



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE LA CAPA FÍSICA DE UN SISTEMA DE RED ÓPTICA PASIVA (PON),
CON TOPOLOGÍAS ORIENTADAS A SOLUCIONES CORPORATIVAS
PARA OPTIMIZACIÓN DEL USO DE FIBRA ÓPTICA**

Javier Eduardo Melgar Castillo

Asesorado por la Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota

Guatemala, octubre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA CAPA FÍSICA DE UN SISTEMA DE RED ÓPTICA PASIVA (PON),
CON TOPOLOGÍAS ORIENTADAS A SOLUCIONES CORPORATIVAS
PARA OPTIMIZACIÓN DEL USO DE FIBRA ÓPTICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JAVIER EDUARDO MELGAR CASTILLO

ASESORADO POR LA INGA. INGRID SALOMÉ RODRÍGUEZ DE LOUKOTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, OCTUBRE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota
EXAMINADOR	Ing. Jose Antonio de León Escobar
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE LA CAPA FÍSICA DE UN SISTEMA DE RED ÓPTICA PASIVA (PON),
CON TOPOLOGÍAS ORIENTADAS A SOLUCIONES CORPORATIVAS
PARA OPTIMIZACIÓN DEL USO DE FIBRA ÓPTICA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 10 de octubre de 2014.



Javier Eduardo Melgar Castillo

Guatemala 7 de agosto de 2015

Ingeniero
Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

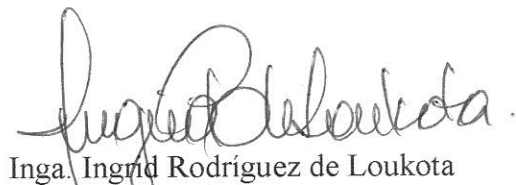
Estimado Ingeniero Guzmán.

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE LA CAPA FÍSICA DE UN SISTEMA DE RED ÓPTICA PASIVA (PON), CON TOPOLOGÍAS ORIENTADAS A SOLUCIONES CORPORATIVAS PARA OPTIMIZACIÓN DEL USO DE FIBRA ÓPTICA**, del señor **Javier Eduardo Melgar Castillo**, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesora, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,



Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota
Colegiada 5,356
Asesora

Ingrid Rodríguez de
Ingeniera en Electrónica
colegiado 5356



Ref. EIME 61. 2015

Guatemala, 14 de AGOSTO 2015.

Señor Director
Ing. Francisco Javier González López
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA CAPA FÍSICA DE UN SISTEMA DE RED ÓPTICA PASIVA (PON), CON TOPOLOGÍAS ORIENTADAS A SOLUCIONES CORPORATIVAS PARA OPTIMIZACIÓN DEL USO DE FIBRA ÓPTICA**, del estudiante **Javier Eduardo Melgar Castillo**, que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. ~~Carlos Eduardo Guzmán Salazar~~
Coordinador Área Electrónica



sro



REF. EIME 61. 2015.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; JAVIER EDUARDO MELGAR CASTILLO, titulado: DISEÑO DE LA CAPA FÍSICA DE UN SISTEMA DE RED ÓPTICA PASIVA (PON), CON TOPOLOGÍAS ORIENTADAS A SOLUCIONES CORPORATIVAS PARA OPTIMIZACIÓN DEL USO DE FIBRA ÓPTICA, procede a la autorización del mismo.

Ing. Francisco Javier González López



GUATEMALA, 25 DE SEPTIEMBRE 2,015.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE LA CAPA FÍSICA DE UN SISTEMA DE RED ÓPTICA PASIVA (PON), CON TOPOLOGÍAS ORIENTADAS A SOLUCIONES CORPORATIVAS PARA OPTIMIZACIÓN DEL USO DE FIBRA ÓPTICA**, presentado por el estudiante universitario: **Javier Eduardo Melgar Castillo**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Belanco
Decano



Guatemala, octubre de 2015

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser el creador y guiarme en el camino del bien.
Mis padres	Patricia Castillo Larios y Adolfo Melgar Pineda, por su apoyo y consejos todos estos años.
Mis hermanos	Adolfo, Juan Pablo, Paulina Melgar Castillo, por ser un apoyo incondicional y ser el complemento de mis padres.
Mis abuelas	Martha Larios (q. e. p. d.) y Teodolinda Pineda, por sus sabios consejos y cariño.
Mis abuelos	Francisco Castillo (q. e. p. d.) y Adolfo Melgar (q. e. p. d.), por ser la base en la familia.
Mis tíos	Por sus consejos y palabras de aliento.
Mis primos	Por compartir con ellos grandes momentos.
Mis amigos	Por permitirme formar parte de su vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la vida y permitirme ser un hombre de bien.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi alma máter.
Facultad de Ingeniería	Por ser mi segundo hogar en el camino del conocimiento.
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica	Por los profesionales que puso en mi camino, de los cuales aprendí lo mejor.
Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota	Por su asesoramiento tan valioso.
Cyndy Mabel Gómez	Por brindarme su apoyo incondicional.
Ingeniero Tomas Arévalo	Por su apoyo y guía fundamental.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Transmisión por fibra óptica	1
1.1.1. Características de la fibra óptica.....	1
1.1.1.1. Índice de refracción	2
1.1.1.2. Índice de reflexión.....	3
1.1.1.3. Reflexión total	3
1.1.2. Tipos de fibra óptica	3
1.1.2.1. Fibra monomodo.....	3
1.1.2.2. Fibra multimodo	4
1.1.3. Pérdida por retorno óptico (ORL).....	5
1.1.4. Atenuación de la fibra óptica	5
1.1.4.1. Pérdidas extrínsecas	5
1.1.4.2. Pérdidas intrínsecas	7
1.1.5. Dispersión de la fibra óptica	7
1.1.5.1. Dispersión modal	7
1.1.5.2. Dispersión por polarización del modo (PMD)	8
1.1.5.3. Dispersión cromática	9

2.1.5.	NE (elemento de red)	23
2.1.6.	AF (función adaptador)	23
2.1.7.	SNI (interface de servicio en la red).....	23
2.1.8.	S/R & R/S	23
2.1.9.	UNI	23
2.2.	APON (ATM(<i>asynchronous transfer mode</i>) <i>passive optical network</i>).....	24
2.3.	BPON (<i>broadband passive optical network</i>)	24
2.4.	GPON (<i>gigabit-capable passive optical network</i>)	24
3.	EQUIPOS PASIVOS Y ACTIVOS	29
3.1.	Caja terminal	29
3.2.	Postes.....	30
3.2.1.	Poste de madera	30
3.2.2.	Poste de concreto.....	30
3.2.3.	Poste metálico	31
3.3.	Fibra óptica.....	31
3.3.1.	ADSS.....	32
3.3.2.	OPGW	33
3.3.3.	Cable submarino.....	34
3.3.4.	OFNR (<i>optical fiber nonconductive riser</i>).....	34
3.3.5.	OFNR (<i>optical fiber nonconductive riser</i>).....	34
3.3.6.	OFNP (<i>optical fiber nonconductive plenum</i>)	35
3.3.7.	OFNP (<i>optical fiber nonconductive plenum</i>)	35
3.3.8.	OFNG (<i>optical fiber nonconductive general</i>).....	35
3.3.9.	OFNG (<i>optical fiber nonconductive general</i>).....	35
3.3.10.	Circuitos externos para interconexión al sistema....	36
3.3.11.	Aerial <i>drop</i>	36
3.3.12.	Cable plano (<i>Flat drop</i>)	36

3.4.	Herrajes de sujeción para la fibra óptica	37
3.4.1.	Herraje para ADSS.....	37
3.4.2.	Herraje para OPGW	39
3.5.	Distribuidor de fibra óptica (ODF).....	40
3.6.	Caja de empalmes	41
3.6.1.	Caja de empalme fusionada.....	42
3.6.2.	Caja de empalme preconectorizada.....	42
3.7.	Gabinete pasivo	43
3.8.	Enhanced Management Frame (EMF)	44
3.9.	<i>Splitter</i> N:N.....	45
3.10.	Transmisores	47
3.11.	Receptores.....	48
3.12.	OLT (<i>optica line termination</i>)	48
3.13.	ONT (<i>optica network termination</i>)	48
3.14.	Conectores.....	49
3.14.1.	Conector ST	50
3.14.2.	Conector SC.....	50
3.14.3.	Conector FC	51
3.14.4.	Conector LC	51
4.	DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA ENFOCADO A LA TECNOLOGÍA PON.....	53
4.1.	Requerimiento del servicio	53
4.2.	Áreas comerciales para cobertura PON.....	54
4.2.1.	Creación de polígonos para entrega de servicios ...	54
4.2.1.1.	Cobertura del nodo de trasmisión	56
4.2.1.2.	Cobertura orden uno (nivel 1).....	56
4.2.1.3.	Cobertura orden dos (nivel 2).....	57
4.3.	Ancho de banda	58

4.4.	Equipo activo y pasivo a utilizar.....	58
4.4.1.	Equipos activos.....	59
4.4.1.1.	OLT.....	59
4.4.1.2.	ONT.....	60
4.4.2.	Equipos pasivos.....	60
4.4.2.1.	Fibra óptica.....	60
4.4.2.2.	<i>Splitter</i>	62
4.4.2.3.	Conectores mecánicos.....	62
4.4.2.4.	Caja de empalmes.....	63
4.5.	Tipo de fibra óptica.....	64
4.5.1.	Fibra óptica de 24 hilos.....	64
4.5.2.	Fibra óptica de 12 hilos.....	64
4.5.3.	Fibra óptica de 8 hilos.....	64
4.5.4.	Fibra óptica de 1 hilo.....	65
4.6.	Pérdidas ópticas.....	65
4.7.	Diseño en sistema cartográfico.....	68
4.7.1.	Criterios básicos para diseñar una red GPON.....	68
4.7.2.	Diseño físico de la red.....	69
4.7.3.	Presupuesto óptico.....	70
4.7.4.	Conectividad.....	71
4.8.	Presupuesto por área.....	71
4.9.	Generación de reporte e ingeniería.....	73
CONCLUSIONES.....		75
RECOMENDACIONES.....		77
BIBLIOGRAFÍA.....		79
APÉNDICES.....		81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Transmisión fibra óptica	2
2.	Corte transversal para fibra monomodo	4
3.	Corte transversal para fibra multimodo	4
4.	Macrocurvaturas	6
5.	Microcurvaturas.....	6
6.	Dispersión modal	8
7.	Dispersión por polarización	8
8.	Partes básicas de fibra óptica	9
9.	Fibra óptica con unitubo	10
10.	Fibra óptica multitubo	11
11.	Transmisión (WDM)	13
12.	Transmisión (DWDM).....	14
13.	Transmisión (CWDM).....	15
14.	Transmisión (ROADM)	16
15.	Topología estrella.....	17
16.	Topología bus	17
17.	Topología árbol	18
18.	Topología malla.....	18
19.	Topología anillo.....	19
20.	Red óptica pasiva.....	21
21.	Arquitectura PON	22
22.	Espectros GPON.....	26
23.	Topología GPON.....	26

24.	Pasivos y activos	29
25.	Fibra óptica ADSS	33
26.	Fibra óptica OPGW.....	33
27.	Cable submarino.....	34
28.	Cable aéreo para clientes	36
29.	<i>Flat drop</i>	37
30.	Sujeción de remate	38
31.	Sujeción de paso	38
32.	Herrajes de sugesión instalados.....	39
33.	Herraje de tensión atornillado	39
34.	Amortiguador	40
35.	Herraje de fijación.....	40
36.	Distribuidor óptico	41
37.	Caja de empalmes fusionada	42
38.	Caja de empalmes conectorizada.....	43
39.	Gabinete de distribución	44
40.	Distribuidor óptico masivo.....	45
41.	<i>Splitter</i> escalonado	46
42.	Sistema de comunicación por fibra óptica	47
43.	Conectores para fibra óptica.....	49
44.	Conector tipo ST	50
45.	Conector tipo SC	50
46.	Conector tipo FC.....	51
47.	Conector LC.....	51
48.	Creación de cobertura con polígono.....	55
49.	Creación de cobertura nodo.	56
50.	Creación de cobertura orden uno (nivel 1).....	57
51.	Creación de cobertura orden dos (nivel 2).....	58
52.	OLT	59

53.	ONT.....	60
54.	Pérdida para un diseño GPON.....	68
55.	Diseño en Google Earth (nodo–cliente)	69
56.	Diseño (nodo–caja de empalmes).....	70

TABLAS

I.	Normas ITU-T	27
II.	Características fibra óptica de un hilo	61
III.	Características <i>splitter</i> conectorizado 1x8.....	62
IV.	Características conector mecánico	63
V.	Caja de empalmes	63
VI.	Pérdidas por <i>splitter</i> 1: N, 2: N	66
VII.	Cálculo de pérdidas por <i>splitter</i>	67
VIII.	Presupuesto óptico	71
IX.	Costo materiales	72
X.	Costo servicios de instalación	72

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
\emptyset	Ángulo
As ₂ O ₅	Arsénico pentóxido
At	Atenuación total
cm	centímetro
dB	Decibelio
dB/km	Decibelio por kilómetro
Gbit/s	Gigabits por segundo
K	Grados Kelvin
lc	Incerteza de la fibra óptica
n	Índice de refracción
Isn	Inserción del <i>splitter</i> n
J/s	Julio por segundo
Kg	kilogramo
km	Kilómetro
Mbits/s	Megabits por segundo
μm	Micrómetro
nm	Nanómetros
N	Newton
CuO	Óxido de cobre
Pm	Perdida máxima
Pc	Pérdida por conector
Pf	Pérdida por fusión
ORL	Pérdida por retorno

CrO3

Trióxido de cromo

Vp

Velocidad de fase

c

Velocidad ondulatoria

GLOSARIO

ADSS	Fibra óptica autosoportada.
ATM	Transmisión asíncrona.
AutoCAD	Plataforma de diseño utilizado para dibujos 2D y 3D.
Buffer	La fibra óptica posee un recubrimiento (<i>buffer</i>) que la protege de la humedad y de daños físicos.
CATV	Video cable, televisión por cable.
CWDM	Multiplexación por división en longitudes de onda ligera.
DWDM	Multiplexación compacto por división de longitud de onda.
Férula	Cilindro cerámico cuyo diámetro coincide con el diámetro del revestimiento de la fibra óptica.
Fibra de aramida	Las fibras de aramida son fibras de origen sintético, evita la sobretensión.
Fibra óptica	Formado por guía de ondas dieléctrica que opera a frecuencias ópticas.

FTTB	<i>Fiber to the building</i> , fibra hasta el edificio.
FTTC	<i>Fiber to the curb</i> , fibra hasta el armario de un corporativo.
FTTCab	<i>Fiber to the cabinet</i> , fibra hasta un gabinete.
FTTH	<i>Fiber to the home</i> , fibra hacia el hogar.
GE Ethernet	Aplicación del Ethernet estándar con capacidad de transmisión de un giga bit por segundo.
Google Earth	Plataforma de diseño y visualización georreferenciada.
Kevlar	Es un polímero, el cual evita la sobretensión de color amarillo que se integran a la fibra óptica.
Modo	Es la distribución de campo con componente transversal estacionaria. Su función principal es guiar el haz de luz.
OLT	Elemento activo principal de una red PON, por lo cual está ubicado en el nodo central de transmisión.
ONT	Elemento activo de una red PON, función principal en el punto final del enlace.

