



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

CARRERA DE REDES Y COMUNICACIÓN DE DATOS

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA EN REDES Y
COMUNICACIÓN DE DATOS**

**TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED
DE FIBRA ÓPTICA CON TECNOLOGÍA OTN-DWDM
PARA LA PROVISIÓN DE SERVICIOS DE DATOS,
TELEVISIÓN POR CABLE Y TELEFONÍA A GRAN
DISTANCIA”**

AUTOR: CARRANCO SOTO, CLAUDIA GABRIELA

DIRECTOR: ING. VEGA MUÑOZ, CHRISTIAN NÉSTOR

SANGOLQUÍ

2018



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE REDES Y COMUNICACIÓN DE DATOS

CERTIFICADO DEL DIRECTOR

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA CON TECNOLOGÍA OTN-DWDM PARA LA PROVISIÓN DE SERVICIOS DE DATOS, TELEVISIÓN POR CABLE Y TELEFONÍA A GRAN DISTANCIA**” fue realizado por la señora **Carranco Soto, Claudia Gabriela** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 19 de noviembre del 2018

Firma:

.....

Ing. Christian Vega Muñoz.

C. C. *1709328353*



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE REDES Y COMUNICACIÓN DE DATOS

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Carranco Soto, Claudia Gabriela*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: ***DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA CON TECNOLOGÍA OTN-DWDM PARA LA PROVISIÓN DE SERVICIOS DE DATOS, TELEVISIÓN POR CABLE Y TELEFONÍA A GRAN DISTANCIA*** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 19 de noviembre del 2018

Firma

Claudia Carranco Soto

C.C.: ...1721500310.....

AUTORIZACIÓN



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE REDES Y COMUNICACIÓN DE DATOS

AUTORIZACIÓN

*Yo, Carranco Soto, Claudia Gabriela autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: : **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA CON TECNOLOGÍA OTN-DWDM PARA LA PROVISIÓN DE SERVICIOS DE DATOS, TELEVISIÓN POR CABLE Y TELEFONÍA A GRAN DISTANCIA** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.*

Sangolquí, 19 de noviembre del 2018

Firma

Claudia Carranco Soto

C.C.: 1721500360.....

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedico a mis padres principalmente, porque gracias a sus esfuerzos y a su apoyo incondicional logré finalizar mis estudios; a mis hijos Martín y Joaquín que son mi inspiración y me motivan a ser mejor en todos los aspectos; a mi esposo Xavier, por su amor y por esas palabras de aliento que siempre me brinda. A mis abuelitos que comparten conmigo todos mis éxitos y fracasos.

AGRADECIMIENTO

A Dios que me dio la oportunidad de culminar este proyecto.

A mis padres por el apoyo que me han brindado desde que inicié mis estudios.

A mi esposo e hijos por su apoyo incondicional durante la ejecución del proyecto.

A todos mis familiares y amigos por creer siempre en mí.

A mi tutor de tesis, Ing. Christian Vega y al Dr. Nikolai Espinosa; por su valiosa ayuda y gestión durante el proceso de realización de mi tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO DEL DIRECTOR	i
AUTORIA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1
MARCO TEÓRICO	3
1.1 Transmisión por fibra óptica	3
1.1.1 Elementos de un sistema de transmisión por fibra óptica	4
1.1.2 Otros componentes presentes en la transmisión óptica	4
1.1.3 Rendimiento del enlace de datos y presupuesto	11
1.1.4 Tipos de fibra óptica.....	14
1.1.5 Parámetros de desempeño de la fibra óptica	19
1.2 TECNOLOGÍA DWDM	21
1.2.1 Arquitecturas en DWDM	22
1.2.2 Ventajas y Desventajas DWDM	24
1.2.3 Servicios	25
1.3 Red transporte óptico (OTN)	27
1.3.1 Arquitectura OTN	29
1.3.2 Ventajas y Desventajas	31
1.3.3 Servicios	32
1.4 Redes de nueva generación	33
SITUACIÓN ACTUAL Y REQUERIMIENTOS INICIALES	34
2.1 Situación Actual	34
2.1.1 Descripción de la Red Actual y Servicios.....	35
2.1.1.1 Televisión Pagada.....	36
2.1.1.2 Internet.....	37

2.1.1.3 Telefonía	38
2.1.1.4. Transmisión de datos	39
2.1.2 Estructura de la red de transporte actual	39
2.1.2.1 Red SDH	39
2.1.2.2 Red MPLS	42
2.1.2.2.1 Componentes MPLS	42
2.1.2.3 Equipamiento	43
2.1.2.3.1 Red SDH	43
2.1.2.3.2. Red MPLS	45
2.2. Requerimientos iniciales	46
2.2.1. Mantener servicios actuales	46
2.2.2. Escalabilidad	47
2.2.4. Capacidad	49
2.2.5. Mantenimiento	50
2.2.6 Requerimientos Para La Red OTN	52
2.2.6.1. Fibra ADSS 24 HILOS	52
2.2.6.2. Redundancia de la red	53
2.2.6.3. Características técnicas OTN	53
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED	55
3.1. Consideraciones generales de diseño	55
3.1.1 Escenario de despliegue	55
3.1.2 Estudio de la ruta.	56
3.1.2.1 Ubicación geográfica de los Nodos	56
3.1.2.2. Distancias entre enlaces de centrales	59
3.1.3. Infraestructura necesaria para el enlace.	59
3.1.4. Cronograma del proyecto	66
3.2.2. Análisis y Selección de Materiales requeridos para el enlace	72
3.2.2.1. Análisis del Cable de fibra óptica a instalar	72
3.2.2.2. Análisis de Mangas de empalme.	76
3.2.2.3. Análisis de Herrajes para tendido aéreo del cable	79
3.2.2.4. Distribuidor de Fibra óptica (ODF) y Racks en las centrales	81
3.2.3. Equipos Activos	82
3.3. Implementación de la red	84
3.3.1 Rutas del Cableado	84
3.3.1.2 Ruta en el Distrito Metropolitano de Quito.	85
3.3.1.4 Ruta en la provincia de Cotopaxi.	86

3.3.1.5 Ruta en la provincia de Tungurahua.	87
3.3.1.6 Ruta en la provincia de Chimborazo.	88
3.3.2 Consideraciones preliminares para instalación de equipos pasivos.	90
3.3.3 Instalación de equipos pasivos en las zonas.	91
3.3.3.1. Manejo y transporte de bobinas de cable de fibra óptica.	91
3.3.3.2. Instalación de herrajes en postes.....	92
3.3.3.3. Instalación del cable de fibra óptica.	94
3.3.3.3.1. Método de instalación con desplazamiento de carrete.	94
3.3.3.3.2. Método de instalación con carrete fijo.	95
3.3.3.3.3. Instalación del cable a los herrajes.	96
3.3.3.3.4. Etiquetado del cable instalado.	98
3.3.4. Realización de empalmes en el enlace.....	99
3.3.4.1 Empalme de fibras e Instalación de mangas de empalme.	99
3.4. Estado final de la red	104
3.4.1 Obtención de atenuación de la señal en el enlace.....	104
3.4.2. Análisis de atenuaciones obtenidas en enlaces.....	105
3.4.3. Análisis de atenuaciones finales obtenidas en enlaces.	108
3.5 Presupuesto del proyecto	109
3.5.1. Costos de materiales, equipos e instalación	110
3.5.2. Costos fiscalización.....	111
3.5.3. Costos de alquiler de infraestructura.....	112
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	113
4.1. Conclusiones	113
4.2. Recomendaciones	114
Referencias Bibliográficas.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Tipos de Conectores</i>	9
Tabla 2. <i>Parámetros estándar de rendimiento de sistemas</i>	13
Tabla 3. <i>Desempeño de fibra MM</i>	15
Tabla 4. <i>Desempeño fibra Monomodo</i>	16
Tabla 5. <i>Niveles de BER para diferentes velocidades de transmisión</i>	49
Tabla 6. <i>Recomendaciones Tecnología OTN</i>	53
Tabla 7. <i>Datos de la Central Quito</i>	57
Tabla 8. <i>Datos del Nodo Ambato</i>	58
Tabla 9. <i>Datos del Nodo Riobamba</i>	58
Tabla 10. <i>Distancias de enlaces de fibra óptica</i>	59
Tabla 11. <i>Infraestructura necesaria en Provincia de Pichincha</i>	61
Tabla 12. <i>Infraestructura necesaria en Provincia de Cotopaxi</i>	62
Tabla 13. <i>Infraestructura necesaria en Provincia de Tungurahua</i>	63
Tabla 14. <i>Infraestructura necesaria en Provincia de Chimborazo</i>	64
Tabla 15. <i>Infraestructura necesaria por Empresa Eléctrica</i>	64
Tabla 16. <i>Número de Postes por Enlace</i>	68
Tabla 17. <i>Número de Herrajes por Enlace</i>	69
Tabla 18. <i>Número de Mangas de Empalme por Enlace</i>	69
Tabla 19. <i>Número de ODF y rack por Enlace</i>	69
Tabla 20. <i>Materiales requeridos por enlace</i>	70
Tabla 21. <i>Atenuación del enlace Quito-Ambato</i>	71
Tabla 22. <i>Atenuación del enlace Ambato - Riobamba</i>	72
Tabla 23. <i>Tabla comparativa de cables de fibra óptica para tendido aéreo</i>	75
Tabla 24. <i>Ejemplo de tablas con valores de atenuación en enlace</i>	106
Tabla 25. <i>Tabla final de atenuación luego de reparación</i>	107
Tabla 26. <i>Atenuación total del enlace</i>	109
Tabla 27. <i>Costos instalación materiales y equipo</i>	110
Tabla 28. <i>Costos fiscalización</i>	112
Tabla 29. <i>Costos alquiler infraestructura</i>	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fibra Óptica.....	3
Figura 2. Sistema de Transmisión por Fibra.....	4
Figura 3. Repetidor Fibra Óptica	6
Figura 4. Amplificador Fibra Óptica	7
Figura 5. Tipos de Empalmes de Fibra Óptica	8
Figura 6. Divisor Óptico	10
Figura 7. Caja de Empalme.....	10
Figura 8. Relación tasa de bits erróneos y potencia.....	11
Figura 9. Presupuesto de Potencia Óptica	12
Figura 10. Tipos de Fibra Óptica	14
Figura 11. Fibra Multimodo.....	15
Figura 12. Fibra Monomodo	16
Figura 13. Fibra Índice Escalonado	17
Figura 14. Fibra de Índice Gradual	18
Figura 15. Fibra de Plástico.....	18
Figura 16. Fibra de Vidrio	19
Figura 17. Pérdidas por Inserción.....	20
Figura 18. Pérdidas por Retorno	20
Figura 19. Pulimiento APC	20
Figura 20. Pérdidas por Curvatura	21
Figura 21. Tecnología Punto a Punto	23
Figura 22. Topología en Malla	23
Figura 23. Topología en Anillo.....	24
Figura 24. Red de transporte óptico	28
Figura 25. Módulo de transporte óptico	29
Figura 26. Desglose de la línea de la estructura OTN.....	30
Figura 27. Estructura General de la red Tipo TVCable.....	35
Figura 28. Diagrama de Bloques de la red HFC.....	36
Figura 29. Red de Transporte SD toddcable H.....	40
Figura 30. Señalización por canal común.....	41
Figura 31. Componentes SS7	41
Figura 32. Red MPLS para la ciudad de Quito	43
Figura 33. Equipo Tellabs 6300.....	44
Figura 34. Equipo Tellabs 8100.....	45
Figura 35. Equipo Tellabs 8600.....	46
Figura 36. Anillo de Fibra Óptica a Nivel Nacional	56
Figura 37. Recorrido Físico del enlace Quito- Riobamba	56
Figura 38. Infraestructura necesaria por Empresa Eléctrica.....	65
Figura 39. Instalación de cable de fibra óptica en postes	65
Figura 40. Cable OPWG.....	73
Figura 41. Cable ADSS	74
Figura 42. Cable Figura 8.....	75
Figura 43. Manga de Empalme Tipo Domo.....	77
Figura 44. Bandeja de Empalme en Manga Tipo Domo.....	77
Figura 45. Cierre de Manga Tipo Domo	78

Figura 46. Manga Tipo Domo en poste	79
Figura 47. Herraje de retención o Tipo A.....	79
Figura 48. Herraje de suspensión o tipo B	80
Figura 49. Instalación en Herraje tipo A mediante preformados.....	80
Figura 50. Instalación en Herraje tipo B.	81
Figura 51. Distribuidor de fibra óptica (ODF)	81
Figura 52. Rack metálico de comunicaciones	82
Figura 53. Tarjetas del Rack de transmisión/ recepción.....	83
Figura 54. Esquema de tráfico transmisión/recepción.....	84
Figura 55. Ruta por el Distrito Metropolitano de Quito.....	85
Figura 56. Ruta por el Cantón Mejía.....	86
Figura 57. Ruta en la Provincia de Cotopaxi	87
Figura 58. Ruta en la Provincia de Tungurahua	87
Figura 59. Ruta en la Provincia de Tungurahua.	88
Figura 60. Ruta en la Provincia de Chimborazo	89
Figura 61. Ruta en la Provincia de Chimborazo	89
Figura 62. Descarga y movimiento de carretes	91
Figura 63. Porta bobina para transporte de carretes.....	92
Figura 64. Personal con equipo de seguridad	93
Figura 65. Herraje instalado en poste.....	94
Figura 66. Método de instalación con desplazamiento de carrete.....	95
Figura 67. Método de instalación con carrete fijo.	95
Figura 68. Forma correcta de desenrollar el cable.	96
Figura 69. Instalación del cable ADSS en herraje A.....	97
Figura 70. Instalación del cable ADSS en herraje B.....	97
Figura 71. Ejemplo de Etiqueta para Cable.....	98
Figura 72. Empalmadora y cortadora de fibra.....	99
Figura 73. Preparación de la fibra óptica.....	100
Figura 74. Reserva de fibra óptica en bandeja de empalme	100
Figura 75. Hilos de fibra óptica fusionados en bandeja de empalme.....	101
Figura 76. Cierre de manga de empalme.....	102
Figura 77. Bandeja de ODF con respectivos pigtails.....	102
Figura 78. Hilos de fibra óptica fusionados en ODF.....	103
Figura 79. Bandejas de empalme en ODF.....	103
Figura 80. Realización de pruebas con OTDR.	105

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo el estudio, análisis, diseño e implementación de una red OTN-DWDM, para una empresa privada que brinda servicios de internet, televisión, telefonía y transmisión de datos. Por temas de confidencialidad no es posible indicar el nombre de la empresa para la cual se ejecuta el proyecto. La tecnología que se va a implementar en la del OTN, brindará grandes beneficios a la operadora de servicios, ya que DWDM aprovecha al máximo los recursos de la fibra óptica, pues en una sola fibra se puede enviar diferentes tipos de información usando diferentes longitudes de onda, pero, que pertenecen al mismo hilo de fibra, esto gracias a que DWDM multiplexa las señales en los extremos y usa como un medio único de transporte a ese hilo de fibra. Al final de la implementación se podrá aumentar la capacidad de los servicios; así como también, expandir su cartera de servicios por todo el territorio ecuatoriano, todo esto se lo va a realizar con una inversión inicial alta debido a que los equipos son de altos costes y a que la empresa no cuenta con una red nacional de fibra óptica. Sin embargo, a futuro este gasto se lo va a recuperar pues ya no se será necesario usar las redes de otras operadoras para prestar sus servicios, adicional el uso de la tecnología DWDM es altamente escalable y no se presentan problemas cuando la red tiene un gran índice de crecimiento.

PALABRAS CLAVE

- **DWDM**
- **OTN**
- **LONGITUD DE ONDA**

ABSTRACT

The objective of this project is the study, analysis, design and implementation of an OTN-DWDM network for a private company that provides Internet, television, telephone and data transmission services. Due to confidentiality issues, it is not possible to indicate the name of the company for which the project is being executed. The technology that is going to be implemented in the OTN will offer great benefits to the service operator, since DWDM takes maximum advantage of the resources of the optical fiber, since in a single fiber different types of information can be sent using different wavelengths, but that belong to the same fiber thread, this thanks to the fact that DWDM multiplexes the signals at the ends and uses this fiber thread as a single means of transportation. At the end of the implementation it will be possible to increase the capacity of the services; as well as, to expand its portfolio of services by all the Ecuadorian territory, all this is going to be made with a high initial investment due to the fact that the equipments are of high costs and to the fact that the company does not have a national network of optical fiber. However, in the future this expense will be recovered because it will no longer be necessary to use the networks of other operators to provide their services, in addition the use of DWDM technology is highly scalable and there are no problems when the network has a high rate of growth.

KEY WORDS

- **DWDM**
- **OTN**
- **WAVELENGTH**

INTRODUCCIÓN

El mercado de las telecomunicaciones y proveedores de servicios evolucionan constantemente para hacer frente a la demanda de tráfico digital, el cual es provocado por los servicios multimedia, aplicaciones móviles, redes sociales, entre otros, con altos requerimientos de ancho de banda. Tiempo atrás, el tráfico de las redes de los proveedores de servicios se limitaba a las llamadas de voz, las cuales se transmitían por circuitos de red entre pares de terminales.

Los proveedores de servicios ahora necesitan de tecnologías de transporte que ocupen patrones de tráfico en redes modernas, como OTN, las cuales están diseñadas para ser compatibles con las aplicaciones que necesitan de una red con gran capacidad; es por esto que OTN se reconoce como el estándar de transporte más óptimo y preferido por los proveedores de servicio para responder a la masiva demanda de crecimiento de sus redes.

Si bien hoy en día es común enlazar las tecnologías Ethernet y OTN, en un principio OTN no fue creada para funcionar específicamente con Ethernet. De hecho, OTN se desarrolló para gestionar las longitudes de onda de multiplexación por división en longitudes de ondas (WDM) con SONET/SDH como carga útil del cliente (Littlewood, Masoud, & Follis, 2015), dada la amplia implementación de SONET/SDH en ese momento.

El propósito de OTN era sustentar una infraestructura de longitudes a gran escala y manejable. Para el año 2009, la mayor parte del tráfico transportado por OTN estaba basado en Ethernet, por lo que los estándares de OTN se mejoraron para alinearlos estrechamente con las características del tráfico de Ethernet.

OTN, la cual es conocida como “envoltorio digital”, permite que uno o más servicios distintos se transmitan de manera transparente por medio de una longitud de onda, cada uno con su propio conjunto de capacidades de monitoreo, de forma similar trabaja DWDM y al integrar ambas tecnologías en una red, se consigue una red más robusta, con gran capacidad de tráfico y con mejores prestaciones de servicio; lo cual resulta muy atractivo para los proveedores de servicios de telecomunicaciones.

MARCO TEÓRICO

1.1 Transmisión por fibra óptica

Los sistemas de transmisión por fibra óptica, utilizan luz como señal portadora de información; es por esto que, para la transmisión de señales de luz, se utilizan fibras de vidrio o plástico que contienen las ondas y las guían.

La transmisión de datos a través de fibra óptica puede ser analógica o digital, aunque en estos últimos años la transmisión digital ha crecido exponencialmente; así como las redes informáticas y de telefonía son digitales, la televisión por cable actualmente es analógica, pero en gran parte ya se ha migrado a la tecnología digital.

Las transmisiones analógicas y las digitales tienen algunos parámetros comunes y diferencias importantes; en ambos tipos de transmisión, el margen de pérdida o el presupuesto de potencia óptica es el dato más importante (VIU, 2018). Las transmisiones de datos digitales usan la tasa de bits erróneos para medir el rendimiento, mientras que en las análogas se prueba mediante la medición señal-ruido. Además, en los dos tipos de transmisiones se debe verificar el ancho de banda especificado para la correcta operación.



Figura 1 Fibra Óptica
Fuente: (Antenas Game, 2016)

1.1.1 Elementos de un sistema de transmisión por fibra óptica

Los sistemas de transmisión por fibra óptica conducen la información entre dos puntos, estos convierten señales eléctricas en señales de luz.

Un sistema de transmisión tiene 3 componentes:

Transmisor: Genera la señal de información, recibe la señal de voltaje y la convierte en corriente eléctrica, esta señal hace que una fuente emita luz a cierta intensidad.

Medio de Transmisión: El medio es la fibra óptica.

Receptor: Dispositivo que recibe la señal generada por el emisor y convierte la luz en corriente, para obtener la información enviada.

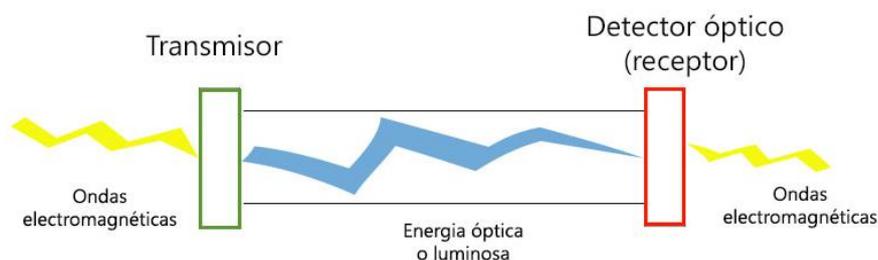


Figura 2 Sistema de Transmisión por Fibra
Fuente: (Comunicación Multimedia fesajosuecg, 2015)

1.1.2 Otros componentes presentes en la transmisión óptica

Multiplexación por división de longitud de onda

Debido a que la luz de las diferentes longitudes de onda no se mezcla en la fibra óptica, permite transmitir simultáneamente señales en diferentes longitudes de onda por una sola fibra. La fibra óptica es económica, pero el costo de instalación de nuevos cables puede ser elevado; es por esto que se opta por lo utilizar fibras ya instaladas para transmitir más señales resultando más rentable en la relación costo-beneficio.

La multiplexación por división de longitud de onda (WDM) se utilizó por primera vez con fibra multimodo en los comienzos de la fibra óptica, utilizando tanto 850 nm como 1310 nm en fibra multimodo. Actualmente, las redes de fibra monomodo pueden transportar señales a 10Gb/s en 64 longitudes de onda o más, lo que se conoce como multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM). Los sistemas de fibras multimodo que utilizan multiplexación por división de longitud de onda (WDM) han sido menos populares; sin embargo, algunos estándares utilizan multiplexación por división de longitud de onda ligera (CWDM) para transportar señales a velocidades mayores a 1 Gb/s sobre fibras multimodo optimizadas para láser (Thefoa.org, 2018).

Repetidores y amplificadores ópticos

Lo que permite que la señal viaje cientos de kilómetros, en distancias bastante largas y en cables submarinos, son los regeneradores o repetidores que amplifican la señal periódicamente.

Inicialmente los repetidores consistían en un transmisor seguido de un receptor; el receptor convertía la señal de entrada óptica en señal eléctrica, además la limpiaba para eliminar el ruido presente y después otro transmisor láser la retransmitía. El problema radicaba en que los repetidores añadían ruido a la señal, consumían mucha energía y eran complejos, lo que ocasionaba fallas. Además, se debían fabricar para una velocidad de transmisión específica y si se necesitaba actualizar la red, por lo que se debían reemplazar todos los repetidores, esto complicaba de sobremanera cuando se realizaba en cables submarinos.



Figura 3 Repetidor Fibra Óptica
Fuente: (Fibraopticahoy.com, 2015)

La solución para el problema de los repetidores ópticos, fueron los amplificadores ópticos. Un amplificador de fibra estándar funciona en banda 1480-1650 nm. Consta de fibra dopada con erbio bombeada con un láser a 980 o 1480 nm. El láser de bombeo suministra la energía para el amplificador, mientras que la señal de entrada estimula la emisión a medida que el pulso atraviesa la fibra dopada. Esta emisión estimulada a su vez estimula mayor emisión, por lo que se genera un crecimiento rápido y exponencial de energía en la fibra dopada. Es posible obtener ganancias de hasta 40 dB (10000X) con potencias disponibles de hasta +26 dBm (400 mW) (Thefoa.org, 2018).

Los amplificadores ópticos, además de usarse como repetidores, también se utilizan para aumentar el nivel de señal en los sistemas de televisión por cable, ya que requieren niveles de energía elevados en el receptor para lograr mantener un rendimiento adecuado de la relación señal-ruido, esto permite tendidos de cable de mayor distancia o se puede también usar divisores (splitters) para emitir una sola señal a través de un acoplador hacia muchas fibras, ahorrando el costo de transmisores adicionales.

Los amplificadores de fibra, en telefonía se combinan con DWDM (multiplexación por división de longitud de onda densa) para sobrellevar las ineficiencias de los acopladores de DWDM para transmisiones de larga distancia.



