



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DISEÑO DE UNA RED TRONCAL DE FIBRA ÓPTICA MULTIPLEXADA CON
TECNOLOGÍA DWDM PARA INTERCONECTAR LAS CIUDADES DE QUITO
Y TULCÁN

Autora

Jéssica Paola Caicedo Esparza

Año
2018



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DISEÑO DE UNA RED TRONCAL DE FIBRA ÓPTICA MULTIPLEXADA CON
TECNOLOGÍA DWDM PARA INTERCONECTAR LAS CIUDADES DE QUITO
Y TULCÁN

Trabajo de Titulación presentado en conformidad a los requisitos establecidos
para optar por el título de Ingeniera en Electrónica y Redes de Información.

Profesor Guía

Mg. Pablo Geovanny Palacios Játiva

Autora

Jéssica Paola Caicedo Esparza

Año

2018

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido el trabajo, Diseño de una red troncal de fibra óptica multiplexada con tecnología DWDM para interconectar las ciudades de Quito y Tulcán, a través de reuniones periódicas con la estudiante Jéssica Paola Caicedo Esparza en el semestre 2018-2, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

Pablo Geovanny Palacios Játiva
Magister en Ingeniería de redes de comunicaciones
C.I. 092786445-4

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber corregido este trabajo, Diseño de una red troncal de fibra óptica multiplexada con tecnología DWDM para interconectar las ciudades de Quito y Tulcán, de la estudiante Jéssica Paola Caicedo Esparza, en el semestre 2018-2, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”

Luis Santiago Criollo
Ingeniero en Electrónica y redes de información
C.I. 171711295-5

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos del autor vigente”

Jéssica Paola Caicedo Esparza
C.I. 172130116-4

AGRADECIMIENTO

A la vida por permitirme llegar al final de esta etapa, a mi tutor Mg. Pablo Palacios que con sus conocimientos y paciencia me acompañó en este proceso, a mi familia por el apoyo incondicional y a todos mis amigos de universidad por las experiencias y el apoyo en este largo y lindo viaje.

Jéssica Caicedo

DEDICATORIA

A mis papás les entrego este trabajo con todo mi amor, agradeciéndoles el esfuerzo y sacrificio que hacen día a día para darme lo mejor y por haber hecho de mí una mujer admirable, valiente con valores y principios gracias a su ejemplo. A mis hermanos por ser mi motivación para ser alguien en la vida y un ser humano a seguir y a todas las personas que de una u otra manera formaron parte de este proceso en mi vida.

Jéssica Caicedo

RESUMEN

Debido al alto costo actual por el arrendamiento de hilos de fibra óptica y/o capacidad que pagan las empresas proveedoras de servicios de CATV, Internet y telefonía, surge la idea y necesidad de implementar redes de fibra óptica propias de cada operador para satisfacer la gran demanda de dichos servicios.

La necesidad de los operadores privados de Telecomunicaciones de implementar una red de fibra óptica con tecnología DWDM es alta, por lo que se planteó realizar el análisis del diseño de una red ya implementada en el Ecuador que interconecta las ciudades de Quito y Tulcán, en el cual se tomó en cuenta las características técnicas de lo que es fibra óptica, tecnología DWDM y el impacto que tiene su aplicación en el despliegue de redes troncales de alta velocidad con sus variables de diseño donde se incluyó infraestructura física y equipos de Telecomunicaciones.

Finalmente se hizo una investigación profunda sobre el marco regulatorio de Telecomunicaciones en el Ecuador para la correcta instalación y operación de redes privadas que cumplan con toda la normativa legal vigente.

ABSTRACT

Due to the current high cost of leasing fiber optic cables and / or capacity paid by companies providing CATV, Internet and telephony services, the idea and need to implement fiber optic networks of each operator to satisfy the great need arises demand for such services.

The need of private Telecommunications operators to implement a fiber optic network with DWDM technology is high, so it was proposed to analyze the design of a network already implemented in Ecuador that interconnects the cities of Quito and Tulcan, in the which took into account the technical characteristics of what is optical fiber, DWDM technology and the impact that its application has on the deployment of high-speed backbone networks with its design variables where physical infrastructure and Telecommunications equipment was included.

Finally, a thorough investigation was made of the regulatory framework of Telecommunications in Ecuador for the correct installation and operation of private networks that comply with all current legal regulations.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes	1
Alcance	1
Justificación	2
Objetivo General.....	2
Objetivos Específicos	3
1. MARCO TEÓRICO	3
1.1 Redes de fibra óptica.....	3
1.1.2 Elementos activos y pasivos de una red de f.o.	4
1.1.3 Propagación de la luz	5
1.2 Multiplexación.....	7
1.2.1 WDM.....	8
1.3 Atenuación en fibra óptica.....	9
1.4 Dispersión en fibra óptica	9
1.5 DWDM.....	10
1.5.1 Fundamentos técnicos.....	10
1.5.2 Componentes de una red DWDM.....	11
1.5.3 Principios de multiplexación y demultiplexación	12
1.6 Protocolos de transmisión que soporta DWDM	13
1.6.1 SONET / SDH SOBRE DWDM.....	13
1.6.2 ATM sobre DWDM.....	14
1.6.3 IP sobre DWDM.....	15
2. ANÁLISIS TÉCNICO.....	16
2.1 Variables de diseño	16
2.1.1 Necesidades del cliente	16
2.1.2 Consumo de ancho de banda promedio	17
2.1.3 Análisis comparativo entre fibras ópticas.....	19
2.1.4 Descripción del sistema e infraestructura	21
2.1.5 Definición de materiales.....	22

2.1.6	Diseño de la red con su topología y cálculos	23
2.1.7	Especificaciones técnicas DWDM.....	25
2.1.7.1	Parámetros de transmisión.....	25
2.2	Análisis de materiales	27
2.2.1	Materiales que soportan tecnología DWDM	27
2.2.1.1	Materiales de protección.....	27
2.2.1.2	Materiales mecánicos	27
2.2.1.3	Equipos ópticos, materiales activos y pasivos.....	29
2.2.2	Tecnología coherente usada en la red implementada	32
3.	REGLAMENTACIÓN	33
3.1	Reglamentos para desplegar fibra óptica en Ecuador	33
3.1.1	Consejo Metropolitano de Quito ordenanza municipal N° 0022.....	36
3.2	Reglamentos y permisos de uso de postería	38
3.3	Reglamentos de instalación.....	39
4.	PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA A NIVEL DE FIBRA ÓPTICA	40
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	44
5.1	Conclusiones	44
5.2	Recomendaciones	46
	REFERENCIAS	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fibra óptica	4
Figura 2. Fibra Monomodo	6
Figura 3. Fibra Multimodo	6
Figura 4. Sistema WDM	8
Figura 5. Componentes a nivel físico de una red DWDM.....	12
Figura 6. DWDM Demux/Mux.....	13
Figura 7. SONET / SDH sobre DWDM.....	14
Figura 8. Evolución de la capa óptica según el modelo OSI	15
Figura 9. Distribución de hilos DWDM / MATRIZ DE TRÁFICO.....	17
Figura 10. Consumo de ancho de banda estimado	18
Figura 11 Ancho de banda de Netflix	18
Figura 12 Consumo de YouTube según calidad de reproducción.....	18
Figura 13. Propiedades ópticas G652D	20
Figura 14 Propiedades ópticas G655 y G656.....	21
Figura 15 Comparación CISCO - otras marcas.....	22
Figura 16 Comparación con respecto al espacio, potencia y capacidad.....	23
Figura 17. Mapa propuesto para construcción de anillo de fibra óptica	23
Figura 18. Cable ADSS 48 hilos G655	43

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variaciones de la fibra óptica multimodo	7
Tabla 2. Distancia de enlaces y nodos intermedios	24
Tabla 3. Distancia de centrales a nodos de amplificación	24
Tabla 4. Atenuación por enlace.....	255
Tabla 5. Atenuación por enlace.....	25
Tabla 6. Características de la fibra óptica monomodo de dispersión desplazada no nula.....	41
Tabla 7. Características de 3 fabricantes de fibra óptica.....	42

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Debido a la necesidad de operadores privados de telecomunicaciones de implementar una red de fibra óptica troncalizada con tecnología DWDM, se plantea realizar el análisis de una implementación ya existente y características de los equipos a utilizarse en la red de transporte DWDM para interconectar las ciudades de Quito hasta Tulcán.

Actualmente existen redes SDH y MPLS por las que se transporta tráfico reducido. Con la tecnología DWDM se planea integrar estas redes debido a que dicha tecnología multiplexa varios canales ópticos de diferentes capacidades con su propia longitud de onda y así aumentar la capacidad del canal y el número de usuarios de internet y servicios corporativos. De igual manera permite alcanzar un presupuesto óptico inicial en cada nodo de hasta 10 [Gbps] proyectando una capacidad de transporte de 100 [Gbps].

Por lo tanto, la tecnología DWDM a medida que ha ido evolucionando a lo largo de los años es capaz de ofrecer de 64 a 160 canales y con los equipos adecuados se puede integrar tecnologías antiguas de manera automática y más eficiente.

Alcance

Este trabajo propone el análisis de una red de transporte con fibra óptica DWDM de Quito hasta Tulcán, tomando en cuenta los elementos a utilizarse para realizar la georeferenciación de las rutas aéreas y/o canalizadas, incluyendo geoposicionamiento de elementos de la red.

Se analizará la localización física y gestión de alquiler de instalaciones para la ubicación de equipos activos y pasivos, ubicación de los cuartos de telecomunicaciones, diseño de Instalación de acometidas eléctricas, selección de materiales y equipos necesarios para el aprovisionamiento de los nodos intermedios

El operador requiere de permisos para la instalación de una red de fibra óptica con ARCOTEL y demás entidades regulatorias. Estos permisos son para la utilización de postes eléctricos con las empresas que den el servicio a nivel de municipios, alcaldías y demás entes jurídicos que estén dentro del diseño considerado.

Finalmente el documento analizará la adecuada selección de fibra óptica y los elementos a ocupar en la red, contando con equipos de medición para localización y reparación de fallos, como son OTDR, fusionadoras, power meters, light sources, VLF, entre otros.

Justificación

Debido al alto costo actual por arrendamiento de hilos de fibra óptica y/o capacidad que pagan las empresas proveedoras de servicios de CATV, Internet y telefonía surge la necesidad de realizar redes de fibra óptica propias de cada operador. Esto sucede porque la infraestructura que se encuentra instalada actualmente no fue proyectada para la demanda que se tiene en estos tiempos.

Este estudio propone un análisis externo de las condiciones y factores a tomarse en cuenta para implementar una red de transporte de largo alcance con fibra óptica y tecnología DWDM. La mayoría de proveedores de servicios de telecomunicaciones optan por esta técnica para tener una migración a tecnologías modernas con equipos que usen modulación coherente sin hacer muchos cambios a nivel de infraestructura y costos de implementación, etc.

Objetivo General

Diseño de una red troncal de fibra óptica multiplexada con tecnología DWDM, que proyecta satisfacer las necesidades de las operadoras privadas de telecomunicaciones entre las ciudades de Quito y Tulcán.

Objetivos Específicos

Definir la tecnología de acceso DWDM y su aplicación en el despliegue de redes troncales de Fibra Óptica de alta velocidad

Establecer las variables de diseño de la red troncal de Fibra Óptica a ser consideradas, que incluye infraestructura física y equipos de Telecomunicaciones.

Valorar el marco regulatorio de Telecomunicaciones para la instalación y operación de redes privadas, que cumplan la normativa legal vigente.

1. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo muestra el marco teórico, el cual exhibe una variedad de conceptos técnicos, principios de funcionamiento, protocolos de transmisión, antecedentes históricos entre otros términos que se utilizan como soporte en la investigación del proyecto de titulación.

1.1 Redes de fibra óptica

1.1.1 Principios de funcionamiento

La fibra óptica es un medio de transmisión empleada en las redes de datos, por el cual se envían pulsos de luz representando los datos que serán transmitidos. El haz de luz se propaga por el interior de la fibra con un ángulo de reflexión y en función de la ley de Snell.

En un sistema de fibra óptica se tiene un transmisor el cual se encarga de transformar las ondas electromagnéticas en energía óptica o luminosa. Una vez transmitida la señal transformada en el otro extremo del sistema se tiene un componente llamado receptor o detector óptico. Este se encarga de transformar la señal luminosa en energía electromagnética, que se asemeje a la original.

La fibra óptica se compone por filamentos plásticos o de vidrio estrictamente procesados y son del grosor de un cabello humano, el índice de refracción del núcleo debe ser mayor al del revestimiento y esto se debe a la propagación de la luz que existe en el núcleo.

