el puerto de entrada. | 1.47            | dBm        |
| 3        | Potencia de salida del amplificador de recepción medido con software.   | 15.58           | dBm        |
| 4        | Ganancia configurada en el amplificador de recepción con software.  | 14.0            | dB         |
| 5        | Potencia medida con software en la entrada del módulo de multiplexación.  | 7.85            | dBm        |
| 6        | Ganancia del amplificador en el módulo de multiplexación medido con software.   | 17.7            | dB         |
| 7        | Ganancia del amplificador en el módulo de multiplexación de expansión medido con software.  | 20.5            | dB         |
|          | <b>Dirección de Transmisión hacia Lurín Perú</b>  |                 |            |
| <b>1</b> | <b>Potencia de salida del Filtro Paso Banda con medidor de potencia.</b>  | <b>2.92</b>     | <b>dBm</b> |
| <b>2</b> | <b>Potencia de salida con el nuevo atenuador en la salida del multiplexor.</b>  | <b>3.12</b>     | <b>dB</b>  |
| 3        | Potencia de entrada en el amplificador de transmisión medido con software. Potencia que viene del acoplador.  | 1.62            | dBm        |
| 4        | Potencia de salida del amplificador de transmisión medido con software.   | 16.84           | dBm        |
| 5        | Ganancia configurada en el amplificador de transmisión medido con software.   | 15.5            | dB         |
| 6        | Potencia de salida en el módulo de multiplexación medido con software.  | 17.21           | dBm        |
| 7        | Potencia de transmisión en el acceso intermedio del amplificador de transmisión   | 3.44            | dBm        |
| 8        | Potencia de recepción en el acceso intermedio del amplificador de transmisión.  | -1.95           | dBm        |

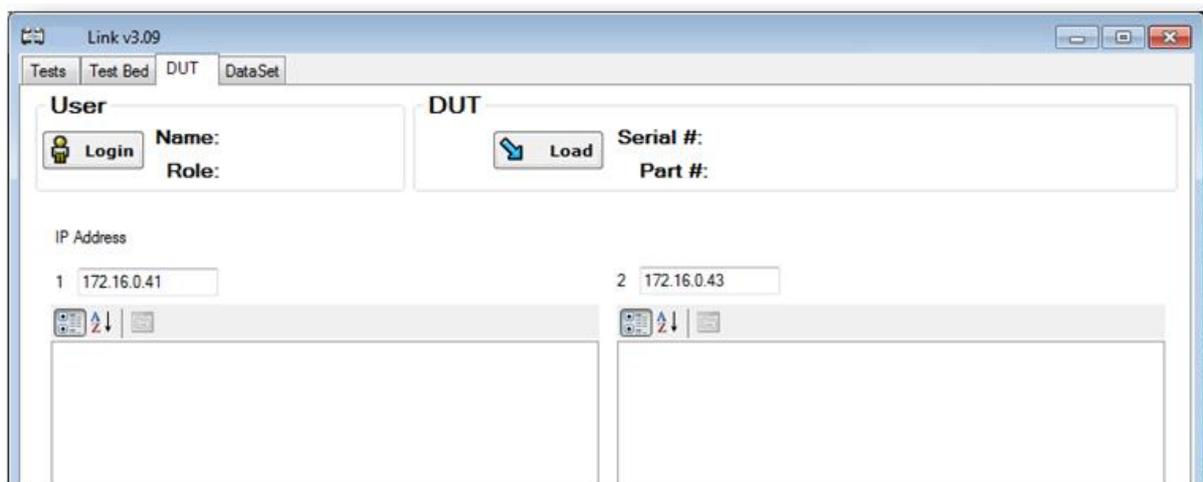
**Tabla 3.14 Valores estación Puerto San José**

### 3.3.5.5. Inserción de lambdas de 40G y ecualización de canales.

Las longitudes de onda de 40G se insertan haciendo espacio entre las longitudes de 10G las cuales emplean una modulación OOK (encendido y apagado) y tienen menor densidad de potencia que las de 40G. La configuración de esta longitudes puede ser empleando una modulación BPSK, lo cual reduce el ancho de banda a 20G sin embargo tenemos mayor distancia entre un transmisor y el receptor, para transmitir 40G se usa modulación QPSK, pero se reduce la distancia entre el transmisor y receptor. La densidad de potencia puede afectar significativamente a las de 10G si estas permanecen cercanas a las de 40G, por tal razón se hace un plan de frecuencia adecuada y se usa el siguiente método para la inserción de estas lambdas:

Antes de insertar la primera longitud de onda se toman los valores de Q (calidad de señal), para ambos sentidos del enlace, ya que el enlace es bidireccional porque tenemos transmisión y recepción en cada uno de los nodos, para el proyecto tenemos dos enlaces Puerto Barrios-Boca Ratón y Puerto San José- Lurín, por lo que es suficiente explicar uno de estos ya que le procedimiento realizado fue el mismo para ambos enlaces.

El valor de Q puede ser tomado para cada una de los módulos digitales, sin embargo eso tomaría demasiado tiempo, para esto se emplea una herramienta la cual es propiedad del proveedor de equipos, para nuestra explicación llamaremos "Link tool". Link tool es una herramienta gráfica que permite entrar vía IP a ambos nodos para obtener los valores de Q de un enlace submarino. Dentro del link tool diferentes enlaces submarinos pueden ser seleccionados y monitorear las mejoras del valor de Q.



**Figura 3.58 Link Tool**

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

En la figura 3.58 se muestra la herramienta Link Tool, como observa en la imagen se colocan las direcciones IP de cada uno de los nodos, a su vez la computadora se conecta al router que tiene conexión a toda la red para que sea posible la visibilidad de ambos nodos, una vez hecho esto seleccionamos el botón Load para que se carguen los elementos que contienen en cada nodo.