PMD	Dispersión por polarización del modo. La fibra óptica no es perfecta, debido a esto el modo o los modos sufren un retraso provocando un ensanchamiento en la señal.
Poliéster	Se trata de un polímero que surge a partir de la polimerización de un hidrocarburo denominado estireno y de otros elementos químicos.
PON	Red óptica pasiva.
POTS	Servicio telefónico ordinario.
Rayo ultravioleta	Radiación electromagnética, su longitud está comprendida entre los 400 nm y los 15 nm.
Red troncal	Red compuesta por los componentes necesarios para una red principal.
ROADM	Tecnología de multiplexación la cual añade la capacidad de cambiar la forma remota del tráfico.
SDH	Jerarquía digital síncrona, protocolo de transmisión.
<i>Splitter</i>	Un <i>splitter</i> de fibra óptica es un dispositivo que toma una sola señal de fibra óptica y la divide en múltiples señales.

TDM	Multiplexación por división de tiempo, permite la transmisión de señales digitales.
Tramas	Paquete de bits organizados en forma cíclica, que transportan información.
Transceiver	Dispositivo incluye un receptor y un transmisor en un solo módulo.
Vano	Distancia máxima de tensión entre postes para instalación de fibra óptica autoportada.
WDM	Multiplexación por división de longitud de onda.
www	<i>World wide web.</i>

RESUMEN

El presente trabajo de graduación establece el diseño utilizando una tecnología para optimización de la fibra óptica. Los componentes esenciales para construir una red funcional quedan constituidos de la siguiente manera.

Inicia con la teoría básica para la transmisión en telecomunicaciones a través de fibra óptica indicando los elementos fundamentales para el diseño de la red. Actualmente las redes en fibra óptica son diseñadas e implementadas partiendo de un único punto de distribución hacia un punto final. Un buen diseño utilizando tecnología PON tiene como principal objeto cambiar la forma de transmisión, dejándolo con un único punto de distribución y teniendo varios puntos finales.

El desarrollo de la red comienza con la elaboración del diseño cartográfico basándose en la distribución de puntos finales. Todo diseño tienen que tener un presupuesto óptico en el cual se considere la distancia, las pérdidas ocasionadas por cada uno de los componentes activos y pasivos.

Luego se complementa el diseño con un control y asignación de posiciones para futuras implementaciones y reparaciones. Por otra parte, se describe todo el nuevo equipo de implementación detallando los aspectos técnicos.

Además se estiman todos los costos de componente y materiales para la construcción, costo de armado y costo de acabado.

Por último se describe la forma de documentación para un mejor control, planificación y mantenimiento de la red. Se tiene como reporte crítico el presupuesto óptico, reporte de conectividad, reporte del tendido de fibra óptica, reporte fotográfico.

OBJETIVOS

General

Diseñar un sistema de red utilizando una nueva tecnología llamada PON, para optimizar y ordenar el uso de la fibra óptica, tanto en planta externa como en planta interna, y generar una forma fácil para futuros mantenimientos.

Específicos

1. Disminuir los costos de materiales y servicios para la instalación hacia el cliente.
2. Reducir el tiempo en la instalación de fibra óptica y la resolución de fallas.
3. Incrementar área de cobertura optimizando el uso de la fibra óptica.
4. Optimizar el uso de espacios en sitio y consumo de energía.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de graduación es una investigación que tiene por objetivo el desarrollo de un sistema para redes corporativas. Esto disminuirá costos de implementación, tiempo en implementación, tiempo en resolución de fallas.

En el capítulo 1 se presenta el marco teórico. Está enfocado en la transmisión por fibra óptica, las características del medio, las pérdidas por retorno, las atenuaciones y dispersiones que influyen en la transmisión final. También se presentan tipos de topologías para una red robusta.

En el capítulo 2 se abordan los aspectos importantes de una red óptica pasiva, enfocándolo en su arquitectura como en la descripción de cada fase. También se presentan los diferentes tipos de redes ópticas pasivas dependiendo de su ancho de banda. Además se resaltan las ventajas al utilizar un sistema de red óptica pasiva con capacidad de gigabit.

En el capítulo 3 se resaltan los diferentes tipos de elementos pasivos y activos que conforman una red de transmisión desde el punto inicial al punto final, se enfoca a los equipos pasivos que conforman la planta externa.

En el capítulo 4 se presenta el diseño metodológico, definiéndose el tipo de requerimiento del servicio. También se centra en proporcionar la mejor solución optimizando el uso de fibra óptica. Se toma como base en cobertura de 300 metros hasta el punto final. Se toma como criterio principal el presupuesto óptico disponible para la tecnología de red óptica pasiva.

Se tendrán contemplados todos los detalles necesarios con base a un buen diagnóstico, propuesta, procedimiento de implementación, mejora continua y cuidado con el impacto visual.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones que fueron el fruto del trabajo de investigación, además la bibliografía consultada y los anexos que se consideran importantes.

Será de mucha utilidad al estudiante universitario o profesional que está interesado en el diseño de un red robusta y eficiente para masificación de clientes corporativos. Se debe tener un plan operativo anual que ayude a una mejor organización de cualquier tipo de empresa en telecomunicaciones, especialmente en el ámbito de clientes corporativos. Esto fortalecerá el aprendizaje y el desarrollo de la población estudiantil y profesional de Guatemala.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Transmisión por fibra óptica

La fibra óptica es una guía de ondas dieléctrica que opera a frecuencias ópticas. Un cable de fibra óptica está compuesto por un grupo de fibras ópticas por el cual se transmiten señales luminosas.

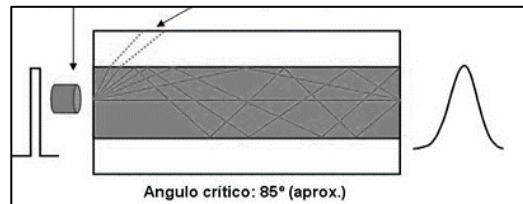
La transmisión por fibra óptica es un método en el cual se envía información de un lugar a otro, por medio de señales de luz, que viajan a través de la fibra óptica.

1.1.1. Características de la fibra óptica

Cada filamento o hilo de fibra óptica consta de un núcleo de óxido de silicio y germanio. Esto con un alto índice de refracción rodeado de otra capa con un índice de refracción menor.

La transmisión por fibra óptica está basada en la refracción y reflexión. La luz transportada por la fibra óptica va sufriendo una reflexión total cada vez que intenta salir del núcleo.

Figura 1. **Transmisión fibra óptica**



Fuente: *Transmisión fibra óptica*. <http://fibraoptica.blog.tartanga.net/fundamentos-de-las-fibras-opticas/>. Consulta: 3 de mayo de 2015.

1.1.1.1. **Índice de refracción**

Es el cambio de dirección y velocidad de un rayo de luz en la interfaz de dos medios diferentes. De forma más exacta, es el cambio de la fase por unidad de longitud.

El índice de refracción está definido como la reducción o disminución de la velocidad de la luz causada al transportarse por un medio homogéneo. Esta se define mediante la siguiente ecuación:

$$n = \frac{c}{V_p}$$

n= índice de refracción

c= velocidad ondulatoria (luz o sonido)

V_p=velocidad de la fase

La refracción está basada en la ley de Snell, donde un índice de refracción n₁ cambia de ángulo Ø₁ a un ángulo Ø₂ con otro índice de refracción n₂ debido a un cambio de medio.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

1.1.1.2. Índice de reflexión

La reflexión es un cambio de dirección que experimenta un rayo de luz cuando incide sobre la superficie de separación entre dos medios. La ley de reflexión se basa en dos puntos importantes. El primero es que el rayo de luz incidente debe estar en el mismo plano que el rayo de luz reflejado. En el segundo punto el ángulo de incidencia debe ser igual al ángulo de reflexión.

$$\theta_1 = \theta_2$$

1.1.1.3. Reflexión total

Es el principio de la transmisión óptica. Es cuando en la refracción el ángulo de incidencia es mayor que el ángulo crítico.

1.1.2. Tipos de fibra óptica

Todas las trayectorias, o caminos que puede seguir un haz de luz en el interior del filamento de una fibra óptica, se les llama modos de propagación. De acuerdo al modo de propagación existen dos tipos de fibra óptica: fibra monomodo y multimodo.

1.1.2.1. Fibra monomodo

Se trasmite un solo modo de propagación lumínica por el núcleo de la fibra óptica, ya que el diámetro es muy reducido entre 8 y 10 μm . Las fibras

monomodo permiten alcanzar grandes distancias y tiene gran capacidad para transmitir información.

Figura 2. **Corte transversal para fibra monomodo**



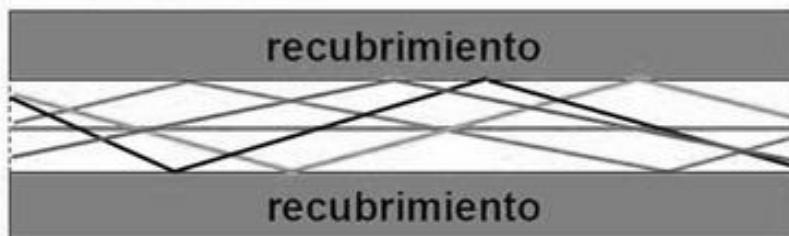
Fuente: *Corte transversal para fibra monomodo*

<http://fibraoptica.blog.tartanga.net/fundamentos-de-las-fibras-opticas/>. Consulta: 3 de 2015.

1.1.2.2. **Fibra multimodo**

Se transmiten varios modos de propagación lumínica por el núcleo de la fibra óptica. Este tipo de fibra se usa en aplicaciones de corta distancia menores de dos kilómetros.

Figura 3. **Corte transversal para fibra multimodo**



Fuente: *Corte transversal para fibra multimodo* <http://fibraoptica.blog.tartanga.net/fundamentos-de-las-fibras-opticas/>. Consulta: 3 de mayo de 2015.

1.1.3. Pérdida por retorno óptico (ORL)

Se define como la cantidad de energía que regresa al transmisor, lo cual es ocasionado por la fibra óptica y por todas las terminaciones y acoples mecánicos.

El ORL se mide en decibel, un valor alto puede afectar algunos sistemas de transmisión. Entre más alto es el valor, significa que hay menos energía reflejada.

1.1.4. Atenuación de la fibra óptica

La atenuación es la disminución de la potencia en la señal óptica, en proporción inversa a la longitud de la fibra óptica. Para medir la atenuación se utiliza la unidad decibel (dB), la atenuación de la fibra se expresa en el cual significa la pérdida de luz por kilómetro (dB/Km).

Las pérdidas son causadas por varios factores y pueden clasificarse por extrínsecas o intrínsecas.

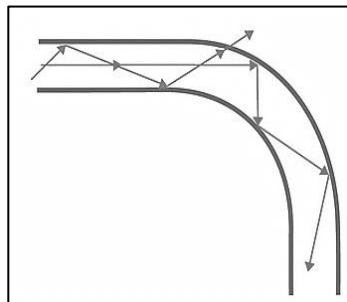
1.1.4.1. Perdidas extrínsecas

Son causadas por factores extrínsecos de la naturaleza. Estos son el estado de la unión, defectos de fabricación, procedimientos de instalación, pérdidas de inserción, empalmes mecánicos, empalmes por fusión, cortes defectuosos, suciedad en las superficies a empalmar.

Una curva en la fibra óptica puede afectar el ángulo crítico, como resultado parte de la luz que viaja por el núcleo se refracta. Esto produce la pérdida de potencia.

Las macrocurvaturas ocurren cuando se curva demasiado los cables. Para prevenir esto se especifica un radio de curvatura mínimo según especificación de la fibra óptica.

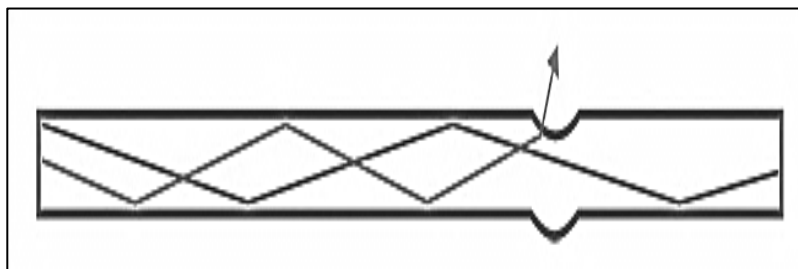
Figura 4. **Macrocurvaturas**



Fuente: *Macrocurvaturas*. <http://www.fibraopticahoy.com/cableado-de-fibra-optica-para-comunicaciones-de-datos-1%C2%AA-parte/>. Consulta: 6 de mayo de 2015.

Las microcurvaturas ocurren por pequeñas fisuras en el núcleo producidas por los cambios de temperatura o el estiramiento durante el tendido del cable.

Figura 5. **Microcurvaturas**



Fuente: *Microcurvaturas*. <http://www.fibraopticahoy.com/cableado-de-fibra-optica-para-comunicaciones-de-datos-1%C2%AA-parte/>. Consulta: 5 de mayo de 2015.

1.1.4.2. Pérdidas intrínsecas

Son causadas por absorción del material, dispersión o difusión, moléculas de hidrógeno.

Las pérdidas por absorción del material de la fibra son debido a impurezas y absorben la luz convirtiéndola en calor.

Cuando la pérdida es causada por dispersión o difusión prácticamente son reflexiones del material. Esto es debido a irregularidades ocasionadas en el proceso de fabricación, cuando un rayo de luz se propaga repercute contra estas impurezas provocando dispersión.

1.1.5. Dispersión de la fibra óptica

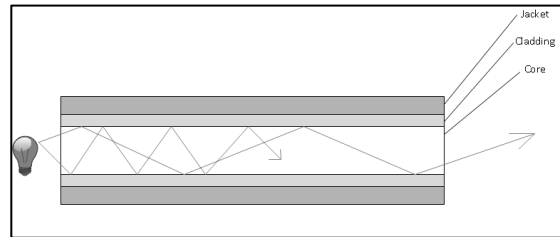
La dispersión es la reducción del ancho de banda que sucede por la deformación del pulso. Un pulso se deforma a medida que se propaga a través de la fibra óptica. Esto es debido a que los distintos componentes de la señal que viajan a distintas velocidades llegan al receptor a distintos instantes de tiempo.

Existen varios tipos de dispersión: modal, dispersión por polarización de modo y cromática.

1.1.5.1. Dispersión modal

Este tipo de dispersión es producto de las distintas velocidades que tienen cada uno de los modos de una fibra óptica. Es causada por los diferentes modos que sigue un rayo de luz a la fibra, los rayos recorren distancias diferentes y llegan en tiempos diferentes.

Figura 6. **Dispersión modal**



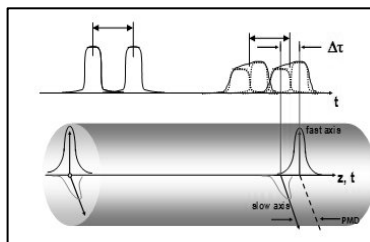
Fuente: *Dispersión Modal*. http://www.datacenteroperations.com/images/1/12/Modal_Dispers ion.png. Consulta: 5 de mayo de 2015.

