



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

IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE FIBRA ÓPTICA HASTA EL HOGAR (FTTH)

Juan Francisco Rodas Guerra
Asesorado por el Ing. Juan Miguel Sitaví Cos

Guatemala, octubre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE FIBRA ÓPTICA HASTA EL HOGAR
(FTTH)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JUAN FRANCISCO RODAS GUERRA

ASESORADO POR EL ING. JUAN MIGUEL SITAVÍ COS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2017

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	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota
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:

IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE FIBRA ÓPTICA HASTA EL HOGAR (FTTH)

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha 18 de agosto de 2016.



Juan Francisco Rodas Guerra

Guatemala. 06 de junio del 2,017

Ingeniero
Carlos Eduardo Guzmán
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:
IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE FIBRA ÓPTICA HASTA EL HOGAR (FTTH),
del señor **Juan Francisco Rodas Guerra**, por considerar que cumple con los
requisitos establecidos.

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

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,



Ing. Juan Miguel Sitavi Cos
Colegiado 2,907
Asesor

Ing. Juan Miguel Sitavi Cos
Col 2907



REF. EIME 34. 2017.

27 de JUNIO 2017.

FACULTAD DE INGENIERIA

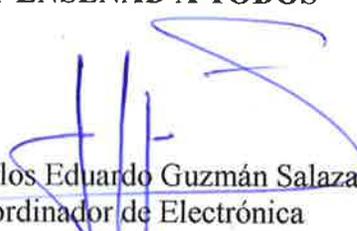
Señor Director
Ing. Francisco Javier González López
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE FIBRA ÓPTICA
HASTA EL HOGAR (FTTH), del estudiante Juan
Francisco Rodas Guerra, 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 de Electrónica



SRO



REF. EIME 34. 2017.

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; JUAN FRANCISCO RODAS GUERRA titulado: IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE FIBRA ÓPTICA HASTA EL HOGAR (FTTH) , procede a la autorización del mismo.

Ing. Otto Fernando Andriano González



GUATEMALA, 17 DE AGOSTO 2017.

Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.D.524.2017

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: **IMPLEMENTACIÓN DE REDES DE FIBRA ÓPTICA HASTA EL HOGAR (FTTH)**, presentado por el estudiante universitario: **Juan Francisco Rodas Guerra**, 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 Polanco
Decano



Guatemala, octubre, de 2017

/cc

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por permitirme llegar a este momento en mi carrera profesional y darme todas las facultades para poder terminar este gran paso en mi vida.
- Mis padres** Francisco Rodas y Carolina Guerra, por ser mi inspiración y guías durante toda mi vida. Además de su apoyo incondicional durante toda mi vida.
- Mis hermanos** José Adolfo Rodas Guerra y Pablo Alejandro Rodas Guerra, por darme ánimos para seguir adelante en cada momento y motivarme durante toda la carrera.
- Mi esposa** Ana Lucía Medina, por ser mi motivación cada día, un gran ejemplo a seguir y por animarme en los peores momentos a seguir adelante.
- Mis compañeros** José Adán Núñez, Luis Isidro González y Luis Antonio Vásquez, por estar conmigo en toda esta travesía. Por la ayuda en cada clase y en cada proyecto y por compartir en todo momento este logro.

Mi asesor

Ing. Juan Miguel Sitaví, por todo el apoyo
mostrado durante la realización de esta tesis, por
sus consejos y apoyo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. TECNOLOGÍAS INICIALES	1
1.1. Conexión por línea conmutada.....	1
1.1.1. Ventajas y desventajas de la tecnología Dial-up	3
1.2. Red digital de servicios integrados (RDSI)	4
1.2.1. Acceso básico (BRI)	6
1.2.2. Acceso primario (PRI).....	6
1.2.3. Ventajas y desventajas de la tecnología RDSI	6
1.3. Línea de abonado digital	8
1.3.1. Los tipos de tecnología DSL	9
1.3.1.1. Línea de abonado digital simétrica	9
1.3.1.2. Línea de abonado digital asimétrica	10
1.3.1.3. Línea de abonado digital veloz	10
1.3.1.4. Línea de abonado digital muy veloz	11
1.3.2. Ventajas y desventajas de la tecnología DSL.....	11
1.4. Redes híbridas de fibra y coaxial (HFC)	13
1.4.1. Ventajas y desventajas de la tecnología HFC	15
1.5. Redes ópticas pasivas.....	17
1.5.1. Arquitectura de las redes ópticas pasivas	18

1.5.2.	Ventajas y desventajas de la tecnología PON.....	21
2.	FIBRA ÓPTICA	23
2.1.	Descripción de la fibra óptica	23
2.2.	Aspectos físicos de la fibra óptica	24
2.3.	Propagación de la luz en la fibra óptica.....	26
2.3.1.	Perfil del índice.....	26
2.3.2.	Reflexión y refracción de la luz.....	27
2.3.3.	Modulación de la luz.....	28
2.3.4.	Características de la fibra óptica	29
2.3.4.1.	Cobertura resistente.....	31
2.3.4.2.	Uso dual (interior y exterior)	31
2.3.4.3.	Mayor protección en lugares húmedos.....	32
2.3.5.	Protección antinflamable	33
2.3.5.1.	Empaquetado de alta densidad.....	34
2.4.	Clasificación de la fibra óptica	35
2.4.1.	Fibra monomodo	35
2.4.2.	Fibra multimodo.....	36
2.4.2.1.	Fibras multimodo de índice escalonado	36
2.4.2.2.	Fibras multimodo de índice gradual	37
2.5.	Tipos de pulido de la fibra óptica.....	39
2.5.1.	Pulido plano (FLAT)	39
2.5.2.	Pulido PC (Physical Contact)	40
2.5.3.	Pulido UPC (Ultra Physical Contact)	41
2.5.4.	Pulido APC (Angled Physical Contact)	42
2.6.	Tipos de conectores de la fibra óptica.....	43
2.6.1.	ST (Straight tip o punta recta)	43

2.6.2.	SC (Subscriber connector o square connector o conector de suscriptor)	44
2.6.3.	LC (Lucent connector or little connector o conector pequeño)	45
2.6.4.	FC (Ferrule Connector o Conector Ferrule)	45
2.7.	Ventajas y desventajas de la fibra óptica.....	46
2.7.1.	Ventajas.....	46
2.7.2.	Desventajas	47
3.	TECNOLOGÍA FTTH (FIBRA HASTA EL HOGAR)	49
3.1.	¿Qué es la tecnología FTTH?	49
3.2.	Componentes de una red FTTH	50
3.2.1.	Terminal óptica de línea OLT.....	52
3.2.1.1.	Partes de un OLT	52
3.2.1.2.	Características de un OLT	54
3.2.2.	Terminal óptica de red ONT.....	54
3.2.2.1.	Características de un ONT	55
3.2.3.	Divisores ópticos o splitters	56
3.2.3.1.	Características de un divisor óptico	58
3.2.4.	Red de distribución óptica ODN.....	58
3.3.	Topologías de las redes FTTH	59
3.3.1.	Topología punto a punto.....	60
3.3.2.	Topología punto a multipunto	61
3.3.3.	Topología de anillo	62
3.4.	Ventajas y desventajas de la tecnología FTTH	63
4.	IMPLEMENTACIÓN DE REDES FTTH.....	65
4.1.	Fase planificación.....	67
4.1.1.	Cronograma de actividades	67

4.1.2.	Diseño y arquitectura de red	69
4.1.2.1.	Condiciones básicas del diseño de una red	70
4.1.2.2.	Selección de topología	70
4.1.3.	Diseño de una red para 40 casas.....	71
4.1.4.	Estudio de sitio	73
4.1.5.	Dimensionamiento de material y equipo	75
4.1.6.	Ingeniería de instalación.....	76
4.2.	Fase de instalación	77
4.2.1.	Instalación de ODN	78
4.2.2.	Instalación en hogar del cliente	79
4.2.2.1.	Conexión NAP	80
4.2.2.2.	Instalación del cable de DROP	80
4.2.2.3.	Conexión de ONT.....	80
4.2.3.	Pruebas de funcionamiento.....	80
4.2.3.1.	Pruebas de aceptación de red.....	81
4.2.3.1.1.	Caracterización	81
4.2.3.1.2.	Medición de ORL	83
4.2.3.1.3.	Medida de pérdida	84
4.2.3.2.	Pruebas de aceptación del cliente.....	84
4.3.	Fase final.....	85
4.3.1.	Aceptación por parte del cliente	85
4.3.2.	Reportes.....	86
4.3.2.1.	Reporte de instalación.....	86
4.3.2.2.	Reporte final	86
	CONCLUSIONES.....	89
	RECOMENDACIONES	91
	BIBLIOGRAFÍA.....	93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Conexión Dial-Up	2
2.	Red digital de servicio integrado	4
3.	Línea de Abonado Digital (DSL).....	8
4.	Diagrama de una red HFC	13
5.	Partes de una red HFC	15
6.	Red de distribución óptica (ODN).....	20
7.	Partes de una fibra óptica	23
8.	Refracción de la luz en una fibra óptica por Ley de Snell.....	26
9.	Ejemplos de perfil del índice de fibras.....	27
10.	Refracción de la fibra óptica.....	28
11.	Modulación de la luz.....	29
12.	Diseño geométrico de una fibra	30
13.	Coberturas de un cable de fibra	31
14.	Uso dual de la fibra óptica.....	32
15.	Protección contra líquidos	33
16.	Protección contra fuego	34
17.	Transmisión de una fibra monomodo 9/125 micrones.....	35
18.	Transmisión de una fibra multimodo	36
19.	Fibra multimodo de índice escalonado.....	37
20.	Fibra multimodo de índice gradual	38
21.	Propagación de la luz en los diferentes tipos de fibra óptica.....	38
22.	Conector con pulido plano.....	40
23.	Conector con pulido PC	40

