

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**



**“DISEÑO DE UNA RED DWDM ASON PARA LOS DEPARTAMENTOS
DE PIURA, LAMBAYEQUE Y CAJAMARCA”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
Para optar el Título Profesional de

INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

PRESENTADO POR EL BACHILLER

SALVATIERRA RODRIGUEZ, ANTHONY AMADOR

**Villa El Salvador
2017**

A mi familia y amigos,

A veces en la vida encuentras personas que cambian tu vida simplemente por ser estar ahí cuando los necesitas y por ser un incondicional apoyo.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

AGRADECIMIENTOS

Antes yo pensaba que la universidad solo era estudio y dedicación. Luego entendí porque lo llaman universidad.

Es donde puedes encontrar todo tipo de personas como grandes amigos, y excelentes profesores. Cada uno viene de un "mundo diferente" y es por eso que la universidad engloba todos esos mundos es ahí donde se comparte las experiencias.

Al haber culminado la etapa de pregrado siento que aun puedo aprender mucho más pero no encontrar grandes personas como las que conocí dentro de la universidad, pienso que todos los días se puede aprender algo nuevo pero no olvidar lo vivido.

Ante lo expresado doy gracias a todos mis maestros, amigos y familiares que formaron parte en esta etapa de mi vida.

INDICE

| | |
|--|----------|
| CAPÍTULO I: Planteamiento del problema | 1 |
| 1.1. Descripción de la Realidad Problemática..... | 1 |
| 1.2. Justificación del Problema | 2 |
| 1.3. Delimitación del Proyecto | 2 |
| 1.4. Formulación del Problema | 3 |
| 1.4.1. Problema general..... | 3 |
| 1.4.2. Problema específico..... | 3 |
| 1.5. Objetivos | 3 |
| 1.5.1. Objetivo General | 3 |
| 1.5.2. Objetivos Específicos | 3 |
| CAPÍTULO II: Marco teórico | 4 |
| 2.1. Antecedentes de la investigación | 4 |
| 2.2. Bases Teóricas..... | 6 |
| 2.2.1. Generalidades de la fibra Óptica | 6 |
| 2.2.2. Principios básicos de la fibra óptica..... | 7 |
| 2.2.3. Tipos de Fibra..... | 8 |
| 2.2.4. Reflexión y Refracción..... | 8 |
| 2.2.5. Requisitos para una transmisión fiable..... | 9 |
| 2.2.6. Pérdida..... | 11 |
| 2.2.7. Atenuación..... | 12 |
| 2.2.8. Pérdidas intrínsecas | 14 |
| 2.2.8.1. Absorción debido a rayos ultravioletas e infrarrojos | 14 |
| 2.2.8.2. Scattering Rayleigh y Mie | 14 |
| 2.2.9. Pérdidas extrínsecas | 15 |
| 2.2.9.1. Absorción debido a impurezas | 15 |
| 2.2.9.2. Pérdidas por curvaturas y microcurvaturas | 16 |
| 2.2.10. Dispersión en las Fibras | 16 |
| 2.2.10.1. PMD: Dispersión del modo de polarización | 17 |
| 2.2.10.2. Dispersión modal..... | 18 |
| 2.2.10.3. Dispersión cromática | 19 |
| 2.2.11. Clasificación de las fibras | 19 |
| 2.2.11.1. Según sus modos | 19 |
| 2.2.11.2. Según sus perfiles de índice..... | 20 |
| 2.2.12. Amplificadores ópticos | 21 |
| 2.2.12.1. Amplificadores de fibra óptica dopada con erbio | 23 |
| 2.2.13. Tecnologías de multiplexación de señales en Fibra Óptica | 25 |
| 2.2.13.1. WDM: Wavelength Division Multiplexing | 25 |
| 2.2.13.1.1. Ventajas técnicas más importantes de WDM | 26 |
| 2.2.13.1.2. Ventanas de Transmisión para WDM..... | 28 |
| 2.2.14. Transponedores | 29 |
| 2.2.15. Conmutación automática de las redes ópticas..... | 29 |
| 2.2.16. Características de ASON..... | 31 |
| 2.2.17. MPLS: Multiprotocol Label Switching | 32 |
| 2.2.18. Evolución de IP/MPLS hacia ASON/MPLS | 33 |
| 2.2.19. Detección Coherente | 34 |
| 2.2.19.1. PDM-BPSK (con detección coherente) | 35 |
| 2.2.19.2. PDM-QPSK (con detección coherente)..... | 36 |
| 2.2.20. Herramientas para el desarrollo del proyecto..... | 36 |
| 2.2.20.1. MATLAB | 36 |

| | |
|---|-----------|
| 2.3. Marco Conceptual..... | 37 |
| 2.3.1. Fibra Óptica..... | 37 |
| 2.3.2. Ancho de banda..... | 37 |
| 2.3.3. CWDM..... | 39 |
| 2.3.4. DWDM..... | 39 |
| 2.3.4.1. Sistemas DWDM de largo alcance..... | 41 |
| 2.3.4.2. Componentes característicos de un sistema DWDM..... | 41 |
| 2.3.5. ASON: Automatically Switched Optical Network..... | 42 |
| 2.3.5.1. Plano de transporte..... | 43 |
| 2.3.5.2. Plano de control..... | 44 |
| 2.3.5.3. Plano de gestión..... | 45 |
| 2.3.6. Enrutamiento y Señalización..... | 45 |
| CAPÍTULO III: Diseño / descripción de la herramienta / modelo / sistema..... | 46 |
| 3.1. Análisis del modelo/ herramienta/sistema..... | 46 |
| 3.1.1. Tipo de proyecto..... | 46 |
| 3.1.2. Fases Metodológicas..... | 47 |
| 3.1.2.1. Etapa de Investigación..... | 47 |
| 3.1.2.2. Análisis y determinación de la fibra instalada y sus equipos..... | 47 |
| 3.1.2.3. Simulación de fallas..... | 48 |
| 3.1.2.4. Definición final del diseño..... | 48 |
| 3.2. Construcción, diseño o simulación de la herramienta / modelo / sistema..... | 49 |
| 3.2.1. Estudio de la Fibra óptica..... | 49 |
| 3.2.1.1. Asignación de nodos en la zona norte del Perú..... | 50 |
| 3.2.1.2. Medición de fibra utilizando MapSource..... | 53 |
| 3.2.2. Análisis de los requerimientos de la red..... | 54 |
| 3.2.3. Calculo de potencia (Optical Power Budget)..... | 58 |
| 3.2.3.1. Cálculo del presupuesto de potencia mediante la herramienta..... | 60 |
| 3.2.4. Estudio de los parámetros de dispersión..... | 63 |
| 3.2.5. Superación de deficiencias en relación a la dispersión en la fibra para un mejor rendimiento mediante nuevas técnicas de detección y modulación..... | 64 |
| 3.2.5.1. Cálculos de dispersión mediante la herramienta MATLAB..... | 67 |
| 3.3. Revisión y consolidación de resultados..... | 68 |
| 3.3.1. Exploración exhaustiva referente a redes DWDM-ASON..... | 68 |
| 3.3.2. Levantamiento de información de la ubicación de los nodos y distancias..... | 69 |
| 3.3.3. Determinación de los fenómenos ópticos y factibilidad técnica de los enlaces..... | 69 |
| 3.3.4. Definición de equipos y arquitectura definitiva de la red..... | 73 |
| 3.3.4.1. Descripción de los equipos..... | 73 |
| 3.3.5. Administración de red en diseño..... | 75 |
| 3.3.6. Elaboración del proyecto..... | 76 |
| 3.3.6.1. Diagrama de Gantt..... | 80 |
| Conclusiones..... | 81 |
| Recomendaciones..... | 83 |
| Bibliografía..... | 85 |
| Apéndice..... | 87 |
| Apéndice A..... | 88 |
| Anexos..... | 90 |
| Anexo A..... | 91 |
| Anexo B..... | 92 |
| Anexo C..... | 93 |
| Anexo D..... | 105 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Estructura básica de la Fibra Óptica | 6 |
| Figura 2. Diámetro de núcleo, revestimiento y recubrimiento | 7 |
| Figura 3. Diferencia entre refracción y reflexión..... | 9 |
| Figura 4. Principio de reflexión interna total | 9 |
| Figura 5. Rayo desviado por factores intrínsecos en la fibra | 11 |
| Figura 6. Atenuación total en función de las longitudes de onda | 13 |
| Figura 7. Clasificación de la dispersión..... | 17 |
| Figura 8. División de un pulso por PMD en una fibra Monomodo | 18 |
| Figura 9. Perfiles de índice..... | 21 |
| Figura 10. Sistema de transmisión óptica punto a punto y los amplificadores ópticos | 23 |
| Figura 11. Amplificador de fibra dopada por erbio y su funcionamiento..... | 24 |
| Figura 12. Esquema básico del funcionamiento de un sistema WDM | 25 |
| Figura 13. Evolución de WDM | 27 |
| Figura 14. Espectro de Absorción de la Fibra Óptica | 28 |
| Figura 15. Relaciones entre los componentes arquitecturales..... | 31 |
| Figura 16. Esquema básico de un sistema DWDM..... | 42 |
| Figura 17. Esquema técnico de la concesión | 49 |
| Figura 18. Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica..... | 50 |
| Figura 19. Nodos escogidos para el proyecto..... | 50 |
| Figura 20. Mediciones entre nodos del tendido de fibra óptica | 53 |
| Figura 21. Ventana de introducción de parámetros para el cálculo del Power Budget..... | 61 |
| Figura 22. Cálculos en MATLAB del power budget para el enlace Chulucanas - Huancabamba..... | 62 |
| Figura 23. Cálculos en MATLAB de la dispersión para el enlace Chulucanas - Huancabamba..... | 68 |
| Figura 24. Arquitectura definitiva de la red en el plano territorial | 75 |
| Figura 25. Diseño de red de administración | 76 |
| Figura 26. Elaboración de diagrama de Gantt en Excel..... | 77 |
| Figura 27. Diagrama de Gantt | 80 |
| Figura 28. Huawei OSN 1800 V | 91 |
| Figura 29. Huawei OptiX OSN 9800 U64 U16 y U32 | 92 |

INDICE DE ECUACIONES

| | |
|------------------|----|
| Ecuación 1 | 8 |
| Ecuación 2 | 12 |
| Ecuación 3 | 12 |
| Ecuación 4 | 15 |
| Ecuación 5 | 58 |
| Ecuación 6 | 60 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. ITU-T G.652.D attributes | 51 |
| Tabla 2. ITU-T G.655.C attributes..... | 52 |
| Tabla 3. Ubicación de nodos seleccionados | 54 |
| Tabla 4. Matriz de Lambdas por requerimiento de tráfico | 54 |
| Tabla 5. Resumen de especificaciones técnicas para el cálculo de presupuesto de potencia..... | 59 |
| Tabla 6. Resumen de efectos ópticos de los enlaces y especificaciones de los amplificadores (Chulucanas – Huancabamba)..... | 70 |
| Tabla 7. Resumen de efectos ópticos de los enlaces y especificaciones de los amplificadores (Chulucanas – Node Occidente) | 70 |
| Tabla 8. Resumen de efectos ópticos de los enlaces y especificaciones de los amplificadores (Chulucanas – Pacaipampa) | 70 |
| Tabla 9. Resumen de efectos ópticos de los enlaces y especificaciones de los amplificadores (Huancabamba – Jaen)..... | 71 |
| Tabla 10. Resumen de efectos ópticos de los enlaces y especificaciones de los amplificadores (Huancabamba – Node Occidente) | 71 |
| Tabla 11. Resumen de efectos ópticos de los enlaces y especificaciones de los amplificadores (Jaen – Node Occidente)..... | 71 |
| Tabla 12. Resumen de efectos ópticos de los enlaces y especificaciones de los amplificadores (Node Occidente – Pucara) | 72 |
| Tabla 13. Resumen de efectos ópticos de los enlaces y especificaciones de los amplificadores (Pacaipampa – Huancabamba)..... | 72 |
| Tabla 14. Resumen de efectos ópticos de los enlaces y especificaciones de los amplificadores (Pucara – Jaen)..... | 72 |
| Tabla 15. . Costo de equipos DWDM (Huawei, Alcatel y Ciena)..... | 74 |
| Tabla 16. Actividades del proyecto | 77 |

INTRODUCCIÓN

El concepto de banda ancha en países de desarrollo hace referencia a capitales y ciudades céntricas de dichos países pero muy poco frecuentado en los demás departamentos regionales. Dicha realidad se refleja en varios países, siendo uno de ellos Perú con un promedio de velocidad de acceso menor a los 2Mbps que es mucho menor en las regiones de poca población. El tener o no tener banda ancha no es el problema, sino tener la capacidad para satisfacer las necesidades de acceso y conectividad hoy en día.

El tener acceso a la banda ancha no solucionaría todos los inconvenientes de poder tener una conexión permanente siendo el medio fibra de tendido aéreo expuesta a distintas averías por corte de la misma ocasionado por fallas externas (caídas de postes por deslizamientos, huaycos, descarga eléctrica atmosférica, etc.). Este trabajo plantea un diseño de red DWDW (Dense Wavelength Division Multiplexing) en la zona norte del Perú siendo uno de los métodos más eficaces para la transmisión de datos a grandes velocidades con el fin de cubrir las necesidades de conexión para contrarrestar las averías que el medio de fibra pudiese tener de posibles eventualidades. Estas capacidades de transmisión están entre los 40Gb/s y 100Gb/s se lograrán utilizando la técnica de detección coherente y modulación PDM-QPSK.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la Realidad Problemática

Actualmente tener banda ancha no es el problema sino tener la capacidad suficiente para satisfacer a la cantidad de usuarios de una dentro una región o sitio poblacional con alta demanda de usuarios con un aceptable y dedicado servicio de banda ancha.

La aceptación y el beneficio es centralizado y priorizado en la capital del país por la cantidad de habitantes otorgando un servicio menos dedicado en las demás regiones siendo las empresas operadoras de telecomunicaciones que utilizan fibra óptica con tecnologías SDH (Synchronous Digital Hierarchy) y DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), migrando las redes SDH en su mayoría a DWDM por las diversas ventajas que esta ofrece a comparación con una red SDH.

La cantidad de fallas externas que puedan tener una red son muchas como corte de energía por la concesionaria, descargas eléctricas atmosféricas, deslizamiento de tierra ocasionado por huaycos, etc. a lo que se debe tener una contingencia para que los usuarios no sean afectados siendo una solución

eficiente y definitiva utilizando un método de conmutación para redes de fibra óptica como la red DWDM ASON (Automatically Switched Optical Network).

1.2. Justificación del Problema

Este proyecto surgió como la solución a un problema de masificación y equidad de beneficios tecnológicos en los departamentos de Lambayeque, Piura y Cajamarca para satisfacer y mejorar la calidad a la hora de compartir información, se ofrece emigrar redes existentes a una tecnología ASON para la conmutación rápida y automática de envío de información utilizando menos recursos evitando la conversión y el proceso que lleva una conmutación típica de paquetes óptico – eléctrico – conmutación – eléctrico – óptico.

1.3. Delimitación del Proyecto

Temporal: El diseño planteado en el proyecto será planteado durante Enero 2016 – Julio 2016 siendo este un periodo razonable para su elaboración.

Espacial: El diseño de una red óptica de conmutación automática (ASON) es orientado para los departamentos de Tumbes, Piura y Cajamarca.

Social: El grupo social donde se realiza el diseño son los habitantes de los departamentos de Tumbes Piura y Cajamarca, que asisten y hacen uso de las instituciones Educativas, de salud y comisarias.

1.4. Formulación del Problema

1.4.1. Problema general

La necesidad de poder realizar el diseño de este sistema, se resume en la siguiente interrogante a plantear ¿Cómo realizar una red DWDM – ASON para los departamentos de Piura, Lambayeque y Cajamarca?

1.4.2. Problemas específicos

1. ¿Cómo establecer la ubicación de los nodos dentro de las regiones beneficiadas?
2. ¿Cómo establecer la cantidad de enlaces (Fibra Óptica) a utilizar?
3. ¿Cómo definir equipos a utilizar para el proyecto?

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

El objetivo de este proyecto es el diseño de una red DWDM ASON para la diversificación y calidad equitativa de las telecomunicaciones de los habitantes en Tumbes, Piura y Cajamarca.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Establecer la ubicación de los nodos dentro de las regiones beneficiadas.
- Establecer la cantidad de enlaces (Fibra Óptica) a utilizar.
- Definir equipos a utilizar para el proyecto.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del proyecto

Las tendencia a obtener grandes velocidades y ofrecer mejor servicio para los habitantes de una localidad, ciudad, departamento y país ha pasado a ser una necesidad indispensable para el desarrollo de los mismos siendo cada vez mayo el consumo de datos por usuario ya sea en un equipo de escritorio o dispositivo móvil.

Un primer trabajo Corresponde a Antonio (2011) quien realizó “diseño de una red de transmisión óptica inteligente para el sur del Perú, utilizando tecnología ASON/GMPLS” En este trabajo se manejaron conceptos de redes inteligentes y protocolos de tendencias a seguir para su posible diseño.

Este trabajo realiza una comparación entre proveedores (HUAWEI - ALCATEL - INFINERA) de equipos de WDM/OTN para elegir el más adecuado para la red de prototipo.

El segundo trabajo corresponde a Gabriel (2014) quien realizó “Estudio de Factibilidad para la Implementación de una Red de Fibra Óptica entre

Desaguadero y Moquegua.”. En este trabajo se realiza un estudio de trazas sobre el plano terrestre para los cálculos de tendido de fibra desde un NAP (Desaguadero) hacia Moquegua y la proporción de necesidad de consumo de datos con tendencia hacia los próximos años.

Se analiza el presente proyecto haciendo comparaciones económicas y cantidades de nodos entre operadoras a nivel nacional en diversas tablas para su ejecución.

El tercer trabajo corresponde a José y Edgar (2014) quienes proponen “Manual para la caracterización de la fibra óptica en DWDM (Dense Wavelength División Multiplexing)” realizado para obtener conocimiento de equipos de mediciones , conectores tipos, métodos de transmisión, arquitectura a través de DWDM con el fin de obtener resultados certeros y satisfactorios al implementar un proyecto de este tema.

Un estudio de caracterización de fibra óptica es un proceso muy importante que ayuda a entender y a optimizar el performance de la red, identificando limitaciones en cada fibra, este servicio ayuda a reducir tiempo para acoplarnos a nuevos servicios debido a que identifica problemas.

DWDM por ser una red multicanal requiere de requisitos de instalación y mantenimiento diferentes a los de sistemas ópticos monocal, por lo tanto son necesarios procedimientos de medida y caracterización especiales enfocados a este tipo de transmisión.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Generalidades de la fibra Óptica

Filamento de material dieléctrico, como el vidrio o los polímeros acrílicos, Siendo esta un componente importante y utilizado en una red operadora de telecomunicaciones. La estructura básica de una fibra óptica se muestra en la Figura 1 la cual tiene un núcleo central, un revestimiento, y un recubrimiento externo que protege y refuerza la fibra.

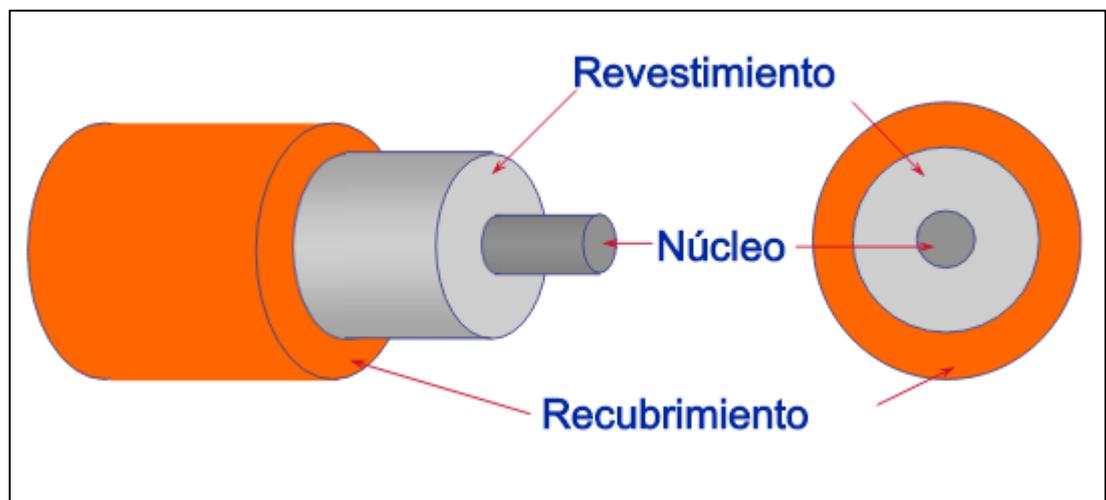


Figura 1. Estructura básica de la Fibra Óptica
Fuente: SlideShare Débora Blandon 2016

Capaz de conducir y transmitir impulsos luminosos de uno a otro de sus extremos; permite la transmisión de comunicaciones telefónicas, de televisión, etc., a gran velocidad y distancia, sin necesidad de utilizar señales eléctricas. Basada en la reflexión interna total entre el núcleo y revestimiento.

2.2.2. Principios básicos de la fibra óptica

El núcleo guía las señales luminosas que se transmiten. Una capa de vidrio denominada 'revestimiento' rodea el núcleo. El revestimiento confina la luz en el núcleo. La región externa de la fibra óptica es el 'recubrimiento', normalmente un material plástico, que proporciona protección y preserva la resistencia de la fibra de vidrio.

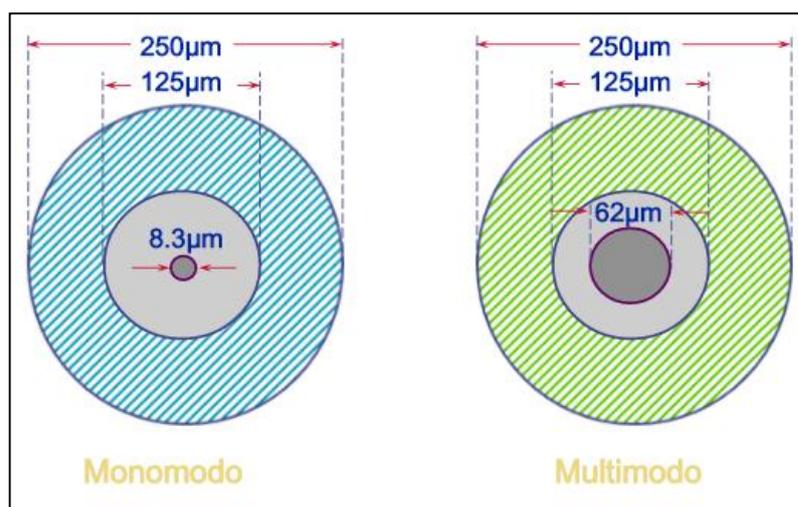


Figura 2. Diámetro de núcleo, revestimiento y recubrimiento
Fuente: SlideShare Débora Blandon 2016

2.2.2.1. Dimensiones típicas de la fibra

Se muestra en la figura 2 las dimensiones típicas según el tipo de fibra ya sea monomodo o multimodo. Para ambos casos la dimensión promedio del revestimiento es 125 μm pero varía el tamaño del núcleo siendo la monomodo más pequeña con un valor nominal de 8.3 μm y multimodo con un valor nominal de 62 μm.

2.2.3. Tipos de Fibra

El estándar ISO/IEC (std) 11801 define cuatro tipos de fibras ópticas para las diversas clases de aplicaciones de redes de edificio. El ISO/IEC std 11801 o std 24702 define tres tipos de fibra óptica multimodo (OM1, OM2 y OM3) y dos tipos de monomodo (OS1 y OS2). Estas designaciones también están encontrando aceptación en el mercado norteamericano y se enumeran en el documento TIA-568-C.3.

2.2.4. Reflexión y Refracción.

Todo material tiene un índice de refracción (n) el cual esta definido por la comparación entre la velocidad de la luz en el vacío c y su velocidad en un medio específico (v).

$$n=c/v$$

Ecuación 1

Los materiales utilizados para el núcleo y revestimiento tienen que tener diferente índice de refracción donde el índice de refracción del núcleo (n_1) es mayor al índice de refracción del revestimiento (n_2), es ahí donde la luz se refleja sin atravesar el revestimiento denominado reflexión interna total.

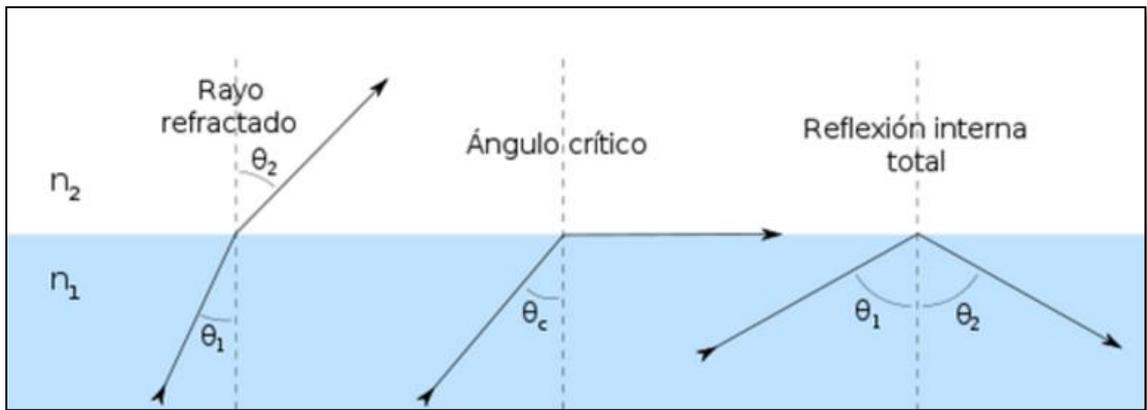


Figura 3. Diferencia entre refracción y reflexión.
Fuente: Wikipedia.org 2017

El núcleo envuelto totalmente por el revestimiento guiará la onda de luz hacia el otro extremo sin pérdidas siendo esto un caso ideal.

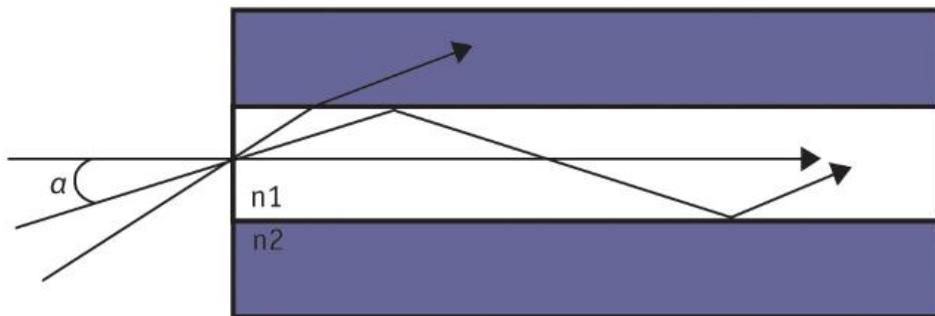


Figura 4. Principio de reflexión interna total
Fuente: fibroptica hoy.com 2017

2.2.5. Requisitos para una transmisión fiable

Cuando la fuente de luz en el dispositivo de transmisión genera un tren de pulsos el enlace de fibra óptica debe transmitir este tren de pulsos con suficiente fidelidad de señal para que el detector en el dispositivo receptor pueda detectar cada pulso con su verdadero valor de 'On' u 'Off'.

Como mínimo son necesarias dos cosas para garantizar la recepción y transmisión fiable:

- **Pérdida de inserción de canal**

La máxima pérdida de señal o atenuación de señal permitida en el medio de transmisión desde el dispositivo transmisor al receptor. El término 'canal' define el medio de transmisión extremo a extremo entre transmisor y receptor. La pérdida de señal está compuesta por las pérdidas acumuladas en el cableado de fibra óptica y en cada conexión o empalme.

- **Dispersión de señal**

Como vamos a estudiar, los pulsos de luz tienen una tendencia a esparcirse según viajan por el enlace de fibra debido a la dispersión. El esparcimiento debe limitarse para prevenir que los pulsos lleguen juntos o superpuestos al extremo receptor.

Ambos parámetros – pérdida de canal y dispersión de señal – desempeñan un papel crítico en el establecimiento de una transmisión fiable y libre de errores. La dispersión no se puede medir en campo. Los estándares de red definen una longitud de canal máxima para la fibra óptica; la longitud máxima es una función de la velocidad de datos y el índice de ancho de banda de la fibra óptica. El índice de ancho de banda, a su vez, se basa en mediciones de laboratorio para caracterizar la dispersión modal en fibras ópticas multimodo.

2.2.6. Pérdida

La pérdida o atenuación ha sido un parámetro de rendimiento bien establecido en los estándares de cableado y de aplicación de red. La señal debe llegar al final del enlace de fibra óptica – la entrada al detector en el dispositivo receptor – con suficiente potencia para ser correctamente detectada y decodificada. Si el detector no “ve” claramente la señal, la transmisión, sin duda, ha fracasado.