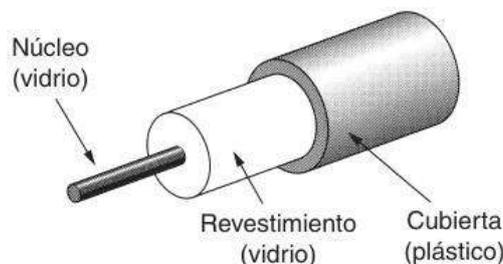


Figura 1. Fibra óptica

Tomado de (Beber, 2015)

- a) Núcleo: Se propagan las ondas ópticas.
- b) Revestimiento: Rodea y protege al núcleo.
- c) Cubierta: Protege la fibra

El principio de operación de la fibra óptica consiste en hacer incidir un haz de luz en el núcleo en cierto ángulo, para que la luz “rebote” entre el revestimiento y el núcleo, efecto conocido como reflexión interna total. Dado que el revestimiento no absorbe la luz existente en el núcleo, el haz puede transportarse a grandes distancias. (Escobar, González, 2005).

Tomando en cuenta la explicación anterior, los componentes principales que pueden perjudicar la eficiencia de la fibra óptica son la composición, el tamaño y el modo de propagación de la luz. (Escobar, González, 2005).

1.1.2 Elementos activos y pasivos de una red de f.o.

Las redes ópticas están comprendidas por varios elementos activos y pasivos que cumplen distintas funcionalidades como son atenuadores, regeneradores, divisores de señal, protectores, etc.

Szymanczyk (2014) menciona algunos de los elementos activos y pasivos a continuación:

- **Divisores ópticos (Splitter):** Se emplean para bifurcar la señal de una manera uniforme dependiendo del tipo de divisor empleado.
- **Acopladores ópticos:** Distribuyen la información que entra, entre dos salidas en proporciones determinadas.
- **Atenuadores ópticos:** Elemento pasivo de una red de f.o. que tiene como objetivo mejorar la potencia óptica que entra en el fotodetector del receptor.
- **Filtros medios:** Usados en los equipos que usan cables de par trenzado telefónico.
- **Cajas de distribución:** Tienen varias capacidades
- **Cajas de empalmes:** Organizan y dan el espacio necesario al cableado para los empalmes.
- **Paneles de conexión:** Estos paneles organizan el cableado LAN, edificios, edificios inteligentes, etc.
- **Regenerador remoto:** “Un nodo regenerador remoto, consta esencialmente de un equipo transmisor regenerador, el que incluye la conversión electro-óptica y del proceso de interconexión a la planta externa”. (Szymanczyk, 2014)

1.1.3 Propagación de la luz

Las fibras ópticas se clasifican en 2 tipos:

Fibra Monomodo: Este tipo de fibra óptica tiene un núcleo muy delgado entre 8.3 μm y 10 μm . Por tener el conductor muy estrecho, la luz con dificultad puede “rebotar” por las paredes del revestimiento viajando así solo por el núcleo. Este tipo de fibra tiene una atenuación menor debido a que tiene solo un rayo de luz. (Gerónimo, s.f.)

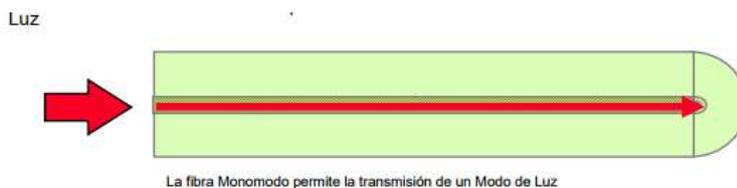


Figura 2. Fibra Monomodo

Tomado de (Gerónimo, s.f.)

La fibra monomodo resiste largas distancias y grandes anchos de banda la cual le hace más costosa por su material de fabricación que es el vidrio únicamente; sus longitudes de onda son de 1310, 1550 nm.

Fibra Multimodo: El rayo de luz se propaga por medio de la fibra óptica como múltiples modos o rayos cuando el núcleo es mayor al revestimiento. La mayoría de los rayos que “rebotan” en el revestimiento pierden energía como calor, teniendo señales de entrada y salida con diferentes potencias. (Gerónimo, s.f.)

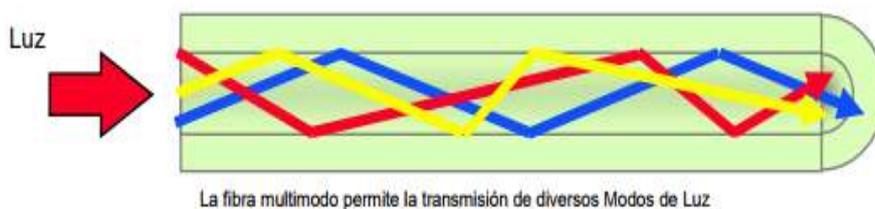


Figura 3. Fibra Multimodo

Tomado de (Gerónimo, s.f.)

Este tipo de fibra multimodo por no necesitar presión en el núcleo, son mucho más económicas cuando trabajan en enlaces menores a los 5 Km; sin embargo sus índices de dispersión modal y atenuación son mucho mayores que cualquier otro tipo de fibra, están fabricadas de vidrio, plástico y silicio con un diámetro de núcleo entre 50 μm y 62.5 μm y longitudes de onda de 850 y 1300 nm. (Gerónimo, s.f.)

En la tabla 1, se detalla las variaciones de funcionamiento que puede tener una fibra multimodo.

Tabla 1.

Variaciones de la fibra óptica multimodo

TIPO Y DIÁMETRO DE NÚCLEO (μM)	Modos posibles	Longitud de onda (nm)	Distancia máxima (metros)	Ancho de banda máximo (velocidad de transmisión)
MMF 50	300	850	1000	1 Gbps
MMF 50	300	850	300	10 Gbps
MMF 62.5	1100	850	275	1 Gbps
MMF 62.5	1100	850	33	10 Gbps

Tomado de (García, 2012)

1.2 Multiplexación

El objetivo principal de la multiplexación “es compartir la capacidad de transmisión de datos sobre un mismo enlace para aumentar la eficiencia.”

“Es minimizar la cantidad de líneas físicas requeridas y maximizar el uso del ancho de banda de los medios.” (Gordillo, 2008)

Es la transmisión sincronizada de varios canales que serán separados en el mismo medio de transmisión sin ser interferidos entre sí.

Para una comunicación de voz esto quiere decir 2 o más canales en una sola portadora o para sistemas telefónicos varios canales en un solo par o una línea de transmisión coaxial. (Gordillo, 2008)

Los métodos más usados para multiplexar señales son, Multiplexación por división de frecuencia (FDM) la cual es usada en el ámbito analógico, mientras que en el mundo digital no se puede usar el mismo método, por lo que se

emplea la multiplexación por división de tiempo (TDM) y multiplexación por longitud de onda (WDM). (Gordillo, 2008)

1.2.1 WDM

WDM y FDM se parecen porque envían señales en la misma banda de frecuencias por el mismo medio de transmisión (fibra óptica) y al mismo tiempo sin que interfieran unas a las otras, este proceso se realiza “modulando diodos láser de inyección que transmiten ondas luminosas muy concentradas a distintas longitudes de onda”. (Tomasi, 2003, p. 754).

WDM asigna las señales ópticas entrantes a frecuencias específicas de luz también conocidas como longitudes de onda o lambdas. En un sistema como este, cada una de las longitudes de onda son puestas en la fibra y demultiplexadas en el receptor llevando cada señal de entrada completamente independiente de las otras. Esto significa que los canales tienen su propio ancho de banda y las señales llegan al mismo tiempo sin ser descompuestas. (Tomasi, 2003, p. 754).

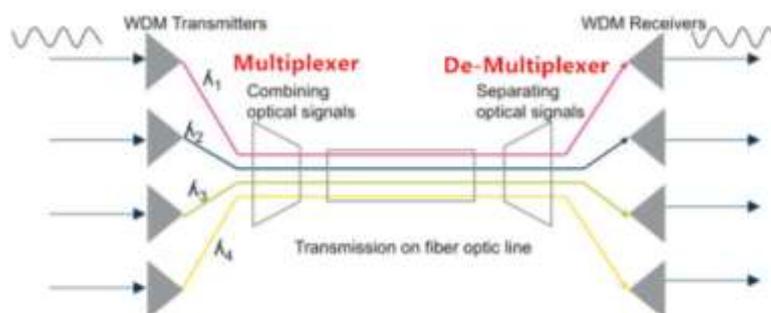


Figura 4. Sistema WDM

Tomado de (Zhu, 2017)

En la figura 4 los transmisores están conformados por láser monomodos. Las señales de cada canal son combinadas por medio de los multiplexores WDM antes de ser transmitidas por la fibra óptica, en el receptor las señales son separadas por demultiplexores WDM y llevadas hacia el receptor. (Zhu, 2017)

Existen algunas derivaciones del sistema WDM, entre estas son DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), UDWDM (Ultra Dense Wavelength Division Multiplexing) los cuales permiten una transmisión de datos con un amplio ancho de banda y altas velocidades. (Zhu, 2017)

1.3 Atenuación en fibra óptica

Este fenómeno se presenta por la pérdida de potencia en la señal óptica, sus unidades de medida son [dB/Km] y sus principales causas de atenuación son:

- Por pérdida de absorción: Se debe a impurezas como iones metálicos, níquel variado, etc los cuales absorben la luz convirtiéndolas en calor. (Criollo, 2015)
- Por pérdidas de dispersión: Ésta pérdida se produce por daños sub-microscópicos los cuales alteran el índice de refracción propio del material de la fibra, cambiando de igual manera el índice de reflexión interna total. (Criollo, 2015)
- Por pérdidas por curvatura: Ésta pérdida es producida al momento de que la fibra óptica es sometida a curvaturas al momento de su instalación causando cambios en los ángulos de incidencia núcleo-manto, provocando que la luz se refracte hacia el manto. (Criollo, 2015)

1.4 Dispersión en fibra óptica

Es un fenómeno que se presenta cuando se deforma o ensancha un haz de luz al momento de la transmisión en la fibra óptica. Esta deformación causa reducción en ancho de banda teniendo como consecuencia bajas velocidades de transmisión. Existen varios tipos de dispersión, que son:

- Dispersión modal: Se encuentra en tipos de fibra óptica multimodo de índice escalonado.
- Dispersión cromática: La señal posee este tipo de dispersión al viajar por la fibra óptica.

- Cromática de material: Es causada por el tipo de material con el que las fibras están fabricadas.
- Cromática de guía de onda: Se encuentran solo en fibras monomodo, tomando en cuenta que “la potencia del modo que se está transmitiendo se propaga parcialmente por el núcleo y parcialmente por el manto, por este último viajando a mayor velocidad ya que su índice de refracción es mucho menor que el núcleo” (Criollo, 2015)
- Dispersión de modo de polarización: En fibra óptica, el núcleo no es totalmente circular por lo que no tiene el mismo diámetro que los demás componentes, por este motivo la velocidad de propagación de cada uno de estos se realiza de manera vertical y horizontal produciéndose así esta dispersión. (Criollo, 2015)

1.5 DWDM

1.5.1 Fundamentos técnicos

Multiplexación por división de longitud de onda (DWDM) es una tecnología de multiplexación óptica que es utilizada para el aumento del ancho de banda en redes existentes. Lo hace combinando y transmitiendo varias señales simultáneamente en diferentes longitudes de onda en la misma fibra óptica evitando nuevos tendidos, siendo así aprovechado el recurso ya implementado. Aunque el costo de DWDM es mayor que cualquier otro, este se ha vuelto muy popular en el mercado ya que ofrece mayor capacidad suministrando espaciamiento de canales de 50 GHz, 100 GHz o 200 GHz. Hace uso de la longitud de onda y aparte del tiempo y el espacio, la utiliza como una nueva dimensión en el diseño de red que haya sido planteado.