24.	Conexión entre dos fibras con pulido PC.....	41
25.	Conector con pulido UPC	41
26.	Conector con pulido APC.....	42
27.	Conexión entre dos fibras con pulido APC	42
28.	Conector tipo ST	44
29.	Conector tipo SC.....	44
30.	Conector tipo LC	45
31.	Conector tipo F	46
32.	Componentes de una red de fibra óptica pasiva.....	51
33.	Estructura de un equipo OLT	53
34.	Estructura básica de un divisor óptico de 1:8	56
35.	Divisor óptico con relación 1:32 con puertos LC/UPC	57
36.	Configuración del segmento de distribución de una red FTTH	59
37.	Topología punto a punto	61
38.	Topología punto a multipunto	62
39.	Topología de anillo.....	63
40.	Diagrama de flujo para la implementación de una red FTTH.....	66
41.	Cronograma de actividades en diagrama de Gantt.....	68
42.	Diagrama de conexión para red FTTH de 40 casas	72
43.	Instalación en el hogar	79
44.	Diagrama de caracterización de fibra	82
45.	Prueba bidireccional del ORL desde OLT hasta acometida	83

TABLAS

I.	Ventajas y desventajas de la tecnología Dial-up.....	3
II.	Ventajas y desventajas de la tecnología RDSI	7
III.	Ventajas y desventajas de la tecnología DSL.....	12

IV.	Ventajas y desventajas de la tecnología HFC.....	16
V.	Ventajas y desventajas de la tecnología PON	21
VI.	Ventajas y desventajas de las redes FTTH.....	64

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
α	Ángulo incidente
bps	Bits por segundo
dB	Decibel
dB/s	Decibel por segundo
Gbps	Gigabits por segundo
GB/s	Gigabytes por segundo
η	Índice de refracción
kbps	Kilobits por segundo
KB/s	Kilobytes por segundo
Km	Kilómetros 1×10^3 metros
mbps	Megabits por segundo
MB/s	Megabytes por segundo
nm	Nanómetros 1×10^{-9} metros
T1	Tipo de conexión de banda ancha usado especialmente para conectar ISP con la infraestructura de internet.
c	Velocidad de luz aproximadamente 299 792 458 m/s
v	Velocidad

GLOSARIO

Acometida	Instalación por la que se deriva hacia un edificio parte del fluido que circula por una conducción principal.
Amplificador	Elemento que amplifica una señal óptica directamente, sin necesidad de convertir la señal al dominio eléctrico.
Velocidad de transmisión	Es la cantidad de datos que pueden enviarse y recibirse en el marco de una comunicación. Se expresa en bits por segundo.
Aristas	Línea que resulta de la intersección de dos planos.
Atenuador	Dispositivo eléctrico que reduce la potencia transmitida en una fibra óptica.
Banda ancha	Capacidad que tiene una red para poder transmitir datos a una alta velocidad.
Bidireccional	En la comunicación bidireccional se refiere a que se comunica en dos direcciones. Ambos dispositivos pueden llegar a transmitir y recibir datos.
Bit	Es la unidad básica de medida de cantidad de información.

Buffer	Se refiere a la estructura de la fibra.
Cable coaxial	Cable eléctrico que es formado por dos conductores concéntricos entre sí. Uno central de cobre, llamado núcleo, es el encargado de llevar la información; uno de aspecto tubular, llamado malla, que hace la función de referencia.
Caracterización	Determinar las características del enlace de fibra óptica.
Conductividad	Propiedad que tiene un cuerpo de transmitir la electricidad.
DCM	<i>Dispersion Compensation Module</i> . Módulo de compensación de dispersión cromática.
Decibel	Unidad de medida que representa a un valor relativo de potencia.
Dirección IP	Es un número que identifica a una interfaz de red de una dispositivo o elemento que se utiliza para navegar en internet.
Dispersión cromática	Es la deformación que sufre la onda de luz cuando viaja a través de la fibra óptica.

DSLAM	<i>Digital subscriber line access multiplexer.</i> Es un equipo que se encuentra en la central de ISP, que conecta varios clientes DSL.
Extrudida	Dar forma a un material haciéndolo salir por una abertura específica para este.
<i>Ferrule</i>	Es la parte central del conector de la fibra óptica y que contiene la fibra óptica.
Fotodiodo	Es un tipo de diodo en el cual la corriente varía con respecto a la luz que lo ilumina.
Hertz	Unidad de medida de frecuencia del sistema internacional.
Internet	Red informática mundial que se encuentra formada por la conexión directa de computadoras mediante un protocolo de comunicación.
ISP	<i>Internet service provider.</i> Así se les conoce a las compañías proveedoras de servicios de internet.
ITU-T	Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, organismo especializado de las Naciones Unidas para las tecnologías de la información y la comunicación.

Módem	Es un acrónimo de modulador/demodulador. Es el encargado de transformar la señal digital en analógica y viceversa.
Multiplexación	Es el procedimiento mediante el cual diferentes señales pueden compartir un mismo canal de comunicación.
<i>Payload</i>	Carga útil. Es el conjunto de datos transmitidos. Podría definirse como el mensaje transmitido.
Propagación	Forma de transmisión de la luz y el sonido.
<i>Push-pull</i>	Literalmente, empujar-halar. Tipo de conector para la fibra óptica con un mecanismo de enganche que previene la desconexión accidental.
Red	Infraestructura física a través de la cual se transporta la información desde la fuente hasta el destino. Con base a esta se ofrecen los diferentes servicios de telecomunicaciones.
<i>Router</i>	Enrutador. Equipo de telecomunicaciones que se encarga de direccionar el mensaje desde la fuente hasta el destino.
Servidor	Ordenador que controla la actividad de una red. Es una aplicación en ejecución capaz de atender las peticiones de un cliente y devolverle una respuesta.

<i>Snap-in</i>	Encajar.
<i>Streaming</i>	Es la transmisión en tiempo real de algún audio o video por medio de una red de telecomunicaciones.
TDMA	Acceso múltiple por división de tiempo. Técnica que se utiliza para la transmisión de señales digitales; distribuye las unidades de información en ranuras alternadas en el tiempo.
Topología	Es la manera en la cual se encuentra diseñada la red, ya sea de manera física o de manera lógica.
<i>Triple play</i>	Es un servicio que provee internet, televisión y teléfono por un mismo ISP y que se paga una vez al mes.
Velcro	Sistema de cierre flexible que consiste en dos fibras de tela, cada una de ellas con un tipo especial y distinto de urdimbre, que al unirse quedan adheridas entre sí.

RESUMEN

En este trabajo de graduación se presenta una descripción de las diferentes tecnologías que se han utilizado y se utilizan para entregar servicios de video, voz y datos, hasta llegar a la fibra óptica como medio físico de transporte. Se describe un procedimiento para realizar la implementación de una red de fibra hasta el hogar, más conocida como FTTH por sus siglas en inglés.

En el primer capítulo se presentan las diferentes tecnologías que han utilizado los proveedores de servicios de internet para brindar el servicio a los clientes finales. Se observa cómo, conforme crece la demanda y la necesidad de una mayor velocidad de transmisión, se han implementado nuevas tecnologías para cubrir esta necesidad. Se presentan las ventajas y desventajas de cada una de estas tecnologías que utilizan los cables de cobre como medio físico de transmisión, así como una descripción de cada una de ellas.

En el capítulo dos se presenta una descripción de la fibra óptica. Esta es el material más recomendado para utilizar como medio de transmisión en las redes de telecomunicaciones, ya que por sus características físicas presenta muchas ventajas sobre el cobre y beneficios, tanto para el cliente como para el proveedor. Brinda mayores velocidades de transmisión porque maneja un mayor ancho de banda y no es necesario darle mucho mantenimiento; además, tiene un mayor tiempo de vida útil.

En el capítulo tres se describen las redes FTTH, su funcionamiento y las partes necesarias para implementar efectivamente una red. También se dan a conocer las ventajas y desventajas de esta tecnología. Las redes FTTH son las

redes del presente pensadas a futuro por los ISP. Se encuentran en auge en países de Europa, Asia y Estados Unidos. Se espera que estas redes duren un tiempo bastante largo.

Finalmente, en el capítulo cuatro se plantea un procedimiento con todos los pasos establecidos para implementar correctamente una red de fibra hasta el hogar. Este procedimiento se plantea para una colonia de cincuenta domicilios, donde todos requieren servicios de Triple Play (televisión, teléfono y datos), con una instalación con fibra óptica hasta el hogar. Se plantea realizar el proyecto desde la planificación inicial hasta la implantación y la aprobación por parte de los clientes finales.

OBJETIVOS

General

Definir el método y la manera como se deben de implementar las redes de fibra óptica hasta el hogar, así como enumerar las diferentes características de este tipo de redes y compararla con las otras tecnologías que se utilizan para prestar servicios de voz, datos y video.

Específicos

1. Definir las diferentes tecnologías que utilizan los proveedores de servicios de internet para brindar servicios de voz, datos y video. Presentar las capacidades de estas tecnologías y las ventajas y desventajas de estas tecnologías.
2. Describir el medio físico que utilizan las redes de fibra hasta el hogar y cómo funciona este medio de transporte.
3. Definir detalladamente qué es la tecnología FTTH, así como las partes que la forman y las mejoras que presenta antes otras tecnologías utilizadas previamente.
4. Definir un procedimiento estándar que se utilizaría para la implementación de redes de fibra hasta el hogar.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha habido un crecimiento en la demanda de internet y de los enlaces de datos, de tal manera que se han convertido en una parte muy importante en la vida diaria de las personas. Cada día surgen nuevas actividades que se pueden realizar a través de conexiones de internet, como por ejemplo llamadas de telefónicas, videoconferencias, televisión por internet. Debido a este incremento de actividades existe un aumento en la demanda de una mayor velocidad y mejor calidad en los enlaces que prestan los proveedores de servicios de internet. Por tanto, los proveedores siempre buscan una nueva tecnología o método para estar a la altura de las necesidades del cliente final.

Así surgió la tecnología de fibra hasta el hogar. La fibra óptica es el medio de transporte ideal para soportar redes de banda ancha, por sus características físicas que se describen en este trabajo. También se describe las tecnologías usadas para entregar este tipo de servicios, así como la nueva tecnología de fibra hasta el hogar. Se presenta también el procedimiento para implementar las redes de fibra hasta el hogar y las ventajas de esta nueva tecnología.