La atenuación o pérdida de señal en fibra óptica es producida por varios factores intrínsecos y extrínsecos. Dos factores intrínsecos son la dispersión y la absorción. La forma más común de dispersión, llamada ‘Dispersión de Rayleigh’, está causada por las no uniformidades microscópicas de la fibra óptica. Estas no-uniformidades provocan que los rayos de luz se dispersen parcialmente cuando viajan a lo largo del núcleo de fibra y, por lo tanto, se pierde algo de potencia de luz. La dispersión de Rayleigh es responsable de aproximadamente el 90 % de la pérdida intrínseca en las fibras ópticas modernas. Tiene una mayor influencia cuando el tamaño de las impurezas en el vidrio es comparable a la longitud de onda de la luz. Las longitudes de onda más largas, por lo tanto, son menos afectadas que las longitudes de onda más cortas y están sujetas a menor pérdida.

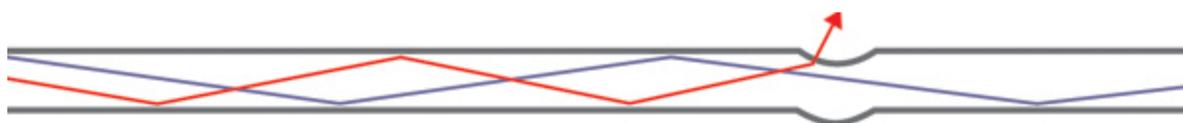


Figura 5. Rayo desviado por factores intrínsecos en la fibra
Fuente: fiberopticalhoy.com 2017

2.2.7. Atenuación

La atenuación es la pérdida de potencia que sufren las señales a medida que se propagan por la fibra. La forma de obtener la pérdida o atenuación $A(\lambda)$ en el interior de la fibra será la relación entre las potencias luminosas a la salida y a la entrada, expresada típicamente en decibelios.

$$A(\lambda) = 10\log(P_{sal}/P_{ent})|dB|$$

Ecuación 2

Siendo λ la longitud de onda P_{sal} la potencia de salida y P_{ent} la potencia de entrada.

$$\alpha(\lambda) = (1/L)*10\log(P_{sal}/P_{ent})|dBIKm|$$

Ecuación 3

El coeficiente de atenuación por unidad de longitud (L), generalmente en Km.

Las principales longitudes de onda en las telecomunicaciones corresponden a los puntos en donde la atenuación es mínima. Estas longitudes de onda son conocidas como ventanas de transmisión. El estándar UIT-T (por sus siglas en inglés, International Telecommunication Union, o Unión Internacional de Telecomunicaciones). G.692 ha definido ventanas adicionales llamadas bandas, las cuales son utilizadas en sistemas de transmisión DWDM.

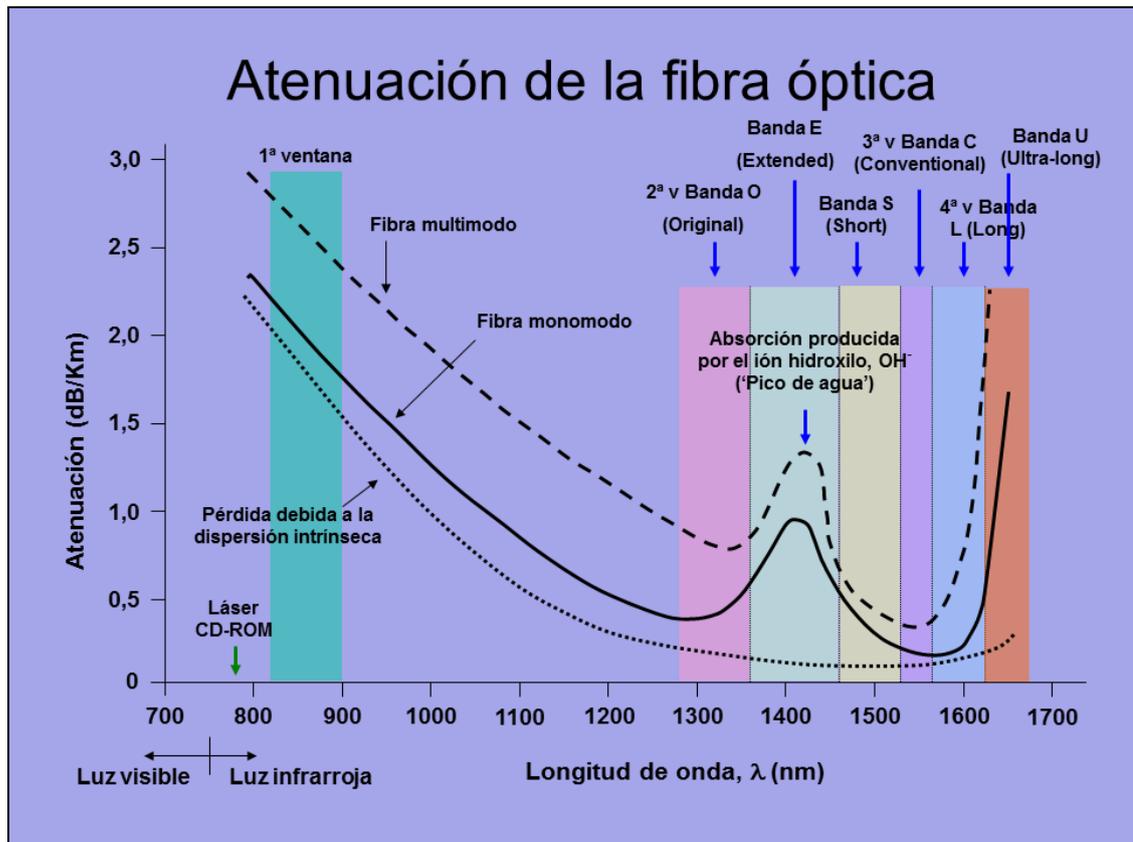


Figura 6. Atenuación total en función de las longitudes de onda
Fuente: Fibraopticahoy.com

Ventanas de transmisión DWDM

- 820 – 880 nm (1era Ventana)
- Banda O 1260 – 1360 nm (2da Ventana)
- Banda E 1360 – 1460 nm
- Banda S 1460 – 1530 nm
- Banda C 1530 – 1565 nm (3era Ventana)
- Banda L 1565 – 1625 nm
- Banda U 1625 – 1675 nm

2.2.8. Pérdidas intrínsecas

2.2.8.1. Absorción debido a rayos ultravioletas e infrarrojos

La absorción de radiación electromagnética se produce cuando pasa un electrón desde un cierto nivel energético a otro superior, que se encuentra desocupado. La mayor parte de estos saltos tiene lugar a frecuencias dentro del margen ultravioleta y su borde inferior el que linda con el visible. Esta absorción decrece exponencialmente con la longitud de onda y su influencia es despreciable a partir de los 1000nm.

Otro fenómeno aparece cuando se pasa a la región del infrarrojo. Los fotones que transportan la radiación infrarroja no tienen suficiente energía para provocar transiciones electrónicas pero si pueden conseguir vibraciones de los enlaces entre los átomos que constituyen el material. Se dice entonces, que una molécula absorberá la energía de un haz de luz infrarroja cuando dicha energía incidente sea igual a la necesaria para que se de una transición vibracional de la molécula. Es decir, la molécula comienza a vibrar de una determinada manera gracias a la energía que se le suministra mediante luz infrarroja. Este tipo de absorción crece exponencialmente con la longitud de onda, pero es apreciable a partir de los 1400nm.

2.2.8.2. Scattering Rayleigh y Mie

El scattering de Rayleigh se origina por las irregularidades submicroscópicas, que generan variaciones bien sean de densidad, de constante dieléctrica o de índice de refracción. Cuando los rayos de luz que se propagan por la fibra chocan con alguna irregularidad submicroscópica cuyo

diámetro es mucho menor que la longitud de onda, se difracta. La difracción hace que la luz se disperse en muchas direcciones, algo de luz continúa recorriendo la fibra y algo escapa a través del revestimiento. Los rayos que salen representan una pérdida denominada scattering de Rayleigh (P_{Rayleigh}). Esta pérdida de energía decrece exponencialmente con la cuarta potencia de la longitud de onda es decir:

$$P_{\text{Rayleigh}} = x \frac{1}{\lambda^4}$$

Ecuación 4

Esto lleva consigo el que, sea conveniente trabajar a una longitud de onda lo mayor posible. El Scattering de Mie ocurre debido a inhomogeneidades que son de una magnitud equivalente o mayor, que la longitud de onda de radiación que se propaga. Puede provenir de pequeñas alteraciones a lo largo de la fibra, en la geometría de la misma o causada por pequeñas burbujas o tensiones mecánicas en el material, afortunadamente la mayor parte de todas estas imperfecciones pueden ser eliminadas gracias a los procesos de fabricación, por ello, no suele ser tomada en cuenta en las fibras actuales.

2.2.9. Pérdidas extrínsecas

2.2.9.1. Absorción debido a impurezas

Dadas las condiciones en que se lleva a cabo la fabricación de las fibras, es prácticamente imposible asegurar que no se hayan introducido un cierto número de impurezas en el silicio. Entre las principales impurezas que se han encontrado, están los iones de algunos metales de transición como el

hierro, el cromo, el cobalto, el cobre, y además los iones OH que generan las mayores pérdidas.

Los modernos procesos de manufactura de fibras han reducido considerablemente el contenido de OH, llegando a ser menor de 0.001ppm (partes por millón).

2.2.9.2. Pérdidas por curvaturas y micro curvaturas

Cuando una fibra se someta a una curvatura por bobinado, tendido, etc. se origina una atenuación adicional por el hecho de que el interfaz núcleo-revestimiento deja de ser geoméricamente uniforme y no se cumple el principio de reflexión interna total, en consecuencia se produce una fuga de modos hacia el revestimiento, estas pérdidas son despreciables hasta que se sobrepasa una curvatura crítica.

Los defectos que provocan las llamadas pérdidas por micro curvaturas son las irregularidades entre el núcleo y el revestimiento.

2.2.10. Dispersión en las Fibras

La dispersión es una medida del ensanchamiento que sufren las señales ópticas en su propagación a través de la fibra y limita el ancho de banda de la fibra, puesto que la velocidad de transmisión debe ser tal que el ensanchamiento de los pulsos producido por la dispersión no consiga que éstos se solapen.

El fenómeno global de la dispersión se debe a los siguientes factores:

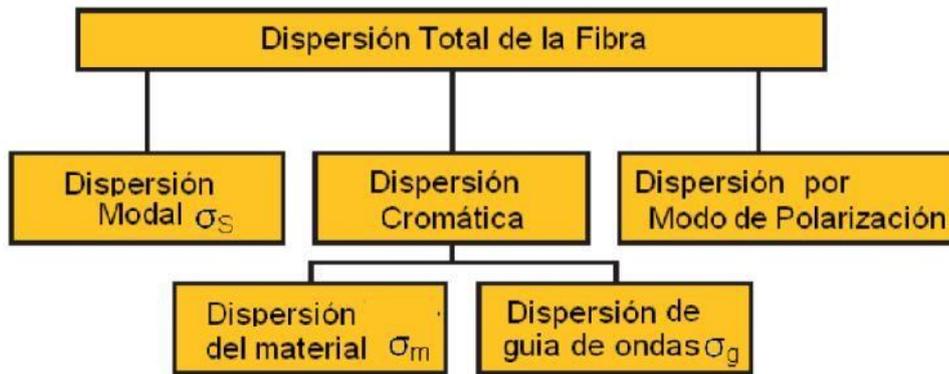


Figura 7. Clasificación de la dispersión
Fuente: (Sangucho & Morocho, 2009)

La dispersión modal y la dispersión cromática por su diferente naturaleza, han de sumarse cuadráticamente. Por el contrario las dispersiones del material y guía de ondas se suman de modo lineal.

2.2.10.1. PMD: Dispersión del modo de polarización

La PMD ocurre cuando las componentes ortogonales de polarización, llamadas de polarización, viajan a distinta velocidad de grupo, llegando en distintos tiempos al final de la fibra óptica, ensanchando y distorsionando los pulsos ópticos, lo que provoca interferencia entre símbolos y, por lo tanto, un aumento de la BER (por sus siglas en inglés, Bits Error Rate, o Tasa de bits errados). Esta diferencia de retardo entre los modos de polarización se denomina retardo diferencial de grupo DGD (por sus siglas en inglés, Differential Group Delay, o Grupo diferencial de retardo).

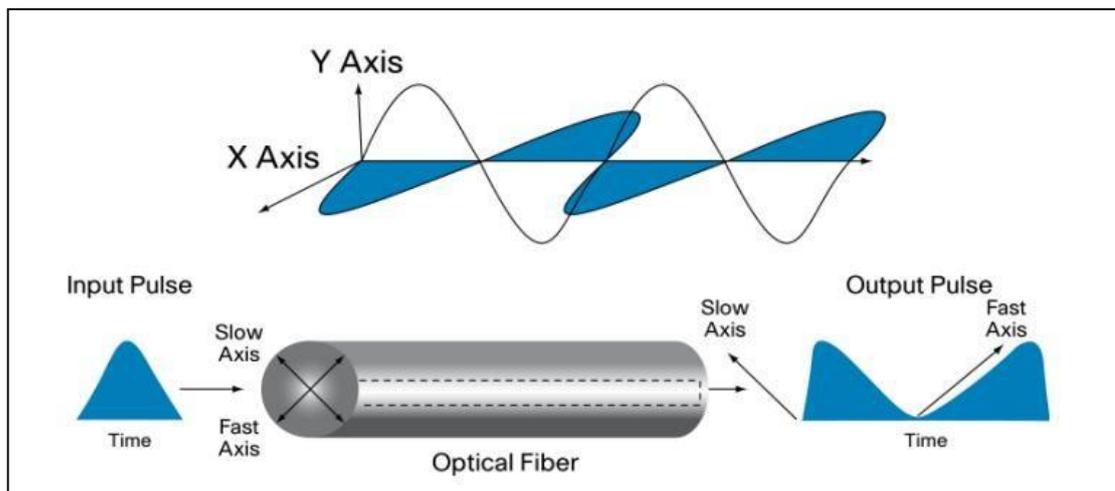


Figura 8. División de un pulso por PMD en una fibra Monomodo
Fuente: Fibraopticalhoy.com

Esta variación de la velocidad de grupo se produce por la birrefringencia de la fibra. La birrefringencia se debe a la pérdida de simetría en el índice de refracción del núcleo de la fibra debido a cambios moleculares del material (anisotropía) y/o pérdida de la geometría circular del núcleo de la fibra óptica. Las causas por las que una fibra óptica puede perder su geometría circular son: esfuerzos en el proceso de fabricación e instalación, contracción y dilatación debido a cambios de temperatura, tensiones, curvaturas, etc.

2.2.10.2. Dispersión modal

La dispersión modal se presenta cuando se transmiten más de un modo de propagación. Los diversos modos de propagación, llegan desfasados en el tiempo al extremo receptor por viajar por caminos diferentes, provocando un retardo relativo y en consecuencia un ensanchamiento del pulso de entrada.

2.2.10.3. Dispersión cromática

La dispersión cromática se presenta en todos los tipos de fibras ópticas, sin embargo como en las fibras multimodo la dispersión cromática es despreciable frente a la dispersión modal, sólo suele considerarse en fibras Monomodo.

Este fenómeno tiene como origen, el hecho de que las fuentes de luz disponibles no emiten una sola longitud de onda, sino un cierto ancho espectral $\delta\lambda$, distribuido alrededor de esta longitud de onda central, en virtud a este efecto la velocidad de grupo es diferente para cada componente espectral emitida por la fuente de luz, lo que trae consigo que cada componente espectral llegue al extremo de la fibra en un tiempo diferente, produciéndose un ensanchamiento de los pulsos.

2.2.11. Clasificación de las fibras

2.2.11.1. Según sus modos

Los cables de fibra óptica pueden clasificarse por su modo. Los rayos de luz propagados como una onda electromagnética a lo largo de la fibra. Los dos componentes, el campo eléctrico y el campo magnético forman patrones a través de la fibra. Estos patrones son llamados modos de transmisión. El modo de una fibra se refiere al número de trayectorias de los rayos dentro del cable. De acuerdo a los modos, la fibra puede clasificarse en dos tipos:

- Monomodo
- Multimodo

La fibra multimodo fue la primera en producirse y comercializarse. El término multimodo simplemente se refiere al hecho que numerosos modos (haces de luz) son llevados simultáneamente a través de la guía de onda. La fibra multimodo tiene un diámetro mucho más largo, comparado con la fibra Monomodo, esto permite gran cantidad de modos.

La fibra Monomodo permite una propagación de los rayos de luz por un solo sendero. Las fibras simples (Monomodo) son mejores para retener la fidelidad de cada pulso de luz sobre distancias largas, además de que no posee dispersión modal.

Por lo tanto, se puede transmitir mucha más información por unidad de tiempo. Esto da a la fibra Monomodo un mayor ancho de banda comparada con la fibra multimodo.

Una desventaja de la monomodo, es que poseen menores diámetros de núcleo, dificultando el acoplamiento de la luz adentro del mismo. Es requerida más precisión para los conectores y empalmes.

2.2.11.2. Según sus perfiles de índice

Otra manera de clasificar los cables de fibras es de acuerdo a los perfiles de índice de refracción de la misma. El índice de perfil es una representación gráfica de los valores de refracción a través del diámetro del núcleo.

Existen dos tipos básicos de perfiles de índice:

- Fibra SI (por sus siglas en inglés Step Index, o de Índice escalonado)
- Fibra GRIN (por sus siglas en inglés, Graded index, o de Índice gradual)

Tipos de pulso según su perfil de índice.

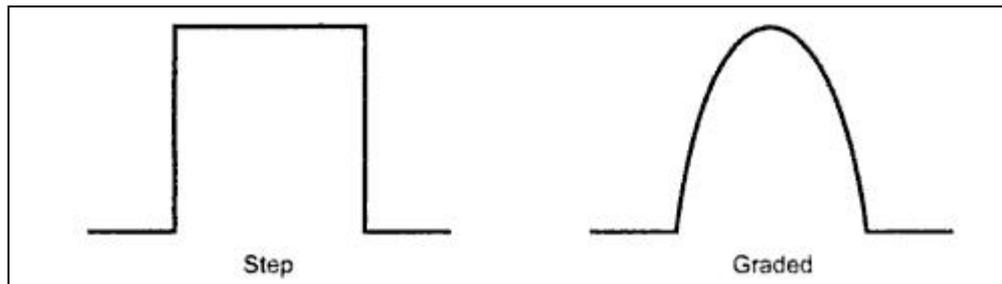


Figura 9. Perfiles de índice
Fuente: (Bagad, 2009)

2.2.12. Amplificadores ópticos

Los amplificadores ópticos lineales son usados regularmente para compensar la atenuación de la fibra, la división de la potencia óptica y otros factores. También pueden ser usados para realizar el procesamiento de la señal óptica no lineal y dar forma a la onda cuando se utilizan en un régimen no lineal.

La Figura 10 muestra un sistema de transmisión óptico punto a punto típico en el cual los amplificadores ópticos son usados para realizar varias funciones. La post- amplificación es usada en el transmisor para estimular e impulsar la potencia óptica. Los post-amplificadores (post-amp) son especialmente útiles si la potencia de un transmisor tiene que ser dividida y usada para difundir haces de luz entre varias salidas en una red óptica, por lo tanto, estos compensan la pérdida por división (splitting loss). El

requerimiento básico de un post-amplificador es suplir de suficiente potencia óptica en la salida de un transmisor.

En el caso de los amplificadores en línea (in-line optical amplifiers o line- amps) son usados a lo largo del sistema de transmisión para compensar la atenuación causada por la fibra óptica. En sistemas de transmisión de alta velocidad, los amplificadores en línea a menudo son colocados periódicamente a lo largo del enlace de fibra, uno por cada 80 km de distancia aproximadamente. El requerimiento básico para los line-amps es proveer la suficiente ganancia óptica. Adicionalmente, para soportar los sistemas WDM, estos deben tener un amplio ancho de banda y la ganancia óptica plana estar dentro del mismo ancho de banda.

Las técnicas de de ecualización de ganancia son usadas frecuentemente en los line-amps, además la ganancia de estos, debe ser lineal, para prevenir la diafonía (crosstalk) entre diferentes canales de longitud de onda.

Por otro lado, los preamplificadores son utilizados inmediatamente después del fotodiodo en el receptor óptico para formar el conocido receptor óptico pre amplificado. Apartando el requerimiento de la alta ganancia óptica, la más importante exigencia de un preamplificador es que el ruido debe ser bajo. La sensibilidad de un receptor óptico pre amplificado está altamente dependiente del ruido característico del preamplificador. Debido a sus diferentes aplicaciones, los diferentes tipos de amplificadores ópticos generalmente deben ser diseñados y optimizados de maneras diferentes para el mejor desempeño.

Los amplificadores ópticos más populares usados para las comunicaciones ópticas y sistemas electro-ópticos son los amplificadores ópticos semiconductores (SOA por sus siglas en inglés semiconductor optical amplifier) y los amplificadores de fibra óptica dopada con erbio (EDFA por sus siglas en inglés erbium-doped fiber amplifiers).

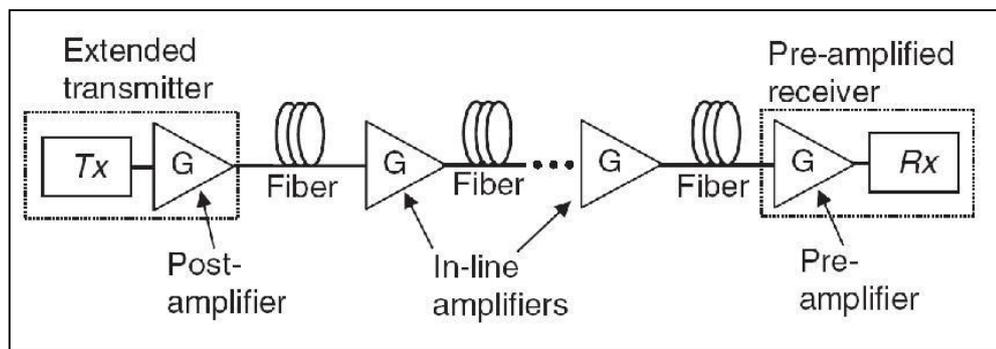


Figura 10. Sistema de transmisión óptica punto a punto y los amplificadores ópticos.
Fuente: (Hui & O’Sullivan, 2009)

2.2.12.1. Amplificadores de fibra óptica dopada con erbio

Un amplificador de fibra óptica dopada con erbio se compone de una longitud de fibra de sílice cuyo núcleo está dopado con átomos ionizados (iones) con un elemento muy raro de la Tierra denominado erbio. Esta fibra es propulsada mediante una bomba de señal procedente de un láser, típicamente a una longitud de onda de 980nm o 1480nm. Con el fin de combinar la salida de la bomba de láser con la señal de entrada, la fibra dopada es precedida por un acoplador selectivo de longitud de onda.

En la salida, otro acoplador selectivo de longitud de onda se puede utilizar si es necesario para separar la señal amplificada de cualquier otra

potencia de la bomba de la señal restante. Por lo general, se utiliza un aislador en la entrada y/o salida de cualquier amplificador para evitar reflexiones en el amplificador. Las reflexiones puede convertir el amplificador en un láser, por lo que es inservible como un amplificador.

Una combinación de varios factores han hecho que el EDFA sea el amplificador de elección en los actuales sistemas de comunicación ópticos de: la disponibilidad de propulsores de láseres semiconductores compactos y fiables de alta potencia, el hecho de que sea un dispositivo totalmente de fibra óptica, haciendo lo polarización independiente y fácil de acoplar con el haz de luz dentro y fuera de él, la simplicidad del dispositivo, y el hecho de que no introduce ninguna diafonía al amplificar las señales WDM.

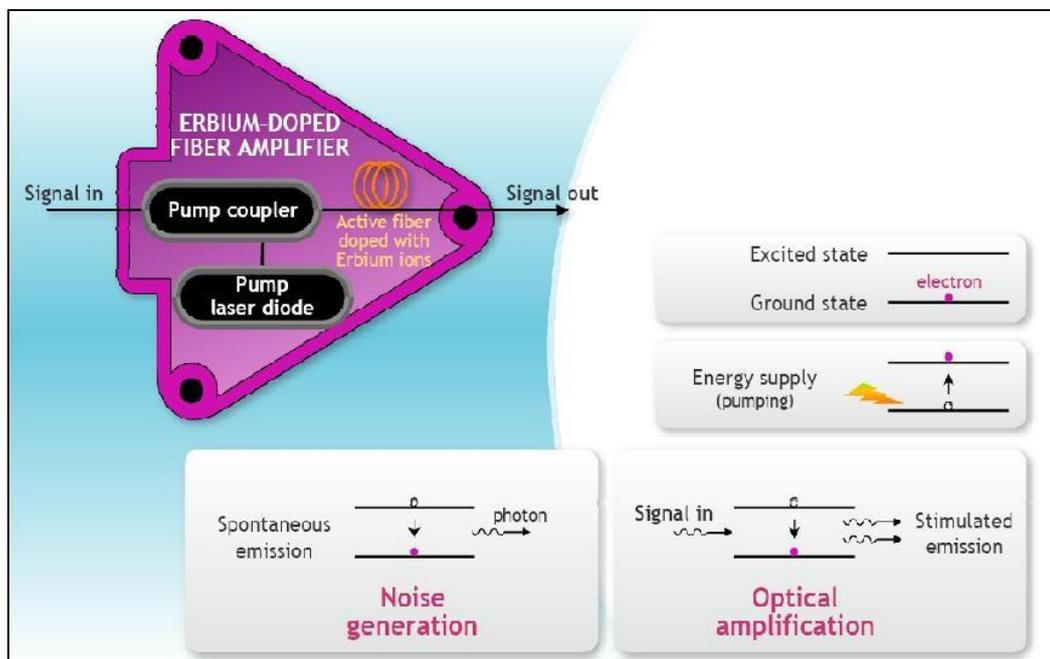


Figura 11. Amplificador de fibra dopada por erbio y su funcionamiento.
Fuente: (Alcatel-Lucent, 2007)

2.2.13. Tecnologías de multiplexación de señales en Fibra Óptica

2.2.13.1. WDM: Wavelength Division Multiplexing

La multiplexación por división de longitud de onda, es una técnica que permite enviar varias señales a diferentes longitudes de onda por una misma fibra óptica, además puede transmitir señales de distintas velocidades y formatos (SONET/SDH, Fiber Channel, Gigabit Ethernet, ATM/IP, etc.).

Se muestra un esquema del funcionamiento típico de un sistema WDM. Para cada uno de los canales hay un láser emitiendo a diferente longitud de onda, posteriormente se multiplexan todos los canales en una fibra óptica de gran capacidad. En el receptor un filtro óptico selecciona cada uno de los canales.

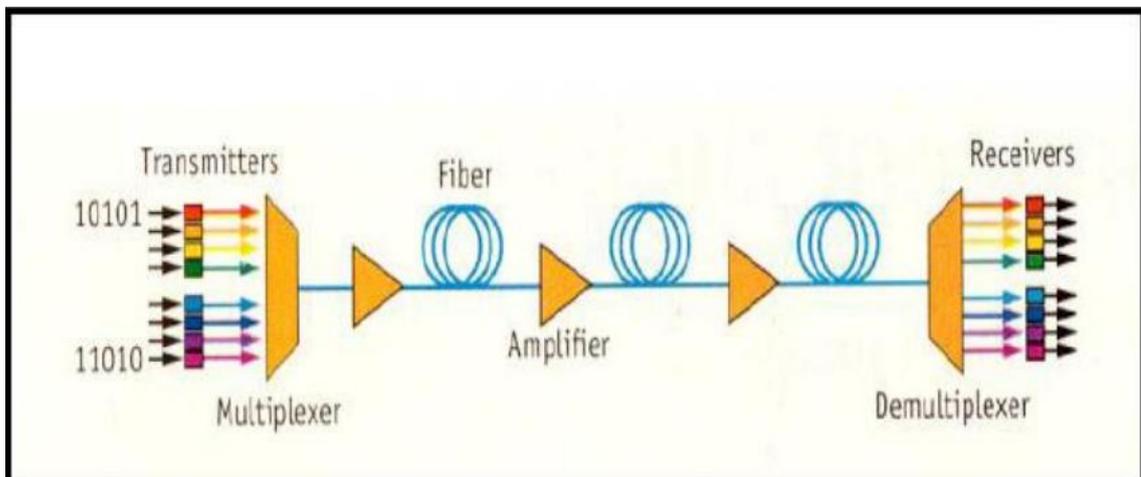


Figura 12. Esquema básico del funcionamiento de un sistema WDM
Fuente: (Alcatel-Lucent, 2007)

2.2.13.1.1. Ventajas técnicas más importantes de WDM

- **Transparencia:** WDM es una arquitectura de capa física, que puede manejar información TDM (por sus siglas en inglés, Time División Multiplexing, o Multiplexación por división de tiempo) y al mismo tiempo es compatible con formatos de datos como ATM (por sus siglas en inglés, Asynchronous Transfer Mode, o Modo de transferencia asíncrono), Gigabit Ethernet, ESCON, Fiber Channel en la misma capa física.
- **Escalabilidad:** WDM puede tener influencia en la fibra oscura que se encuentran en todas las áreas metropolitanas y con ello dar una respuesta rápida a una mayor demanda de capacidad punto a punto.
- **Provisión dinámica:** otorga una rápida, simple y dinámica provisión de conexiones de red, lo que ayuda al proveedor a obtener la capacidad de ofrecer altos servicios de banda ancha en días en lugar de meses.