1.1.5.2. **Dispersión por polarización del modo (PMD)**

Cuando una fibra es perfectamente circular la constante de propagación entre las polarizaciones es la misma. Por lo tanto también lo es la velocidad de propagación de cada polarización.

La fibra óptica no es perfecta. Debido a esto el modo o los modos sufren un retraso provocando un ensanchamiento de la señal aumentando la probabilidad de error en la detección de los pulsos.

Figura 7. **Dispersión por polarización**



Fuente: *Dispersión por polarización*. http://www.datacenteroperations.com/images/1/12/Modal_Dispersion.png. Consulta: 5 de mayo de 2015.

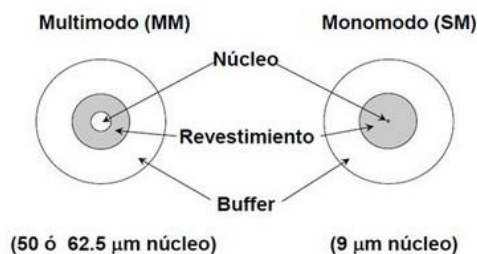
1.1.5.3. Dispersión cromática

El material usado para la fabricación de las fibras ópticas es el silicio. La dispersión por el material sucede cuando el índice de refracción del silicio depende de las frecuencias. Por ello, las componentes de distintas frecuencias viajan a velocidades diferentes del silicio.

1.2. Fibra óptica

Esta consta de las siguientes partes: núcleo, recubrimiento y un componente de encapsulamiento llamado *buffer*. La luz que entra en la fibra óptica se propaga a través del núcleo en modos que representan a los diferentes caminos posibles de las ondas luminosas. En otras palabras las diferentes trayectorias que pueden seguir un haz de luz, en el interior de una fibra, se le llaman modos de propagación.

Figura 8. Partes básicas de fibra óptica



Fuente: *Partes básicas de fibra óptica*. <http://fibraoptica.blog.tartanga.net/fundamentos-de-las-fibras-opticas/>. Consulta: 5 de mayo de 2015.

La fibra óptica puede ser construida con estructura holgada o estructura ajustada.

1.2.1. Estructura holgada

Está formado por varios tubos con hilos de fibra óptica en su interior, rodeando un miembro central de refuerzo con una cubierta exterior protectora. La estructura pueden estar formadas por unitubo o multitubo.

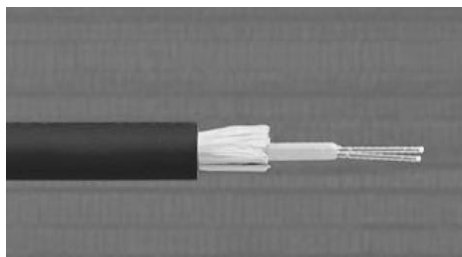
1.2.1.1. Unitubo

Dentro del unitubo existen una o varias fibras ópticas en un mismo tubo en disposición central. Las fibras ópticas generalmente se encuentran dentro del tubo holgado con un gel hidrófugo el cual impide el paso del agua.

Dentro de la estructura se encuentra un refuerzo mecánico que sirve como soporte en las operaciones de la instalación. Esta puede ser *kevlar*, fibra de vidrio o poliéster.

La protección exterior del cable puede estar formada por polietileno, armadura o coraza de acero, refuerzo de fibra de aramida, o distintos materiales. Esto según el ambiente donde se desee instalar.

Figura 9. **Fibra óptica con unitubo**



Fuente: *Fibra óptica con unitubo*. <http://www.instaladoresdetelecomhoy.com/cable-monotubo/>.

Consulta: 5 de mayo de 2015.

1.2.1.2. Multitubo

Contiene en su estructura una o varias fibras ópticas en distintos tubos holgados con gel hidrófugo, esto impide el paso del agua. La estructura del cable contiene un fijador central de refuerzo pudiendo ser acero, *kevlar* o fibra de vidrio. La cubierta exterior puede estar formada por polietileno, armadura o coraza de acero, goma o refuerzo de aramida.

Figura 10. **Fibra óptica multitubo**



Fuente: *Fibra óptica multitubo*. [http://sigmanetwork.es/cables%20de%20fibra %20optica.html](http://sigmanetwork.es/cables%20de%20fibra%20optica.html).

Consulta: 5 de mayo de 2015.

1.2.2. Estructura ajustada

La estructura del cable está enfocada para instalaciones en el interior de los edificios. El radio de curvatura es más flexible que el de la estructura holgada. La estructura puede estar formada por multifibra, bifibra y monofibra.

1.2.2.1. Multifibra

Sobre el primer recubrimiento se dispone un segundo recubrimiento a 900 μm . En este tipo de estructura se distribuyen dos o más fibras ópticas en ligera disposición helicoidal y sobre el conjunto se disponen de forma lineal

hebras de fibra de aramida. Esto es para obtener mayor resistencia a esfuerzos durante su instalación.

1.2.2.2. Bifibra

Está compuesta por dos fibras ópticas en disposición paralela, sobre el recubrimiento se dispone un segundo recubrimiento a 900 um. La bifibra es recomendada utilizarla para instalaciones en interiores.

1.2.2.3. Monofibra

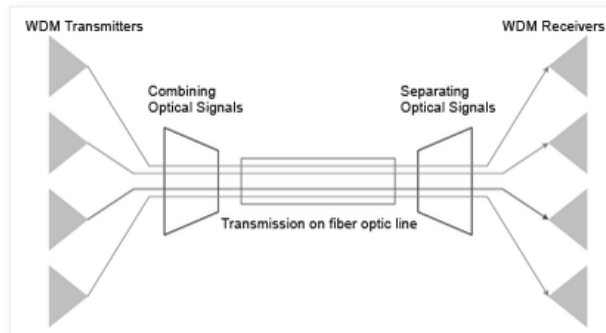
Está compuesta por una fibra óptica tiene un diámetro no mayor a los 3 mm, es de material flexible y resistente. A su alrededor se dispone de forma lineal hebras de fibra de aramida, esto es importante para formar resistencia a la hora de la instalación.

1.3. Multiplexación por división de longitud de onda (WDM)

Consiste en transmitir varias señales con una longitud de onda específica, se multiplexan y transmiten por medio de una misma fibra óptica. De este modo, la capacidad del enlace se multiplica por el número de canales. Esto es posible mediante portadoras ópticas de diferente longitud de onda, usando luz procedente de un láser o por un diodo emisor de luz.

La tecnología WDM tiene como función principal la de incrementar la capacidad de transmisión por un mismo hilo de fibra óptica. Cada canal es transmitido a distinta longitud de onda por lo cual puede transmitir señales de diferentes velocidades y formatos.

Figura 11. Transmisión (WDM)



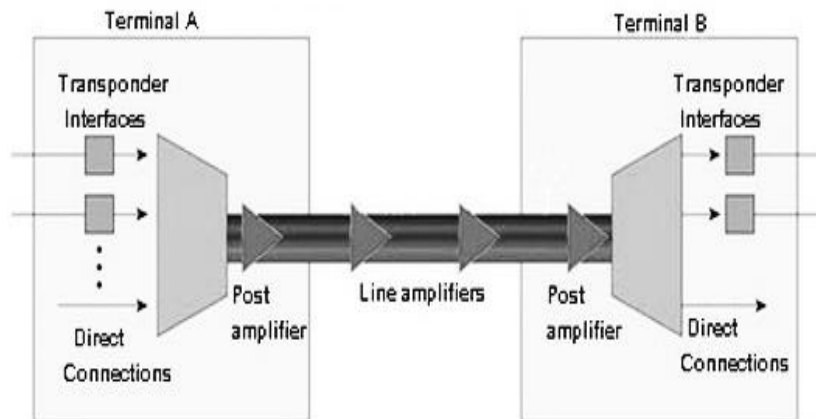
Fuente: *Transmission (WDM)*. <http://cedtinet.blogspot.com/2013/06/wavelength-division-multiplexing-wdm.htm>. Consulta: 5 de mayo de 2015.

1.4. Multiplexado compacto por división de longitudes de onda (DWDM)

En la tecnología DWDM se da espacio a las longitudes de ondas más estrechamente que la tecnología WDM. Por lo tanto, tienen mayor capacidad para la transmisión. En los sistemas DWDM el intervalo entre canales es igual o menor que 3,2 nm. Cada canal funciona con una longitud de onda específica. Esta se expresa en nanómetros como un punto absoluto en el espectro electromagnético.

Las mejoras en filtros ópticos de banda estrecha permiten a la tecnología DWDM combinar más de dos longitudes de onda en un mismo hilo de fibra óptica.

Figura 12. **Transmisión (DWDM)**



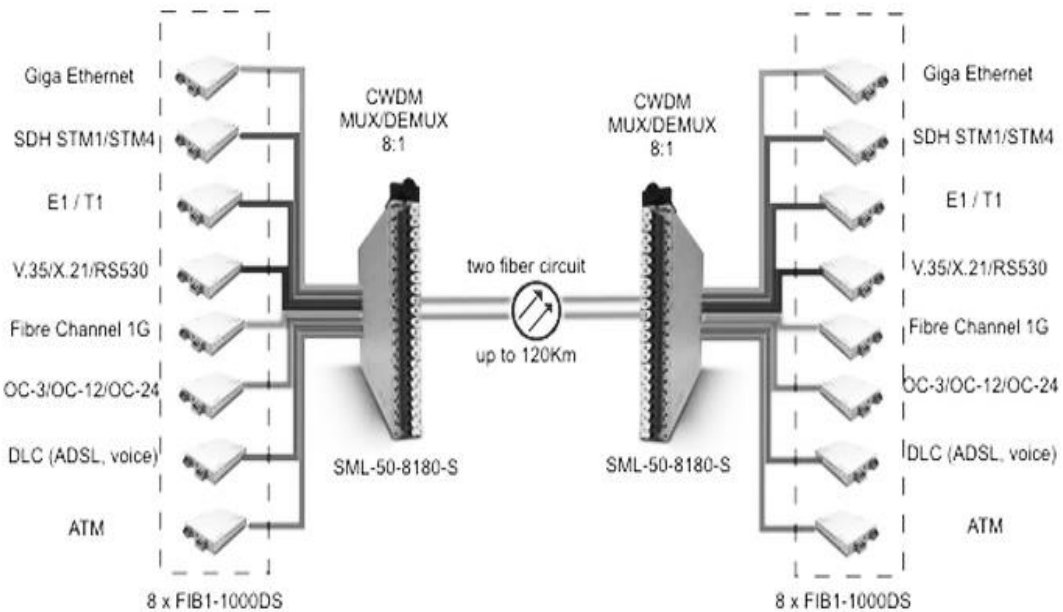
Fuente: *Transmisión(DWDM)*. <http://www.fiberstore.com/CWDM-DWDM-Tutorial-aid-351.html>.

Consulta: 5 de mayo de 2015.

1.5. **Multiplexación por división en longitudes de ondas ligeras (CWDM)**

La tecnología CWDM es una técnica de transmisión de señales a través del medio fibra óptica. Está limitado a 18 longitudes de onda definidos en el intervalo de 1270 a 1610 nm, puede transmitir cualquier servicio corto como SDH, CATV, ATM, PON.

Figura 13. **Transmisión (CWDM)**

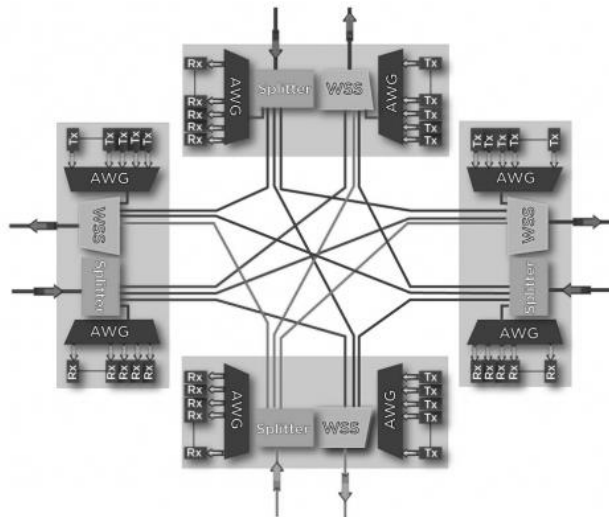


Fuente: *Transmisión(CWDM)*. <http://sx-de-tx.wikispaces.com/DWDM+y+CWDM>. Consulta: 5 de mayo de 2015.

1.6. Multiplexación óptica reconfigurable de extracción e inserción ROADM

Un ROADM es una tecnología que se compone por una condición dinámica para extraer, insertar o transportar las longitudes de onda que componen la luz que viaja por la fibra óptica. Cada longitud de onda contiene información diferente, convirtiéndose en canales de información lógica e independiente los cuales se transportan simultáneamente por el mismo hilo de fibra óptica. La función principal es enviar información por la ruta más óptima y disponible.

Figura 14. **Transmisión (ROADM)**



Fuente: *Transmisión (ROADM)*. <http://sx-de-tx.wikispaces.com/DWDM+y+CWDM>. Consulta: 5 de mayo de 2015.

1.7. Tipos de topologías en redes de telecomunicaciones

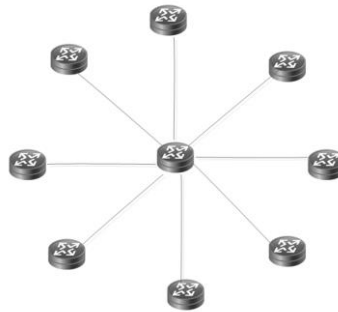
La topología es la forma en que está diseñada una red. En otras palabras una topología se define como los eslabones de comunicación que conforman una red para que exista comunicación.

En redes de telecomunicaciones existen varios tipos de topologías las principales son: estrella, bus, árbol, anillo, malla.

1.7.1. Topología estrella

En este tipo de topología los nodos se conectan radialmente a un nodo central. Los paquetes de datos son enviados desde el nodo central.

Figura 15. **Topología estrella**

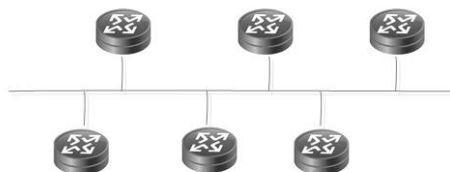


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

1.7.2. **Topología bus**

En la topología tipo bus los nodos se conectan a un medio de transmisión común utilizando un adaptador de interfaz. Cada nodo escucha todo el tráfico sobre su red y procesa solamente los dirigidos hacia la dirección de origen.

Figura 16. **Topología bus**



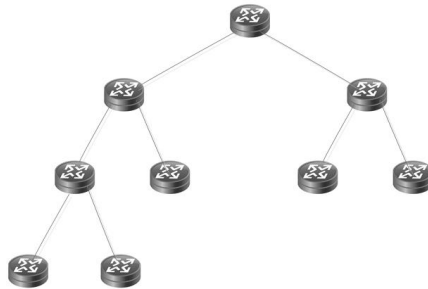
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

1.7.3. **Topología árbol**

Es una combinación de varias topologías estrellas en cascada.

La ventaja principal de esta topología es que puede ir creciendo dinámicamente desprendiéndose de cada ramal.