1. TECNOLOGÍAS INICIALES

La comunicación ha evolucionado con el paso de los años, desde un diálogo por voz frente a frente hasta las comunicaciones a través de las redes de internet. Desde que el internet surgió alrededor de los años noventa se ha visto una evolución y una necesidad mayor para comunicarse por este medio. En la actualidad, el internet obliga a los usuarios a tener mayores anchos de banda. Esta necesidad requiere que las redes estén en constante evolución y traten de estar un paso delante de la necesidad.

Debido al aumento de transmisión de datos, como voz, vídeo y datos, los proveedores de servicio de internet (ISP) y los fabricantes de equipo han tenido que estar a la vanguardia de la tecnología.

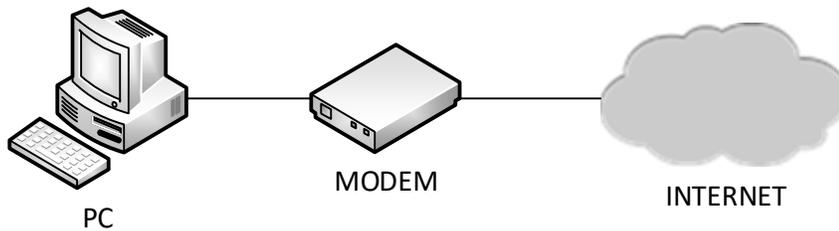
1.1. Conexión por línea conmutada

La conexión por línea conmutada es una tecnología que se utiliza para poder conectarse a Internet. Es más conocida como *Dial-up*, por su nombre en inglés. “El *Dial-up* es una forma de conexión a Internet por medio de línea telefónica”¹ Esta tecnología utiliza un módem para llamar al número de teléfono del proveedor de servicio de internet (ISP) usando la red telefónica (figura 1). A esta llamada contesta un servidor de acceso en la central del proveedor de servicio de internet y se inicia la transmisión de información entre estos dos dispositivos. El modulador o módem se encarga de convertir la señal analógica

¹ Venn Global, S.A. ¿Qué es dial-up? www.tudecide.com/informacion/que-es-dial-up. Consulta: enero, 2017.

de audio en una señal digital para poder recibir los datos. De igual forma, se encarga de convertir la señal digital a analógica para poder enviar los datos.

Figura 1. **Conexión *Dial-Up***



Fuente: LOVE, Jeff. www.intelligentedu.com. Consulta: enero de 2017.

El *Dial-up* es una de las primeras tecnologías que se utilizó para conectarse a internet. Debido a que esta tecnología usa las mismas redes de cable de cobre de la red de líneas telefónicas, fue más sencillo el proceso de implementación, ya que solamente se necesitaba instalar el módem en la conexión a la red del usuario final. Un estudio realizado en 2008 por PEW *Internet and American Life Project* demostró que, en ese año, de aproximadamente el 70 % de los hogares que utilizan internet, sólo el 15 % utilizaban Dial-up. En la actualidad, en Guatemala este tipo de tecnología ya no es utilizada.

La conexión a internet por medio de *Dial-up* brindaba poco ancho de banda, desde 2.4 Kbps hasta 56 Kbps. En Guatemala el ancho de banda que se utilizó fue de 64 Kbps, lo cual hace las transmisiones de datos lentas. Requiere del uso de la línea de teléfono, por lo cual no se pueden hacer una llamada telefónica al momento que se está usando el módem para servicios de internet.

1.1.1. Ventajas y desventajas de la tecnología *Dial-up*

La tecnología *Dial-up* tiene muchas desventajas en comparación con las nuevas tecnologías de banda ancha. En la tabla I se puede apreciar las ventajas y desventajas de esta tecnología.

Tabla I. **Ventajas y desventajas de la tecnología *Dial-up***

Ventajas	Desventajas
El bajo costo, ya que solamente se cobra el tiempo de la llamada cuando se está enviando y recibiendo información.	En la época que se usaba se consideraba un alto costo. En la actualidad podría decirse que es más económico
Es una red mucho más segura debido a que no asigna una dirección IP fija al ordenador porque se utiliza la línea telefónica.	Ya que utilizaba la red telefónica era propensa a cortes en la comunicación, así como sucede al momento de hacer una llamada.
Existe mayor disponibilidad para usuarios que ya cuentan con una línea de teléfono fija para poder proporcionar el servicio.	Si no existe una línea telefónica en un hogar no se puede proporcionar el servicio.
Al momento de establecer la conexión solamente se debe de conectar el módem a la línea telefónica.	No se puede realizar llamadas telefónicas y utilizar datos al mismo tiempo.
	El ancho de banda es el de una llamada telefónica, lo que hace la transmisión lenta.

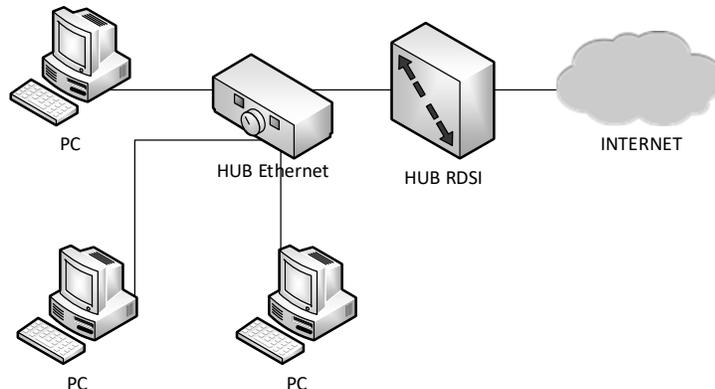
Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

1.2. Red digital de servicios integrados (RDSI)

En inglés es más conocida como *Integrated Services Digital Network*. Según la ITU-T y el Sector de la Normalización de los Telecomunicaciones de la UIT (UIT-T) la define como: “La red que procede por evolución de la Red Digital Integrada (RDI) y que facilita conexiones digitales extremo a extremo para proporcionar una amplia gama de servicios, tanto de voz como de otros tipos, y a la que los usuarios acceden a través de un conjunto de interfaces normalizados.”²

La RDSI es una red que procede de la evolución de las redes telefónicas básicas convencionales con la mejora que ya soporta conexiones digitales de extremo a extremo, como lo definió la UIT-T. En la figura 2 se puede apreciar un diagrama de la tecnología RDSI.

Figura 2. **Red digital de servicio integrado**



Fuente: www.em-t.com/etisalat-ict/isdn. Consulta: enero de 2017.

² International Telecommunication Union. *Optical, fiber, cables and Systems*. p.30.

Este tipo de redes fue de poco uso por muchas razones, en especial por el costo de la misma y debido a que muy rápidamente se vio la implementación de las redes ADSL, las cuales presentaban una mejor funcionalidad. Esta red puede llegar a coexistir con cualquier otro tipo de red de telefonía y/o datos, y puede llegar a realizar interconexiones entre las mismas.

Las redes digitales de servicios integrados se pueden utilizar para comunicaciones de voz o llamadas telefónicas, transmisión de datos informáticos, fax, videoconferencia, conexión a Internet, etc. Las características principales que tienen y que son mejores a las líneas telefónicas son:

- Pueden proveer hasta 7 KHz de ancho de banda en una llamada telefónica, lo cual mejor la calidad de la llamada.
- Pueden proveer comunicaciones digitales de hasta 64 Kbps de ancho de banda.
- Se utilizan como un único medio de acceso para transferencia de voz, imagen, datos y texto, internet y llamadas al mismo tiempo.
- Envían páginas de fax DIN-44 en únicamente 3 segundos.
- Soportan videoconferencias con una calidad razonable.

Los RDSI de banda estrecha están basadas en dos estructuras definidas por el UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones):

- Acceso básico (BRI)
- Acceso primario (PRI)

1.2.1. Acceso básico (BRI)

Es un acceso simultáneo a 2 canales de 64 Kbps, denominados canales B, para voz o datos. Posee un canal de 16 Kbps, o canal D, para la realización de la llamada y otros tipos de señalización entre dispositivos de la red. En conjunto proporciona hasta 144 Kbps de ancho de banda para una transmisión de datos.

1.2.2. Acceso primario (PRI)

Acceso simultáneo a 30 canales tipo B, de 64 Kbps, para voz y datos. Posee un canal de 64 Kbps, o mejor conocido como canal D, para la realización de la llamada y la señalización entre dispositivos de la red. En conjunto proporciona hasta un total de 1984 Kbps.

1.2.3. Ventajas y desventajas de la tecnología RDSI

Las RDSI tienen muchas desventajas en comparación con las nuevas tecnologías de banda ancha, aunque en comparación con las redes telefónicas tienen varias ventajas y mejoras. Al momento de implementarla como nueva tecnología fue de gran ayuda. En la actualidad se necesita un medio de transmisión y una tecnología que proporcione una mayor cobertura y ancho de banda. En la tabla II se puede apreciar una comparación entre las ventajas y desventajas de esta tecnología.

Tabla II. **Ventajas y desventajas de la tecnología RDSI**

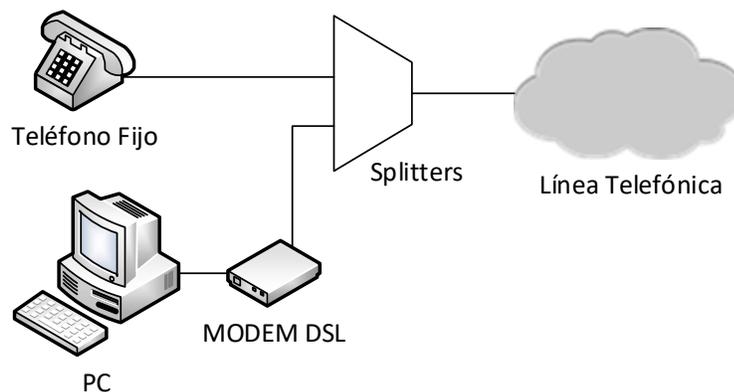
Ventajas	Desventajas
Alta velocidad de transmisión y baja tasa de errores.	El ancho de banda que se utiliza en un hogar se encuentra en aumento y este tipo de tecnología no lo puede soportar.
No hay necesidad de instalar medios físicos de transmisión debido a que puede utilizar el mismo medio de comunicación que las líneas telefónicas.	La comunicación digital que puede proporcionar es de un extremo a otro y tiene limitante en cuanto al número de teléfonos por puerto del equipo.
Pueden proporcionar varios servicios al mismo tiempo sin que uno interfiera al otro. Se puede realizar una llamada al mismo tiempo que se están transmitiendo datos.	El ancho de banda de la conexión de datos es disminuido al momento de realizar una llamada.
Puede realizar una transferencia de grandes volúmenes de información en menos tiempo.	Puede no soportar el tamaño de los archivos que actualmente se manejan.
Puede proporcionar comunicaciones digitales.	
Es una red económica.	