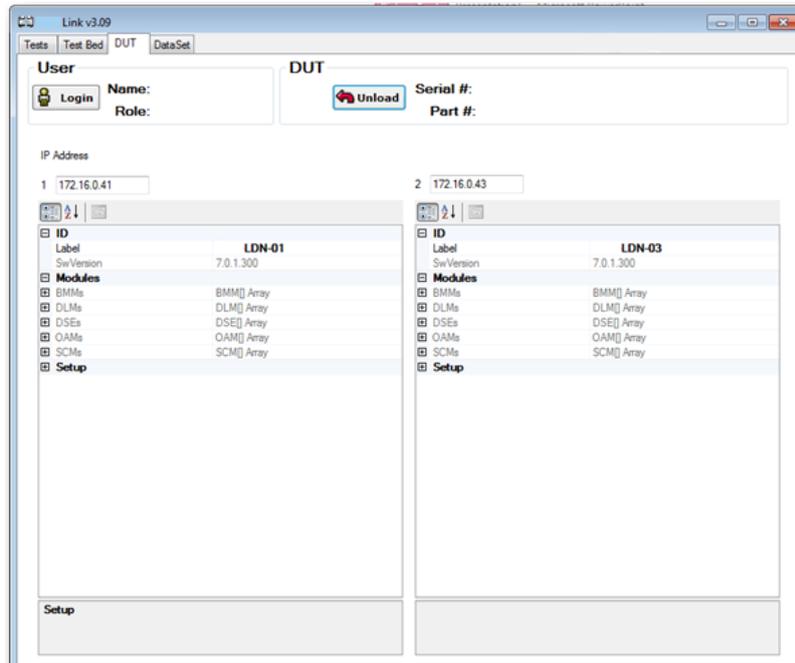


Figura 3.59 Módulos Link Tool

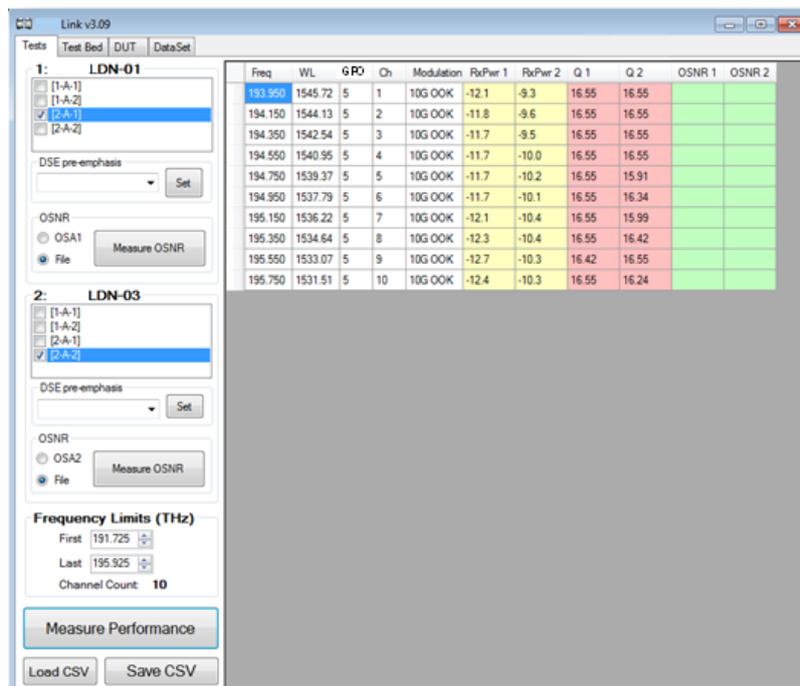
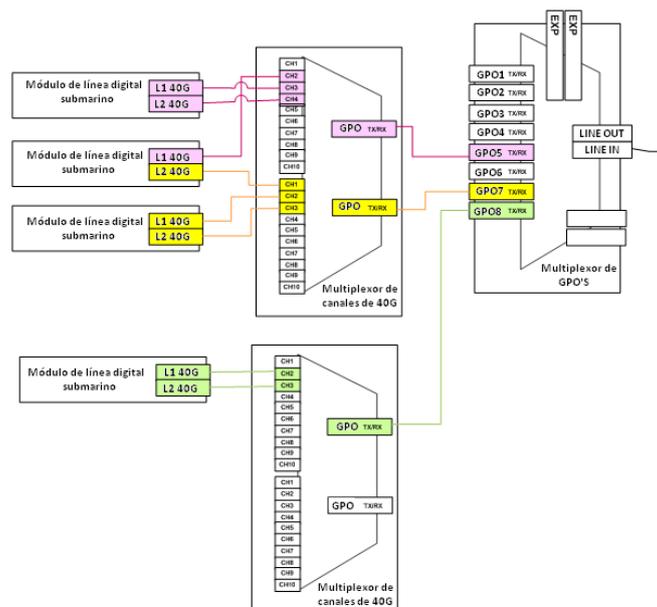


Figura 3.60 Link Tool valores Q

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

En la figura 3.59 se muestra la herramienta Link Tool en donde una vez ingresadas las direcciones IP se despliegan los distintos módulos que están instalados para cada nodo, con esta aplicación el objetivo es evaluar los niveles de Q en todo el enlace, el módulo que debemos monitorear es el de multiplexación que contiene los grupos de portadoras ópticas, ya que de esta manera observaremos cualquier variación para cada uno de los canales.

En la figura 3.60 se muestra como una vez seleccionado el módulo de multiplexación aparecen los elementos que están contenidos en el nodo, por lo que se eligen los multiplexores/demultiplexores que están transmitiendo y recibiendo en la misma dirección, finalmente seleccionamos el botón “Measure Performance” y esto desplegará una tabla la cual contiene las frecuencias, grupo de portadora óptica, canal, tipo de modulación, niveles de potencia de recepción para ambos sentidos y finalmente valores de Q para ambos sentidos. Estos datos pueden ser almacenados en la computadora al escoger la opción “Save CSV”, este archivo es compatible con una hoja de Excel y es usado para un mejor análisis sobre el comportamiento del valor de Q para los distintos canales.



**Figura 3.61 Interconexión fibras módulos submarinos**

Una vez que son tomados los valores de Q para ambos extremos del enlace, se procede con la inserción de longitudes de onda de 40G, están son insertadas con una potencia baja un offset de -3, de esta manera no son perjudicadas las que están en funcionamiento.

1. Se configura la modulación apropiada en cada puerto del módulo de línea digital submarino es decir para L1 y L2, la cual puede ser configurada como BPSK o QPSK, para ambos enlaces la modulación empleada es QPSK debido a que la dispersión cromática es baja a lo largo del cable, permitiendo un mayor ancho de banda.

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

---

2. Se establece comunicación entre el módulo de línea digital y el multiplexor de canales de 40G, se conectan las fibras entre ambos módulos, empleando el software se establece la conexión lógica; asociar al módulo digital de 40G al cual está siendo conectado, una vez hecha esa conexión se enciende el láser del módulo de línea digital vía software.
3. Asociación lógica entre el canal del multiplexor de 40G y el puerto de portadoras ópticas (GPO), para saber por cuál de los dos puertos está siendo transmitido, ver figura 3.61.
4. Conexión mediante fibra entre el puerto GPO del multiplexor de 40G y el multiplexor final de GPO'S, además de sintonizar mediante software el número del grupo por el cual será transmitido todo el grupo de lambdas de 40G hacia el multiplexor final, ver figura 3.61.
5. Verificación de la potencia del amplificador de transmisión y también la ganancia, de tal manera que cuando se inserte cada longitud de onda se mantengan los valores iniciales, cambiando la ganancia del amplificador, con esto logramos hacer que la potencia siga uniforme en el espectro.
6. Mediante un analizador de espectro se verifica que la longitud de onda haya sido insertada para ambos extremos del enlace.
7. Los pasos del 1 al 6 se ejecutan de la misma manera para ambos extremos de los enlaces puesto que nuestros enlaces son bidireccionales. El procedimiento se repite para insertar cada una de las longitudes de onda de 40G.