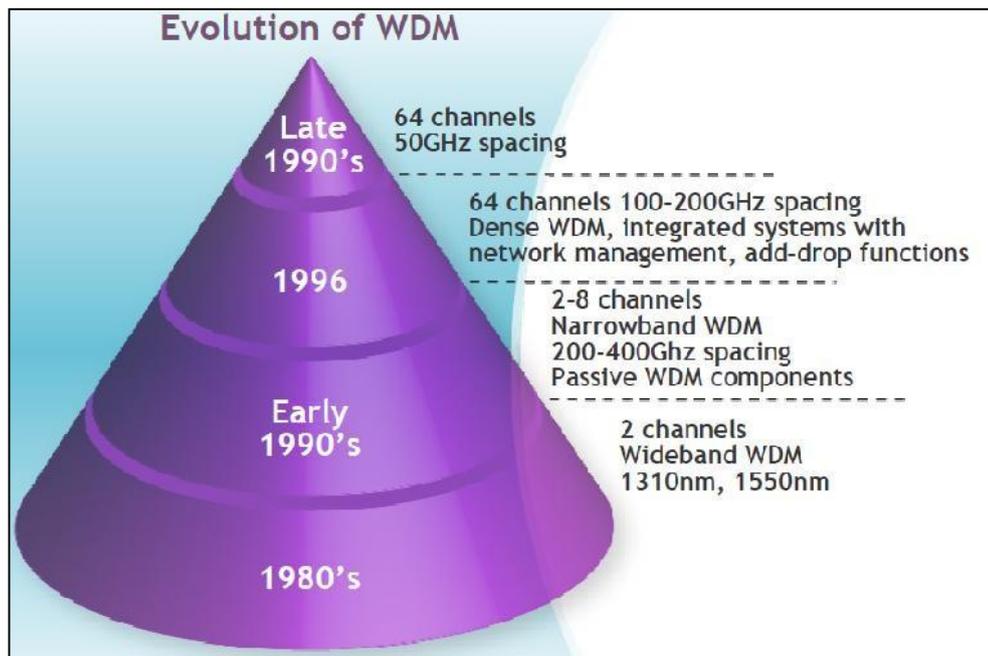


Figura 13. Evolución de WDM
Fuente: (Alcatel-Lucent, 2007)

En un principio el sistema WDM trasportaba dos o cuatro longitudes de onda que eran ampliamente espaciadas. WDM y las tecnologías siguientes de CWDM (por sus siglas en inglés, Coarse Wavelength Division Multiplexing, o Multiplexación por división aproximada en longitud onda gruesa) y DWDM han evolucionado en referencia a la cantidad de longitudes de ondas que transportaban.

WDM tradicional tiene un espacio de difusión para 2, 4, 8, 12 y 16 canales, ésta técnica usualmente tiene limitación de distancia, por debajo de 100km.

Cuando se descubre WDM se usó dos longitudes de onda ampliamente espaciadas una ventana de espacio entre 1310nm y 1550nm (o 850nm and 1310nm) algunas veces llamado ancho de banda WDM. Más tarde se creó la segunda generación de WDM, algunas veces llamada banda estrecha

WDM, en la que había de dos a ocho canales disponibles. Esos canales se encontraban espaciado en intervalos de 400GHz aproximadamente, en la ventana de 1550nm.

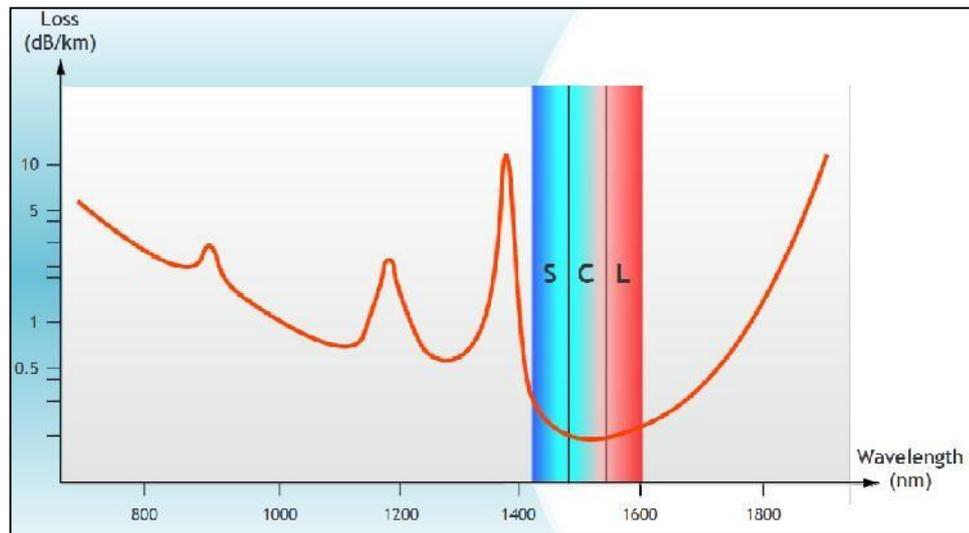


Figura 14. Espectro de Absorción de la Fibra Óptica
Fuente: (Alcatel-Lucent, 2007)

Basado en pérdidas ópticas de la fibra, el rango del espectro ha sido caracterizado con el propósito de crear la compatibilidad con las fuentes de luces, receptores y componentes ópticos, incluyendo la Fibra Óptica.

2.2.13.1.2. Ventanas de Transmisión para WDM

Para poder realizar el mejor uso del espectro y mayor aprovechamiento de la potencia de transmisión de cada uno de los transmisores en DWM, se han determinado tres ventanas para la transmisión de información:

- Primera venta: se encuentra situada en 850nm.
- Segunda ventana: se encuentra ubicada en 1300nm.
- Tercera ventana: se encuentra ubicada en 1550nm.

2.2.14. Transponedores

Los transponedores actuales ya no emiten a una frecuencia fija a su salida, sino que pueden ser sintonizados para trabajar con cualquier longitud de onda. La implicación inmediata de esto es que los operadores pueden reducir drásticamente la cantidad de repuestos así como equipar su red para trabajar con nuevos canales más rápidamente. Por otro lado, esto permitirá en un futuro cercano dar lugar a redes ópticas inteligentes, con la misma capacidad de provisión dinámica del ancho de banda, encaminamiento, protección y restauración, que las actuales redes de datos.

Actualmente, los transponedores también son capaces de soportar la tecnología de solitón que, básicamente, son pulsos estables que viajan a través de la fibra sin variar su forma, lo cual permite que las no linealidades y la dispersión de la fibra se compensen entre sí, alcanzando mayores distancias.

2.2.15. Conmutación automática de las redes ópticas

Obteniendo una visión en conjunto, el plano de control de la red óptica con conmutación automática tiene por finalidad:

- Facilitar la configuración rápida y eficaz de las conexiones dentro de una red de capa de transporte, para el soporte de conexiones conmutadas y de conexiones permanentes programables.
- Reconfigurar o modificar conexiones que soportan llamadas ya establecidas.
- Realizar una función de restauración.

Una arquitectura de plano de control bien diseñada debe dar a los proveedores de servicio el control de sus redes, al mismo tiempo que proporciona una estructura de comunicaciones rápida y fiable. El plano de control en sí debe ser fiable, escalable, y eficaz. Debe ser lo suficientemente genérico para soportar tecnologías diferentes, satisfacer necesidades comerciales diferentes y a una distribución diferente de las funciones por los vendedores (es decir, un empaquetamiento diferente de los componentes del plano de control).

El plano de control ASON consta de diversos componentes que suministran funciones específicas, incluida la determinación de ruta y señalización. Los componentes del plano de control se describen en términos que no imponen restricciones a la forma en que estas funciones se combinan y se reúnen en lotes. Las interacciones entre estos componentes, y el flujo de información necesario para la comunicación entre ellos, se obtienen gracias a interfaces.

Se presenta una visión de alto nivel de las interacciones de los planos de control, gestión y transporte para el soporte de conexiones conmutadas de una red de capa. Esta figura también incluye la red de comunicación de datos (RCD), que suministra los trayectos de comunicación para transportar información de señalización y gestión. (ITU, 2012).

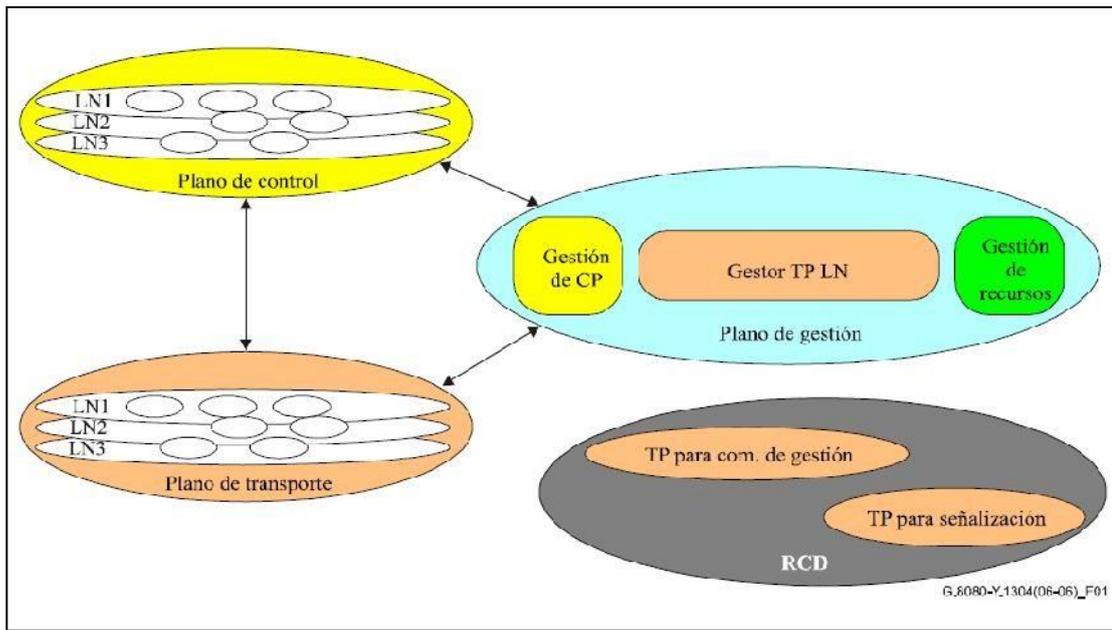


Figura 15. Relaciones entre los componentes arquitecturales
Fuente: (ITU, 2012)

2.2.16. Características de ASON

- Capacidad para introducir nuevos servicios ópticos, entre estos servicios se destacan dos: Servicio de Ancho de Banda bajo Demanda (BODS, Bandwidth On Demand Service) y Redes Privadas Virtuales Ópticas (OVPN, Optical Virtual Private Network)
- Capacidad de Enrutamiento Dinámico, auto detección de “vecinos”, auto detección de enlaces de conexión y auto detección de topología.
- Dado que la red ASON es capaz de enrutar y restaurar las conexiones automáticamente en una forma mucho más tolerante a fallas, el requerimiento de mantener la consistencia de la base de datos de topología es satisfecho. (Díaz Yáñez & Jiménez Jiménez, 2010)

2.2.17. MPLS: Multiprotocol Label Switching

El desarrollo de MPLS se llevó a cabo a mediados de los 90s para conseguir mayor eficiencia en redes ATM que transportan tráfico IP. La implementación de MPLS sobre una red IP tradicional introduce las siguientes ventajas:

- El encaminado se realiza de acuerdo a etiquetas de longitud corta y fija de nivel 2 en las capas OSI (por sus siglas en inglés, Open System Interconnection, o Modelos de interconexión de sistemas abiertos). Esto permite que el encaminado sea más eficiente que con las cabeceras tradicionales de nivel 3 y longitud variable.
- Ofrece la posibilidad de encaminado explícito, se crea un camino completo examinando un solo paquete. Los demás paquetes con el mismo destino no deberán ser examinados.
- Permite una administración de tráfico más flexible y eficiente por medio de la ingeniería de tráfico que permite equilibrar de forma óptima la utilización de los recursos, de manera que no haya algunos que estén muy utilizados, con posibles cuellos de botella, mientras otros puedan estar subutilizados.
- Ofrece soporte de QoS, mediante el establecimiento de rutas explícitas.

Debido a que MPLS utiliza la técnica de separar el control del encaminamiento, es capaz de operar sobre diferentes protocolos de nivel de enlace. Esto significa que MPLS puede ser implementado como un router más switches integrados.

Después de la integración de MPLS en las redes no orientadas a conexión como IP, se trató de hacer las redes más homogéneas al subir un nivel más en los protocolos de control y diseñar uno que pueda englobar la otra gran jerarquía de red como es SDH3, surgió GMPLS y con él se puede dar soporte a redes de conmutación de longitudes de onda (WDM), de paquetes (IP) y de circuitos (SDH).

GMPLS soporta cinco interfaces: interfaz de conmutado de paquetes, interfaz de conmutado a nivel 2, interfaz de multiplexado por división de tiempo, interfaz de conmutado por longitud de onda e interfaz de conmutado de fibra.

2.2.18. Evolución de IP/MPLS hacia ASON/MPLS

La tecnología MPLS (por sus siglas en inglés, Multiprotocol Label Switching, o Multiprotocolo mediante etiquetas) crece como la base para las nuevas redes de banda ancha ya que antes estaba basada principalmente en ATM, con velocidades que típicamente iban de los 155,52 Mbps hasta varios Gbps. ATM viene usándose desde que se hizo popular en 1988, y su renovación ya es un hecho.

MPLS ofrece grandes ventajas a la hora de definir y establecer VPNs. Además, MPLS ya tiene otras soluciones tecnológicas avanzadas, como son MPLS y GMPLS (por sus siglas en inglés, Generalized Multi-Protocol Label Switching, o Multiprotocolo mediante etiquetas generalizado), orientadas al dominio óptico.

2.2.19. Detección Coherente

La detección coherente en Fibra Óptica posee el mismo método aplicado en los receptores, cuando se transmiten microondas. Cuando es aplicado a la transmisión de longitudes de onda, un espectro de señales de fase moduladas en una longitud de onda, es recibido en un mezclador óptico. El oscilador local (una fuente de laser constante DC) sintonizado a una rejilla 50GHz es enviado al mezclador, a través de pulsaciones. Sólo la señal óptica en la frecuencia del oscilador local se amplifica (pulsaciones constructivas), mientras que todas las otras frecuencias que no sean coherentes con el oscilador local son atenuadas. La aplicación exitosa de esta técnica requiere grandes capacidades de procesamiento en señales digitales que sólo se pueden lograr en ultra-alta velocidad, con un material como el silicio. Una solución eficaz coherente es proporcionada por la combinación de detección coherente, ultra- alta velocidad en el procesador de señales digitales (DSP Digital Signal Processing,) en el receptor coherente y un formato de fase de modulación, tal como modulación por cambio de fase en cuadratura (QPSK Quaternary Phase-Shift Keying) o modulación por cambio de fase binaria (BPSK Binary Phase-Shift Keying). Aunque la arquitectura del receptor coherente es más compleja que en las soluciones convencionales, la solución coherente ofrece dos ventajas fundamentales:

- La recuperación de la información transportada por completo en el campo óptico, dando acceso a toda la información de la señal, tales como polarización, amplitud y fase. Esto introduce enormes oportunidades en el DSP para compensar las distorsiones lineales,

tales como dispersión cromática y dispersión por modo de polarización, que son inducidos por la transmisión dentro de la fibra óptica.

- El uso de las dos polarizaciones ortogonales de la señal óptica para la codificación de información múltiple. La multiplexación por división en polarización (PDM Polarization Division Multiplexing) duplica la capacidad de transportar y aumenta la eficiencia espectral mientras mantiene la compatibilidad, con separación entre canales de 50GHz en los filtros ópticos, como se soporta en el multiplexor óptico de adición/extracción reconfigurable (ROADM Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer).

Los formatos de modulación diferentes, dominio de fase y dominio de polarización, pueden combinarse y asociarse con detección coherente. Las siguientes modulaciones logran un mejor rendimiento en su clase y eficiencia:

2.2.19.1. PDM-BPSK (con detección coherente)

Lo mejor en su clase de 40 Gb/s de transmisión. La señal es una combinación de PDM y una sola portadora modulada en BPSK llevando un bit por símbolo y viajando a la velocidad de 20Gbaud por símbolo. Ofrece lo mejor en rendimiento de distancias ultra-largas debido a su excelente resistencia a los efectos no lineales y la compatibilidad con la actual transmisión de señales a 10 Gb/s sin retorno a cero (NRZ) ASK.

2.2.19.2. PDM-QPSK (con detección coherente)

Lo mejor en la clase de 100 Gb/s de transmisión. La señal es una combinación de PDM y una sola portadora modulada en QPSK llevando dos bits por símbolo y viajando a una velocidad de 25Gbaud por símbolo. Está optimizado para el transporte de grandes capacidad gracias a su mejor alcance, mejor resistencia a las deficiencias de fibra y excelente compatibilidad con los actuales 10 base Gb/s y 40 canales Gb/s. (Alcatel-Lucent, 2010).

2.2.20. Herramientas para el desarrollo del proyecto

2.2.20.1. MATLAB

MATLAB es el nombre abreviado de “MATrix LABoratory”. MATLAB es un programa para realizar cálculos numéricos con vectores y matrices. Como caso particular puede también trabajar con números escalares –tanto reales como complejos–, con cadenas de caracteres y con otras estructuras de información más complejas. Una de las capacidades más atractivas es la de realizar una amplia variedad de gráficos en dos y tres dimensiones. MATLAB tiene también un lenguaje de programación propio.

MATLAB es un gran programa de cálculo técnico y científico. El lenguaje de programación de MATLAB siempre es una magnífica herramienta de alto nivel para desarrollar aplicaciones técnicas, fácil de utilizar y que, aumenta significativamente la productividad de los programadores respecto a otros entornos de desarrollo. (García de Jalón, Rodríguez, & Vidal, 2005).

2.3. MarcoConceptual

2.3.1. Fibra Óptica

Es el medio de transmisión de datos más fiable en lo que se refiere a velocidad y confiabilidad menos propenso a interferencias externas ocurridas como en el cable de cobre (par trenzado, directo, espiral, etc), siendo afectado por campos magnéticos provocados por otros artefactos, dispositivos y/o del mismo tipo.

La fibra (Compuesta por fibra de plástico, vidrio, etc) es usada para transmitir haz de luz que es enviada por un láser que va rebotando (Reflexión) por el ducto o material hasta llegar al otro extremo llegando a transmitir información a grandes velocidades la cual no es usada para clientes de usuarios finales ya que esta se desperdiciaría por la enorme capacidad sin utilizar.

2.3.2. Ancho de banda

Una característica clave de rendimiento de fibra es el ancho de banda, o la capacidad de transportar información de la fibra óptica. En términos digitales, el ancho de banda se expresa en una velocidad de bits a la cual las señales se pueden enviar sobre una distancia dada sin que un bit interfiera con el bit anterior o posterior. El ancho de banda se expresa en el producto MHz*km. La interferencia se produce por el fenómeno de dispersión que se discutió anteriormente.

El ancho de banda puede definirse y medirse de varias formas. Las tres especificaciones normalizadas de ancho de banda y las medidas aplicables son Ancho de Banda en Desbordamiento, Ancho de Banda Modal Restringido y Ancho de Banda de Láser o Ancho de Banda Modal Efectivo. La razón de estos diferentes métodos proviene de las diferencias en las características de las fuentes de luz que se usan para transmitir información.

La fuente de luz tradicional para Ethernet a 10 Mbps y 100 Mbps ha sido el LED, una opción excelente para aplicaciones operando a velocidades de hasta 622 Mbps. Los LEDs producen una luz uniforme de salida que llena por completo el núcleo de la fibra óptica y utiliza todos sus modos de funcionamiento.

Para predecir mejor el ancho de banda de las fibras multimodo convencionales cuando se utilizan con fuentes de luz LED, la industria emplea un método llamado OFL (por sus siglas en inglés, Overfilled Bandwidth, o Ancho de Banda en desbordamiento).

Tal como se mencionó anteriormente, los LEDs no se pueden modular lo suficientemente rápido para transmitir los mil millones o más de pulsos por segundo necesarios para velocidades de datos Gbps. Una fuente de luz común para soportar las velocidades de transmisión Gb en aplicaciones de redes ópticas en edificios es la VCSEL a una longitud de onda de 850 μm . A diferencia de un LED, la salida de luz de un VCSEL no es uniforme. Cambia de VCSEL a VCSEL a través del extremo de la fibra óptica. Como resultado, los láseres no utilizan todos los modos en fibra multimodo sino más bien un conjunto restringido de modos. Y lo que puede ser más importante, cada láser

rellena un conjunto diferente de modos en la fibra y con diferentes valores de potencia en cada modo.

Un método óptimo para garantizar el ancho de banda en enlaces de fibra óptica para la implementación de las velocidades Gigabit es la medición del DMD (por sus siglas en inglés, Diferencial Mode Delay, o Retardo de modo diferencial). Esta técnica de medición es la única especificación de ancho de banda mencionada en las normas para velocidades de datos de 10 Gbps. El ancho de banda de láser o su ancho de banda modal efectivo se deriva matemáticamente de las mediciones de DMD.

2.3.3. CWDM

La Multiplexación por división aproximada en longitud onda gruesa viene dada como la evolución de WDM. Las longitudes de onda utilizables por los sistemas CWDM fueron estandarizadas por la ITU-T en el año 2002. La norma, denominada ITU-T G.694.2, se basa en una rejilla o separación de longitudes de onda de 20nm (o 2.500GHz) en el rango de 1.270 a 1.610nm pudiendo así transportar hasta 18 longitudes de onda en una única fibra óptica monomodo, lo que significó un mejor uso del ancho de banda y mayor envío de información en menor tiempo.

2.3.4. DWDM

Multiplexación por división de onda densa se diferencia de WDM fundamentalmente en el rango de las longitudes de onda que se multiplexan en

una sola fibra. DWDM introduce más longitudes de onda en la fibra, es decir un espaciado entre las longitudes de onda más estrecho que WDM, de manera que es posible incrementar la velocidad de los sistemas de transmisión a Terabits por segundo, sin necesidad de hacer nuevos tendidos de fibra. No existe una frontera claramente definida para el calificativo “densa”, pero puede considerarse así a partir de las 10 longitudes de onda.

El principal problema que presentaban tradicionalmente los sistemas DWDM para las operadoras era su enorme precio, sin embargo, la madurez de esta tecnología ha posibilitado el desarrollo de sistemas DWDM cada vez más asequibles y optimizados a los distintos entornos de red (acceso, metropolitano y larga distancia).

Actualmente, las tendencias y avances recientes en el campo de los componentes optoelectrónicos y electrónicos a 40 Gb/s, han demostrado que los sistemas de transmisión DWDM de larga distancia, son capaces de transportar sobre una fibra óptica monomodo hasta 160 canales a 40Gbps en el entorno de la tercer ventana, empaquetados densamente a intervalos de 50GHz (0.4nm) y cubrir distancias de hasta 5000Km sin regeneración eléctrica. De hecho algunos sistemas adoptan una separación entre canales de 25GHz. Investigaciones de laboratorio han podido realizar experimentos para transmitir 1022 λ en una misma fibra, sistema denominado UDWDM (por sus siglas en inglés, Ultra Dense Wavelength Division Multiplexing, o Multiplexación por división de onda ultra densa), con una separación entre canales de 10 GHz.

2.3.4.1. Sistemas DWDM de largo alcance

Las tecnologías DWDM necesarias para la transmisión punto a punto a gran distancia y gran capacidad comprenden:

- Amplificadores ópticos de bajo nivel de ruido, elevada potencia, gran ancho de banda y ganancia plana.
- Una fibra óptica optimizada y técnicas de gestión de la dispersión.
- Componentes electrónicos y opto electrónicos rápidos para equipos emisores y receptores.
- La reducción de la dispersión por modo de polarización (PMD).
- Módulos de compensación de dispersión.
- Una rápida tecnología de tratamiento óptico para la regeneración 2R-3R.

2.3.4.2. Componentes característicos de un sistema DWDM

Básicamente los elementos que generalmente se encuentran en un sistema DWDM son: los OTMs (por sus siglas en inglés, Optical Terminal Multiplexer, o Terminal óptico multiplexor), los OLAs (por sus siglas en inglés, Optical Line Amplifier, o Amplificador óptico de línea) y los OADMs (por sus siglas en inglés, Optical Add/Drop Multiplexer, o Multiplexor óptico de adición/extracción).

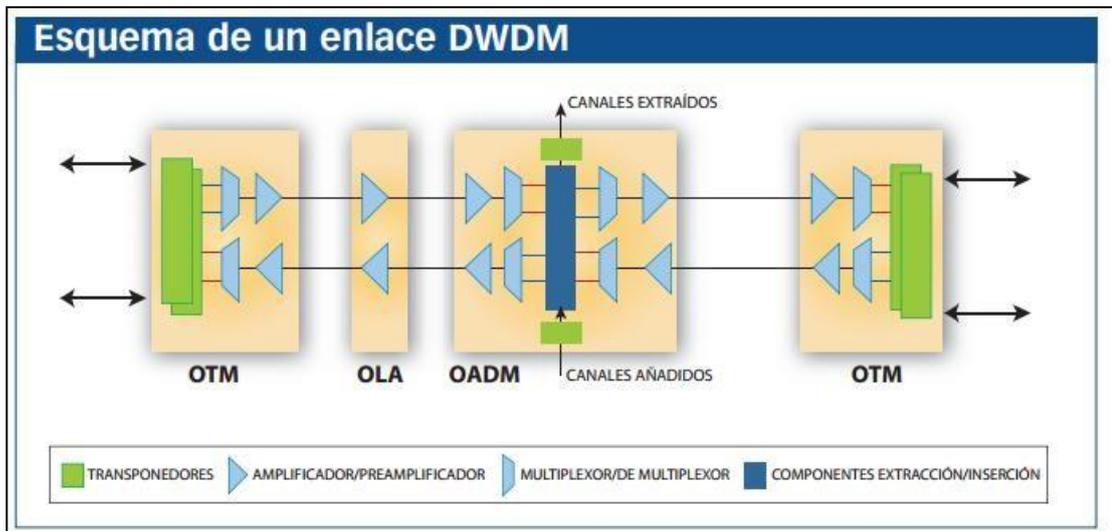


Figura 16. Esquema básico de un sistema DWDM
Fuente: (Millan, 2006)

2.3.5. ASON: Automatically Switched Optical Network

Este proyecto le presta especial atención a esta capa OTN, usando ASON/GMPLS para el control, la restauración de rutas ópticas. La estructura de la capa OTN está basada en capas ópticas (OTS_n, OMS_n, OCh) y eléctricas (OTU_k, ODU_k, OPU_k)

Mediante la cross-conexión y la multiplexación del canal ODU₁, la OTN permite que los servicios de baja velocidad de transmisión se vayan adaptando de manera flexible entre los OCh y el puerto del lado del cliente. Esto permite un balance en la alta utilización de ancho de banda de longitudes de onda y la adaptación flexible de servicios de extremo a extremo.

El mecanismo de control de distribución le brinda a las redes que usan ASON una serie de beneficios como la rápida provisión de circuitos, rápida

adaptación a las demandas de servicios, escalabilidad robusta, mecanismos de protección y restauración rápidos, y también resuelve el problema de la creación de circuitos entre vendedores. Así mismo reduce de manera sorprendente los requerimientos de trabajo para el sistema de gestión de la red, transfiriendo sus funciones al plano de control óptico, que es introducido por primera vez con ASON.

Por contraparte con todos estos beneficios hay ciertas consideraciones que se deben tener en cuenta respecto al CAPEX que implica el despliegue de una red de este tipo.

Cuando se trata de una red de larga distancia nacional por lo general no se tienen muchas rutas alternativas. En el caso de Brasil la situación es aún más crítica debido a las dimensiones del país y a la distribución de los principales centros económicos a lo largo de la costa.

2.3.5.1 Plano de Transporte

El plano de transporte es el responsable de las funciones de transporte de los servicios, conmutación y multiplexación. Está compuesto por los conmutadores ópticos y los enlaces de fibra óptica; por lo tanto es el encargado de suministrar los canales ópticos unidireccionales o bidireccionales entre usuarios.

2.3.5.2 Plano de Control

El Plano de control es el que le otorga inteligencia a la red óptica y permite el restablecimiento en topologías tipo malla. Está formado por controladores de conexiones ópticas OCC, que en realidad son procesadores individuales en cada nodo, los cuales proveen una interface de señalización para la función de control de las conexiones. Los procesadores ejecutan un software de control y usan un canal de comunicación para crear un plano superpuesto descentralizado.

Este plano permite realizar un control directo de la comunicación entre los nodos, a diferencia de las redes ópticas tradicionales en las que todo el control se realizaba en el NMS, lo que permite reducir la complejidad de la gestión de la red. Además es el principal responsable del re encaminamiento del tráfico, así como de la restauración de enlaces caídos. [FOI2008],

El plano de control requiere también una red de señalización (SCN) para darle soporte a los elementos de control al proveerles el canal de comunicación necesario. Esta red de control representa el medio de transmisión para los mensajes de control y puede ser dentro de banda (“in-band”), es decir que puede usar la misma infraestructura que la red ASON, o fuera de banda (“out-band”), soportado en una topología física distinta que la red ASON subyacente.