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

1.3. Línea de abonado digital

La línea de abonado digital es más conocida como DSL, por sus siglas en inglés (*Digital Subscriber Line*). Es una familia de tecnologías modernas que provee servicios de internet digital a gran velocidad; utiliza anchos de banda elevados y la infraestructura de las líneas telefónicas de cobre ya existente como medio de transporte físico. “La tecnología DSL proporciona acceso dedicado a la red pública de punta a punta”³. Este ancho de banda elevado y acceso dedicado puede proporcionar diversos tipos de servicios al mismo cliente en un mismo momento. Desde llamadas telefónicas digitales hasta videoconferencias, servicios de internet y transferencia de datos al mismo tiempo. En la figura 3 se puede apreciar el diagrama de una red DSL.

Figura 3. **Línea de Abonado Digital (DSL)**



Fuente: GREENSTEIN, Shane. *Virulent Word of Mouse*.

www.virulentwordofmouse.wordpress.com. Consulta: enero de 2017.

³ Cisco Enterprise. *DSL* www.cisco.com. Consulta: enero de 2017.

Una versión básica de DSL puede soportar rangos de ancho de banda desde 1,544 Mbps hasta 8,448 Mbps, dependiendo de la calidad del cable de cobre y la distancia a la cual se encuentre el ISP.

El cable de cobre de la línea telefónica conecta el punto remoto con el ISP. Por medio de un módem DSL se accede a esta conexión. Al momento de levantar el enlace en la central del ISP hay un equipo multiplexor que se denomina DSLAM, por sus siglas en inglés. El DSLAM transmite la señal recibida por medio de la línea de cobre a una base de red, con la cual se llega a la red de internet. Gracias a este tipo de conexión no hay necesidad de realizar una llamada a un número del ISP y la conexión está disponible en todo momento.

1.3.1. Los tipos de tecnología DSL

Los tipos de tecnología que forman parte de la familia DSL más utilizados son:

- Línea de abonado digital simétrica
- Línea de abonado digital asimétrica
- Línea de abonado digital veloz
- Línea de abonado digital muy veloz

1.3.1.1. Línea de abonado digital simétrica

Más conocida como SDSL por sus siglas en inglés, *Symmetric Digital Subscriber Line*. Se denomina simétrica porque tiene el mismo ancho de banda de carga y descarga de datos. Soporta ancho de banda de hasta 3 Mbps en carga

y descarga, lo que quiere decir que únicamente puede proveer 1,5 Mbps para cada una. La SDSL envía pulsos digitales en el área de alta frecuencia de las líneas telefónicas y no puede operar simultáneamente con conexiones de voz. Requiere un módem SDSL especial. Este tipo de tecnología es más utilizado en Europa y principalmente para aplicaciones comerciales como conferencias de video. Tiene un costo más elevado que su hermana ADSL.

1.3.1.2. Línea de abonado digital asimétrica

Más conocida como ADSL por sus siglas en inglés de *Asymmetric Digital Subscriber Line*. Se denomina asimétrica porque tiene un ancho de banda para descarga y un ancho de banda para carga de datos diferente. Soporta de 128 Kbps hasta 9 Mbps en descarga de datos y de 16 a 640 Kbps en carga de datos. El ADSL puede operar simultáneamente con conexiones de voz. Este tipo de tecnología es más utilizado en Estados Unidos y Latinoamérica. Es utilizado principalmente por usuarios residenciales, donde se descarga mucha más información que la que se carga a la red.

1.3.1.3. Línea de abonado digital veloz

Más conocido como HDSL por sus siglas en inglés de *High-bit-rate Digital Subscriber Line*. Se denomina digital veloz ya que proporciona un acceso fijo de ancho de banda de hasta 1,5 Mbps, lo que equivale a un T1 y si se usa una transmisión simultánea doble, puede llegar a transmitir hasta 2,048 Mbps. Esto equivale a un E1, pero requiere el uso de múltiples líneas telefónicas. La distancia máxima que puede separar al usuario final del ISP es de 3 y 4 km dependiendo

del calibre del cable y el estado del mismo. Esta tecnología se diseñó específicamente con fines comerciales.

1.3.1.4. Línea de abonado digital muy veloz

Más conocido como VDSL por sus siglas en inglés de *Very High-bit-rate Digital Subscriber Line*. Se denomina “muy veloz” porque ofrece anchos de banda muy grandes a distancias muy cortas de transmisión. Entre más corta sea la distancia entre el ISP y el usuario, el ancho de banda será mayor. Este tipo de tecnología puede ser simétrico y soportar hasta 100 Mbps tanto en carga como en descarga, y asimétrico y soportar hasta 300 Mbps de descarga y 100 Mbps de carga de datos. En algunos lugares se utiliza mayoritariamente para la transmisión de televisión de alta definición mediante la red de línea telefónica.

1.3.2. Ventajas y desventajas de la tecnología DSL

La tecnología DSL tiene muchas desventajas en comparación con las nuevas tecnologías de banda ancha. En la tabla III se describen varias ventajas y desventajas de la familia de tecnologías DSL.

Tabla III. **Ventajas y desventajas de la tecnología DSL**

Ventajas	Desventajas
Utilizan los cableados de cobre existentes de las líneas telefónicas.	No todas las líneas telefónicas pueden soportar esta tecnología por la calidad del cable de cobre.
ADSL permiten realizar una llamada telefónica al mismo tiempo que transmiten información por la red de datos.	Este tipo de tecnología es propensa a afectaciones por interferencias electromagnéticas, ya que se transfiere una señal en pulsos eléctricos.
Es una de las tecnologías con mejor relación entre ancho de banda y precio, en beneficio al usuario.	Un servicio de DSL solamente se puede proporcionar si existe una distancia de 3 km entre el usuario final y una central telefónica del ISP.
ADSL transmite en bandas separadas la línea telefónica y la transmisión red de datos.	La capacidad de transmisión de datos se queda corta por la necesidad de transferir archivos de mayor tamaño, el video, en vivo, etc.
Proporcionar un enlace exclusivo ya que usa la línea telefónica del usuario.	

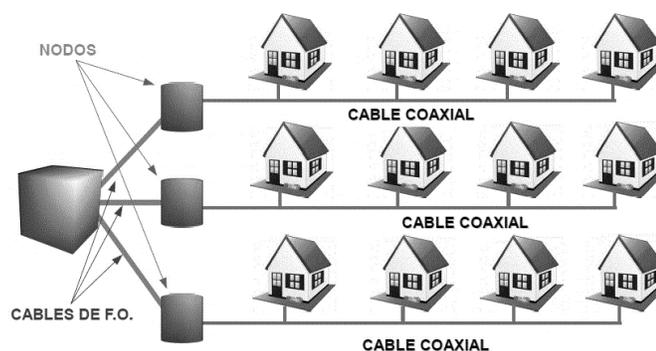
Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

1.4. Redes híbridas de fibra y coaxial (HFC)

Es un tipo de tecnología que se basa en la mezcla de fibra óptica y cable coaxial, de ahí su nombre. Es más conocida como HFC por sus siglas en inglés, *Hybrid Fiber Coaxial*. Esta tecnología utiliza las redes de cable coaxial existentes de los proveedores de señal de televisión por cable, para entregar los servicios de internet, teléfono y cable. En las redes HFC la fibra óptica es el medio físico que une a los nodos zonales o repetidores hacia las centrales. En los últimos metros que conectan al usuario final con el equipo de distribución, se utiliza el cable coaxial como medio físico de transmisión.

El cable coaxial se conecta al nodo zonal como se ve en la figura 4, que hace la función de puerta de enlace. Es el encargado de convertir la señal eléctrica que viene del módem que se encuentra en el hogar del usuario final, en señal luminosa para que pueda ser transmitida por la fibra óptica hasta la central del ISP.

Figura 4. Diagrama de una red HFC



Fuente: GARCÍA, Jorge. *Planta externa telefónica Blog spot*.
www.plantaexternatelefonica.blogspot.com. Consulta: enero de 2017.

En la mayoría de los casos, este cable coaxial va acompañado de un par de cobre que llevan la señal de teléfono al usuario final. A diferencia de las redes de señal de cable, que son únicamente unidireccionales, las redes HFC son bidireccionales ya que constan de dos canales, uno para carga y otro para descarga de información desde el usuario final. Esto permite la transmisión y recepción de información para el servicio de internet.

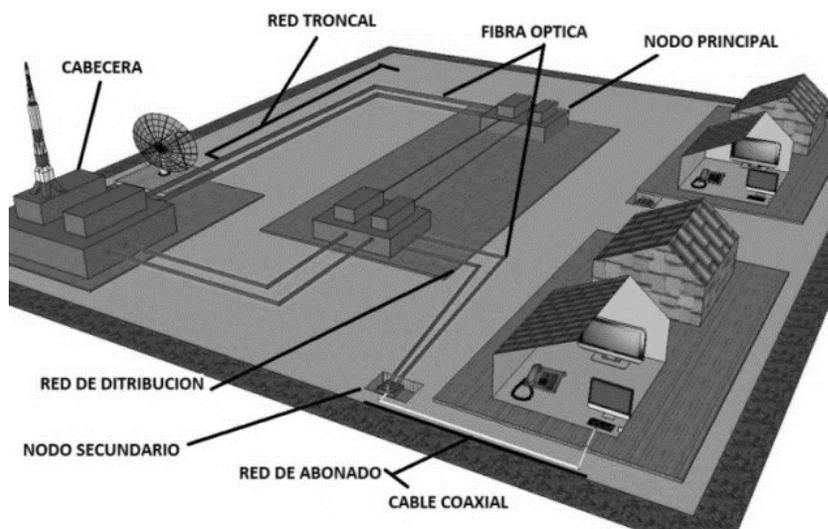
Debido a la unión de estos dos medios físicos de transmisión de datos, las de redes HFC son capaces de llegar a transmitir con un ancho de banda de hasta 10 Mbps en descarga y de 768 Kbps en carga de datos. El ancho de banda de la fibra óptica se ve afectado por el ancho de banda que soporta el cable coaxial. Este funciona como un cuello de botella, lo que hace que el ancho de banda se vea disminuido en gran parte. Sería de diferente manera si la fibra llegara hasta el usuario final.