Al haber insertado los canales de 40G estos tienen en su inicio un valor de Q bajo, puesto que la potencia inicial es baja, sin embargo estos son mejorados haciendo una distribución de la potencia en el espectro para todas las longitudes de onda de 10G y 40G; es decir se realiza una distribución de la potencia de canales tomando en cuenta que para los canales de 10G el valor de Q debe permanecer mayor a 12 y para canales de 40G deben tener un mínimo de 11. La ecualización se realiza moviendo diferentes parámetros que a continuación se explican:

- Offset del GPO: Este parámetro afecta la potencia a todo el grupo de portadoras ópticas y puede ser modificado en el multiplexor de GPOS final, por lo que se pueden modificar los grupos de portadoras de 40G y 10G.
- Offset de OCH: El OCH afecta a la potencia únicamente de cada canal de 40G y es modificado en el módulo de línea digital submarino.
- Perfil del ecualizador: El perfil del ecualizador es modificado para poder hacer un cepillado en el espectro y que este quede uniforme, siendo usado este como último ajuste, el perfil es cargado vía software usando un archivo de Excel con la distribución de potencia que se necesita.
- Ganancia del amplificador: La ganancia del amplificador tiene que ser modificada al observar que la potencia transmisión de este es afectada al hacer un cambio en offset de OCG y Offset OCH, por lo que debemos mantener dicha potencia en todo momento.

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

Los pasos que se siguen para lograr la ecualización de ambos enlaces Puerto Barrios-Boca Ratón y Puerto San José-Lurín, se repiten en numerosas ocasiones hasta que se logra obtener los resultados deseados.

- Ajuste de offset por OCG.
- Validación de los valores de Q usando Link Tool y verificación de la estabilidad del enlace.
- Ajuste de offset por OCH.
- Validación de los valores de Q usando Link Tool y verificación de la estabilidad del enlace.
- Ajuste del perfil del ecualizador.
- Validación de los valores de Q usando Link Tool y verificación de la estabilidad del enlace.
- Ajuste del FFCR block size para cada canal de 40G.
- Ajuste de la ganancia del amplificador
- Validación de los valores de Q usando Link Tool y verificación de la estabilidad del enlace

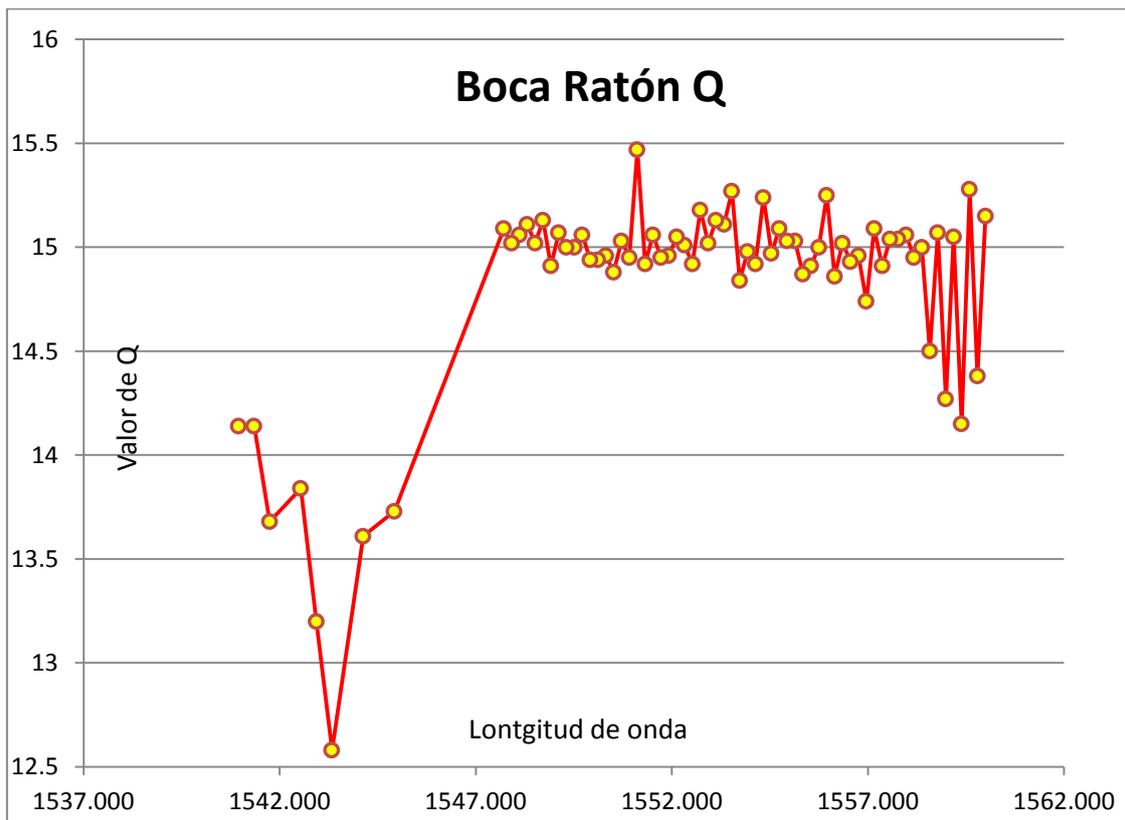
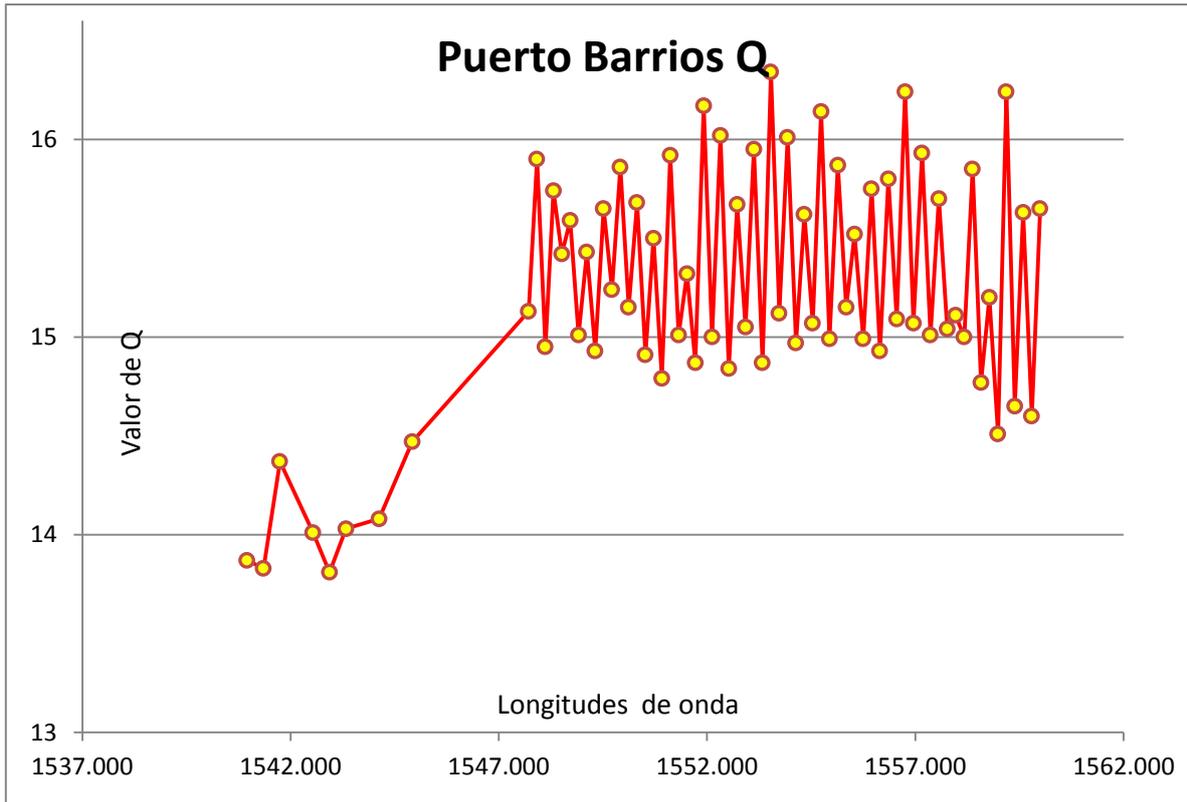