Figura 4 Amplificador Fibra Óptica
Fuente: (Elfa Distrelec Norway, 2018)

Empalmes y Conectores

Empalmes

Los empalmes son considerados puntos críticos en la red de fibra óptica, pues influyen en la calidad de los enlaces, así como también en la duración de los mismos. La realización de un correcto empalme garantiza la estabilidad y calidad en el desempeño de la red a lo largo del tiempo. Un empalme es de alta calidad cuando la pérdida es reducida y su resistencia a la tracción se acerca al nivel de prueba de la fibra. Los empalmes deben ser diseñados teniendo en cuenta las condiciones ambientales previstas previamente a la implementación de la red.

Actualmente se utilizan dos tecnologías para realizar empalmes: por fusión y mecánica; la elección depende de la calidad de funcionamiento esperada y de las consideraciones tomadas previo a la instalación, así como al mantenimiento.

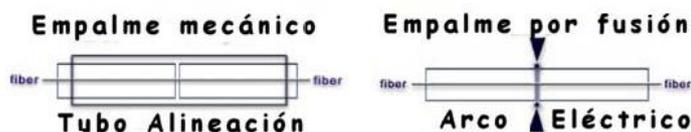


Figura 5 Tipos de Empalmes de Fibra Óptica
Fuente: (Cableado-estructurado.com, 2018)

Conectores

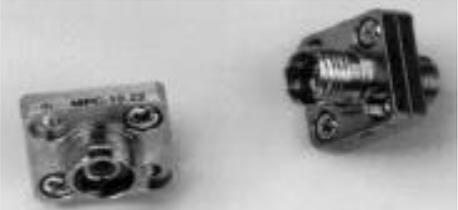
Los conectores son dispositivos mecánicos utilizados para recoger la mayor cantidad de luz. Realizan la conexión del emisor y receptor óptico.

Existen dos tipos de conectores: los metálicos y los plásticos, que se pueden dividir en conectores para fibras múltiples y para fibras únicas.

- Los conectores metálicos se usan en fibras de alta calidad, son utilizados en los sistemas de transmisión de elevado tráfico de información, por lo que deben presentar bajas pérdidas.
- Los conectores plásticos presentan las mismas características de calidad, usados en fibras de diámetro más elevado, se diferencian de los metálicos en que su cubierta es de plástico, por lo que son más sencillos mecánicamente, resultando más económicos.

A continuación, en la Tabla 1. se muestra los conectores frecuentemente usados.

Tabla 1
Tipos de Conectores

CONECTOR	IMAGEN
Conector FC Macho	 A black fiber optic cable with a silver metal FC male connector at the end.
Adaptador FC Hembra	 Two metal FC female adapter components, one showing the front face and the other showing the side with a locking mechanism.
Conector ST Macho	 A black fiber optic cable with a silver metal ST male connector at the end.
Adaptador ST Hembra	 A metal ST female adapter component with a locking mechanism.
Conector E2000	 A black fiber optic cable with a large, complex E2000 connector. The word "DIAMOND" is visible on the side of the connector housing.
Conector Optoclip	 Three different types of black plastic Optoclip connectors, some with cables attached.

Divisor Óptico (Splitter)

Son componentes pasivos que realizan la división de la señal óptica en una red de fibra (Eurocabos.es, 2018). Están constituidos por una fibra de entrada

y N fibras de salida, las cuales dividen la potencia de la señal óptica proporcionalmente. Son utilizados principalmente en redes ópticas FTTx/PON y redes HFC (Televisión por cable)



Figura 6 Divisor Óptico

Fuente: (IndiaMART.com, 2018)

Cajas de empalmes o Mangas

Los empalmes se alojan en mangas de conexión, similares a las utilizadas para los cables de cobre, poseen bandejas especiales que sirven para acumular longitudes adicionales de fibra (1-2mts). Las bandejas se colocan en un organizador; así mismo las cajas de empalmes deben soportar esfuerzos de tracción, compresión, flexión, torsión, ser herméticos y reabribles.



Figura 7 Caja de Empalme

Fuente: (Fibraoptica hoy.com, 2013)

1.1.3 Rendimiento del enlace de datos y presupuesto

Rendimiento del enlace de datos y presupuesto de potencia óptica del enlace

Medición de la calidad de transmisión de datos

De la misma forma que con la transmisión por cable de cobre o por radio, el rendimiento de un enlace óptico de datos, se determina por cómo transmite los datos; es decir, cómo la señal eléctrica “transformada” que sale del receptor, se adapta a la entrada del transmisor.



Figura 8 Relación tasa de bits erróneos y potencia
Fuente: (The Fiber Optic Association, 2018)

La capacidad de un sistema de fibra óptica de transmitir datos depende de la potencia óptica en el receptor, en la figura 8, se muestra la tasa de bits erróneos (BER) del enlace de datos como una función de la potencia óptica en el receptor. La tasa de bits erróneos es inversa a relación señal ruido, una tasa de bits erróneos alta implica una relación señal-ruido pobre.

En el caso de potencia insuficiente o de potencia en exceso se generará una tasa elevada de bits erróneos. Si existe potencia en exceso, el amplificador receptor se satura; y si hay potencia insuficiente, el ruido se convierte en un problema ya que interfiere con la señal.

La potencia del receptor depende de dos factores básicos:

- Cantidad de potencia que lanza el transmisor en la fibra y
- Cantidad de potencia que se pierde por atenuación en la red de cables de fibra óptica que conecta el transmisor con el receptor.

Presupuesto de potencia óptica del enlace

El presupuesto de potencia óptica del enlace se determina teniendo en cuenta dos factores:

- La sensibilidad del receptor: Que se determina en la curva de tasa de bits erróneos y,
- La potencia de salida del transmisor en la fibra: El nivel de potencia mínimo que genera una tasa de bits erróneos aceptable determina la sensibilidad del receptor. Esta potencia del transmisor acoplada a la fibra determina la potencia transmitida. La diferencia entre estos dos niveles de potencia determina el margen de pérdida (presupuesto de potencia óptica) del enlace. La figura 9 muestra el presupuesto de potencia óptica.

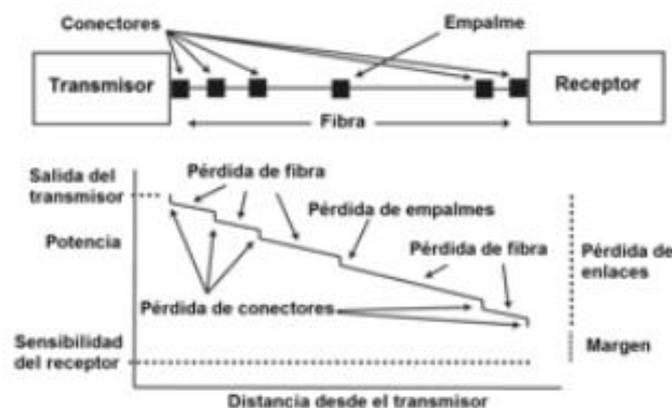


Figura 9 Presupuesto de Potencia Óptica

Fuente: (Thefoa.org, 2018)

Los enlaces de datos de alta velocidad como redes de área local gigabit o 10 gigabit Ethernet sobre fibra multimodo tienen factores de disminución de la potencia del ancho de banda de la fibra causados por la dispersión de los pulsos de datos digitales. Las antiguas fibras OM1 de 62.5/125 generalmente operan en enlaces cortos, mientras las transmisiones a través de fibra OM3 optimizada para láser de 50/125 son para distancias mayores. Incluso los enlaces de larga distancia de fibra monomodo pueden tener limitaciones causadas por dispersión cromática o por dispersión de modo de polarización (Thefoa.org, 2018).

Al diseñar un enlace para operar en diferentes tasas de bits, es necesario generar una curva de rendimiento para cada tasa de bits. Debido a que la potencia total en la señal, es una función del ancho del pulso y éste varía en función de la tasa de bits (a mayor tasa de bits, pulsos más cortos), la sensibilidad del receptor producirá degradación a tasas de bits elevadas.

Los fabricantes especifican para cada tipo de enlace, la sensibilidad del receptor y la potencia mínima acoplada a la fibra desde la fuente. Los valores estándar para estos parámetros se muestran en la tabla 2, a continuación.

Tabla 2
Parámetros estándar de rendimiento de sistemas

Rendimiento de sistemas/enlaces de fibra óptica						
Tipo de Enlace	Fibra	Tipo de Fuente	Longitud de onda (nm)	Potencia de Transmisión (dBm)	Sensibilidad del Receptor (dBm)	Margen del Enlace (dB)
Transmisión de Voz	Monomodo	Láser	1310/1550	+3 a -6	-30 a -45	30 a 40
	Monomodo	DWDM	1550	+20 a 0	-30 a -45	40 a 50
Transmisión de Datos	Multimodo	LED/VCSEL	850	-3 a -15	-15 a -30	3 a 25
	Multimodo o Monomodo	Láser	1310	-0 a -20	-15 a -30	10 a 25
CATV (AM)	Monomodo	Láser	1310/1550	+10 a 0	0 a -10	10 a 20

Fuente: (Thefoa.org, 2018)

Para que el fabricante o el diseñador pueda probarlos adecuadamente es necesario conocer las condiciones de prueba.

- Para los componentes para enlaces de datos, estas condiciones incluyen: frecuencia de entrada de datos o tasa de bits y ciclo de trabajo, voltaje de la fuente de energía y el tipo de fibra acoplada a la fuente.
- Para los sistemas, las condiciones incluyen el software de diagnóstico que requiera el sistema.

1.1.4 Tipos de fibra óptica

La figura 10, muestra el resumen de los tipos de fibra óptica, los cuales se detallarán a continuación:

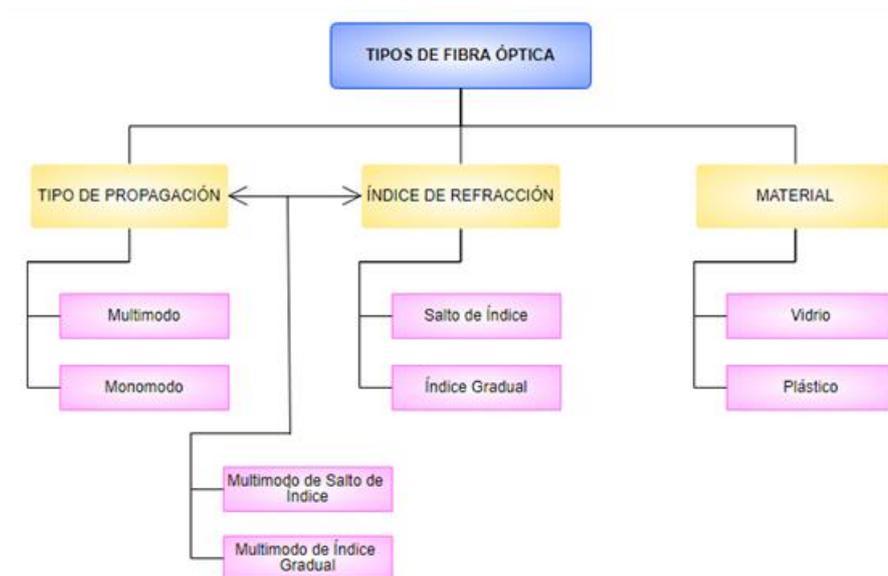


Figura 10 Tipos de Fibra Óptica

Tipos de Fibra Óptica

Multimodo (MM)

Transmite varios haces de luz simultáneamente por el interior de la fibra la fuente de luz puede ser un diodo o láser, relación núcleo/ funda 50/125 ó 62,5/125. Se relacionan diferentes tipos de fibra MM, de acuerdo con su desempeño según estándar internacional, se indican en la tabla 3.

Tabla 3
Desempeño de fibra MM

Alcance máximo de longitud en metros, en función del protocolo para Ethernet								
Protocolo	MM 62,5/125 OM1		MM 50/125 OM2		MM 50/125 OM3		MM 50/125 OM4	
	Color naranja		Color naranja		Color aqua		Color aqua	
	Long. de onda (λ)		Long. de onda (λ)		Long. de onda (λ)		Long. de onda (λ)	
	850 NM	1.300 NM						
Fast Ethernet 100 Mbps	300	2.000	300	2.000	300	2.000	300	2.000
Gigabit Ethernet 1Gbps	330	550	550	550	900	550	1.040	550
10 Gigabit Ethernet	35	300	86	300	300	300	550	300
40GBase-SR4(802.3ba) (8 fibras)					100 (4 X 10 GBS)		125 (4 X 10 GBS)	
100GBase-SR10 (802.3ba) (20 fibras Tx/Rx)							125 (10 X 10 GBS)	

Fuente: (Legrand, 2015)



Figura 11 Fibra Multimodo
Fuente: (Lanstore.es, 2018)

Monomodo (SM)

Transmite un sólo haz de luz por el interior de la fibra, fuente de luz láser, recomendado en recorridos superiores a 1,5 km y mayor ancho de banda, nomenclatura 9/125 μm , donde el primer dígito corresponde al diámetro del núcleo y el segundo a la funda óptica. En la tabla 4, se indica el desempeño de la fibra monomodo.

Tabla 4
Desempeño fibra Monomodo

Alcance máximo de longitud en metros, en función del protocolo para ethernet		
Protocolo	SM tipo OS2 Color: amarillo	
	Long. de onda (λ)	
	1300 NM	1.550 NM
Fast ethernet 100 mbps	2.000	
Gigabit ethernet 1gbps	5.000	
10 Gigabit ethernet	10.000	40.000
40Gbase-lr4 (2 fibras, wdm)	10.000 (4 X 10 GBS)	
100Gbase-lr4 (2 fibras, wdm)	10.000 (4 X 25 GBS)	
100Gbase-er4 (2 fibras, wdm)	40.000 (4 X 25 GBS)	

Fuente: (Legrand, 2015)

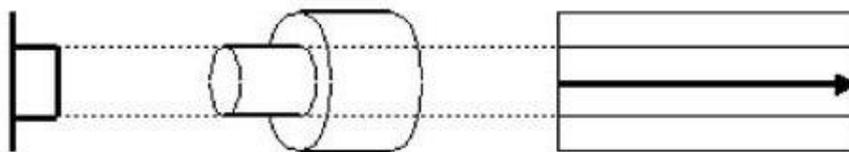


Figura 12 Fibra Monomodo

Fuente: (Lanstore.es, 2018)

Fibra Multimodo de salto de Índice

Núcleo constituido de un índice de refracción constante, rodeado por un revestimiento. El índice de revestimiento siempre es menor que el del núcleo con el que hace frontera; fabricadas a base de vidrio, con una atenuación de 30 dB/km, o plástico, con una atenuación de 100 dB/km.

El paso desde el núcleo hasta la cubierta conlleva una variación brutal del índice, de ahí su nombre de índice escalonado.

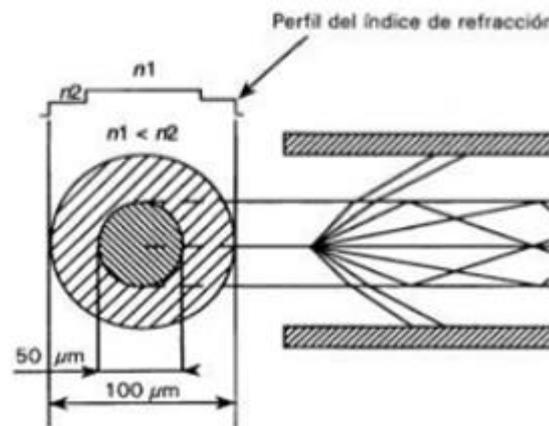
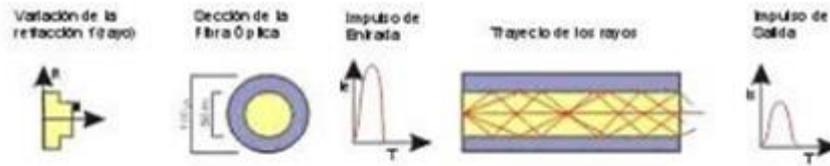


Figura 13 Fibra Índice Escalonado
Fuente: (UDEC, 2018)

Fibra Multimodo de Índice gradual

El índice de refracción es inferior en las proximidades del revestimiento que en el eje de la fibra. Las ondas luminosas se propagan ligeramente más lentas en las proximidades del eje del núcleo que cerca del revestimiento, la banda de paso llega hasta los 500 MHz por kilómetro.

Tiene un tamaño de 62,5/125 mm (diámetro del núcleo/diámetro de la cubierta) está normalizado.

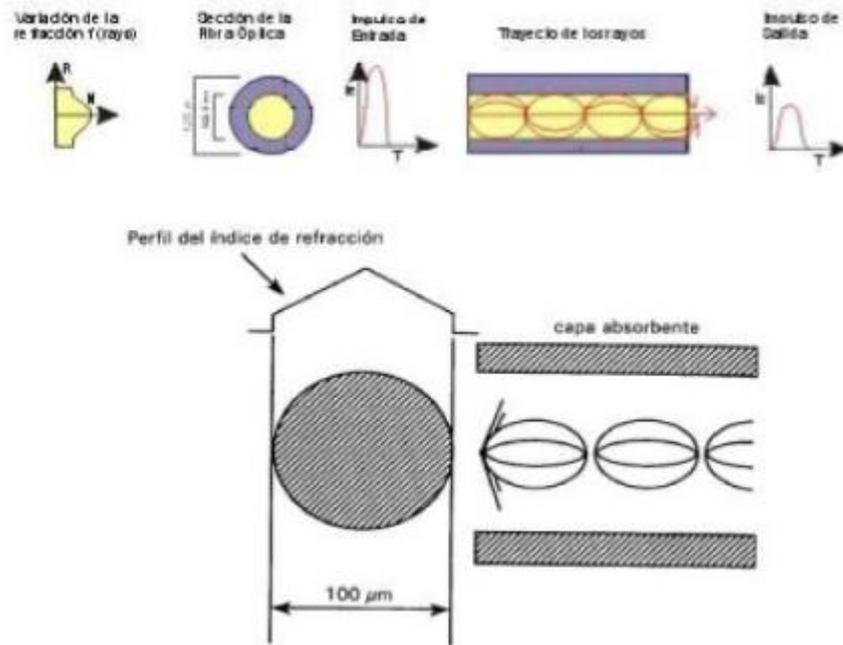


Figura 14 Fibra de Índice Gradual
Fuente: (UDEC, 2018)

Fibra de plástico

Usadas para comunicaciones a corta distancia, por ejemplo:

- Interconexión de equipos en un mismo edificio
- Conexión de equipos de audio y pequeñas redes de ordenadores.



Figura 15 Fibra de Plástico
Fuente: (Bones Industry, 2018)

Fibra de vidrio

Usadas para comunicaciones a largas distancias. Poseen un diámetro mayor que las fibras de plástico proporcionando un mayor rango de detección. El revestimiento de acero con su diseño mecánico robusto, puede soportar temperaturas de hasta 482°C.

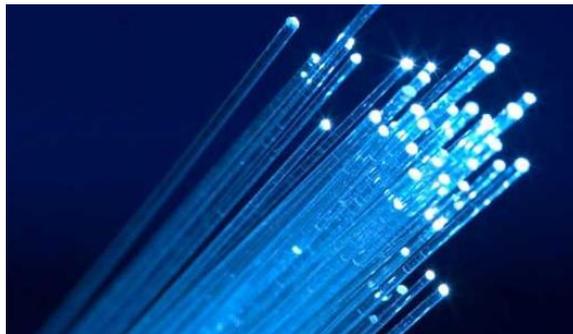


Figura 16 Fibra de Vidrio

Fuente: (Fiber Sensor Best Selection Catalog, 2014)

1.1.5 Parámetros de desempeño de la fibra óptica

Se realizará de acuerdo con sus características de transmisión. Se indicará a continuación las más relevantes:

Pérdidas por Inserción (IL):

Diferencia entre la potencia transmitida y la potencia recibida después de un punto de conexión; mientras el valor de IL seas menos, las pérdidas serán menores. Las tres fuentes de pérdidas son:

- Contaminación de la fibra óptica en el punto de conexión,
- Errores de centrado entre el hilo de fibra y la férula (interior del conector de FO, principal punto de contacto con la fibra) o defectos de la férula,
- Desalineación entre partes conectadas.

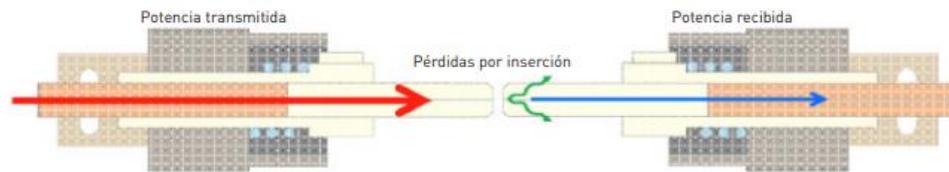


Figura 17 Pérdidas por Inserción
Fuente: (Coimba, 2011)

Pérdidas por retorno (RL):

Se miden en dB, determina la cantidad de luz reflejada hacia la fuente de emisión. Este parámetro es más crítico en un tendido de fibra monomodo porque puede interrumpir la operación del haz de luz láser.



Figura 18 Pérdidas por Retorno
Fuente: (Coimba, 2011)

Estos valores están estrechamente ligados al pulido final de los conectores, como se indica en la figura 19, de acuerdo con las características de los equipos activos, el uso de una misma tecnología en ambos lados de la señal y el correcto pulimiento de acuerdo con los parámetros de las normas ISO, IEC, TIA/EIA de revisión de construcción de elementos de conexión de fibra óptica.

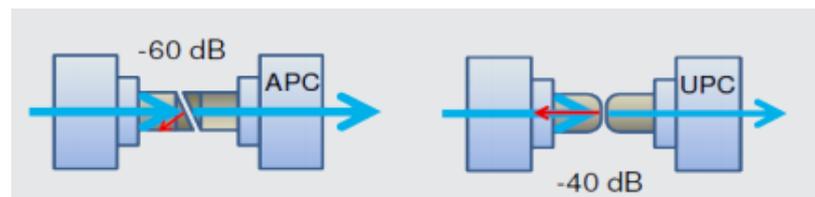


Figura 19 Pulimiento APC
Fuente: (Legrand, 2015)

Perdidas por curvatura de la fibra

Cuando la fibra óptica se dobla se generan pérdidas, debido a que la energía en el campo evanescente en la parte exterior de la curva, y debe seguir el mismo frente de onda que el resto, por lo tanto, debe ir a una velocidad mayor que la velocidad de la luz, lo cual es imposible y para remediarlo pierde parte de su energía radiándola al exterior.

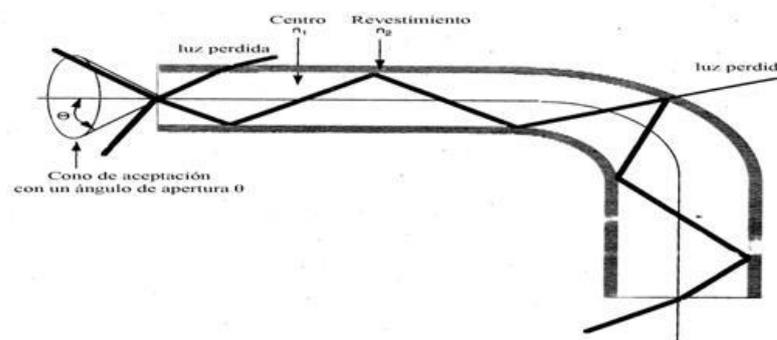


Figura 20 Pérdidas por Curvatura
Fuente: (Zuaznabar Mazorra, 2018)

1.2 TECNOLOGÍA DWDM

Método de multiplexación muy similar a la multiplexación por división de frecuencias, se utiliza en medios de transmisión electromagnéticos. Por una sola fibra óptica se transmiten varias señales portadoras utilizando distintas longitudes de onda de un haz de luz para cada una de ellas. Cada portadora forma un canal óptico que se tratará de forma independientemente al resto de canales que comparten el medio (fibra óptica) y contienen diferente tipo de tráfico. De esta manera se multiplica el ancho de banda efectivo y se facilitan las comunicaciones bidireccionales. Es una técnica de transmisión muy interesante para los operadores de telecomunicaciones, pues permite aumentar su capacidad sin tener más cables.

Para las transmisiones mediante DWDM se necesitan dos dispositivos complementarios:

- Un multiplexor en lado del transmisor
- Un demultiplexor en el lado del receptor.

En DWDM se consigue mayor número de canales ópticos, reduciendo la dispersión cromática de cada canal mediante el uso de un láser de mayor calidad, fibras de baja dispersión o mediante el uso de módulos DCM; haciendo posible combinar más canales reduciendo el espacio entre ellos.