Las partes principales de este tipo de red son las siguientes y se pueden apreciar en la figura 5:

- Cabecera: este es el nodo en el cual se envían y se reciben los datos y servicios ofrecidos al usuario final.
- Red troncal: el medio de transporte de esta red es la fibra óptica. Se encarga de unir los nodos principales con otros nodos principales, normalmente en una configuración de anillo para protección. Se encarga de realizar la interconexión entre las cabeceras y los nodos principales.
- Red de distribución: esta es conocida como la red de última milla. Es la que se encuentra entre los nodos principales y los nodos secundarios, que son los encargados de distribuir la señal a la red de abonados.

- Red abonados: es la parte final de la red que permite la interconexión a la red HFC, normalmente se forma desde el punto de distribución o desde el nodo secundario hasta el usuario final.

Figura 5. Partes de una red HFC



Fuente: GÁLVEZ, Eduardo. *Redes HFC ("Híbrido de Fibra y Coaxial")*.
www.redeseduges.blogspot.com. Consulta: enero de 2017.

1.4.1. Ventajas y desventajas de la tecnología HFC

Como todo tipo de tecnología, la tecnología HFC presenta varias ventajas y desventajas. En la tabla IV se presenta una comparación entre el uso de la tecnología HFC y las tecnologías híbridas con fibras ópticas y cobre.

Tabla IV. **Ventajas y desventajas de la tecnología HFC**

Ventajas	Desventajas
Se usa la infraestructura existente de los cableados coaxiales que proporcionan los proveedores de televisión por cable.	En los hogares donde no se tiene servicio de televisión por cable se debe instalar un servicio nuevo.
Fácil instalación ya que únicamente se coloca un módem en el cable coaxial ya existente.	El cable coaxial funciona como cuello de botella en cuanto al ancho de banda que puede ofrecer la fibra óptica.
La fibra cubre distancias grandes sin necesidad de un amplificador y de regenerar la señal.	La señal, en muchas ocasiones, debe ser amplificada en su red de cable coaxial.
Mayor resistencia del cable coaxial a afectaciones físicas y al maltrato por los medios climáticos.	El cable coaxial es susceptible a interferencias externas como interferencias electromagnéticas por tratarse de señales eléctricas.
El ancho de banda que proporciona la tecnología HFC en la actualidad es aceptable para el uso de un hogar.	Con el crecimiento del internet en las casas, el ancho de banda que se utiliza en un hogar promedio se encuentra en aumento y sobrepasa el que puede soportar una red HFC.

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

1.5. Redes ópticas pasivas

Las redes ópticas pasivas son más conocidas como PON por las siglas en inglés de *Passive Optical Network*. La tecnología PON, como lo dice su nombre, se basa en redes que utilizan como medio de transporte físico la fibra óptica y son pasivas porque no tienen ningún elemento activo entre la central del ISP hasta el lugar donde se entrega el servicio en fibra. Son redes que utilizan tecnología punto-multipunto, la cual les sirve para llegar hasta el usuario final con una sola fibra que es bidireccional. Este tipo de transporte y distribución de fibra sirve como base para las redes FTTx o *Fiber To The X*, lo que en español sería fibras hasta X, donde X puede llegar a ser cualquier parte cerca del usuario final.

Algunos ejemplos de las diferentes configuraciones de las redes FTTx:

- FTTH (*Fiber To The Home*): Fibra hasta el hogar. En esta configuración la fibra óptica llega desde la central del ISP hasta la casa del usuario final.
- FTTB (*Fiber To The Building*): Fibra hasta la acometida del edificio. En esta configuración la fibra óptica llega desde la central del ISP hasta un punto de distribución en la acometida del edificio y de ahí se usa tecnología VDSL para llegar el usuario final.
- FTTN (*Fiber To The Node*): Fibra hasta el nodo. La fibra termina en una central del operador que se encuentra en algún lugar de la colonia y que presta los servicios a todos los hogares que se encuentran en ese lugar. La última milla de este servicio usa tecnología ADSL.
- FTTC (*Fiber To The Curb*): Fibra hasta la cabina o armario de telecomunicaciones. Es muy parecida a la FTTN, solamente que en esta distribución la fibra llega hasta un armario que puede prestar el servicio a una calle o a una manzana. Brinda el servicio a menos usuarios que la FTTN.

Al utilizar como medio de transporte la fibra óptica, la tecnología PON puede aprovechar las características físicas de la fibra para transportar los datos. Esto permite entregar servicios a usuarios que se encuentra a distancias más lejanas de las centrales, aproximadamente veinte kilómetros. Esto debido a que la fibra, por transportar haces de luz, permite alcanzar distancias mayores sin necesidad de amplificar o regenerar la señal. Debido a que no transportan señales eléctricas, la fibra óptica es inmune a los ruidos electromagnéticos.

De igual forma ofrece un mayor ancho de banda que las redes de cobre, donde la limitante llegaba a ser del nivel de los megabytes por segundo. Mientras, una red basada en fibra óptica transmite al nivel de gigabytes por segundo, algo que en estos tiempos es de suma importancia para el usuario final y su consumo, cada vez más alto, de internet.

Estas redes son ideales para entregar servicios de *triple play* (voz, datos y televisión) a los usuarios finales, por las características de la misma.

1.5.1. Arquitectura de las redes ópticas pasivas

“Las redes ópticas pasivas presentan una arquitectura similar a las redes de cable. En las redes de cable existen varios nodos ópticos, unidos con la cabecera a través de fibra óptica, de los cuales se llega a los abonados mediante cable coaxial y utilizando divisores (*splitters*) eléctricos.”⁴ Lo que diferencia las redes ópticas pasivas de las de cable de cobre es que las primeras ya no utilizan cobre, sino que lo sustituyen por fibra óptica. También cambian los divisores eléctricos por multiplexores ópticos que se encargan de dividir la señal en

⁴ APFUTURA. *PON*. www.wikitel.info. Consulta: febrero de 2017.

diferentes señales. De esta manera, la tecnología PON elimina todos los elementos activos dentro de la red y emplea únicamente elementos pasivos.

Las redes ópticas pasivas son redes bidireccionales que constan de un canal de carga de datos y uno para descarga. Para compartir la misma fibra óptica utilizan métodos de multiplexación. Para la descarga de datos se utiliza multiplexación por tiempo, más conocida como TDMA. Esta divide los datos que se descargan por medio del tiempo de transmisión. La señal de carga se envía directamente sin intervención del multiplexor hacia el nodo de la central. Para que las señales no se mezclen o produzcan interferencia se utiliza la división por longitud de onda. De esta forma, la señal de carga viaja en una longitud de onda y la señal de descarga viaja en otra longitud de onda.

La ODN, por sus siglas en inglés (*Optical Distribution Network* o Red óptica de distribución), es la red física de este tipo de tecnología.

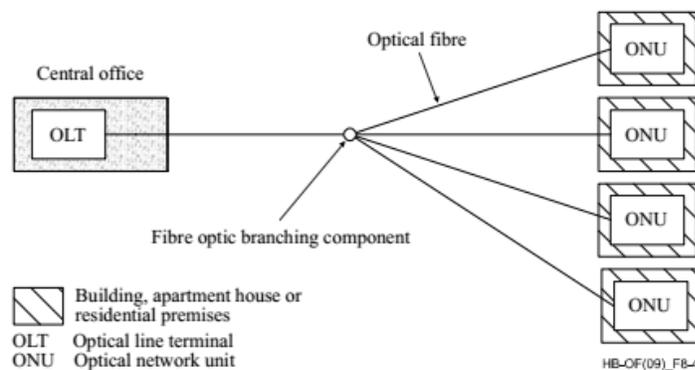
Las partes que conforman una red óptica pasiva son las siguientes:

- OLT: por sus siglas en inglés, *Optical Line Terminal* o Unidad óptica terminal de línea. Este es el equipo que se encuentra ubicado en la central del ISP. Sus principales funciones son:
 - Conversión de señal eléctrica a señales ópticas.
 - Multiplexado de los otros extremos de la red óptica pasiva.
- *Splitter* o divisor óptico: es el encargado de realizar la división de las señales para enviarlas a los diferentes ONT's u ONU's de la red.

- ONU: u *Optical Network Unit*, por sus siglas en inglés. Es el equipo que se encuentra en las instalaciones del usuario final. Consta de varios puntos de terminación, lo que hace posible entregar el servicio a varios dispositivos. Sus funciones principales son:
 - Conversión de señales ópticas a eléctricas.
 - Demultiplexación de señal.
- ONT: por sus siglas en inglés, *Optical Network Terminal*. Es un equipo que, al igual que los ONU, se encuentra en las instalaciones del usuario final. Es un equipo similar a los ONU, posee las mismas funciones, pero solo tiene un punto de terminación.

En la figura 6 se aprecian las partes de una red óptica de distribución.

Figura 6. **Red de distribución óptica (ODN)**



Fuente: *International Telecommunication Union. Optical, fiber, cables and Systems. p.30.*

Al igual que las redes de cable de cobre, las redes de fibra se pueden distribuir en forma de anillo, malla, bus etc. El más utilizado es el método de bus

extendido, en el cual la fibra llega desde la OLT hasta el *splitter* que divide la señal hacia las diferentes fibras que llegan a cada ONU u ONT.

1.5.2. Ventajas y desventajas de la tecnología PON

La tecnología PON presentan varias desventajas y ventajas que son descritas en la tabla V.

Tabla V. **Ventajas y desventajas de la tecnología PON**

Ventajas	Desventajas
La cobertura de la red es de hasta 20 km desde la central del ISP hacia las instalaciones del usuario.	El costo de esta tecnología es mayor para el usuario en comparación a otras tecnologías.
Tiene mejor calidad de servicio debido a que es inmune a las interferencias electromagnéticas.	Presenta problemas de dispersión cromática y modo de polarización.
Ofrece un mayor ancho de banda que una red de cobre gracias a las propiedades de la fibra óptica y la transferencia de haces de luz.	Al momento de haber algún corte o daño a la fibra se debe de cambiar toda completamente, o se requiere intervenciones que solamente pueden realizar especialistas.
Utiliza menos equipo debido a que es una red pasiva y no requiere equipos activos para regenerar la señal ni amplificarla.	Requiere instalaciones y limpieza de fibra completamente hasta el hogar o instalaciones del usuario final.