Figura 17. **Topología árbol**

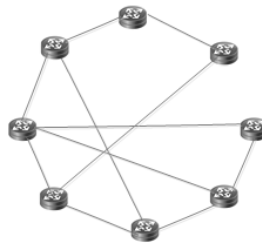


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

1.7.4. **Topología malla**

Es una topología robusta, ya que evita que el sistema que inhabilitado cuando alguna de sus. Posee varios caminos para no perder la comunicación.

Figura 18. **Topología malla**

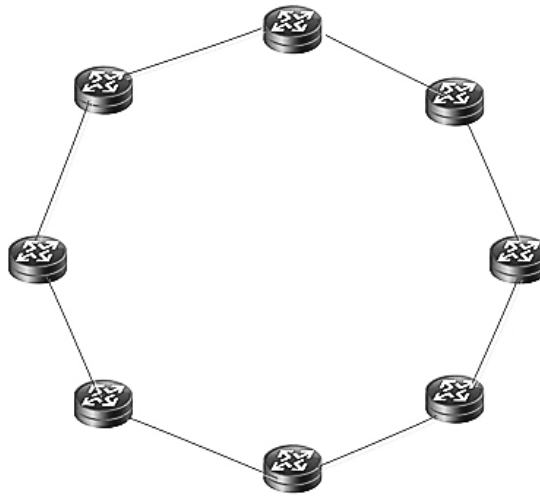


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

1.7.5. Topología anillo

Esta topología de red los nodos de la red se encuentran en un anillo cerrado conectados entre sí mediante enlaces punto-punto, la trayectoria de los paquetes de datos son gestionados y dirigidos desde un nodo central.

Figura 19. Topología anillo

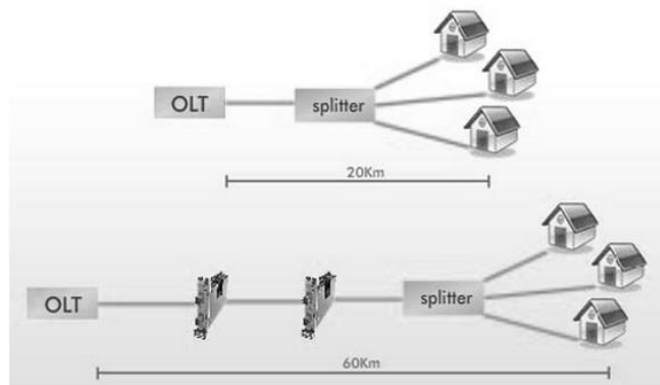


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

2. RED ÓPTICA PASIVA (PON)

Las redes ópticas pasivas están creadas para la optimización del uso de la fibra óptica basados en sistemas CATV. PON es una tecnología punto-multipunto conformada por la unidad óptica terminal (OLT), un divisor óptico (splitter), la unidad lógica de usuario (ONU).

Figura 20. Red óptica pasiva



Fuente: *Red óptica pasiva*. <http://www.codejobs.biz/es/blog/2013/10/08/que-son-las-redes-gpon#sthash.zGW0m8C9.dpbs>. Consulta: 15 de mayo de 2015.

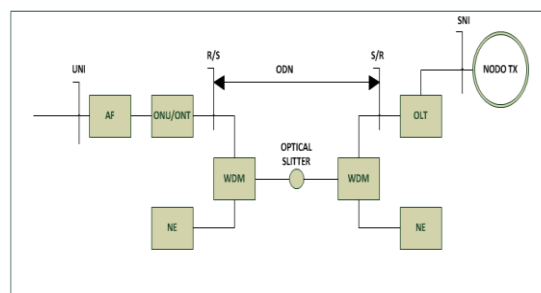
PON genera diferentes opciones de red como lo son:

- FTTB (fibra hasta un edificio): está dividido para fibras unidades de vivienda y el otro para fibras hacia comercios.
- FTTC (fibra hasta un corporativo).
- FTTH (fibra hasta el hogar).
- FTTCab (fibra hasta un gabinete).

2.1. Arquitectura de una red óptica pasiva (PON)

La arquitectura PON está conformada por: OLT, ONT, ONU, ODN, WDM, NE, AF, SNI, S/R, UNI.

Figura 21. **Arquitectura PON**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

2.1.1. OLT (*optical line termination*)

Equipo activo en el cual inicia la transmisión hacia el punto final. Esto es utilizando como medio físico de transmisión la fibra óptica.

2.1.2. ONT/ONU (*optical network terminal*)

Equipo terminal del cliente en el sistema trabaja en conjunto con la OLT. Es capaz de proporcionar al usuario varios tipos de servicios de banda ancha.

2.1.3. ODN (*divisor óptico pasivo – splitter*)

Es el elemento pasivo que hace posible la división de la señal óptica en varias señales. Estas se trasladan por otros hilos de la fibra óptica.

2.1.4. WDM (Multiplexación por división de longitud de onda)

Es la tecnología más usada para la transmisión. se multiplexan varias señales sobre un solo hilo de la fibra óptica usando portadoras ópticas con diferente longitud de onda.

2.1.5. NE (elemento de red)

El elemento de red completa la transmisión. Generalmente utiliza diferente longitud de onda a la OLT y ONU.

2.1.6. AF (función adaptador)

Es el adaptador del equipo final con la ONT, generalmente está incluida en la ONT.

2.1.7. SNI (interface de servicio en la red)

Está conformada por los elementos necesarios para la comunicación en el nodo de trasmisión hacia la OLT.

2.1.8. S/R & R/S

(S) punto de la fibra óptica después de la OLT (aguas abajo)/ONU (aguas arriba). (R) punto de la fibra óptica antes de la ONU (aguas abajo)/OLT (aguas arriba).

2.1.9. UNI

Es la unidad final del usuario, en la cual se encuentra el equipo que proveerá el servicio solicitado.

En la tecnología PON se cuenta con un canal descendente y ascendente. El canal descendente es una red punto-multipunto y la OLT envía la información repartida hacia las distintas ONU. El canal ascendente es una red punto-punto donde múltiples ONUs transmiten a un único OLT. Utilizan monofibra y trabaja sobre longitudes de onda diferentes utilizando técnicas WDM. En el mercado se encuentran varios tipos de PON. Algunos tipos son APON, BPON, GPON.

2.2. APON (ATM(*asynchronous transfer mode*) *passive optical network*)

El estándar APON está basado en ATM como protocolo de señalización de la capa 2 (enlace de datos). Maneja una tasa de 155 Mbit/s que es repartido entre las ONUS que estén conectadas.

2.3. BPON (*broadband passive optical network*)

Las BPON nacieron como una mejora al estándar APON con integración a servicios de banda ancha como lo son: Ethernet, distribución de video, VPL, WD. Maneja una tasa en tráfico simétrico de 622 Mbit/s.

2.4. GPON (*gigabit-capable passive optical network*)

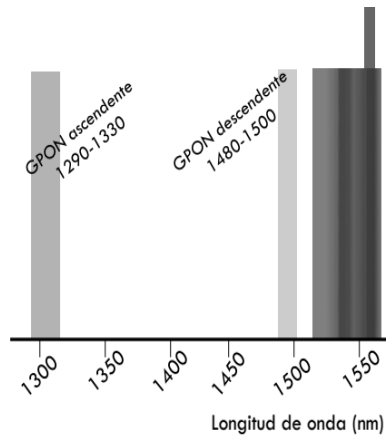
Tecnología con arquitectura PON teniendo como principal objetivo ofrecer un ancho de banda hasta 2,488 Gbit/s. Comparado con las anteriores es más eficiente y con escalabilidad.

Las ventajas principales al utilizar tecnología GPON son las siguientes:

- Mayor ancho de banda ofreciendo hasta los 2,5 Gbit/s distribuidos hasta 64 usuarios.
- Más cobertura teniendo desde las instalaciones del operador hasta una distancia de 20 km.
- Ahorro en la inversión inicial y a futuro de la instalación de la fibra óptica.
- Optimización en el uso de equipos de transmisión.
- GPON dispone de mecanismos que permiten la identificación de las ONUS desde las ONT.
- Optimización del uso de espacios y energía en centrales de los operadores.
- Minimización del despliegue de fibra óptica.
- Aumentan la calidad en el servicio y simplifican el mantenimiento de la red, al tenerla bien documentada.
- Soporte de todos los servicios: TDM, SONET, SDH, Ethernet, ATM.
- Capacidad para varias tasas de transferencia, tráfico simétrico de 622 Mbit/s, tráfico simétrico de 1,25 Gbit/s ascendente y asimétrico de 2,5 Gbit/s descendente.

Los rangos de espectro asignados para GPON son: 1 290 nm hasta 1 330 nm ascendente y 1 480 nm hasta 1 500 nm descendente.

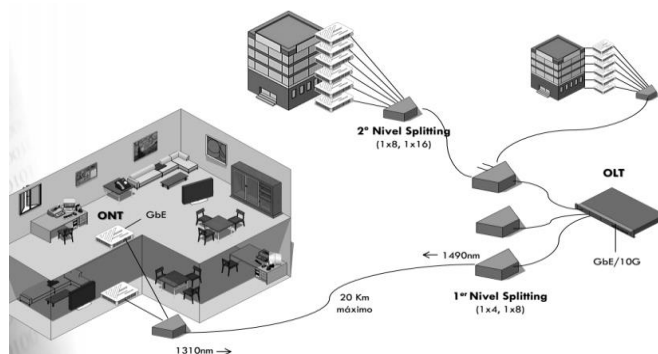
Figura 22. **Espectros GPON**



Fuente: *Espectros GPON*. <http://www.ccapitalia.net/descarga/docs/2012-gpon-introduccion-conceptos.pdf>. Consulta: 20 de mayo de 2015.

La GPON está basada en topología árbol. Está compuesta por OLT equipo encargado para a distribución, *splitter*, ONT, cliente o punto final, nodo de transmisión.

Figura 23. **Topología GPON**



Fuente: *Topología GPON*. <http://www.ccapitalia.net/descarga/docs/2012-gpon-introduccion-conceptos.pdf>. Consulta: 20 de mayo de 2015.

La GPON está normada por la ITU-T G.984 la cual a su vez se subdivide en las siguientes normas:

Tabla I. **Normas ITU-T**

ITU T- G.984	Descripción
G.984.1	Características generales de redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits (GPON).
G.984.2	Especificación de la capa dependiente de los medios físicos.
G.984.3	Especificación de la capa de convergencia de transmisión.
G.984.4	Especificación de la interfaz de control y gestión de la terminación de la red (ONT).
G.984.5	Banda de ampliación de las redes de acceso óptico con capacidad de gigabits.
G.984.6	Extensión del alcance de la red óptica pasiva con capacidad de gigabits (GPON).

Fuente: elaboración propia.

La Norma ITU-T G.984 indica las siguientes características y requisitos para las GPON:

- Un mismo canal desde el nodo central puede brindar servicio hasta un máximo de 64 ONT.
- La máxima distancia permitida es de 20 km desde el punto inicial al punto final.
- Una velocidad de 2,5 Gbit/s de bajada.
- Una velocidad de 1,25 Gbit/s de subida.
- Presupuesto óptico 28 dB. Para calcular en una red GPON la pérdida máxima (P_m) y así quedar dentro del umbral del presupuesto es necesario tomar en cuenta las siguientes pérdidas:

A_t = atenuación total de la fibra óptica.

I_c = incerteza de la fibra óptica

P_f = pérdida por fusión

P_c = pérdida por conector

I_{s1} = incerción del *splitter*

I_{s2} = incerción del *splitter*

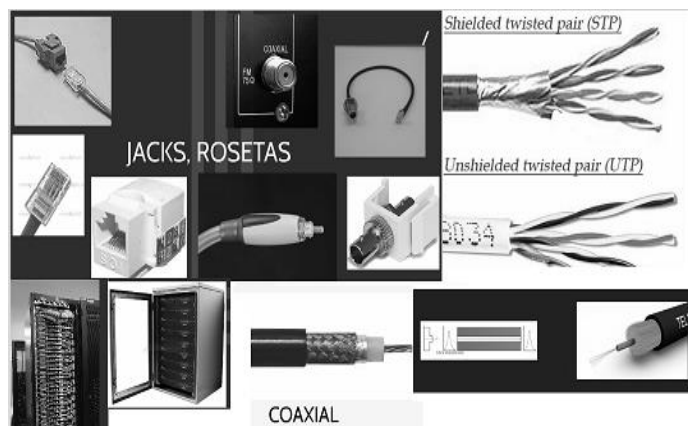
$$P_m = A_t + I_c + P_f + P_c + I_{s1} + I_{s2} + \dots + I_{sn}$$

- Longitud de onda 1 490 nm de bajada.
- Longitud de onda 1 310 nm de subida.

3. EQUIPOS PASIVOS Y ACTIVOS

La red está conformada por elementos activos y pasivos los cuales se interconectan para su funcionamiento. Los equipos pasivos son los que se utilizan para la interconexión de los enlaces de una red de datos.

Figura 24. Pasivos y activos



Fuente: *Pasivo y activos*. <https://prezi.com/wzrki5hsujbe/elementos-pasivos-y-activos-de-una-red-de-computadoras/>. Consulta: 25 de mayo de 2015.

Los equipos activos son todos los dispositivos electrónicos que distribuyen banda ancha a determinada cantidad de equipos.

3.1. Caja terminal

Es un dispositivo pasivo el cual consiste en una carcasa de un material resistente con la función de proteger el circuito o empalmes directos. Es posible instalarlas en cualquier tipo de fachada.

3.2. Postes

Son elemento que brindan soporte a algún elemento pasivo o activo. Son indispensables para la transmisión de fibra óptica aérea dependiendo de las especificaciones técnicas o las características del terreno se utilizan distintos tipos de postes.

Los postes sin importar el material que estén fabricados deben ser enterrado a 1,40 m a nivel del suelo, dejando una altura útil mínima de 8 m.

3.2.1. Poste de madera

Son químicamente tratados e impregnados a bajo la norma AWWA. Este indica que la fórmula de impregnado debe estar de la siguiente forma:

- Óxido de cromo CrO_3 fijador al 47,5 %
- Óxido de cobre CuO fungicida al 18,5 %
- Óxido de arsénico As_2O_5 al 34 %

3.2.2. Poste de concreto

Estos deben fabricarse con formaletas metálicas que aseguren su durabilidad, uniformidad y exactitud en sus dimensiones. Los postes de concreto son utilizados para soportar tensiones de hasta 226 kg en punta. Su uso también dependerá del estudio técnico de dicho terreno.

3.2.3. Poste metálico

Son fabricados con lámina de acero formados en frío generando secciones troncocónicas poligonales soldados longitudinalmente. Las uniones transversales serán tipo abonadas y así garantizar al 100 % el galvanizado.

3.3. Fibra óptica

Un cable de fibra óptica generalmente está compuesto por: chaqueta externa de polietileno, hilo de ciza, aramida, chaqueta interna, cintra contra humedad, tubo holgado, hilos de fibra óptica, dieléctrico central, gel o componentes repelentes a la humedad.

La chaqueta externa de polietileno está diseñada para la protección del cable completo. Las propiedades dependerán de las características del ambiente donde se necesite instalar.

El hilo se encuentra debajo de la chaqueta y es repelente al agua. Deberá estar continuo a lo largo de todo el cable.

La aramida se encuentra a lo largo del cable de fibra óptica para dar mayor resistencia a los cables aéreos. A mayor densidad de aramida el cable será más resistente a las tensiones ocasionadas por la sujeción de la fibra óptica.