Figura 3.62 Gráfica Valores Q Boca Ratón



**Figura 3.63 Gráfica Valores Q Puerto Barrios**

|                | <b>BOCA RATON</b> | <b>PUERTO BARRIOS</b> |
|----------------|-------------------|-----------------------|
| Promedio Q     | 14.82             | 15.22                 |
| Promedio 10G Q | 14.98             | 15.37                 |
| Promedio 40G Q | 13.62             | 14.06                 |
| Mínimo 10G Q   | 14.15             | 14.51                 |
| Mínimo 40G Q   | 12.58             | 13.81                 |
| Máximo 10G Q   | 15.47             | 16.34                 |
| Máximo 40G Q   | 14.14             | 14.47                 |

**Tabla 3.64 Valores promedio finales por lambda**

En las figuras 3.62, 3.63, Tabla 3.64 y 3.65 se observan los valores de Q obtenidos después de hacer ajustes en el enlace Boca Ratón-Puerto Barrios para las longitudes de onda de 10G y 40G, donde finalmente se obtuvieron muy buenos niveles de la señal mejores de los que se tenían esperados arriba de 11 para las de 40G y 12 para las de 10G. Los promedios finales se muestran en 14.82 en Boca Ratón para 10G, 14.98 para 40G, en puerto Barrios 15.37 para 10G y 14.06 para 40G.

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

| Longitud de onda | Canal | GPO | Modulación | BOCA RATON | PUERTO BARRIOS |
|------------------|-------|-----|------------|------------|----------------|
| 1560             | 10    | 3   | 10G OOK    | 15.15      | 15.65          |
| 1559.79          | 2     | 3   | 10G OOK    | 14.38      | 14.6           |
| 1559.59          | 11    | 3   | 10G OOK    | 15.28      | 15.63          |
| 1559.39          | 3     | 3   | 10G OOK    | 14.15      | 14.65          |
| 1559.19          | 12    | 3   | 10G OOK    | 15.05      | 16.24          |
| 1558.98          | 4     | 3   | 10G OOK    | 14.27      | 14.51          |
| 1558.78          | 9     | 4   | 10G OOK    | 15.07      | 15.2           |
| 1558.58          | 1     | 4   | 10G OOK    | 14.5       | 14.77          |
| 1558.38          | 10    | 4   | 10G OOK    | 15         | 15.85          |
| 1558.17          | 2     | 4   | 10G OOK    | 14.95      | 15             |
| 1557.97          | 11    | 4   | 10G OOK    | 15.06      | 15.11          |
| 1557.77          | 3     | 4   | 10G OOK    | 15.04      | 15.04          |
| 1557.57          | 12    | 4   | 10G OOK    | 15.04      | 15.7           |
| 1557.36          | 4     | 4   | 10G OOK    | 14.91      | 15.01          |
| 1557.16          | 9     | 5   | 10G OOK    | 15.09      | 15.93          |
| 1556.96          | 1     | 5   | 10G OOK    | 14.74      | 15.07          |
| 1556.76          | 10    | 5   | 10G OOK    | 14.96      | 16.24          |
| 1556.55          | 2     | 5   | 10G OOK    | 14.93      | 15.09          |
| 1556.35          | 11    | 5   | 10G OOK    | 15.02      | 15.8           |
| 1556.15          | 3     | 5   | 10G OOK    | 14.86      | 14.93          |
| 1555.95          | 12    | 5   | 10G OOK    | 15.25      | 15.75          |
| 1555.75          | 4     | 5   | 10G OOK    | 15         | 14.99          |
| 1555.55          | 9     | 6   | 10G OOK    | 14.91      | 15.52          |
| 1555.34          | 1     | 6   | 10G OOK    | 14.87      | 15.15          |
| 1555.14          | 10    | 6   | 10G OOK    | 15.03      | 15.87          |
| 1554.94          | 2     | 6   | 10G OOK    | 15.03      | 14.99          |
| 1554.74          | 11    | 6   | 10G OOK    | 15.09      | 16.14          |
| 1554.54          | 3     | 6   | 10G OOK    | 14.97      | 15.07          |
| 1554.34          | 12    | 6   | 10G OOK    | 15.24      | 15.62          |
| 1554.13          | 4     | 6   | 10G OOK    | 14.92      | 14.97          |
| 1553.93          | 9     | 7   | 10G OOK    | 14.98      | 16.01          |
| 1553.73          | 1     | 7   | 10G OOK    | 14.84      | 15.12          |
| 1553.53          | 10    | 7   | 10G OOK    | 15.27      | 16.34          |
| 1553.33          | 2     | 7   | 10G OOK    | 15.11      | 14.87          |
| 1553.13          | 11    | 7   | 10G OOK    | 15.13      | 15.95          |
| 1552.93          | 3     | 7   | 10G OOK    | 15.02      | 15.05          |
| 1552.73          | 12    | 7   | 10G OOK    | 15.18      | 15.67          |
| 1552.52          | 4     | 7   | 10G OOK    | 14.92      | 14.84          |
| 1552.32          | 9     | 8   | 10G OOK    | 15.01      | 16.02          |
| 1552.12          | 1     | 8   | 10G OOK    | 15.05      | 15             |
| 1551.92          | 10    | 8   | 10G OOK    | 14.96      | 16.17          |
| 1551.72          | 2     | 8   | 10G OOK    | 14.95      | 14.87          |
| 1551.52          | 11    | 8   | 10G OOK    | 15.06      | 15.32          |
| 1551.32          | 3     | 8   | 10G OOK    | 14.92      | 15.01          |
| 1551.12          | 12    | 8   | 10G OOK    | 15.47      | 15.92          |
| 1550.92          | 4     | 8   | 10G OOK    | 14.95      | 14.79          |
| 1550.72          | 9     | 9   | 10G OOK    | 15.03      | 15.5           |
| 1550.52          | 1     | 9   | 10G OOK    | 14.88      | 14.91          |
| 1550.32          | 10    | 9   | 10G OOK    | 14.96      | 15.68          |
| 1550.12          | 2     | 9   | 10G OOK    | 14.94      | 15.15          |
| 1549.92          | 11    | 9   | 10G OOK    | 14.94      | 15.86          |
| 1549.72          | 3     | 9   | 10G OOK    | 15.06      | 15.24          |
| 1549.52          | 12    | 9   | 10G OOK    | 15         | 15.65          |
| 1549.32          | 4     | 9   | 10G OOK    | 15         | 14.93          |
| 1549.11          | 9     | 10  | 10G OOK    | 15.07      | 15.43          |
| 1548.91          | 1     | 10  | 10G OOK    | 14.91      | 15.01          |
| 1548.71          | 10    | 10  | 10G OOK    | 15.13      | 15.59          |
| 1548.51          | 2     | 10  | 10G OOK    | 15.02      | 15.42          |
| 1548.31          | 11    | 10  | 10G OOK    | 15.11      | 15.74          |
| 1548.11          | 3     | 10  | 10G OOK    | 15.06      | 14.95          |
| 1547.92          | 12    | 10  | 10G OOK    | 15.02      | 15.9           |
| 1547.72          | 4     | 10  | 10G OOK    | 15.09      | 15.13          |
| 1544.92          | 5     | 1   | 40G QPSK   | 13.73      | 14.47          |
| 1544.13          | 7     | 2   | 40G QPSK   | 13.61      | 14.08          |
| 1543.33          | 7     | 2   | 40G QPSK   | 12.58      | 14.03          |
| 1542.94          | 8     | 2   | 40G QPSK   | 13.2       | 13.81          |
| 1542.54          | 5     | 3   | 40G QPSK   | 13.84      | 14.01          |
| 1541.75          | 7     | 3   | 40G QPSK   | 13.68      | 14.37          |
| 1541.35          | 8     | 3   | 40G QPSK   | 14.14      | 13.83          |
| 1540.95          | 5     | 4   | 40G QPSK   | 14.14      | 13.87          |