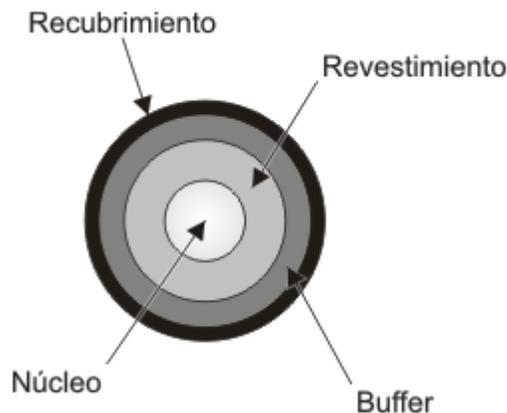
Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

2. FIBRA ÓPTICA

2.1. Descripción de la fibra óptica

Es un material fino y bastante flexible que, gracias a sus características físicas, es capaz de conducir un haz de luz de un punto a otro, ubicado a kilómetros de distancia. El haz de luz que transporta la fibra es, en realidad, la información que se conduce de un emisor a un receptor. Gracias a esto, las fibras ópticas se puedan utilizar como alambres de cobre para transportar información, tanto en pequeñas como en grandes distancias.

Figura 7. Partes de una fibra óptica



Fuente: *Textos Científicos*. www.textoscientificos.com. Consulta: febrero de 2017.

Un cable de fibra óptica tiene forma cilíndrica y está formado por cuatro partes o secciones concéntricas (figura 7):

- El núcleo

- El revestimiento
- Recubrimiento
- Buffer

El núcleo es la sección más interna. Está constituido por una o varias hebras o fibras muy finas de cristal o plástico y tiene un diámetro de entre 8 y 100 micrómetros. Cada fibra está rodeada por su propio revestimiento, que es cristal o plástico con propiedades ópticas distintas a las del núcleo. La separación entre el núcleo y el revestimiento actúa como un reflector perfecto que confina el haz de luz que, de otra manera, escaparía del núcleo. La capa más exterior que envuelve a uno o varios revestimientos es la que se denomina “cubierta”, la cual está hecha de plástico y otros materiales dispuestos en capas que protegen contra la humedad y otros agentes externos que puedan afectar a la fibra óptica.

2.2. Aspectos físicos de la fibra óptica

En el vacío, la luz se mueve a una velocidad de 3×10^8 m/s; sin embargo, cuando se propaga por cualquier otro medio, la velocidad de la luz es menor. Así que, cuando la luz pasa de propagarse por un cierto medio a propagarse por otro, su velocidad cambia y sufre efectos de reflexión y refracción.

La primera se produce cuando la luz rebota en el cambio de medio, como la luz reflejada en los vidrios, cristales o el agua. Mientras, la refracción es el fenómeno que se da cuando la luz, además de cambiar el módulo de su velocidad, cambia de dirección de propagación; por ejemplo, cuando se introduce una cuchara en un vaso con agua, se ve como si estuviera doblada. La dirección de donde viene la luz en la parte que se encuentra fuera del agua no es la misma que la de la parte que se encuentra adentro del agua.

Dependiendo de la velocidad con que se propague la luz en un medio o material, se le asigna un índice de refracción que se denomina con la letra “n”. Este índice es deducido de dividir la velocidad de la luz en el vacío, que se representa con la letra “c”, entre la velocidad de la luz en dicho medio. que se representa con la letra “v”, como se puede apreciar en la ecuación 1. Los efectos de reflexión y refracción que se dan en la frontera entre los medios dependen de los índices de refracción de estos.

Ecuación 1

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

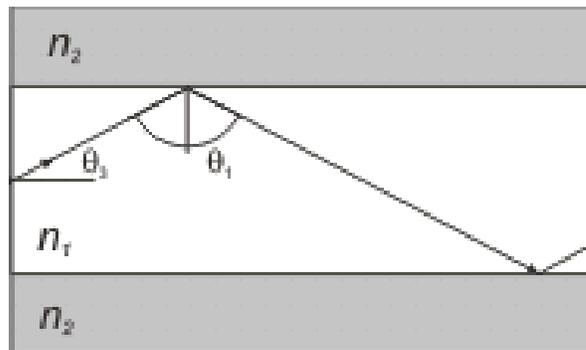
La ley de Snell muestra que el índice de refracción del primer medio, por el seno del ángulo con el que incide la luz en el segundo medio, es igual al índice del segundo medio por el seno del ángulo con el que sale propagada la luz en el segundo medio.

Ecuación 2

$$n_1 * \text{sen} (\theta_1) = n_2 * \text{sen} (\theta_2)$$

De esta forma se puede guiar la luz de forma controlada, tal y como se ve en la figura 8. Se consigue guiar la luz por el cable de fibra óptica. Este consiste, por tanto, en un cable en el que los materiales son mucho más económicos que los convencionales de cobre en telefonía y telecomunicaciones. Los materiales ópticos son mucho más ligeros, de manera pueden ir varios cables juntos en el espacio que solamente puede ir un cable de cobre.

Figura 8. **Refracción de la luz en una fibra óptica por Ley de Snell**



Fuente: *Telecomunicaciones - Conocimientos*.

www.telecomunicaciones.conocimientos.com.ve. Consulta: mayo de 2017.

2.3. Propagación de la luz en la fibra óptica

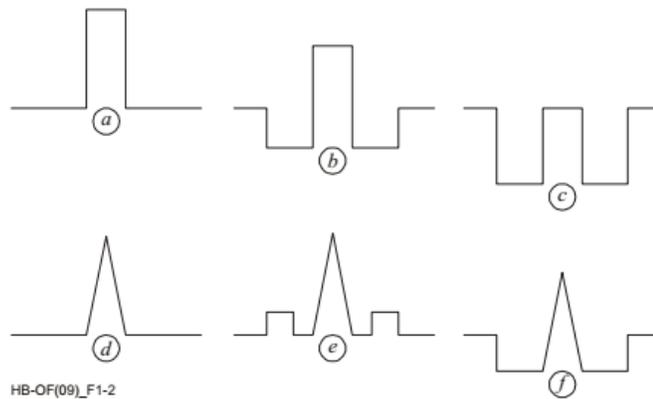
La luz puede propagarse por medio de un cable de fibra óptica, por reflexión o refracción. Cómo se llegue a propagar la luz, depende del modo de propagación y el perfil del índice de la fibra óptica.

2.3.1. Perfil del índice

El perfil del índice de una fibra óptica es una representación gráfica del valor del índice refractivo a través de la fibra. El índice refractivo está indicado en el eje horizontal y la distancia radial que el eje del núcleo gráfica en el eje vertical. Hay dos tipos básicos de perfiles de índice: escalón y graduado. En la figura 9 se puede apreciar el corte transversal de la fibra y cómo se propaga la luz en cada una.

Una fibra de índice de escalón tiene un núcleo central, con índice refractivo uniforme. El núcleo está rodeado por una cubierta exterior con un índice refractivo uniforme menor al del núcleo central. En una fibra de índice graduado no hay cubierta, y el índice refractivo del núcleo no es uniforme, está más alto en el centro y disminuye gradualmente con la distancia al borde exterior.

Figura 9. **Ejemplos de perfil del índice de fibras**



Fuente: *International Telecommunication Union. Optical, fiber, cables and Systems. p.30.*

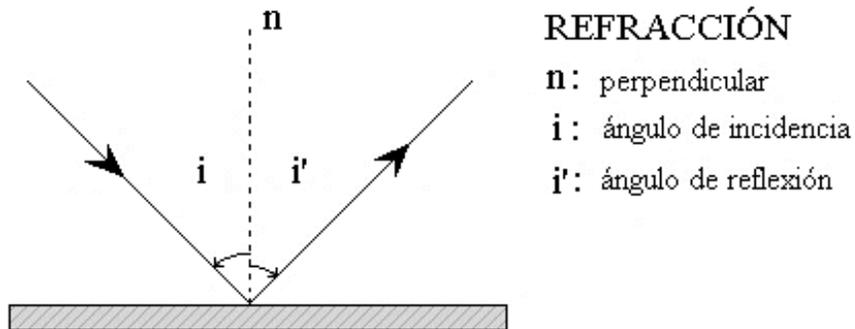
2.3.2. Reflexión y refracción de la luz

Si un rayo de luz viaja de un medio a otro, se curvará en el caso en que los dos materiales posean diferentes propiedades de conductividad de rayos luminosos. Un ejemplo de este fenómeno es cómo una persona que observa a un pez en el agua, lo ve en un punto donde realmente no está situado. El motivo por el que se curvan los rayos de luz es debido a que la visión de un ser humano se basa en los rayos que penetran en los ojos, y los rayos de luz que forman el pez son rayos de luz reflejados, que salen del pez y entran en otro medio con

distinta conductividad. Es importante considerar la trayectoria que describe el rayo a medida que se aproxima a la superficie de un medio diferente.

El ángulo, medido desde una perpendicular a esa superficie, se denomina ángulo de incidencia del rayo sobre superficie. En la figura 10 se puede apreciar la diferencia entre el ángulo de incidencia y el ángulo de reflexión.

Figura 10. **Refracción de la fibra óptica**



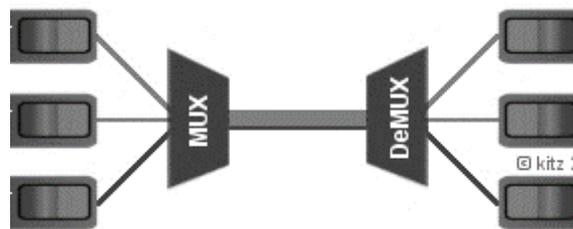
Fuente: OTAÑEZ VARGAS, Alberto. *Partes de la reflexión*.
www.leyesdelarefleccion.blogspot.com. Consulta: febrero de 2017.