Con la introducción de este plano de control lo que se busca es mejorar la confiabilidad y estabilidad de la red, disminuir el costo de propiedad de la red (TCO) y simplificar la operación de la red.

2.3.5.3 Plano de Gestión

El Plano de gestión se amplía para integrar las funciones de operación, administración, mantenimiento y provisión (OAM&P) para los planos de transporte y control. Los componentes del plano de control se modelan como entidades administradas en el plano de gestión, el cual lleva a cabo las funciones de configuración, gestión de averías, reportes, contabilidad y seguridad para minimizar los problemas de interrupción.

2.3.6. Enrutamiento y Señalización

La arquitectura de ASON trata separadamente las llamadas y su control de conexión. Esto permite la introducción de servicios mejorados, en donde una simple llamada puede estar compuesta de más de una aplicación. Esta característica brinda beneficios a las áreas de mantenimiento y restauración.

El control de la conexión a través de múltiples dominios requiere la cooperación entre los controladores de estos diferentes dominios. Una Federación se define como la comunidad de dominios que cooperan para una mejor gestión de sus conexiones.

Están definidos dos tipos de Federaciones: el modelo de federación conjunta, en donde un controlador de conexión tiene autoridad sobre otros controladores de dominios diferentes. El segundo modelo es un modelo totalmente cooperativo, en donde no existe la figura de un líder.

CAPÍTULO III: DISEÑO/ DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA/ MODELO/SISTEMA

3.1. Análisis del modelo/ herramienta/sistema

La siguiente sección tiene como propósito señalar al lector claramente las herramientas y los procesos utilizados para realizar el proyecto de forma secuencial con el fin de cumplir con los objetivos planteados en el capítulo I, y adicionalmente se ofrece una descripción detallada de cómo se llevó a cabo el proyecto.

3.1.1 Tipo de proyecto

Este diseño corresponde a un proyecto de tipo factible, “El Proyecto Factible consiste en la búsqueda, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos. El Proyecto debe tener apoyo en una investigación de tipo documental, de campo o un diseño que incluya ambas modalidades.”, por lo tanto refleja la situación

de dicho trabajo de grado, que busca solventar la baja capacidad transmisión de datos sobre todo a la población de una región de Perú

3.1.2 Fases Metodológicas

3.1.2.1 Etapas del proyecto

Se realizó una exploración teórica y conceptual de todo lo relacionado con los sistemas de transmisiones ópticas, funcionamiento, composición, equipo e implementación, además de las tecnologías DWDM y ASON.

Se familiarizó con las técnicas de diseños en fibra óptica, además de la revisión y estudio de las recomendaciones de la ITU.

3.1.2.2 Análisis y determinación de la fibra instalada y sus equipos

Como primer objetivo en esta fase, se recogió información de la fibra instalada en la red dorsal nacional de fibra Óptica, con el fin de determinar las distancias entre nodos y la tipología de la misma, para poder llevar a cabo toda la implementación en el diseño.

Mediante MapSouce se determinaron las distancias existentes entre cada uno de los nodos, para poder obtener los cálculos de factores que afecten la red y poder designar los equipos más convenientes para disminuir los efectos de los mismos.

Mediante una matriz de tráfico se determinaron las longitudes de ondas requeridas en la red tomando en cuenta las necesidades del cliente.

Por último, se buscaron los equipos ideales para cumplir con las exigencias técnicas de la red, calculando y detallando los fenómenos ópticos que afectan a la misma.

3.1.2.3 Simulación de fallas

Se realizaron pruebas iterativamente simulando hasta tres cortes de fibra para observar la capacidad de la red en encontrar otro trayecto en caso de que alguno de los enlaces que componen la ruta principal sufriera alguna falla.

3.1.2.4 Definición final del diseño

En esta última etapa, se definieron todos los equipos que formaron parte de la red, tomando en cuenta cada uno de los factores que podrían afectar la señal, para ello, se realizaron los cálculos del presupuesto de potencia mediante operaciones realizadas con la ayuda del software llamado MATLAB, además de otras simulaciones y parámetros otorgados por el operador de telecomunicaciones. Por último, se definió la arquitectura de la red, especificando cada uno de los elementos que la deben conformar.

3.2. Construcción, diseño o simulación de la herramienta / modelo / sistema

Contamos con una red de Fibra Óptica a nivel nacional a nivel de costa con baja penetración en la sierra y Selva. Se requiere tener una red De fibra Optica en cada región del Perú para lo cual se realizara el diseño de una red DWDM ASON en el norte del Perú Se comienza con el estudio de la fibra óptica ya instalada, sus nodos y distancias en las regiones asignadas, continuando con la evaluación del tráfico posible en la red. Posteriormente, se detallan como se lograron los cálculos para determinar la factibilidad técnica de la red, y por último, se explica el proceso de simulación de fallas de los enlaces.

3.2.1 Estudio de la Fibra óptica

La red de Fibra Óptica se expande atreves de las torres de alta y media tensión de las empresas que brindan este servicio obteniendo la facilidad de poder transportar la fibra a todo el territorio peruano.

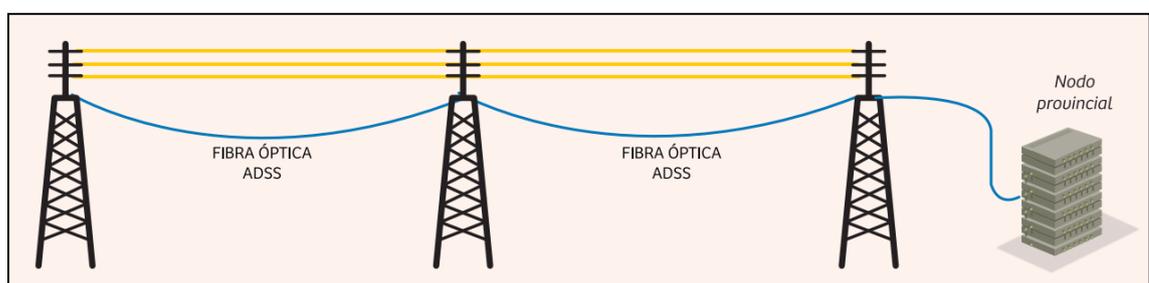


Figura 17. Esquema técnico de la concesión
Fuente: Proinversión 2016



Figura 18. Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica
Fuente: Proinversión 2016

3.2.1.1. Asignación de nodos en la zona norte del Perú.

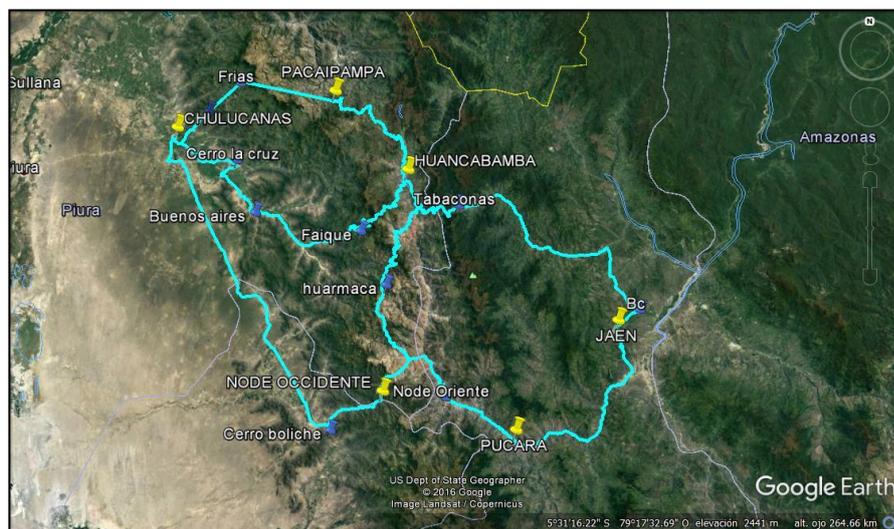


Figura 19. Nodos escogidos para el proyecto
Fuente: Elaboración propia

Para la elaboración de la red en la zona norte con 6 nodos principales se utilizara fibra G652 Y G655 ambas monomodo.

Tabla 1. ITU-T G.652.D attributes
Fuente: Unión internacional de telecomunicaciones 2013

| Fibre attributes | | | |
|--|---|--------------|---------------------------|
| Attribute | Detail | Value | Unit |
| Mode field diameter | Wavelength | 1310 | nm |
| | Range of nominal values | 8.6-9.2 | μm |
| | Tolerance | ± 0.4 | μm |
| Cladding diameter | Nominal | 125.0 | μm |
| | Tolerance | ± 0.7 | μm |
| Core concentricity error | Maximum | 0.6 | μm |
| Cladding noncircularity | Maximum | 1.0 | % |
| Cable cut-off wavelength | Maximum | 1260 | nm |
| Macrobending loss | Radius | 30 | mm |
| | Number of turns | 100 | |
| | Maximum at 1625 nm | 0.1 | dB |
| Proof stress | Minimum | 0.69 | GPa |
| Chromatic dispersion parameter | $\lambda_{0\text{min}}$ | 1300 | nm |
| | $\lambda_{0\text{max}}$ | 1324 | nm |
| 3-term Sellmeier fitting (1260 nm to 1460 nm) | $S_{0\text{min}}$ | 0.073 | ps/(nm ² × km) |
| | $S_{0\text{max}}$ | 0.092 | ps/(nm ² × km) |
| Linear fitting (1460 nm to 1625 nm) | Minimum at 1550 nm | 13.3 | ps/(nm × km) |
| | Maximum at 1550 nm | 18.6 | ps/(nm × km) |
| | Minimum at 1625 nm | 17.2 | ps/(nm × km) |
| | Maximum at 1625 nm | 23.7 | ps/(nm × km) |
| Cable attributes | | | |
| Attribute | Detail | Value | Unit |
| Attenuation coefficient (Note 1) | Maximum from 1310 nm to 1625 nm (Note 2) | 0.40 | dB/km |
| | Maximum at 1383 nm \pm 3 nm after hydrogen ageing (Note 3) | 0.40 | dB/km |
| | Maximum at 1530-1565 nm | 0.30 | dB/km |
| PMD coefficient (Note 4,5) | M | 20 | cables |
| | Q | 0.01 | % |
| | Maximum PMD _Q | 0.20 | ps/ $\sqrt{\text{km}}$ |

Tabla 2. ITU-T G.655.C attributes
Fuente: Unión internacional de telecomunicaciones 2013

| Fibre attributes | | |
|---|-----------------------------------|--|
| Attribute | Detail | Value |
| Mode field diameter | Wavelength | 1550 nm |
| | Range of nominal values | 8-11 μm |
| | Tolerance | $\pm 0.6 \mu\text{m}$ |
| Cladding diameter | Nominal | 125 μm |
| | Tolerance | $\pm 1 \mu\text{m}$ |
| Core concentricity error | Maximum | 0.6 μm |
| Cladding non-circularity | Maximum | 1.0% |
| Cable cut-off wavelength | Maximum | 1450 nm |
| Macrobend loss | Radius | 30 mm |
| | Number of turns | 100 |
| | Maximum at 1625 nm | 0.1 dB |
| Proof stress | Minimum | 0.69 GPa |
| Chromatic dispersion coefficient (ps/nm·km) | $D_{min}(\lambda)$: 1460-1550 nm | $\frac{7.00}{90}(\lambda - 1460) - 4.20$ |
| | $D_{min}(\lambda)$: 1550-1625 nm | $\frac{2.97}{75}(\lambda - 1550) + 2.80$ |
| | $D_{max}(\lambda)$: 1460-1550 nm | $\frac{2.91}{90}(\lambda - 1460) + 3.29$ |
| | $D_{max}(\lambda)$: 1550-1625 nm | $\frac{5.06}{75}(\lambda - 1550) + 6.20$ |
| Fibre attributes | | |
| Attribute | Detail | Value |
| Uncabled fibre PMD coefficient | Maximum | (Note 1) |
| Attenuation coefficient (Note 2) | Maximum at 1550 nm | 0.35 dB/km |
| | Maximum at 1625 nm | 0.4 dB/km |
| PMD coefficient (Note 3) | M | 20 cables |
| | Q | 0.01% |
| | Maximum PMD _Q | 0.20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$ |
| <p>NOTE 1 – According to clause 6.2, a maximum PMD_Q value on uncabled fibre is specified in order to support the primary requirement on cable PMD_Q.</p> <p>NOTE 2 – The attenuation coefficient values listed in this table should not be applied to short cables such as jumper cables, indoor cables and drop cables. For example, [b-IEC 60794-2-11] specifies the attenuation coefficient of indoor cables as 1.0 dB/km or less at both 1310 and 1550 nm.</p> <p>NOTE 3 – Larger PMD_Q values (e.g., ≤ 0.5 ps/$\sqrt{\text{km}}$) can be agreed for particular applications between the manufacturer and user.</p> | | |

3.2.1.2. Medición de fibra utilizando MapSource

Mediante la herramienta medimos la distancia recorrida de la fibra entre los nodos para su evaluación de factibilidad técnica. Esto se logra mediante la localización de mapas geográficos como el de Perú en este caso. La herramienta realiza la traza del camino hacia el nodo siguiente.

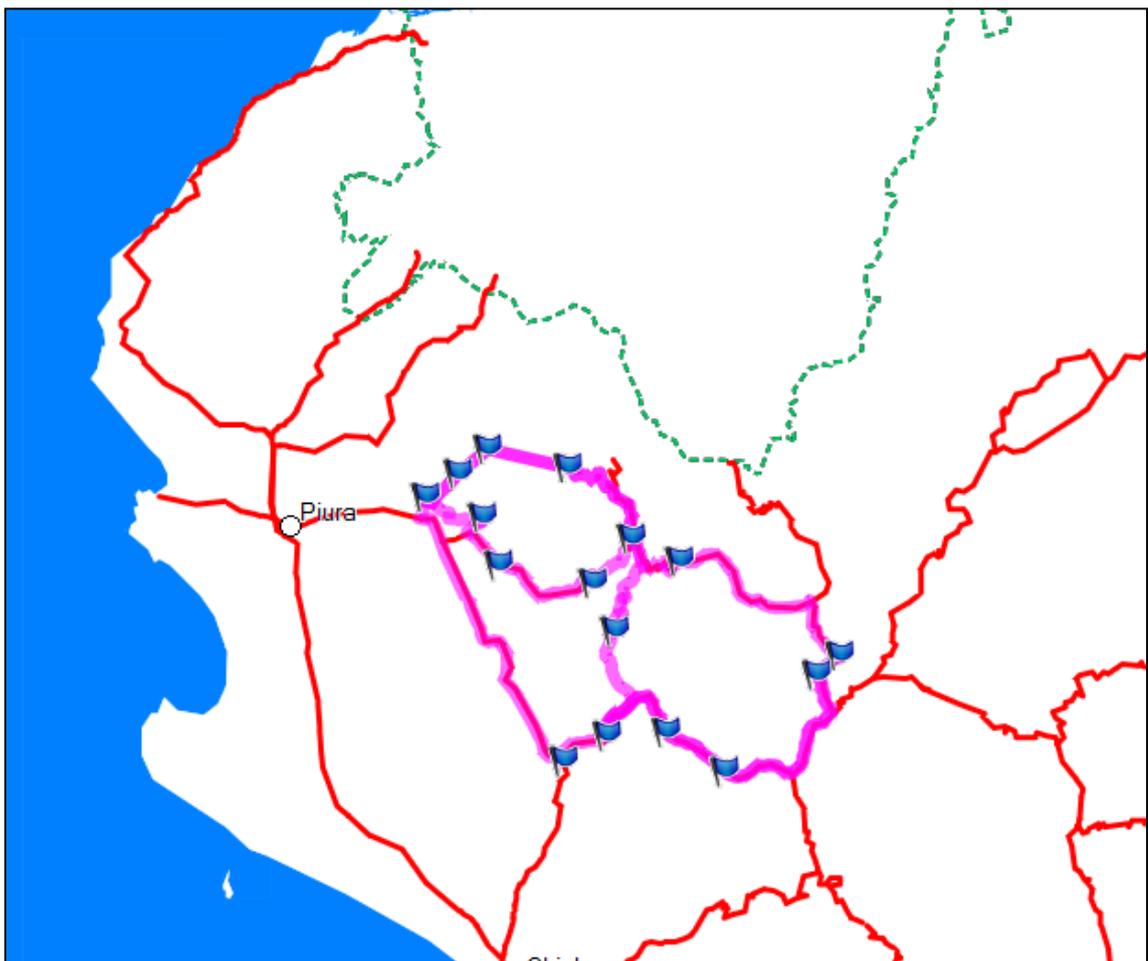


Figura20. Mediciones entre nodos del tendido de fibra óptica (MapSource)
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Ubicación de nodos seleccionados
Fuente: Elaboración propia

| Nodos | Ubicación | |
|----------------|--------------|---------------|
| | Latitud | Longitud |
| Chulucanas | 5° 5'47.52"S | 80° 9'42.51"O |
| Huancabamba | 5°14'18.52"S | 79°26'59.33"O |
| Node Occidente | 5°55'2.93"S | 79°32'3.78"O |
| Jaen | 5°42'26.76"S | 78°48'31.29"O |
| Pucara | 6° 2'26.43"S | 79° 7'37.26"O |
| Pacaipampa | 4°59'41.75"S | 79°40'9.73"O |

3.2.2. Análisis de los requerimientos de la red.

Para el diseño óptimo de una red de fibra óptica DWDM-ASON es indispensable conocer cuál es la necesidad de tráfico existentes entre cada una de sus interfaces, ya que de éstas dependerá la cantidad de lambdas y de Muxponders que se utilizarán.

A continuación se presentará la tabla de requerimientos de tráfico entra cada una de las ciudades.

Tabla 4. Matriz de Lambdas por requerimiento de tráfico
Fuente: Elaboración propia

| Nodo (# Lambdas 10G) | Chulucanas | Huancabamba | Node Occidente | Jaen | Pucara | Pacaipampa |
|----------------------|------------|-------------|----------------|------|--------|------------|
| Chulucanas | | 16 | 16 | 16 | 10 | 10 |
| Huancabamba | 12 | | 14 | 16 | 8 | 8 |
| Node Occidente | 14 | 14 | | 16 | 8 | 8 |
| Jaen | 12 | 16 | 14 | | 8 | 8 |
| Pucara | 8 | 10 | 10 | 10 | | 8 |
| Pacaipampa | 16 | 16 | 6 | 6 | 6 | |

Principalmente se observó que las necesidades de tráfico entre algunas interfaces no eran las mismas, lo cual significaba realizar diferentes cálculos dependiendo de cuál ruta se estaba estudiando.

Se realizó una planificación de la red para la necesidad de cada una de las interfaces, sabiendo que existen muxponders capaces de comprimir la información contenida en varias lambdas y enviarla a través de una sola, sin olvidar que éstos están diseñados para un número determinado de Gigabit, ya sea 10Gb, 40Gb o 100Gb. Se tomó como prioridad el mayor aprovechamiento de la red, así como también se dejaron longitudes de onda libres en alguna de las interfaces en caso de que la red creciera en los próximos años:

- *Interfaces que requerían 60Gb de transmisión:* Se utilizaron dos Muxponder con la capacidad de comprimir la información contenida en cuatro lambdas de 10Gb cada una y enviarla mediante dos lambdas de 40Gb cada una, lo cual significa un ancho de banda de 80Gb de los cuales se usarán 60Gb, dejando los otros 20Gb para casos en los cuales la red aumente su necesidad de tráfico, logrando así una escalabilidad y un mayor aprovechamiento del ancho de banda de la misma. No se utilizó el Muxponder que permite obtener una lambda de 100Gb a partir de diez lambdas de 10Gb, ya que para estos tipos de redes siempre se busca dejar un máximo de holgura de un veinte por ciento, para casos en que la red aumente sus necesidades de tráfico.
- *Interfaces que requerían 80Gb de transmisión:* Se utilizó un Muxponder con la capacidad de comprimir la información contenida en diez lambdas

de 10Gb cada una y enviarla mediante una lambda de 100Gb, dejando los otros 20Gb para casos en los cuales la red aumente su necesidad de tráfico, logrando así una escalabilidad y un mayor aprovechamiento del ancho de banda de la misma.

- *Interfaces que requerían 100Gb de transmisión:* Se utilizó un Muxponder con la capacidad de comprimir la información contenida en diez lambdas de 10Gb cada una y enviarla mediante una lambda de 100Gb. Lo que significa que la necesidad de tráfico esta abarcada completamente.
- *Interfaces que requerían 120Gb de transmisión:* Se utilizaron dos Muxponder, uno con la capacidad de comprimir la información contenida en cuatro lambdas de 10Gb cada una y enviarla mediante un lambda de 40Gb, y otro con la capacidad de comprimir la información contenida en diez lambdas de 10Gb cada una y enviarla mediante un lambda de 100Gb, lo cual significa un ancho de banda de 140Gb de los cuales se usarán 120 Gb, dejando los otros 20 Gb para casos en los cuales la red aumente su necesidad de tráfico, logrando así una escalabilidad y un mayor aprovechamiento del ancho de banda de la misma.
- *Interfaces que requerían 140Gb de transmisión:* Se utilizaron dos Muxponder, uno con la capacidad de comprimir la información contenida en cuatro lambdas de 10Gb cada una y enviarla mediante un lambda de 40Gb, y otro con la capacidad de comprimir la información contenida en diez lambdas de 10Gb cada una y enviarla mediante un lambda de 100Gb, lo que significa que la necesidad de tráfico esta abarcada completamente. No se utilizaron dos Muxponder que permite

obtener 2 lambdas de 100Gb a partir de veinte lambdas de 10Gb, ya que para estos tipos de redes siempre se busca dejar un máximo de holgura de un veinte por ciento, para casos en que la red aumente sus necesidades *de tráfico*.

- *Interfaces que requerían 160Gb de transmisión:* Se utilizaron dos Muxponder con la capacidad de comprimir la información contenida en diez lambdas de 10Gb cada una y enviarla mediante dos lambda de 100Gb cada una, lo cual significa un ancho de banda de 200Gb de los cuales se usarán 160 Gb, dejando los otros 40 Gb, que corresponden al veinte por ciento de holgura en la interfaz, para casos en los cuales la red aumente su necesidad de tráfico, logrando así una escalabilidad y un mayor aprovechamiento del ancho de banda de la misma.

Para realizar la matriz de tráfico se tomó en cuenta que la red debía resistir a tres fallas o cortes en las interfaces que la componen, es por ello que se decidió reservar el número de lambdas correspondientes a la necesidad de tráfico, a la hora de estudiar el camino que debía recorrer la información, para ir de un nodo a otro. De esta forma se aseguró que la ruta que se podía tomar para comunicar dos nodos no estaba limitada a ninguna interface o camino, más bien todas las rutas pertenecientes a la red eran viables para comunicar dos nodos, siempre y cuando éstas interfaces se encontraran operantes.

3.2.3. Calculo de potencia (Optical Power Budget)

Un paso fundamental en la fase de diseño de una red de fibra óptica es el cálculo de presupuesto de potencia, ya que con dichos cálculos se conoce la distancia por la cual un mismo haz de luz puede transmitir información sin perder fidelidad hasta el otro extremo. Según el Network Dictionary el optical power budget “se refiere a la distribución de la potencia óptica disponible transmitida en una fibra dada por una fuente dada entre las diversas pérdidas producidas por mecanismos tales como atenuación de la fibra, pérdidas por acoplamiento empalme y conectores, con el fin de asegurar una señal adecuadamente fuerte en el receptor”. El principio de los cálculos es simple, se debe distribuir la potencia disponible que proviene de la fuente sin sobrepasar las pérdidas que se obtienen a lo largo del enlace. La potencia total viene dada por la sensibilidad del receptor y la potencia de transmisión.

La potencia de transmisión y recepción vienen expresadas en dBm, mientras que las pérdidas se expresan en dB, esto facilitará los cálculos del link budget. En cualquier diseño práctico, se deben tomar en cuenta ciertas indemnizaciones por pérdidas externas debido a degradación de los componentes, por envejecimiento o reemplazamiento, variación de temperaturas ambientales, por manufactura, etc., las cuales combinadas se refieren a margen de potencia (P_m), expresadas en dB. Ahora bien, la ecuación del presupuesto de potencia se puede expresar de la siguiente manera.

$$P = P_0 - P_m - (L_c + n * L_e + d * L_f)$$

Ecuación 5

| | |
|-------|--------------------------------|
| P |Sensitividad del receptor |
| P_o |Potencia de transmisión |
| F_m |Margen de potencia |
| L_c |Pérdida por conectores |
| n |Número de empalmes |
| L_e |Pérdida por empalmes |
| d |Distancia del enlace |
| L_f |Atenuación de la fibra |

Para poder resolver la Ecuación 5, se necesitan los parámetros previamente estipulados, a continuación se anexa una tabla en donde se encuentran todos los datos requeridos previamente definidos por el operador de telecomunicaciones, el equipo encargado de la transmisión y recepción es el OSN 9800 UPS.

Tabla 5. Resumen de especificaciones técnicas para el cálculo de presupuesto de potencia
Fuente: Elaboración propia

| | |
|---|----------|
| Potencia en transmisión (dBm) | -1 |
| Potencia en recepción (Sensitivity dBm) | -21 |
| Atenuación Fibra (dB) | 0,25 |
| Distancia Trayecto (Km) | Variado |
| Atenuación por empalme (dB) | 0,1 |
| Número de Empalmes | cada 2km |
| Perdida por conector (dB) | 1 |
| Margen del equipo (dB) | 3 |
| Margen de la fibra (dB) | 3 |
| Ganancia del amplificador (dB) | 23 |

Con la Ecuación 5 y los datos obtenidos en la tabla anterior, podemos determinar el Power Budget de la siguiente manera:

$$\Delta P = P_0 - P$$

Ecuación 6

$$\Delta P = -1 - (-21)$$

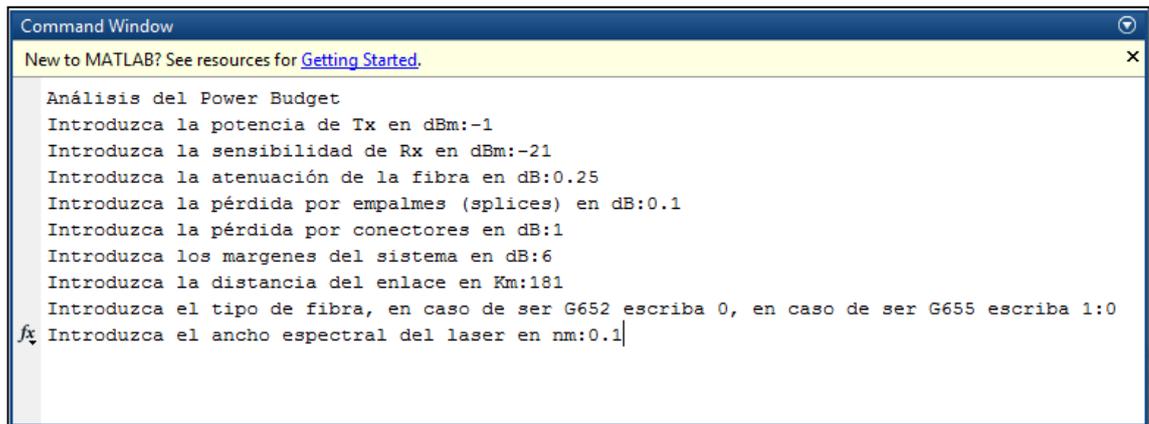
$$\Delta P = 20\text{dB}$$

Por lo tanto ningún enlace puede sobrepasar el límite de 20dB en atenuación, ya que de lo contrario se requeriría amplificación. Debido a la gran cantidad de nodos que se tienen en el diseño (ver Figura 23), se debían realizar cálculos de presupuesto de potencia para cada uno de los enlaces entre cada nodo, teniendo un total de 9 enlaces. Asimismo, se debían calcular otros efectos como la dispersión cromática y la dispersión por polarización. Por lo tedioso y lento del proceso, se buscó conseguir una manera más rápida y eficiente de realizar todos los cálculos, llegando a la conclusión que el software MATLAB sería la herramienta ideal para solucionar el problema.

3.2.3.1. Cálculo del presupuesto de potencia mediante la herramienta

Mediante un código de programación de elaboración propia, hecho en MATLAB, se realizaron los cálculos de atenuación de cada uno de los trece enlaces que componen la red DWDM-ASON en la región norte del Perú. El programa realizado solicita al usuario los diferentes parámetros necesarios para el cálculo del presupuesto de potencia, además del tipo de fibra y ancho del láser, estos últimos valores solicitados para el cálculo de las dispersiones DC y

la PMD que explicaremos en el próximo apartado. A continuación se muestra en la Figura 21, la ventana principal en donde se solicitan los datos al usuario, se utilizó como ejemplo el enlace Chulucanas - Huancabamba con una distancia de 181 Km.