Elementos de un Sistema DWDM

- Fuentes de Emisión y detectores de luz
- Fibra Óptica
- Multiplexores y Demultiplexores
- Moduladores o Transpondedor
- Amplificadores Ópticos
- Conmutadores
- Filtros

1.2.1 Arquitecturas en DWDM

Las arquitecturas de red están basadas en algunos factores, como: el tipo de aplicación, protocolos, distancias, patrones de acceso y uso, y topologías jerárquicas de red. A continuación, las topologías usadas en DWDM.

Topología Punto a Punto

Usadas para conectar varias localidades dentro de una empresa, puede ser implementada con o sin OADM (Optical Add-Drop Multiplexer), estas redes se caracterizan por sus altas velocidades, confiabilidad de la señal y el rápido restablecimiento de los caminos.

El OADM permite recuperar fallos rápidamente modificando la ruta que sigue la señal.

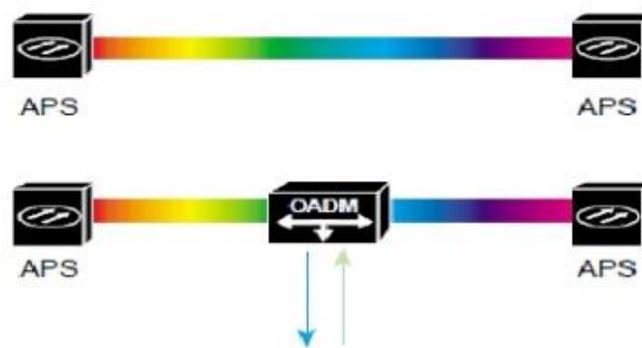


Figura 21 Tecnología Punto a Punto
Fuente: (Chavarria Vera, 2010)

Topología en Malla

Todos los nodos ópticos se interconectan entre sí, usadas en redes de área metropolitana, requiere esquemas de protección con redundancia al sistema, a la tarjeta o a la fibra.

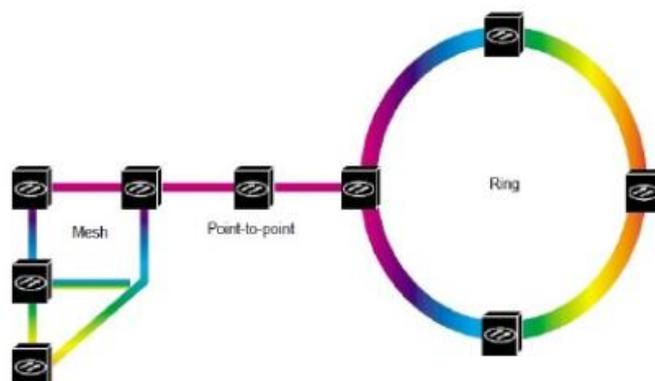


Figura 22 Topología en Malla
Fuente: (Chavarria Vera, 2010)

Topología en Anillo

Para conexiones punto a punto en un anillo cerrado, minimizando la cantidad total de fibra, poseen auto reparación, aunque hay un solo camino alternativo. Los canales de tráfico se transmiten a través de los OADM hasta alcanzar su destino. La velocidad de tráfico está en el rango de 622 Mbps a 10 Gbps por canal. Pueden cubrir decenas de Km sin amplificación.

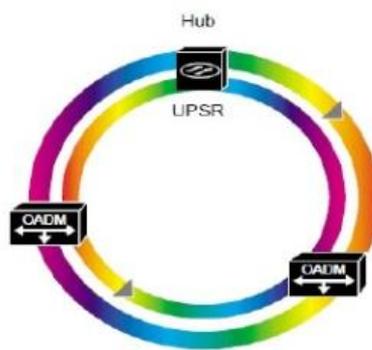


Figura 23 Topología en Anillo
Fuente: (Chavarria Vera, 2010)

1.2.2 Ventajas y Desventajas DWDM

Ventajas DWDM

- DWDM aumenta la capacidad de un punto a otro de la red de fibra óptica, gracias a la posibilidad de transmitir varias señales dentro de una sola longitud de onda y a las altas tasas de transmisión que soporta.
- Permite transportar cualquier formato de transmisión en cada canal óptico, sin necesidad de utilizar una estructura común para la transmisión de señales, es posible utilizar diferentes longitudes de onda para enviar información síncrona y asíncrona, analógica o digital, a través de la misma fibra.

- Permite utilizar la longitud de onda como una nueva dimensión, además del tiempo y el espacio, en el diseño de redes de comunicación.

Desventajas DWDM

- Los equipos DWDM son más caros debido a la necesidad de utilizar filtros ópticos, y un láser que soporte una tolerancia a longitudes de onda compactas; aunque a pesar de ello la solución es más barata que otras
- Menor espacio para una tolerancia con respecto a la dispersión de las longitudes de onda.
- No todos los tipos de fibra lo admiten, las tolerancias y ajustes de los láseres y filtros son muy críticos. y los componentes que utiliza son sumamente caros.
- Presentan el problema de la normalización que es inexistente, por lo que no se puede asegurar la compatibilidad entre equipos de distintos fabricantes, algo en lo que ya está trabajando la UIT-T para lograr una especificación a corto plazo AT&T empezó a utilizar en sus redes el sistema WDM de Lucent en 1995, que ya dispone de un sistema de 3,2 Tbit/s sobre 8 fibras.

1.2.3 Servicios

DWDM al pertenecer a la red de transporte Telco y a la capa física del modelo OSI, permite implementarse en cualquier tipo de red, funcionando independientemente de los protocolos que se utilizan, los principales servicios que brinda DWDM son para redes de larga distancia, en red metropolitanas y

en redes de almacenamiento. A continuación, se indica el aporte de DWDM a estas redes.

➤ Redes de Larga Distancia (Long Haul)

Estas redes se caracterizan porque transmiten información de forma masiva y además se interconectan con redes de área metropolitana o también otras de larga distancia. Las distancias que alcanzan estas redes son desde el 300 k a los 2500 km, es decir que pueden comunicar a diferentes ciudades o países.

En este tipo de redes DWDM trabaja en longitudes de onda de los EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*), esto es entre los 1530 y los 1625 nm. DWDM ayuda en la problemática de crecimiento de las empresas, pues la expansión de redes de larga distancia es lenta y costosa. Usando la tecnología DWDM la expansión es sencilla, además de que aumenta la capacidad de transporte y provee confiabilidad, ya que lo que se hace es la instalación de equipos DWDM en lugares estratégicos logrando expandir la red y el ancho de banda sin mayor esfuerzo, pues solo se hace la inversión en los equipos y no en la fibra.

➤ Redes de área Metropolitana (MAN)

Estas redes presentan más exigencias a las tecnologías que se van a implementar ya que son portadoras de gran información como tráfico de voz, datos y video; por esto necesitan mayor ancho de banda, confiabilidad, escalabilidad, entre otras características. Las redes MAN

deben ser compatibles con las tecnologías de las redes de acceso y con las de larga distancia, pues éstas interconectan a estas dos redes.

DWDM es una gran opción para este tipo de redes ya que ofrece apoyo multiprotocolo, escalabilidad, confiabilidad y disponibilidad, gran ancho de banda, entre otros beneficios.

Los usuarios más potenciales a usar DWDM en redes MAN son las empresas, ya que el intercambio de información se realiza diariamente y es necesario que esta información llegue de forma rápida y confiable. Las longitudes de onda en MAN a través de DWDM van de los 1280 a los 1625 nm, dando como resultado un mayor ancho de banda. La capacidad por longitud de onda puede ser de hasta 10 Gbps, en cada una de las longitudes de onda se pueden ubicar diferentes tasas de bit de distintas capas superiores, como PDH, SDH, ATM e IP.

➤ **Redes de Almacenamiento (SAN)**

Este tipo de redes están dentro de las redes MAN, por lo cual necesitan mayor ancho de banda para almacenar grandes cantidades de datos y nuevamente DWDM se convierte en la mejor opción para el transporte de datos en estas redes.

1.3 Red transporte óptico (OTN)

La implementación de tecnología de redes de transporte óptico (OTN) está cobrando más impulso en el mercado, debido al gran avance en tecnología de redes ópticas que representa la OTN y el declive de las redes SONET/SDH.

OTN permite evolucionar a una superposición en malla que combina cargas útiles de OTN, SONET/SDH y Ethernet y que ofrece un medio efectivo para construir una infraestructura modernizada, pero que transporta tráfico heredado (Littlewood, Masoud, & Follis, 2015), que les brinda a las redes SONET/SDH acceso a líneas de 100 Gb/s o más. Esta mejora selectiva, o limitación y crecimiento, ayuda a los proveedores de servicios a desarrollar sus redes en etapas para evitar una interrupción costosa de los servicios principales o las dificultades de mejorar todo al mismo tiempo.

OTN ofrece redes inteligentes capaces de transportar tráfico diverso y abundantes datos, con un gran ancho de banda y alta velocidad; por estas características OTN es conocida como la tecnología que encapsula cargas útiles de alta capacidad que necesitan los conmutadores y enrutadores de Ethernet, siendo este protocolo óptico el único que aumenta la capacidad a más de 40Gb/s. Los beneficios específicos que ofrece OTN en redes de núcleo y redes troncales son el aumento de la eficiencia y confiabilidad cercana al 99,99%.

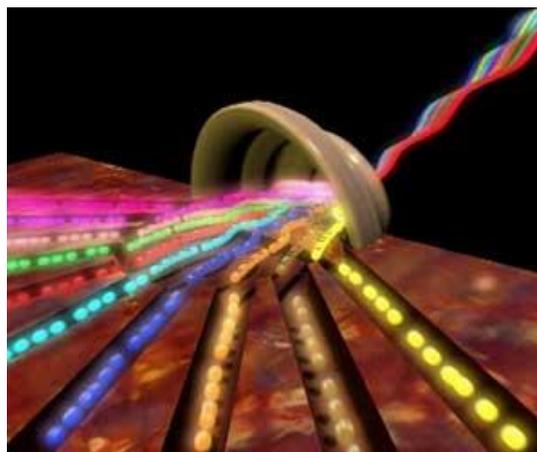


Figura 24 Red de transporte óptico
Fuente: (Networkworld, 2012)

1.3.1 Arquitectura OTN

OTN está conformado por varios componentes que constituyen la jerarquía de comunicación entre nodos de la red, como se observa en la siguiente figura.

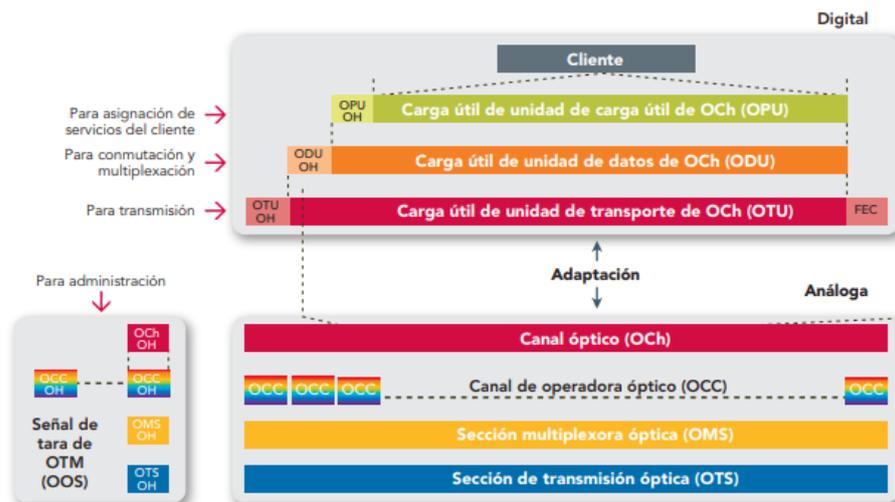


Figura 25 Módulo de transporte óptico
Fuente: (Littlewood, Masoud, & Follis, 2015)

El módulo de transporte óptico (OTM): Estructura transportada a través de la interface de línea óptica. Compuesta de dos partes: sección digital y sección analógica.

La unidad de carga útil de canal óptico (OPU): Contiene las tramas de cargas útiles. La “capa de servicios” representa los servicios para los usuarios finales, como GbE, SONET, SDH, FC o cualquier otro protocolo.

La unidad de datos de canal óptico (ODU_k, en la que $k = 1/2/2e/3/3e2/4$) comprende la OPU más tara, como BIP8, GCC1, TCM, etc.

La unidad de transporte óptico (OTU_k, en la que $k = 1/2/2e/3/3e2/4$) comprende la ODU, brinda la tara de nivel de sección, como BIP8, y es

compatible con los bytes del canal de comunicaciones general (GCC) para la tarea entre nodos de la red.

El GCC se usa para funciones de OAM, tales como el monitoreo de desempeño, la detección de fallas y los comandos de señalización y mantenimiento para el soporte de la conmutación de protección, la segmentación de fallas, la generación de informes de nivel de servicio y las comunicaciones del plano de control (Littlewood, Masoud, & Follis, 2015).

La capa física asigna la OTU a una longitud de onda y al canal óptico (OCh), que se extiende a lo largo de la línea óptica.

Una sección multiplexora óptica (OMS) se ubica entre dos dispositivos y puede multiplexar longitudes de onda en una fibra, como se muestra en la Figura 26.

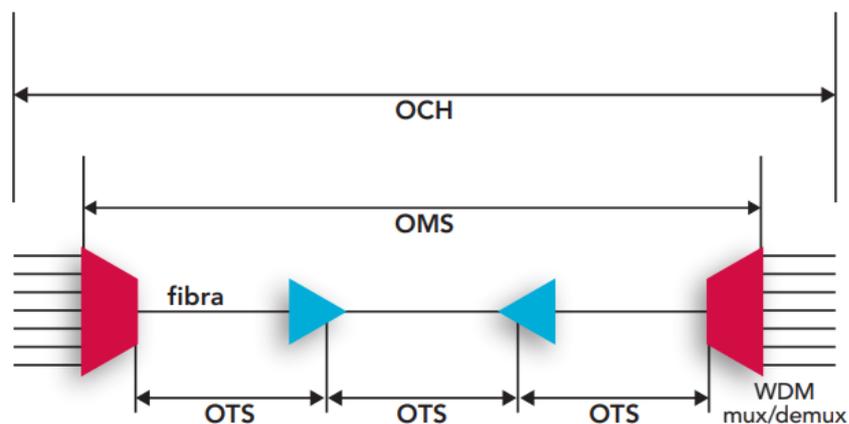


Figura 26 Desglose de la línea de la estructura OTN

Fuente: (Littlewood, Masoud, & Follis, 2015)

Sección de transmisión óptica (OTS): consiste en la fibra ubicada entre cualquier elemento que cumpla una función óptica en la señal. OTN ofrece seis niveles de monitoreo de conexión en tándem que le permiten

a un operador de red monitorear una señal a medida que pasa a través de redes de otros operadores. Esto contribuye en la gestión de fallas, puesto que la tara de OTN se alinea rigurosamente con estos puntos.

1.3.2 Ventajas y Desventajas

Ventajas

- Reducción en costos de transporte: ya que permite que varios clientes se transporten en una sola longitud de onda
- Uso eficiente del espectro óptico: OTN facilita el uso eficiente de la capacidad de DWDM que garantiza que las tasas de ocupación se mantengan en toda la red por el uso de conmutadores OTN en las uniones de fibras.
- Determinismo: provee un ancho de banda específico para cada servicio, grupo de servicios o partición de red, con lo cual se garantiza la capacidad de red y se controla el rendimiento, para cada cliente evitando la disputa por capacidad entre los mismos.
- Operaciones de red virtualizadas: posee la capacidad de dividir una red conmutada por OTN en particiones de redes privadas, también llamadas redes ópticas privadas virtuales (O-VPN), brindando al cliente un conjunto dedicado de recursos de red, independiente del resto de ella.
- Flexibilidad: permite a los operadores la capacidad de utilizar las tecnologías que se necesitan para soportar las demandas de transporte,

de igual forma permite adoptar nuevas tecnologías, como lo exigen los requerimientos del negocio.

- Diseño seguro: se garantiza un alto nivel de privacidad y seguridad mediante la partición física del tráfico en circuitos dedicados.
- Operaciones simples pero sólidas: los datos sobre la administración se transportan a través de un canal aparte, completamente aislado de los datos de las aplicaciones de los usuarios, por lo que es mucho más difícil acceder a las configuraciones de las redes OTN y modificarlas mediante el acceso a través de un puerto de interfaz del cliente.

Desventajas

- Requiere de nuevo Hardware y administración del sistema.
- Altos costos de instalación de equipos, sobre todo cuando se trata de una red en cero.

1.3.3 Servicios

- OTN permite a la red constituirse en una plataforma programable y abierta.
- Aumenta la eficiencia de las longitudes de onda en hasta un 78 por ciento para minimizar los requerimientos de enlace de la WAN
- Aumenta el rendimiento de las aplicaciones de red.
- Interconexión sin problemas con cualquier dispositivo del cliente (enrutador, conmutador de Ethernet, director de SAN, terminal de SONET y otros)
- Integra de manera sencilla ubicaciones geográficamente dispersas.
- Permite la administración desde un único extremo en un centro de operaciones de red (NOC)

1.4 Redes de nueva generación

Las Redes de Nueva Generación NGN (New Generation Networks): se definen como redes basadas en paquetes que permiten prestar servicios de telecomunicaciones con QoS, permitiendo la convergencia de servicios y aplicaciones. Este modelo de arquitectura en redes, permite desarrollar toda la gama de servicios IP multimedia, por esto NGN se basa en generar una evolución para pasar de un sistema a otro.

La integración de telefonía, internet y televisión conocida en la industria de las telecomunicaciones como servicios Triple Play, actualmente es el centro de atención de los nuevos modelos de negocio; impulsando el beneficio del cliente, pues obtiene cada vez más y mejores servicios, a un costo competitivo.

Este desarrollo requiere de una infraestructura, más allá de las redes existentes; una red central para todas las redes de acceso, la cual se llama la red de próxima o nueva generación. Permite a los usuarios el acceso no restringido tanto a redes y a proveedores de servicios y/o servicios de su elección.

Las redes de nueva generación (NGN) buscan reemplazar el cobre por la fibra óptica, permitiendo mejorar las prestaciones de las redes actuales, alcanzando velocidades de acceso de más de 100 Mbps e incrementando el número y la calidad de los servicios que se prestan.

SITUACIÓN ACTUAL Y REQUERIMIENTOS INICIALES

2.1 Situación Actual

La Empresa Privada para la cual se realizará el Diseño e Implementación de la red OTN-DWDM, es una de las empresas pioneras en la industria de la televisión por cable, contando ya con más de 30 años de servicio y teniendo una cobertura en cerca de 14 ciudades del Ecuador. Debido a su masivo crecimiento y afán de servicio, la empresa paralelamente desarrolló redes tradicionales para brindar servicios portadores como: transmisión de datos a alta velocidad, internet y telefonía; tanto para empresas públicas y privadas, como para usuarios tipo Home.

Actualmente esta empresa oferta todos los servicios ya mencionados, principalmente en las ciudades de Quito y Guayaquil, además de otras ciudades principales. Sin embargo, surge la necesidad de implementar todos sus servicios en ciudades en las cuales no se ha llegado o en las que actualmente solo pueden brindar uno o dos de los servicios que se ofertan, la meta es abrir nuevos mercados en todos los rincones del Ecuador. Es por esto que se planteó el requerimiento de expandir su red, creando un Anillo Nacional de Fibra Óptica para llegar a ciudades en las cuales esta empresa aún no está presente, siendo una de éstas la ciudad de Riobamba.

2.1.1. Descripción de la Red Actual y Servicios.

RED HFC

La red actual de la Empresa se basa en una red HFC (Red Híbrida Fibra-Coaxial), en la cual el medio de la fibra óptica se lo usa para la etapa de transporte y en la etapa de distribución se lo hace por medio de cable coaxial; además de elementos convertidores electro-ópticos que convierten la señal óptica a eléctrica y viceversa, y también amplificadores que llevan la señal a mayores distancias. Este esquema cuenta con una cabecera principal (Head End) al cual se reciben ciertos servicios por aire, luego son procesados y transmitidos por la red troncal desde el Head End hasta los nodos, por medio de la red de distribución; que convierten la señal óptica en señal RF para finalmente, por medio de un decodificador, llegar al cliente final, a través de los equipos terminales. En resumen, la red HFC está conformada por cuatro partes: Head End, red troncal, red de distribución y equipos terminales. La figura 27 muestra el esquema actual de la red.

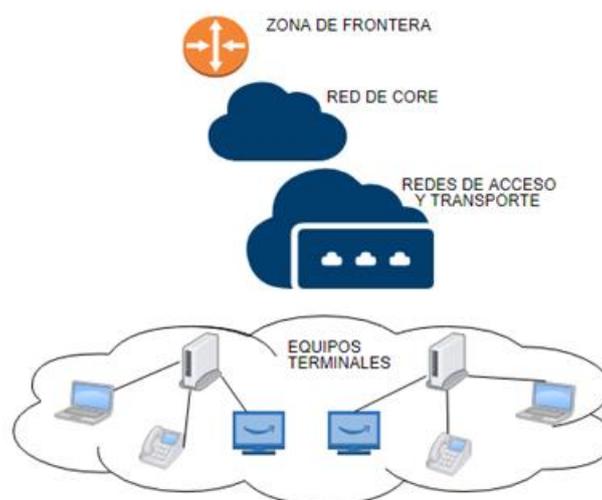


Figura 27 Estructura General de la Red

El Head End o Cabecera es el punto de inicio de la red HFC, en este punto se ubican las antenas que reciben las señales de televisión nacional e internacional, también se ubican los equipos CTMS, que reciben el tráfico de internet para luego ser distribuido.

La red troncal la conforman los equipos que realizan la transmisión óptica, aquí se combinan las señales de internet y televisión para ser transportadas por medio de la fibra óptica hacia los nodos ubicados en la ciudad.

La red de distribución y específicamente en los nodos se realiza la conversión de la señal óptica que llega por medio de la fibra óptica en forma de señal eléctrica; esta es la misma fibra que sale por los puertos RF del nodo y se la distribuye por cable coaxial, esta señal es periódicamente amplificada para que los niveles de señal que lleguen sean los adecuados al llegar a los TAP; desde donde se conectará a la acometida y finalmente llegará a los equipos terminales de los clientes.



Figura 28 Diagrama de Bloques de la red HFC

Servicios

Por medio de la red actual se está procesando los servicios de televisión pagada, Internet, telefonía y transmisión de datos; lo que requiere de gran capacidad y ancho de banda para cumplir con la demanda de los usuarios. A continuación, se detallará de mejor manera el esquema de cada servicio.

2.1.1.1 Televisión Pagada

Por medio de la red HFC se ofrece el servicio de televisión pagada por cable, integrando los canales nacionales e internacionales. La adopción de la especificación

DOCSIS (Data Over Cable Interfase Specification), permite tener señales en doble vía, es decir, transmisión y recepción; lo cual permite incluir un valor agregado al servicio de televisión como: eventos pagados, canales bajo demanda y compras por control remoto.

La recepción de las señales de televisión se realiza de cuatro diferentes formas en esta empresa y son:

- Vía satélite: Se tiene cinco antenas satelitales apuntando a cinco diferentes satélites, los cuales proveen señales de diferentes canales de televisión internacional.
- Señales originadas por la propia empresa: La empresa posee un canal completo que presenta a los usuarios las promociones y novedades; así como también la programación diaria.
- Mediante enlaces de fibra óptica: Se lo utiliza de forma menos frecuente ya que se realiza únicamente para eventos que acaparan mayor audiencia o para sucesos importantes; por ejemplo, eventos deportivos. Para realizar esto se realiza un enlace de fibra óptica entre la estación de televisión local y la empresa de servicios.
- Por aire: utilizado generalmente para recibir las señales de estaciones locales, es decir capta señales abiertas por medio de una antena direccional.

2.1.1.2 Internet

HFC permite integrar en un solo medio todos los servicios que brinda la empresa, en este caso el Internet. Inicialmente las velocidades que se ofertaban eran de 128 kbps para Downstream (velocidad de bajada) y 64 kbps para Upstream (velocidad de

subida); hoy en día las velocidades máximas que se ofrecen son downstream hasta 60.000kbps y Upstream hasta 3.000 kbps.

El tráfico de bajada se transporta encapsulado en paquetes de MPEG-27, los cuales se transportan en flujos de datos los cuales se modulan en señales n-QAM; mientras que el tráfico de subida, se transporta en tramas ethernet, típicamente en señales QPSK.

2.1.1.3 Telefonía

Como una alternativa a la telefonía convencional pública, se ofrece servicios de telefonía para zonas residenciales de las ciudades de Quito y Guayaquil, para luego extenderse hacia otras ciudades. Así también se brinda servicios de telefonía para empresas y locutorios.