DWDM independientemente del protocolo y la tasa de bits, puede transmitir datos en IP, ATM, SONET, SDH Y Ethernet, puede transportar diferente tipo de tráfico a diferentes velocidades a través de un solo canal óptico, voz, correo electrónico, video, imagen son algunos de los ejemplos los cuales pueden ser transmitidos conjuntamente en sistemas DWDM. (Caizaluisa, 2009)

1.5.2 Componentes de una red DWDM

Cada componente existente en la red se lo puede definir de acuerdo a su ubicación en el sistema planteado, en este caso en la Figura 5 se muestra:

- El Transmisor de longitud de onda, tiene una entrada en forma de láser estándar multimodo o monomodo, esta entrada proviene de diferentes medios físicos y tiene distintos tipos de tráfico, mientras que la longitud de onda de entrada de las señales es mapeada a una longitud de onda DWDM. (Buelvas, Téllez, Amado, 2009, p.72)
- Los multiplexores son usados para realizar una combinación de señales. “Las longitudes de onda DWDM del transponder son multiplexadas en una sola señal óptica y enviada a la fibra.” (Buelvas, Téllez, Amado, 2009, p.72)
- El enlace de fibra óptica, muestra una pérdida baja y actúa en la transmisión de espectros de las longitudes de ondas pertinentes, además la ganancia estable de los amplificadores ópticos para regenerar la señal en tramos largos y los multiplexores ópticos de inserción/extracción (add/drop) y los componentes ópticos cross-connect. (Caizaluisa, 2009, p.4)
- La Transmisión de señales por la fibra óptica, presentan efectos de diafonía, degradación o pérdida de señal que deben ser tomados en cuenta al momento de la transmisión. Tales efectos pueden ser reducidos por medio de control de variables, espacio entre canales, tolerancia y niveles de potencia del láser, dado que en un enlace óptico se usan amplificadores ópticos que ayudan a darle ganancia a la señal. (Buelvas, Téllez, Amado, 2009, p.72)
- El preamplificador se encarga de fortalecer la señal para que ingrese al extremo del sistema y enseguida se procede a separar las señales recibidas. (Buelvas, Téllez, Amado, 2009, p.72)

- En el extremo receptor todas las señales multiplexadas recibidas son separadas en lambdas (longitudes de onda) individuales. (Buelvas, Téllez, Amado, 2009, p.72)
- Del lado del demultiplexor, las señales son tomadas por un fotodetector y las lambdas individuales son mapeadas según el tipo de salida que sea solicitado. (Buelvas, Téllez, Amado, 2009, p.72)

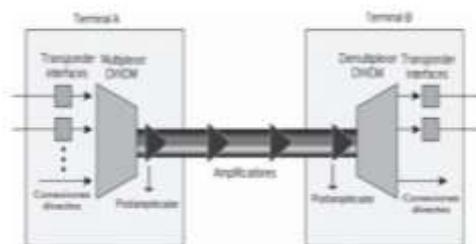


Figura 5. Componentes a nivel físico de una red DWDM
Tomado de (Buelvas, Téllez, Amado, 2009)

1.5.3 Principios de multiplexación y demultiplexación

Como se muestra en la figura 6, la señal de salida de un multiplexor es conocida como señal compuesta ya que varias longitudes de onda creadas por los transmisores y las distintas fibras son combinadas sobre una sola fibra por medio de un filtro óptico llamado multiplexor.

En el receptor, el demultiplexor separa todas las longitudes de onda de la señal compuesta hacia las fibras individuales, y estas pasan las longitudes de onda demultiplexadas a sus respectivos receptores ópticos.

Los multiplexores y demultiplexores pueden ser pasivos o activos y no necesitan fuentes de energía externas ya que las señales de los componentes se multiplexan y demultiplexan ópticamente y no electrónicamente.

Para un sistema unidireccional, se tiene un multiplexor en el trasmisor y un demultiplexor en el receptor y para un sistema bidireccional se necesitará dos sistemas a cada extremo y dos fibras ópticas separadas.

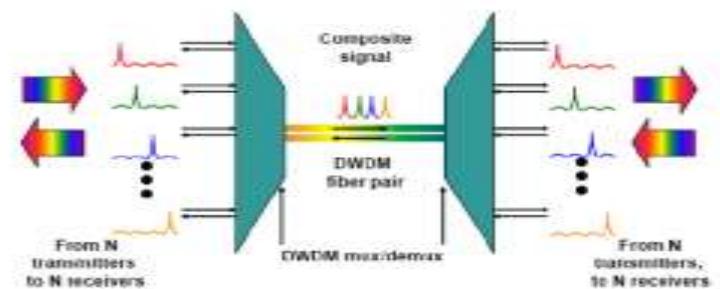


Figura 6. DWDM Demux/Mux

Tomado de (Antil, Pinki, Beniwal, 2012)

1.6 Protocolos de transmisión que soporta DWDM

DWDM tiene una capa independiente del protocolo y la velocidad de bits, esto quiere decir que puede transportar ATM, SONET y/o paquetes IP simultáneamente, esta tecnología también puede ser usada en redes ópticas pasivas (PON) con redes de acceso, por las que toda la conmutación, enrutamiento y transporte se realiza en modo óptico.

1.6.1 SONET / SDH SOBRE DWDM

Al momento de diseñar redes SONET y DWDM, una de las arquitecturas más típicas como se muestra en la figura 7 es SONET/SDH sobre DWDM, teniendo que el transporte es DWDM y el enrutamiento SONET se lo hace por medio de los MSPP superpuestos o integrados los cuales ofrecen capacidades integradas de DWDM.

DWDM tiene como objetivo transportar el mismo tráfico en muy pocas estructuras topológicas y esto se realiza para permitir que se atravesase distancias mucho más largas que SONET. En un ejemplo, la red SONET mejor diseñada puede generar un grupo de anillos topológicamente diferentes, mientras que la red DWDM más económica puede consistir en un solo anillo DWDM. (Gómez, 2007).

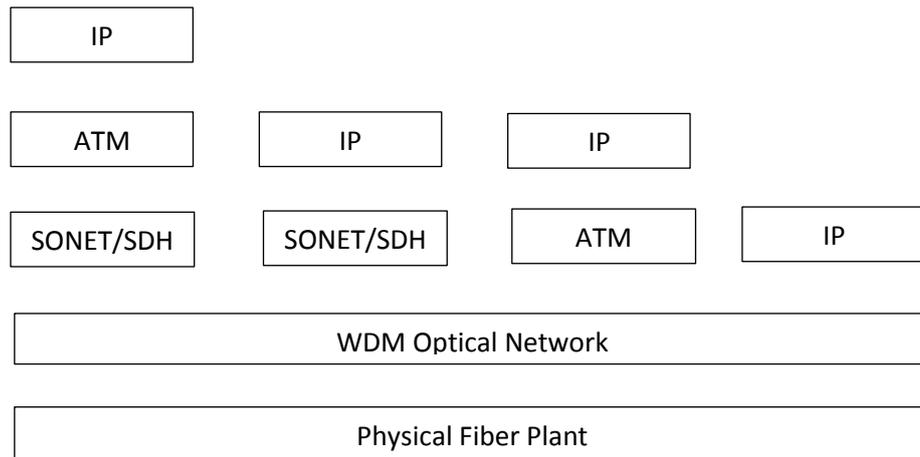


Figura 7. SONET / SDH sobre DWDM

Tomado de (FS.COM, 2014)

1.6.2 ATM sobre DWDM

ATM sobre DWDM ha sido popularizado debido a la gran demanda de ancho de banda que se tiene y a que los proveedores de servicios de Telecomunicaciones enfrentan grandes inversiones para satisfacer las grandes demandas de capacidad y de calidad de servicio (QoS).

ATM sobre DWDM prometía resolver los problemas de calidad de servicio (QoS) y ancho de banda de una manera rentable. En DWDM, si existe un transportista que opera en ATM y SONET, no hay necesidad de que una señal ATM sea multiplexada hasta la velocidad SONET. Este proceso se debe a que la capa óptica puede transportar todo tipo de señal sin que tenga una multiplexación adicional. Existen muchas ventajas en el tema sobre el funcionamiento de ATM sobre DWDM, sin embargo, hay algunas cuestiones que deben ser abordadas como son el espaciamiento del canal y la atenuación óptica, por lo que se necesita tener buenas técnicas de acondicionamiento de longitud de onda. Estas técnicas son la corrección de errores de avance y los esquemas piloto de luz, teniendo como resultado conectividad, señal en cada canal e identificador de fallas asegurado. (Tomasi, 2003).

1.6.3 IP sobre DWDM

Hoy en día el crecimiento explosivo de internet ha causado una competencia impresionante en el mercado de proveedores de servicios de telecomunicaciones el cual se enfrentan a un dilema casi imposible de cómo aumentar el rendimiento de la red y reducir los costos al mismo tiempo.

IP sobre DWDM como se explica en la figura 8 es una propuesta que se dio originalmente como una forma de eliminar la famosa y costosa capa SONET/SDH en redes que netamente llevaban tráfico de datos (IP). Este enfoque tenía mucha aceptación, ya que las redes SONET/SDH fueron diseñadas para tráfico de voz y a su medida fueron mal escaladas para redes de datos. Así en la evolución se llegó a un nuevo modelo de red que se basa en una estructura de 2 niveles, IP directamente sobre DWDM.

La capa de transporte es All-Optical y mantiene una alta tarifa de datos evitando el costo de los equipos SONET/SDH, mientras que la necesidad de IP directamente sobre DWDM es establecida para aumentar ancho de banda y reducir la latencia.

Este nuevo modelo ofrece servicios de redes privadas virtuales IP basado en GMPLS sobre DWDM tanto para empresas como operadoras. A través de ellas las operadoras pueden proporcionar aplicaciones de convergencia de voz, video y aplicaciones de datos en una sola conexión teniendo niveles de CoS (Class of Service) y QoS (Quality of Service). (Tábora 2007, García 2006)

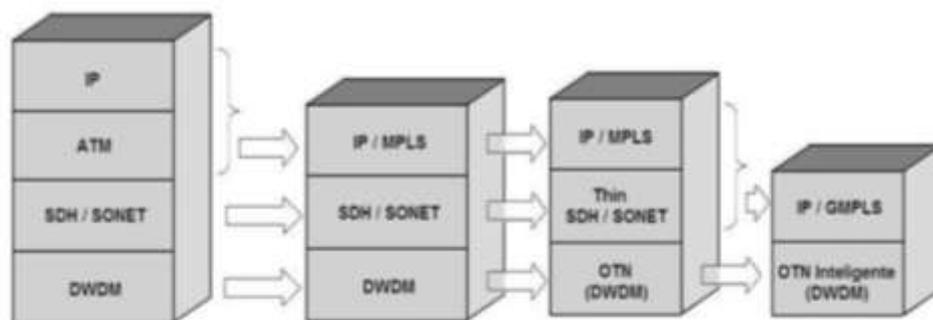


Figura 8. Evolución de la capa óptica según el modelo OSI

Tomado de (Yáñez de la Rivera, López, Zuaznabar, 2009)

2. ANÁLISIS TÉCNICO

En este capítulo se presenta el análisis de la red con todo su diseño de implementación, cálculos, topología, características de la red desplegada y material utilizado que soporta la tecnología DWDM.

2.1 Variables de diseño

2.1.1 Necesidades del cliente

El análisis de la red propuesta en este documento se realiza debido a que en la actualidad existe un alto costo por arrendamiento de hilos de fibra óptica y/o capacidad que pagan las empresas proveedoras de servicios de CATV, internet y telefonía. Esta investigación es realizada en una infraestructura de red de fibra óptica externa que se encuentra ya instalada la cual no fue proyectada para la demanda de usuarios que se tiene en estos últimos años.

El usuario final o abonado en promedio siempre demanda más ancho de banda porque puede tener una o más sesiones abiertas en sus dispositivos móviles simultáneamente, por ejemplo puede reproducir un video en YouTube como una película en una Smart TV. Entonces las necesidades del usuario incrementan conforme los dispositivos móviles inteligentes van creciendo en el mercado. (Arpatel Soluciones, 2018).

La asociación Mobile Economy de la GSMA (2017) dice que:

“El número de usuarios únicos de telefonía móvil alcanzó los 5.000 millones al finalizar 2017, lo que supone un grado de penetración del 66%, aunque el número de tarjetas SIM usadas por personas (excluyendo las que usan máquinas entre sí) se elevó a 7.800 millones, el 103% de los habitantes del planeta, superando así por primera vez la población mundial (7.600 millones de personas).”

Si bien es cierto existen lugares en donde la población que se dedica por ejemplo a la agricultura no necesita internet, las nuevas generaciones sí demandan de su uso convirtiéndose así el internet y las telecomunicaciones en un servicio básico dejando de ser un servicio exclusivo como lo era años atrás.

2.1.2 Consumo de ancho de banda promedio

En telecomunicaciones lo que se refiere a fibra óptica su dimensionamiento siempre se realiza con una proyección a 5 años, esto es un estadístico que manejan todas las operadoras, con la curvatura de aumento de clientes anual, semestral y trimestral, dependiendo del tipo de análisis que requiera y del período de tiempo que tiene el ISP en funcionamiento.

El conjunto de clientes o abonados usa un rango de capacidad en promedio, es decir los ISP compran o arriendan esta capacidad con un estimado para 1000 usuarios en ciudades rurales a urbanas la cual el uso mínimo es de 0,5 [Gbps] a 1 [Gbps] como se muestra en la figura 9 y es concesionada por los portadores de servicio de internet que existen en el país como pueden ser Telconet, Punto Net, CNT EP, etc. Los cálculos se hacen en función a los números de abonados por sector que son probables que compren el servicio, en función de la competencia, entre otros factores, con matrices de tráfico de cada operador que son confidenciales.