**Tabla 3.65 Valores de Q para todas las lambdas Boca-Barrios**

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

| Longitud de onda | Canal | GPO | Modulación | Lurín, Perú | Puerto San José |
|------------------|-------|-----|------------|-------------|-----------------|
| 1560             | 10    | 3   | 10G OOK    | 13.09       | 14.21           |
| 1559.79          | 2     | 3   | 10G OOK    | 13.9        | 12.82           |
| 1559.59          | 11    | 3   | 10G OOK    | 13.89       | 14.17           |
| 1559.39          | 3     | 3   | 10G OOK    | 12.9        | 13.32           |
| 1559.19          | 12    | 3   | 10G OOK    | 14.25       | 14.18           |
| 1558.98          | 4     | 3   | 10G OOK    | 13.13       | 13.56           |
| 1558.78          | 9     | 4   | 10G OOK    | 13.66       | 14.15           |
| 1558.58          | 1     | 4   | 10G OOK    | 13.48       | 12.86           |
| 1558.38          | 10    | 4   | 10G OOK    | 13.88       | 13.79           |
| 1558.17          | 2     | 4   | 10G OOK    | 13.58       | 13.61           |
| 1557.97          | 11    | 4   | 10G OOK    | 14.15       | 13.82           |
| 1557.77          | 3     | 4   | 10G OOK    | 13.37       | 13.81           |
| 1557.57          | 12    | 4   | 10G OOK    | 14.04       | 13.83           |
| 1557.36          | 4     | 4   | 10G OOK    | 13.07       | 13.46           |
| 1557.16          | 9     | 5   | 10G OOK    | 13.13       | 13.32           |
| 1556.96          | 1     | 5   | 10G OOK    | 13.04       | 13.25           |
| 1556.76          | 10    | 5   | 10G OOK    | 13.52       | 14.13           |
| 1556.55          | 2     | 5   | 10G OOK    | 13.34       | 13.68           |
| 1556.35          | 11    | 5   | 10G OOK    | 13.68       | 14.09           |
| 1556.15          | 3     | 5   | 10G OOK    | 13.39       | 13.58           |
| 1555.95          | 12    | 5   | 10G OOK    | 14.08       | 14.55           |
| 1555.75          | 4     | 5   | 10G OOK    | 13.2        | 13.39           |
| 1555.55          | 9     | 6   | 10G OOK    | 13.78       | 13.86           |
| 1555.34          | 1     | 6   | 10G OOK    | 13.3        | 13.92           |
| 1555.14          | 10    | 6   | 10G OOK    | 13.43       | 14.05           |
| 1554.94          | 2     | 6   | 10G OOK    | 13.39       | 13.77           |
| 1554.74          | 11    | 6   | 10G OOK    | 13.52       | 13.76           |
| 1554.54          | 3     | 6   | 10G OOK    | 13.43       | 13.01           |
| 1554.34          | 12    | 6   | 10G OOK    | 13.65       | 14.08           |
| 1554.13          | 4     | 6   | 10G OOK    | 12.91       | 13.83           |
| 1553.93          | 9     | 7   | 10G OOK    | 13.67       | 13.35           |
| 1553.73          | 1     | 7   | 10G OOK    | 12.89       | 13.33           |
| 1553.53          | 10    | 7   | 10G OOK    | 13.16       | 13.98           |
| 1553.33          | 2     | 7   | 10G OOK    | 13.5        | 13.35           |
| 1553.13          | 11    | 7   | 10G OOK    | 13          | 13.7            |
| 1552.93          | 3     | 7   | 10G OOK    | 12.85       | 13.21           |
| 1552.73          | 12    | 7   | 10G OOK    | 13.18       | 13.48           |
| 1552.52          | 4     | 7   | 10G OOK    | 12.79       | 13.38           |
| 1552.32          | 9     | 8   | 10G OOK    | 13.71       | 13.38           |
| 1552.12          | 1     | 8   | 10G OOK    | 12.98       | 13.2            |
| 1551.92          | 10    | 8   | 10G OOK    | 13.01       | 14.04           |
| 1551.72          | 2     | 8   | 10G OOK    | 13.77       | 13.4            |
| 1551.52          | 11    | 8   | 10G OOK    | 12.95       | 13.95           |
| 1551.32          | 3     | 8   | 10G OOK    | 12.92       | 13.02           |
| 1551.12          | 12    | 8   | 10G OOK    | 12.72       | 13.76           |
| 1550.92          | 4     | 8   | 10G OOK    | 12.69       | 12.97           |
| 1550.72          | 9     | 9   | 10G OOK    | 13.42       | 13.34           |
| 1550.52          | 1     | 9   | 10G OOK    | 12.92       | 13.54           |
| 1550.32          | 10    | 9   | 10G OOK    | 13.27       | 13.52           |
| 1550.12          | 2     | 9   | 10G OOK    | 13.97       | 13.76           |
| 1549.92          | 11    | 9   | 10G OOK    | 13.74       | 13.96           |
| 1549.72          | 3     | 9   | 10G OOK    | 13.34       | 13.41           |
| 1549.52          | 12    | 9   | 10G OOK    | 13.46       | 13.76           |
| 1549.32          | 4     | 9   | 10G OOK    | 13.44       | 13.49           |
| 1549.11          | 9     | 10  | 10G OOK    | 13.07       | 13.55           |
| 1548.91          | 1     | 10  | 10G OOK    | 13.47       | 13.7            |
| 1548.71          | 10    | 10  | 10G OOK    | 13.74       | 13.91           |
| 1548.51          | 2     | 10  | 10G OOK    | 13.27       | 13.39           |
| 1548.31          | 11    | 10  | 10G OOK    | 13.55       | 13.59           |
| 1548.11          | 3     | 10  | 10G OOK    | 12.92       | 13.09           |
| 1547.92          | 12    | 10  | 10G OOK    | 13.06       | 14.04           |
| 1547.72          | 4     | 10  | 10G OOK    | 13.47       | 13.78           |
| 1544.92          | 0     | 1   | 40G QPSK   | 12.31       | 11.47           |
| 1544.13          | 0     | 2   | 40G QPSK   | 11.95       | 11.44           |
| 1543.33          | 7     | 2   | 40G QPSK   | 11.31       | 11.47           |
| 1542.94          | 8     | 2   | 40G QPSK   | 11.3        | 11.05           |
| 1542.54          | 5     | 3   | 40G QPSK   | 11.21       | 11.51           |
| 1541.75          | 7     | 3   | 40G QPSK   | 11.46       | 11.43           |
| 1541.35          | 8     | 3   | 40G QPSK   | 11.75       | 11.42           |
| 1540.95          | 5     | 4   | 40G QPSK   | 11.98       | 11.55           |