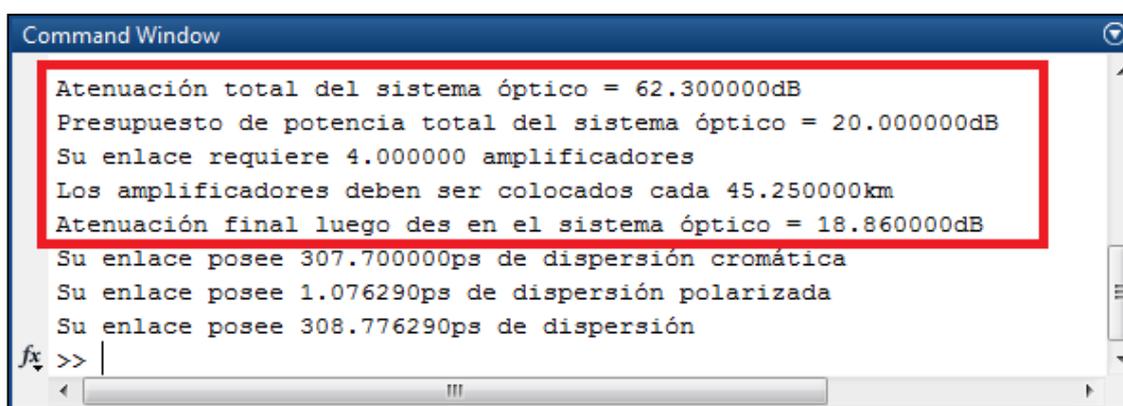
```
Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.
Análisis del Power Budget
Introduzca la potencia de Tx en dBm:-1
Introduzca la sensibilidad de Rx en dBm:-21
Introduzca la atenuación de la fibra en dB:0.25
Introduzca la pérdida por empalmes (splices) en dB:0.1
Introduzca la pérdida por conectores en dB:1
Introduzca los márgenes del sistema en dB:6
Introduzca la distancia del enlace en Km:181
Introduzca el tipo de fibra, en caso de ser G652 escriba 0, en caso de ser G655 escriba 1:0
fx Introduzca el ancho espectral del laser en nm:0.1|
```

Figura 21. Ventana de introducción de parámetros para el cálculo del *power budget*
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar abajo en la Figura 26, están encerrados en un cuadro de color rojo, los resultados arrojados luego de la introducción de los datos en el programa. Los valores que no están en el mencionado rectángulo, son los correspondientes a las dispersiones DC y PMD.

En la primera línea se puede ver la atenuación total del enlace Caracas- Valencia con un valor de 62.3dB, mientras que en la segunda línea observamos el valor de 20dB que corresponde al power budget coincidiendo así con el resultado obtenido en la Ecuación 6. Ya que las pérdidas totales sobrepasan el límite establecido de 20dB, será necesario colocar amplificadores de línea en el trayecto para compensar la pérdida de potencia. La cantidad de amplificadores necesarios y su ubicación en el enlace pueden ser observados

en la línea cuatro y cinco, respectivamente, dentro del recuadro en la Figura 26, que en este caso son tres amplificadores, uno cada 45.25 km. Por último, en la línea tres, se obtiene el valor correspondiente a la atenuación total por tramo luego de colocar dichos amplificadores, el cual es 18.86dB, siendo este parámetro aceptable, ya que es menor que el presupuesto de potencia (20dB) y menor que la ganancia del amplificador (23dB).



```
Command Window
Atenuación total del sistema óptico = 62.300000dB
Presupuesto de potencia total del sistema óptico = 20.000000dB
Su enlace requiere 4.000000 amplificadores
Los amplificadores deben ser colocados cada 45.250000km
Atenuación final luego des en el sistema óptico = 18.860000dB
Su enlace posee 307.700000ps de dispersión cromática
Su enlace posee 1.076290ps de dispersión polarizada
Su enlace posee 308.776290ps de dispersión
fx >> |
```

Figura 22. Cálculos en MATLAB del *power budget* para el enlace Chulucanas Huancabamba
Fuente: Elaboración propia

Los amplificadores en línea se encargan de amplificar la señal compuesta DWDM para transportar por una distancia más larga, estos son bidireccionales. Todos los amplificadores usados en el proyecto están basados en tecnología EDFA, garantizan una potencia de salida de hasta 20,5 dBm en la banda C y una ganancia de hasta 23 dB. Entre sus beneficios, se incluyen un Canal de Supervisión Óptica (OSC Optical Supervisory Channel), soporte a 88 canales y Reducción Automática de Potencia (APR Automatic Power Reduction).

Estos amplificadores responden automáticamente a los cambios en el número de canales sin la necesidad de intervención manual o reajuste y cuentan con atenuadores ópticos que permiten a las unidades amplificadoras la compensación automática de variaciones en la atenuación del segmento, debido al envejecimiento y empalmes de la fibra.

Se debe indicar que el valor obtenido del Power Budget para el trayecto total será el mismo para los tramos parciales, porque las características técnicas de los equipos en los trece nodos no varían. Por lo tanto se puede concluir que el máximo valor de pérdidas que puede tolerar el sistema para cada tramo es de 20 dB.

3.2.4. Estudio de los parámetros de dispersión

La dispersión cromática limita la distancia máxima, a la cual una señal se puede transmitir sin regenerar la señal original, que para una fibra Monomodo estándar el límite de la distancia de dispersión cromática en Km.

Este tipo de dispersión confina a los diseñadores de redes ópticas a usar compensadores de dispersión cromática que agregan ruido y atenuación extra a la señal, además de delimitar las distancias recorridas por un mismo impulso óptico sin tener que regenerarse en el plano eléctrico. Gracias a las nuevas tecnologías de detección coherente y modulación PDM-QPSK ya citadas (Detección Coherente), se pueden llegar a distancias de hasta 9000km sin necesidad de regenerar eléctricamente. En el próximo título se explicará de manera más detallada los beneficios de las mencionadas tecnologías.

3.2.5. Superación de deficiencias en relación a la dispersión en la fibra para un mejor rendimiento mediante nuevas técnicas de detección y modulación

En las actuales redes DWDM, la dispersión cromática se compensa con módulos ópticos de compensación de dispersión fijos o ajustables (DCM o TDCM). Los compensadores DCM generalmente se distribuyen a lo largo de la línea óptica en cada sitio de amplificación, y crean un impacto desfavorable en el alcance de transmisión mediante la adición de efectos no lineales y ruido óptico debido a la necesidad de amplificación adicional para compensar las pérdidas que introducen. La electro-óptica con tecnología coherente permite una compensación de dispersión basada en electrónica en el extremo del receptor, se elimina la necesidad de dispositivos de gestión de la dispersión de la línea y mejora el alcance total de la transmisión.

La tecnología convencional de 40Gb/s también requiere TDCM ópticos en el lado del receptor para sintonizar con precisión la dispersión residual porque en las líneas técnicas de gestión de dispersión sólo puede proporcionar una cantidad limitada de compensación, la cual es generalmente insuficiente para cubrir todas las aplicaciones de red. Además, el tiempo de sintonización de TDCM es típicamente del orden de minutos, y esto afecta gravemente la reconfiguración rápida de la longitud de onda cuando la restauración de la red fotónica se implementa. Por el contrario, las redes electro-ópticas de alto rendimiento con tecnología coherente utiliza compensación electrónica rápida por medio de avanzados algoritmos DSP y ofrece compensación de dispersión en un marco de tiempo de milisegundos, ofreciendo una flexibilidad mucho mayor en las reconfiguraciones de la red y capacidades de restauración mucho más rápidas en las longitudes de onda.

En las antiguas infraestructuras de fibra, el PMD es un factor muy importante para degradaciones de la propagación de la señal, ya que introduce penalidades de distorsión que impiden un desempeño de calidad en las transmisiones de 40 Gb/s o 100 Gb/s. Las técnicas avanzadas de DSP utilizadas en la solución coherente pueden compensar mejor los efectos de PMD y habilitar sin problemas la transmisión a través de cualquier red de fibra a 40 Gb/s y 100 Gb/s.

Una cuestión importante al abordar las actualizaciones de la red fotónica es la compatibilidad con los canales existentes de transmisión a tasas más bajas - por ejemplo, las convencionales de 10 Gb/s y 40 Gb/s canales con diferentes formatos de modulación - junto con la capacidad de adaptarse a las actuales instalaciones de fibra óptica.

La próxima generación de redes electro-ópticas de alto rendimiento con tecnología de detección coherente permite actualizar sin problemas a altas tasas de bits los canales de las redes existentes que fueron diseñados originalmente para 2,5 Gb/s, o capacidad de 10 Gb/s, con los siguientes beneficios:

- Compensación electrónica automática, que tolera grandes valores de dispersión cromática permitiendo tramos sin fisuras por DCM.
- La compensación de dispersión es altamente tolerante permitiendo el despliegue canales de 40 Gb/s y 100 Gb/s, incluso en instalaciones de fibra de generaciones antiguas que fueron diseñadas originalmente sin DCM de 2,5 Gb/s de transporte.

- Excelente compensación PMD permitiendo la actualización a 40 Gb/s y 100 Gb/s de las antiguas redes de fibra con altos valores de PMD, en la que incluso la transmisión de 10 Gb/s canales sería un reto.

Se ha demostrado que una señal a 40 Gb/s basado en QPSK (transmitida a 10 GBaudios de tasa por símbolo) pueden sufrir interferencias no lineales inducidas por canales vecinos a 10Gb/s, especialmente cuando la transmisión se produce a través fibra de baja dispersión como la UIT -T G.655. Tal efecto de modulación transversal de fase (XPM) se produce porque las variaciones de amplitud a 10GBaudios en canales tradicionales a 10 Gb/s con modulación ASK generan ruido de fase en la transmisión a 40 Gb/s (siendo a una velocidad prácticamente equivalente) y hace que sea más difícil de detectar en el receptor los cuatro estados de fase a 40 Gb/s. Esta interferencia puede reducir dramáticamente el alcance máximo de los canales a 40 Gb/s uando son espectralmente junto a los canales de 10 Gb/s.

Una mitigación posible es introducir bandas de guarda - es decir, múltiples ranuras vacías entre-espectrales convencionales 40 Gb / s canales y 10 canales Gb / s, sin embargo, esto tiende a reducir severamente la capacidad máxima de la fibra y limitar la libertad en la asignación de canales en caso de las reconfiguraciones de la red.

La selección del formato de modulación óptima con la mayor tolerancia a los efectos no lineales, y combinándolo con la detección coherente, permite ofrecer la mejor opción en su clase para un alcance máximo de transmisión y mayor compatibilidad con los canales vecinos a 10Gb/s.

3.2.5.1. Cálculos de dispersión mediante la herramienta MATLAB

Consecuentemente a lo explicado en la sección anterior, tanto la dispersión cromática como la dispersión por modo de polarización no afectarán los enlaces de la red diseñada, ya que con las nuevas técnicas, los resultados de los cálculos son prácticamente insignificantes. Sin embargo, se realizaron de igual manera los cálculos en la simulación mediante el uso de MATLAB para comprobar dicha hipótesis.

En este caso se encerró en el recuadro los resultados obtenidos para las dispersiones. En la primera línea se puede visualizar los 307.7ps de dispersión cromática, mientras que en la segunda línea se extrajo el valor de 1.07629ps de dispersión polarizada. Finalmente, la última línea muestra la dispersión total que sería la suma de las dispersiones anteriormente comentadas, en este ejemplo es 308.77629ps, demostrando así que estos efectos no afectarían este enlace.

Se elaboró una tabla resumen en donde se podrán observar todos los valores de los trece enlaces, extraídos de las simulaciones hechas en MATLAB.

```
Command Window
Atenuación total del sistema óptico = 62.300000dB
Presupuesto de potencia total del sistema óptico = 20.000000dB
Su enlace requiere 4.000000 amplificadores
Los amplificadores deben ser colocados cada 45.250000km
Atenuación final luego des en el sistema óptico = 18.860000dB
Su enlace posee 307.700000ps de dispersión cromática
Su enlace posee 1.076290ps de dispersión polarizada
Su enlace posee 308.776290ps de dispersión
fx >> |
```

Figura 23. Cálculos en MATLAB de la dispersión para el enlace Chulucanas – Huancabamba
Fuente: Elaboración propia

3.3. Revisión y consolidación de resultados

Se explican desde las investigaciones teóricas relacionadas a redes DWDM-ASON hasta los análisis de distancias, equipos o tráfico en la red. También se plasman las simulaciones obtenidas al culminar el diseño con un software especializado en redes de fibra óptica y final definición de la arquitectura.

3.3.1. Exploración exhaustiva referente a redes DWDM-ASON

Durante meses de estudio, se obtuvo un marco teórico sólido y muy completo, que comprende desde las informaciones más básicas tales como definiciones y conceptos hasta la explicación de tecnologías modernas como ASON. Mediante la realización de dicha averiguación se obtuvo información que permitió conocer y aclarar nociones para poder desarrollar el proyecto, otorgando facultades necesarias para el análisis de situaciones relevantes en el diseño de una red amplia de fibra óptica. Por ejemplo se

observó que según las características del diseño la fibra que más conviene para el presente proyecto es del tipo Monomodo G652 y G655, esto debido a su fortaleza con respecto a la atenuación y tomando en cuenta que las distancias entre las ciudades involucradas son considerables.

3.3.2. Levantamiento de información de la ubicación de los nodos y distancias

Luego de haber usado las distintas herramientas para medición de las distancias en metros, se obtuvo la siguiente tabla en donde se resumen los trayectos entre cada ciudad en las cuales se encuentran cada uno de los nodos definidos en el proyecto. Dichos cálculos se realizaron mediante las herramientas MapSource y Google Earth, tal y como se mencionaron en el capítulo anterior.

3.3.3. Determinación de los fenómenos ópticos y factibilidad técnica de los enlaces

Luego de culminados los cálculos, tanto de presupuesto de potencia como de efectos ópticos, de cada uno de los trece enlaces, se verificó la factibilidad de técnica de los mismos, además se determinó los efectos ópticos que afectaba a cada tramo y se estableció la cantidad de amplificadores requeridos, como también, las distancias requeridas para su instalación.

A continuación se presentarán las tablas en donde se sintetizan cada uno de los enlaces con sus especificaciones. Se dividieron en dos tablas, por razones de visualización, sin ningún orden específico.

Tabla 6. Resumen de efectos ópticos de los enlaces y especificaciones de los amplificadores (Chulucanas – Huancabamba)

Fuente: Elaboración propia

| Tramo | Valores |
|---|-----------|
| CHULUCANAS a HUANCABAMBA (Km) | 181 |
| Atenuación total del sistema óptico (dB) | 62.3 |
| Presupuesto de potencia total del sistema óptico (dB) | 20 |
| Cantidad de amplificadores (unidades) | 4 |
| Distancia de los amplificadores (Km) | 45.25 |
| Atenuación final (dB) | 18.86 |
| Dispersión cromática (ps) | 307.7 |
| Dispersión polarizada (ps) | 1.07629 |
| Dispersión total (ps) | 308.77629 |

Tabla 7. Resumen de efectos ópticos de los enlaces y especificaciones de los amplificadores (Chulucanas – Node Occidente)

Fuente: Elaboración propia

| Tramo | Valores |
|---|------------|
| CHULUCANAS a Node occidente (Km) | 161 |
| Atenuación total del sistema óptico (dB) | 56.3 |
| Presupuesto de potencia total del sistema óptico (dB) | 20 |
| Cantidad de amplificadores (unidades) | 4 |
| Distancia de los amplificadores (Km) | 45.25 |
| Atenuación final (dB) | 17.66 |
| Dispersión cromática (ps) | 273.7 |
| Dispersión polarizada (ps) | 1.015086 |
| Dispersión total (ps) | 274.715086 |

Tabla 8. Resumen de efectos ópticos de los enlaces y especificaciones de los amplificadores (Chulucanas – Pacaipampa)

Fuente: Elaboración propia

| Tramo | Valores |
|---|------------|
| CHULUCANAS a PACAIPAMPA (Km) | 68.7 |
| Atenuación total del sistema óptico (dB) | 28.61 |
| Presupuesto de potencia total del sistema óptico (dB) | 20 |
| Cantidad de amplificadores (unidades) | 0 |
| Distancia de los amplificadores (Km) | - |
| Atenuación final (dB) | 28.61 |
| Dispersión cromática (ps) | 116.79 |
| Dispersión polarizada (ps) | 0.663084 |
| Dispersión total (ps) | 117.453084 |

Tabla 9. Resumen de efectos ópticos de los enlaces y especificaciones de los amplificadores (Huancabamba – Jaen)

Fuente: Elaboración propia

| Tramo | Valores |
|---|------------|
| HUANCABAMBA a JAEN (Km) | 167 |
| Atenuación total del sistema óptico (dB) | 58.1 |
| Presupuesto de potencia total del sistema óptico (dB) | 20 |
| Cantidad de amplificadores (unidades) | 4 |
| Distancia de los amplificadores (Km) | 41.75 |
| Atenuación final (dB) | 18.02 |
| Dispersión cromática (ps) | 283.9 |
| Dispersión polarizada (ps) | 1.033828 |
| Dispersión total (ps) | 284.933828 |

Tabla 10. Resumen de efectos ópticos de los enlaces y especificaciones de los amplificadores (Huancabamba – Node Occidente)

Fuente: Elaboración propia

| Tramo | Valores |
|---|------------|
| HUANCABAMBA a Node occidente (Km) | 179 |
| Atenuación total del sistema óptico (dB) | 61.7 |
| Presupuesto de potencia total del sistema óptico (dB) | 20 |
| Cantidad de amplificadores (unidades) | 4 |
| Distancia de los amplificadores (Km) | 44.75 |
| Atenuación final (dB) | 18.74 |
| Dispersión cromática (ps) | 304.3 |
| Dispersión polarizada (ps) | 1.070327 |
| Dispersión total (ps) | 305.370327 |

Tabla 11. Resumen de efectos ópticos de los enlaces y especificaciones de los amplificadores (Jaen – Node Occidente)

Fuente: Elaboración propia

| Tramo | Valores |
|---|------------|
| JAEN a Node occidente (Km) | 178 |
| Atenuación total del sistema óptico (dB) | 61.4 |
| Presupuesto de potencia total del sistema óptico (dB) | 20 |
| Cantidad de amplificadores (unidades) | 4 |
| Distancia de los amplificadores (Km) | 44.5 |
| Atenuación final (dB) | 18.68 |
| Dispersión cromática (ps) | 302.6 |
| Dispersión polarizada (ps) | 1.067333 |
| Dispersión total (ps) | 303.667333 |

Tabla 12. Resumen de efectos ópticos de los enlaces y especificaciones de los amplificadores (Node Occidente – Pucara)
Fuente: Elaboración propia

| Tramo | Valores |
|---|------------|
| Node occidente a pucara (Km) | 94.4 |
| Atenuación total del sistema óptico (dB) | 36.32 |
| Presupuesto de potencia total del sistema óptico (dB) | 20 |
| Cantidad de amplificadores (unidades) | 2 |
| Distancia de los amplificadores (Km) | 47.2 |
| Atenuación final (dB) | 17.44 |
| Dispersión cromática (ps) | 160.48 |
| Dispersión polarizada (ps) | 0.777277 |
| Dispersión total (ps) | 161.257277 |

Tabla 13. Resumen de efectos ópticos de los enlaces y especificaciones de los amplificadores (Pacaipampa – Huancabamba)
Fuente: Elaboración propia

| Tramo | Valores |
|---|------------|
| PACAIPAMPA a HUANCABAMBA (Km) | 86 |
| Atenuación total del sistema óptico (dB) | 33.8 |
| Presupuesto de potencia total del sistema óptico (dB) | 20 |
| Cantidad de amplificadores (unidades) | 2 |
| Distancia de los amplificadores (Km) | 43 |
| Atenuación final (dB) | 16.6 |
| Dispersión cromática (ps) | 146.2 |
| Dispersión polarizada (ps) | 0.741889 |
| Dispersión total (ps) | 146.941889 |

Tabla 14. Resumen de efectos ópticos de los enlaces y especificaciones de los amplificadores (Pucara – Jaen)
Fuente: Elaboración propia

| Tramo | Valores |
|---|------------|
| Pucara a JAEN (Km) | 82.5 |
| Atenuación total del sistema óptico (dB) | 32.75 |
| Presupuesto de potencia total del sistema óptico (dB) | 20 |
| Cantidad de amplificadores (unidades) | 2 |
| Distancia de los amplificadores (Km) | 41.25 |
| Atenuación final (dB) | 16.25 |
| Dispersión cromática (ps) | 140.25 |
| Dispersión polarizada (ps) | 0.726636 |
| Dispersión total (ps) | 140.976636 |

3.3.4. Definición de equipos y arquitectura definitiva de la red

Para la determinación de cada uno de los equipos que componen la red, se calcularon los efectos ópticos que afectan la señal. Varios de los componentes ya estaban instalados, por lo tanto, solo se tomaron en cuenta las especificaciones técnicas.

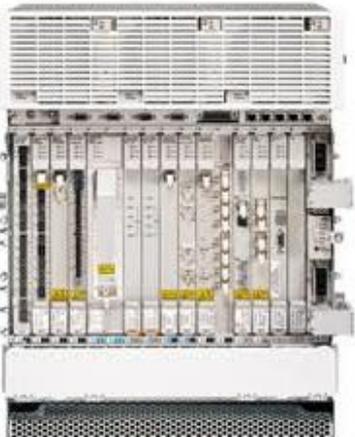
3.3.4.1. Descripción de los equipos

Es importante tomar en cuenta que el tráfico máximo para el cual se ha dimensionado la red no va a ser el mismo durante los primeros años, sino que va a ser un proceso de incremento gradual de la demanda. Es decir el nodo debe tener la capacidad de combinar XC fotónico y XC eléctrico basado en OTN.

No existen muchos proveedores que ofrezcan equipos de transmisión ópticos que soporten ASON/GMPLS con capacidades de T-bit en OXC. Se han identificado 3 de los principales proveedores que pueden proveer equipos de transmisión OTN de gran capacidad. Los proveedores de los cuales se han revisado las descripciones de sus equipos son: Huawei, Alcatel-Lucent y ciena.

Un dato importante a considerar es la experiencia de los proveedores en este tipo de despliegues a nivel mundial. Por ejemplo en el caso de Huawei, para el primer periodo del 2010, 30 de sus más de 250 redes desplegadas a nivel mundial son redes de tecnología WDM/OTN ASON, con lo cual Huawei lidera el mercado en esta tecnología.

Tabla 15. Costo de equipos DWDM (Huawei, Alcatel y Ciena)
Fuente: Elaboración propia

| Equipos DWDM | | |
|--|--|--|
| Huawei 9800UPS | Alcatel 1830 | Ciena 6500 |
|  |  |  |
| \$ 1,372,186.06 | \$ 1,593,646.3 | \$ 1,163,486.07 |

A continuación se presenta de manera simplificada aquellas características que han llevado a optar por utilizar los equipos de la serie OSN 9800 de Huawei. Los equipos de la serie OSN 9800 de Huawei han sido desarrollados con tecnología WDM/OTN y están preparados especialmente para soportar E2E ASON (ASON de 71 extremo a extremo) con GMPLS para el plano de control. Estos equipos, dentro de la serie OSN, están diseñados especialmente para la transmisión de señales en la parte del backbone de la red. Por esta razón, las capacidades que pueden manejar estos equipos son las más altas en el mercado. Ante lo expuesto y por la experiencia adquirida en el campo laboral en el cual me desarrollo opté por la participación de los equipos de la marca HUAWEI.

A continuación, se representa de manera gráfica en el mapa de Venezuela la arquitectura definitiva de la red DWDM-ASON de la región Norte del país, parte de sus componentes y equipos, además de otros datos importantes para su diseño.



Figura 24. Arquitectura definitiva de la red en el plano territorial
Fuente: Elaboración propia

3.3.5. Administración de red en diseño

La red propuesta incluye un diseño de administración de la red, mediante el cual se puede administrar en forma local o remota, desde un PC. Localmente, por medio de un puerto 10base-T, y remotamente por medio de una red TCP/IP. Desde el Network Operation Center se puede detectar fallas, configurar equipos, establecer conexiones, monitorear el desempeño de la red, entre otras funciones.

Para gestionar (administrar) la red se utiliza como como nodo principal JAEN que a su vez se encuentra conectada a la red del servidor principal en caso este fallase por alguna avería la gestión de la red pasaría por el nodo PACAIPAMPA que a su vez se conecta a la red del servidor secundario. Ambas sedes de los servidores se encuentran conectadas entre sí que a su vez se encuentran conectadas al NOC para la pronta detección de incidencias.

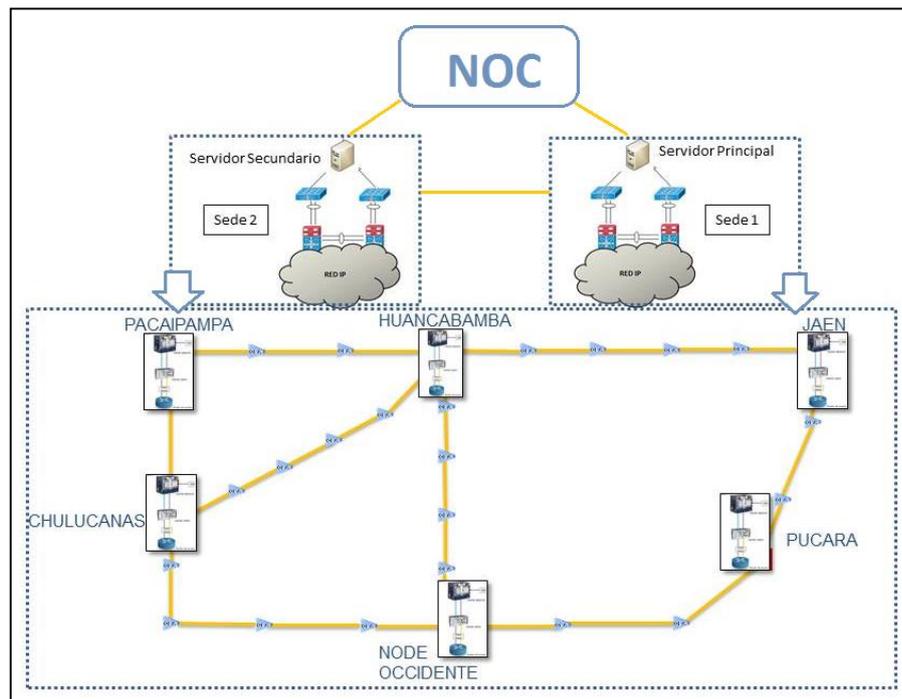


Figura 25. Diseño de red de administración
Fuente: Elaboración propia

3.3.6. Elaboración del proyecto.

Se realizó el listado de actividades para la instalación de los nodos con el uso de Excel considerándose en días las actividades.