2.3.3. **Modulación de la luz**

En la transmisión óptica se utiliza la luz en el rango de longitud de onda alrededor de los 1000 nanómetros; este corresponde a una frecuencia de aproximadamente 300 Terahertz. El ancho de banda de transmisión es de algunos centenares de Megahertz en una fibra óptica de índice gradual y hasta 1 Gigahertz. Medido en la frecuencia portadora, esto es típicamente servicios de banda angosta. El ancho de las ventanas transmisoras en las cuales la

atenuación y el ancho de banda de las fibras respectivas tienen valores convenientes superiores a 100 nanómetros, corresponde a 30 Terahertz.

Figura 11. **Modulación de la luz**



Fuente: KITZ. *Broadband Information Site*. www.kitz.co.uk. Consulta: febrero de 2017.

“Este gigantesco rango de frecuencias puede aprovecharse para la transmisión de varias ondas lumínicas”⁵. Si se emiten luces desde diferentes fuentes y con longitudes de onda diferentes una de otra, pueden modularse cada uno de los rayos lumínicos individualmente. En los acopladores ópticos se puede juntar la luz de diferentes fuentes al comienzo del tramo; esto se denomina multiplexar, y de ahí pueden ser separadas nuevamente al final del tramo en des acopladores de rayos selectivos ópticos, lo que se conoce como demultiplexar. (figura 11). De esta manera, la transmisión óptica brinda la posibilidad de aumentar eficientemente la capacidad de transmisión de una fibra.

2.3.4. Características de la fibra óptica

La fibra es un medio de transmisión de información analógica o digital. “Básicamente, la fibra óptica está compuesta por una región cilíndrica, por la cual

⁵ Robertexto. *LA FIBRA ÓPTICA*. www.robertexto.com. Consulta: marzo de 2017.

se efectúa la propagación, denominada núcleo y de una zona externa al núcleo y coaxial con él, totalmente necesaria para que se produzca el mecanismo de propagación, y que se denomina envoltura o revestimiento”⁶. La capacidad de transmisión de información que tiene una fibra óptica depende de tres características fundamentales:

- Del diseño geométrico de la fibra. (figura 12)
- De las propiedades de los materiales empleados en su elaboración.
- De la anchura espectral de la fuente de luz utilizada. Cuanto mayor sea esta anchura, menos será la capacidad de transmisión de información de esa fibra.

Figura 12. **Diseño geométrico de una fibra**



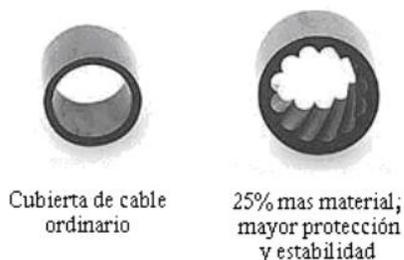
Fuente: *Conceptos, diseño y otras cosas sobre la fibra óptica.*
www.mifibraoptica.wordpress.com. Consulta: febrero de 2017.

⁶ RODRÍGUEZ, Yurisay. *Fibra óptica.* www.monografías.com. Consultado: marzo de 2017.

2.3.4.1. Cobertura resistente

“La cubierta especial es extrudida a alta presión directamente sobre el mismo núcleo del cable, resultando en que la superficie interna de la cubierta del cable tenga aristas helicoidales que se aseguran con los sub cables. La cubierta contiene 25 % más material que las cubiertas convencionales.”⁷ Esto ayuda a que el material de la cobertura de la fibra tenga mayor protección y estabilidad (figura 13), lo que le da mayor utilidad.

Figura 13. Coberturas de un cable de fibra



Fuente: LÓPEZ CATALÁ, Mayteé Odette; MAZORRA ZUAZNABAR, Virgilio. *Evolución de la fibra óptica en el futuro*. www.monografías.com. Consulta: febrero de 2017.

2.3.4.2. Uso dual (interior y exterior)

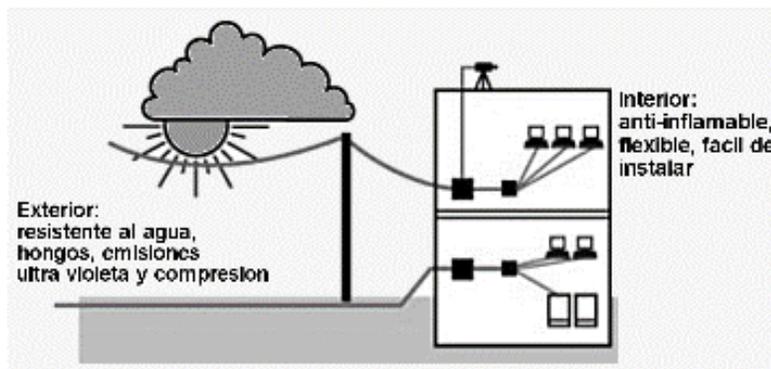
“La resistencia al agua, hongos y emisiones ultra violeta; la cubierta resistente; buffer de 900 micrómetros; fibras ópticas probadas bajo 100 kpsi y funcionamiento ambiental extendida contribuyen a una mayor confiabilidad durante el tiempo de vida de la misma”⁸. Se puede utilizar tanto en interiores

⁷ RODRÍGUEZ, Yurisay. *Fibra óptica*. www.monografías.com. Consultado: marzo de 2017.

⁸ Ibid.

como en exteriores. En la figura 14 se puede observar el uso de la fibra óptica tanto dentro de un edificio como al aire libre.

Figura 14. **Uso dual de la fibra óptica**



Fuente: LÓPEZ CATALÁ, Mayteé Odette; MAZORRA ZUAZNABAR, Virgilio. *Evolución de la fibra óptica en el futuro*. www.monografías.com. Consulta: febrero de 2017.

2.3.4.3. **Mayor protección en lugares húmedos**

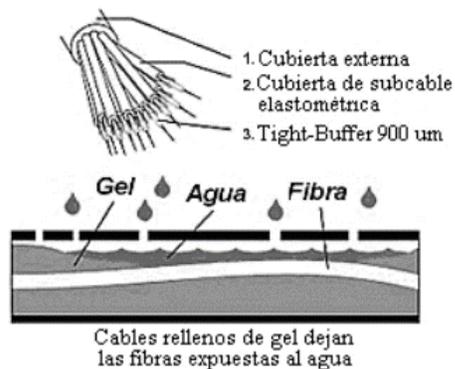
En cables de tubo holgado rellenos de gel, el gel dentro de la cubierta se asienta dejando canales que permitan que el agua migre hacia los puntos de terminación. El agua puede acumularse en pequeñas piscinas en los vacíos, y cuando la delicada fibra óptica es expuesta, la vida útil es recortada por los efectos dañinos del agua en contacto, combaten la intrusión de humedad con múltiples capas de protección alrededor de la fibra óptica. El resultado es una mayor vida útil, mayor confiabilidad especialmente en ambientes húmedos.⁹

Esta protección es una mejora que no tienen los cables de cobre. El agua es su enemiga vital. Estos cables transmiten pulsos eléctricos y si se llegan a mojar, se produce un cortocircuito. Se quema no solo el hilo de cobre, sino que se produce un efecto en cadena, y se arruinan también los cables que se

⁹ RODRÍGUEZ, Yurisay. *Fibra óptica*. www.monografías.com. Consultado: marzo de 2017.

encuentran alrededor. Además, podría ocasionar incendios y pérdidas mucho mayores. En la figura 15 se puede apreciar el relleno de gel de los cables de fibra óptica y como se aísla la fibra del agua.

Figura 15. **Protección contra líquidos**



Fuente: LÓPEZ CATALÁ, Mayteé Odette; MAZORRA ZUAZNABAR, Virgilio. *Evolución de la fibra óptica en el futuro*. www.monografias.com. Consulta: febrero de 2017.

2.3.5. **Protección antinflamable**

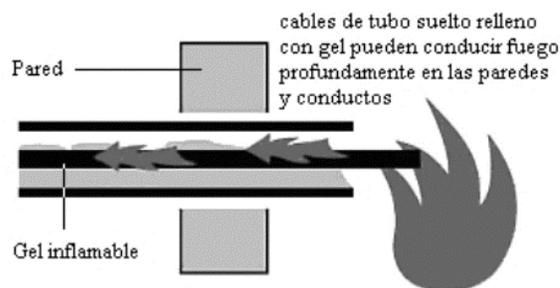
“Los nuevos avances en protección anti inflamable hacen que disminuya el riesgo que suponen las instalaciones antiguas de fibra óptica que contenían cubiertas de material inflamable y relleno de gel que también es inflamable¹⁰”.

Los materiales antiguos no pueden cumplir con los requerimientos de las normas de instalación actuales; presentan un riesgo adicional y pueden además crear un gran costo y una difícil reparación después de un incendio, así como una reacción en cadena. Con los nuevos avances en tecnología y en el diseño de

¹⁰ RODRÍGUEZ, Yurisay. *Fibra óptica*. www.monografias.com. Consultado: marzo de 2017.

estos cables de fibra óptica se eliminan estos riesgos y se cumple con las normas de instalación actuales. De esta manera se protege tanto la fibra óptica como las instalaciones en las cuales se encuentran instaladas. En la figura 16 se puede verificar la nueva tecnología para la protección de las fibras ópticas contra incendios.

Figura 16. **Protección contra fuego**



Fuente: LÓPEZ CATALÁ, Mayteé Odette; MAZORRA ZUAZNABAR, Virgilio. *Evolución de la fibra óptica en el futuro*. www.monografias.com. Consulta: febrero de 2017.

2.3.5.1. **Empaquetado de alta densidad**

Con el máximo número de fibras en el menor diámetro posible se consigue una más rápida y más fácil instalación, donde el cable de cobre debe enfrentar dobleces agudos y espacios estrechos. Se ha llegado a conseguir un cable de 72 fibras de construcción súper densa cuyo diámetro es un 50 % menos al de los cables de cobre.