La función principal de la chaqueta interna es la protección del núcleo. Por ello, se encuentra alrededor del núcleo de todos los cables de fibra óptica.

Los hilos de fibra óptica están diseñados por colores basándose en las Normas EIA (Electronic Industries Association).

- Color azul = hilo uno de la fibra óptica
- Color naranja = hilo dos de la fibra óptica
- Color verde = hilo tres de la fibra óptica
- Color café = hilo cuatro de la fibra óptica
- Color gris = hilo cinco de la fibra óptica
- Color blanco = hilo seis de la fibra óptica
- Color rojo = hilo siete de la fibra óptica
- Color negro = hilo ocho de la fibra óptica
- Color amarillo = hilo nueve de la fibra óptica
- Color violeta = hilo diez de la fibra óptica
- Color rosado = hilo once de la fibra óptica
- Color celeste = hilo doce de la fibra óptica

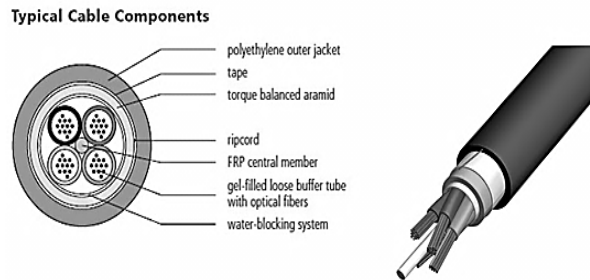
Estos hilos están dentro de un tubo holgado en seco mezclado con químicos absorbentes de la humedad.

Existe distintos tipos de cable de fibra óptica se utilizan dependiendo de las características del lugar donde se desea instalar.

3.3.1. ADSS

Es un tipo de cable de fibra óptica el cual es totalmente autosoportado. Es ideal para las instalaciones de distribución aérea. La ventaja principal del cable es que no necesita mensajero por lo que la instalación es más rápida y segura.

Figura 25. **Fibra óptica ADSS**

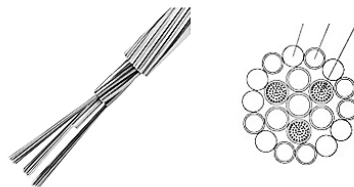


Fuente: *Fibra óptica ADSS*. <http://www.aflglobal.com/Products/Fiber-Optic-Cable/ADSS/Mini-Span/ADSS-Mini-Span.aspx>. Consulta: 25 de mayo de 2015.

3.3.2. **OPGW**

Este tipo de cable, con dos funciones principales, sustituye los cables de tierra en líneas de transmisión aérea y contiene, en su interior, fibras ópticas para la transmisión en las telecomunicaciones. Una de las ventajas principales es que tiene una pared gruesa de aluminio, proporcionando excelente protección a la fibra óptica.

Figura 26. **Fibra óptica OPGW**



Fuente: *Fibra óptica OPGW*. [http://www.aflglobal.com/Products/Fiber-Optic-Cable/OPGW/HexaCore-Cable/HexaCore-Optical-Ground-Wire-\(OPGW\).aspx](http://www.aflglobal.com/Products/Fiber-Optic-Cable/OPGW/HexaCore-Cable/HexaCore-Optical-Ground-Wire-(OPGW).aspx). Consulta: 25 de mayo de 2015.

3.3.3. Cable submarino

Son cables de fibra óptica diseñados para ser instalados bajo agua, petróleo y gas. Se utilizan como medio de comunicación independiente y cable de control para aplicaciones de telecomunicaciones robustas.

Figura 27. **Cable submarino**



Fuente: *Cables submarino*. http://www.aflglobal.com/Products/Fiber-Optic-Cable/Subsea/Fiber-Optic-Component-For-Umbilical-Cables/Fiber_Optic_Component_for_Umbilical_Cables.aspx.

Consulta: 28 de mayo de 2015.

3.3.4. OFNR (*optical fiber nonconductive riser*)

Es una característica de cable de fibra óptica para interiores, el cual está fabricado con materiales no conductores de la electricidad. Estos evitan la propagación de fuego, especiales para edificios y elevadores destinados para rutas verticales especialmente para ductos.

3.3.5. OFCR (*optical fiber conductive riser*)

Es un tipo de cable de fibra óptica para interiores el cual está fabricado con materiales conductores de la electricidad. Estos evitan la propagación de

fuego, especiales para edificios y elevadores destinados para rutas verticales especialmente para ductos.

3.3.6. OFNP (*optical fiber nonconductive plenum*)

Es un tipo de cable de fibra óptica similar al OFNR. Es para interiores el cual está fabricado con materiales no conductores de la electricidad. Estos evitan la propagación de fuego, diseñados principalmente para edificios destinados para rutas horizontales especialmente en ductos.

3.3.7. OFCP (*optical fiber conductive plenum*)

Es un tipo de cable de fibra óptica similar al OFNR es para interiores, el cual está fabricado con materiales conductores de la electricidad. Estos evitan la propagación de fuego, diseñados principalmente para edificios destinados para rutas horizontales especialmente en ductos.

3.3.8. OFNG (*optical fiber nonconductive general*)

Este tipo de fibra óptica es para uso general es para interiores. Está fabricado con materiales no conductores de la electricidad. Estos evitan la propagación de fuego, diseñados para construcciones de no más de un piso, no es recomendable usarlo en cámaras o ductos ascendentes.

3.3.9. OFCG (*optical fiber conductive general*)

Este tipo de fibra óptica es para uso general, para interiores. Está fabricado con materiales conductores de la electricidad. Los mismos evitan la

propagación de fuego, diseñados para construcciones de no más de un piso, no es recomendable usarlo en cámaras o ductos ascendentes.

3.3.10. Circuitos externos para interconexión al sistema

Los circuitos de interconexión están hechos para emitir señales de niveles TTL. El circuito utilizado para este sistema está construido básicamente por un multiplexor.

3.3.11. Aerial drop

Este cable fue diseñado específicamente para aplicaciones corporativas dirigido hasta el suscriptor.

Figura 28. **Cable aéreo para clientes**



Fuente: *Cable aéreo para clientes*. https://www.aflglobal.com/Products/Fiber-Optic-Cable/ADSS/Drop-Cable/Aerial_Drop_Cable.aspx. Consulta: de mayo de 2015.

3.3.12. Cable plano (*Flat drop*)

Este es un tipo de fibra óptica plana diseñada para el cliente final. Está conformada por un único ducto que contiene de uno a doce hilos de fibra óptica. La principal función es el fácil manejo e instalación.

Figura 29. **Flat drop**



Fuente: *Flat-drop*. https://www.aflglobal.com/Products/Fiber-Optic-Cable/ADSS/Drop-Cable/Flat_Drop_Cable.aspx. Consulta: 2 de junio 2015.

3.4. Herrajes de sujeción para la fibra óptica

Los herrajes son materiales fundamentales para la instalación de pasivos o activos en planta externa. En la fibra óptica son utilizados para la sujeción y tensión del cable a los postes. Se permite la instalación en una forma adecuada, ordenada y segura.

Generalmente están fabricados de metal galvanizado, para así soportar las inclemencias del clima. Los herrajes para la fibra óptica pueden ser para ADSS y OPGW.

3.4.1. Herraje para ADSS

Existen varios herrajes diseñados para ADSS los cuales son necesarios para sujeción y tensión correcta del cable:

- Remate: es un herraje conformado que se utiliza para sujetar el cable dieléctrico con fibras ópticas en distancias variadas según especificación del cable de fibra óptica.

Figura 30. **Sujeción de remate**



Fuente: *Sujeción de remates*. http://www.humbrall.com/f_optica.htm.

Consulta: 2 de junio de 2015.

- Paso o suspensión: es un herraje de suspensión para alojar el cable de fibra óptica ADSS. Generalmente está fabricado en acero galvanizado por inmersión en caliente y protección resistente a rayos ultravioleta.

Figura 31. **Sujeción de paso**



Fuente: *Sujeción de paso*. http://www.humbrall.com/f_optica.htm. Consulta: 2 de junio de 2015.

Figura 32. **Herrajes de sugesión instalados**



Fuente: *Herrajes de sugesión instalados*. http://www.humbrall.com/f_optica.htm.

Consulta: 3 de junio de 2015.

3.4.2. **Herraje para OPGW**

Este tipo de herraje está diseñado para tensión y sujeción del OPGW, por lo cual es necesario ejercer fuerza mecánica para autoportarla.

- De tensión atornillado: es un elemento mecánico utilizado para mantener la continuidad del tendido entre torres o postes.

Figura 33. **Herraje de tensión atornillado**

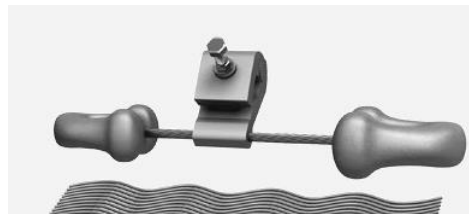


Fuente: *Herraje de tensión atornillado*. http://www.humbrall.com/f_optica.htm.

Consulta: 3 de junio de 2015.

- Amortiguador de vibraciones: es un elemento utilizado para reducir las vibraciones eólicas y de otros factores externos que generen movimientos sobre el cable de fibra óptica.

Figura 34. **Amortiguador**



Fuente: *Amortiguador*. http://www.humbrall.com/f_optica.htm. Consulta: 5 de junio de 2015.

- Fijación: elemento utilizado para sujetar y guiar el cable hacia el punto necesario, fabricado en acero y carbono galvanizado por inmersión en caliente.

Figura 35. **Herraje de fijación**



Fuente: *Herraje de fijación*. http://www.humbrall.com/f_optica.htm. Consulta: 6 de junio de 2015.

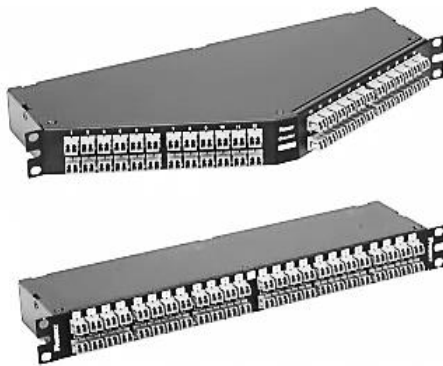
3.5. **Distribuidor de fibra óptica (ODF)**

La función principal es la interconexión ordenada de las fibras ópticas, dando versatilidad en las conexiones de los tendidos de fibra óptica, de planta

externa, hacia los equipos en planta interna. Otra de sus funciones principales es organizar las fibras ópticas haciendo más simple y directa la conexión para las redes. Estos generalmente son instalados *racks*, gabinetes o paredes.

Un ODF puede variar de tamaño según su capacidad. Está formado por una coraza metálica, puertos de ingreso y egreso de cables, bandejas de empalmes en donde se protegen las fusiones de la fibra óptica.

Figura 36. **Distribuidor óptico**



Fuente: *Distribuidor óptico*. <http://www.panduit.com/heiler/SpecificationSheets/D-FBSP61--WW-ENG-QknetHDQHiDenCass-W.pdf>. Consulta: 3 de junio de 2015.

3.6. Caja de empalmes

Son equipos pasivos los cuales están diseñados para proteger los empalmes directos y derivaciones en cables de fibra óptica, su diseño dependerá del ambiente donde se encuentren instalada. Las cajas de empalmes pueden ser con fusionadas o conectorizadas.

3.6.1. Caja de empalme fusionada

Estas solamente manejan cables fusionados. Las partes principales son:

- Juego de cascos protectores: protegen del medio ambiente o ante cualquier eventualidad las fusiones o derivaciones realizadas.
- Bandeja de fusiones: la función principal es proteger la fusión de cada hilo de fibra óptica. También se utiliza para organizar las reservas de hilos de fibra óptica.

Figura 37. **Caja de empalmes fusionada**



Fuente: *Caja de empalmes fusionada.*

http://www.preformed.com/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=10&Itemid=139. Consulta: 3 de junio de 2015.

3.6.2. Caja de empalme preconectorizada

Están diseñadas para redes dinámicas permitiendo una rápida instalación. El uso principal es para conexiones FTTH. Las partes principales son:

- Juego de cascos protectores: protegen del medio ambiente o ante cualquier eventualidad las fusiones o conexiones realizadas.
- Bandeja de fusiones: la función principal es proteger la fusión del hilo de fibra óptica.
- Conectores: son usados para la conexión directa de cable de fibra óptica hacia el cliente, sin necesidad de fusiones, utilizando solamente un conector mecánico.

Figura 38. **Caja de empalmes conectorizada**



Fuente: *Caja de empalmes conectorizada*. <http://fiber-optic-catalog.ofsoptics.com/item/ofs/all-categories-optical-connectivity-closures/slimbox-drop-system>.

Consulta: 3 de junio de 2015.

3.7. Gabinete pasivo

Están contruidos mediante un diseño soporta a nivel masivo interconexiones de la fibra óptica. Pueden manejar bandejas de conexiones por conector o por fusión dependiendo de la aplicación. Pueden ser para interiores o exteriores, su función principal es proteger y ordenar los empalmes de fibra óptica para acceso y distribución de la red.

Figura 39. **Gabinete de distribución**



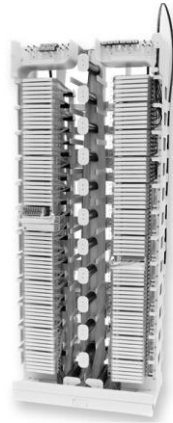
Fuente: *Gabinete de distribución*. <http://www.coreoptic.com/cn/products/Non-cross-Optical-Cabinet-FCC-576F-283.html>. Consulta: 3 de junio de 2015.

3.8. Enhanced Management Frame (EMF)

Está diseñado para aplicaciones FTTx de conexión cruzada y de interconexión. Permite el crecimiento y expansión de un sistema de gestión de fibras de una trama.

Son capaces de soportar y administrar a nivel masivo gran cantidad de fibras ópticas. Es un gabinete destinado a la distribución masiva, puede ser usado como punto de acceso o distribución interna.

Figura 40. **Distribuidor óptico masivo**



Fuente: *Distribuidor óptico masivo*. [http://catalog.corning.com/opcomm/en-US/catalog/MasterProduct.aspx?cid=EMF_frame_web&pid=26260&context=;](http://catalog.corning.com/opcomm/en-US/catalog/MasterProduct.aspx?cid=EMF_frame_web&pid=26260&context=)

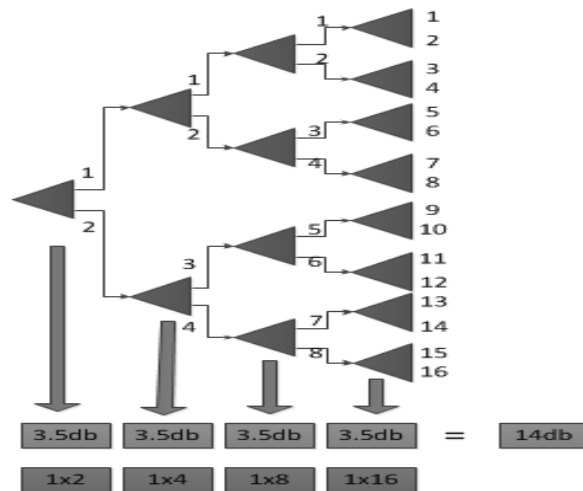
Consulta: 3 de junio de 2015.