La integración de centrales telefónicas modernas y la especificación DOCSIS, permiten manejar todos los servicios por un único medio de transporte; para llevar a cabo el proceso de telefonía se basan en el acceso mediante Voz sobre IP, utilizando el protocolo SIP (Session Initiation Protocol) y los servicios de valor agregado que la empresa ofrece a sus clientes son: transferencia de llamadas, llamada tripartita, buzón de voz, bloqueo de llamadas, servicios de PBX, entre otros.

Como una herramienta de mercadeo se vende los tres servicios mencionados en un combo, pudiendo estos ser seleccionados de acuerdo a las necesidades de cada cliente, es de aquí de donde nace el triple pack.

2.1.1.4. Transmisión de datos

Actualmente los servicios de datos se efectúan en redes paralelas a la red HFC como la red de acceso ADSL (Línea Digital de abonado simétrica), la cual usa cable de cobre como medio físico y la red Wimax para la red de acceso. El transporte se lo realiza por medio de redes SDH (Synchronous Digital Hierarchy), los servicios de transmisión de datos se conocen como servicios corporativos ya que ofrecen telefonía, internet y datos a pequeñas y grandes empresas.

2.1.2 Estructura de la red de transporte actual

2.1.2.1 Red SDH

La red actual SDH se compone de una estructura anillada con radiales de acceso, los equipos multiplexores se encuentran distribuidos en las principales ciudades como Quito y Guayaquil, entre otras. La red de transporte óptico la conforman enlaces SDH 1XSTM-1 con protección (1+1) en configuración redundante, en la banda de los 8 Ghz. El sistema de señalización que se usa es el SS7.

Su red de Core está compuesta por líneas STM-16 y STM-64 para obtener mejores tiempos de respuesta y brindar robustez a la red. En la red de acceso se tiene equipos de menor capacidad con enlaces a nivel de E1 y Fast Ethernet. La figura 29 muestra la distribución de equipos SDH de la red de fibra óptica actual.

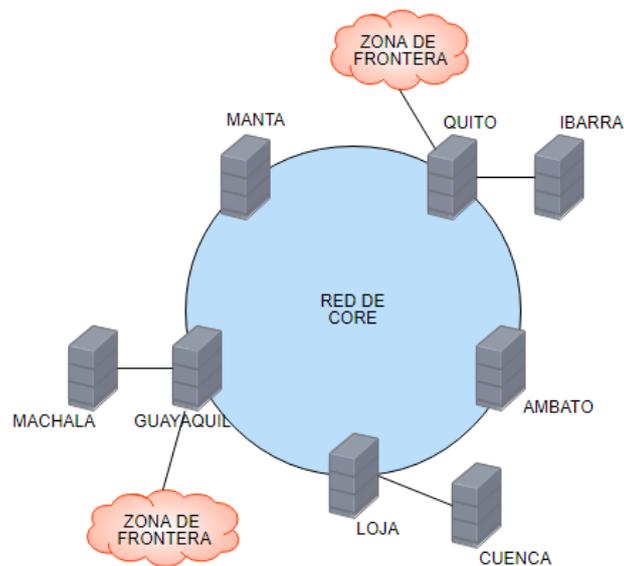


Figura 29 Red de Transporte SDH

La tecnología que se utiliza es TDM, la cual soporta hasta 32 canales de usuarios, cada uno con capacidad de 64 Kbps. Un E1 conecta dos puntos en los cuales la señal se multiplexa/demultiplexa la información. Para proveer un servicio confiable y eficaz se cuenta con varios mecanismos de sincronización, detección y control de errores, señalización y gestión.

A cada nodo llega un par de fibra con los diferentes servicios multiplexados. Para el servicio de televisión por cable se asigna una red IP sobre el canal, de acuerdo a los estándares DOCSIS 1.0 y 1.1; para telefonía se empaqueta la voz en paquetes IP, los cuales son transmitidos sobre la red y bajo la especificación MGCP NCS Packet Cable el cual permite transmitir voz sobre redes de datos.

Señalización 7 SS7

En el mundo de la redes de servicios, el sistema de señalización 7(SS7) es el más utilizado por las operadoras; este es utilizado para los enlaces centrales y de interconexión.

Es un sistema de canal común CCS y la señalización se la da por un canal digital separado al enlace, el cual transmite la comunicación de voz.



Figura 30 Señalización por canal común

Los componentes que conforman el sistema se indican en la figura 31, mostrada a continuación:



Figura 31 Componentes SS7

- STP: Punto de Transferencia, son los ruteadores de los paquetes de datos de señalización 7.
- SCP: Punto de control, son las bases de datos que proveen información necesaria para proveer servicios avanzados.

2.1.2.2 Red MPLS

La red MPLS fue implementada de forma paralela a la red SDH, con el objetivo de satisfacer los requerimientos de los usuarios, con esta implementación se aprovechó de mejor manera los recursos de la red de fibra instalados.

MPLS opera entre la capa de datos y la capa de red del modelo OSI; creada con el objetivo de unificar el servicio de transporte de datos en redes basadas en circuitos y paquetes. Se puede transportar diferentes tipos de datos como tráfico de voz y paquetes IP. Actualmente es la clásica solución para realizar un mejor transporte de la información. El transporte se realiza bajo el etiquetado de los paquetes en base a criterios o calidad de servicio; la conmutación de estos paquetes se ejecuta de acuerdo a las etiquetas añadidas.

Una de las características que enriquece a las redes MPLS es que ofrecen niveles de rendimiento diferenciado, polarización de tráfico, mayores velocidades de transmisión, facilidad de gestión de los recursos de la red además de ofrecer calidad de servicio, independientemente de la red en la que se implemente.

La empresa posee una red MPLS que se caracteriza por su robustez y redundancia, logrando de esta manera tener todo el tiempo un enlace de Back Up. La velocidad de operación del Backbone MPLS es de 1 Gbps en todas sus interconexiones por medio de fibra

2.1.2.2.1 Componentes MPLS

- LSR (Label Switching Router): Enrutador de alta velocidad especializado en el envío de paquetes etiquetados por MPLS. Realizan el envío de paquetes

basándose en el contenido de la etiqueta; retiran la etiqueta y añaden una etiqueta nueva que indica el siguiente salto por el cual se enviará el paquete.

- LER (Edge Label Switching Router): Son routers LSR en la frontera de la red MPLS. Existen dos tipos de LERs:
 - Ingress LERs: clasifican los paquetes IP y añaden la etiqueta apropiada a los paquetes entrantes
 - Egress LERs: quitan la etiqueta y envían el paquete a su destino.
- LSP (Label Switching Path): Es una ruta a través de uno o más LSRs, este camino se puede establecer tanto mediante protocolos; así como, manualmente.

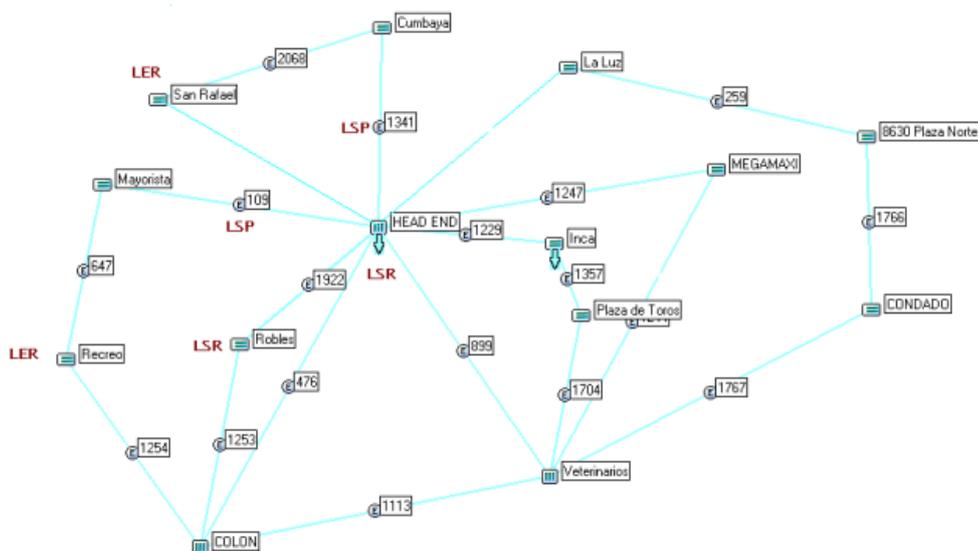


Figura 32 Red MPLS para la ciudad de Quito

2.1.2.3 Equipamiento

2.1.2.3.1 Red SDH

La red SDH de la empresa está conformada por dos tipos de equipos:

Equipos de CORE: Equipos de marca Tellabs familia 6300

Características:

- Completo conjunto de características SDH.
- Soporta portadoras de servicios de datos.
- Ancho de banda de hasta 10 Gbit/s
- Se pueden implementar sin problema con tecnología MPLS



Figura 33 Equipo Tellabs 6300

Equipos de Acceso: Equipos de marca Tellabs familia 8100

Características:

- Utilizados para manejo de tráfico SDH.
- Proveen infraestructura con la capacidad de ampliar SDH para el transporte de diversos servicios.
- Permiten cross-conexión de circuitos a diferentes niveles de alto orden (4/4) y de bajo orden (4/1).



Figura 34 Equipo Tellabs 8100

2.1.2.3.2. Red MPLS

Los equipos que conforman la red MPLS están diseñados para transporte Ethernet, agrupación del servicio de banda ancha y servicios IP/VPN. La marca de los equipos es Tellabs familia 8600, los cuales permiten ampliar los servicios basados en MPLS hacia las redes de acceso desde la red central.

Características:

- Permite implementar el enrutamiento por conmutación de etiquetas MPLS, ofrece la posibilidad de crear túneles de ingeniería de tráfico.
- Soporta el protocolo RSVP para ingeniería de tráfico MPLS con reservaciones de ancho de banda.
- Permite implementar VPNs

- Permite la creación de VLANs, adicionalmente permite manipular el tráfico de la red a través de los servicios diferenciados de Q&S (Calidad de Servicio)



Figura 35. Equipo Tellabs 8600

2.2. Requerimientos iniciales

Antes de comenzar con el diseño de la red óptica, lo primero que se debe hacer es conocer cuáles son los requerimientos del operador, ya que son los que determinan los parámetros iniciales del diseño, algunos de los cuales se van a detallar en esta sección.

2.2.1. Mantener servicios actuales

El principal objetivo para cualquier tipo de implementación es mantener los servicios actuales, aumentando la capacidad de los enlaces y garantizando la conectividad entre los nodos.

Los servicios que actualmente presta la empresa para la cual se va a ejecutar el proyecto, se deben mantener; y en las ciudades en las cuales aún no se brinda los servicios, se los debe implementar; siendo esto parte de otro proyecto que realice el estudio e implementación de la parte de la red de acceso para esta empresa.

Con la red óptica de transporte se permitirá el crecimiento y expansión de la red hacia ciudades en las cuales no está presente esta empresa y de igual forma mejorar los actuales servicios en los cuales ya se encuentra presente; es por esto que la tecnología elegida es DWDM que optimiza el uso de la fibra óptica al usar un solo medio para transmitir diferentes tipos de información y transportándola de forma confiable.

Como se describió anteriormente los servicios que la empresa brinda tanto a usuario tipo Home como Corporativos son: Telefonía, Televisión, internet y transmisión de datos, este último dedicado únicamente a clientes corporativos; de estos servicios al finalizar la implementación de la red OTN-DWDM no se eliminará ninguno, lo que se va a conseguir es mejorar sus prestaciones para competir con otras grandes empresas dedicadas a la telecomunicaciones y expandir este mercado por todo el territorio ecuatoriano.

2.2.2. Escalabilidad

Actualmente las redes de fibra ópticas están revolucionando el mercado de las telecomunicaciones debido a que tienen varias ventajas para los operadores; pues tienen gran capacidad y bajo costo al compararlas con otro tipo de redes, y si a esto se lo complementa con la tecnología DWDM se convierte en una red con gran capacidad de explotación a futuro, ya que permite una evolución flexible y económica de las redes en las cuales se implementa.

DWDM al tomar varias señales ópticas y mapearlas en longitudes de onda individuales y a todas esas longitudes de onda multiplexarlas en una sola fibra óptica, permite que la red posea un alto nivel de escalabilidad ya que se puede administrar el

medio de transmisión de una forma más eficiente, sobre los tendidos de fibra óptica. DWDM mejora la velocidad de las conexiones dinámicas de la red, dando a los operadores la posibilidad de ofrecer servicios de gran ancho de banda.

Uno de los requisitos fundamentales para garantizar la escalabilidad de la red, es la selección de equipos robustos y con las características suficientes para poder escalar a futuro a una red más amplia; sobre los equipos que se implementará se detallará en el siguiente capítulo.

2.2.3. Disponibilidad

La disponibilidad de la red es el porcentaje de tiempo que el servicio es ofrecido a un cierto lugar, con la calidad requerida. La disponibilidad depende de la fiabilidad de los equipos, retrasos, entre otros.

La tasa de bits errados, de sus siglas en inglés BER (Bit Error Rate), es una medida que refleja el nivel de bits detectados con error dentro de un sistema de transmisión; por lo tanto, realizar las pruebas de BER previo a la aceptación del proyecto es fundamental, ya que con esto se asegura que el enlace trabaje con fiabilidad y alta disponibilidad.

La ITU establece dentro de su estándar un nivel de BER de 10^{-15} para los sistemas DWDM, en la siguiente tabla se indica cuáles deben ser los niveles de BER para canales con diferentes velocidades y asegurar así una disponibilidad del 99%.

Tabla 5*Niveles de BER para diferentes velocidades de transmisión*

Velocidad	BER 10 ⁻⁹	BER 10 ⁻¹⁰	BER 10 ⁻¹¹	BER 10 ⁻¹²
100 Gbps	1 Segundo	2 Minutos	21 Minutos	3 Horas 29 Minutos
40 Gbps	3 Segundos	6 Minutos	53 Minutos	8 Horas 47 Minutos
10 Gbps	13 Segundos	21 Minutos	3 Horas 30 Minutos	1 Día 10 Horas 58 Minutos
2,5 Gbps	51 Segundos	1 Hora 25 Minutos	14 Horas 3 Minutos	5 Días 20 Horas 29 Minutos
continúa				
1 Gbps	2 Minutos	3 Horas 30 Minutos	1 Día 10 Horas 58 Minutos	14 Días 13 Horas 33 Minutos
622 Mbps	4 Minutos	5 Horas 37 Minutos	2 Días 8 Horas 12 Minutos	23 Días 9 Horas 55 Minutos
155 Mbps	14 Minutos	22 Horas 29 Minutos	9 Días 8 Horas 46 Minutos	93 Días 15 Horas 38 Minutos

2.2.4. Capacidad

Actualmente las necesidades de aumentar la capacidad de la red surgen, debido a la aparición de 4G, pues con esto el concepto de E1's quedó obsoleto y ahora lo que se manejan son servicios IP, para los que se requiere capacidades desde 5 Mbps a 20 Mbps como mínimo por nodo.

La capacidad actual que se maneja en la red de la empresa es de STM-64 para SDH, sin embargo, al implementar la tecnología DWDM se puede proyectar de 40 a 80 lambdas e incluso más, dependiendo de los equipos DWDM que se van a implementar, lo que proveería una velocidad total de 800 Gbps por una sola fibra óptica.

Es importante mencionar que las empresas operadoras de telecomunicaciones actualmente utilizan hasta dos fibras para DWDM y mantienen el tendido de su fibra óptica original; con lo que pueden con esto incrementar aún más las capacidades de la red y tener hilos de reserva con plan de contingencia en casos de cortes de fibra óptica que suelen ser muy frecuentes.

2.2.5. Mantenimiento

Realizar el correcto mantenimiento de una red DWDM garantiza la eficiencia y temprana identificación de fallos, lo cuales pueden ser corregidos con procesos bastante simples.

De los mantenimientos preventivos que se realizan periódicamente dependerá el minimizar y prevenir afectaciones en el servicio ya que aquí se recolectan y se analizan los parámetros de operación y de ser necesario se realizan ajustes en la red para que cumpla con los niveles de servicio comprometidos.

El mantenimiento de una red DWDM se debe realizar con el equipamiento adecuado, a continuación, se indican los equipos que serán utilizados en los mantenimientos de la red.

- Optical Power Meter
- Fibras ópticas de diferentes longitudes
- Cintas de velcro
- Cable Ethernet
- Analizador de espectros ópticos OSA
- Equipo probador multiservicios GE y SDH
- Multímetro
- ESD pulsera electrostática
- Atenuador óptico variable
- Generador de luz sintonizable en la banda C y L
- OTDR (Optical Time Domain Reflectometer)
- Destornilladores
- Papel para etiquetas
- Kit de limpieza de fibra óptica

Existen varias tareas de mantenimiento que se deben realizar y a continuación, se resumirán:

- Mantenimiento Preventivo: Dependen de las necesidades y requerimientos definidos por el operador, los mantenimientos pueden ser diarios, semanales, mensuales, trimestrales, etc. Algunas de las tareas que se realizan en el mantenimiento preventivo son:
 - Guardar reportes de desempeño de la red
 - Revisar alarmas
 - Respaldos de bases de datos.
 - Generación de reportes
- Gestión de fallas: a incluye la recolección y procesamiento de alarmas, reportes y sondeos automáticos, visualización de las alarmas existentes en los mapas de topologías, las cuales se categorizan de acuerdo a su importancia y mediante código de colores para que los operadores puedan rápidamente distinguir los tipos, estado y grado de alarmas.
- Gestión de Desempeño: permite determinar los objetos a ser monitoreados, los umbrales de monitoreo, los tiempos de muestreo, etc. De esta manera se recopila información que muestra los datos de desempeño actual del sistema.
- Mantenimiento Correctivo: Los procedimientos y mecanismos sugeridos en el mantenimiento preventivo y correctivo de una red con tecnología DWDM se enlistan a continuación:
 - Conmutación de Controladoras y Crossconectoras
 - Conmutación de tarjetas de energía
 - Limpieza de la fibra y puertos ópticos
 - Medición de potencia de los puertos ópticos

- Pruebas mediante bucles lógicos y físicos
- Pruebas de sensibilidad del receptor del lado tributario
- Pruebas de sensibilidad en los puertos DWDM de los transponders
- Prueba de sintonización de los transponders
- Verificación de los rangos de amplificación
- Verificación de la funcionalidad multirate de las unidades OTU
- Verificación de la operatividad ROADM
- Verificación del esquema de protección OLP (Optical Line Protection)
- Verificación de alarmas
- Medición en el espectro de todas las longitudes de onda
- Medición del OSNR
- Verificación del canal de servicio
- Prueba de la funcionalidad ALC
- Prueba de la funcionalidad APE
- Pruebas de BER
- Pruebas sobre servicios Ethernet

2.2.6 Requerimientos Para La Red OTN

2.2.6.1. Fibra ADSS 24 HILOS

La empresa solicita que la solución que se brinde se la realice con fibra óptica ADSS de 24 hilos, esto debido a las capacidades que se asignarán a los nodos y también a las características de los equipos activos. Es importante indicar que por cada hilo se puede enviar varias lambdas; por lo tanto, los 24 hilos son suficientes para una red nueva y con capacidad de crecimiento; inicialmente se usarán 2 de los 24 hilos.

El primer hilo se lo usará para encapsular todos los servicios en las diferentes longitudes de onda; mientras que el hilo 2 será usado como Back Up cuando que se encuentre atenuación en el hilo principal. Los hilos sobrantes se los usará cuando sea

necesario llegar hasta un sector en el que se implemente un equipo adicional, debido a la gran demanda y finalmente la empresa también va a alquilar su infraestructura a otras operadoras.

En el capítulo 3 que corresponde al diseño, se realizará un breve análisis de los tipos de fibra que serían los adecuados para usar en el proyecto; sin embargo, la instalación se la realizará con la fibra que solicita la empresa.

2.2.6.2. Redundancia de la red

La empresa solicita tener dos métodos de Back Up, para enfrentar de manera rápida y oportuna, cualquier evento que afecte el enlace principal.

Afectación por atenuación de un hilo: Si se presentan problemas de atenuación en el hilo principal, se usará el hilo n°2 que será considerado como Backup.

Afectación por corte/daño grave en cable de fibra: Si la fibra óptica llegara a presentar una afectación como cortes o atenuación en todos los hilos; la empresa tiene contratado el servicio de Back Up con otra operadora, para garantizar la disponibilidad de sus servicios.

2.2.6.3. Características técnicas OTN

Los lineamientos técnicos están basados en las recomendaciones IUT-T serie G para sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales, como se indican en la tabla siguiente:

Tabla 6

Recomendaciones Tecnología OTN

Tecnología OTN Recomendaciones	
Norma	Recomendación
ITU-T G.709	Interfaces para redes OTN
ITU-T G.872	Arquitectura redes OTN
ITU-T G.798	Características de las redes OTN y bloques
ITU-T G.959.1	Interfaces de capa física para redes OTN
ITU-T G.694.1	Grilla de frecuencias DWDM
ITU-T G.874	Aspectos de la administración de los elementos de red OTN

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED

3.1. Consideraciones generales de diseño

3.1.1 Escenario de despliegue

El enlace Quito- Riobamba es parte del anillo de fibra óptica a Nivel Nacional que debido a la confidencialidad de la empresa no se detallará más de lo necesario para el desarrollo del proyecto de titulación. El anillo de fibra óptica se requiere para la provisión de servicios de Datos, Televisión por Cable y Telefonía a gran distancia. El anillo está compuesto por 10 nodos principales (Quito, Ambato, Riobamba, Cuenca, Machala, Guayaquil, Salinas, Manta, Portoviejo y Santo Domingo) y 4 nodos amplificadores (Alausí, Naranjal, Puerto López y Chone), tal como se muestra en la figura 36

Debido a cálculo de demanda de tráfico y por estrategias comerciales de la empresa el enlace se realizará en dos partes o sub-enlaces: Quito- Ambato y Ambato Riobamba.

El enlace Quito – Ambato es un enlace punto a punto mediante fibra óptica. El enlace Ambato – Riobamba es un enlace punto a punto mediante fibra óptica. En la figura 36 se muestra el diagrama de recorrido del enlace en estudio.

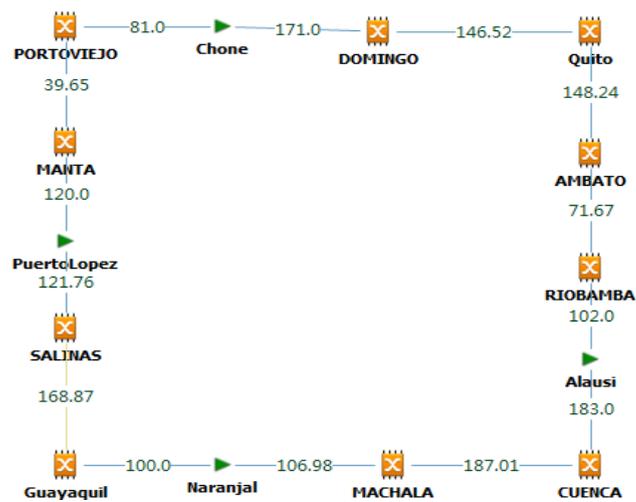


Figura 36 Anillo de Fibra Óptica a Nivel Nacional

3.1.2 Estudio de la ruta.

3.1.2.1 Ubicación geográfica de los Nodos

El Enlace Quito- Riobamba, es una parte del Anillo Nacional de fibra óptica. El enlace se realizará atravesando las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo, de acuerdo a la figura siguiente.