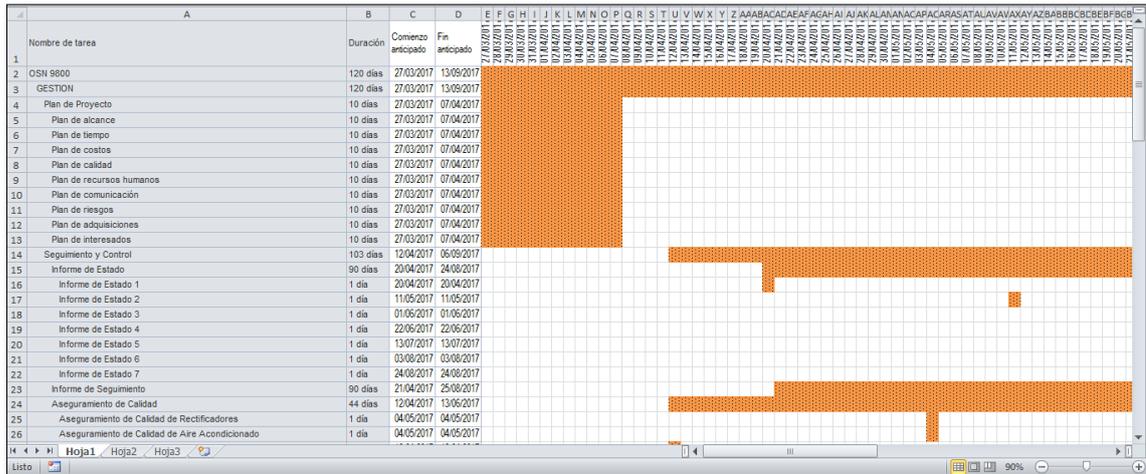


Figura 26. Elaboración de diagrama de Gantt en Excel
Fuente: Elaboración propia

- Se listan las actividades a realizar durante el proyecto

Tabla 16. Actividades del proyecto
Fuente: Elaboración propia

| NODOS DWDM | Duración | Comienzo | Fin |
|--------------------------|----------|------------|------------|
| OSN 9800 | 120 días | 27/03/2017 | 13/09/2017 |
| GESTION | 120 días | 27/03/2017 | 13/09/2017 |
| Plan de Proyecto | 10 días | 27/03/2017 | 07/04/2017 |
| Plan de alcance | 10 días | 27/03/2017 | 07/04/2017 |
| Plan de tiempo | 10 días | 27/03/2017 | 07/04/2017 |
| Plan de costos | 10 días | 27/03/2017 | 07/04/2017 |
| Plan de calidad | 10 días | 27/03/2017 | 07/04/2017 |
| Plan de recursos humanos | 10 días | 27/03/2017 | 07/04/2017 |
| Plan de comunicación | 10 días | 27/03/2017 | 07/04/2017 |
| Plan de riesgos | 10 días | 27/03/2017 | 07/04/2017 |
| Plan de adquisiciones | 10 días | 27/03/2017 | 07/04/2017 |
| Plan de interesados | 10 días | 27/03/2017 | 07/04/2017 |
| Seguimiento y Control | 103 días | 12/04/2017 | 06/09/2017 |
| Informe de Estado | 90 días | 20/04/2017 | 24/08/2017 |
| Informe de Estado 1 | 1 día | 20/04/2017 | 20/04/2017 |
| Informe de Estado 2 | 1 día | 11/05/2017 | 11/05/2017 |
| Informe de Estado 3 | 1 día | 01/06/2017 | 01/06/2017 |
| Informe de Estado 4 | 1 día | 22/06/2017 | 22/06/2017 |
| Informe de Estado 5 | 1 día | 13/07/2017 | 13/07/2017 |
| Informe de Estado 6 | 1 día | 03/08/2017 | 03/08/2017 |
| Informe de Estado 7 | 1 día | 24/08/2017 | 24/08/2017 |
| Informe de Seguimiento | 90 días | 21/04/2017 | 25/08/2017 |

| | | | |
|--|---------|------------|------------|
| Aseguramiento de Calidad | 44 días | 12/04/2017 | 13/06/2017 |
| Aseguramiento de Calidad de Rectificadores | 1 día | 04/05/2017 | 04/05/2017 |
| Aseguramiento de Calidad de Aire Acondicionado | 1 día | 04/05/2017 | 04/05/2017 |
| Aseguramiento de Calidad de Rack | 1 día | 12/04/2017 | 12/04/2017 |
| Aseguramiento de Calidad de Cableado Estructurado | 1 día | 12/04/2017 | 12/04/2017 |
| Aseguramiento de Calidad de OSN 9800 | 1 día | 13/06/2017 | 13/06/2017 |
| Control de Calidad | 69 días | 31/05/2017 | 06/09/2017 |
| Control de Calidad de Rectificadores | 1 día | 31/05/2017 | 31/05/2017 |
| Control de Calidad de Aire Acondicionado | 1 día | 12/06/2017 | 12/06/2017 |
| Control de Calidad de Rack | 1 día | 09/06/2017 | 09/06/2017 |
| Control de Calidad de Cableado Estructurado | 1 día | 12/06/2017 | 12/06/2017 |
| Control de Calidad de OSN 9800 | 1 día | 06/09/2017 | 06/09/2017 |
| Cierre del Proyecto | 2 días | 12/09/2017 | 13/09/2017 |
| Informe de Cierre | 1 día | 12/09/2017 | 12/09/2017 |
| Lecciones Aprendidas | 1 día | 13/09/2017 | 13/09/2017 |
| Acta de Cierre de Proyecto | 1 día | 13/09/2017 | 13/09/2017 |
| ADECUACIONES | 45 días | 10/04/2017 | 12/06/2017 |
| Energía | 44 días | 10/04/2017 | 09/06/2017 |
| Rectificadores | 36 días | 10/04/2017 | 30/05/2017 |
| Procura de Rectificadores | 30 días | 10/04/2017 | 22/05/2017 |
| Revisión de Información de Rectificadores | 1 día | 23/05/2017 | 23/05/2017 |
| Instalación del Cableado Eléctrico | 1 día | 26/05/2017 | 26/05/2017 |
| Instalación de Tomas Eléctricas | 1 día | 29/05/2017 | 29/05/2017 |
| Instalación de Tomas a Tierra | 1 día | 30/05/2017 | 30/05/2017 |
| Instalación de Rectificadores | 1 día | 24/05/2017 | 24/05/2017 |
| Configuración de Rectificadores | 1 día | 25/05/2017 | 25/05/2017 |
| Aire Acondicionado | 44 días | 10/04/2017 | 09/06/2017 |
| Procura de Aire Acondicionado | 30 días | 10/04/2017 | 22/05/2017 |
| Revisión de Información de Aire Acondicionado | 1 día | 23/05/2017 | 23/05/2017 |
| Instalación de Ducterías de Aire Acondicionado | 2 días | 10/04/2017 | 11/04/2017 |
| Instalación de Aire Acondicionado | 12 días | 24/05/2017 | 08/06/2017 |
| Configuración del Sistema de Aire Acondicionado | 1 día | 09/06/2017 | 09/06/2017 |
| Infraestructura de Telecomunicaciones | 45 días | 10/04/2017 | 12/06/2017 |
| Rack | 43 días | 10/04/2017 | 08/06/2017 |
| Procura de Rack | 3 días | 10/04/2017 | 12/04/2017 |
| Revisión de información de Rack | 1 día | 17/04/2017 | 17/04/2017 |
| Instalación de Rack | 7 días | 31/05/2017 | 08/06/2017 |
| Cableado Estructurado | 45 días | 10/04/2017 | 12/06/2017 |
| Procura de Cableado Estructurado | 3 días | 10/04/2017 | 12/04/2017 |
| Revisión de Información de Cableado Estructurado | 1 día | 17/04/2017 | 17/04/2017 |
| Instalación de Canaletas para Fibra Óptica y Cable UTP | 5 días | 18/04/2017 | 24/04/2017 |
| Instalación de Cable UTP | 1 día | 25/04/2017 | 25/04/2017 |
| Instalación de Patch Panel 6x24 | 1 día | 09/06/2017 | 09/06/2017 |
| Instalación de Distribuidor Óptico | 1 día | 12/06/2017 | 12/06/2017 |

| | | | |
|--|----------|------------|------------|
| IMPLEMENTACION OSN 9800 | 104 días | 10/04/2017 | 05/09/2017 |
| Procura del OSN 9800 | 90 días | 10/04/2017 | 16/08/2017 |
| Procura de OSN 9800 | 90 días | 10/04/2017 | 16/08/2017 |
| Capacitación | 7 días | 08/08/2017 | 16/08/2017 |
| Instalación de OSN 9800 | 14 días | 17/08/2017 | 05/09/2017 |
| Mecánica | 3 días | 17/08/2017 | 21/08/2017 |
| Revisión de Información Mecánica de OSN 9800 | 1 día | 17/08/2017 | 17/08/2017 |
| Instalación Mecánica de Equipo OSN 9800 | 2 días | 18/08/2017 | 21/08/2017 |
| Eléctrica | 3 días | 22/08/2017 | 24/08/2017 |
| Revisión de Información Eléctrica de OSN 9800 | 1 día | 22/08/2017 | 22/08/2017 |
| Conexión Eléctrica y Toma a Tierra | 2 días | 23/08/2017 | 24/08/2017 |
| Cableado Estructurado | 3 días | 25/08/2017 | 29/08/2017 |
| Revisión de Información de Cableado Estructurado de OSN 9800 | 1 día | 25/08/2017 | 25/08/2017 |
| Conexión de Cables F.O. y UTP. | 2 días | 28/08/2017 | 29/08/2017 |
| Configuración | 14 días | 17/08/2017 | 05/09/2017 |
| Procura de Configuración | 1 día | 17/08/2017 | 17/08/2017 |
| Revisión de Información de Configuración de OSN 9800 | 1 día | 30/08/2017 | 30/08/2017 |
| Instalación y Configuración de Laptop | 1 día | 31/08/2017 | 31/08/2017 |
| Instalación del Sistema Operativo y Software de Gestión | 1 día | 01/09/2017 | 01/09/2017 |
| Instalación de Software OSN 9800 | 1 día | 04/09/2017 | 04/09/2017 |
| Configuración del Equipo OSN 9800 | 1 día | 05/09/2017 | 05/09/2017 |
| PRUEBAS Y PUESTA EN MARCHA | 71 días | 01/06/2017 | 11/09/2017 |
| Pre-comisionamiento | 69 días | 01/06/2017 | 07/09/2017 |
| Pruebas y puesta en marcha de Rectificadores | 1 día | 01/06/2017 | 01/06/2017 |
| Pruebas y puesta en marcha de Aire Acondicionado | 1 día | 13/06/2017 | 13/06/2017 |
| Pruebas y puesta en marcha de Rack | 1 día | 12/06/2017 | 12/06/2017 |
| Pruebas y puesta en marcha de Cableado Estructurado | 1 día | 13/06/2017 | 13/06/2017 |
| Pruebas y puesta en marcha de OSN 9800 | 1 día | 07/09/2017 | 07/09/2017 |
| Comisionamiento | 2 días | 08/09/2017 | 11/09/2017 |
| Pruebas y puesta en marcha del Sistema OSN 9800 | 2 días | 08/09/2017 | 11/09/2017 |

3.3.6.1. Diagrama de Gantt

Se realizó el diagrama de Gantt para expresar la duración de las actividades mediante gráficos.

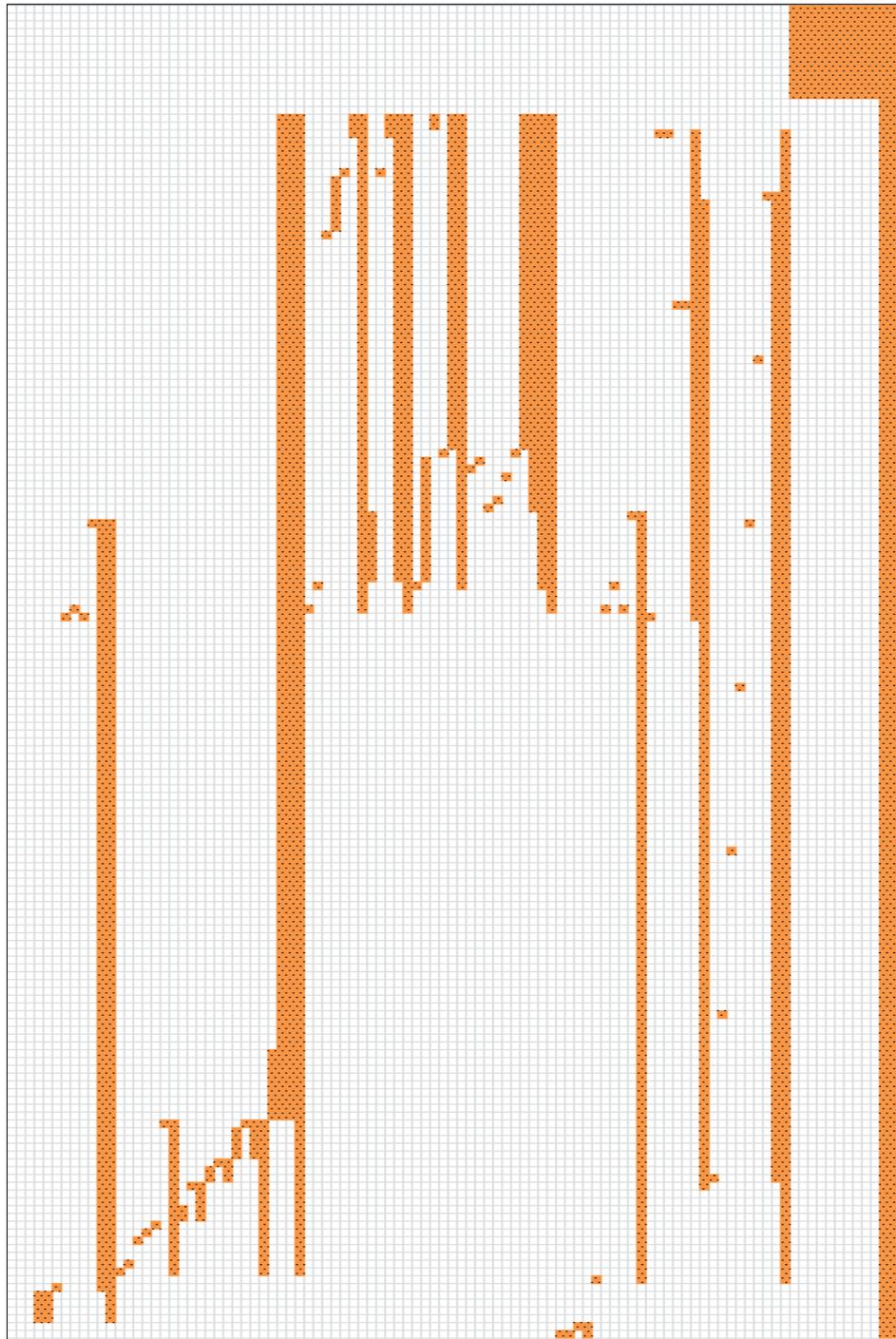


Figura 27. Diagrama de Gantt: Desarrollo del cronograma de actividades del proyecto
Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

- A fin de establecer las distancias entre enlaces, se utilizó la herramienta MapSource **(3.2.1.2. Medición de fibra utilizando MapSource)**, se usó el camino de las carreteras y vías principales entre cada ciudad (nodo), estableciendo que es operacionalmente, más sencillo, rápido y con menos uso de recursos, la instalación y mantenimiento de la red. Por lo cual se recomienda su uso para futuros diseños de redes.
- Del proyecto se determinó que la utilización del equipo HUAWEI 9800UPS **(Anexo B – Características del equipo)** es indispensable para la factibilidad del proyecto, ya que internamente cuenta con la detección coherente en la recepción de la señal, reduciendo así, los efectos de las dispersiones creadas por diversos factores presentes en la transmisión óptica y ésta permita obtener mayores distancias sin necesidad de realizar transformaciones eléctricas de la señal.
- Los resultados obtenidos luego del cálculo del presupuesto de potencia de cada enlace **(3.3.3. Determinación de los fenómenos ópticos y factibilidad técnica de los enlaces)**, arrojaron altas atenuaciones que afectan la señal, principalmente por las largas distancias de los tramos y el uso de dispositivos ya instalados como la fibra o empalmes. Por lo tanto, se requirió el uso de amplificadores EDFA **(2.2.12. Amplificadores ópticos)** para garantizar la conexión de los nodos.
- Se determinó mediante la matriz de tráfico **(3.2.2. Análisis de los requerimientos de la red)** y la cantidad de ancho de banda requerido

por cada una de las ciudades, con esto se asegura la ruta de trabajo o principal además de las rutas de protección.

- Esta teóricamente comprobado que la mejor modulación para usar en redes electro-ópticas de alto rendimiento, son las modulaciones PDM-BPSK y QPSK-PDM con detección coherente, teniendo en cuenta que ofrece la mejor solución de su clase para 40 Gb/s de transmisión y 100 Gb/s, respectivamente. Adicionalmente de poseer una portadora única, altas tasas de símbolos en Gbaudio de tasa por símbolo 20 y 25 Gbaudio de tasa por símbolo, respectivamente, son muy robustas para los efectos no lineales y son altamente tolerantes a canales adyacentes a 10Gb/s.
- Al definir los tipos de interfaces y longitudes de ondas, se concluyó hacer uso de canales a 40Gb/s y 100Gb/s solamente, ya que al usar longitudes de onda con mayores capacidades, se le da una mayor escalabilidad y tiempo de vida útil a la red. Por ello, no se recomienda considerar el uso de canales a 10Gb, ya que se puede observar que dicha longitud de onda posee diferente forma de detección cuando es comparada con longitudes de onda de 40Gb y 100Gb, lo que significaría tener dos tipos de detección en el receptor, que proporciona mayor complejidad en la red.

RECOMENDACIONES

- Es recomendable, efectuar una evaluación financiera si se desea dar continuidad al proyecto, ya que la evaluación técnica del diseño de la red se demostró que es totalmente factible.
- Para el desarrollo del presupuesto según sea el caso se debe considerar la inversión tanto de equipos como del personal, costos de operación y mantenimiento **(3.3.6. Elaboración del proyecto – Se listan las actividades a realizar para considerar en el presupuesto a realizar)**, de esta manera, se podrá considerar definitivamente la viabilidad real del proyecto.
- Considerar tubos de Polietileno y/o plástico grueso para la protección de la fibra ante la ruptura por mordeduras de roedores en las zonas alto andinas.
- Ante rupturas de fibra ocasionados por desastres naturales considerar colocar postes de soporte y realizar el tendido de fibra aéreo provisional para evitar cortes de servicio.
- Realizar estudios de factibilidad para la ubicación de los **nodos (3.2.1.2. Medición de fibra utilizando MapSource)** ya que deben contar con fluido eléctrico permanente.
- En caso de no contar con fluido eléctrico permanente para la ubicación de equipos de transmisión considerar utilizar solución “Green Controller”. Utilizar conmutación de carga con un banco de baterías y Grupo Electrónico cada determinado tiempo.

- Brindar mantenimiento a los nodos tanto en equipos de transmisión como a los de energía mensual para evitar fallas y/o averías **(1.1. Descripción de la Realidad Problemática)**
- Brindar monitoreo y soporte especializado permanentemente para brindar solución a una futura avería si la hubiese.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asga (2017). Amplificador Óptico EDFA.
<http://www.asga.com.br/wp-content/downloads/3.1%20-%20Amplificador%20EDFA%20-%20Espanhol.pdf>
- Huawei (2017). OptiX OSN 1800-V Switching Platforms.
<http://e.huawei.com/en/products/fixed-network/transport/wdm/osn-1800-v-packet>
- Huawei (2017). OptiX OSN 9800 Switching Platforms.
<http://e.huawei.com/en-in/products/fixed-network/transport/wdm/osn-9800>
- MTC Ministerio de transportes y comunicaciones (2017) Política Nacional de Banda Ancha.
http://www.mtc.gob.pe/imagen/2.Politica_Nacional%20de_Banda_Ancha_DGRAIC.pdf
- MTC Ministerio de transportes y comunicaciones (2017). Visión al 2021 del sector: hacia un Perú digital.
http://www.mtc.gob.pe/imagen/1.Viceministro_Vision_al_2021.pdf
- MTC Ministerio de transportes y comunicaciones (2017). Regulación de Banda Ancha y TIC: Avances en materia de competencia.
<http://www.mtc.gob.pe/imagen/3.Regulacionde%20bandaanchaOsiptel.pdf>
- MTC Ministerio de transportes y comunicaciones (2017). Ejecución del Contrato de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica.
<http://www.mtc.gob.pe/imagen/4.%20Contrato%20de%20la%20RDNFO-DGCC.pdf>
- MTC Ministerio de transportes y comunicaciones (2017). Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (Azteca)
<http://www.mtc.gob.pe/imagen/5.%20RDNFO-Azteca.pdf>
- MTC Ministerio de transportes y comunicaciones (2017). REDNACE.
<http://www.mtc.gob.pe/imagen/7.%20REDNACE%20-%20FITEL.pdf>
- Union internacional de telecomunicaciones (2012). G.8080 : Arquitectura de la red óptica con conmutación automática
- Union internacional de telecomunicaciones (2013). G.652 : Características de un cable de fibra óptica monomodo.
- Unión internacional de telecomunicaciones (2016). G.709 : Interfaces para la red óptica de transporte.

- Unión internacional de telecomunicaciones (2012). G.694.1 : Planes espectrales para las aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda: Plan de frecuencias con multiplexación por división de longitud de onda densa.
- Fibra Optica (2017). La dispersión cromática en la fibra óptica
<http://lafibraoptica Peru.com/la-dispersion-cromatica-en-la-fibra-optica/>
- PROINVERSION (2015). Infografía Red dorsal
http://www.proinversion.gob.pe/RepositorioAPS/0/1/JER/SALA_PRENSA_INF OGRAFIAS/infografias/INFOGRAFIA_RED_DORSAL.pdf
- Alcatel-Lucent. (2007). Transmission Networks WDM Technology Fundamentals. Manual de entrenamiento.
- Alcatel-Lucent. (2010). Next-generation Electro-Optics Technology with Coherent Detection. Nueva Jersey: Bell-Labs.
- Alcatel-Lucent. (2011). 1830 PSS-36/32/16 Product Information and Planning Guide. Nueva Jersey: ALU.
- Alcatel-Lucent. (2011). Alcatel-Lucent 1830 PSS-36/32/16 (Photonic Service Switch) Overview. Nueva Jersey: Alcatel-Lucent.
- Bagad, V. S. (2009). Optical Fiber Communication. Pune, India: Techincal Publications Pune.
- Ramaswami, R., Sivarajan, K., & Sasaki, G. (2010). Optical Networks: A Practical Perspective (Tercera ed.). Burlington, Massachusetts, USA: Elsevier.
- Rao, M. M. (2000). Optical Communication. Hyderabad: Orient Blackswan.
- Sangucho, C. E., & Morocho, W. B. (2009). Diseño de la red backhaul para una nueva salida de cable submarino, utilizando la fibra óptica del oleoducto de crudos pesados a disposición del estado ecuatoriano. Tesis, Escuela Politécnica Nacional de Ecuador, Facultad de ingeniería eléctrica y electrónica, Quito, Ecuador.
- Tejedor, R. J. (2006, agosto). Que es. Retrieved from <http://www.coit.es/publicaciones/bit/bit158/60-62.pdf>
- Torrubia, G. S., & Terrazas, V. M. (2006). Algoritmo de Dijkstra. Un tutorial Interactivo. Madrid, España: Facultad de Informática, Universidad Politécnica de Madrid.
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador. (2006). Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales. Caracas: Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador.

APENDICES

APENDICE A

Código MATLAB:

```
clc;
close all;
clear all;
disp('Análisis del Power Budget');
% Introducción de los datos
ptr=input('Introduzca la potencia de Tx en dBm:');
prec=input('Introduzca la sensibilidad de Rx en dBm:');
af=input('Introduzca la atenuación de la fibra en dB:');
sl=input('Introduzca la pérdida por empalmes (splices) en dB:');
cl=input('Introduzca la pérdida por conectores en dB:');
ms=input('Introduzca los márgenes del sistema en dB:');
dist=input('Introduzca la distancia del enlace en Km:');
g65=input('Introduzca el tipo de fibra, en caso de ser G652 escriba 0, en caso de ser G655 escriba 1:');
ael=input('Introduzca el ancho espectral del laser en nm:');

% Calculo de dispersión
if (g65==0)
dc=(17*ael*dist);
pmd=(0.08*(sqrt(dist)))

;
dtot=dc+pmd;
end
if (g65==1)
dc=(4*ael*dist);
pmd=(0.05*(sqrt(dist)));
dtot=dc+pmd;
end
% Calculo del power budget
p=ptr-prec;
aft=af*dist;
slt=(dist/2)*sl;
clt=cl*2;
l=aft+slt+clt+ms;
cont=0;
div=2;
disp(sprintf('Atenuación total del sistema óptico = %fdB',l));
% Ciclo para determinación del power budget
if p<l && (l-p)>10
while (p<l)
dist1=dist;
```

```

dist1=(dist/div);
cont=cont+1;
div=div+1;
aft=af*dist1;
slt=(dist1/2)*sl;
l=aft+slt+clt+ms;
end
end
amp=(dist/cont);
% Impresión de resultados
disp(sprintf('Presupuesto de potencia total del sistema
óptico = %fdB',p));
disp(sprintf('Su enlace requiere %f amplificadores',cont));
disp(sprintf('Los amplificadores deben ser colocados cada
%fkm',amp));
disp(sprintf('Atenuación final luego des en el sistema
óptico = %fdB',l));
disp(sprintf('Su enlace posee %fps de dispersión
cromática',dc));
disp(sprintf('Su enlace posee %fps de dispersión
polarizada',pmd));
disp(sprintf('Su enlace posee %fps de dispersión',dtot));

```

ANEXOS

ANEXO A

Especificaciones Técnicas de OptiX OSN 1800 V

| OptiX OSN 1800-V | |
|---------------------------------|--|
| Specifications | OptiX OSN 1800-V |
| Dimensions (H x W x D) | 221 mm x 442 mm x 224 mm |
| Number of Service Slots | 14 slots per cabinet (DC) 12 slots per cabinet (AC) |
| Switching Capability | OTN: 700G ODUk (k=0, 1, 2, 2e, flex) Packet: 700G SDH: 280G (high-order), 5G (low-order) |
| Number of Wavelengths (maximum) | CWDM: 8 wavelengths; DWDM: 40 wavelengths |
| Rate per Wavelength (maximum) | 100G (OTU-4) |
| Installation Rack | 19/23-inch rack, ETSI 300 mm/600 mm rack |
| Power Supply | 110V AC to 220V AC, -48V DC to -60V DC |



Figura 28. Huawei OSN 1800 V
Fuente: Huawei 2017

ANEXO B

Especificaciones técnicas de OptiX OSN 9800 Switching Platforms

| OptiX OSN 9800 | |
|----------------------------|--|
| Specifications | OptiX OSN 9800 U16 |
| Dimensions (H x W x D) | 847 mm x 442 mm x 295 mm |
| Number of Service Slots | 14 |
| Switching Capability | 5.6 Tbit/s universal switching |
| Specifications | OptiX OSN 9800 U32 |
| Dimensions (H x W x D) | 1,900 mm x 498 mm x 295 mm |
| Number of Service Slots | 32 |
| Switching Capability | 12.8 Tbit/s universal switching |
| Specifications | OptiX OSN 9800 U64 |
| Dimensions (H x W x D) | 2,200 mm x 600 mm x 600 mm (with cabinet) |
| Number of Service Slots | 64 |
| Switching Capability | 25.6 Tbit/s universal switching |
| Channel Spacing | 50/100 GHz fixed grid for 40/80 wavelengths 37.5 GHz to 400 GHz flex grid |
| Rate per Channel (maximum) | 100 GE, 200 GE, 400 GE, 1 TE, 2 TE |
| Wavelength Range | DWDM: 1,529.16 nm to 1,560.61 nm (C band, ITU-T G.694.1) |
| Power Supply | -48 V DC/-60 V DC |



Figura 29. Huawei OptiX OSN 9800 U64 U16 y U32 respectivamente de izquierda a derecha

Fuente: Huawei 2017

Anexo C



FITEL

Localidades Beneficiarias: Región Cajamarca

| Nro | DEPARTAMENTO | DISTRITO | LOCALIDAD | INSTITUCIONES ABONADAS OBLIGATORIAS | | |
|-----|--------------|-----------|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| | | | | LOCALES ESCOLARES | ESTABLECIMIENTOS DE SALUD | DEPENDENCIAS POLICIALES |
| 1 | CAJAMARCA | CAJAMARCA | TUAL | 2 | 1 | 0 |
| 2 | CAJAMARCA | CAJAMARCA | SAN PEDRO | 3 | 0 | 0 |
| 3 | CAJAMARCA | CAJAMARCA | ALISO COLORADO | 1 | 0 | 0 |
| 4 | CAJAMARCA | CAJAMARCA | PORCON ALTO | 0 | 1 | 0 |
| 5 | CAJAMARCA | CAJAMARCA | PORCON BAJO | 1 | 1 | 0 |
| 6 | CAJAMARCA | CAJAMARCA | PLAN MANZANAS | 1 | 0 | 0 |
| 7 | CAJAMARCA | CAJAMARCA | COCHAPAMPA | 1 | 0 | 0 |
| 8 | CAJAMARCA | CAJAMARCA | CHORO PORCON | 1 | 0 | 0 |
| 9 | CAJAMARCA | CAJAMARCA | MAJADA PAMPA | 0 | 1 | 0 |
| 10 | CAJAMARCA | CAJAMARCA | HUAMBOCANCHA ALTA | 0 | 1 | 0 |
| 11 | CAJAMARCA | CAJAMARCA | PURUAY ALTO | 1 | 1 | 0 |
| 12 | CAJAMARCA | CAJAMARCA | SHICUANA | 1 | 0 | 0 |
| 13 | CAJAMARCA | CAJAMARCA | CHAMIS | 1 | 1 | 0 |
| 14 | CAJAMARCA | CAJAMARCA | MOLLEPAMPA | 1 | 0 | 0 |
| 15 | CAJAMARCA | CAJAMARCA | PATA PATA | 0 | 1 | 0 |
| 16 | CAJAMARCA | CAJAMARCA | AYLAMBO | 1 | 1 | 0 |
| 17 | CAJAMARCA | CAJAMARCA | PACCHA GRANDE | 0 | 1 | 0 |
| 18 | CAJAMARCA | CAJAMARCA | AGOMARCA CHAQUIL | 0 | 1 | 0 |
| 19 | CAJAMARCA | CAJAMARCA | HUAYLLAPAMPA | 1 | 0 | 0 |
| 20 | CAJAMARCA | CAJAMARCA | AGOCUCHO | 0 | 1 | 0 |
| 21 | CAJAMARCA | ASUNCION | ASUNCION | 2 | 1 | 1 |
| 22 | CAJAMARCA | ASUNCION | RINCONADA | 1 | 0 | 0 |
| 23 | CAJAMARCA | ASUNCION | VISTA ALEGRE | 2 | 0 | 0 |
| 24 | CAJAMARCA | ASUNCION | CHAMANI BAJO | 1 | 0 | 0 |
| 25 | CAJAMARCA | ASUNCION | CHAMANI ALTO | 2 | 0 | 0 |
| 26 | CAJAMARCA | ASUNCION | SAPUC | 2 | 1 | 0 |
| 27 | CAJAMARCA | CHETILLA | CHETILLA | 2 | 1 | 0 |
| 28 | CAJAMARCA | CHETILLA | CADENA | 1 | 0 | 0 |
| 29 | CAJAMARCA | COSPAN | COSPAN | 1 | 1 | 1 |
| 30 | CAJAMARCA | ENCAÑADA | ENCAÑADA | 0 | 1 | 1 |
| 31 | CAJAMARCA | ENCAÑADA | SANTIAGO DE CHANTA BAJA | 1 | 0 | 0 |
| 32 | CAJAMARCA | ENCAÑADA | YANACANCHA BAJA | 2 | 1 | 0 |
| 33 | CAJAMARCA | ENCAÑADA | SANTIAGO DE CHANTA ALTA | 2 | 1 | 1 |
| 34 | CAJAMARCA | ENCAÑADA | YERBA BUENA CHICA | 1 | 1 | 0 |
| 35 | CAJAMARCA | ENCAÑADA | SAN PEDRO DE COMBAYO | 1 | 0 | 0 |
| 36 | CAJAMARCA | ENCAÑADA | COMBAYO | 1 | 1 | 0 |
| 37 | CAJAMARCA | ENCAÑADA | VENTANILLAS DE COMBAYO | 1 | 0 | 0 |
| 38 | CAJAMARCA | ENCAÑADA | ALTO SOGORON | 1 | 0 | 0 |
| 39 | CAJAMARCA | ENCAÑADA | LA VICTORIA | 0 | 1 | 0 |
| 40 | CAJAMARCA | ENCAÑADA | SAN JOSE | 1 | 0 | 0 |
| 41 | CAJAMARCA | ENCAÑADA | TAMBOMAYO | 1 | 0 | 0 |
| 42 | CAJAMARCA | ENCAÑADA | EL MANGLE | 1 | 1 | 0 |
| 43 | CAJAMARCA | ENCAÑADA | ALTO CHAQUIL | 1 | 0 | 0 |
| 44 | CAJAMARCA | ENCAÑADA | SAN LUIS DE POLLOQUITO | 0 | 1 | 0 |
| 45 | CAJAMARCA | JESUS | JESUS | 0 | 0 | 1 |
| 46 | CAJAMARCA | JESUS | PALTURO | 1 | 0 | 0 |
| 47 | CAJAMARCA | JESUS | HUALQUI | 1 | 1 | 0 |
| 48 | CAJAMARCA | JESUS | EL CARMEN | 0 | 1 | 0 |
| 49 | CAJAMARCA | JESUS | LA SHITA | 2 | 0 | 0 |
| 50 | CAJAMARCA | JESUS | TRANCA 1 | 1 | 0 | 0 |