3.9. **Splitter N:N**

Un *splitter* en fibra óptica es un tipo de dispositivo pasivo, el cual con una sola señal de luz, es capaz de dividir en múltiples señales de luz. En otras palabras permite dividir la señal óptica de entrada en n ramas de salida con mínimas pérdidas. Estos dispositivos son fundamentales para las redes FTTH PON, la presentación habitual es sobre bandejas de empalme o en casetes para instalación rápida.

Los *splitter* más comunes son: 1x2, 1x4, 1x8, 1x16, 1x32, 1x64, 1x128, 2x2, 2x4, 2x8, 2x16, 2x64. Las ramas de salida tienen pérdidas de inserción aproximadamente iguales en cada una de sus ramas de salida. La pérdida de inserción varía dependiendo el fabricante, en promedio cada salida genera 3,5 db de pérdidas desde la escala 1x2, por cada splitter escalonado se le agrega 3,5 dB a la salida.

Figura 41. **Splitter** escalonado



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator.

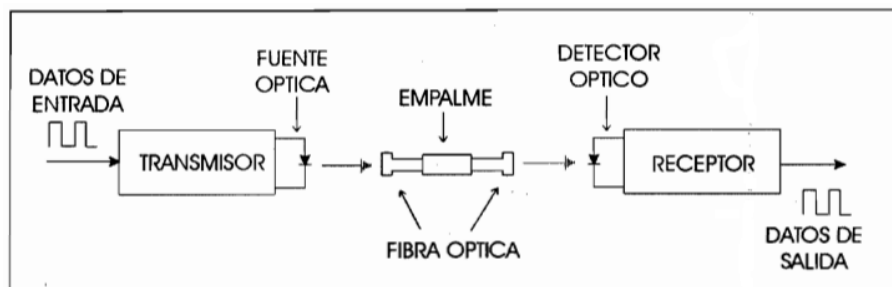
Al utilizar *splitter* para diseñar redes FTTx es muy importante tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Pérdida de retorno: relación de potencia entrada a potencia reflejada.
- Directividad: proporción de señal la cual es transmitida a la fibra óptica paralela.
- Pérdida de inserción: relación de potencia de entrada a potencia de salida.
- Exceso de pérdida: proporción de señal que está presente en la entrada, pero no en la salida (pérdidas intrínsecas).

3.10. Transmisores

Los sistemas de transmisión de fibra óptica utilizan enlaces de datos que funcionan como se muestra en la figura 8.

Figura 42. **Sistema de comunicación por fibra óptica**



Fuente: *Sistema de comunicación por fibra óptica*. <http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/13977529/Sistemas-de-comunicacion-Fibra-optica.html>.

Consulta: 3 de junio de 2015.

Cada enlace de fibra óptica consta de un transmisor en un extremo de a fibra y de un receptor en el otro extremo. La mayoría de los sistemas operan transmitiendo en una dirección a través de un hilo de fibra óptica y en dirección opuesta en otro hilo de fibra óptica, esto es bidireccional. Es posible transmitir en ambas direcciones con un solo hilo de fibra óptica pero se necesitan acopladores para hacerlo.

Para transmitir por medio de fibra óptica se utiliza un láser semiconductor el cual transmite pulsos de luz a través de la emisión estimulada. Esto da como resultado una alta potencia de salida alrededor de los 0,1 J/s.

3.11. Receptores

Utilizan detectores semiconductores como lo son los fotodiodos, sensores ópticos o fotodetectores para convertir las señales ópticas en señales eléctricas. Los fotodiodos de silicio se utilizan para enlaces de longitud de onda corta.

La mayoría de los sistemas utilizan un *transceiver*, este es un dispositivo el cual incluye tanto un transmisor como un receptor en un solo módulo. El transmisor toma un pulso eléctrico y lo convierte en una salida lumínica a partir de un diodo laser o diodo emisor de luz. Este se acopla a la fibra óptica con un conector y se transporta a través de la red existente de fibra óptica. La luz llega a un destino por medio de un acople en el receptor, donde un detector convierte la luz en una señal eléctrica.

3.12. OLT (*optica line termination*)

La OLT es el elemento activo principal de una red PON, por lo cual está ubicado en el nodo central de transmisión y distribución. Su función principal es proveer varios tipos de servicios a gran cantidad de clientes simultáneos haciendo el encaminamiento hacia la red de agregación.

3.13. ONT (*optica network termination*)

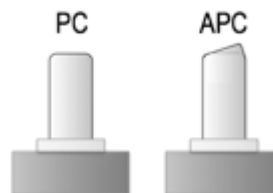
Es el activo instalado en el usuario final, existe ONT para interiores y exteriores varían dependiendo del lugar donde se desea instalar.

3.14. Conectores

Para fibra óptica se cuenta con gran variedad de conectores según el uso y la eficiencia que se quiera obtener. Asimismo existen varios tipos de pulidos para la conexión entre conector y receptor:

- Físico en ángulo de contacto (APC): el pulido de la férula tiene un ángulo de 8°.
- Ultra pulido contacto físico (UPC): tiene un pulido extra y fino aplicado a la cara, pérdida de retorno > 50 dB, pérdida de inserción < 0,3 dB.
- Súper pulido contacto físico: (SPC): cara convexa, pulido extra aplicado a la cara, pérdida de retorno > 40 dB, pérdida de inserción < 0,3 dB.
- Contacto físico (PC): pulido plano, pérdida de retorno > 30 dB, pérdida de inserción < 0,4 dB.

Figura 43. **Conectores para fibra óptica**



Fuente: *Conector para fibra óptica*. <http://www.ni.com/white-paper/11822/es/>.

Consulta: 3 de junio de 2015.

3.14.1. Conector ST

Están formados por una férula larga y cilíndrica de 2,5 mm de cerámica o polímero. Su mayor uso está en edificios para la conexión de la fibra multimodo.

Figura 44. Conector tipo ST

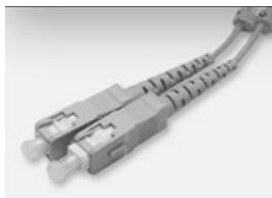


Fuente: *Conector tipo ST*. <http://www.fibraoptica.com/informacion-tecnica/identificacion-de-conectores>. Consulta: 3 de junio de 2015.

3.14.2. Conector SC

Este tipo de conector cuenta con tecnología para sujeción con broche, contiene una férula de 2,5 mm. El mecanismo de broche permite alinear el conector de manera sencilla al adaptador y previene la desconexión accidental.

Figura 45. Conector tipo SC



Fuente: *Conector tipo SC*. <http://www.fibraoptica.com/informacion-tecnica/identificacion-de-conectores>. Consulta: 3 de junio de 2015.

3.14.3. Conector FC

Este tipo de conector cuenta con tecnología para sujeción por rosca, se atornilla firmemente para asegurar la conexión alineada. Es usado para las fibras monomodo, utiliza una férula de 2,5 mm de cerámica.

Figura 46. Conector tipo FC

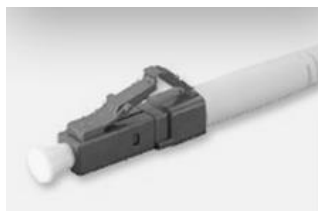


Fuente: *Conector tipo FC*. <http://www.fibraoptica.com/informacion-tecnica/identificacion-de-conectores>. Consulta: 3 de junio de 2015.

3.14.4. Conector LC

Contienen una férula de 1,25 mm, el cuerpo plástico resistente sujeta la férula ofreciendo una mejor alineación. El sistema de acoplamiento es de broche.

Figura 47. Conector LC



Fuente: *Conector LC*. <http://www.fibraoptica.com/informacion-tecnica/identificacion-de-conectores>. Consulta: 3 de junio de 2015.

4. DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA ENFOCADO A LA TECNOLOGÍA PON

4.1. Requerimiento del servicio

Actualmente las redes de fibra óptica para los servicios corporativos son diseñados e implementados, saliendo de un punto único de distribución utilizando. Esto es uno o dos hilos de fibra óptica por servicio.

La tecnología PON viene a optimizar muchos de los aspectos críticos de una red punto a punto. Entre las optimizaciones más importantes de la tecnología PON están:

- Alcance desde el nodo de transición hasta 20 km
- Se simplifica el despliegue de fibra óptica debido a su topología
- Menor impacto visual
- Optimizar de un 70 % a un 100 % el tiempo de instalación
- Minimizar tiempo en resolución de fallas
- Minimizar inversión disminuyendo la instalación de equipo
- Maximizar el uso de cada hilo de fibra óptica
- Optimizar el uso de espacios en nodos de transmisión y distribución
- Menor consumo de energía en nodos, por no haber equipos activos
- Crecimiento dinámico con cobertura en áreas principales

4.2. Áreas comerciales para cobertura PON

La red PON está diseñada para la entrega de servicios a nivel masivo. Por ello es necesario crear áreas de cobertura por cantidad de clientes existentes y potenciales.

4.2.1. Creación de polígonos para entrega de servicios

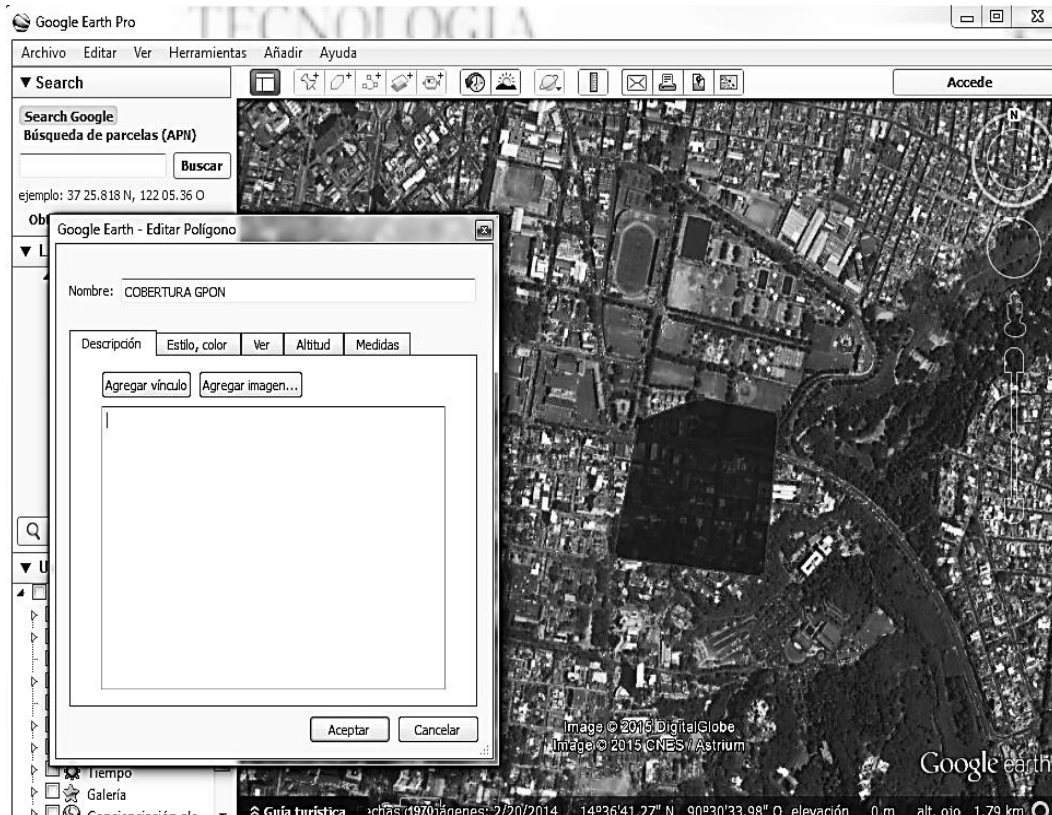
Para crear un área de cobertura es necesario realizar un censo e inventario de los clientes existentes y potenciales segmentándolos por área o por zonas. Para la segmentación y análisis de áreas es necesario utilizar sistemas cartográficos como AutoCAD o Google Earth. En este caso se utiliza google earth debido que tiene una cartografía de libre acceso.

Google Earth es un sistema el cual permite visualizar la cartografía mundial basándose en fotos satelitales. Es posible crear proyectos con puntos geo-posicionados, medir distancias entre varios puntos, visualizar alturas, ingreso de imágenes, creación de polígonos sobre un área determinada.

La función para crear polígonos en Google Earth es la indicada para la segmentación de las áreas. Para crear el polígono se debe de realizar los siguientes pasos:

- Buscar el área a cubrir.
- Presionar el botón agregar polígono.
- Trazar el área que se necesita segmentar.
- Colocarle nombre al polígono haciendo referencia al nivel del área que se requiera.

Figura 48. Creación de cobertura con polígono



Fuente: elaboración propia, con programa de Google Earth.

Es posible cambiar los atributos del polígono dependiendo de las necesidades del diseño. Se cambia el color, ancho de línea, medidas, agregando imagen.

Para los diseños PON es necesario crear distintas capas en áreas de cobertura:

- Cobertura nodo de transmisión
- Cobertura capa 1 (orden uno, primer *splitter*)

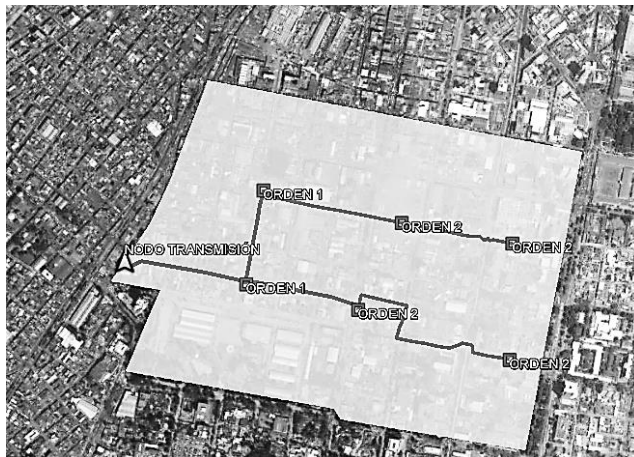
- Cobertura capa 2 (orden dos, *splitter* en cascada alimentado por un *splitter* de orden 1)

Las coberturas ayudarán gráficamente a detectar futuros clientes, clientes existentes y a la reparación de tramos dañados.

4.2.1.1. Cobertura del nodo de transmisión

La cobertura del nodo de transmisión está basada en la cantidad de clientes, distancia máxima del nodo hacia el cliente más lejano y crecimiento futuro.

Figura 49. Creación de cobertura nodo



Fuente: elaboración propia, con programa de Google Earth.

4.2.1.2. Cobertura orden uno (nivel 1)

La cobertura orden uno o capa uno se refiere al polígono donde se encuentran los *splitter* que se alimenta del primero conectado directamente a la OLT. Es necesario que dentro de la caja de empalmes o gabinete pasivo donde

se encuentre el primer *splitter* también se instale el *splitter* de orden dos para tener cobertura dentro de ese sector.

Figura 50. **Creación de cobertura orden uno (nivel 1)**



Fuente: elaboración propia, con programa de Google Earth.

4.2.1.3. **Cobertura orden dos (nivel 2)**

La cobertura orden dos o capa dos, se refiere al área donde se pueden interconectar los clientes teniendo como fuente el *splitter* en cascada.