**Tabla 3.66 Valores de Q para las lambdas Lurín-Puerto San José**

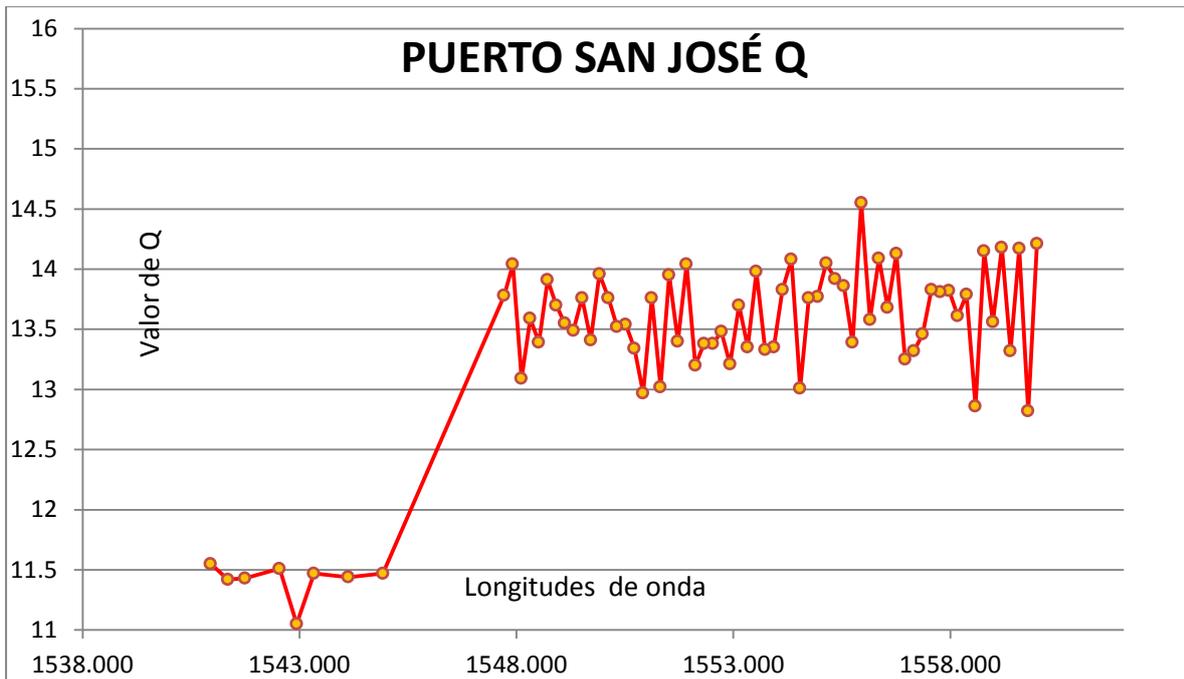


Figura 3.67 Valores de Q Puerto San José

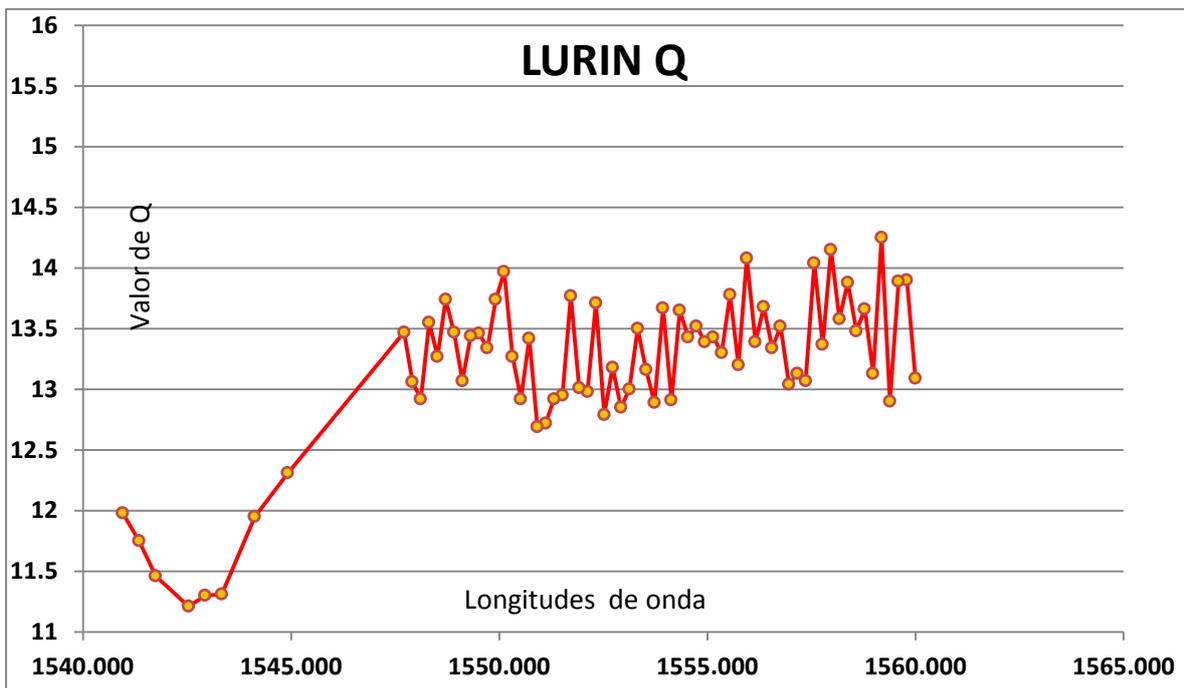


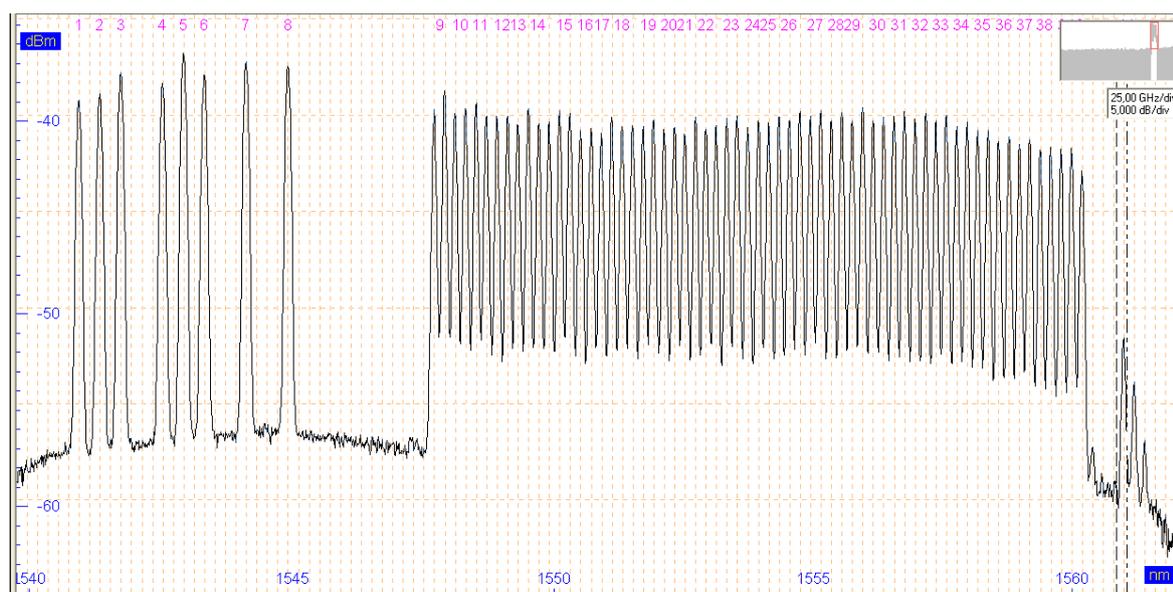
Figura 3.68 Valores de Q Lurín

## Capítulo 3 Análisis y metodología empleada

|                | LURIN Q | PUERTO SAN JOSE Q |
|----------------|---------|-------------------|
| Promedio Q     | 13.18   | 13.38             |
| Promedio 10G Q | 13.37   | 13.63             |
| Promedio 40G Q | 11.66   | 11.42             |
| Mínimo 10G Q   | 12.69   | 12.82             |
| Mínimo 40G Q   | 11.21   | 11.05             |
| Máximo 10G Q   | 14.25   | 14.55             |
| Máximo 40G Q   | 12.31   | 11.55             |

**Tabla 3.69 Valores promedio finales por lambda**

En las figuras 3.67, 3.68, Tabla 3.66 y 3.69 se observan los valores de Q obtenidos después de hacer ajustes en el enlace Lurín-Puerto San José para las longitudes de onda de 10G y 40G, donde finalmente se obtuvieron muy buenos niveles de la señal mejores de los que se tenían esperados arriba de 11 para las de 40G y 12 para las de 10G. Los promedios finales se muestran en 13.37 en Lurín para 10G, 11.66 para 40G, en Puerto San José 15.37 para 10G y 14.06 para 40G.