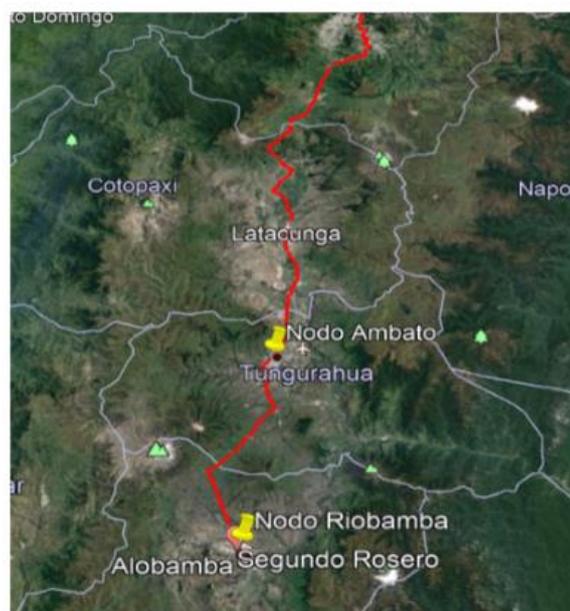


Figura 37 Recorrido Físico del enlace Quito- Riobamba

El enlace interconectará 3 centrales o nodos mediante el enlace de fibra óptica: La central principal o head End está ubicada en la ciudad de Quito, Calle Lorenzo Chávez; en la ciudad de Ambato, Av. De los Guaytambos y en la ciudad de Riobamba, la central está ubicada en calle Segundo Rosero. A continuación, se detallan los datos de las centrales que se interconectan:

Tabla 7
Datos de la Central Quito

Central Quito

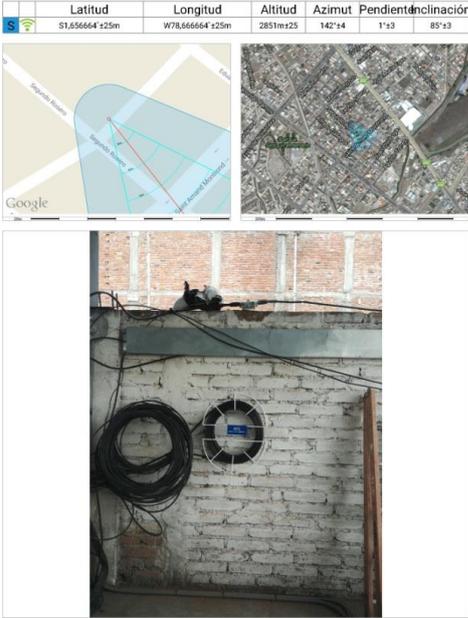
Provincia	Pichincha	
Ciudad	Quito	
Dirección	Calle Lorenzo Chávez	
Coordenadas Georeferenciadas	S 0,1900; O 78,4696	
Altura:	2866 msnm	

Tabla 8
Datos del Nodo Ambato

Nodo Ambato

Provincia	Tungurahua	
Ciudad	Ambato	
Dirección	Av. De los Guaytambos	
Coordenadas Georeferenciadas	S 1,2370; O 78,6334	
Altura:	2579 msnm	

Tabla 9
Datos del Nodo Riobamba
Nodo Riobamba

Provincia	Chimborazo	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Latitud</th> <th>Longitud</th> <th>Altitud</th> <th>Azmut</th> <th>Pendiente</th> <th>Inclinación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S 1,65664°±25m</td> <td>W 78,66664°±25m</td> <td>2851m±25</td> <td>142°±4</td> <td>1°±3</td> <td>85°±3</td> </tr> </tbody> </table> 	Latitud	Longitud	Altitud	Azmut	Pendiente	Inclinación	S 1,65664°±25m	W 78,66664°±25m	2851m±25	142°±4	1°±3	85°±3
Latitud	Longitud		Altitud	Azmut	Pendiente	Inclinación								
S 1,65664°±25m	W 78,66664°±25m		2851m±25	142°±4	1°±3	85°±3								
	o													
Ciudad	Riobamba													
Dirección	Calle Segundo Rosero													
Coordenadas Georeferenciadas:	S 1,6566; O 78,6666													
Altura:	2851 msnm													

3.1.2.2. Distancias entre enlaces de centrales.

El enlace Quito – Riobamba comprende alrededor de 230 Km de cable de fibra óptica para interconectar las centrales en mención. A continuación, se detalla las distancias aproximadas entre las centrales que se interconectan en el enlace de estudio:

Tabla 10

Distancias de enlaces de fibra óptica

Enlace	Distancia (km)	Infraestructura
Quito- Ambato	160 Km	Se utilizará infraestructura de EEQ (Quito), ELEPCO (Cotopaxi), EEASA(Ambato)
Ambato – Riobamba	70 Km	Se utilizará infraestructura de EEASA (Ambato), EERSA (Riobamba).

3.1.3. Infraestructura necesaria para el enlace.

Para realizar el tendido de fibra óptica se puede utilizar canalización subterránea o micro-zanjados, para los cuales se requiere el permiso municipal de ocupación del suelo del DMQ (Distrito Metropolitano de Quito) y de los demás municipios para realizar la construcción de canalización subterránea a lo largo de todo el recorrido.

Otra forma, es el tendido aéreo, para lo cual se puede arrendar los postes de la Empresa Eléctrica Quito o la empresa correspondiente para el tendido de la fibra a través de su infraestructura. El precio anual de poste arrendado es relativamente bajo (alrededor de \$2 por poste), lo que resulta en un rubro muy económico y estará contemplado en el capítulo 3.

El recorrido que la fibra óptica seguirá a través de la infraestructura de postes de la Empresa Eléctrica, en algunos sectores existe problema de saturación de cables de cobre, coaxial y fibra óptica en estos postes (tales como Bellavista, Vicentina,

etc.), lo que representa una dificultad adicional para la instalación del cable de fibra óptica.

Justificación uso tendido aéreo

Se considera el tendido aéreo de fibra óptica para el diseño ya que existen muchas ventajas al compararlo con un tendido subterráneo, éstas son:

- Acceso libre a la infraestructura para realizar mantenimiento, revisión y reparación de la fibra.
- Fácil visualización de daños físicos en la fibra para reparación.
- Instalación relativamente sencilla y menos costosa.
- Requiere menor tiempo para la instalación.
- En caso de daño en los postes (por choques de autos o por deterioro de los postes), la empresa eléctrica de la localidad realiza el cambio de poste.
- Instalación de la fibra cerca de líneas de media y baja tensión sin inconvenientes gracias a que la fibra óptica no es afectada por la interferencia electromagnética.

La tabla 11 muestra la infraestructura necesaria para la instalación del cable de fibra óptica en el enlace Quito- Ambato en la provincia de Pichincha, se requieren 1573 postes pertenecientes a la Empresa Eléctrica de Quito. Con esta infraestructura se instalarán 67 Km de fibra óptica.

Tabla 11
Infraestructura necesaria en Provincia de Pichincha

Provincia	Detalle		Jurisdicción	Sector de Referencia	Postes a utilizar
Pichincha (Empresa Eléctrica Quito EEQSA)	Tramo Urbano	Quito	Distrito Metropolitano Quito	DISTRITO METROPOLITANO QUITO	976
	Tramo Urbano	Tambillo	GAD Cantón Mejía	Tambillo	39
	Tramo Interurbano	Cantón Mejía	Prefectura De Pichincha	Aloág	11
	Tramo Interurbano	Cantón Mejía	Ministerio De Transporte Y Obras Publicas R-2	La Avanzada	227 continua
	Tramo Urbano	Machachi	Gad Cantón Mejía	Ciudad de Machachi	47
	Tramo Interurbano	Cantón Mejía	Prefectura De Pichincha	Aloasí, El Chaupi	273
TOTAL					1573

La tabla 12 muestra la infraestructura necesaria para la instalación del cable de fibra óptica en el enlace Quito- Ambato en la provincia de Cotopaxi, se requieren 1355 postes pertenecientes a la Empresa Eléctrica Cotopaxi. Con esta infraestructura se instalarán 73 Km de fibra óptica.

Tabla 12
Infraestructura necesaria en Provincia de Cotopaxi.

Provincia	Detalle	Jurisdicción	Sector de Referencia	Postes a utilizar
Cotopaxi (Empresa Eléctrica Cotopaxi ELEPCOSA)	Tramo Interurbano Cantón Latacunga	Prefectura De Cotopaxi	San Juan De Pastocalle	537
	Tramo Interurbano Cantón Latacunga	Ministerio De Transporte Y Obras Publicas R-3	Tanicuchi	68
	Tramo Interurbano Cantón Latacunga	Prefectura De Cotopaxi	Guaytacama	137
	Tramo Urbano Latacunga	Gad Latacunga	Ciudad De Latacunga	235
	Tramo Interurbano Cantón Latacunga	Ministerio De Transporte Y Obras Publicas R-3	Belisario Quevedo	88
	Tramo Interurbano Cantón Salcedo	MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PUBLICAS R-3	Salache	49
	Tramo Urbano Salcedo	GAD SALCEDO	Ciudad de Salcedo	66
	Tramo Interurbano Cantón Salcedo	MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PUBLICAS R-3	Panzaleo	58
	Tramo Interurbano Cantón Salcedo	PREFECTURA DE COTOPAXI	José Holguín	117
	TOTAL			1355

La tabla 13 muestra la infraestructura necesaria para la instalación del cable de fibra óptica en la provincia de Tungurahua, se requieren 1168 postes pertenecientes a la Empresa Eléctrica Ambato. Para el enlace Quito- Ambato se requieren 352 postes para instalar los últimos 20 Km hasta llegar al Nodo Ambato. Para el enlace Ambato - Riobamba se requieren 816 postes. Con esta infraestructura se instalarán 37 Km de fibra óptica.

Tabla 13
Infraestructura necesaria en Provincia de Tungurahua.

Provincia	Detalle	Jurisdicción	Sector de Referencia	Postes a utilizar
Tungurahua (Empresa Eléctrica Ambato EEASA)	Tramo interurbano cantón Ambato	PREFECTURA DE TUNGURAHUA	Cunchibamba, Atahualpa	263
	Tramo urbano cantón Ambato	GAD AMBATO	Ciudad de Ambato (Fin de enlace UIO-Ambato)	89
	Tramo urbano cantón Ambato	GAD AMBATO	Ciudad de Ambato (Inicio de enlace Ambato - Riobamba)	261
	Tramo interurbano cantón Ambato	MTOP R-3	Vía Ambato-Riobamba	41
	Tramo interurbano cantón Cevallos	PREFECTURA DE TUNGURAHUA	Montalvo, Vía Ambato-Cevallos	97
	Tramo urbano cantón Cevallos	GAD CANTÓN CEVALLOS	Ciudad de Cevallos	26
	Tramo interurbano cantón Cevallos-Mocha	PREFECTURA DE TUNGURAHUA	Vía Cevallos-Mocha	209
	Tramo urbano cantón Mocha	GAD MOCHA	Ciudad de Mocha	41
	Tramo interurbano cantón Mocha – Quero	PREFECTURA DE TUNGURAHUA	Vía Antigua Mocha- Quero	141
	TOTAL			

La tabla 14 muestra la infraestructura necesaria para la instalación del cable de fibra óptica en la provincia de Chimborazo, se requieren 488 postes pertenecientes a la Empresa Eléctrica Riobamba. Para el enlace Ambato -Riobamba se requieren 488 postes para instalar los últimos 33 Km hasta llegar al Nodo Riobamba.

Tabla 14
Infraestructura necesaria en Provincia de Chimborazo

Provincia	Detalle	Jurisdicción	Sector de Referencia	Postes a utilizar
Chimborazo (Empresa Eléctrica Riobamba EERSA)	Tramo Interurbano Cantón Riobamba	PREFECTURA DE CHIMBORAZO	Urbina, San Andrés	339
	Tramo Urbano Cantón Riobamba	GAD RIOBAMBA	Ciudad de Riobamba (Fin de enlace Ambato-Riobamba)	149
TOTAL				488

La tabla 15 muestra la infraestructura necesaria para la instalación del cable de fibra óptica por empresa eléctrica correspondiente, se requieren 4584 postes para el enlace Quito –Riobamba.

Tabla 15
Infraestructura necesaria por Empresa Eléctrica.

Empresa Eléctrica	Postes	Porcentaje (%)
Quito EEQ SA	1573	34,32
Cotopaxi ELEPCO SA	1355	29,56
Ambato EEASA	1168	25,48
Riobamba EER SA	488	10,65
TOTAL	4584	100,00

En la siguiente grafica se visualiza los datos de la tabla 15. De acuerdo a la gráfica el 34,32% de los postes requeridos para la construcción del enlace pertenecen a la Empresa Eléctrica Quito, debido a esto se debería comenzar con los trámites respectivos para autorización de uso de dicha infraestructura con el personal técnico y administrativo de la EEQ.

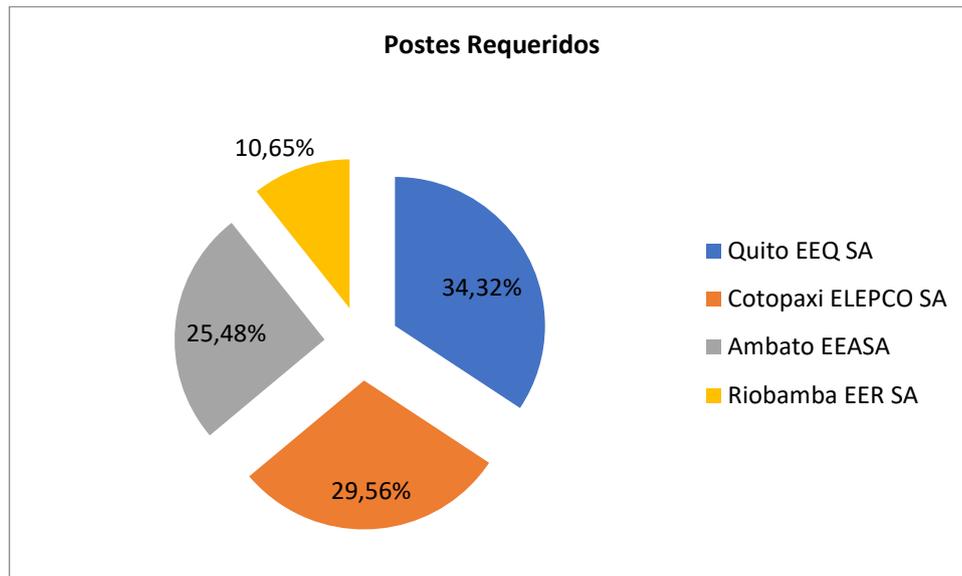


Figura 38 Infraestructura necesaria por Empresa Eléctrica

La instalación del cable de fibra óptica se realizará en los postes de hormigón de cada empresa eléctrica a una distancia de 6 a 8 metros de altura desde el piso (dependiendo de la cantidad de cables existentes en cada poste). La instalación del cable se realizará bajo las líneas de baja tensión, tal como se muestra en la figura 39 se muestra el estado del cable luego de la instalación en los postes requeridos.



Figura 39 Instalación de cable de fibra óptica en postes

3.1.4. Cronograma del proyecto

El proyecto está planificado para ser realizado en 4 fases y la duración total del proyecto desde la fecha de aprobación es de 6 meses, las fases que conforman el cronograma son las siguientes:

3.1.4.1. Fase de Gestión de permisos

Esta fase comprende la previa tramitación de permisos de uso de infraestructura, ya que en ciertos municipios el trámite puede ser largo, llegando a tomar hasta 3 meses la obtención de los permisos.

Esta fase arranca 2 meses antes de la fase de implementación, para optimizar los tiempos y tendrá una duración aproximada de 4 meses. Los permisos necesarios para la implementación de la red son los siguientes.

- Permisos municipales (dependiendo de la jurisdicción correspondiente)
- Permisos predios privados (para instalar el cable dentro de propiedades privadas).
- Permisos de compartición de infraestructura de otras operadoras de telecomunicaciones.

3.1.4.2. Fase de Compra y revisión de materiales e insumos

Esta fase se desarrollará desde la aprobación del proyecto, ya que los materiales deben ser adquiridos anticipadamente para realizar la verificación previa a la instalación y evitar problemas con daños en los mismos. Esta fase tiene una duración de 2 meses a partir de la aprobación del proyecto, ya que algunos equipos son adquiridos en el exterior y el tiempo de llegada al país toma mínimo 1 mes.

3.1.4.3. Fase de implementación

La fase de implementación arranca una vez se tenga el material necesario y previamente verificado. Para la implementación se subcontratará mano de obra para realizar el tendido e instalación de la fibra óptica, así como también se contratará personal para fiscalizar a dichas empresas subcontratistas; esta fase tendrá en el mejor de los casos una duración de 2 meses y un máximo de 3 meses cuando por temas de permisos o imprevistos, se presenten retrasos.

3.1.3.4. Fase de Pruebas finales y corrección de eventos

La fase de pruebas inicia una vez la instalación finaliza y esta fase tiene una duración de 1 semana en la cual se realizan pruebas unidireccionales y bidireccionales para detectar posibles eventos que afecten a la red; los cuales deben ser corregidos para proceder con la entrega de la red.

3.2. Diseño de la red

3.2.1 Cálculos para enlace de fibra óptica.

Para el desarrollo del enlace de fibra óptica se requieren conocer ciertas cantidades de materiales a instalar, y de acuerdo a estas cantidades manejar un presupuesto para la construcción del enlace. El desarrollo del presupuesto se realizará en los siguientes apartados. A continuación, se realizará el cálculo de los volúmenes de materiales para el enlace y el cálculo de atenuaciones ópticas en el enlace.

3.2.1.1 Calculo de Volúmenes de materiales.

Como primera premisa para el cálculo de los materiales del Enlace Quito-Riobamba son las distancias entre centrales de la tabla 10., así en el enlace Quito – Ambato son 160 Km y en el enlace Ambato- Riobamba son 70 Km.

Lo primero que necesita conocer es la cantidad de bobinas de cable de fibra óptica que se requieren para el enlace. Las bobinas de cables ADSS de 24 hilos generalmente son de 5000 metros de cable. Entonces:

$$\text{Número de Bobinas} = \frac{\text{Distancia del Enlace}}{\text{Longitud del cable por Bobina}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Aplicando la ecuación 1 para el enlace Quito - Ambato;

$$\text{Número de Bobinas} = \frac{160 \text{ Km}}{5 \text{ Km}}$$

$$\text{Número de Bobinas} = 32 \text{ bobinas}$$

Aplicando la ecuación 1 para el enlace Ambato - Riobamba;

$$\text{Número de Bobinas} = \frac{70 \text{ Km}}{5 \text{ Km}}$$

$$\text{Número de Bobinas} = 14 \text{ bobinas}$$

Para la determinación de la cantidad de herrajes tipo A o tipo B, se deben conocer 2 aspectos: el número de postes a utilizar y la geografía por la cual se llevará el enlace de fibra óptica. Para conocer la cantidad de postes a utilizar en el enlace Quito – Ambato, se toman en cuenta los datos de las tablas 11,12 y parte de la tabla 13. Para conocer la cantidad de postes a utilizar en el enlace Ambato - Riobamba, se toman en cuenta los datos de las tablas parte de la tabla 13 y 14.

Tabla 16

Número de Postes por Enlace

Enlace	Numero de Postes
Quito- Ambato	3280
Ambato- Riobamba	1304

Se realizó un recorrido por toda la ruta que llevará el cable de fibra óptica, y se llegó a la conclusión que cerca del 95% de los postes requieren herraje tipo A, debido a la

geografía de la serranía ecuatoriana. El 5% restante de postes están en tramos rectos y nivelados, por lo que llevarán herraje tipo B o de sujeción.

Tabla 17

Número de Herrajes por Enlace.

Enlace	Herrajes tipo A	Herrajes tipo B
Quito- Ambato	3116	164
Ambato- Riobamba	1239	65

Para determinar el número de mangas de empalme en el enlace, se debe conocer que cuando se termine el cable de una bobina y se inicie otra bobina se deberá realizar un empalme, por lo que se necesita una manga de empalme en el final de cada bobina, excepto al inicio de la primera bobina y al final de la última bobina; ya que se instalarán ODF.

Tabla 18

Número de Mangas de Empalme por Enlace

Enlace	Numero de bobinas	Mangas de empalme
Quito- Ambato	32	31
Ambato- Riobamba	14	13

En la Centrales Quito y Ambato se requiere un ODF de 24 Hilos y un rack metálico para el enlace respectivo. En la Centrales Ambato y Riobamba se requiere un ODF de 24 Hilos y un rack metálico para el enlace respectivo.

Tabla 19

Número de ODF y rack por Enlace

Enlace	ODF de 24 H	Rack metálico
Quito- Ambato	1	2
Ambato- Riobamba	1	1

La tabla 20, muestra un resumen de los materiales necesarios para la construcción del enlace Quito- Ambato y el enlace Ambato – Riobamba. Este cuadro se utilizará

en el siguiente capítulo para determinar los costos del enlace, tanto en materiales como mano de obra.

Tabla 20

Materiales requeridos por enlace

Material	Unidad	UIO- AMB	AMB – RIO	Total
Bobinas de cable	U	32	14	46
Herrajes tipo A	U	3116	1239	4355
Herrajes Tipo B	U	164	65	229
Mangas de Empalme	U	31	13	44
ODF 24 H	U	2	2	4
Rack metálico	U	2	1	3

3.2.1.2 Cálculo de atenuaciones ópticas en el enlace.

La atenuación es el desgaste que sufre la señal en el enlace, éste es un parámetro clave para conocer el estado del enlace óptico, así como la correcta manipulación del cable de fibra durante la instalación, y, el correcto proceso de empalme o fusión a través del enlace.

Para el cálculo de la atenuación se usa la siguiente ecuación:

$$A(db) = n * C + c * J + L * a + M \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

- n — número de conectores
- C — atenuación para un conector óptico (dB)
- c — número de empalmes en el enlace
- J — atenuación para un empalme (dB)
- a — atenuación para el cable óptico (dB/Km)
- L — longitud total del cable óptico(Km)
- M — margen del sistema (los cables de interconexión, curva del cable, los eventos de atenuación óptica impredecibles, y así sucesivamente, se deben considerar alrededor de 3 dB).

Para el enlace Quito- Ambato se considera que son 2 conectores (uno en cada ODF del enlace), con pérdida de 0,5 dB en cada conector. El número de empalmes está en la tabla 18 La pérdida del cable de fibra óptica es 0,20 dB/Km y la pérdida máxima por

empalme de fusión es 0,10 dB. El margen del sistema es 3 dB. Se aplican estos datos en la ecuación 2.

$$A(dB) = 2 * 0,5 + 31 * 0,10 + 160 * 0,20 + 3$$

$$A(dB) = 1 + 3,1 + 32 + 3$$

$$A(dB) = 39,1dB$$

En la tabla 21 se indica en resumen del cálculo de atenuación del enlace Quito-Ambato.

Tabla 21

Atenuación del enlace Quito-Ambato

Parámetro	
Distancia	160 Km
Atenuación del cable de fo	0,20 dB/Km
Atenuación de empalme por fusión	0,10 Db
Número de empalmes	31
Margen de seguridad	3 dB
Atenuación del enlace	39,1 dB

Para el enlace Ambato - Riobamba se consideran 2 conectores (uno en cada ODF del enlace), con pérdida de 0,5 dB en cada conector. El número de empalmes está en la tabla 18. La pérdida del cable de fibra óptica es 0,20 dB/Km y la pérdida máxima por empalme de fusión es 0,10 dB. El margen del sistema es 3 dB. Se aplican estos datos en la ecuación 2.

$$A(dB) = 2 * 0,5 + 13 * 0,10 + 70 * 0,20 + 3$$

$$A(dB) = 1 + 1,3 + 14 + 3$$

$$A(dB) = 19,3dB$$

En la tabla 22 se indica en resumen del cálculo de atenuación del enlace Quito-Ambato.

Tabla 22*Atenuación del enlace Ambato - Riobamba.*

Parámetro	
Distancia	70 Km
Atenuación del cable de fo	0,20 dB/Km
Atenuación de empalme por fusión	0,10 dB
Número de empalmes	13
Margen de seguridad	3 dB
Atenuación del enlace	19,3 dB

Los resultados de las tablas 21 y 22, muestran la máxima atenuación de los respectivos enlaces. Estos datos teóricos se comparados con los resultados obtenidos mediante mediciones ópticas con el equipo adecuado en el siguiente apartado.

3.2.2. Análisis y Selección de Materiales requeridos para el enlace.

Los materiales para construir el enlace de fibra óptica constituyen la parte principal para la duración y correcto funcionamiento del enlace. Por lo que se deberá seleccionar los materiales más adecuados (calidad y precio). A continuación, se realizará un análisis de características de materiales y se realizará la selección del mejor de acuerdo a criterios técnicos y de disponibilidad en el mercado nacional. Los materiales requeridos para la construcción del enlace son:

- Cable de fibra óptica
- Herrajes para el tendido aéreo de cable de fibra óptica
- Mangas de Empalme
- Distribuidor de Fibra óptica (ODF) y Racks.

3.2.2.1. Análisis del Cable de fibra óptica a instalar.

La teoría de la fibra óptica se describió en el primer capítulo de este trabajo de titulación. En esta sección se realizará un análisis de los tipos de cable de fibra óptica para instalación aérea y en exteriores (outdoor), debido a que la infraestructura para construir este enlace serán postes instalados en la intemperie.

Los cables aéreos de fibra óptica contienen estructuras de acero o de Kevlar que protegen los hilos de fibra óptica. Existen tres opciones las cuales se detallan a continuación.