Figura 51. **Creación de cobertura orden dos (nivel 2)**



Fuente: elaboración propia, con programa de Google Earth.

4.3. Ancho de banda

Cada equipo GPON puede alcanzar hasta los 2,488 Gbit/s simétrica y asimétrica. Las velocidades más comunes que pueden soportar los equipos GPON son de 2,488 Gbit/s de bajada y de 1,244 Gbit/s de subida, compartido por cada 64 clientes.

Con GPON se logra crear una red robusta de acceso utilizando al máximo cada hilo de fibra óptica. La red de acceso es la más cercana a la red de los usuarios finales. El método de encapsulamiento que emplea GPON permite soportar cualquier tipo de servicio (Ethernet, TDM, ATM, Etc), el protocolo es síncrono y está basado en tramas periódicas de 125 μ s.

4.4. Equipo activo y pasivo a utilizar

Estos deben ser escogidos por sus especificaciones técnicas y necesidades del diseño.

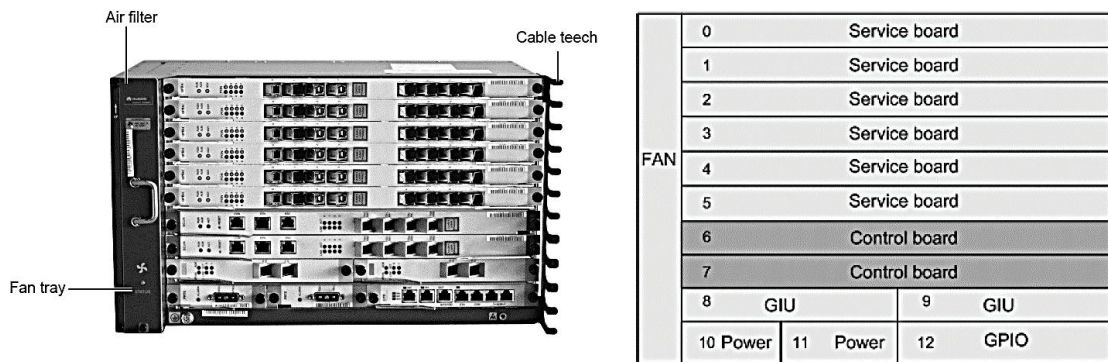
4.4.1. Equipos activos

Son esenciales que conforman una GPON son: OLT, ONT.

4.4.1.1. OLT

En el diseño propuesto la OLT (línea óptica de terminal de agregación) debe tener un mínimo de 6 ranuras de servicio y 48 puertos de servicio. Debe proporcionar una alta fiabilidad y un reloj de alta precisión e interfaces para conectar en cascada equipos remotos. El equipo debe soportar múltiples escenarios (FTTC, FTTB, FTTH, FTTO), esto para futuras migraciones o diseños. Para cumplir con las especificaciones del diseño el equipo debe de tener un consumo de energía máximo por tarjeta de 8 puertos hasta 55 J/s.

Figura 52. OLT



Fuente: OLT. http://www.huaweinetwork.com/huawei-ma5600t-price_p3783.html?gclid=CMzWgPjKm8UCFQM7Aodh0oAkg. Consulta: 3 de junio de 2015.

4.4.1.2. ONT

La ONT (terminal de red óptica) es un equipo de acceso de alta gama. Con el uso de GPON es posible entregar servicios al cliente final proporcionándole acceso de banda ancha. Para el diseño propuesto es necesario tener una ONT con cuatro puertos Ethernet de alta velocidad (GE Ethernet) y dos puertos de servicio telefónico (POTS).

Figura 53. ONT



Fuente: ONT. <http://www.ederagroup.cz/technologie-gpon/ont/echolife-hg8240>.

Consulta: 3 de junio de 2015.

4.4.2. Equipos pasivos

Los equipos pasivos esenciales que conforman una GPON son: fibra óptica, *splitter*, conectores mecánicos, caja de empalmes.

4.4.2.1. Fibra óptica

Esta se instala desde el nodo de transmisión hacia un punto de distribución se utiliza fibra óptica de veinticuatro, doce, y ocho hilos para la red de distribución. La fibra óptica de un hilo es utilizada para el cliente final.

Las diferentes capacidades de fibras ópticas deben de cumplir las siguientes especificaciones:

- Fibra de espectro completo con longitudes de onda desde 1 260 nm a 1 625 nm.
- Monomodo.
- Atenuación a los 1 310 nm menor de 0,5 dB/km.
- Atenuación a los 1 550 nm menor de 0,4 dB/km.
- Pérdida en macro curvatura a los 1 625 menor a 0,1 dB.
- Apegarse a la norma G,652.

Fibra de un hilo: cable de fibra óptica monomodo con revestimiento primario en acrilato, ocho con mensajero de acero, el recubrimiento termoplástico ignífugo y resistente a rayos ultravioleta.

Tabla II. **Características fibra óptica de un hilo**

Características	Valor	Unidad
Dimensiones	2,0 x 5,0	nm
Masa	20	Kg/km
Carga Máxima de instalación (autosoportada)	660	N
Carga Máxima de instalación (unidad óptica)	148	N
Diámetro mínimo de curvatura (durante instalación)	60	mm
Diámetro mínimo de curvatura (después de la instalación)	30	mm
Coefficiente de fricción dinámico (unidad optativa)	0,25	-
Vano máximo	80	nm
Rango de temperatura	263 a 338	K
Atenuación máxima	≤ 0,40 en 1 310 nm ≤ 0,30 en 1 550	dB/km

Fuente: elaboración propia.

4.4.2.2. **Splitter**

Se utilizarán *splitter* 1x8 fusionados en el primer nivel y *splitter* 1x8 conectorizados en el segundo nivel, los conectorizados servirán para conectar los clientes finales.

Los *splitter* fusionados y conectorizados deben de cumplir con las siguientes características:

- Diseño compacto
- Alta fiabilidad
- Amplio rango de longitudes de onda
- Baja pérdida de inserción

Tabla III. **Características *splitter* conectorizado 1x8**

Parámetros	Valor	Unidad
Longitudes de onda	(1 260 -1 650)	nm
Pérdida de inserción (IL)	10,7	dB
Perdida de retorno (RL)	55	dB
Temperatura de operación	228 a 358	k

Fuente: elaboración propia.

4.4.2.3. **Conectores mecánicos**

Los conectores son utilizados para una conexión rápida y fácil. La tecnología tiene como principal característica la reducción del tiempo y activación de clientes en redes FTTx. El conector a utilizar debe cumplir las siguientes características:

Tabla IV. **Características conector mecánico**

Tipo de conector	SC-APC	
Parámetros	Valor	Unidad
Perdida de inserción (IL)	≤ 3,0	dB
Perdida de retorno (RL)	≤ 50	dB
Temperatura de operación	243 a 348	k

Fuente: elaboración propia.

4.4.2.4. **Caja de empalmes**

Esta juega un papel importante para la distribución de clientes, por lo cual se debe elegir con mucho cuidado. La caja de empalme o terminación debe almacenar y proteger los empalmes ópticos por fusión entre el cable troncal y los de salida de una red óptica.

Para las cajas de empalme destinado a los clientes debe proporcionar la gestión y almacenamiento de adaptadores mecánicos para las salidas conectorizados. Esto para el diseño propuesto se utilizará una caja con las siguientes características:

Tabla V. **Caja de empalmes**

Especificaciones	Descripción
Dimensiones	30 (alto)x 2 (ancho) x 10 (profundidad) cm
Material	Termoplástico reforzado
Color	Negro
Diámetro de cable de entrada	2 cables de 12mm
Diámetro de los cables de derivación	16 cables de hasta 4,5
Bandeja de empalmes	2

Fuente: elaboración propia.

4.5. Tipo de fibra óptica

Un diseño de red en fibra óptica para clientes requiere de una red principal de distribución y una red última milla. Para la red de distribución se utiliza fibra óptica de 24, 12, y 8 hilos, para la red de última milla se utiliza fibra de 1 hilo.

4.5.1. Fibra óptica de 24 hilos

Los cables de fibra de 24 fibras ópticas están colocadas dentro de 2 tubos holgados con material absorbente de humedad. Cada tubo contiene 12 hilos de fibra óptica con bajo pico de agua que proporciona un rendimiento óptimo en las dos ventanas a 1 310 nm y 1 550 nm. La construcción de la misma se rige por estándares de la Norma ITU G654 D.

4.5.2. Fibra óptica de 12 hilos

Los cables de fibra de 12 fibras ópticas están colocadas dentro de 2 tubos holgados con material absorbente de humedad. Cada tubo contiene 6 hilos de fibra óptica monomodo con bajo pico de agua que proporciona un rendimiento óptimo en las dos ventanas a 1 310 nm y 15 50 nm. La construcción de la misma se rige por estándares de la Norma ITU-G654 D.

4.5.3. Fibra óptica de 8 hilos

Los cables de fibra de 8 hilos de fibra óptica son de tipo fibra plana (*flat drop*) están colocadas dentro de 1 tubo holgado con material absorbente de humedad. El tubo contiene 8 hilos de fibra óptica tipo monomodo con bajo pico de agua proporciona un rendimiento óptimo en las dos ventanas a 1 310 y 1 550 nm, su construcción se rige por la Norma ITU-G652D.

4.5.4. Fibra óptica de 1 hilo

El cable está compuesto por una fibra óptica monomodo con revestimiento primario en acrilato su forma es en ocho con mensajero de acero galvanizado con diámetro de 1,2 mm. Este contiene dos elementos dieléctricos con 0,5 mm de diámetro nominal paralelos al hilo de fibra óptica para protección y soporte de la misma. La cubierta externa está formado de material termoplástico con características de baja fricción, resistente a intemperie y rayos ultravioleta.

4.6. Pérdidas ópticas

Como primer parte de un diseño, es importante tener un presupuesto de potencia, lo cual es la resta de la sumatoria de las pérdidas ópticas desde un punto inicial a un punto final.

Según la Norma ITU-T G,984, se tiene un presupuesto óptico de 28 dB. Para calcular la pérdida máxima en un diseño de GPON es necesario tomar en cuenta todas las pérdidas ocasionadas por los elementos pasivos.

A_t = atenuación total de la fibra óptica

I_c = incerteza de la fibra óptica

P_f = pérdida por fusión

P_c = perdida por conector

I_{s1} = inserción del *splitter* 1

I_{s2} = inserción del *splitter* 2

$$P_m = A_t + I_c + P_f + P_c + I_{s1} + I_{s2} + \dots + I_{sn}$$

Para realizar el cálculo se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- La fibra óptica en promedio pierde 0,3 dB por cada 1 km
- La incerteza en la fibra óptica tiende a ser de 0,1 dB por cada 5 km
- La pérdida por cada fusión que se realice debe de ser de 0,1 dB
- La pérdida máxima permitida en un conector mecánico es de 0,6 dB
- La inserción del *splitter* 1 y 2 varia depende de su capacidad

Tabla VI. **Pérdidas por *splitter* 1: N, 2: N**

Splitter 1:N			
Entrada (puerto)	Salida (puerto)	Capacidad	Perdida (dB)
1	2	1x2	3,5
1	4	1x4	7
1	8	1x8	10,5
1	16	1x16	14
1	32	1x32	17,5
1	64	1x64	21
Splitter 2:N			
Entrada (puerto)	Salida (puerto)	Capacidad	Perdida (dB)
2	2	2x2	3,8
2	4	2x4	7,8
2	8	2x8	11,2
2	16	2x16	14,6
2	32	2x32	17,5
2	64	2x64	21

Fuente: elaboración propia.

Para realizar el cálculo de las pérdidas del *splitter* seleccionado hay que sumar 3,5 dB por cada *splitter* en cascada, tomando como base la pérdida del *splitter* de 1x2.

Tabla VII. **Cálculo de pérdidas por *splitter***

Capacida											Perdida (dB)	
1x2	3,5										3,5	
1x4	3,5	+	3,5								7	
1x8	3,5	+	3,5	+	3,5						10,5	
1x16	3,5	+	3,5	+	3,5	+	3,5				14	
1x32	3,5	+	3,5	+	3,5	+	3,5	+	3,5		17,5	
1x64	3,5	+	3,5	+	3,5	+	3,5	+	3,5	+	3,5	21

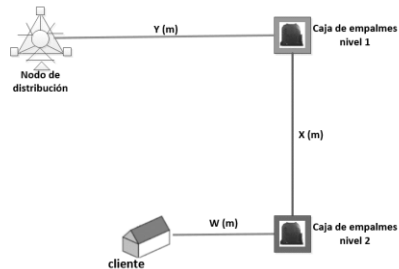
Fuente: elaboración propia.

Finalmente para calcular la pérdida máxima es necesario sumar todas las pérdidas que afectan desde el punto inicial al punto final. Esto tomando en cuenta la distancia de la fibra óptica y los *splitter* a utilizar.

La forma práctica para medir la pérdida de un diseño es crear una dinámica. Esta debe ser del cálculo automático según los valores que se ingresen del diseño.

Los valores que se necesitan en el diseño son: distancia del cliente a la caja de empalmes de distribución nivel 2 (W), puerto del *splitter* nivel 2 (Pto2), tipo de *splitter* en nivel 2 (SP2). Es la distancia desde la caja de empalmes de distribución hacia la caja de empalmes de nivel 1 (X), puerto del *splitter* nivel 1 (Pto1), tipo de *splitter* en nivel 1 (SP1), distancia de la caja de empalmes de nivel 1 hacia el nodo de distribución (Y).

Figura 54. **Pérdida para un diseño GPON**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

4.7. **Diseño en sistema cartográfico**

Esta expresión existe gracias a lo denominado diseño cartográfico. La nitidez y la claridad del mensaje final no deben tener ambigüedad y dependen de la manera de aplicar este diseño a la realización cartográfica. Si bien no hay un modo objetivo de elaborar los mapas, hay que respetar no obstante reglas fundamentales.

4.7.1. **Criterios básicos para diseñar una red GPON**

Se recomienda que la longitud del cable de fibra óptica, desde el cliente hasta el nodo de distribución, se tome como máxima una distancia que no afecte el presupuesto óptico de 28 dB.

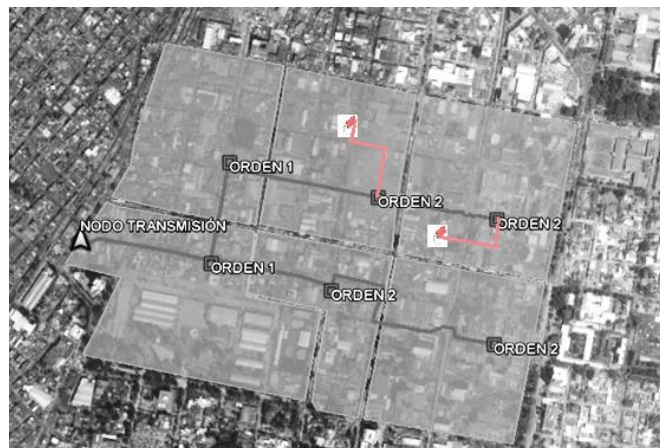
Para todas las topologías y diseños se recomiendan hasta dos niveles de *splitter* ya que con un incremento al tercer nivel aumenta considerablemente las pérdidas en el enlace.