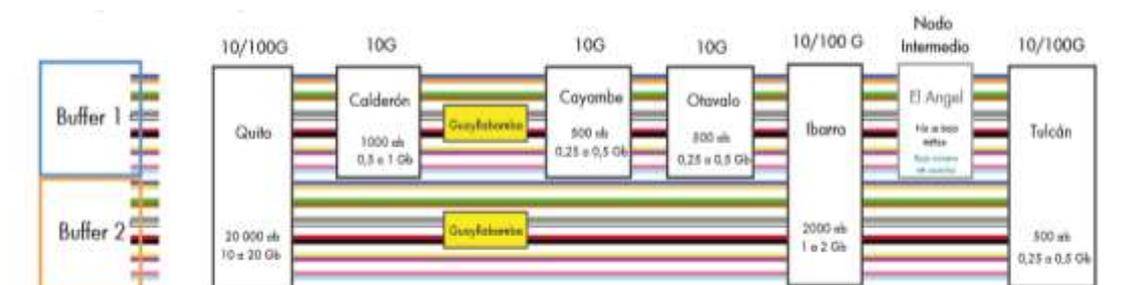


Figura 9. Distribución de hilos DWDM / MATRIZ DE TRÁFICO

Tomado de (Arpatel Soluciones, 2018)

En el caso de la figura 9 los datos se realizaron con matrices de tráfico de una empresa privada proveedora de Internet en base al sector central de cada provincia. (Arpatel Soluciones, 2018)

Entre algunos ejemplos de las aplicaciones que más ancho de banda consumen son las de video o multimedia como se muestra en las figuras 10, 11 y 12 a continuación.



Figura 10. Consumo de ancho de banda estimado
Tomado de (Orange, 2018)

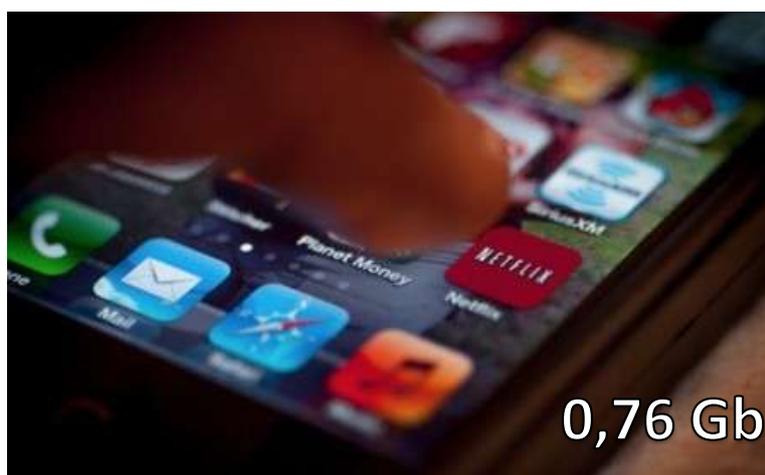


Figura 11. Ancho de banda de Netflix
Tomado de (López, 2015)

Resolución	Consumo de datos
144p	1,90 Mb
240p	2,70 Mb
360p	4,40 Mb
480p	7,70 Mb
720p HD	14,50 Mb
1080p FULL HD	27,61 Mb

Figura 12. Consumo de YouTube según calidad de reproducción
Tomado de (América noticias, 2018)

Es importante también analizar el cálculo de la capacidad promedio actual de la red para posterior a esto realizar una adecuada elección de fibra óptica y equipos.

Entonces la capacidad es determinada de la siguiente manera:

$$AB_{Actual} = AB_{Quito} + AB_{Calderon} + AB_{Cayambe} + AB_{Otavalo} + AB_{Ibarra} + AB_{Tulcán}$$

$$AB_{Actual} = 20_{Gbps} + 1_{Gbps} + 0,5_{Gbps} + 0,5_{Gbps} + 2_{Gbps} + 0,5_{Gbps}$$

$$AB_{Actual} = 24,5_{Gbps}$$

Teniendo este cálculo aproximado podemos hacer un análisis sobre los distintos tipos de fibra óptica que existen en el mercado y escoger la mejor opción que se adapte a las necesidades.

2.1.3 Análisis comparativo entre fibras ópticas

G652 “en un principio, esta fibra fue diseñada para funcionar óptimamente en la región de longitud de onda de 1310 nm donde la dispersión nula está situada, pero puede asimismo utilizarse en la región de 1550 nm. “ (Rec. UIT-T G652, 2005)

La Rec. UIT-T G652 (2007) dice que:

Su coeficiente de atenuación generalmente es inferior a 1,0 dB/km en la región de longitudes de onda de 1300 nm e inferiores a 0,5 dB en la de 1550 nm. Los valores más bajos del coeficiente de atenuación dependen del proceso de fabricación, de la composición, el diseño de la fibra y del diseño del cable donde se han obtenido valores comprendidos entre 0,3 y 0,4 dB/km en la región de 1300 nm y entre 0,15 y 0,25 dB/km en la de 1550 nm.

Presenta cero de dispersión (0,092 ps/nm.km), su limitante es la dispersión cromática que afecta a la región donde operan las arquitecturas CWDM pero es adecuada para redes dorsales donde su dispersión cromática es corregida por equipos de transmisión DWDM. (Espinoza, 2012)

A continuación se muestra una tabla con propiedades ópticas de la fibra G652D

PROPIEDADES OPTICAS			
PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	METODO DE ENSAYO
Tip. /Max. Atenuación fibra individual a 1310 nm (*)	0,32 / 0,35	dB/km	UNE-EN 188000-303 IEC 60793-1-40
Tip. /Max. Atenuación fibra Individual a 1383 nm (*)	0,28 / 0,31	dB/km	
Tip. /Max. Atenuación fibra individual a 1550 nm (*)	0,19 / 0,21	dB/km	
Tip. /Max. Atenuación fibra Individual a 1625 nm (*)	0,20 / 0,24	dB/km	
Uniformidad en la atenuación (Puntos discontinuados a 1310 o 1550 nm)	< 0,05	dB	
Longitud de onda de dispersión nula	$1302 < \lambda_0 < 1322$	nm	UNE-EN 188000-309 IEC 60793-1-42
Pendiente de dispersión a λ_0 (S_0)	$\leq 0,092$	ps/nm ² ·km	
Dispersión cromática máxima (1285 nm - 1330 nm)	$\leq 3,5$	ps/nm·km	
Dispersión cromática máxima a 1550 nm	$\leq 18,0$	ps/nm·km	
Dispersión cromática máxima a 1625 nm	$\leq 22,0$	ps/nm·km	
Dispersión por modo de polarización (PMD) (*)	$\leq 0,2$	ps/vkm	IEC 60793-1-48
Coefficiente de PMD del enlace (PMD _{cl}) (**)	$\leq 0,06$	ps/vkm	
Longitud de onda de corte (fibra cableada)	$\lambda_{cc} < 1260$	nm	UNE-EN 188000-313 IEC 60793-1-44

(*) Este parámetro está sujeto a cambios una vez la fibra está en el cable.

Figura 13. Propiedades ópticas G652D

Tomado de (Cablescom, 2018)

Haciendo una comparación con otros tipos de fibra óptica que pertenecen a la serie ITU-T G65x, cada una de estas con sus respectivas características las cuales representan la evolución en la tecnología de los sistemas de transmisión tenemos que:

G655 es una fibra monomodo cuya dispersión cromática en la ventana de 1550 nm está cerca de cero. “Esta dispersión reduce la aparición de efectos no lineales que puede ser particularmente perjudicial para los sistemas que utilizan DWDM.” (Rec. UIT-T G655, 2003)

La dispersión positiva de G655 supera los efectos no lineales en el sistema WDM, como la mezcla de cuatro ondas (FWM) debido a un área efectiva alta. G655 se especifica a 1550 nm donde su dispersión es nula y 1620 nm, y tiene un bajo valor de dispersión cromática en la banda C (1530-1660 nm), en el que el amplificador de fibra dopada con erbio (EDFA) aumenta las señales ópticas y soporta tecnología DWDM.

G656 o fibra de dispersión media la cual trabaja en redes para acceso local siendo de largo alcance y ofreciendo un buen desempeño en regiones de transmisión de 1460 nm y 1625 nm. (Beyondtech, 2017)

A continuación se muestra una tabla con las características ópticas de G655 y G656:

PROPIEDADES ÓPTICAS		G.655 & G.656
Diámetro Campo Modal (μm)	1310 nm	---
	1550 nm	9.2 ± 0.5
Coeficiente Atenuación (dB/Km)	1310 nm	≤ 0.40
	1383 nm	≤ 1.00
	1550 nm	≤ 0.25
	1625 nm	≤ 0.28
Dispersión Cromática (ps/nm.Km)	1310 nm	-6
	1550 nm	8
	1625 nm	12
	1530 – 1565 nm	De 5.5 a 10
	1565 – 1625 nm	De 7.5 a 13.8
1285 – 1330 nm	De -10 a -3	
Longitud Onda Cero Dispersión (nm)		≤ 1440
Pendiente Dispersión (ps / nm ² Km)	1550 nm	0.052
Área Efectiva (μm^2)		63
Índice Refracción	1310 nm	1.4682
	1550 nm	1.4683
Longitud Onda Corte Cable (nm)		≤ 1300
PMD (ps / (ps/nm.Km))	1550 nm	< 0.2

Propiedades conforme a UIT-T G.655, G.656, CEI 60793-2-50, ISO/IEC 11801, EN 50173, Telcorda GR-20-CORE y ANSI/ICEA S-87-40

Figura 14. Propiedades ópticas G655 y G656

Tomado de (Optral, 2015)

2.1.4 Descripción del sistema e infraestructura

Finalmente y para este documento después del análisis técnico y comparativo se usó una fibra óptica monomodo G652D marca prysmian de 24 hilos con una capacidad de hasta 60 [Tb] que trabaja en la ventana de transmisión de 1550 nm como se muestra en la figura 9.

Esta elección se hace ya que la fibra funciona de mejor manera en longitudes de onda (λ) de 40, 100, 200 y 400 [Gbps] lo que permite la transmisión en ancho de banda extendido en una red punto punto como es la que se está analizando en este trabajo, además presenta bajos coeficientes de atenuación, una dispersión de modo de polarización bajo y a nivel mundial es una de las fibra más robustas, económicas y comercializadas en el mercado. (Arpatel Soluciones, 2018)

La fibra G652D tiene 2 buffer como se muestra en la figura 9, de los cuales la comunicación DWDM usa únicamente 2 hilos para la interconexión entre nodos que son el azul y naranja del buffer 1 y la comunicación entre nodos principales utiliza los hilos azul y naranja del buffer 2.

Para la redundancia de la comunicación en DWDM de los hilos del buffer 1 se usan el azul y naranja del buffer 2; cada uno de los nodos tiene una determinada capacidad y para proyecciones a futuro en temas de escalabilidad se colocó nodos intermedios que son Guayllabamba y El Ángel que serán usados únicamente para no instalar amplificadores Raman los cuales sus longitudes de onda son introducidas desde el final de la fibra óptica y viajan en sentido contrario a las señales DWDM. (Arpatel Soluciones, 2018)

2.1.5 Definición de materiales

Los materiales usados son CISCO porque soportan largas distancias sin utilizar amplificación intermedia, tienen un bajo consumo de potencia lo que significa que la velocidad a la que se consume la energía será menor con referencia a la competencia, cuentan con robustez en su transmisión, usan menos tarjetería en sus equipos y cumplen con especificaciones requeridas de diseño que soportan tecnología DWDM.

En la figura 13 claramente se hace una comparación con respecto a la tarjetería que ocupan otras marcas con relación a los equipos Cisco.



Figura 15. Comparación CISCO - otras marcas

Tomado de (Cisco, 2015)

En la figura 10 se detalla la longitud de los enlaces considerados dentro del diseño de esta ruta. Cabe mencionar que las distancias se las ha definido a través de trazas reflectométricas obtenidas con OTDR sobre enlaces de una red troncal de fibra óptica que actualmente se encuentra en funcionamiento.

Tabla 2.

Distancia de enlaces y nodos intermedios

Nro.	Central A	Central B	Nodo intermedio	Longitud Real (Km)
1	Quito	Cayambe	Calderón	92,13
2	Cayambe	Otavalo		40,20
3	Otavalo	Ibarra		30,63
4	Ibarra	Tulcán	El Ángel	131,27

Tomado de (Arpatel Soluciones, 2018)

Tabla 3.

Distancia de centrales a nodos de amplificación

Central A	Nodo de amplificación	Longitud Real (Km)	Nodo de amplificación	Central B	Longitud Real (Km)
Quito	Calderón	18,63	Calderón	Cayambe	73,50
Ibarra	El Ángel	75,84	El Ángel	Tulcán	55,43

Tomado de (Arpatel Soluciones, 2018)

Se puede obtener valores estimados de atenuación promedio en la red troncal de fibra óptica que actualmente se encuentra en funcionamiento, lo cual nos ayuda a dimensionar con mayor precisión las características técnicas de los equipos en cada uno de los nodos para que puedan ofrecer los servicios requeridos por los operadores privados de telecomunicaciones de una forma eficiente y con niveles de calidad adecuados.