**Figura 3.70 Espectro de longitudes de onda**

En la figura se observan del lado izquierdo del espectro las longitudes de onda de 40 G ente 1540nm y 1545nm, y a la derecha las longitudes de onda de 10G, este espectro se logró conseguir para ambos enlaces, Puerto Barrios-Boca Ratón, Puerto San José-Lurín.

# Capítulo 4

## **PARTICIPACIÓN PROFESIONAL**

---

Inicie mis actividades profesionales en la empresa MCOMM México en abril de 2009, a partir de ese momento me inicie como ingeniero de sitio, realizando las actividades de instalación y configuración de radio bases GSM y CDMA, antenas y líneas de transmisión para diferentes clientes en la región de Centroamérica; meses más tarde participe en un proyecto de optimización de la red de telefonía celular GSM y WCDMA, realizando la actividad de drive test, la cual consistió en determinar el número de llamadas establecidas y caídas, conexión de paquetes de datos a la red, velocidad de subida y bajada de datos, cobertura de las antenas, validación de cambio entre celdas, entre otros parámetros importantes de medición para la red celular. En octubre de 2009 se me dio la responsabilidad de llevar a cabo el mantenimiento y operación de los equipos de transmisión de la red de fibra óptica en Guatemala, validando el buen funcionamiento de estos, potencias de transmisión y recepción, atenuación en cada segmento de la red, valores de calidad de las señales de 10G y 40G, además de resolver las falla de la red donde el servicio tiene problemas como afectación de servicio.