Cable OPWG (Optical Ground Wire)

Posee características de alta resistencia mecánica para el tendido aéreo, aunque depende de la distancia entre postes, las condiciones ambientales y el número de fibras que posee. Las fibras que transporta se encuentran protegidas dentro de un tubo de aluminio el cual reduce efectos de humedad y sobrecalentamiento, además tiene dos capas de alambres metálicos que rodean el área óptica, normalmente son contruidos con aleación de aluminio y alma de acero. Se ilustra mejor en la figura 40, éste acepta hasta 120 hilos de fibra óptica por cable. Es un tipo de cable que se utiliza en la construcción de líneas de transmisión y distribución de energía eléctrica.

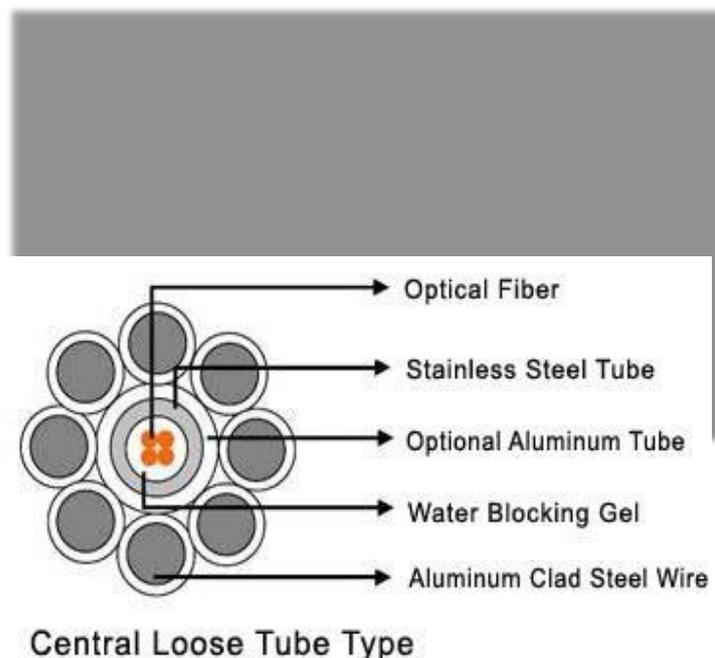


Figura 40 Cable OPWG

Fuente: (Caledonian Cables , 2010)

Cable ADSS (All Dielectric Self Supported)

Es un cable totalmente inmune a interferencias electromagnéticas y no es susceptible a la caída de rayos ya que no tiene alma metálica, se aplica a distancias medias largas, hasta vanos de 600 metros, comparado con el cable OPWG éste es mucho más económico. Tal como se muestra en la figura 41

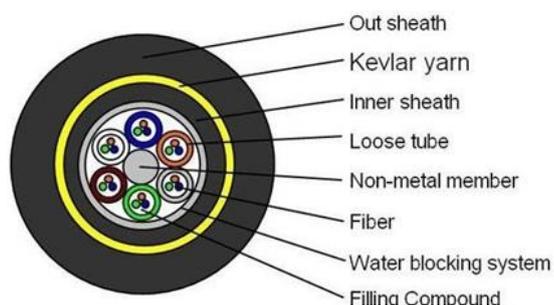


Figura 41 Cable ADSS
Fuente: (CCCME, 2018)

Está recubierto de polietileno que es uno de los polímeros más simples, éste ofrece flexibilidad a grandes vanos de distancia y sin ayuda de un mensajero o alma de acero, también absorbe las fuerzas de tensión que son provocadas al momento de la instalación.

Cable figura 8

Se trata de un cable que contiene un dieléctrico y un mensajero metálico unido por el plástico de PVC, ideal para instalaciones de tendido aéreo. Éste posee un revestimiento extra de polietileno que rodea al cable óptico dieléctrico y al elemento de ayuda externa, esto proporciona resistencia a la tracción producida durante la instalación, asimismo la sección transversal tiene la forma de ocho, como muestra la figura 42.

Un pequeño limitante es que solo puede ser instalado en líneas de distribución de bajos voltajes debido a su guía metálica.

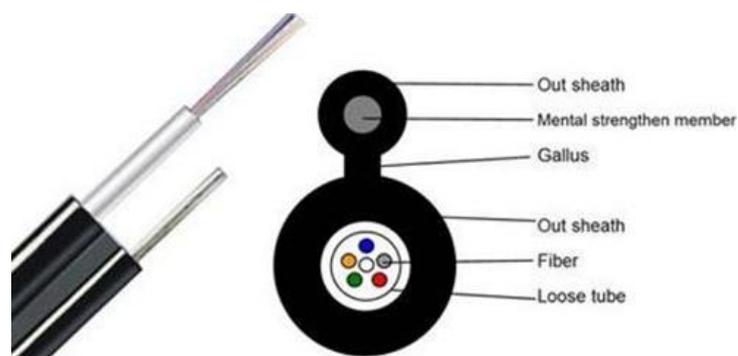


Figura 42 Cable figura 8

Fuente: (Shenzhen Hope Technology Holding, 2018)

A continuación, se realiza la tabla 23, comparativa entre los diferentes cables de fibra óptica para tendido aéreo para escoger la mejor opción en el diseño.

Tabla 23

Tabla comparativa de cables de fibra óptica para tendido aéreo

Característica	ADSS	FIG 8	OPWG
Confiabledad	Alta	Alta	Alta
Inmunidad a caídas de rayos	Total	Total	Ninguna
Instalación	Simple	Simple	Simple
Mantenimiento	Fácil	Fácil	Complejo
Costo Cable	Bajo	Medio	Alto
Costo Instalación	Bajo	Bajo	Alto
Acceso a hilos de fo	Fácil	Fácil	Difícil

Revisando la tabla anterior se puede observar que la mejor opción es el cable ADSS, por lo tanto, se lo utilizará en el diseño propuesto.

El recorrido del cable se encuentra detallado en las tablas anteriormente mencionadas, ya que el cable va a ser soportado por la infraestructura de postes de la Empresa Eléctrica, la cual tiene el vano o distancia entre postes promedio de 40 metros, por lo que si se instalan 2 herrajes de suspensión (tipo B) seguidos en tramos rectos, la distancia máxima que debe soportar el cable son 120 m. Debido

a este requerimiento se considera un cable ADSS que soporte un vano (separación entre postes) de máximo 200 m para el enlace.

En resumen, el cable que se utilizará en el enlace es CABLE ADSS de 24 hilos para vano de 200 m.

3.2.2.2. Análisis de Mangas de empalme.

Las mangas o cajas de empalme se utilizarán para unir el cable de la bobina que termina con el cable de la bobina que empieza a través del enlace. Son dispositivos de plástico duro, resistente a temperaturas de -40°C a 65°C , resistente a la corrosión y resistente a los rayos UV, protegen los empalmes de fibra óptica de cualquier amenaza climática o medioambiental, y con su eficiente sistema de organización interna, permiten la correcta administración y acomodo de los hilos de fibra óptica.

Las características de la caja de empalme, dependen en gran medida del ambiente donde se encuentra la fibra óptica, ya sea en poste, en tendido aéreo o en interior. Para cubrir las diferentes necesidades de instalación, las cajas de empalme se fabrican en dos formatos, las especialmente diseñadas para una colocación horizontal y las llamadas "Tipo Domo" ideales para una instalación vertical, tal como se muestra en la figura 43



Figura 43 Manga de Empalme Tipo Domo
Fuente: (Optytech.com.ec, 2018)

Además de su formato de instalación, las cajas de empalme se dividen según su capacidad, es decir, el número de fibras que pueden alojar, esto a su vez, se determina según el número de bandejas de empalme que pueda contener la caja. La capacidad de las bandejas, depende del tipo de empalme que se aloje en ellas, es decir, si se tratan de empalmes mecánicos o por fusión; las bandejas para 12 fibras, por ejemplo, pueden albergar sólo 6 empalmes mecánicos, mientras que, si se tratan de empalmes por fusión, se pueden aprovechar los 12 espacios de la bandeja. Para el proyecto se utilizarán 2 bandejas de 12 espacios, para fusionar los 24 hilos del cable de fibra óptica que se instalará.



Figura 44 Bandeja de Empalme en Manga Tipo Domo
Fuente: (Optytech.com.ec, 2018)

Otro aspecto a tomar en cuenta, es el número de puertos (orificios de entrada y salida del cable), así como el número de bandejas que puede almacenar cada caja. Para el presente proyecto únicamente se utilizarán 2 puertos (uno para el cable que termina en el empalme y otro para el cable que empieza). La manga de empalme Tipo Domo ofrece un avanzado sistema de sellado mecánico, que garantiza la seguridad y el correcto desempeño de los empalmes alojados en su interior, debido a su eficiente mecanismo de cerrado hermético a base de un conjunto de palancas, tal como se muestra en la figura 45



Figura 45 Cierre de Manga Tipo Domo
Fuente: (Optytech.com.ec, 2018)

En resumen, se utilizarán mangas de empalme Tipo Domo de 24 hilos, con 4 bandejas de empalme, con 4 puertos de acceso y con cierre hermético mediante mecanismo mecánico. Las mangas quedarán colocadas en los postes respectivos con una reserva de 20 metros de cable, para realizar trabajos de empalme o mantenimiento futuros, tal como se muestra en la figura 46



Figura 46 Manga Tipo Domo en poste
Fuente: (Optytech.com.ec, 2018)

3.2.2.3. Análisis de Herrajes para tendido aéreo del cable

Los herrajes son elementos metálicos de acero inoxidable que se instalan mediante una cinta metálica inoxidable a los postes y además ayudan a la retención del cable en un tendido aéreo. Los herrajes representan una parte importante en planta externa, sobre todo en lo que a instalaciones aéreas se refiere, ya que en gran medida, depende de los herrajes que un cable funcione adecuadamente.



Figura 47 Herraje de retención o Tipo A
Fuente: (Jahentelecom, 2018)

Al tomar en cuenta las características del cable con el que se trabaja, se puede seleccionar el herraje más adecuado, que, junto con la correcta instalación, puede proporcionar una fijación de calidad y con la estabilidad necesaria para que la fibra óptica alcance su máxima capacidad y existan menos mantenimientos por caída del cable al suelo.



Figura 48 Herraje de suspensión o tipo B
Fuente: (Jahentelecom, 2018)

Dependiendo del tramo de tendido de fibra óptica, Se utilizan dos tipos, estos son: de suspensión o tipo B y retención o tipo A. Se utilizan herrajes de retención o tipo A (figura 47) cuando éste presenta curvas o cambio de nivel en el suelo. Estos herrajes sujetan al cable de fibra óptica mediante herrajes preformados que se instalan en los brazos de extensión de cada herraje, tal como se muestra en la figura 49.

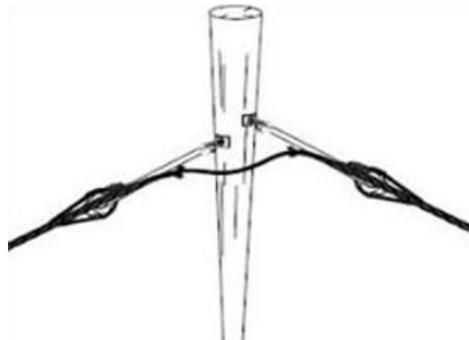


Figura 49 Instalación en Herraje tipo A mediante preformados.
Fuente: (Jahentelecom, 2018)

Los herrajes de suspensión o tipo B (figura 48) se instalarán únicamente cuando el tramo es recto y continuo, ya que este herraje no realiza ninguna fuerza para sostener al cable de fibra óptica, únicamente pasa a través del herraje. Debido a la característica de estos herrajes no se podrán instalar más de 2 herrajes tipo B consecutivos. En la figura 50 Se muestra la forma de instalación del herraje tipo B en la construcción del enlace.



Figura 50 Instalación en Herraje tipo B.

3.2.2.4. Distribuidor de Fibra óptica (ODF) y Racks en las centrales.

El distribuidor de fibra óptica (ODF, por sus siglas en Inglés, Optical Distribution Frame), es un dispositivo cuya función es proteger el extremo de la terminación por Fusión del Cable de fibra óptica y hacer de interfaz con los Patchcord del final, dentro de las centrales. Son los puntos terminales de los enlaces entre nodos de la red y permiten la interconexión entre rutas o con los elementos activos de la red de cada uno de los hilos del cable de fibra óptica. El requisito básico es que el ODF debe permitir un acceso sencillo a los conectores en los puertos frontales y traseros para la inserción y la quitación. Es generalmente usado como la interfaz entre la red de transmisión óptica externa y la red de transmisión óptica interna (equipos y organizadores internos), tal como se muestra en la figura 51

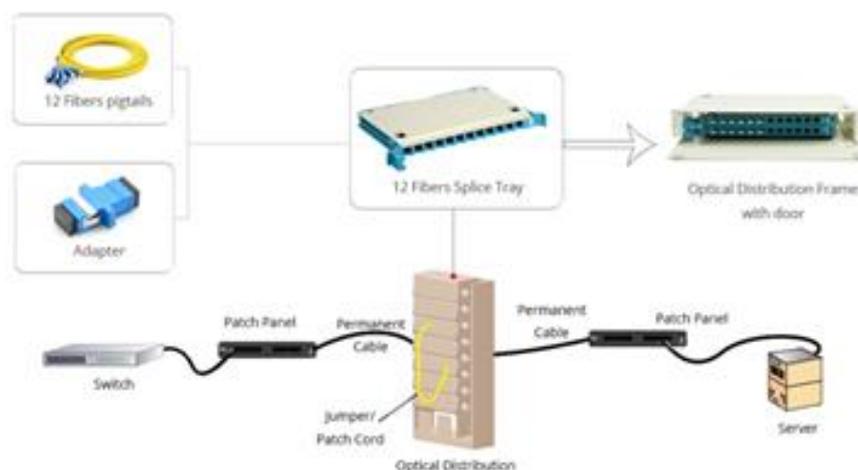


Figura 51 Distribuidor de fibra óptica (ODF)
Fuente: (Martinez, 2018)

Un rack es un estante metálico cuya finalidad principal es la de alojar equipamiento electrónico, informático y de comunicaciones donde las medidas para la anchura están normalizadas para que sean compatibles con el equipamiento de cualquier marca o fabricante. En la figura 52 se muestra un ejemplo de un rack con equipos electrónicos y ODFS.



Figura 52 Rack metálico de comunicaciones
Fuente: (Telepartes, 2018)

3.2.3. Equipos Activos.

Los nodos principales y Head End del enlace están compuestos por las siguientes tarjetas dentro del rack de transmisión/recepción:

C1Kx16:

- Tarjeta Cliente de 16 puertos de 100M-4.25G, cualquier servicio de acceso, incluido STM-1/GE(Datos),
- SFP modulo conectado.
- Ocupa 1 ranura del rack

C2Kx8:

En la figura 54, se describe el tráfico a través de las diferentes tarjetas en el rack de transmisión/ recepción. Las tarjetas L4LX1 serán conectadas con la fibra del enlace del estudio, para comunicación entre nodos. Las tarjetas C1Kx16 sirven para manejar el tráfico bidireccional de datos a través del enlace. Las tarjetas C2KX8 manejan el tráfico bidireccional de Internet de Banda Ancha a través del enlace (10 GE).

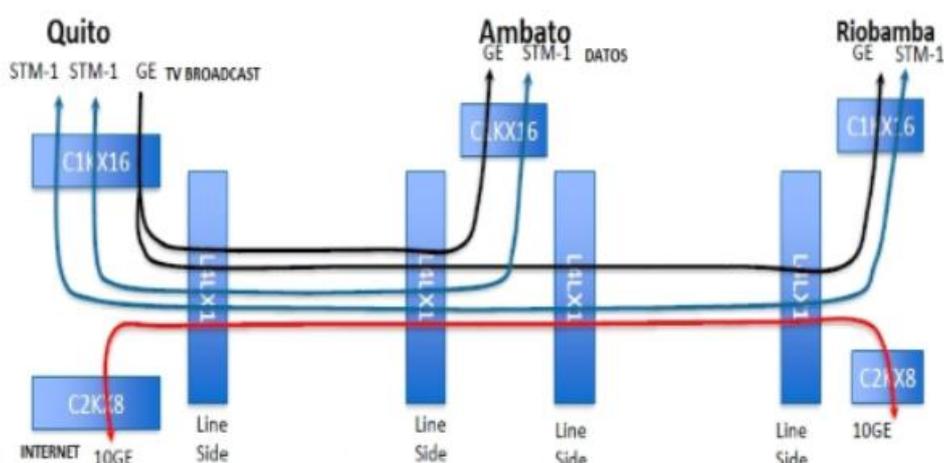


Figura 54 Esquema de tráfico transmisión/recepción

3.3. Implementación de la red.

3.3.1 Rutas del Cableado.

En los apartados anteriores se describe la infraestructura necesaria para el enlace de fibra óptica. Debido a la confidencialidad de la empresa únicamente se detallará lo necesario para el desarrollo del proyecto de titulación, por lo que algunas zonas del enlace se han cambiado. El enlace comenzará en el head End Quito, a través del Distrito Metropolitano, luego avanzará por el cantón Mejía, por la Provincia de Cotopaxi, Tungurahua y Chimborazo, llegando a la ciudad de Riobamba, y a la central Riobamba.

3.3.1.2 Ruta en el Distrito Metropolitano de Quito.

El enlace de fibra óptica empieza en Head end Quito, en la Calle Lorenzo Chávez hacia la calle Mariano Calvache, hasta llegar a la Calle José Bosmediano, siguiendo por ésta calle hasta la intersección con la calle S. Játiva, con la Ignacio Bossano y el Pasaje Panorama. Se llega a la Av. Gonzales Suarez, a continuación avanza por la calle Manuel Barreto hasta llegar a la Av. La Coruña. Luego toma la calle Alexander Von Humboldt hasta la calle San Ignacio. Llegando a la intersección con el pasaje J. Guerrero, se desvía por la Av. Rafael León, avanza hasta llegar a la Av. Ladrón de Guevara, a la altura del Parque Navarro, luego toma la Calle Iberia hasta la Calle Fray Vicente Solano, luego por la calle Gonzalo Gonzales y cruza el Río Machángara. Del otro lado toma la calle Gonzalo Escudero, hasta salir a la Autopista General Rumiñahui. Por la autopista avanza hasta el Km 8 hasta la Av. Lola Quintana, toma la calle Oriente hasta la José Joaquín Olmedo. Por ésta calle hasta la Vía Abdón Calderón (Antigua Vía a Amaguaña). Avanza por ésta vía hasta la Av. Huancavilcas, llegando a Amaguaña, hasta la Calle G. Suarez, toma ésta calle y llega a la Antigua Vía a Amaguaña, tomando esta vía por 10 km hasta llegar al intercambiador de Tambillo.

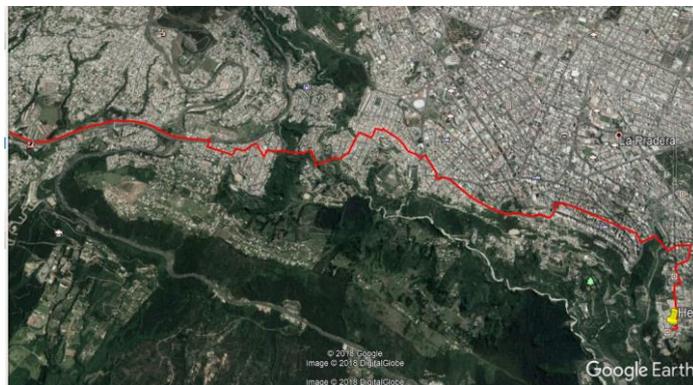


Figura 55 Ruta por el Distrito Metropolitano de Quito



Figura 56 Ruta por el Cantón Mejía

3.3.1.4 Ruta en la provincia de Cotopaxi.

El enlace de fibra óptica continúa en el sector de El Chaupi, por la Vía Aloasí – El Chaupi, durante 20 Km hasta el sector de Pastocalle, avanzando por la Panamericana Sur, hasta la vía Tanicuchi, por ésta vía alrededor de 12 Km hasta el sector de Guaytacama, en el intercambiador del mismo nombre. Vuelve a tomar la Panamericana Sur hasta el sector de la Brigada Patria, toma el camino a Aláquez hasta llegar a la av. Miguel Iturralde (en la entrada a Latacunga). En Latacunga toma la Av. Amazonas hasta la Av. 5 de Junio, hasta la Marco Subia por 2, 5 Km hasta llegar a la Vía Antigua a Salcedo. Avanza por la vía por alrededor de 10 KM, hasta llegar al Redondel del Arcangel en Salcedo. En Salcedo avanza por la García Moreno hasta la Av. Jaime Mata, por la cual se llega a sector de Panzaleo. Avanza por la Sixto Salazar hasta la intersección con el Camino Real (Paralela a la Panamericana Sur) por alrededor de 10 km hasta llegar al sector de Cunchibamba (Límite Provincial con Tungurahua).

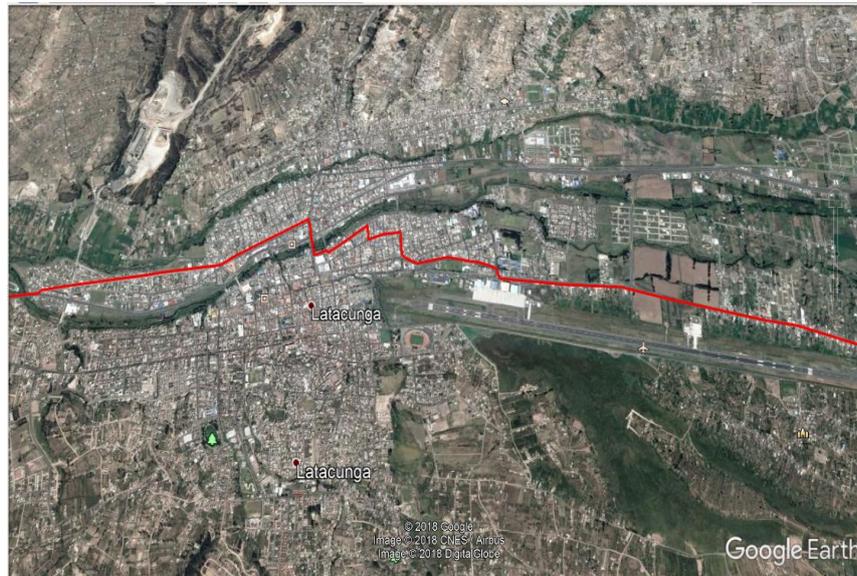


Figura 57 Ruta en la Provincia de Cotopaxi

3.3.1.5 Ruta en la provincia de Tungurahua.

Al salir del nodo Ambato, la instalación avanzará por la Av. Los Guaytambos cerca de 3,5 Km hasta la intersección con la Av. Miraflores, de ahí avanza por la Av. Manuelita Saénz 3,5 Km hasta la intersección con la Calle José Peralta, por la Calle Pérez Guerrero hasta la Gabriel García Mogrovejo, la cual llega a la Av. Atahualpa, por esta avenida hasta el intercambiador el Paso Lateral de Ambato, tal como se muestra en la figura 58

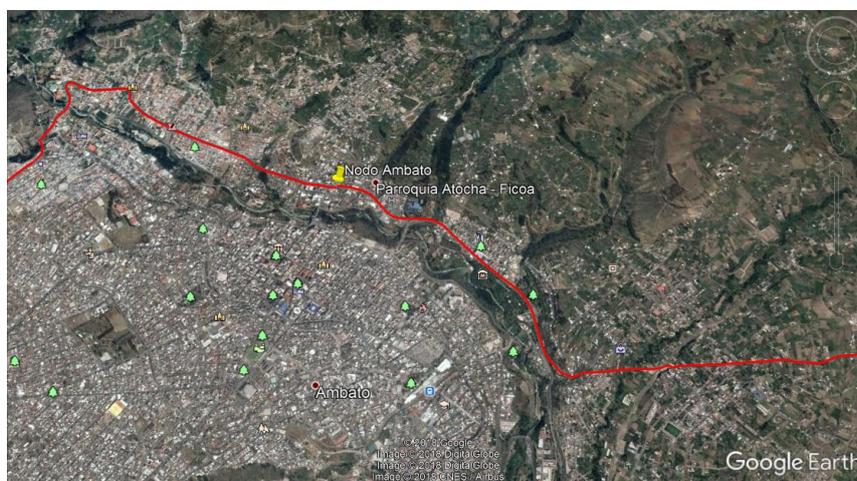


Figura 58 Ruta en la Provincia de Tungurahua

Desde el paso Lateral avanza 1,5 Km por la Panamericana Sur hasta el Desvío al Cantón Cevallos, sector Manzana de Oro, por esta vía 2 Km hasta llegar a Montalvo, siguiendo por la misma vía a Cevallos avanza 3 Km hasta el Cantón Cevallos. De ahí toma la carretera hacia Yahanurco por 5 Km hasta llegar a la Panamericana Sur nuevamente, por ésta vía avanza 1,2 Km hasta la Vía Antigua a Mocha por 2 Km hasta llegar al Cantón Mocha. Al salir de Mocha se toma el Camino Real por alrededor de 10 Km, llegando al límite interprovincial entre Mochapata (Tungurahua) y Urbina (Chimborazo), tal como se muestra en la figura 59

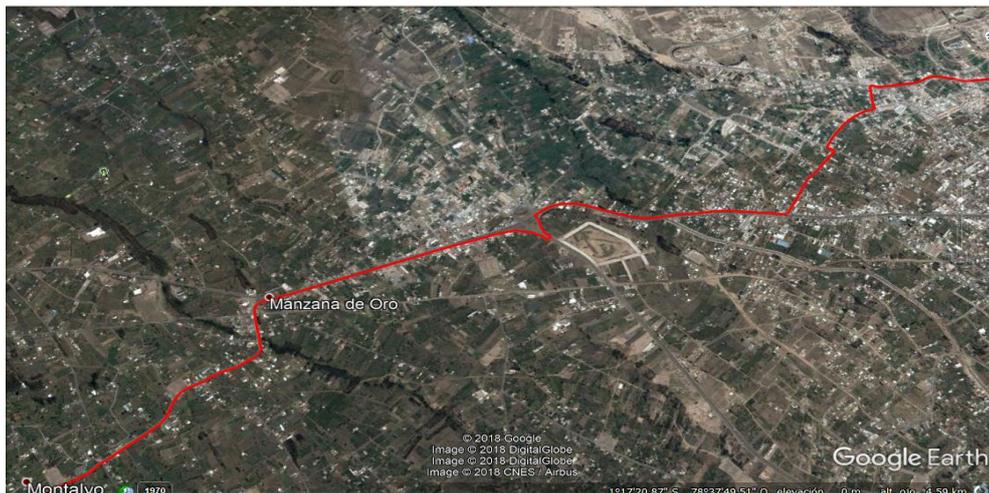


Figura 59 Ruta en la Provincia de Tungurahua.