Tabla 4.

Atenuación por enlace

Nro	Central A	Central B	Nodo intermedio	Atenuación Promedio (dB)
1	Quito	Cayambe	Calderón	18,426
2	Cayambe	Otavalo	-	8,040
3	Otavalo	Ibarra	-	6,125
4	Ibarra	Tulcán	El Ángel	26,254

Tomado de (Arpatel Soluciones, 2018)

Tabla 5.

Atenuación por enlace

Central A	Nodo de amplificación	Atenuación (dB)	Nodo de amplificación	Central B	Atenuación (dB)
Quito	Calderón	3,73	Calderón	Cayambe	14,70
Ibarra	El Ángel	15,17	El Ángel	Tulcán	11,09

Tomado de (Arpatel Soluciones, 2018)

2.1.7 Especificaciones técnicas DWDM**2.1.7.1 Parámetros de transmisión**

Los sistemas DWDM son de mucha importancia dentro de la capa óptica y son los responsables de transportar la señal a través de la red. A continuación, se explican algunos de los parámetros de transmisión óptica.

- **Espaciamiento del canal:** “Mínima frecuencia de separación entre las diferentes señales multiplexadas en la fibra.” (Buelvas, Téllez, Mateus, 2009)
- **Dirección de la señal:** En los sistemas DWDM existen dos formas de implementación, unidireccional y bidireccional. “En los

sistemas unidireccionales todas las longitudes de onda viajan en una misma dirección en la fibra y se necesitan dos de estas para la transmisión en ambos sentidos. Por otro lado, en los sistemas bidireccionales el canal es subdividido en dos bandas, una para cada dirección.” (Buelvas, Téllez, Mateus, 2009)

- **Ancho de banda de la señal:** “Los típicos sistemas DWDM usan láseres que tienen una velocidad de bit de 10 [Gbps] (OC-192/STM-64) y pueden multiplexar a 240 longitudes de onda. Esto provee un máximo de 2,4 [Tbps] sobre una sola fibra óptica. Los nuevos sistemas DWDM serán capaces de soportar velocidades de 40 [Gbps] (OC768/STM-256) por cada longitud de onda con 300 canales multiplexados. A raíz de esto se podrán transmitir 12 [Tbps] de ancho de banda sobre una misma fibra.” (Buelvas, Téllez, Mateus, 2009)

En la red analizada se verificó el tráfico en cada uno de los nodos presentados en el diseño, donde se usó una tasa de transmisión de 10 [Gbps] para cada nodo y para las ciudades principales como son Quito y Tulcán al tener mayor demanda y por ende mayor tráfico se utilizaron 4 tasas de transmisión (λ s) de 10 [Gbps] para que estas sean repartidas a lo largo de toda la red.

- **Potencia de la señal:** La potencia de entrada es proporcionada directamente por el láser emisor y la potencia de salida es el resultado de una amplia gama de sucesos que se presentan a lo largo del enlace óptico, como son: atenuación, dispersión, efectos no lineales en las fibras ópticas, amplificación óptica, conversión optoelectrónica, etc. (Buelvas, Téllez, Mateus, 2009)
- **Codificación:** Las señales eléctricas que llevan la información son codificadas al momento de ser convertidas a señales ópticas para ser transmitidas y de igual manera son decodificadas en los receptores ópticos para ser convertidas en señales eléctricas.
- **Tasa de bit errado (BER):** “Es igual a la tasa de bits errados en un total de bits transmitidos.” (Buelvas, Téllez, Mateus, 2009)

- **Ruido:** Se presenta en sistemas ópticos donde se realizan procesos de amplificación como es el OSNR el cual indica la razón que se tiene entre la potencia neta de la señal y la potencia neta del ruido. (Buelvas, Téllez, Mateus, 2009)

2.2 Análisis de materiales

2.2.1 Materiales que soportan tecnología DWDM

2.2.1.1 Materiales de protección

Mangas modelo 2179CS marca 3M (Arpatel Soluciones, 2018)

Características principales:

- Su función principal es proteger las fusiones de fibra óptica.
- Posee un nivel de protección IP68 los cual evita el ingreso de agua y polvo al interior de las misma.
- Posee un sellado completamente mecánico y se lo hace hermético mediante el uso de masilla que viene incorporado en el paquete, por lo que no se requiere de herramientas especiales.
- Posee múltiples entradas para el cable por lo que acepta distintas configuraciones.
- Posee una estructura de dos mitades para que sea sencillo el manejo de la fibra.

Termofundentes marca 3M (Arpatel Soluciones, 2018)

Características principales:

- Baja pérdida por inserción y reflexión.
- Costo de material bajo.
- Protege la fusión.

2.2.1.2 Materiales mecánicos

Herrajes tipo A para fibra óptica (Arpatel Soluciones, 2018)

Características principales:

- Herrajes tipo A para vanos de hasta 200 metros

- Estructura completamente galvanizada
- Resistentes a altas temperaturas, humedad, oxidación y salinidad.
- Se lo sujeta al poste mediante cinta metálica.
- Posee soldaduras de alta calidad y resistente a esfuerzos.

Herrajes tipo B (cónico) para fibra óptica (Arpatel Soluciones, 2018)

Características principales:

- Herrajes tipo B para vanos de hasta 200 metros.
- Parte interna compuesta por dos piezas de caucho.
- Caucho resistente a rayos U.V.
- Fabricado para cualquier calibre de fibra óptica ADSS.
- Es resistente a humedad, altas temperaturas y salinidad.

Preformados para vanos de 200 metros (Arpatel Soluciones, 2018)

Características principales:

- Preformados para vanos de fibra óptica de hasta 200 metros.
- Compuesto por 5 hilos de alambre para mayor resistencia
- Parte interna compuesta con componente abrasivo para mayor agarre de la fibra
- Es resistente a humedad, altas temperaturas y salinidad.

Tapones abiertos (Simplex) (Arpatel Soluciones, 2018)

Características principales:

- Estos tapones son utilizados para sellar efectivamente los subductos que contienen un solo cable.
- Son retro-conformables, removibles y re-usables
- Previene costosas inundaciones y en efecto representa una alternativa económica a largo plazo
- Facilitan la distribución de los cables ya que se puede organizar de manera adecuada los mismos

Tapones cerrados (Ciegos) (Arpatel Soluciones, 2018)

Características principales:

- Construido completamente con plástico por lo que es resistente a la corrosión
- Produce un cierre completamente hermético al aire, agua o gas. Es de fácil instalación.
- Se lo produce mediante moldeo por inyección y es resistente a productos químicos.

Tapones trifurcados (Arpatel Soluciones, 2018)

Características principales:

- Pueden abrirse facilitando el anclaje, organización y soporte de hasta tres subductos.
- Se garantiza la impermeabilidad y hermeticidad a largo plazo
- Elimina efectos abrasivos sobre el cable.
- Sus juntas permiten la expansión y contracción de los cables y subductos y de esta manera los libera de posibles fugas.

Tubería de PVC Norma 2227 (Arpatel Soluciones, 2018)

Características principales:

- Posee una alta resistencia al impacto y al aplastamiento
- Baja conductividad térmica y eléctrica
- Absorción del agua menor a 0.3%
- Reversión longitudinal menos al 5%

2.2.1.3 Equipos ópticos, materiales activos y pasivos

Fibra óptica ADSS G652D marca Prysmian vanos de 200 metros (Arpatel Soluciones, 2018)

Características principales:

- Fibra óptica de 24 hilos, 4 buffers, monomodo.
- Posee una varilla de vidrio reforzado como elemento central dieléctrico con lo cual se logra una instalación aérea auto-soportada con vida útil mínima de 20 años.
- Al ser dieléctrico no requiere de conexiones a tierra y en efecto es más seguro para los técnicos.

- Posee tecnología loose tube (PBT) impregnados por gel de petróleo repelente.
- Posee un núcleo seco como elemento de protección de humedad.
- En cuanto a elementos de tracción, posee hilos de aramida trazados en direcciones opuestas, logrando con esto una mejor resistencia y protección de la fibra.
- La cubierta exterior está compuesta por polietileno negro puro de alta densidad, resistente a rayos UV y crecimiento de hongos. Posee dos hilos de rasgado ubicados a 180 grados entre sí.
- Debido a su norma G652D, posee una atenuación de 0,25 dB/Km a una longitud de onda de 1550 nm.

OTDR 920XC (Arpatel Soluciones, 2018)

Características principales:

- 850/1300 nm de longitud de onda
- Rango dinámico de hasta 22db
- Mide la longitud y los defectos de la fibra en espiral

Optical Fibre Monitors (Arpatel Soluciones, 2018)

Características principales:

- Operación a 850/1300 nm
- Rango dinámico de pérdida de retorno de 90dB
- Monitorea la pérdida de curva y el estrés de la fibra
- Robusto para despliegue de campo

Optical Power Meter (Arpatel Soluciones, 2018)

Características principales:

- 850, 1310, 1490, 1550nm longitudes de onda calibradas
- Almacena hasta 1000 mediciones

Transmisores ópticos Cisco Prisma (Arpatel Soluciones, 2018)

Características principales:

- Baja sensibilidad de longitud de enlace para topologías de anillo
- Compatibilidad OFDM, 1k, 2k, 4k QAM (modulación de alta calidad)
- Longitud de onda ITU-T compatible para sistemas DWDM
- Control de ganancia automático seleccionable por el usuario (AGC)

- Alta inmunidad a las deficiencias
- 20-30 dB menos distorsión inducida por chirp y dispersión
- 75% de reducción en la generación de ruido de fibra

Receptores ópticos Cisco GS 7000 (Arpatel Soluciones, 2018)

Características principales:

- Ranuras modulares para MUX, DEMUX, CWDM, DWDM
- Almacenamiento para seis a ocho conectores
- Capacidad PHY remota
- Altamente escalable en ancho de banda y servicios
- No necesita configuración personalizada
- Mantiene las fibras organizadas y protegidas
- Posee un sistema Unity Gain
- Evita que afecte la ganancia general de la red

Light Source FLS-300

Características principales:

- Permite la prueba de redes ópticas pasivas (PON) en las tres longitudes de onda principales
- Utilizados en las redes de fibra hasta el hogar (FTTH) y de fibra a los locales (FTTP)

Cisco Network Convergence System 2000

Características principales:

- Establece parámetros para DWDM
- Escalabilidad masiva
- Rendimiento de alcance ultralargo
- Convergencia de red multicapa
- Bajo consumo de energía
- Procesamiento digital de señales uniforme

Cisco Splitters

Características principales:

- Escalable de servicios y expande ancho de banda
- Rendimiento de modulación
- Aumenta flexibilidad de mantenimiento

- Reduce las interrupciones con puente de paso
- Estabilidad ambiental

Switch Cisco Catalyst 2960 L

Características principales:

- Dispone de 8 a 48 puertos, soporta PoE y puertos SFP
- Aumento de confiabilidad y rentabilidad
- Determinados modelos admiten PoE
- Ofrecen 30 W de alimentación por puerto
- Usa el mismo puerto del switch para las VLANs de datos y voz

2.2.2 Tecnología coherente usada en la red implementada

Las redes DWDM típicas emplean un espaciado de canales de 50 [GHz], de acuerdo con el estándar internacional ITU-T G.694.1. A 10 [Gbps], la eficiencia espectral de velocidad de datos no era una preocupación importante, y analizado el formato de modulación simple on / off (OOK) era adecuado para el funcionamiento en la cuadrícula DWDM de 50 [GHz]. A 40 [Gbps], el ancho espectral de la señal es 4 veces mayor para OOK, produciendo un ancho espectral de señal demasiado amplio para caber a través de filtros ópticos de separación de canales de 50 [GHz] sin inducir sanciones excesivas. Por lo tanto, los desarrolladores de sistemas y transpondedores investigaron esquemas de modulación alternativos para permitir la propagación a 40 [Gbps] en la misma cuadrícula DWDM de 50 [GHz]. Estas técnicas incluyen transmisión binaria en forma de fase (PSBT), modulación por desplazamiento de fase diferencial (DPSK) y modulación por desplazamiento de fase en cuadratura de doble polarización (DP-QPSK). (Infinera, 2016)

En el diseño propuesto se usa la modulación DP-QPSK la cual codifica 4 bits por símbolo. De hecho, DP-QPSK es tan eficiente desde el punto de vista espectral ya que puede propagar una velocidad de datos de 127 [Gbps] a través de muchos filtros ópticos en cascada de 50 [GHz], como los multiplexores ópticos reconfigurables de adición / extracción (ROADM). Esta

tasa de datos más alta no solo permite el transporte de 100 Gigabit Ethernet, sino también la sobrecarga de administración del enlace OTN (Optical Transport Network) y el 20% de corrección de errores en la toma de decisiones generales (SD-FEC) para aplicaciones de alto rendimiento. (Infinera, 2016)

Por lo tanto, la transmisión a 100 [Gbps] utilizando DP-QPSK promete un buen formato de modulación para redes DWDM que operan en una red de 50 [GHz].