En 2010 lleve a cabo la planeación, instalación y puesta en marcha de los equipos de transmisión para ampliación de capacidad a la red de fibra óptica en Guatemala. En 2011 ejecute el proyecto de implementación de red de fibra óptica en México realizando diseño, planeación, instalación y puesta en marcha de los equipos para la red de fibra óptica que cubren alrededor de 3500 Km.

Uno de los proyectos más importantes que he tenido durante mi desarrollo profesional es el escrito en este trabajo, ya que implicó organizar, dirigir, instalar, poner en servicio cada equipo de transmisión, involucrado en cada uno de los enlaces internacionales para la red en Guatemala, demostrando mi capacidad para desarrollar un trabajo con alta responsabilidad.

Finalmente a lo largo de los estos años he seguido realizando el mantenimiento y operación de los equipos de transmisión en Guatemala, además de llevar a cabo proyectos de implementación en los cuales desarrollo habilidades de análisis de problema, soporte remoto y solución de problemas que presente la red, dirección de proyecto, organización del grupo de trabajo, y ejecución hasta al cierre del proyecto, en diferentes países: México, Estado Unidos, Costa Rica y Guatemala.

# Capítulo 5

## RESULTADOS Y APORTACIONES

---

### 5.1. Resultados

La ampliación de red 2011 en Guatemala se logró llevar a cabo exitosamente para cada uno de los segmentos de red; en el lado terrestre entre los Puerto Barrios-Puerto San José la capacidad de ancho de banda fue incrementado de 800Gbps a 1.2 Tbps sin que las señales sufrieran degradación por los parámetros fundamentales de la fibra óptica, obteniendo valores de Q de 16.28, 14.63 para Puerto Barros y 15.51, 13.06 para Puerto San José. En las estaciones de Puerto San José y Puerto Barrios se logró quitar de operación los amplificadores terminales de línea de antigua generación, dejando en buen funcionamiento los nuevos amplificadores logrando establecer los enlaces submarinos hacia Lurín y Boca Ratón, sin que la señal fuera afectada por el ruido, puesto que los ajustes realizados fueron suficientes para contrarrestar este parámetro. Además de la inserción de longitudes de onda de 40G, obteniendo valores aceptables de Q 15.37 para 10G y 14.06 para 40G en Puerto San José y Puerto Barrios 15.37 para 10G y 14.06 para 40G. Una vez concluidos los trabajos de incremento de capacidad se entrega la red al proveedor de servicios lista para poder satisfacer las demandas de ancho de banda para brindar servicios de datos, voz y video en la red de Latino América.

### 5.2. Aportaciones profesionales

El remplazo de los amplificadores terminales de línea, el enlace terrestre de Guatemala y la ecualización de canales para el enlace submarino fueron los aspectos más importantes en la realización de este proyecto, ya que estos nuevos elementos en la red funcionarán adecuadamente, comprendiendo y analizando cada uno de los parámetros que se tenían que ajustar hasta llegar a valores en los cuales los amplificadores operaran mejor que los que se tenían en la red, una vez que pude ajustar los parámetros el tráfico de información se restableció exitosamente, logrando el incremento de la capacidad de la red. La planeación que realice para la ejecución de este proyecto fue importante para poder entregar en tiempo y fechas establecidas por el proveedor de servicios, esto pudo ser posible mediante el análisis que hice de los materiales a usar para cada uno de los sitios, búsqueda de proveedores en donde analice cada producto ofrecido por estos viendo la factibilidad de compra y que estos fueran entregados, además de haber realizado un calendario efectivo para la instalación de cada sitio, selección del personal adecuado para llevar a cabo la instalación de los equipos, finalmente la coordinación y supervisión para la ejecución de cada una de las actividades de instalación, configuración y puesta en marcha de los equipos.

# Capítulo 6

## CONCLUSIONES

---

La demanda de los servicios de voz, internet, video por los usuarios finales han sido uno de las principales factores por los cuales cada día se requiere mayor capacidad de ancho de banda en las redes de fibras óptica y en este trabajo se ha presentado una solución y ejecución de la actividad de ingeniería para ser posible el incremento de capacidad en una red de fibra óptica y de esta manera se logró satisfacer la necesidad de los usuarios.

La realización del proyecto presentado en este trabajo escrito me permitió demostrar mis habilidades en la solución de problemas en el campo de las telecomunicaciones de los sistemas de transmisión DWDM aplicando mis conocimientos y habilidades adquiridas durante mi formación académica en la carrera de ingeniería en telecomunicaciones.

Dentro del plan de estudios 2005 de la carrera curse asignaturas como receptores, transmisores, medios de transmisión, comunicaciones digitales, sistemas de comunicaciones ópticos de las cuales el aprendizaje adquirido en cada una de estas fue de suma importancia para poder comprender cada uno de los diagramas de bloques del sistema de comunicaciones real y de esta manera dar solución y análisis a cada problema, logrando desarrollar un proyecto de suma importancia el cual establece una comunicación internacional entre los distintos países de Latinoamérica a través de diferentes enlaces usando como medio de transmisión la fibra óptica.

Por último este documento se realizó esperando contribuir al entendimiento de los sistemas de transmisión DWDM de alta capacidad que hoy en día son usados en las redes internacionales de largo alcance. Así como formar parte de una colección bibliográfica que sirva a futuros estudiantes de la carrera de ingeniería en telecomunicaciones que quieran entender sobre este tipo de sistemas.

## Bibliografía

- [1] Hayes, Jim. *Fiber Optics Technician's Manual*, Delmar Pub, College Park, Maryland, U.S.A., 2000. Pp.15
- [2] Ibidem. Pp17-19
- [3] Held, Gild. *Deploying Optical Networking Components*, McGraw-Hill, United States of America,2001.Pp.53-56
- [4] J, Regis. *Optical Switching and Networking Hanbook*, McGraw-Hill, United States of America, 2001. Pp.37-45
- [5] Held, Gild ob.cit Pp 44-46
- [6] Keiser, Gerd *Optical Communications Essentials*, McGraw-Hill, United States of America, 2004. Pp.10.
- [7] Ibidem. Pp 26-28
- [8] Ibidem. Pp 87-100
- [9] Agrawal, Govind P. *Fiber-Optic Communications Systems*, John Wiley & Sons, Inc. United States of America, 2002. Pp. 133-167
- [10] Dutton, Harry J. R. *Understanding Optical Communications*, IBM Corporation, International Technical Support Organization, 1998. Pp. 157-184
- [11] J, Regis ob.cit Pp 84-99
- [12] FUJITSU, *Tutorial DWDM*, Fujitsu Network Communications Inc., 2002. Pp. 11.
- [13] CISCO SYSTEMS, *Introduction to DWDM Technology*, Cisco Systems Inc., 2000. Pp 45-46.
- [14] Ibidem Pp 44.
- [15] Ibidem Pp 55-58.