Una de las fortalezas de la tecnología GPON es tener disponibilidad para gran cantidad de clientes. Por ello es recomendable seleccionar áreas altamente comerciales.

4.7.2. Diseño físico de la red

Un diseño físico debe realizarse basándose en la necesidad del área comercial. Es recomendable dejar lista la infraestructura para posibles ampliaciones. Un punto importante para el diseño son las áreas de cobertura nivel dos, cualquier cliente que salga de esta área, deberá conectarse a la caja de empalmes perteneciente al área de cobertura.

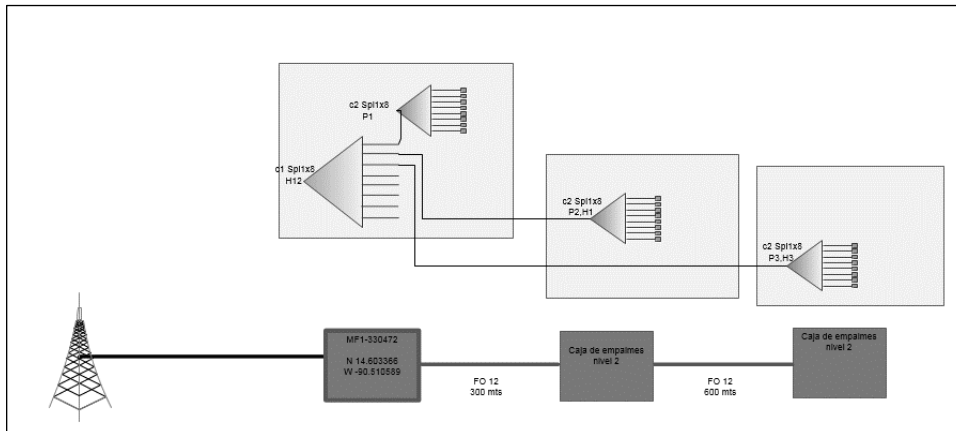
Figura 55. **Diseño en Google Earth (nodo–cliente)**



Fuente: elaboración propia, empleando Google Earth.

Las ampliaciones necesarias se determinarán conforme se instalen clientes en la red existente. Se recomienda que la infraestructura, dentro de la caja de empalmes, quede como se muestra en la figura 13. Esto para lograr un crecimiento dinámico.

Figura 56. **Diseño (nodo–caja de empalmes)**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

4.7.3. Presupuesto óptico

Tomando como base el diseño de la figura 56, y utilizando los siguientes datos, se puede calcular el presupuesto óptico.

- Distancia (cliente - caja distribución 2), $W=300$ m.
- Tipo de *splitter* nivel 2, $SP2=8$
- Distancia (caja distribución 2 - caja distribución 1), $X=700$ m
- Tipo de *splitter* nivel 1, $SP1=8$
- Distancia (caja distribución 1 – Nodo), $Y=415$ m

Utilizando una, para ingreso de datos automática, se puede observar que el presupuesto óptico da como resultado 23,95 dB. Esto es aceptable, ya que está dentro del rango permitido por la ITU-T G,984.

Tabla VIII. **Presupuesto óptico**

INGRESO DE DATOS							
W (m)	Pto. 2	SP 2	X (m)	Pto. 1	SP 1	Y (m)	
300	1	8	700	1	8	415	
SUMATORIA DE PERDIDAS							
Distancia máxima	At	Ic	Pf	Pc	Is 2	Is 1	Pm (dB)
1 415	0,4245	0,0283	0,4	1,2	10,7	11,2	23,9528

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.7.4. **Conectividad**

Para tener un buen control de GPON es necesario documentar y controlar las posiciones utilizadas desde el equipo localizado en el nodo de distribución hasta el cliente final. Para esto se recomienda llevar la distribución y utilización de los puertos e hilos de fibra óptica en una base de datos digital.

4.8. **Presupuesto por área**

Para todos los trabajos es necesario tener un presupuesto de adquisición de materiales y ejecución. Con esto se podrá realizar el cálculo de cuánto tiempo se necesita para recuperar la inversión.

En la tabla IX se detalla el costo de los materiales necesarios para la construcción de la red.

Tabla IX. Costo materiales

Descripción del material	cantidad	unidad medible	Precio unitario (iva incluido)	Total (iva incluido)
Fibra óptica - 8- 1hilo -	300	metros	Q 2,73	Q 819,00
Fibra óptica - FLAT DROP- 8 hilos-	700	metros	Q 3,20	Q 2 238,60
fibra óptica - ADSS - 12 hilos- vano 150 metros-	415	metros	Q 8,50	Q 3 528,33
Caja de empalmes - 16 posiciones- 32 fusiones.	6	unidades	Q 663,00	Q 3 978,00
Herraje de paso para diámetros de 9 – 14 mm	4	unidades	Q 920,40	Q 3 681,60
Herraje para fibra de 8 hilos	12	unidades	Q 3,67	Q 43,99
Herraje de remate para fibra de 9 – 14 mm	6	unidades	Q 600,60	Q 3 603,60
splitter fusionado 1x8	2	unidades	Q 117,00	Q 234,00
splitter conectorizado 1x8	6	unidades	Q 218,40	Q 1 310,40
acopladores para conectores SC/APC	96	unidades	Q 39,00	Q 3 744,00
Conectores SC/APC	2	unidades	Q 11,70	Q 23,40
OLT con 8 puertos (512 clientes)	1	unidades	Q 25 038,00	Q 25 038,00
ONT	2	unidades	Q 410,00	Q 820,00
caja terminal - 4"x2"-	2	unidades	Q 14,12	Q 28,24
Total				Q 49 091,16

Fuente: elaboración propia.

En la X se detalla el costo de la construcción para dejar disponibilidad de 128 clientes. Se incluye la instalación de 2 clientes. Los costos dependerán de la empresa que preste los servicios.

Tabla X. Costo servicios de instalación

Descripción del material	cantidad	unidad medible	Precio unitario (iva incluido)	Total (iva incluido)
Fibra óptica - 8- 1 hilo -	300	metros	Q 6,00	Q 1 800,00
Fibra óptica - FLAT DROP- 8 hilos-	700	metros	Q 8,00	Q 5 600,00
fibra óptica - ADSS - 12 hilos- vano 150 metros-	415	metros	Q 8,00	Q 3 320,00
Caja de empalmes - 16 posiciones- 32 fusiones.	6	unidades	Q 300,00	Q 1 800,00
Herraje de paso para diámetros de 9 – 14 mm	4	unidades	Q 2,00	Q 8,00
Herraje para fibra de 8hilos	12	unidades	Q 2,00	Q 24,00
Herraje de remate para fibra de 9 – 14 mm	6	unidades	Q 2,00	Q 12,00
splitter fusionado 1x8	2	unidades	Q 100,00	Q 200,00
splitter conectorizado 1x8	6	unidades	Q 100,00	Q 600,00
acopladores para conectores SC/APC	96	unidades	Q 10,00	Q 960,00
Conectores SC/APC	2	unidades	Q 10,00	Q 20,00
OLT con 8 puertos (512 clientes)	1	unidades	Q 1 500,00	Q 1 500,00
ONT	2	unidades	Q 40,00	Q 80,00
caja terminal - 4"x2"-	2	unidades	Q 50,00	Q 100,00
Total				Q 16 024,00

Fuente: elaboración propia.

El total de la inversión para una GPON de 128 clientes con opción a expansión es la sumatoria de los costos de materiales con los costos de instalación, eso da un total de Q 65115,16.

4.9. Generación de reporte e ingeniería

Luego de la construcción de GPON es importante dejar todo debidamente documentado para un mejor control y planificación de la red. Una red sin documentación causa los siguientes problemas:

- Ingenierías de ejecución inciertas
- Crecimiento desordenado
- Difícil ubicación en campo para las fallas
- Habilitación del cliente final en mayor tiempo
- Levantamientos en campo innecesarios
- Sin opción para planificación de crecimiento en la red existente

Los reportes finales de la red de distribución nueva deben llevar un reporte de cros conexión, reporte de tendido, reporte esquemático, reporte fotográfico.

El reporte de cros conexión se refiere a la interconexión desde el inicio al punto final. El reporte debe tener lo siguiente: ubicación del equipo (OLT), equipo de acceso (ODF), tipo de fibra óptica, del presupuesto óptico, datos cliente final.

El reporte de tendido es la documentación planta externa por donde se apoyan los cables de transmisión. El reporte debe tener lo siguiente: tipo de

apoyo, tarjeta de identificación para identificación, distancia acumulada, coordenadas por punto de apoyo, herrajes instalados.

El esquemático básicamente es el diseño final del proyecto ejecutado. El reporte debe tener lo siguiente: diagrama gráfico de la red construida, cros conexión de los cables, asignación de identificación para cada elemento pasivo, tipo de pasivos y activos.

El reporte fotográfico es sumamente importante para la verificación de las buenas prácticas y la construcción de acuerdo a las normas establecidas.

CONCLUSIONES

1. Las redes ópticas pasivas están creadas para la optimización del uso de la fibra óptica basados en sistemas CATV. PON es una tecnología punto-multipunto la cual está conformada por la unidad óptica terminal (OLT), un divisor óptico (*splitter*), la unidad lógica de usuario (ONU).
2. La GPON está basada en topología árbol la cual está compuesta por OLT equipo encargado para a distribución, *splitter*, ONT, cliente o punto final, nodo de transmisión.
3. Los herrajes son materiales fundamentales para la instalación de pasivos o activos en planta externa. En la fibra óptica son utilizados para la sujeción y tensión del cable a los postes, permitiendo la instalación en una forma adecuada, ordenada y segura.
4. Un *splitter* en fibra óptica es un tipo de dispositivo pasivo, el cual con una sola señal de luz, es capaz de dividir en múltiples señales de luz.
5. La OLT es el elemento activo principal de una red PON, por lo cual está ubicado en el nodo central de transmisión y distribución.
6. La ONT (terminal de red óptica) es un equipo de acceso de alta gama con el uso de GPON es posible entregar servicios al cliente final proporcionándole acceso de banda ancha.

7. En GPON un mismo canal desde el nodo central puede brindar servicio hasta un máximo de 64 ONT.

RECOMENDACIONES

1. Crear áreas de cobertura por cantidad de clientes existentes y potenciales. Esto con el fin de tener disponibilidad de servicios en áreas comercialmente potenciales.
2. Chequeo periódico de la disponibilidad de puertos y servicios en redes existentes.
3. Utilizar GPON exclusivamente para servicios corporativos, ya que incluir otro tipo de servicios dentro de la misma red tendrá como resultado desorden en el crecimiento y disponibilidad de servicios.
4. Si el área seleccionada cuenta con más clientes potenciales de los que la red construida puede proporcionar, dividir las áreas de cobertura en dos y rediseñar la red existente.
5. Documentar la red construida y cualquier cambio que pueda tener en un futuro. Esto ayudará a un crecimiento ordenado y correcto.

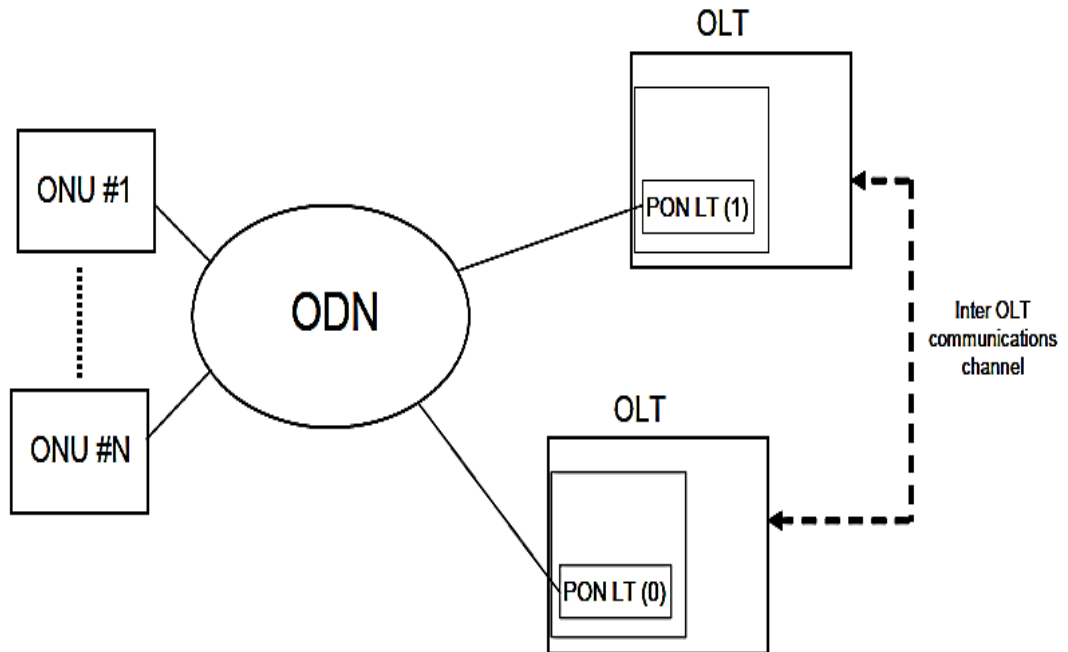
BIBLIOGRAFÍA

1. CHOQUET, Laurence. *Reference guide to fiber optic, Glossary*. Francia: JDSU. 2008. 81 p. ISBN: 3014264.000.0408.GLOSSARY.BK.FOP.TM.AE.
2. COLLINGS, Brandon; HEISMANN, Fred. LIETAERT Gregory. *Reference guide to fiber optic, advanced fiber optic testing*. Francia: JDSU, 2010. ISBN: 30162885.000.03.FIBERGUIDE2.BK.FOP.TM.AE.
3. *Elementos pasivos y activos de una red de computadoras*. [en línea]. <<https://prezi.com/wzrki5hsujbe/elementos-pasivos-y-activos-de-una-red-de-computadoras/>>. [Consulta: 5 de mayo de 2015].
4. FRENZEL, Louis. *Electrónica aplicada a los sistemas de las comunicaciones*. 3a ed. México: Alfaomega, 2003. 533 p. ISBN: 970-15-0854-8.
5. GUEVARA HENAO, Juan Sebastian. *Tecnologías de redes PON*. [en línea]. <http://www.tecnologia.technology/wp-content/uploads/2010/06/Definicion_caracteristicas_PONAPON_BPON_GEPON_GPON_EPON>. [Consulta: 5 de mayo de 2015].
6. LAFERRIÈRE, J; LIETAERT, Gregory. *Reference guide to fiber optic testing*. 2da ed. Francia: JDSU, 2011. 161 p. ISBN: 30149054.002.0111.FIBERGUIDE1.BK.FOP.TM.AE

7. RUBIO MARTINEZ, Baltasar. *Introducción a la ingeniería de la fibra óptica*. Buenos Aires: Addison-wesley, 1994. 414 p. ISBN: 0-201-62199-1.
8. SAFFORD, Edward. *Introducción a la fibra óptica y el láser*. Madrid: Paraninfo, 1994. 282 p. ISBN: 84-283-1582-5.
9. TOMASI, Wayne. *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. 4a ed. México: Pearson Educación, 2003. 976 p. ISBN: 9702603161.

APÉNDICES

Para protección con tecnología PON se implementa mediante dos OLT



Fuente: elaboración propia.