Localidades Beneficiarias: Región Cajamarca

| Nro | DEPARTAMENTO | DISTRITO | LOCALIDAD | INSTITUCIONES ABONADAS OBLIGATORIAS | | |
|-----|--------------|--------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| | | | | LOCALES ESCOLARES | ESTABLECIMIENTOS DE SALUD | DEPENDENCIAS POLICIALES |
| 51 | CAJAMARCA | JESUS | SAN PABLO | 1 | 1 | 0 |
| 52 | CAJAMARCA | LLACANORA | LLACANORA | 0 | 1 | 0 |
| 53 | CAJAMARCA | LLACANORA | MARCOBAMBA | 1 | 0 | 0 |
| 54 | CAJAMARCA | LLACANORA | SHAULLO GRANDE | 1 | 0 | 0 |
| 55 | CAJAMARCA | LLACANORA | YANAMARCA | 0 | 1 | 0 |
| 56 | CAJAMARCA | LOS BAÑOS DEL INCA | APALIN ALTO | 0 | 1 | 0 |
| 57 | CAJAMARCA | LOS BAÑOS DEL INCA | LUYCHUPUCRO ALTO | 1 | 0 | 0 |
| 58 | CAJAMARCA | LOS BAÑOS DEL INCA | QUINRAY QUERO BAJO | 1 | 0 | 0 |
| 59 | CAJAMARCA | LOS BAÑOS DEL INCA | CHIMCHIN OTUZCO | 0 | 1 | 0 |
| 60 | CAJAMARCA | LOS BAÑOS DEL INCA | SANTA BARBARA | 0 | 1 | 0 |
| 61 | CAJAMARCA | LOS BAÑOS DEL INCA | CHINCHIN CHUQUIPUQUIO | 1 | 0 | 0 |
| 62 | CAJAMARCA | LOS BAÑOS DEL INCA | SANTA URSULA | 1 | 0 | 0 |
| 63 | CAJAMARCA | LOS BAÑOS DEL INCA | OTUZCO | 1 | 0 | 0 |
| 64 | CAJAMARCA | MAGDALENA | CUMBICO | 2 | 1 | 0 |
| 65 | CAJAMARCA | MAGDALENA | CASADEN | 1 | 0 | 0 |
| 66 | CAJAMARCA | MAGDALENA | LA VIÑA | 1 | 0 | 0 |
| 67 | CAJAMARCA | MATARA | MATARA | 0 | 1 | 1 |
| 68 | CAJAMARCA | NAMORA | NAMORA | 0 | 1 | 1 |
| 69 | CAJAMARCA | NAMORA | LA LAGUNA SANTA URSULA | 1 | 0 | 0 |
| 70 | CAJAMARCA | NAMORA | QUELLOCOCHA | 2 | 0 | 0 |
| 71 | CAJAMARCA | NAMORA | EL TRIUNFO | 0 | 1 | 0 |
| 72 | CAJAMARCA | CAJABAMBA | PINGO | 1 | 0 | 0 |
| 73 | CAJAMARCA | CAJABAMBA | HUAYLLABAMBA | 1 | 0 | 0 |
| 74 | CAJAMARCA | CAJABAMBA | CUNGUNDAY | 1 | 0 | 0 |
| 75 | CAJAMARCA | CAJABAMBA | CASHAPAMBA | 1 | 1 | 0 |
| 76 | CAJAMARCA | CAJABAMBA | CALLASH | 1 | 0 | 0 |
| 77 | CAJAMARCA | CAJABAMBA | COLCABAMBA | 1 | 1 | 0 |
| 78 | CAJAMARCA | CAJABAMBA | MACHACUAY | 1 | 0 | 0 |
| 79 | CAJAMARCA | CAJABAMBA | CHANSHPAMBA | 1 | 0 | 0 |
| 80 | CAJAMARCA | CAJABAMBA | RUMIRUMI | 1 | 0 | 0 |
| 81 | CAJAMARCA | CAJABAMBA | SANTA RITA | 1 | 0 | 0 |
| 82 | CAJAMARCA | CACHACHI | CACHACHI | 2 | 1 | 1 |
| 83 | CAJAMARCA | CACHACHI | CHIMCHIMPATA | 1 | 0 | 0 |
| 84 | CAJAMARCA | CACHACHI | CHOLICAL | 2 | 1 | 0 |
| 85 | CAJAMARCA | CACHACHI | HIERBA BUENA | 1 | 1 | 0 |
| 86 | CAJAMARCA | CACHACHI | PAUQUILLA BAJA | 1 | 0 | 0 |
| 87 | CAJAMARCA | CACHACHI | LICLIPAMPA ALTO | 1 | 0 | 0 |
| 88 | CAJAMARCA | CACHACHI | SAN JOSE | 1 | 0 | 0 |
| 89 | CAJAMARCA | CACHACHI | CHUQUIBAMBA | 2 | 1 | 1 |
| 90 | CAJAMARCA | CACHACHI | PAMPA CHANCAS | 1 | 0 | 0 |
| 91 | CAJAMARCA | CACHACHI | MOYAN ALTO | 1 | 0 | 0 |
| 92 | CAJAMARCA | CACHACHI | CARRIZAL | 1 | 0 | 0 |
| 93 | CAJAMARCA | CACHACHI | ARAQUEDA | 2 | 1 | 1 |
| 94 | CAJAMARCA | CACHACHI | CORRAL PAMPA | 1 | 0 | 0 |
| 95 | CAJAMARCA | CONDEBAMBA | CAUDAY | 0 | 0 | 1 |
| 96 | CAJAMARCA | CONDEBAMBA | EL HUAYO | 0 | 1 | 0 |
| 97 | CAJAMARCA | CONDEBAMBA | CHICHIR | 1 | 0 | 0 |
| 98 | CAJAMARCA | CONDEBAMBA | MALCAS | 0 | 1 | 0 |
| 99 | CAJAMARCA | CONDEBAMBA | COIMA | 1 | 0 | 0 |
| 100 | CAJAMARCA | CONDEBAMBA | AYANGAY | 1 | 0 | 0 |



Localidades Beneficiarias: Región Cajamarca

| Nro | DEPARTAMENTO | DISTRITO | LOCALIDAD | INSTITUCIONES ABONADAS OBLIGATORIAS | | |
|-----|--------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| | | | | LOCALES ESCOLARES | ESTABLECIMIENTOS DE SALUD | DEPENDENCIAS POLICIALES |
| 101 | CAJAMARCA | CONDEBAMBA | OTUTO | 1 | 1 | 0 |
| 102 | CAJAMARCA | CONDEBAMBA | SAN MARTIN | 1 | 0 | 0 |
| 103 | CAJAMARCA | CONDEBAMBA | TANGALBAMBA ALTO | 1 | 0 | 0 |
| 104 | CAJAMARCA | CONDEBAMBA | SARIN | 1 | 0 | 0 |
| 105 | CAJAMARCA | CONDEBAMBA | OGOSGON VISTA ALEGRE | 1 | 0 | 0 |
| 106 | CAJAMARCA | CONDEBAMBA | HUAÑIMBA | 0 | 1 | 0 |
| 107 | CAJAMARCA | SITACOCHA | LLUCHUBAMBA | 2 | 1 | 1 |
| 108 | CAJAMARCA | SITACOCHA | SITACOCHA | 1 | 1 | 0 |
| 109 | CAJAMARCA | SITACOCHA | JOCOS | 1 | 1 | 0 |
| 110 | CAJAMARCA | CELENDIN | LLANGUAT | 1 | 1 | 0 |
| 111 | CAJAMARCA | CELENDIN | CASHACONGA | 1 | 0 | 0 |
| 112 | CAJAMARCA | CELENDIN | SANTA ROSA | 1 | 0 | 0 |
| 113 | CAJAMARCA | CELENDIN | BELLAVISTA | 2 | 0 | 0 |
| 114 | CAJAMARCA | CELENDIN | MOLINO PAMPA | 1 | 0 | 0 |
| 115 | CAJAMARCA | CELENDIN | QUILLIMBASH | 1 | 0 | 0 |
| 116 | CAJAMARCA | CHUMUCH | CHUMUCH | 1 | 1 | 1 |
| 117 | CAJAMARCA | CORTEGANA | CHIMUCH (CORTEGANA) | 1 | 1 | 1 |
| 118 | CAJAMARCA | HUASMIN | HUASMIN | 1 | 1 | 1 |
| 119 | CAJAMARCA | HUASMIN | CHUGUR | 2 | 1 | 0 |
| 120 | CAJAMARCA | HUASMIN | SAN ISIDRO | 1 | 0 | 0 |
| 121 | CAJAMARCA | HUASMIN | LAGUNAS | 1 | 1 | 0 |
| 122 | CAJAMARCA | HUASMIN | TUPAC AMARU | 1 | 0 | 0 |
| 123 | CAJAMARCA | HUASMIN | VISTA ALEGRE | 1 | 1 | 0 |
| 124 | CAJAMARCA | HUASMIN | JEREZ | 1 | 1 | 0 |
| 125 | CAJAMARCA | HUASMIN | COÑICORGUE | 1 | 0 | 0 |
| 126 | CAJAMARCA | HUASMIN | SANTA ROSA | 2 | 1 | 0 |
| 127 | CAJAMARCA | HUASMIN | CONGONA | 1 | 0 | 0 |
| 128 | CAJAMARCA | HUASMIN | HUANGASHANGA | 3 | 0 | 0 |
| 129 | CAJAMARCA | HUASMIN | TINGO | 2 | 0 | 0 |
| 130 | CAJAMARCA | HUASMIN | LLAGUAN | 0 | 1 | 0 |
| 131 | CAJAMARCA | HUASMIN | SENDAMAL | 1 | 1 | 0 |
| 132 | CAJAMARCA | JORGE CHAVEZ | LUCMAPAMPA | 0 | 1 | 0 |
| 133 | CAJAMARCA | JOSE GALVEZ | FRAYLECOCHA | 1 | 1 | 0 |
| 134 | CAJAMARCA | MIGUEL IGLESIAS | CHALAN | 1 | 1 | 1 |
| 135 | CAJAMARCA | MIGUEL IGLESIAS | CAMPO ALEGRE | 2 | 0 | 0 |
| 136 | CAJAMARCA | MIGUEL IGLESIAS | BELLAVISTA | 1 | 0 | 0 |
| 137 | CAJAMARCA | MIGUEL IGLESIAS | PIZON | 1 | 1 | 0 |
| 138 | CAJAMARCA | OXAMARCA | OXAMARCA | 2 | 1 | 1 |
| 139 | CAJAMARCA | SOROCHUCO | SOROCHUCO | 2 | 1 | 1 |
| 140 | CAJAMARCA | SOROCHUCO | CHUGURMAYO | 1 | 0 | 0 |
| 141 | CAJAMARCA | SOROCHUCO | SALACAT | 2 | 1 | 0 |
| 142 | CAJAMARCA | SOROCHUCO | CRUZPAMPA | 0 | 1 | 0 |
| 143 | CAJAMARCA | SOROCHUCO | REJOPAMPA | 1 | 1 | 0 |
| 144 | CAJAMARCA | SOROCHUCO | TANDAYOC | 1 | 1 | 0 |
| 145 | CAJAMARCA | SOROCHUCO | LLAVIDQUE | 0 | 1 | 0 |
| 146 | CAJAMARCA | SOROCHUCO | QUENGOMAYO | 1 | 0 | 0 |
| 147 | CAJAMARCA | SUCRE | CALCONGA | 2 | 1 | 0 |
| 148 | CAJAMARCA | UTCO | UTCO | 0 | 1 | 0 |
| 149 | CAJAMARCA | LA LIBERTAD DE PALLAN | LA LIBERTAD DE PALLAN | 2 | 1 | 0 |
| 150 | CAJAMARCA | LA LIBERTAD DE PALLAN | RAMOSCUCHO | 2 | 1 | 0 |



Localidades Beneficiarias: Región Cajamarca

| Nro | DEPARTAMENTO | DISTRITO | LOCALIDAD | INSTITUCIONES ABONADAS OBLIGATORIAS | | |
|-----|--------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| | | | | LOCALES ESCOLARES | ESTABLECIMIENTOS DE SALUD | DEPENDENCIAS POLICIALES |
| 151 | CAJAMARCA | LA LIBERTAD DE PALLAN | CHUÑIGA | 1 | 0 | 0 |
| 152 | CAJAMARCA | LA LIBERTAD DE PALLAN | VELASQUEZ | 1 | 0 | 0 |
| 153 | CAJAMARCA | LA LIBERTAD DE PALLAN | QUINUAMAYO | 1 | 0 | 0 |
| 154 | CAJAMARCA | LA LIBERTAD DE PALLAN | SAN MARTIN | 1 | 0 | 0 |
| 155 | CAJAMARCA | LA LIBERTAD DE PALLAN | NUEVA ESPERANZA | 2 | 1 | 0 |
| 156 | CAJAMARCA | LA LIBERTAD DE PALLAN | PAUCAPAMPA | 1 | 0 | 0 |
| 157 | CAJAMARCA | CHOTA | LEONEROPAMPA | 0 | 1 | 0 |
| 158 | CAJAMARCA | CHOTA | SARABAMBA | 2 | 1 | 0 |
| 159 | CAJAMARCA | CHOTA | CHULIT ALTO | 1 | 1 | 0 |
| 160 | CAJAMARCA | CHOTA | CENTRO CONDORPULLANA | 1 | 1 | 0 |
| 161 | CAJAMARCA | CHOTA | UTCHUCLACHULIT | 1 | 1 | 0 |
| 162 | CAJAMARCA | CHOTA | SIVINGAN ALTO | 1 | 1 | 0 |
| 163 | CAJAMARCA | CHOTA | CHUYABAMBA ALTO | 2 | 1 | 0 |
| 164 | CAJAMARCA | CHOTA | SIVINGAN BAJO | 1 | 0 | 0 |
| 165 | CAJAMARCA | CHOTA | COLPATUAPAMPA | 2 | 1 | 0 |
| 166 | CAJAMARCA | CHOTA | COLPA HUACARIS | 1 | 0 | 0 |
| 167 | CAJAMARCA | CHOTA | CHOROCO | 1 | 0 | 0 |
| 168 | CAJAMARCA | CHOTA | ROJASPAMPA | 1 | 1 | 0 |
| 169 | CAJAMARCA | CHOTA | EL MIRADOR | 1 | 1 | 0 |
| 170 | CAJAMARCA | CHOTA | PROGRESO PAMPA | 0 | 1 | 0 |
| 171 | CAJAMARCA | CHOTA | ALTO CAÑAFISTO | 2 | 0 | 0 |
| 172 | CAJAMARCA | CHOTA | CENTRO C AÑAFISTO | 0 | 1 | 0 |
| 173 | CAJAMARCA | CHOTA | CHIMCHIM | 1 | 0 | 0 |
| 174 | CAJAMARCA | CHOTA | IRACA GRANDE | 1 | 1 | 0 |
| 175 | CAJAMARCA | CHOTA | NUEVO ORIENTE | 1 | 1 | 0 |
| 176 | CAJAMARCA | CHOTA | CARHUAMAYO | 2 | 1 | 0 |
| 177 | CAJAMARCA | CHOTA | REJOPAMPA | 1 | 0 | 0 |
| 178 | CAJAMARCA | CHOTA | SAN ANTONIO DE IRACA | 1 | 1 | 0 |
| 179 | CAJAMARCA | CHOTA | CABRACANCHA ALTO | 0 | 1 | 0 |
| 180 | CAJAMARCA | CHOTA | YURACYACU | 2 | 1 | 0 |
| 181 | CAJAMARCA | CHOTA | NEGROPAMPA BAJO | 2 | 1 | 0 |
| 182 | CAJAMARCA | CHOTA | LINGAN PATA | 1 | 1 | 0 |
| 183 | CAJAMARCA | CHOTA | PAMPA LA LAGUNA | 1 | 1 | 0 |
| 184 | CAJAMARCA | CHOTA | SILLEROPATA ALTO | 1 | 1 | 0 |
| 185 | CAJAMARCA | CHOTA | SILLEROPATA BAJO | 1 | 1 | 0 |
| 186 | CAJAMARCA | CHOTA | LINGAN GRANDE | 2 | 1 | 0 |
| 187 | CAJAMARCA | CHOTA | COLPA MATARA | 1 | 0 | 0 |
| 188 | CAJAMARCA | CHOTA | RAMBRAMPATA | 0 | 1 | 0 |
| 189 | CAJAMARCA | CHOTA | CENTRO BASE CUYUMALCA | 2 | 1 | 0 |
| 190 | CAJAMARCA | CHOTA | CABRACANCHA | 2 | 0 | 0 |
| 191 | CAJAMARCA | ANGUIA | ANGUIA | 2 | 1 | 1 |
| 192 | CAJAMARCA | ANGUIA | HUALLANGATE | 2 | 1 | 0 |
| 193 | CAJAMARCA | ANGUIA | CHIUT | 1 | 0 | 0 |
| 194 | CAJAMARCA | ANGUIA | TENDAL | 2 | 0 | 0 |
| 195 | CAJAMARCA | ANGUIA | RODEOPAMPA | 1 | 1 | 0 |
| 196 | CAJAMARCA | ANGUIA | CHUGUR | 2 | 1 | 0 |
| 197 | CAJAMARCA | CHADIN | CHADIN | 2 | 1 | 0 |
| 198 | CAJAMARCA | CHADIN | LA UNION | 2 | 1 | 0 |
| 199 | CAJAMARCA | CHADIN | SAN JUAN | 1 | 1 | 0 |
| 200 | CAJAMARCA | CHADIN | PUENTECILLA | 1 | 0 | 0 |



Localidades Beneficiarias: Región Cajamarca

| Nro | DEPARTAMENTO | DISTRITO | LOCALIDAD | INSTITUCIONES ABONADAS OBLIGATORIAS | | |
|-----|--------------|------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| | | | | LOCALES ESCOLARES | ESTABLECIMIENTOS DE SALUD | DEPENDENCIAS POLICIALES |
| 201 | CAJAMARCA | CHADIN | CHACAPAMPA | 1 | 1 | 0 |
| 202 | CAJAMARCA | CHIGUIRIP | CHIGUIRIP | 2 | 1 | 1 |
| 203 | CAJAMARCA | CHIGUIRIP | PICHUGAN | 2 | 1 | 0 |
| 204 | CAJAMARCA | CHIGUIRIP | MARAYHUACA | 1 | 1 | 0 |
| 205 | CAJAMARCA | CHIGUIRIP | SACUS | 1 | 1 | 0 |
| 206 | CAJAMARCA | CHIGUIRIP | TUGUSA | 2 | 1 | 0 |
| 207 | CAJAMARCA | CHIMBAN | CHIMBAN | 2 | 1 | 1 |
| 208 | CAJAMARCA | CHIMBAN | SUSANGATE | 1 | 1 | 0 |
| 209 | CAJAMARCA | CHIMBAN | PANDE | 0 | 1 | 0 |
| 210 | CAJAMARCA | CHOROPAMPA | CHOROPAMPA | 2 | 1 | 0 |
| 211 | CAJAMARCA | CHOROPAMPA | COMUGAN | 0 | 1 | 0 |
| 212 | CAJAMARCA | COCHABAMBA | SEGUE | 2 | 1 | 0 |
| 213 | CAJAMARCA | COCHABAMBA | SOGOS | 2 | 1 | 0 |
| 214 | CAJAMARCA | COCHABAMBA | EL TAYAL | 1 | 1 | 0 |
| 215 | CAJAMARCA | CONCHAN | CONCHAN | 2 | 1 | 1 |
| 216 | CAJAMARCA | CONCHAN | LASCAN | 1 | 1 | 0 |
| 217 | CAJAMARCA | CONCHAN | CRUZCONGA | 2 | 1 | 0 |
| 218 | CAJAMARCA | CONCHAN | SAN PEDRO | 1 | 0 | 0 |
| 219 | CAJAMARCA | CONCHAN | CHETILLA | 2 | 1 | 0 |
| 220 | CAJAMARCA | CONCHAN | CHAMES | 1 | 0 | 0 |
| 221 | CAJAMARCA | CONCHAN | CARHUARUNDO | 1 | 0 | 0 |
| 222 | CAJAMARCA | CONCHAN | CUTAXI | 2 | 1 | 0 |
| 223 | CAJAMARCA | CONCHAN | LA PALMA | 0 | 1 | 0 |
| 224 | CAJAMARCA | HUAMBOS | HUAMBOS | 0 | 0 | 1 |
| 225 | CAJAMARCA | HUAMBOS | MOLLEBAMBA | 1 | 1 | 0 |
| 226 | CAJAMARCA | HUAMBOS | LICAYATE | 1 | 0 | 0 |
| 227 | CAJAMARCA | HUAMBOS | CHABARBAMBA | 2 | 1 | 0 |
| 228 | CAJAMARCA | HUAMBOS | CHALLUARACRA | 1 | 1 | 0 |
| 229 | CAJAMARCA | HUAMBOS | YAMALUC | 1 | 1 | 0 |
| 230 | CAJAMARCA | HUAMBOS | LANCHECONGA | 2 | 1 | 0 |
| 231 | CAJAMARCA | LAJAS | LAJAS | 0 | 1 | 1 |
| 232 | CAJAMARCA | LAJAS | PAMPACANCHA | 1 | 1 | 0 |
| 233 | CAJAMARCA | LAJAS | QUINUAPAMPA | 1 | 0 | 0 |
| 234 | CAJAMARCA | LAJAS | SAN CARLOS ALTO | 0 | 1 | 0 |
| 235 | CAJAMARCA | LAJAS | EL SOCORRO | 1 | 0 | 0 |
| 236 | CAJAMARCA | LAJAS | MARCOPAMPA | 1 | 1 | 0 |
| 237 | CAJAMARCA | LAJAS | CHURUCANCHA EL MOLINO | 1 | 0 | 0 |
| 238 | CAJAMARCA | LAJAS | VIRGEN DEL CARMEN BAJO | 0 | 1 | 0 |
| 239 | CAJAMARCA | LAJAS | LA SINRRA | 1 | 1 | 0 |
| 240 | CAJAMARCA | LAJAS | PACOBAMBA | 1 | 1 | 0 |
| 241 | CAJAMARCA | LAJAS | CHINLANLAN | 0 | 1 | 0 |
| 242 | CAJAMARCA | LAJAS | TAURIPAMPA | 1 | 1 | 0 |
| 243 | CAJAMARCA | LAJAS | CADMALCA ALTO | 2 | 1 | 0 |
| 244 | CAJAMARCA | LAJAS | LLANGODEN BAJO | 0 | 1 | 0 |
| 245 | CAJAMARCA | LAJAS | YACOHINGANA | 1 | 1 | 0 |
| 246 | CAJAMARCA | LLAMA | LLAMA | 2 | 1 | 1 |
| 247 | CAJAMARCA | LLAMA | TIMON | 0 | 1 | 0 |
| 248 | CAJAMARCA | LLAMA | LIMONCARRO | 0 | 1 | 0 |
| 249 | CAJAMARCA | LLAMA | CARNICHE BAJO | 2 | 0 | 0 |
| 250 | CAJAMARCA | MIRACOSTA | MIRACOSTA | 1 | 1 | 1 |



FITEL

Localidades Beneficiarias: Región Tumbes

| Nro | REGION | DISTRITO | LOCALIDAD | ENTIDADES ESTATALES | | |
|-----|--------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|------------|
| | | | | LOCALES ESCOLARES | ESTABLECIMIENTOS DE SALUD | COMISARIAS |
| 1 | TUMBES | CANOAS DE PUNTA SAL | CANCAS | | 1 | 1 |
| 2 | TUMBES | CASITAS | AVERIAS | 1 | | |
| 3 | TUMBES | CASITAS | BELLAVISTA | 1 | | |
| 4 | TUMBES | CASITAS | CAÑAVERAL | 3 | 1 | 1 |
| 5 | TUMBES | CASITAS | CASITAS | 1 | | |
| 6 | TUMBES | CASITAS | CHERRELIQUE | 1 | | |
| 7 | TUMBES | CASITAS | LA CHOZA | 1 | 1 | |
| 8 | TUMBES | CASITAS | TACNA LIBRE | 1 | | |
| 9 | TUMBES | CASITAS | TAMARINDO | 1 | | |
| 10 | TUMBES | CASITAS | TRIGAL | 2 | 1 | |
| 11 | TUMBES | ZORRITOS | ACAPULCO | | 1 | 1 |
| 12 | TUMBES | ZORRITOS | BOCAPAN | | 1 | |
| 13 | TUMBES | ZORRITOS | BONANZA | 1 | | |
| 14 | TUMBES | ZORRITOS | GRAU | | 1 | |
| 15 | TUMBES | CORRALES | MALVAL ALTO | | 1 | |
| 16 | TUMBES | CORRALES | SAN ISIDRO | | 1 | 1 |
| 17 | TUMBES | LA CRUZ | LOS CEREZOS | 1 | | |
| 18 | TUMBES | PAMPAS DE HOSPITAL | CABUYAL | | 1 | |
| 19 | TUMBES | PAMPAS DE HOSPITAL | CRUZ BLANCA | | 1 | |
| 20 | TUMBES | PAMPAS DE HOSPITAL | EL LIMON | | 1 | |
| 21 | TUMBES | PAMPAS DE HOSPITAL | EL RODEO | 1 | | |
| 22 | TUMBES | PAMPAS DE HOSPITAL | PAMPAS DE HOSPITAL | 3 | 1 | 1 |
| 23 | TUMBES | PAMPAS DE HOSPITAL | PEÑA BLANCA | 1 | | |
| 24 | TUMBES | PAMPAS DE HOSPITAL | PUEBLO NUEVO | 1 | | |
| 25 | TUMBES | SAN JACINTO | CARRETAS | 1 | | |
| 26 | TUMBES | SAN JACINTO | CASA BLANQUEADA | 3 | 1 | |
| 27 | TUMBES | SAN JACINTO | HIGUERON | 1 | | |
| 28 | TUMBES | SAN JACINTO | LA CAPITANA | 1 | | |
| 29 | TUMBES | SAN JACINTO | LA PEÑA | 1 | | |
| 30 | TUMBES | SAN JACINTO | OIDOR | 1 | 1 | |
| 31 | TUMBES | SAN JACINTO | SAN JACINTO | 1 | 1 | 1 |
| 32 | TUMBES | SAN JACINTO | VAQUERIA | 1 | 1 | |
| 33 | TUMBES | SAN JUAN DE LA VIRGEN | CERRO BLANCO | | 1 | |
| 34 | TUMBES | SAN JUAN DE LA VIRGEN | GARBANZAL | | 1 | |
| 35 | TUMBES | SAN JUAN DE LA VIRGEN | SAN JUAN DE LA VIRGEN | 1 | 1 | 1 |
| 36 | TUMBES | TUMBES | LA PRIMAVERA | 1 | | |
| 37 | TUMBES | AGUAS VERDES | CUHARETA BAJA | 1 | 1 | |
| 38 | TUMBES | AGUAS VERDES | LOMA SAVEDRA | 1 | 1 | |
| 39 | TUMBES | AGUAS VERDES | POCITOS | 1 | 1 | |
| 40 | TUMBES | MATAPALO | EL TUTUMO | 1 | | |
| 41 | TUMBES | MATAPALO | LA TOTORA | 1 | | |
| 42 | TUMBES | MATAPALO | MATAPALO | 1 | 1 | |
| 43 | TUMBES | MATAPALO | NUEVO PROGRESO | 1 | | |
| 44 | TUMBES | PAPAYAL | EL PORVENIR | 1 | 1 | |
| 45 | TUMBES | PAPAYAL | LA COJA | 1 | | |
| 46 | TUMBES | PAPAYAL | LA PALMA | | 1 | |
| 47 | TUMBES | PAPAYAL | LECHUGAL | 1 | 1 | |
| 48 | TUMBES | PAPAYAL | PAPAYAL | 1 | 1 | 1 |
| 49 | TUMBES | PAPAYAL | PUEBLO NUEVO | 1 | | |
| 50 | TUMBES | PAPAYAL | UÑA DE GATO | | 1 | |
| 51 | TUMBES | ZARUMILLA | EL BENDITO | 1 | | |