3. REGLAMENTACIÓN

En este capítulo se exponen los reglamentos y lineamientos que se siguen para el correcto despliegue de Fibra Óptica en el Ecuador tanto a nivel provincial como municipal, así también los parámetros de instalación de equipos y materiales que se usan en dicho tendido.

3.1 Reglamentos para desplegar fibra óptica en Ecuador

“La constitución de la República en el artículo 16 establece que todas las personas en forma individual o colectiva, tienen derecho al acceso universal a las tecnologías de información y comunicación”. (ARCOTEL, 2015).

La Ley Orgánica de Telecomunicaciones (LOT), establece el artículo 9 donde define a las redes de telecomunicaciones como “Sistemas y demás recursos que permiten la transmisión, emisión y recepción de voz, video, datos o cualquier tipo de señales, mediante medios físicos o inalámbricos, con independencia del contenido o información cursada”. (ARCOTEL, 2015).

Así también se establece que dicho despliegue de red contiene instalación, integración y construcción de elementos tanto activos como pasivos y las actividades a realizar hasta que esta se vuelva completamente operativa. (ARCOTEL, 2015).

De acuerdo a las normas establecidas por la UIT, para desplegar redes de Fibra óptica se deben cumplir con ciertos parámetros técnicos para su total funcionamiento y operabilidad, algunos de estos lineamientos se definen a continuación.

Recubrimiento primario: La fibra óptica está basada en un material químico llamado dióxido de silicio, el cual posee una elevada resistencia mecánica, esta resistencia por las imperfecciones que tiene la superficie puede ser reducida. Por lo tanto, se debe aplicar un recubrimiento primario después de que la fibra haya sido estirada hasta su tamaño.

“Las fibras con recubrimiento primario deben haberse sometido a prueba con una deformación equivalente al 1%. Para ciertas aplicaciones, puede ser necesaria una deformación de prueba más grande.” (UIT, 1996)

Recubrimiento secundario: “La protección secundaria de la fibra con recubrimiento primario se aplica utilizando agrupamiento holgado dentro de un tubo o ranura.” (UIT, 1996)

Cubierta: “El núcleo del cable debe estar revestido por una cubierta adecuada para las condiciones ambientales y mecánicas asociadas con el almacenamiento, la instalación y la explotación. La cubierta puede ser de una construcción compuesta y puede incluir elementos de resistencia mecánica.

La cubierta exterior debe ser resistente a la degradación debida a la radiación ultravioleta y a los peligros de origen biótico.” (UIT, 1996)

Armadura: “Las consideraciones relativas a la armadura en los cables de fibra óptica son en general las mismas que para los cables conductores metálicos. Sin embargo, debe considerarse la generación de hidrógeno debida a la corrosión. Debe recordarse que las ventajas de

los cables de fibra óptica, tales como su ligereza y flexibilidad, se reducirán cuando se pone armadura.

La armadura en los cables no metálicos puede constar de hilos de aramida, hebras reforzadas con fibra de vidrio o cinta de vendar, etc.” (UIT, 1996)

En el caso de redes Inalámbricas “se deberá cumplir las políticas y normas de precaución o prevención, así como las de mimetización y reducción de contaminación visual”. (ARCOTEL, 2015).

Las redes de Telecomunicaciones se clasifican en 2:

Redes públicas: “Podrán soportar la prestación de varios servicios, siempre que cuenten con el título habilitante respectivo”. (ARCOTEL, 2015).

Redes privadas: “Previo al inicio de instalación el prestador de Servicios de Telecomunicaciones deberá obtener en caso de ser red aérea la autorización para la utilización del espacio público aéreo otorgado por autoridad competente del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD)”. (ARCOTEL, 2015).

El 17 de abril del 2015 se establece un acuerdo por medio del Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información sobre "LAS POLITICAS RESPECTO DE TASAS Y CONTRAPRESTACIONES QUE CORRESPONDAN FIJAR A LOS GOBIERNOS AUTONOMOS DESCENTRALIZADOS CANTONALES O DISTRITALES EN EJERCICIO DE SU POTESTAD DE REGULACION DE USO Y GESTION DEL SUELO Y DEL ESPACIO AEREO EN EL DESPLIEGUE O ESTABLECIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA DE TELECOMUNICACIONES". (ARCOTEL, 2015), donde señalan que los GAD no están autorizados a definir tasas por el uso del espectro radioeléctrico, únicamente eso le corresponde de manera exclusiva al Gobierno Central y “al ser el espectro radioeléctrico materia de competencia

exclusiva del Gobierno Central, según el artículo 261 numeral 10 de la Constitución de la República, de acuerdo a lo dispuesto en los artículos 140 y 141 de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, le corresponde al Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información como órgano rector en esa materia, establecer las políticas, directrices y planes para la adecuada administración y gestión del espectro radioeléctrico, así como establecer las normas técnicas para la fijación de tasas o contraprestaciones; y, a la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, le compete la regulación sobre ocupación de bienes e infraestructuras privadas para la instalación de redes de telecomunicaciones, según el numeral 26 del artículo 144 de la referida Ley Orgánica.” (ARCOTEL, 2015).

3.1.1 Consejo Metropolitano de Quito ordenanza municipal N° 0022

“La Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda es la autoridad competente del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito para el otorgamiento de la licencia metropolitana urbanística de utilización o aprovechamiento de espacio público para la instalación de redes de servicio – LMU 40.” (Consejo Metropolitano de Quito, 2011).

Esta licencia se otorga a “personas naturales o jurídicas nacionales o extranjeras, de derecho privado o público que presten servicios de telecomunicaciones, televisión por cable y transmisión de datos, y otros servicios de telecomunicaciones que requieren tendido de cables.” (Consejo Metropolitano de Quito, 2011)

Se incluye los distintos tipos de postes que son usados para el tendido y soporte de cables, ductos, pozos, cajas de revisión, etc. No se incluye acometidas domiciliarias, equipos propios de telecomunicaciones, energía o la tecnología que se use para cada caso. (Consejo Metropolitano de Quito, 2011)

La instalación aérea de redes de energía eléctrica, de redes telefónicas, de televisión por cable, transmisión de datos y otros similares debe tener una ruta del cableado aéreo donde se tenga la máxima separación a edificios u

obstáculos y se deberá aludir o minimizar los números de cruces por avenidas principales. (Consejo Metropolitano de Quito, 2011)

En el caso del uso de postería el Consejo Metropolitano de Quito (2011) afirma que:

Los postes deberán localizarse preferentemente en sitios coincidentes con las prolongaciones de las líneas divisorias de las propiedades o de no ser esto posible, a una distancia mínima de 6 m. de las mismas. No se admitirá la localización de postes en las intersecciones de las vías, debiendo mantenerse una distancia mínima de 7 m. a partir de la cinta gotera de la acera.

La ubicación de las redes aéreas eléctricas y de telecomunicaciones debe ir en los postes de la siguiente manera como indica el Consejo Metropolitano de Quito (2011):

1. Red de energía eléctrica de media tensión.
2. Red de energía eléctrica de baja tensión.
3. Red de energía eléctrica de alumbrado público.
4. Redes de Telecomunicaciones.

Los costos o la tasa por utilización privativa o aprovechamiento del espacio público para la instalación de redes de servicio en el distrito metropolitano de Quito debe ser cancelada obligatoriamente al momento que se otorga la licencia LMU 40. Este rubro es cancelado por Zonas donde el Consejo Metropolitano de Quito (2011) determina lo siguiente:

- Zona A: Alta prioridad de desocupación del espacio.
- Zona B: Alta prioridad de reordenamiento del espacio aéreo.
- Zona C: Alta prioridad patrimonial y simbólica.
- Zona D: Grandes proyectos urbanos.
- Zona E: Para intervenciones especiales.

Donde por la utilización o aprovechamiento del espacio público aéreo en las zonas A, C, D y E, por cada metro lineal de cable y por año está obligado a cancelar \$0,35. (Consejo Metropolitano de Quito, 2011)

Mientras que por el uso o aprovechamiento del espacio público aéreo en las zonas B, por cada metro lineal de cable y por año está obligado a cancelar \$0,10. Se entiende por metro lineal de cable al conjunto de cables de los

prestadores de servicios que se encuentran ubicados en el espacio público aéreo en el mismo herraje. (Consejo Metropolitano de Quito, 2011)

3.2 Reglamentos y permisos de uso de postería

La ubicación de redes físicas aéreas de Telecomunicaciones en un poste, se hace mediante la infraestructura de las redes eléctricas; esto quiere decir, bajo redes eléctricas de medio, bajo voltaje y alumbrado público, siguiendo algunos lineamientos descritos a continuación:

1. “La distancia de separación vertical entre el piso y el último cable sujeto al poste, debe ser de 5 m; y además, deberán estar un mínimo de 50 cm debajo del tendido eléctrico de baja tensión.” (ARCOTEL, 2015).
2. Para redes de fibra óptica con instalación aérea, no se hará uso de los elementos activos que formen parte de las estructuras de redes eléctricas.
3. El tendido de redes de fibra óptica con instalación aérea, se lo hará al lado de cada calzada de los postes y siendo de un mismo propietario deben ser instaladas en su respectivo herraje, encontrarse empaquetadas, adosadas y con su respectiva etiqueta.
4. “En cada poste no se permitirá más de seis cables de transporte o distribución, ni más de ocho cables de redes para servicio a abonados/clientes/suscriptores o acometidas, por cada ubicación en el herraje.” (ARCOTEL, 2015).
5. Los herrajes serán instalados por personas naturales o jurídicas que sean dueñas de postes de acuerdo a la estandarización de los herrajes establecida por ARCOTEL.
6. “Para el tendido de las redes físicas aéreas, no se autoriza usar postes ornamentales que sirven exclusivamente de alumbrado público, o estructuras de subtransmisión y transmisión de energía eléctrica.” (ARCOTEL, 2015).

3.3 Reglamentos de instalación

1. El Consejo Metropolitano de Quito (2011) dice que la ubicación de los paquetes de cables o fibra óptica de los propietarios de redes físicas aéreas deberán estar ubicados en cada uno de sus herrajes respectivamente, donde tendrán una separación de:
 - 40 cm bajo la red de baja tensión
 - 60 cm bajo la red de alumbrado público
 - 325 cm bajo la red de media tensión
2. Al ser necesario dejar una reserva de cable, está se la hará en infraestructuras subterráneas siendo el caso de tener dicha posibilidad; caso contrario es factible dejar reserva de cable entre postes “utilizando de preferencia ménsulas de material sintético (tipo “snow shoes”) o formando una figura “8” y cosidas o tejidas. La reserva de cable tendrá como máximo el 40% de la distancia del vano de poste a poste, y será instalada a 1 m alejada del poste; dichas reservas deberán estar fuera del empaquetamiento del propietario de redes físicas aéreas.” (ARCOTEL, 2015).
3. Los elementos pasivos podrán ser instalados únicamente en postes donde se encuentren equipos de transformación, protección y seccionamiento eléctrico, apoyados en el cable a una distancia de 1.40 m, esto se realizará siempre que el elemento pasivo a instalar no sobrepase los 2 kg.
4. “Los elementos activos deberán ser instalados en un espacio de 1 m bajo el destinado para los elementos pasivos.” (ARCOTEL, 2015). También podrán ser instalados elementos activos que no superen los 10 kg en el cable de un propietario de cualquier red, considerando una distancia de 1.40 m del poste y con el menor impacto visual posible.
5. Las puestas a tierra podrían coincidir en el mismo poste las de las redes físicas aéreas con las de la red eléctrica y se deberán evitar los cruces aéreos a lo largo de los vanos.

“Sin embargo, en aquellos casos donde la factibilidad técnica no permita otro modo de implementación, se tenderá a un único cruce hacia un poste en el cual converjan todas las redes aéreas con el menor impacto visual, de conformidad con las normativas de los Gobiernos Autónomos Descentralizados; para tal fin, el propietario de la red física coordinará lo pertinente con el propietario de los postes, a fin de que se realice la instalación correspondiente.” (ARCOTEL, 2015)

6. “Los vanos para la instalación de redes físicas aéreas deberán guardar una longitud máxima de 50 m. entre poste y poste en zonas urbanas. Para vanos mayores, en caso de que se requiera para cumplimiento de la presente norma, los propietarios de los postes, a su costo y previo el cumplimiento del ordenamiento jurídico correspondiente, deberán instalar los adicionales necesarios.” (ARCOTEL, 2015).
7. “Para la instalación de redes físicas aéreas en puentes peatonales o vehiculares existentes, en caso de que no existan facilidades para instalación de redes físicas de telecomunicaciones, se usará tubería metálica (EMT), mangueras EMT y cajas metálicas para exteriores, dependiendo de la capacidad de la red, con sus respectivos accesorios que garanticen la seguridad de las redes y de la ciudadanía (peatón) las cuales estarán ubicadas en la parte lateral o inferior de los puentes y para el efecto deben contar con la autorización correspondiente de la persona natural o jurídica propietaria de los puentes peatonales.” (ARCOTEL, 2015).