3.3.1.6 Ruta en la provincia de Chimborazo.

Empezando en Urbina, a la altura de la estación del tren, avanza por la vía Camino Real durante 10 Km, hasta la comunidad 4 esquinas, de ahí por la vía a San Andrés otros 10 Km hasta llegar a la Av. Panamericana Sur a la altura de la Entrada a Riobamba, tal como se muestra en la figura 60

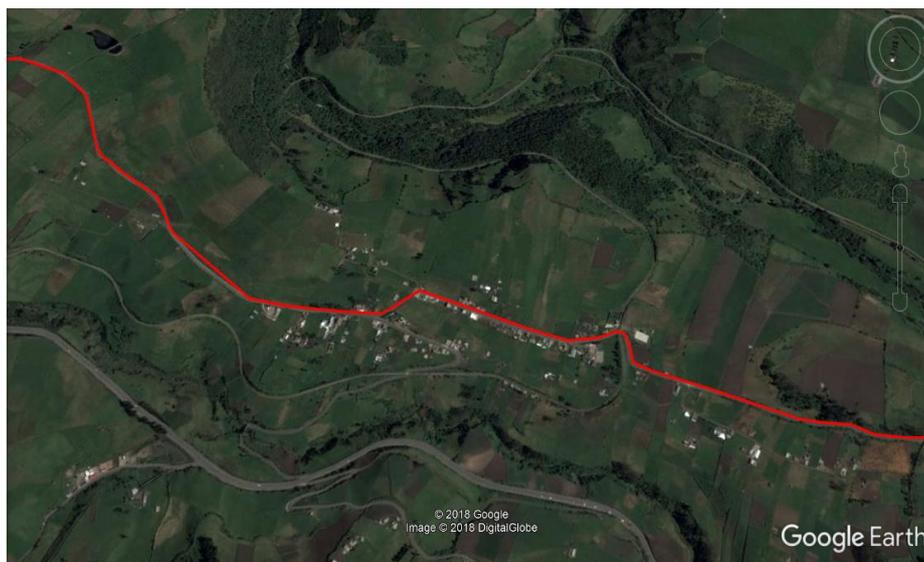


Figura 60 Ruta en la Provincia de Chimborazo

Por la Panamericana Sur (E35) avanza hacia Riobamba 3 Km hasta la Calle Río Tomebamba, luego por la Calle Río Daule hasta llegar a la Calle Río Quinindé. Luego toma la calle Río Bulubulo hasta la intersección con la Calle Leonidas Proaño, luego por la calle Demetrio Aguilera Malta hasta la intersección con la Av. 11 de Noviembre, por ésta vía hasta la calle Segundo Rosero, avanza hasta la intersección con la calle Miguel Arauz, donde queda el Nodo Riobamba.



Figura 61 Ruta en la Provincia de Chimborazo

3.3.2 Consideraciones preliminares para instalación de equipos pasivos.

Para empezar la construcción del enlace se deben realizar algunas consideraciones preliminares para el correcto proceso de construcción de dicho enlace:

- Realizar un replanteo previo: Es el proceso mediante el cual se verifica, en campo, la factibilidad de realizar el tendido del cable en una zona o ruta determinada. La instalación del cable, empalme y mediciones del cable requiere un estudio previo para valorar los riesgos existentes en dicha ruta, ya sea para la instalación del cable o para futuros mantenimientos.
- Luego de realizar el replanteo de la ruta del enlace se deben solicitar los respectivos permisos a las autoridades y entidades implicadas (gobiernos autónomos descentralizados, Ministerio de Obras Públicas, etc.). En tablas anteriores se detallan las entidades respectivas en cada sector del enlace. En ningún caso se iniciarán los trabajos sin disponer de la autorización correspondiente de las autoridades y entidades implicadas.
- El grupo de trabajo dispondrá de los equipos, herramientas y certificados de experiencia necesarios para la correcta ejecución de los trabajos, para un correcto desarrollo del proyecto.
- Todos los materiales suministrados también deberán cumplir las especificaciones técnicas descritas en apartado de diseño. Antes de la instalación, se deben realizar pruebas al cable de fibra para asegurarse de que los cables cumplen las especificaciones del proyecto (categoría, longitud y atenuación).

- Una vez finalizados los trabajos, se deberá entregar a los planos definitivos del enlace (“As Built”) completa, para usar esa información en futuros mantenimientos del enlace.

3.3.3 Instalación de equipos pasivos en las zonas.

Se denominan equipos pasivos todos aquellos que no necesiten de una fuente de energía eléctrica para su funcionamiento. En los siguientes apartados se describe el proceso de instalación de cable de fibra óptica en el enlace Quito- Ambato y Ambato – Riobamba.

3.3.3.1. Manejo y transporte de bobinas de cable de fibra óptica.

Primeramente, los cables de fibra óptica se entregan en carretes de 5 Km, los mismos que deben cargarse y descargarse usando una grúa, un camión con elevador especial o montacargas, tal como se muestra en la siguiente figura.

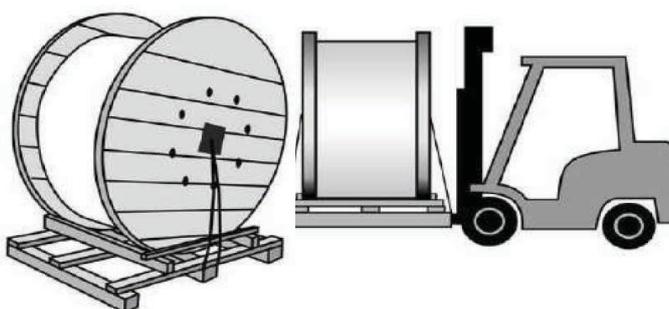


Figura 62 Descarga y movimiento de carretes
Fuente: (CommScope, 2017)

Los montacargas deben recoger el carrete con el lado plano del carrete mirando hacia el conductor, ya que caso contrario puede dañar el cable de fibra óptica con las cuchillas del montacargas. Además se debe mantener los carretes derechos sobre sus bordes rodantes y nunca sobre el borde plano ni apilar dos a más

carretes. Todos los carretes tienen impresa una flecha indicando la dirección en la que debe hacer rodar el carrete.

Para transportar el carrete de fibra hacia el sitio de instalación se utiliza un remolque o porta bobinas, el cual posee un sistema de poleas que facilita la carga del carrete de cable, y una vez asegurado está listo para el respectivo traslado.



Figura 63 Porta bobina para transporte de carretes.

3.3.3.2. Instalación de herrajes en postes.

Antes de realizar cualquier trabajo, las zonas donde se realicen los trabajos deben estar debidamente acotadas y señalizadas (conos de seguridad, señales de aviso y peligro), y el personal técnico debe vestir los Equipos de Protección Personal (EPP), que son: Casco industrial, Chaleco reflectivo y botas punta de acero, tal como se puede ver en la siguiente figura.



Figura 64 Personal con equipo de seguridad

Los herrajes se instalarán en los postes indicados en el plano respectivo tomando en cuenta los tipos especificados (tipo A o tipo B), y las respectivas medidas de seguridad en el trabajo. Por normativa un herraje debe ser instalado en un poste eléctrico con las siguientes distancias mínimas:

- 40 cm bajo la red de baja tensión.
- 60 cm bajo la red de alumbrado público.
- 32.5 cm bajo la red de media tensión.

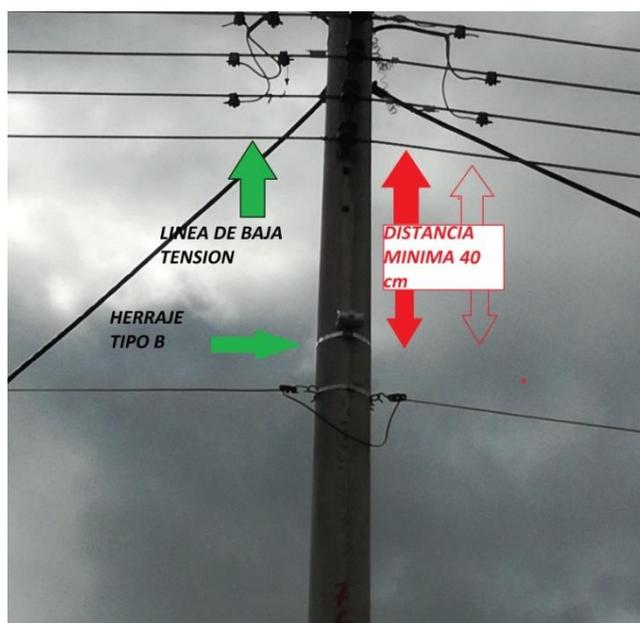


Figura 65 Herraje instalado en poste

3.3.3.3. Instalación del cable de fibra óptica.

Cuando los herrajes han sido instalados en toda la zona de trabajo, empieza el proceso de instalación del cable de fibra óptica. Para el tendido aéreo de cable existen dos métodos, pudiendo usar cualquiera de los métodos o una combinación de los mismos, dependiendo de la geografía y obstáculos existentes en la zona de trabajo.

3.3.3.3.1. Método de instalación con desplazamiento de carrete.

El método de desplazamiento es la manera más simple de instalar el cable de tipo ADSS (autosoportado). Se instala el cable al herraje en el primer poste del tendido de cable, dejando suficiente cable adicional para realizar el empalme (generalmente de 15 a 20 m). El cable deberá poder alcanzar el suelo, enrolle el cable, teniendo cuidado de no exceder el radio mínimo de curvatura y sujete el rollo al poste.

Asegure el cable al primer poste utilizado en el tendido y empiece a desenrollar el cable desde arriba del carrete y colóquelo manualmente en el herraje de cable. Coloque una polea por cada poste donde se vaya a instalar el cable de fibra óptica,

así se puede prever daños físicos, retorcimientos, etc.; de haber un cambio de trayectoria se debe utilizar poleas de 45° o 90° con el fin de evitar dobleces en las curvas y que el cable sufra el menor esfuerzo posible.

Levante el cable y colóquelo en las poleas previamente instaladas en los postes, las poleas deben estar en condiciones óptimas de rodamiento y tener las dimensiones adecuadas al espesor del cable que se ha de instalar para evitar fricciones en las mismas. Tal como muestra la figura 66



Figura 66 Método de instalación con desplazamiento de carrete
Fuente: (CommScope, 2017)

3.3.3.3.2. Método de instalación con carrete fijo.

El porta bobina debería colocarse en línea con el poste y a doble distancia de la guía de instalación al piso desde la guía. Esto impedirá que el cable roce el poste (o carrete) o que se acople a la guía.

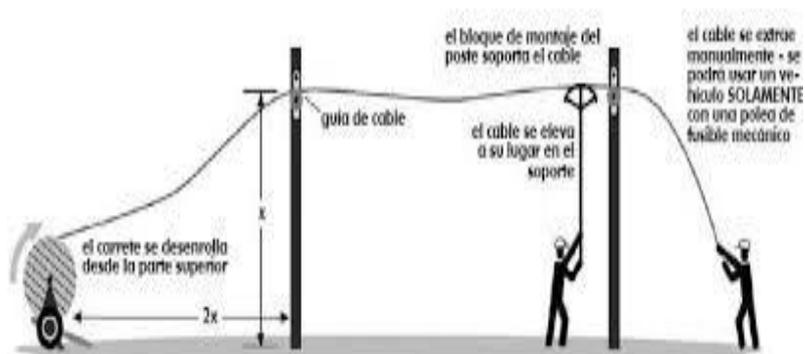


Figura 67 Método de instalación con carrete fijo.
Fuente: (CommScope, 2017)

El cable debería desenrollarse desde la parte superior del carrete del cable. Se deberán colocar conos protectores para proteger a los peatones. Tal como se muestra en la figura 67

Se levanta la fibra en los postes sujetándolo con las poleas, tal como en el método anterior, en este caso necesitamos tener especial cuidado en los cruces de vías para evitar que el cable sea arrollado por los vehículos que circulan y sufran daños las fibras.



Figura 68 Forma correcta de desenrollar el cable.

3.3.3.3.3. Instalación del cable a los herrajes.

La sujeción del cable ADSS a los herrajes se realizará mediante herrajes preformados que se colocan en el herraje A, se tensiona la fibra y se ajusta uno de los preformados, se deja un pedazo de cable como “seno”; luego se coloca el otro preformado asegurándose de que la fibra no quede aprisionada entre los preformados. Tal como muestra la figura 69.

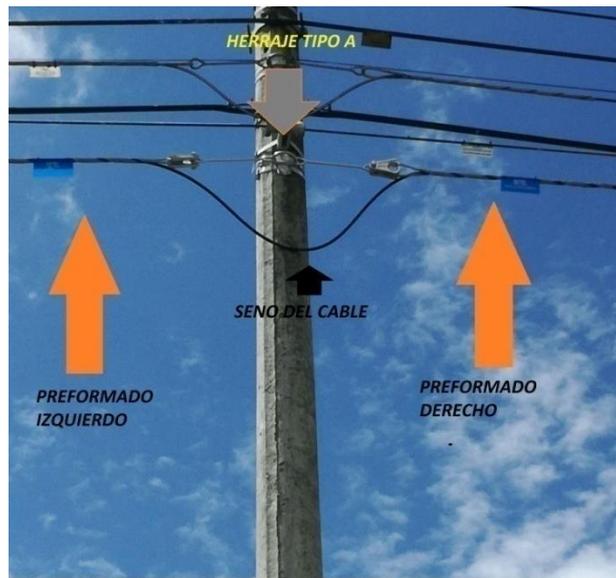


Figura 69 Instalación del cable ADSS en herraje A

En los herrajes tipo B, el cable de fibra únicamente debe pasar por el herraje, tal como se muestra en la figura 70 Una vez terminado, se empieza a sujetar el siguiente tramo.

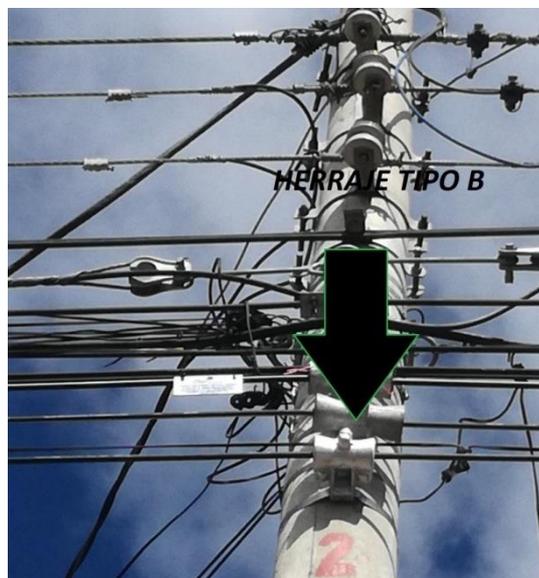


Figura 70 Instalación del cable ADSS en herraje B.

Cada cierta distancia (puede ser cada 300-500 m) se deja una reserva de cable (de 20 metros) para futuros mantenimientos o cortes que sufra el cable debido a cambios de postes, incendios, choques de autos en los postes, etc. Además en las

puntas final de las bobinas se deja una reserva de 20 m para la instalación de las mangas de empalme, éste proceso se repite hasta terminar el enlace.

3.3.3.3.4. Etiquetado del cable instalado.

Según normas municipales, los cables de fibra óptica instalados deberán identificarse perfectamente en cada una de los postes del tendido realizado. Para ello se utilizan etiquetas acrílicas que van sujetas al cable con dos amarras de plástico. La información de las etiquetas varía dependiendo de la empresa propietaria del enlace, generalmente lleva la siguiente información:

- Nombre del propietario del enlace, como se aprecia en la figura
- Tipo y número de fibras en el cable.
- Fabricante y modelo del cable de fibra óptica.
- Identificación del enlace: Nodos de origen y destino.
- Línea de Contacto en caso de emergencia.



Figura 71 Ejemplo de Etiqueta para Cable

3.3.4. Realización de empalmes en el enlace.

3.3.4.1 Empalme de fibras e Instalación de mangas de empalme.

El proceso de empalme de fibras permite la unión de dos cables o tramos de cable de Fibra Óptica, con el mínimo efecto de atenuación producida por la unión. Los empalmes de fibra pueden realizarse mediante varios métodos, para este enlace se utilizará el método de fusión por arco eléctrico, que consiste en el calentamiento local de los extremos de la fibra pre alineados hasta que se derriten y funden uno con otro. Este proceso se realiza mediante una maquina empalmadora automática o fusionadora. En la figura siguiente se muestra una maquina empalmadora.



Figura 72 Empalmadora y cortadora de fibra

Para empalmar cables de fibra óptica: se cortan los extremos de los cables a empalmar a la longitud adecuada en función de la situación del empalme óptico, reservando entre 10 m y 15 m en cada extremo de los cables. Posteriormente, se retira la chaqueta externa negra del cable en una longitud de 3 m y se realiza una trenza con las fibras de arámida que posteriormente se sujeta en la caja de empalme en el lugar apropiado para ello, tal como se muestra en la siguiente figura.



Figura 73 Preparación de la fibra óptica

Los tubos holgados (BUFFER) se pelan a una longitud de 1,5 m de modo que quede 1,5 m de fibras desnudas a cada lado del empalme. Este excedente se almacena en las bandejas de empalme.



Figura 74 Reserva de fibra óptica en bandeja de empalme

Preparados los cables, la ejecución de las fusiones conlleva los siguientes pasos:

Se limpian los hilos de fibra con alcohol, luego los extremos de las fibras a empalmar se han de cortar perpendicularmente, con la cortadora de fibra. Se coloca en la fusionadora por arco eléctrico, y se debe verificar que no exista pérdida mayor de 0,1 dB. Cada empalme va protegido con un manguito termorretráctil (tubillo) que contiene un elemento resistente de acero, el cual se aloja en el lugar apropiado dentro de la caja de empalme. La fibra sobrante queda almacenada en la bandeja realizando los bucles necesarios. En la siguiente figura se muestra:

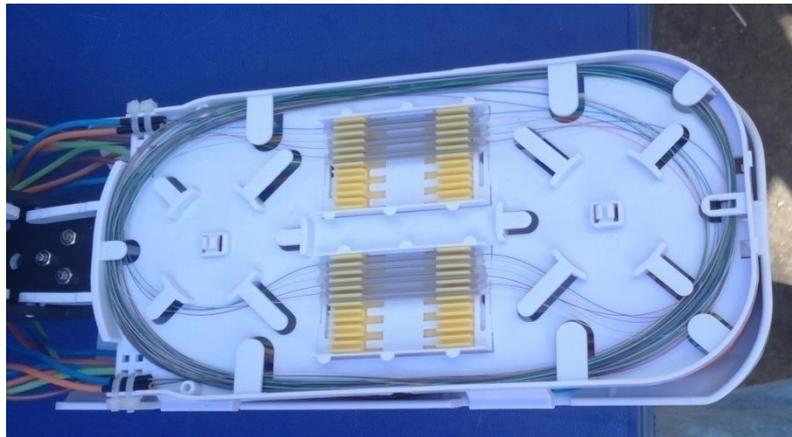


Figura 75 Hilos de fibra óptica fusionados en bandeja de empalme.

Las fibras a empalmar se distribuyen en las correspondientes bandejas del empalme óptico numerando, según código de colores correspondiente. Los tubos se cortan a la medida adecuada, y se sujetan a la bandeja colocando las fibras (ya con protección primaria únicamente) en la zona de almacenamiento de la bandeja. El procedimiento se repite con el total de las bandejas. Terminado el empalme de las 24 fibras en todas las bandejas, se cierra la manga de empalmes, y se sujeta correctamente en el poste respectivo.



Figura 76 Cierre de manga de empalme

Se consideró el método de empalme por fusión por arco eléctrico, ya que proporciona una alineación precisa de la fibra a través del uso de la alineación pasiva y la alineación activa. Entre las principales ventajas están: baja pérdida de potencia, baja o ninguna reflectancia y bajo costo de empalme.

3.3.4.2. Empalme de fibras en Distribuidor de fibra óptica (ODF).

El proceso de empalme de fibras en los distribuidores de fibra óptica (ODF) es muy similar al de las mangas de empalme. La única variación es que uno de los extremos son los pigtails que vienen en el ODF.



Figura 77 Bandeja de ODF con respectivos pigtails

Preparados los cables, la ejecución de las fusiones se llevan a cabo de manera similar al procedimiento de las mangas de empalme. La fibra sobrante queda almacenada en la bandeja realizando los bucles necesarios. En la siguiente figura se muestra la bandeja del ODF con las fusiones realizadas entre el cable del enlace y los pigtails del ODF.

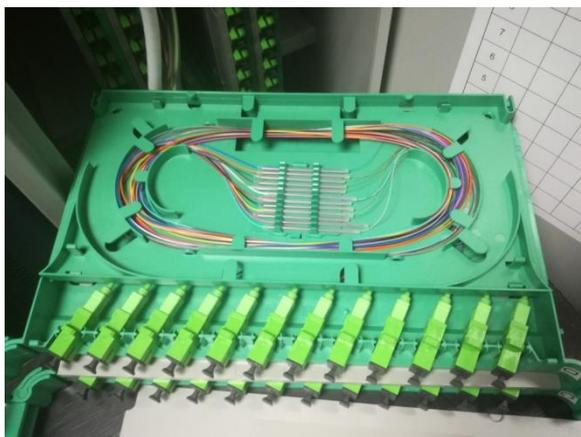


Figura 78 Hilos de fibra óptica fusionados en ODF.

Terminado el empalme de las 24 fibras en las 2 bandejas del ODF, se colocan dichas bandejas en el rack respectivo, tal como muestra la figura 79



Figura 79 Bandejas de empalme en ODF

3.4. Estado final de la red

Con los cables de los enlaces fusionados en los respectivos ODFs en cada uno de los Nodos, el siguiente paso es certificar la idoneidad de los enlaces, mediante la realización de mediciones con el equipo OTDR a cada uno de los hilos; el OTDR mostrará una gráfica en la pantalla donde se puede observar:

- El nivel de señal en función de la distancia.
- La longitud total del enlace.
- Las atenuaciones producidas en los empalmes.
- La atenuación total del enlace.

Estos resultados se comparan con los cálculos teóricos realizados previamente, si los valores medidos no son los adecuados en cada empalme (0,1 dB) o el valor de atenuación total del enlace supera los valores previamente calculados, se deben realizar las correcciones respectivas.