Localidades Beneficiarias: Región Piura

| Nro | REGION | DISTRITO | LOCALIDAD | ENTIDADES ESTATALES | | |
|-----|--------|--------------------------|------------------------------|---------------------|---------------------------|------------|
| | | | | LOCALES ESCOLARES | ESTABLECIMIENTOS DE SALUD | COMISARIAS |
| 1 | PIURA | AYABACA | AMBASAL CENTRO | 2 | 1 | |
| 2 | PIURA | AYABACA | CARRIZAL BAJO | 1 | | |
| 3 | PIURA | AMOTAPE | AMOTAPE | | 1 | 1 |
| 4 | PIURA | JILILI | ANCHALAY | 1 | 1 | |
| 5 | PIURA | AYABACA | ANIA | 1 | 1 | |
| 6 | PIURA | JILILI | ARADA ALTA | 1 | | |
| 7 | PIURA | AYABACA | ARAGOTO CENTRO | 2 | 1 | |
| 8 | PIURA | FRIAS | ARENALES | 1 | 1 | |
| 9 | PIURA | AYABACA | AUL | 1 | | |
| 10 | PIURA | CHULUCANAS | BATANES | 2 | 1 | |
| 11 | PIURA | VICE | BECARA | | 1 | |
| 12 | PIURA | BELLAVISTA DE LA UNION | BELLAVISTA | 1 | 1 | |
| 13 | PIURA | PACAIPAMPA | BELLAVISTA DE CACHIACO | 2 | 1 | |
| 14 | PIURA | BERNAL | BERNAL | 1 | 1 | 1 |
| 15 | PIURA | CATACAOS | BUENOS AIRES DE CUMBIBIRA | 2 | 1 | |
| 16 | PIURA | LAS LOMAS | CACATURO | 1 | | |
| 17 | PIURA | SUYO | CACHAQUITO | 1 | | |
| 18 | PIURA | AYABACA | HUALCUY | 1 | 1 | |
| 19 | PIURA | AYABACA | CAFETAL OLLEROS | 2 | 1 | |
| 20 | PIURA | EL CARMEN DE LA FRONTERA | CAJAS ALUMBRE | 1 | | |
| 21 | PIURA | SAN MIGUEL DE EL FAIQUE | CALANGLA | 2 | | |
| 22 | PIURA | EL ALTO | CALETA CABO BLANCO | | 1 | |
| 23 | PIURA | AYABACA | LANCHE | 1 | | |
| 24 | PIURA | AYABACA | CALVAS DE SAMANGA | 2 | 1 | |
| 25 | PIURA | PACAIPAMPA | CAMINO REAL | 1 | | |
| 26 | PIURA | SULLANA | CANAL MOCHO LAS MERCEDES | 1 | 1 | |
| 27 | PIURA | LA UNION | CANIZAL CHICO | 1 | 1 | |
| 28 | PIURA | BUENOS AIRES | CARRASQUILLO | | 1 | |
| 29 | PIURA | AYABACA | CARRIZAL ALTO | 1 | | |
| 30 | PIURA | LA ARENA | CASAGRANDE | 2 | 1 | |
| 31 | PIURA | LAGUNAS | PUENTE TONDOPA | 1 | 1 | 1 |
| 32 | PIURA | AYABACA | CENTRO DE SOCCHABAMBA | 2 | 1 | |
| 33 | PIURA | SULLANA | CENTRO SERVICIOS SOMATE BAJO | 1 | 1 | |
| 34 | PIURA | SAPILLICA | CHACHACOMAL | 1 | | |
| 35 | PIURA | SULLANA | CHALACALA ALTA | 1 | 1 | |
| 36 | PIURA | PACAIPAMPA | CHANGRA | 1 | | |
| 37 | PIURA | AYABACA | SAUSAL DE CULUCAN | 1 | 1 | |
| 38 | PIURA | CASTILLA | CHAPAYRA | 1 | 1 | |
| 39 | PIURA | LA ARENA | CHAQUIRA | 1 | | |
| 40 | PIURA | AYABACA | CHARAN | 1 | 1 | |
| 41 | PIURA | TAMBO GRANDE | CHARAN COPOZO CP7 | 1 | | |
| 42 | PIURA | CHULUCANAS | CHARANAL (CHARANAL BAJO) | 1 | | |
| 43 | PIURA | LA ARENA | CHATITO | | 1 | |
| 44 | PIURA | SULLANA | CHILACO PELADO (CHILACO) | 2 | 1 | |
| 45 | PIURA | AYABACA | CHINCHIN | 2 | 1 | |
| 46 | PIURA | FRIAS | CULCAS | 2 | 1 | |
| 47 | PIURA | FRIAS | GERALDO | 2 | 1 | |
| 48 | PIURA | SUYO | CHIRINOS | 2 | 1 | |
| 49 | PIURA | AYABACA | CHOCAN CENTRO | 2 | 1 | |
| 50 | PIURA | EL CARMEN DE LA FRONTERA | CHULUCANAS BAJO | 1 | | |



Localidades Beneficiarias: Región Piura

| Nro | REGION | DISTRITO | LOCALIDAD | ENTIDADES ESTATALES | | |
|-----|--------|--------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------|------------|
| | | | | LOCALES ESCOLARES | ESTABLECIMIENTOS DE SALUD | COMISARIAS |
| 51 | PIURA | EL CARMEN DE LA FRONTERA | CHULUCANAS BAJO | 1 | | |
| 52 | PIURA | SECHURA | CHUSIS | 1 | 1 | |
| 53 | PIURA | HUARMACA | COLLONAYUC | 1 | | |
| 54 | PIURA | AYABACA | CONGOLI OLLEROS | 1 | | |
| 55 | PIURA | SECHURA | CONSTANTE | 1 | 1 | |
| 56 | PIURA | TAMBO GRANDE | CP 6 | 1 | | |
| 57 | PIURA | CASTILLA | CRUZ DE CAÑA | 1 | 1 | |
| 58 | PIURA | AYABACA | CRUZ MISIONERA O TAPALCO | 1 | | |
| 59 | PIURA | HUARMACA | CUCHUPAMPA | 1 | | |
| 60 | PIURA | JILILI | CUCUYAS BAJO | 1 | 1 | |
| 61 | PIURA | AYABACA | CULCAPAMPA | 1 | | |
| 62 | PIURA | CANCHAQUE | SILIA O CILIA | 1 | 1 | |
| 63 | PIURA | LAGUNAS | SALVIA | 2 | 1 | |
| 64 | PIURA | LAGUNAS | SAN JOSE DE PILLO | 1 | 1 | |
| 65 | PIURA | PAIMAS | CULQUI | 1 | | |
| 66 | PIURA | PACAIPAMPA | CUMBICUS ALTO | 1 | 1 | |
| 67 | PIURA | AYABACA | CUNANTE | 1 | | |
| 68 | PIURA | PACAIPAMPA | CURILCAS | 2 | | |
| 69 | PIURA | RINCONADA LLICUAR | DOS PUEBLOS | | 1 | 1 |
| 70 | PIURA | LANCONES | DURAN | 1 | | |
| 71 | PIURA | ARENAL | EL ARENAL | | 1 | |
| 72 | PIURA | HUARMACA | EL CEDRO | 1 | | |
| 73 | PIURA | PAIMAS | EL CEIBO | 1 | | |
| 74 | PIURA | SULLANA | EL CUCHO | 2 | 1 | |
| 75 | PIURA | PACAIPAMPA | EL HUABO | 1 | | |
| 76 | PIURA | AYABACA | EL HUILCO | 1 | 1 | |
| 77 | PIURA | LAGUNAS | EL LUCUMO | 1 | 1 | |
| 78 | PIURA | PIURA | EL MOLINO | 1 | | |
| 79 | PIURA | LOS ORGANOS | EL ÑURO | 1 | 1 | |
| 80 | PIURA | PACAIPAMPA | EL PALMO | 1 | | |
| 81 | PIURA | TAMBO GRANDE | EL PAPAYO DEL ALGARROBO | | 1 | |
| 82 | PIURA | LAS LOMAS | EL PARTIDOR | | 1 | |
| 83 | PIURA | EL CARMEN DE LA FRONTERA | EL PORVENIR | 1 | | |
| 84 | PIURA | PACAIPAMPA | EL PUERTO | 1 | 1 | |
| 85 | PIURA | LAS LOMAS | EL SAUCE | 1 | 1 | |
| 86 | PIURA | EL TALLAN | EL TABANCO | 1 | | |
| 87 | PIURA | SAN MIGUEL DE EL FAIQUE | EL TAMBO | | 1 | |
| 88 | PIURA | AMOTAPE | EL TAMBO | | 1 | |
| 89 | PIURA | AYABACA | EL TOLDO | 1 | 1 | |
| 90 | PIURA | LANCONES | ENCUENTRO DE ROMEROS | 1 | 1 | |
| 91 | PIURA | AYABACA | ESPINDOLA | 1 | 1 | |
| 92 | PIURA | HUARMACA | FALSO CORRAL | 1 | | |
| 93 | PIURA | CHALACO | FRANCISCO BOLOGNESI | 1 | | |
| 94 | PIURA | MORROPON | FRANCO BAJO | | 1 | |
| 95 | PIURA | AYABACA | FREJOLITO DE ANDURCO | 1 | 1 | |
| 96 | PIURA | LAS LOMAS | GARABATOS | 1 | 1 | |
| 97 | PIURA | SANTA CATALINA DE MOSSA | MOSSA (MOZ) | 1 | 1 | |
| 98 | PIURA | AYABACA | GIGANTE | 1 | 1 | |
| 99 | PIURA | TAMBO GRANDE | GUARAGUAOS ALTO | 1 | 1 | |
| 100 | PIURA | SONDOR | GUARDALAPA | 1 | | |



Localidades Beneficiarias: Región Piura

| Nro | REGION | DISTRITO | LOCALIDAD | ENTIDADES ESTATALES | | |
|-----|--------|-------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------------|------------|
| | | | | LOCALES ESCOLARES | ESTABLECIMIENTOS DE SALUD | COMISARIAS |
| 101 | PIURA | PAIMAS | GUIR GUIR | 1 | | |
| 102 | PIURA | PAIMAS | HIGUERON | 1 | | |
| 103 | PIURA | HUARMACA | HINTON | 1 | 1 | |
| 104 | PIURA | SALITRAL | HORNOPAMPA | 1 | | |
| 105 | PIURA | LAS LOMAS | HUACHUMA BAJO | 1 | | |
| 106 | PIURA | PAIMAS | ALGODONAL | 1 | | |
| 107 | PIURA | AYABACA | HUACHUMA CENTRO | 1 | 1 | |
| 108 | PIURA | HUANCABAMBA | HUAMANY | 1 | | |
| 109 | PIURA | SULLANA | HUANGALA | 1 | 1 | |
| 110 | PIURA | HUARMACA | HUARMACA | 2 | 1 | 1 |
| 111 | PIURA | LAGUNAS | HUASANCHE | 1 | | |
| 112 | PIURA | LANCONES | HUASINAL DE LA SOLANA | 2 | 1 | |
| 113 | PIURA | FRIAS | HUASIPE | 2 | | |
| 114 | PIURA | SAN MIGUEL DE EL FAIQUE | HUAYABO | 1 | 1 | |
| 115 | PIURA | AYABACA | HUIRIGUINGUE | 2 | 1 | |
| 116 | PIURA | VICHAYAL | ISLA SAN LORENZO | 1 | 1 | |
| 117 | PIURA | SANTO DOMINGO | JACANACAS | 2 | 1 | |
| 118 | PIURA | HUANCABAMBA | JACOCHA | 1 | 1 | |
| 119 | PIURA | SAPILLICA | COLETAS | 1 | 1 | |
| 120 | PIURA | PAIMAS | JAMBUR | 1 | 1 | |
| 121 | PIURA | MIGUEL CHECA | JIBITO | | 1 | |
| 122 | PIURA | HUANCABAMBA | JICATE BAJO | 2 | 1 | |
| 123 | PIURA | JILILI | JILILI | 2 | 1 | 1 |
| 124 | PIURA | AYABACA | JORAS CENTRO | 1 | 1 | |
| 125 | PIURA | COLAN | LA BOCANA | 1 | | |
| 126 | PIURA | SUYO | LA COPA | 1 | | |
| 127 | PIURA | PACAIPAMPA | LA CRIA SAN PABLO | 1 | | |
| 128 | PIURA | MARCAVELICA | LA GOLONDRINA | | 1 | |
| 129 | PIURA | LA HUACA | LA HUACA | | 1 | 1 |
| 130 | PIURA | PAITA | LA ISLILLA (CALERA) | 1 | 1 | |
| 131 | PIURA | SUYO | LA LAGUNA | 1 | 1 | |
| 132 | PIURA | CATACAOS | LA LEGUA-SAN JACINTO (LA LEGUA) | | 2 | 1 |
| 133 | PIURA | HUARMACA | LA LOMA | 1 | 1 | |
| 134 | PIURA | LAS LOMAS | LA MENTA | 1 | 1 | |
| 135 | PIURA | MARCAVELICA | LA NORIA | 1 | 1 | |
| 136 | PIURA | AYABACA | LA OYERIA | 1 | | |
| 137 | PIURA | SUYO | SANTA ANA | 2 | 1 | |
| 138 | PIURA | LANCONES | LA PEÑITA | 1 | 1 | |
| 139 | PIURA | TAMBO GRANDE | LA QUEBRADA | 1 | | |
| 140 | PIURA | MARCAVELICA | LA QUINTA | | 1 | |
| 141 | PIURA | PACAIPAMPA | LA RAMADA DE MALACHE | 1 | | |
| 142 | PIURA | HUARMACA | LA RINCONADA | 1 | | |
| 143 | PIURA | PAIMAS | LA SAUCHA | 1 | 1 | |
| 144 | PIURA | SUYO | LA TIENDA | 1 | 1 | |
| 145 | PIURA | SUYO | LA TINA | 1 | 1 | |
| 146 | PIURA | SAN MIGUEL DE EL FAIQUE | EL NARANJO | 1 | 1 | |
| 147 | PIURA | PAITA | LA TORTUGA | 1 | 1 | |
| 148 | PIURA | PAIMAS | LA VICTORIA | 1 | | |
| 149 | PIURA | HUARMACA | LAGUNA DE SUCCHIRCA | 1 | | |
| 150 | PIURA | LAGUNAS | LAGUNAS | 2 | 1 | |



Localidades Beneficiarias: Región Piura

| Nro | REGION | DISTRITO | LOCALIDAD | ENTIDADES ESTATALES | | |
|-----|--------|-------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------|------------|
| | | | | LOCALES ESCOLARES | ESTABLECIMIENTOS DE SALUD | COMISARIAS |
| 151 | PIURA | PACAIPAMPA | LAGUNAS DE SAN PABLO | 2 | 1 | |
| 152 | PIURA | AYABACA | LAMCHIPAMPA | 2 | | |
| 153 | PIURA | LANCONES | LANCONES | 1 | 1 | 1 |
| 154 | PIURA | CHULUCANAS | LAS PAMPAS | 1 | | |
| 155 | PIURA | AYABACA | LAS PIRCAS | 1 | | |
| 156 | PIURA | FRIAS | LAS PIRCAS | 2 | | |
| 157 | PIURA | PIURA | LAS VEGAS | 2 | 1 | |
| 158 | PIURA | VICE | LETIRA | | 1 | |
| 159 | PIURA | PACAIPAMPA | LIVIN DE SAN PABLO | 1 | | |
| 160 | PIURA | AYABACA | LLANOS DE ARAGOTO | 1 | | |
| 161 | PIURA | TAMBO GRANDE | LLOQUE YUPANQUI | 1 | 1 | |
| 162 | PIURA | LOBITOS | LOBITOS | 1 | 1 | |
| 163 | PIURA | CHALACO | SAN LORENZO | 1 | 1 | |
| 164 | PIURA | LA ARENA | LOMA NEGRA | 1 | 1 | |
| 165 | PIURA | PAIMAS | LOS CORRALES | 1 | | |
| 166 | PIURA | HUARMACA | CHIGNIA BAJA | 2 | 1 | |
| 167 | PIURA | CANCHAQUE | LOS RANCHOS | 2 | 1 | 1 |
| 168 | PIURA | LA HUACA | MACACARA | | 1 | |
| 169 | PIURA | CRISTO NOS VALGA | MALA VIDA | 1 | 1 | |
| 170 | PIURA | PACAIPAMPA | MALACHE | 1 | | |
| 171 | PIURA | MARCAVELICA | MALLARES | | 1 | |
| 172 | PIURA | MARCAVELICA | MALLARITOS | | 1 | |
| 173 | PIURA | PACAIPAMPA | MANGAS DE CACHIACO | 1 | | |
| 174 | PIURA | SANTA CATALINA DE MOSSA | MARAY | 1 | | |
| 175 | PIURA | PACAIPAMPA | MARAY DE CURILCAS | 1 | | |
| 176 | PIURA | HUARMACA | LOMA GRANDE | 1 | 1 | |
| 177 | PIURA | HUARMACA | MARAYPAMPA | 1 | | |
| 178 | PIURA | MONTERO | MARMAS ALTO | 1 | 1 | |
| 179 | PIURA | SAPILLICA | MASIAS BAJO | 1 | | |
| 180 | PIURA | LALAQUIZ | MAYLAND | 2 | 1 | |
| 181 | PIURA | HUARMACA | RODEO PAMPA | 1 | 1 | |
| 182 | PIURA | FRIAS | MEJICO | 1 | | |
| 183 | PIURA | AYABACA | MEJICO DE CUJACA | 1 | | |
| 184 | PIURA | PACAIPAMPA | MEMBRILLO | 1 | | |
| 185 | PIURA | PACAIPAMPA | MIRAFLORES | 1 | | |
| 186 | PIURA | HUARMACA | SAN MARTIN | 1 | 1 | |
| 187 | PIURA | SALITRAL | MIRAFLORES | | 1 | |
| 188 | PIURA | VICHAYAL | MIRAMAR | 2 | 1 | |
| 189 | PIURA | HUARMACA | SAUCE | 1 | 1 | |
| 190 | PIURA | HUARMACA | MOLULO | 1 | | |
| 191 | PIURA | CATACAOS | MONTE CASTILLO | 1 | 1 | |
| 192 | PIURA | LAS LOMAS | MONTE DE LOS OLIVOS | 1 | | |
| 193 | PIURA | LA ARENA | MONTE GRANDE | | 1 | |
| 194 | PIURA | HUARMACA | MONTE GRANDE ALTO | 1 | | |
| 195 | PIURA | IGNACIO ESCUDERO | MONTE LIMA | 1 | 1 | |
| 196 | PIURA | LA UNION | MONTE REDONDO | | 1 | |
| 197 | PIURA | MONTERO | MONTERO | 2 | 1 | 1 |
| 198 | PIURA | MARCAVELICA | MONTERON | | 1 | |
| 199 | PIURA | SAPILLICA | NARANJO (NARANJO MOLINOS) | 1 | | |
| 200 | PIURA | CATACAOS | NARIHUALA | | 1 | |



Localidades Beneficiarias: Región Piura

| Nro | REGION | DISTRITO | LOCALIDAD | ENTIDADES ESTATALES | | |
|-----|--------|-------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------------|------------|
| | | | | LOCALES ESCOLARES | ESTABLECIMIENTOS DE SALUD | COMISARIAS |
| 201 | PIURA | LA HUACA | NOMARA | | 1 | |
| 202 | PIURA | PACAIPAMPA | NUEVA ESPERANZA | 1 | | |
| 203 | PIURA | TAMBO GRANDE | NUEVA ESPERANZA | 1 | | |
| 204 | PIURA | AYABACA | GICLAS | 1 | 1 | |
| 205 | PIURA | SULLANA | NUEVO SULLANA | | 1 | 1 |
| 206 | PIURA | EL TALLAN | NUEVO TALLAN | | 1 | |
| 207 | PIURA | PAIMAS | NUEVO TASAJERAS | 1 | | |
| 208 | PIURA | HUANCABAMBA | ÑANGALI | 2 | 1 | |
| 209 | PIURA | SAN MIGUEL DE EL FAIQUE | TALLAPAMPA | 1 | 1 | |
| 210 | PIURA | SONDOR | CASHAYNAMO | 1 | | |
| 211 | PIURA | TAMBO GRANDE | OCOTO BAJO | 1 | | |
| 212 | PIURA | SONDORILLO | CUSE | 1 | 1 | |
| 213 | PIURA | SONDORILLO | LACCHAN | 1 | 1 | |
| 214 | PIURA | AYABACA | OLLEROS PAMPA | 1 | | |
| 215 | PIURA | SONDORILLO | UCHUPATA | 1 | 1 | |
| 216 | PIURA | SICCHEZ | OXAHUAY | 2 | 1 | |
| 217 | PIURA | PACAIPAMPA | PACAIPAMPA | 2 | 1 | 1 |
| 218 | PIURA | PAIMAS | PAIMAS | 1 | 1 | 1 |
| 219 | PIURA | CANCHAQUE | PALAMBLA | 2 | | |
| 220 | PIURA | CHALACO | PORTACHUELO | 1 | 1 | |
| 221 | PIURA | PACAIPAMPA | PALO BLANCO | 1 | | |
| 222 | PIURA | LAS LOMAS | PAMPA ELERA ALTA | 2 | | |
| 223 | PIURA | LAS LOMAS | PAMPA ELERA BAJA | 1 | 1 | |
| 224 | PIURA | SAPILLICA | PAMPA VERDE | 2 | | |
| 225 | PIURA | AYABACA | PAMPAS DE SOCCHABAMBA | 1 | | |
| 226 | PIURA | PACAIPAMPA | PAPELILLO | 1 | | |
| 227 | PIURA | SECHURA | PARACHIQUE - LA BOCANA | | 2 | 1 |
| 228 | PIURA | AYABACA | PARAGUERO | 1 | | |
| 229 | PIURA | SALITRAL | HUALCAS | 2 | 1 | |
| 230 | PIURA | CATACAOS | PAREDONES | | 1 | |
| 231 | PIURA | HUANCABAMBA | PASAPAMPA | 1 | 1 | |
| 232 | PIURA | HUARMACA | PARGUYUC | 1 | | |
| 233 | PIURA | HUANCABAMBA | PARIAMARCA ALTO | 1 | | |
| 234 | PIURA | LALAQUIZ | PAYACA | 1 | | |
| 235 | PIURA | PACAIPAMPA | PEDREGAL DE MATALACAS | 1 | | |
| 236 | PIURA | CATACAOS | PEDREGAL GRANDE | | 1 | |
| 237 | PIURA | LAS LOMAS | PELINGARA | 1 | 1 | |
| 238 | PIURA | MONTERO | PICHANDUL | 1 | | |
| 239 | PIURA | AYABACA | PINGOLA | 2 | 1 | |
| 240 | PIURA | MONTERO | PITE | 1 | | |
| 241 | PIURA | LANCONES | PLAYAS DE ROMERO | 1 | 1 | |
| 242 | PIURA | AYABACA | PORTACHUELO | 1 | 1 | |
| 243 | PIURA | BUENOS AIRES | PUEBLO NUEVO | | 1 | |
| 244 | PIURA | JILILI | PUEBLO NUEVO DE HUALAMBI | 2 | | |
| 245 | PIURA | SUYO | PUENTE INTERNACIONAL | 1 | 1 | |
| 246 | PIURA | LAS LOMAS | PUERTA PULACHE | 1 | 1 | |
| 247 | PIURA | SECHURA | PUERTO RICO | | 1 | 1 |
| 248 | PIURA | FRIAS | PUTAGAS | 1 | | |
| 249 | PIURA | MONTERO | QUEBRADA DE AGUA | 1 | 1 | |
| 250 | PIURA | PACAIPAMPA | RAMADAS VILCAS | 1 | | |

ANEXO D: Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica

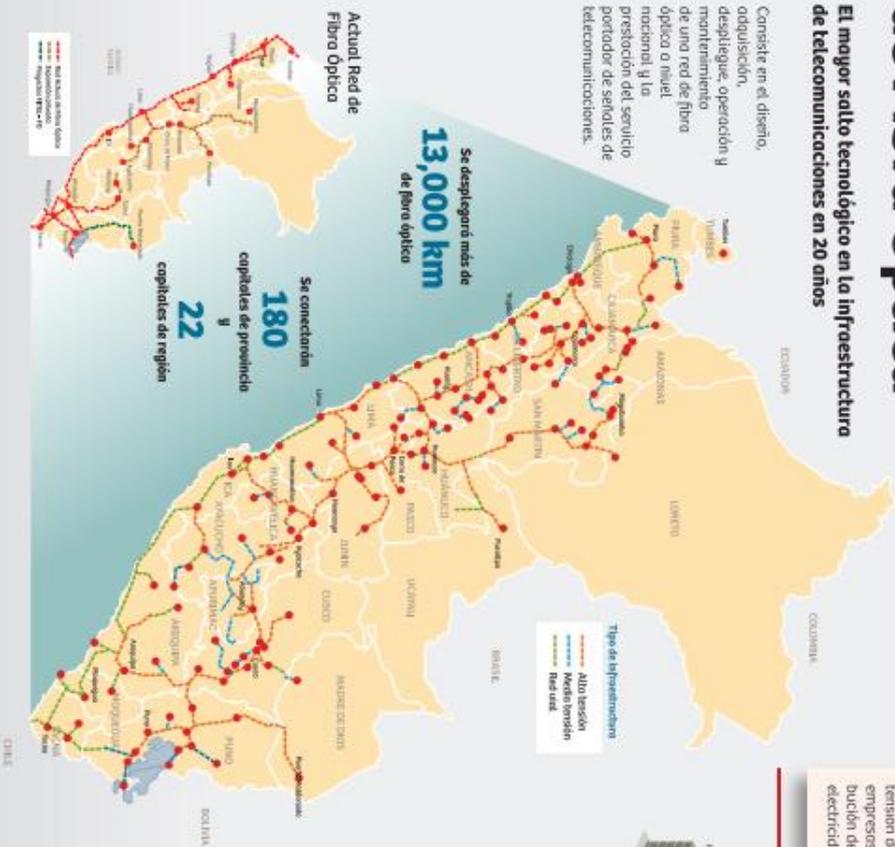


ProlInversión
Agencia de Promoción de la Inversión Privada - Perú

Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica

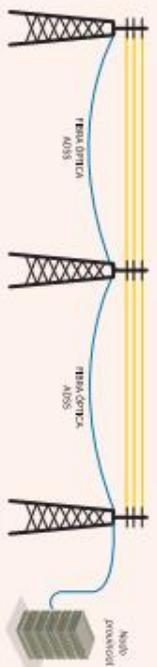
El mayor salto tecnológico en la infraestructura de telecomunicaciones en 20 años

Consiste en el diseño, adquisición, despliegue, operación y mantenimiento de una red de fibra óptica a nivel nacional y la prestación del servicio portador de señales de telecomunicaciones.

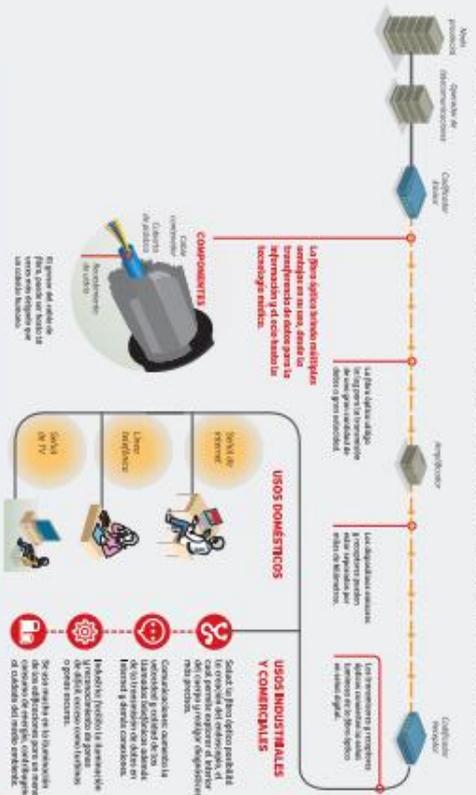


El despliegue de la fibra óptica se realizará utilizando las Torres de alta y media tensión de las empresas de distribución de electricidad.

ESQUEMA TÉCNICO DE LA CONCESIÓN Infraestructura a cargo del concesionario



Integración del concesionario con los operadores de telecomunicaciones



BENEFICIOS

Las compañías de telefonía móvil e Internet tendrán costos menores de transporte de señales de telecomunicaciones. Esto les permitirá bajar sus tarifas de servicios fijos como Internet, teléfono fijo, telefonía móvil, TV, etc.

La tarifa de transporte por fibra óptica que coborará el concesionario a los usuarios de servicios públicos de telecomunicaciones será de US\$27 (con IVA) por Megabit/seg (Mbps), por mes.

OSIPTEL, unida por que este beneficio llegue a los usuarios de los servicios. Además regulará la tarifa del servicio portador al concesionario.