4. PROPUESTA DE MEJORA DEL SISTEMA A NIVEL DE FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica que se usa en el diseño de la red analizado a lo largo del documento es la que se encuentra en la norma G652, pero se propone que para nuevos tendidos de red de fibra óptica de largas distancias se use G655. G652 al presentar un alto valor de dispersión en la ventana de 1550 nm debe utilizar equipos compensadores de dispersión lo cual representa un aumento

de gastos en cuanto a equipos, instalación y sobretodo mantenimiento de los mismos.

Mientras tanto G655 al igual que G652 trabaja en la ventana de transmisión de 1550 nm, teniendo la ventaja de que su dispersión es nula permitiendo la transmisión a grandes distancias y altas velocidades, reduciendo el costo por los equipos compensadores de dispersión y la cual también soporta tecnología DWDM.

Tomando en cuenta que el diseño es un sistema de alta capacidad se recomienda utilizar G655, considerando que en este tipo de fibra óptica al momento de migrar a la tecnología DWDM solo se realizaría el cambio de equipos teniendo un aumento en la capacidad del sistema.

En la tabla 6 se muestra las especificaciones definidas por la UIT-T para la norma G655

Tabla 6.

Características de la fibra óptica monomodo de dispersión desplazada no nula

Características	Unidad	Valor
Atenuación		
Atenuación a 1550 nm	dB/Km	≤ 0.35
Atenuación a 1625 nm	dB/Km	≤ 0.4
Dispersión cromática		
Dispersión cromática entre 1550 y 1565 nm	ps/nm.Km	1,0 a 10,0 (normal 8 a 1550nm)
Dispersión cromática entre 1565 y 1625 nm	ps/nm.Km	7,5 a 13,4 (normal 12 a 1625nm)
Longitud de onda de dispersión nula	nm	≤ 1425
Medidas físicas		
Diámetro del campo modal a 1550 nm	μm	9.2 ± 0.5
Diámetro de la cubierta	μm	125 ± 1
No circularidad de la cubierta	%	≤ 1
Error de concentricidad de	μm	≤ 0.6

núcleo/cubierta a 1550 nm		
Valores típicos		
Índice de refracción a 1550 nm		1.4692
Longitud de onda de corte	nm	1450

Tomado de (*Llumiquinga, 2008*)

Para una propuesta de mejora con más exactitud y una elección de fibra óptica G655 adecuada, se hace una comparación de características de diferentes marcas de fabricantes de fibras ópticas.

En la tabla 7 se muestra las características técnicas que ofrecen algunos de estos fabricantes.

Tabla 7.

Características de 3 fabricantes de fibra óptica

Parámetro	Unidad	ALCATEL	FURUKAWA	FUJIKURA
Rango de longitud de onda utilizable	nm	1.510 a 1.575	1.525 a 1.565	1.530 a 1.565
Máxima atenuación	dB/Km	≤0.3	≤0.22	≤0.25
Diámetro del campo modal a 1550 nm	μm	10.2±1.0	9.2±10	10.5±1.0
Diámetro de la cubierta	μm	125.0±1.0	125.0±0.7	125.0±1.0
Dispersión cromática	ps/nm.Km	≤9	2.6-6	≤10
Longitud de onda de corte	nm		1450	
Fuerza de tensión dinámica	kN	≤20	20	≤17.85
Peso	Kg/Km	200	270	24
Radio de curvatura mínimo	cm	22	27.8	24
Catenaria		15% del vano	1% del vano	0.8% del vano

Temperatura de operación		-40°C a +75°C	-60°C a +85°C	-40°C a +75°C
--------------------------	--	---------------	---------------	---------------

Tomado de (Llumiyinga, 2008)

Teniendo esta comparación la marca Furukawa maneja los valores de atenuación y dispersión más bajos, por lo tanto se puede decir que para un tendido de fibra óptica futuro o una migración a G655 se puede utilizar este cable Furukawa ADSS.

Los cables de fibra óptica ADSS son ideales para la instalación en distribución así como también en entornos de transmisión, incluso cuando se requieren instalaciones en línea. Como su nombre lo indica, no se necesita soporte o cable de mensajería, por lo que la instalación se logra de una sola pasada, lo que convierte a ADSS en un medio económico y simple de lograr una red de fibra óptica. (Arpatel Soluciones, 2018)

En la figura 20 se muestra el diseño de la fibra óptica seleccionada.

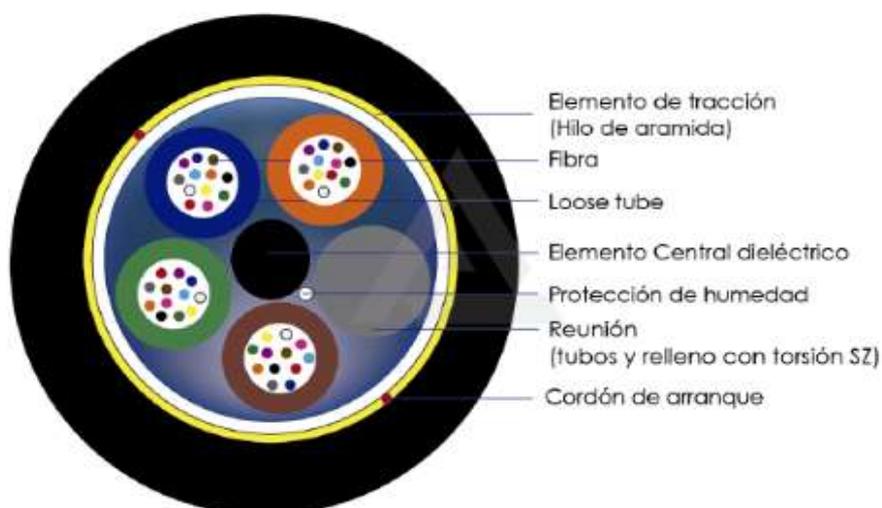


Figura 18. Cable ADSS 48 hilos G655

Tomado de (Arpatel Soluciones, 2018)

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El diseño de red analizado en este documento partió de la necesidad que tienen los operadores privados de telecomunicaciones en abastecer la gran demanda de usuarios que requieren de servicios de internet hoy en día y de tener una red que sea completamente escalable, adaptable y de gran capacidad.

En este documento se presenta la comparación de los diversos tipos de fibras las cuales podrán cumplir con un amplio espectro de aplicaciones según las necesidades del usuario y el fabricante.

El aumentar el ancho de banda arrendando hilos de fibra óptica resulta ser muy costoso, por lo que se pensó hacer un análisis basado en una red óptica implementada físicamente que usa la tecnología DWDM, la cual dicha tecnología tiene como parámetro principal una velocidad de 10 [Gbps] con una multiplexación de hasta 240 longitudes de onda y no solo reduce estos costos si no aumenta el ancho de banda utilizando redes existentes combinando y transmitiendo varias señales simultáneamente dentro de la misma fibra óptica.

La fibra óptica que actualmente está en funcionamiento es de 24 hilos de los cuales solo se están usando 4, dejando los demás disponibles para arrendamiento u otros servicios de telecomunicaciones.

El diseño de la red analizada está construida con una ruta que está compuesta de nodos intermedios, los cuales son los más convenientes para un análisis de tráfico exitoso.

Los nodos intermedios son Guayllabamba y El Ángel y fueron colocados con proyecciones a futuro en temas de escalabilidad y para evitar el uso de amplificadores Raman.

Las distancias están definidas por medio de trazas reflectométricas la cual consiste en una prueba que es realizada desde un extremo por un solo técnico y son obtenidas con OTDR.

Los niveles de atenuación promedio son calculados para dimensionar con mayor precisión las características técnicas de instalación que van a requerir los equipos a lo largo de toda la red y en cada uno de los nodos.

Se analizó el tráfico que se tiene en cada uno de los nodos tanto principales como intermedios, donde se usó una tasa de transmisión de 10 [Gbps] para los nodos intermedios y 4 longitudes de onda (λ) de 10 [Gbps] respectivamente para las ciudades principales que son Quito y Tulcán, de lo cual se obtuvo un considerable aumento en el ancho de banda de toda la red.

Los materiales que se utilizaron para la construcción de esta red están pensados y previamente analizados para que soporten tecnología DWDM, una fibra óptica totalmente robusta, con alta capacidad, funcional que debió ser sometida a pruebas antes de su despliegue con un recubrimiento primario y deformación equivalente al 1% tal como indica la UIT.

Los cálculos para el dimensionamiento de usuarios o abonados que requieren servicio de internet se hace en función al número de abonados por sector y algunos otros factores tomados en cuenta los cuales son considerados confidenciales de cada operador.

ARCOTEL indica que los equipos de mediciones tanto activos como pasivos serán instalados únicamente en postes; los equipos pasivos deben estar colocados con un espacio de 1 m bajo el lugar destinado para los equipos activos

Los lineamientos son a nivel de gobiernos prefecturas y municipios para poder desplegar una red de fibra óptica y ubicar con exactitud todos los materiales que van a soportar este tendido evitando sanciones a nivel de infraestructura,

los cuales están definidos por las agencias regulatorias del Ecuador que son ARCOTEL, Ministerio de Telecomunicaciones, etc.

El Consejo del Distrito Metropolitano de Quito emite una licencia LMU 40 a las personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras, de derecho privado o público que presten servicios de telecomunicaciones, televisión por cable y transmisión de datos, y otros servicios de telecomunicaciones que requieren tendido de cables.

Esta licencia establece variables a nivel de infraestructura e instalación tanto de equipos como de cableado aéreo en las zonas que maneja el Distrito Metropolitano de Quito las cuales están divididas en A, B, C, D y E.

5.2 Recomendaciones

Para los tendidos de fibra óptica en el Ecuador, se recomienda utilizar equipos y materiales que se encuentren homologados por CNT EP.

Se debe utilizar equipos que cumplan con las especificaciones de diseño las cuales soporten la tecnología que se está explicando y utilizando que es DWDM.

Los parámetros de espaciamiento de canales en redes DWDM deben estar certificados de acuerdo al estándar internacional ITU-T.694.1.

De acuerdo a las normas establecidas por la UIT se deben cumplir ciertos parámetros técnicos para el despliegue correcto de fibra óptica como son los recubrimientos tanto primario como secundario, que la fibra sea correctamente cubierta, tenga una armadura robusta, etc.

En fibra óptica el dimensionamiento de usuarios siempre debe hacerse con una proyección a 5 años.

Se recomienda que se tome en cuenta la propuesta de la migración o tendidos nuevos con fibra G655, ya que está ofrece un mejor funcionamiento en redes de largas distancias con mayor capacidad y una implementación fácil para DWDM.

De acuerdo a las normas establecidas por ARCOTEL en Ecuador se recomienda que las redes inalámbricas cumplan con normas de precaución y prevención para la reducción de contaminación visual en las ciudades.

Como dato importante en los últimos años el internet y las telecomunicaciones dejaron de ser un servicio exclusivo convirtiéndose en un servicio básico para el ser humano.

En el caso de tener redes físicas aéreas ARCOTEL no autoriza utilizar postes ornamentales los cuales son usados únicamente para alumbrado público.

Las mediciones y tasas reflectométricas deben ser realizadas con OTDR's y equipos autorizados.

Para un correcto funcionamiento de la red, se deben realizar mantenimientos periódicos y contar con personal calificado.

Se recomienda estar bien informados sobre los parámetros de instalación tanto de equipos como materiales para así evitar futuras sanciones por parte de las entidades regulatorias y ofrecer un excelente servicio.