3.4.1 Obtención de atenuación de la señal en el enlace

El procedimiento para certificar una ruta o enlace es el siguiente: Luego de tener armadas las mangas de empalme y ODF's de la ruta se debe comenzar con las mediciones, se puede empezar por cualquiera de los nodos involucrados. Las pruebas se deben realizar para todos los hilos del ODF, para verificar que la ruta está completa y no falta ninguna manga por empalmar, es por eso que se debe realizar en ambos nodos (pruebas bidireccionales).

Primero, encendemos el OTDR y se ajustan los parámetros para realizar las mediciones, esto es:

- Longitud de Onda: 1550 nm

- Distancia: depende de la distancia total del enlace.
- Ancho del pulso: Selecciona el que permita mejor visualización.
- Tiempo de adquisición: El mínimo para agilizar el proceso (10 segundos).

Se realiza las mediciones de cada uno de los hilos, y se anota cada uno de los valores de atenuación y distancia que muestra el OTDR para cada hilo, poniendo especial atención en las atenuaciones mayores a 0,1 dB en los empalmes. En el caso de encontrar distancias incoherentes o atenuaciones fuera del rango permitido se deben reportar para proceder a su reparación. Una guía para la interpretación de las trazas se describe en el anexo A.



Figura 80 Realización de pruebas con OTDR.

3.4.2. Análisis de atenuaciones obtenidas en enlaces

Una vez realizadas las mediciones con OTDR, se toma como ejemplo la las medidas mostradas en la tabla 24, correspondiente a las pruebas bidireccionales del enlace Ambato- Riobamba.

Tabla 24
Ejemplo de tablas con valores de atenuación en enlace

NUMERO FIBRAS	E1			E2			E3			E4		
	4,908	65,392	PROM	8,997	61,303	PROM	14,159	56,141	PROM	19,192	51,108	PROM
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	-0,111	0,105	-0,003	0,000	0,000	0,000	0,118	0,000	0,059	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,082	0,041	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,076	0,038	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	0,123	0,000	0,062	0,000	0,000	0,000	0,000	0,082	0,041	0,000	0,000	0,000
7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,190	0,000	0,095	0,000	0,000	0,000	-0,117	0,155	0,020	0,000	0,076	0,038
10	-0,116	0,000	-0,058	0,000	0,000	0,000	0,137	-0,110	0,014	0,000	0,000	0,000
11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,064	0,032	0,000	0,145	0,073	0,000	0,109	0,055
12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,136	0,076	0,106	0,000	0,000	0,000
13	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14	0,190	0,000	0,095	0,000	0,000	0,000	0,000	0,223	0,112	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16	0,000	0,073	0,037	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
17	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,082	0,041	0,000	0,000	0,000
18	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
19	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
21	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,083	0,042	0,000	0,000	0,000
23	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
24	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PROMEDIOS	0,012	0,011	0,011	0,000	0,003	0,001	0,011	0,034	0,023	0,000	0,008	0,004

A continuación se realiza una breve explicación de dicha tabla: Muestra las atenuaciones por hilo en los 3 primeros empalmes desde Ambato a Riobamba (E1, E2 y E3) con la distancia aproximada obtenida del OTDR.

En la tabla 24 se puede notar algunos valores que se deben considerar: En el Hilo 2 del Empalme 1 existe un valor negativo (-0,111) y un valor positivo (0,105). El valor negativo se debe a reflectancia y el valor positivo es mayor que lo permitido por lo que se deberá volver a fusionar dicho hilo.

En los hilos 6,9 y 14 se observa que la medición realizada desde Ambato generó una atenuación mayor que la permitida, sin embargo; en la medición desde Riobamba, no existe atenuación alguna, por lo que el promedio (Prueba bidireccional) está en un valor aceptable, menor al valor máximo permitido.

En el hilo 2 del Empalme 3: se observa que la medición realizada desde Ambato generó una atenuación mayor que la permitida, sin embargo; en la medición desde Riobamba, no existe atenuación alguna, por lo que el promedio (Prueba bidireccional)

está en un valor aceptable, menor al valor máximo permitido. Algo similar ocurre en el hilo 11 del mismo empalme.

En los Hilos 9 y 10 del Empalme 3 existe un valor negativo y un valor positivo. Debido al promedio de estos valores la prueba bidireccional de estos hilos es aceptable.

En los Hilos 12 y 14 del Empalme 3 existe un valor negativo promedio de atenuación mayor que lo permitido; por lo que se deberán volver a fusionar dichos hilos.

Una vez realizadas todas las reparaciones requeridas por fiscalización a las mangas de empalme del enlace, se volvieron a realizar pruebas bidireccionales del enlace, obteniendo los resultados mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 25

Tabla final de atenuación luego de reparación.

NUMERO	E1			E2			E3			E4		
FIBRAS	5.170	65.263	PROM	10.000	60.108	PROM	15.267	55.254	PROM	20.000	50.058	PROM
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	-0,132	0,000	-0,066	0,000	0,000	0,000	0,156	0,000	0,075	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6	0,123	0,000	0,062	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
9	0,182	0,000	0,096	0,000	0,000	0,000	-0,118	0,158	0,021	0,000	0,000	0,000
10	-0,110	0,119	0,005	0,000	0,000	0,000	0,135	-0,114	0,011	0,000	0,000	0,000
11	0,135	0,000	0,066	0,000	0,000	0,000	0,000	0,128	0,062	0,000	0,000	0,000
12	-0,109	0,119	0,005	0,000	0,000	0,000	0,168	0,000	0,083	0,000	0,000	0,000
13	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14	0,143	0,000	0,072	0,000	0,000	0,000	0,000	0,129	0,065	0,000	0,000	0,000
15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
17	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
18	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
19	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
20	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
21	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
23	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
24	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
PROMEDIOS	0,010	0,010	0,010	0,000	0,000	0,000	0,014	0,012	0,013	0,000	0,000	0,000

En la tabla 25 se puede notar algunos valores que se deben considerar: En el Hilo 2 del Empalme 1 existe un valor negativo (-0,132) y el promedio (Prueba bidireccional)

está en un valor aceptable (-0,066), menor al valor máximo permitido. Este hilo es aceptado por fiscalización.

En los hilos 6,9 y 14 se observa que la medición realizada desde Ambato generó una atenuación mayor que la permitida, sin embargo; en la medición desde Riobamba, no existe atenuación alguna, por lo que el promedio (Prueba bidireccional) está en un valor aceptable, menor al valor máximo permitido. Los hilos son aceptados por fiscalización.

En el hilo 2 del Empalme 3: se observa una atenuación mayor que la permitida, sin embargo; el promedio (Prueba bidireccional) está en un valor aceptable, menor al valor máximo permitido. Por lo que fiscalización acepta el hilo. Algo similar ocurre en los hilos 9,10 y 11 del mismo empalme.

El Hilo 12 se volvió a fusionar y se obtuvo un valor de 0,083 dB, por lo que el hilo es aceptado por fiscalización. Algo similar ocurre con el hilo 14 del Empalme 3.

3.4.3. Análisis de atenuaciones finales obtenidas en enlaces.

En la siguiente tabla se muestran las atenuaciones totales de los enlaces del estudio, tanto el valor teórico calculado anteriormente y el valor obtenido con el equipo OTDR luego de las reparaciones realizadas en los empalmes. Se pueden observar que todos los hilos tienen una atenuación menor al valor calculado por lo que el enlace está aceptado por fiscalización.

Tabla 26*Atenuación total del enlace*

Hilo	UIO-AMB		AMB- RIO	
	Practico	Teórico	Practico	Teórico
1	33,560	39,1	13,276	19,3
2	33,091	39,1	13,523	19,3
3	33,428	39,1	13,436	19,3
4	32,929	39,1	13,225	19,3
5	35,946	39,1	13,418	19,3
6	33,999	39,1	13,463	19,3
7	36,376	39,1	13,613	19,3
8	34,939	39,1	13,595	19,3
9	33,674	39,1	13,404	19,3
10	32,943	39,1	13,192	19,3
11	33,143	39,1	13,403	19,3
12	34,175	39,1	13,373	19,3
13	34,283	39,1	13,645	19,3
14	33,222	39,1	13,594	19,3
15	33,414	39,1	13,600	19,3
16	33,132	39,1	13,357	19,3
17	33,047	39,1	13,708	19,3
18	33,000	39,1	13,675	19,3
19	33,543	39,1	13,252	19,3
20	33,412	39,1	13,544	19,3
21	33,388	39,1	13,781	19,3
22	33,398	39,1	13,401	19,3
23	33,860	39,1	13,338	19,3
24	32,873	39,1	13,691	19,3

3.5 Presupuesto del proyecto

El presupuesto que se presenta en un proyecto es una de las partes más importantes del mismo, puesto que representa la inversión que se va a generar y de acuerdo a esto se analiza la posibilidad de la implementación inmediata o aplazarla para cuando exista un mayor flujo en la empresa.

La propuesta presentada es la siguiente, la misma que fue aprobada y ejecutada; es importante indicar que los valores que se indicarán no incluyen IVA y solo se presentan valores unitarios.

3.5.1. Costos de materiales, equipos e instalación

El análisis de costos de este apartado se lo presenta en forma global, es decir qué en el valor propuesto, se incluye: el costo del material más el costo de la instalación. Todos los valores que se indicaran son para cada unidad o metros lineales instalados, diariamente se cuantificará el total de material usado para la instalación y en la fecha de corte acordada se realizará la suma total.

Tabla 27

Costos instalación materiales y equipo

Ítem	Descripción	Unidad	Valor Unitario
1	Instalación fibra óptica ADSS 24 hilos	metro lineal	\$ 4,90
2	Herraje de retención terminal brazo	U	\$ 150,00
3	Herraje de paso (corneta 180)	U	\$ 40,00
4	Guardacabo	U	\$ 60,00
5	Herraje de sujeción preformado de 100 cm spam 180 m para F.O.	U	\$ 45,00
6	Herraje para cruce americano o grillete de carga	U	\$ 18,00
7	Herraje para cruce americano grillete de 3/8	U	\$ 25,00
8	Herraje para cruce americano brazo extensión de doble ojo	U	\$ 65,00
9	Herraje para cruce americano cable tensor de acero de ¼	metro lineal	\$ 19,00
10	Brazos farol de retención 0,6 m	U	\$ 89,00
11	Brazos farol de retención 1 m	U	\$ 100,00
12	Cinta Eriband, rollo de 30 m	U	\$ 85,00
13	Hebillas 3/4 o grapas Eriband	U	\$ 28,00
14	Kit de retenida a tierra de poste de 3T (incluye herraje, torta, anclaje, varilla de anclaje, cable 7 hilo, etc.)	U	\$ 380,00
15	Kit de retenida tipo farol de poste de 3T (incluye herraje, torta, anclaje, varilla de anclaje, cable 7 hilo, etc.)	U	\$ 600,00
16	Subida a postes o adosado a puentes (tubo roscado 2 pulg)	metro lineal	\$ 55,00
			Continúa

17	Subida a postes o adosado a puentes (uniones EMT 2 pulg)	U	\$	18,00
18	Kit de subida a poste (incluye: tubería galvanizada 3 *6m, abrazaderas, codo de 3"EMT reversible	U	\$	350,00
19	Tubo PVC 4 Pulg (6m)	U	\$	75,00
20	Empalmes	U	\$	28,00
21	Mangas tipo domo para empalmes directos F.O. 24-48 hilos	U	\$	480,00
22	Porta reservas	U	\$	120,00
23	Manguera funda sellada BX 3/4"	metro lineal	\$	8,00
24	Manguera conectores para manguera BX 3/4"	U	\$	4,00
25	Placas de identificación	U	\$	6,00
26	Amarras o correas plásticas	U	\$	1,20
27	Cinta de advertencia con identificación de fibra óptica	U	\$	45,00
28	Optical Distribución Frame V2	U	\$	600,00
29	Amortiguadores	U	\$	45,00
30	Racks	U	\$	2.400,00
31	Equipo OTN (ZXONE 9700 40X100G)	U	\$	15.000,00

3.5.2. Costos fiscalización

La fiscalización de la obra a implementar, asegura que los trabajos sean realizados de forma correcta y que se cumplan con los estándares solicitados por la Empresa; es por esto que el rubro de fiscalización es determinante en la etapa de instalación ya que procura que los procesos se cumplan y en el caso de presentar problemas se gestiona sobre la marcha ahorrando así tiempo de instalación, materiales y mano de obra.

La propuesta que se presenta para los trabajos de fiscalización, se indica en la tabla a continuación y está realizada en base a los requerimientos que la empresa solicita. Los mismos pueden ser solicitados bajo demanda, adicional la empresa solicita que

los trabajos se realicen en dos frentes, es decir trabajar paralelamente desde cada extremo de la ruta, por lo que se requiere más de un fiscalizador para la ruta.

Tabla 28
Costos fiscalización

Actividad	Descripción	Tipo	Valor
Fiscalización y tendido de fibra óptica	Verificar que se realicen los trabajos bajo las normativas solicitadas.	MENSUAL (Se trabajará en jornada mensual con los supervisores que la empresa solicite)	\$ 25.040,00
Verificación de Materiales	Inspección y pruebas previas de los materiales que se instalarán y usarán en la implementación	HITO (Duración máxima de la actividad 3 días)	\$ 4.672,00
Verificación de Permisos	Verificar que se cuenta con los permisos correspondientes para instalar, evitando así posibles multas.	HITO (Duración máxima de la actividad 3 días)	\$ 4.672,00
Pruebas Ópticas	Verificación y análisis de resultados de las pruebas preliminares y finales que se realicen.	HITO (Duración máxima de la actividad 3 días)	\$ 4.672,00

3.5.3. Costos de alquiler de infraestructura

Para la instalación se arrendará los postes existentes de las diferentes operadoras, el valor mensual a pagar se detalla a continuación; es importante indicar que los valores de alquileres varían de una operado a otra, por lo que se optó por realizar un promedio y ajustar un valor aproximado.

Tabla 29
Costos alquiler infraestructura

Enlace	Numero De Postes	Valor Unitario	Total Mensual
Quito- Ambato	3280	\$ 0,20	\$ 656,00
Ambato- Riobamba	1304	\$ 0,20	\$ 260,80

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- La integración de OTN-DWDM garantiza un aumento de ancho de banda, lo que permitirá mejorar los servicios que la empresa ofrece, así como también proveer servicios en ciudades en las cuales no estaba presente.
- El diseño propuesto en este proyecto cumple con los requerimientos para la construcción del enlace Quito- Riobamba, tanto en aspectos técnicos (atenuaciones y tendido aéreo) como de normas de construcción de planta externas (normas de empresas eléctricas, municipios locales).
- El tendido aéreo fue la técnica usada para construir este enlace, ya que es la forma más sencilla y menos costosa de implementar, respecto al tendido canalizado; pues la infraestructura existente cubre completamente la ruta del enlace y el arriendo de dicha infraestructura es mucho menor a construir una nueva. Además, permite la fácil revisión y detección de roturas en el cable de fibra óptica, sin embargo; también es muy propensa a percances como: robos, vandalismo o sabotaje ocasionando daños al cable, otro problema que se presenta es la saturación de los postes con cables de diferentes operadores de telecomunicaciones, sobre todo en las ciudades principales, ya que existen cables de fibra, coaxiales, telefónicos, etc.
- La saturación de los cables en los postes retrasa la velocidad de instalación del cable en zonas urbanas, ya que en zonas no urbanas se instala alrededor

de 4 a 5 Km diarios; dentro de zonas urbanas se instalará alrededor de 1,2 a 1,5 Km diarios.

- El continuo y correcto mantenimiento de la red, permite la intervención oportuna en caso de encontrar eventos importantes que se deban corregir; con esto se optimizan los tiempos de reparación y de disponibilidad de la red.
- El presente proyecto está dirigido principalmente a la implementación física de la red, esto comprende la instalación de planta externa y las pruebas finales que se realizan en planta interna, sin embargo; el estudio de planta interna corresponde a la integración de la red de acceso de la empresa, la cual aún no se ha diseñado.
- La implementación de la red OTN-DWDN se integra con la red MPLS, en esta última se implementará un perfil de transporte, es decir MPLS TP; una vez se diseñe e implemente la red de acceso de la empresa.

4.2. Recomendaciones

- El equipo OTN que se implementa debe ser seleccionado, estudiando el alcance de la red actual y el eventual crecimiento de la misma, la correcta selección de un equipo integrador de red evita realizar una nueva inversión cuando la red está en creciente.
- Es recomendable que previo a la instalación de la fibra óptica, se realice un replanteo de la ruta, para identificar posibles cambios en el trayecto o sitios en los cuales se puedan presentar problemas, con el objetivo de solucionar antes de dar inicio a la construcción de la ruta.

- A menos con tres meses antes de iniciar el proceso de implementación del enlace, se recomienda la gestión y obtención de los permisos y contratos de arrendamiento, como son: municipios, empresas eléctricas y otros operadores de telecomunicaciones; para que no existan mayores retrasos e interrupciones en el proceso de construcción del enlace.
- Para un correcto funcionamiento del enlace se recomienda un grupo de mantenimiento del enlace, los mantenimientos pueden ser preventivos y correctivos, dependiendo de la situación.
- Se recomienda arrendar o proveer servicios corporativos a través de los 22 hilos restantes del cable de fibra óptica en las localidades que recorre el enlace, lo que aumentaría la rentabilidad del proyecto y se recupere la inversión de una manera más rápida.
- La red de transporte está instalada en su totalidad, sin embargo, aún no se planifica la implementación de la red de acceso; se recomienda integrar la segunda fase dentro de los próximos 3 meses, para así recuperar la inversión realizada en un menor tiempo y aprovechar los recursos de la red.

Referencias Bibliográficas

- Antenas Game. (2016). *En qué consiste realmente la Fibra Óptica*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de gametelecomunicaciones.com: <http://gametelecomunicaciones.com/en-que-consiste-realmente-la-fibra-optica/>
- Bones Industry. (2018). *sz-2500 (POF)*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de <http://www.ledlightingfiberoptic.com/en/product/3strands-side-emitting-sparkle-PMMA-fiber-optic-lighting-cable.html>
- Cableado-estructurado.com. (2018). *Datwyler Fibra Optica Cableado Estructurado en Puebla Tlaxcala*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de http://www.cableado-estructurado.com/tpr_stylo/Default.aspx?
- Caledonian Cables . (2010). *Central Loose Tube Type*. Obtenido de <http://www.caledonian-cables.co.uk/Fiber%20Cable/New%20F>
- CCCME. (2018). *ADSS Cable*. Obtenido de <http://www.cccme.org.cn/products/detail-8111097.aspx>
- Chavarria Vera, G. (2010). *Tecnología DWDM*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de Redes Punto a Punto: <https://es.slideshare.net/gersonchavarriavera>
- Coimba, E. (2011). *Transmision de datos por fibra óptica*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de <https://es.slideshare.net/edisoncoimbra/82-transmision-de-datos-por-fibra-ptica>
- CommScope. (2017). *Descarga y movimiento de carretes fibra optica*. Obtenido de CommScope.com
- Comunicacion Multimedia fesajosuecg. (2015). *Fibras ópticas*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de Comunicación Multimedia: <https://comunicacionmultimediafesajosuecg.wordpress.com/2015/08/29/fibras-opticas/>
- Elfa Distrelec Norway. (2018). *E3XNA44V Fibre Optic Amplifier, Analogue PNP Omron Industrial Automation*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de Elfadistrelec: <https://www.elfadistrelec.no/en/fibre-optic-amplifier-analogue-pnp-omron-industrial-automation-e3x-na44v/p/13762729>
- Eurocabos.es. (2018). *Divisor Óptico (SPLITTER)*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de <https://www.eurocabos.es/producto/97/divisor-optico-splitter>
- Fiber Sensor Best Selection Catalog*. (2014). Recuperado el 31 de octubre de 2018, de <http://lafibraoptica Peru.com/conceptos-basicos/Fibra-%C3%B3ptica-monomodo>
- Fibraopticahoy.com. (2013). *Caja de empalme*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de Envoltentes Archives: <https://www.fibraopticahoy.com/category/env>
- Fibraopticahoy.com. (2015). *Repetidor de fibra a fibra*. Recuperado el 2018 de octubre de 31, de Fibraopticahoy.com: <https://www.fibraopticahoy.com/repetidor-de-fibra-a-fibra/>
- IndiaMART.com. (2018). *Fiber Optic Attenuator*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de LC Attenuator Manufacturer from Delhi: <https://www.indiamart.com/circuitfoundry/fiber-optic-attenuator.html>
- Jahentelecom. (2018). *Herraje de retención o Tipo A*. Obtenido de <https://jahentelecom.com/index.php/component/content/article/11-demo-articles/20-top-features>
- Lanstore.es. (2018). *¿Cuál es la diferencia entre la fibra Monomodo y la Multimodo?* Recuperado el 31 de octubre de 2018, de <https://www.lanstore.es/es/informacion-tecnica/cual-es-la-diferencia-entre-la-fibra-monomodo-y-la-n-31>
- Legrand. (2015). *Fibra Óptica.Máxima eficiencia en transmisión de la información y la seguridad en la red de datos*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de https://www.legrand.cl/articulos_tecnicos/articulo_fibra_optica.pdf

- Littlewood, P., Masoud, F., & Follis, E. (2015). Guía sobre redes de transporte óptico para expertos: Redes de transporte óptico. *Ciena Expert Series*. Recuperado el 31 de octubre de 2018
- Martinez. (2018). *Distribuidor de Fibra Óptica (ODF) en Rack de 19" ODF* . Obtenido de Conectores-Redes-Fibra óptica-FTTh-Ethernet. : <https://www.conelectronica.com/fibra-optica/cajas-de-distribucion/distribuidor-de-fibra-optica-odf-en-rack-de-19-odf>
- Molina , C. E. (s.f.). *La Fibra Óptica*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de redtauros.com: http://www.redtauros.com/Clases/Medios_Transmision/07_La_Fibra_Optica.pdf
- Networkworld. (2012). *La CMT quiere desregular el enlace submarino con Canarias de Telefónica*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de <https://www.networkworld.es/actualidad/la-cmt-quiere-desregular-el-enlace-submarino-con-canarias-de-telefonica>
- Optytech.com.ec. (2018). *Manga de empalme de Fibra Óptica tipo domo con sellos mecánicos* . Obtenido de <https://www.optytech.com.ec/fibra-optica/manga-de-empalme-de-fibra-optica-tipo-domo-con-sellos-mecanicos-modelo-gjs03-m8ax-jx-144d.html>
- Shenzhen Hope Technology Holding. (2018). *ADSS Cable can be live working?* Obtenido de <http://www.opgwfitting.com/faq/ADSS-live-working.html>
- Telepartes. (2018). *Racks*. Obtenido de <http://www.com.pe/productos/c/racks>
- The Fiber Optic Association. (2018). *Presupuesto de potencia y de pérdida óptica*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de <http://www.thefoa.org/ESP-Design/Ch9.htm>
- Thefoa.org. (2018). *Sistemas de transmisión por fibra óptica y sus componentes*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de FOA Reference Guide To Fiber Optics: <http://www.thefoa.org/ESP/Sistemas.htm>
- Todd cable. (2018). *Porta bobina para transporte de carretes*. Obtenido de Catálogo de fabricantes de Carrete De Cable Remolques de alta calidad: <http://www.todd cable.net/index.cfm?section=equipment&page=reel-and-cable-trailer>
- TRANSELECTRIC. (2015). *Departamento de Administración y Gestión Red*.
- UDEC. (2018). *Tipos de Fibra Óptica* . Recuperado el 31 de octubre de 2018, de [Www2.udec.cl: http://www2.udec.cl/~jdupre/fibra/tipos.html](http://www2.udec.cl/~jdupre/fibra/tipos.html)
- Universidad Técnica de Oruro. (2015). *Conectores y empalme de fibra óptica*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de Recursos para docentes Facultad Nacional de Ingeniería Eléctrica - Electrónica.: <http://docentes.uto.edu.bo/schoquechambim/wp-content/uploads/lab2-emp.pdf>
- VIU. (2018). *Diferencias entre señal analógica y digital*. Recuperado el 2018 de agosto de 31, de [Universidadviu.com: http://gametelecomunicaciones.com/en-que-consiste-realmente-la-fibra-optica/](http://gametelecomunicaciones.com/en-que-consiste-realmente-la-fibra-optica/)
- Zuaznabar Mazorra, V. (2018). *Evolución de la Fibra Óptica en el Futuro*. Recuperado el 31 de octubre de 2018, de [Monografias: https://www.monografias.com/trabajos76/evolucion-fibra-optica-futuro/evolucion-fibra-optica-futuro.shtml](https://www.monografias.com/trabajos76/evolucion-fibra-optica-futuro/evolucion-fibra-optica-futuro.shtml)