REFERENCIAS

- Agrawal, G. (2002). *Fiber-Optic Communications Systems* (3rd ed., pp. 1-200). Rochester: John Wiley & Sons, Inc. Recuperado el 10 de julio de 2018 de [https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779572211086/Fiber-Optic%20Communication%20Systems%20\(3rd%20ed,%202002\).pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779572211086/Fiber-Optic%20Communication%20Systems%20(3rd%20ed,%202002).pdf)
- Aleben. (2013). Fibra Óptica - Qué es y Cómo funciona. Recuperado el 1 de julio de 2018 de <https://www.alebentelecom.es/servicio-informaticos/faqs/fibra-optica-que-es-y-como-funciona>
- Alomía, R. (2018). Redes de fibra óptica [Blog]. Recuperado el 5 de agosto de 2018 de <https://www.arpatel.com.ec/>
- América noticias. (2018). ¿Cuántos megas gastas al ver un video de YouTube desde tu celular?. [Blog]. Recuperado el 5 de agosto de 2018 de <https://www.americatv.com.pe/noticias/tecnologia/youtube-cuantos-megas-consume-video-n290774>
- Antil, R., Pinki., y Beniwal, S. (2012). *An Overview of DWDM Technology & Network. INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC & TECHNOLOGY RESEARCH*, 1(11), 43 – 46.
- ARCOTEL. (2015). NORMA TÉCNICA DESPLIEGUE Y TENDIDO REDES
- ARCOTEL. (2018). Cuentas y usuarios del servicio de acceso a Internet. Recuperado el 4 de agosto de 2018 de <http://www.arcotel.gob.ec/servicio-acceso-internet/>
- Beber, K. (2015). Fibras ópticas y ondas electromagnéticas [Blog]. Recuperado el 26 de julio de 2018 de <https://beberekaterina.wordpress.com/>
- BeyondTech. (2017). ¿Cuáles son las diferencias entre las fibras ópticas monomodo G.652 y G.655? [Blog]. Recuperado el 5 de agosto de 2018 de <https://beyondtech.us/blogs/beyondtech-en-espanol/cuales-son-las-diferencias-entre-las-fibras-opticas-monomodo-g-652-y-g-655>
- Buelvas, D., Téllez, I., y Mateus, E. (2010). REDES ÓPTICAS DWDM: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN. *Revista Visión Electrónica*, 4(1), 70 – 80.

- Cablescom. (2018). FIBRA ÓPTICA MONOMODO. G652D. [Blog]. Recuperado el 6 de agosto de 2018 de https://cablescom.com/wp-content/uploads/2015/11/SM09_G652D_e.pdf
- Caizaluisa, J. (2009). ESTUDIO PARA LA INTEGRACIÓN DE LA TÉCNICA DE MULTIPLEXACIÓN DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) DENTRO DE UN ENLACE QUITO – GUAYAQUIL QUE UTILICE SDH COMO TÉCNICA DE TRANSMISIÓN PARA UNA MEDIANA EMPRESA (tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Caizaluisa, J. (2009). ESTUDIO PARA LA INTEGRACIÓN DE LA TÉCNICA DE MULTIPLEXACIÓN DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) DENTRO DE UN ENLACE QUITO – GUAYAQUIL QUE UTILICE SDH COMO TÉCNICA DE TRANSMISIÓN PARA UNA MEDIANA EMPRESA PORTADORA (tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Cisco. (2012). *Asynchronous Transfer Mode Switching* DocWiki. Recuperado el 17 de junio de 2018 de http://docwiki.cisco.com/wiki/Asynchronous_Transfer_Mode_Switchin
- CISCO. (2013). *Cisco Network Convergence System 2000*. Recuperado el 29 de julio de 2018 de https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/assets/docs/pdf/NCS2000-Platform.pdf
- Consejo Metropolitano de Quito. (2011). ORDENANZA METROPOLITANA QUE ESTABLECE EL RÉGIMEN ADMINISTRATIVO DE OTORGAMIENTO Y APLICACIÓN DE LA LICENCIA METROPOLITANA URBANÍSTICA DE UTILIZACIÓN O APROVECHAMIENTO DEL ESPACIO PÚBLICO PARA LA INSTALACIÓN DE REDES DE SERVICIO - LMU 40 (pp. 3 - 32). Quito: Lexis S.A.
- Criollo, S. (2015). DISEÑO DE UNA RED CONVERGENTE DE FIBRA ÓPTICA PARA INTERCONECTAR LOS CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD DE

- LAS AMÉRICAS (*tesis de maestría*). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Espinoza, K. (2012). Normas de las fibras ópticas monomodo g-652, g655, g657; y las multimodo g-651. Presentación.
- EVOLUCIÓN HACIA DWDM” (tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- EXFO. (2018). *FLS-300 | Light Sources | FTTx Optical Test | PON*. Recuperado el 28 de julio de 2018 de <https://www.exfo.com/en/products/field-network-testing/optical-power-loss-testing/light-sources/fls-300/>
- Fernandez, A. (2012). Fibra Óptica. *Presentación*. Recuperado el 27 de julio de 2018 de <https://es.slideshare.net/antoniogf93/la-fibra-optica-juan-antonio-garcia-fernandez>
- FÍSICAS TELECOMUNICACIONES (p. 15). Quito: Lexis.
- FOA *Reference Guide To Fiber Optics*. (2018). Recuperado el 6 de junio de 2018 de <http://www.thefoa.org/ESP/Sistemas.htm>
- FS.COM. (2014). *Difference Between SONET/SDH and DWDM* [Blog]. Recuperado el 24 de julio de 2018 de <https://community.fs.com/blog/the-relation-and-difference-between-sonetsdh-and-dwdm.html>
- García, C. (2006). Análisis de la Tecnología IP sobre WDM (tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Gerónimo, C. (2014). MANUAL DE COMUNICACIONES POR FIBRAS OPTICAS. Issu.com. Recuperado el 5 de julio de 2018 de https://issuu.com/cesargeronomo2/docs/libro_de_comunicaciones_opticas
- Gómez, R. (2007). “ESTUDIO Y ANÁLISIS DE PÉRDIDAS EN REDES DE FIBRA ÓPTICA BASADAS EN EL ESTÁNDAR SONET/SDH Y SU
- Google Sites. (2010). Red punto a punto [Blog]. Recuperado el 15 de mayo de 2018 de <https://sites.google.com/site/telecomunicacionaa/red-punto-a-punto>

- Gordillo, G. (2008). Que Es La Multiplexación. Recuperado el 15 de junio de 2018 de <https://es.slideshare.net/ggordillo/que-es-la-multiplexacin-presentation>
- Infinera. (2016). *Coherent WDM Technologies* (pp. 2-15). Sunnyvale, CA: Infinera Corporation.
- Laude, J. (2002). *DWDM Fundamentals, Components, and Applications*. Artech House. Recuperado el 20 de junio de 2018 de <http://www.acad.bg/ebook/Networking/DWDM%20Fundamentals,%20Components,Applications.pdf>
- LlumiQuinga, D, Mullo, C. (2008). ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA REDUNDANTE DE FIBRA ÓPTICA QUITO – GUAYAQUIL PARA LA RED DE TELCONET S.A. (*tesis de pregrado*). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- Lui, S. (2018). *Single mode fiber type: G652 vs G655 fiber*. [Blog]. Recuperado el 7 de agosto de 2018 de <http://www.fiber-optic-cable-sale.com/single-mode-fiber-type-g652-vs-g655-fiber.html>
- Muñoz, R. (2018). El número de líneas móviles supera por primera vez a la población mundial [Blog]. Recuperado el 5 de agosto de 2018 de https://elpais.com/tecnologia/2018/02/27/actualidad/1519725291_071783.html
- OPTRAL. (sf). FIBRA ÓPTICA MONOMODO SMF - NZDS. [Blog]. Recuperado el 7 de agosto de 2018 de <http://www.optral.es/ficheros/catalogo/pdf/ETW04008.pdf>
- Orange. (2018). ¿Cuánto ancho de banda consumen varios dispositivos conectados a la vez?. [Blog]. Recuperado el 5 de agosto de 2018 de <https://ayuda.orange.es/particulares/orange-tv/multidispositivo/1081-cuanto-ancho-de-banda-consumen-varios-dispositivos-conectados-a-la-vez>
- Papadimitriou, G., Tsimoulas, P., Obaidat, M., & Pomportsis, A. (2003). *Multiwavelength Optical LANs* (1st ed., pp. 114-117). West Sussex: John Wiley & Sons Ltda. Recuperado el 10 de julio de 2018 de <https://books.google.com.ec/books?id=DEtkjxnMflsC&pg=PA116&lpg=>

PA116&dq=atm+over+dwdm&source=bl&ots=m9gr0GG8PN&sig=L_Tl
 VJBFjxEtHViu9jcAiVwNSQM&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwiy98b4kJ
 rXAhUJWCYKHWRRA_YQ6AEI VzAH#v=onepage&q&f=true

- Pierce, J., & Noll, M. (1995). Señales: La Ciencia de las Telecomunicaciones. (1st ed., pp. 100,101). New York, USA: REVERTÉ. Recuperado el 14 de junio de 2018 de https://books.google.com.ec/books?id=xxY094_Zpb8C&pg=PA100&lpg=PA100&dq=como+se+combinan+las+longitudes+de+onda+para+ser+multiplexadas&source=bl&ots=3q2YxD0Hlh&sig=ocAdO65C4605e3eZmYFSSbtZAPI&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwipmqvCvP3WAhVCRyYKHcFaDU0Q6AEIaTAR#v=onepage&q=como%20se%20combinan%20las%20longitudes%20de%20onda%20para%20ser%20multiplexadas&f=false
- Ramos, B. (2005). "DISEÑO DE UN ENLACE WDM SOBRE LA RED TRONCAL DE FIBRA ÓPTICA QUITO-GUAYAQUIL DE ANDINATEL S.A." (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica del Ejército, Quito, Ecuador.
- Ramos, F. (2009). Amplificadores ópticos Raman [Blog]. Recuperado el 30 de junio de 2018 de <https://www.conelectronica.com/redes-industriales/amplificadores-opticos-raman>
- Reynolds, S. (2010). Evolución de las Redes Ópticas. Revistas académicas UTP. Recuperado el 20 de julio de 2018 de <http://www.revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/527/html>
- Schmidberg, E. (s.f.). INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA SDH. Presentación, Argentina.
- Services, P. (2018). *Cisco GS7000 Node*. Recuperado el 27 de julio de 2018 de <https://www.cisco.com/c/en/us/products/video/g7000-node/index.html>
- Services, P. (2018). *Cisco Splitters, Directional Couplers, Power Inserters*. Recuperado el 29 de julio de 2018 de <https://www.cisco.com/c/en/us/products/video/splitters-directional-couplers-power-inserters/index.html>

- Servicios, P. (2018). *Switch Cisco Catalyst de la serie 2960 L*. Recuperado el 20 de julio de 2018 de https://www.cisco.com/c/es_mx/products/switches/catalyst-2960-l-series-switches/index.html#~stickynav=3
- Szymanczyk, O. (2014). Elementos de la Red Óptica (pp. 54-58). Argentina. Recuperado el 27 de julio de 2018 de <http://www.oscarszymanczyk.com.ar/documentos/ANEXO%207.pdf>
- Tábora, J. (2007). IP SOBRE WDM (tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- The Elastic Network. (s.f.). *IP over DWDM*. Recuperado el 21 de julio de 2018 de http://www.ecitele.com/media/1958/eci_ip-over-dwdm_white-paper.pdf
- The Fiber Optic Association. (2003). *FOA Tech Topics: DWDM, Dense Wavelength Division Multiplexing*. Recuperado el 22 de junio de 2018 de <http://www.thefoa.org/tech/dwdm.htm>
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. (4th ed., p. 754). Mexico: Pearson Education de Mexico. Recuperado el 14 de junio de 2018 de https://books.google.com.ec/books?id=_2HCio8aZiQC&pg=PA708&lpg=PA708&dq=como+se+combinan+las+longitudes+de+onda+para+ser+multiplexadas&source=bl&ots=vvY2L2AOnj&sig=jdy3FXAVguAcJoAeIF77RJUEGS8&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwipmqvCvP3WAhVCRyYKHcFaDU0Q6AEIzjAQ#v=onepage&q=longitudes%20de%20onda&f=false
- UIT-T. (1993). *CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y PROTECCIÓN DE LOS CABLES Y OTROS ELEMENTOS DE PLANTA EXTERIOR* (pp. 1-10). Melbourne.
- UIT-T. (2003). *Características de fibras y cables ópticos monomodo con dispersión desplazada no nulo* (pp. 1-6). Melbourne.
- UIT-T. (2005). *Características de las fibras y cables ópticos monomodo* (pp. 1 - 6). Melbourne.

- UIT-T. (2007). Características de un cable de fibra óptica monomodo (pp. 1-5). Melbourne.
- Venegas, B. (2014). ESTUDIO TÉCNICO - ECONÓMICO SOBRE EL IMPACTO DE LAS REDES DE TELECOMUNICACIONES Y PROPUESTA DE NORMATIVA PARA EL DESPLIEGUE DE REDES AÉREAS EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO (tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Zapata, V. (2016). Dispositivos activos y pasivos. Presentación. Recuperado el 27 de julio de 2018 de <https://www.slideshare.net/victor1973/dispositivos-activos-y-pasivos>
- Zhu, A. (2017). *How to use WDM for Fiber Capacity Expansion?* [Blog]. Recuperado el 27 de julio de 2018 de <http://www.fiber-optic-solutions.com/use-wdm-fiber-capacity-expansion.html>
- Zuaznabar, V., & López, M. (2009). Evolución de la Fibra Óptica en el Futuro. Recuperado el 10 de julio de 2018 de <http://www.monografias.com/trabajos76/evolucion-fibra-optica-futuro/evolucion-fibra-optica-futuro2.shtml>