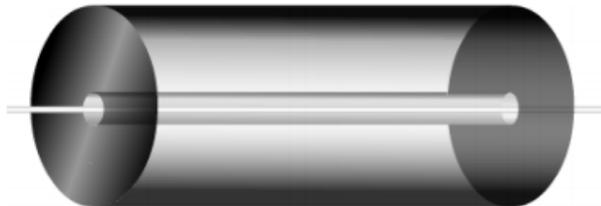
2.4. Clasificación de la fibra óptica

Las fibras ópticas se clasifican de acuerdo con la forma en la que se transmite el rayo de luz a través de la misma. De acuerdo a esta descripción, las fibras pueden ser monomodo y multimodo.

2.4.1. Fibra monomodo

Las fibras monomodo transmiten el haz de luz en dirección paralela al núcleo de la fibra (figura 17).

Figura 17. **Transmisión de una fibra monomodo 9/125 micrones**



Fuente: Cisco CCNA Módulo 3 versión 3.1. Consulta: febrero de 2017.

Este es muy delgado comparado con su revestimiento, 9/125 micrones, lo cual indica que fue concebido para permitir un solo modo de transmisión para el haz de luz. El ancho de banda y la distancia a la que llegan los datos es mucho mayor que la de la fibra multimodo. Con este tipo de fibra se debe tener cuidado al momento de realizar empalmes, a fin de evitar discontinuidades y afectaciones en el enlace.

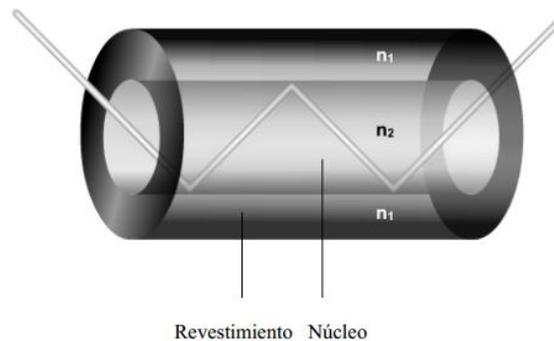
2.4.2. Fibra multimodo

Las fibras multimodo transmiten el haz de luz en varios modos de forma simultánea. El diámetro del núcleo de esta fibra suele ser $50\mu\text{m}$ o $62.5\mu\text{m}$, por lo que el acoplamiento de la luz puede llegar a ser más sencillo que en las fibras monomodo. Las fibras multimodo tienen dos formas de propagar el haz de luz:

- Fibras multimodo de índice escalonado
- Fibras multimodo de índice gradual

2.4.2.1. Fibras multimodo de índice escalonado

Figura 18. Transmisión de una fibra multimodo



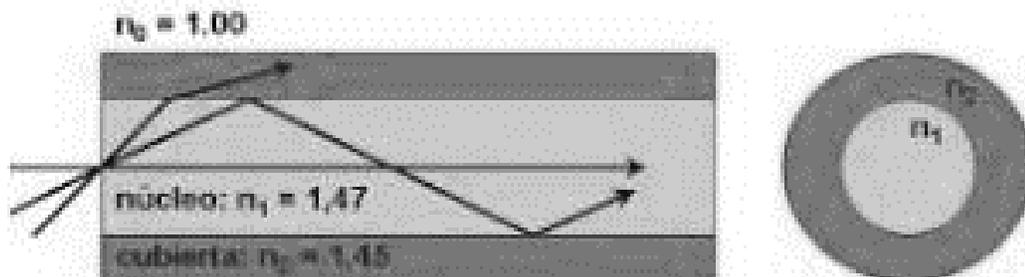
Fuente: Cisco CCNA Módulo 3 versión 3.1. Consulta: febrero de 2017.

Es un tipo de fibra multimodo en la cual el haz de luz viaja a través del cable y se refleja en el límite entre el revestimiento y el núcleo, lo cual reduce la distancia que puede alcanzar. En este tipo de fibras se busca variar de forma gradual el índice de refracción desde el centro al exterior, a fin de disminuir el efecto de la dispersión modal. La transmisión de la fibra óptica multimodo de

índice escalonado en forma triangular se puede ver en la figura 18, con los dos diferentes índices de refracción de los materiales que conforman la fibra.

Las fibras multimodo de índice escalonado están compuestas por dos estructuras con índice de refracción distintos (figura 19). El núcleo posee un índice superior al del revestimiento de constitución uniforme. Las atenuaciones van desde 30 dB/Km en las fibras de vidrio y hasta 100 dB/Km en las fibras de plástico y permiten el paso de hasta 40 Mhz/Km.

Figura 19. **Fibra multimodo de índice escalonado**



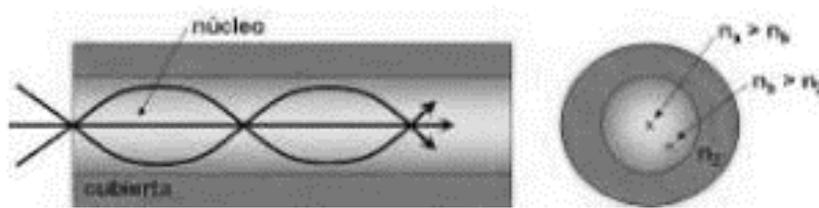
Fuente: *Tipos de fibra óptica*. www.mifibraoptica.wordpress.com. Consulta: febrero de 2017.

2.4.2.2. **Fibras multimodo de índice gradual**

Estas fibras se fabricaron en busca de que la transición del núcleo al revestimiento no fuera abrupta sino suave. Está constituido por capas concéntricas de diferentes índices de refracción. La cantidad de modos de transmisión es menor y mantienen un patrón muy similar. En la figura 20 se muestra cómo se propaga el haz de luz en una fibra multimodo de índice gradual

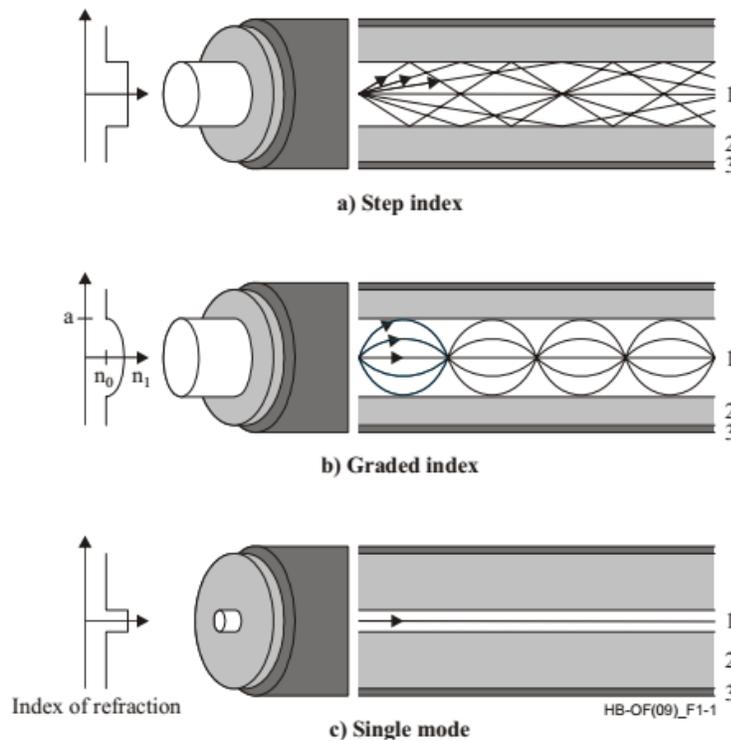
y el corte transversal de esta fibra, así como los diferentes índices de refracción de la misma.

Figura 20. **Fibra multimodo de índice gradual**



Fuente: *Tipos de fibra óptica*. www.mifibraoptica.wordpress.com. Consulta: febrero de 2017.

Figura 21. **Propagación de la luz en los diferentes tipos de fibra óptica**



Fuente: *International Telecommunication Union. Optical, fiber, cables and Systems. p.40.*

En la figura 21 se presenta una comparación de la propagación del haz de luz en los 3 diferentes tipos de fibra, fibras monomodo, multimodo de índice escalonado y multimodo de índice gradual.

Dependiendo del servicio que se quiere realizar o de la función que realizará la fibra se debe de seleccionar la que mejor se adapte al funcionamiento y por lo mismo, se aprovechará al máximo. Las fibras más utilizadas por su cobertura son las fibras monomodo.

2.5. Tipos de pulido de la fibra óptica

El acabado del *ferrule* de las fibras se realiza a través de diferentes métodos que se conocen con el nombre de pulidos. En la actualidad existen varios tipos de pulido del *ferrule* de fibra óptica, dependiendo de la manera en la que se vaya a utilizar la fibra y también de la función que se vaya a desempeñar esta fibra. Dependiendo de esto y de la cantidad de presupuesto que se tenga se debe de seleccionar el tipo de pulido necesario para cumplir con las funciones específicas que se necesitan.

2.5.1. Pulido plano (FLAT)

Este es utilizado principalmente en fibras multimodo. Es un pulido recto completamente lineal (figura 22), lo cual quiere decir que la punta de la superficie de la fibra es del todo plana o en línea recta. Cuando se conecta con otra fibra queda un espacio de aire entre ambas puntas del *ferrule*, debido a pequeñas imperfecciones en las superficies planas. Este espacio de aire genera pérdidas de retorno. La reflexión es de alrededor de 14 dB. FLAT >20 dB.

Figura 22. **Conector con pulido plano**



Fuente: www.silexfiber.com. Consulta: febrero de 2017.

2.5.2. Pulido PC (Physical Contact)

Es utilizado tanto en fibras multimodo como monomodo. El pulido del *ferrule* de una fibra PC es esférico convexo (figura 23). Esta curvatura es muy pequeña, poco visible al ojo humano. Por este motivo, estas fibras se pueden identificar a simple vista por el color azul de sus conectores.

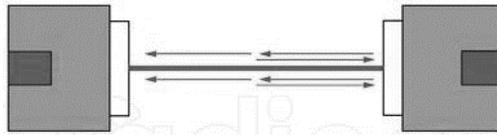
Figura 23. **Conector con pulido PC**



Fuente: www.silexfiber.com. Consulta: febrero de 2017.

En este tipo de pulido, cuando se conectan dos fibras no queda ningún espacio de aire entre ambas puntas, debido a la curvatura del pulido (figura 24). Sus propiedades le hacen poco crítico en términos de pérdida de retorno. La reflexión es de alrededor de 40 dB. PC <- 35 dB.

Figura 24. **Conexión entre dos fibras con pulido PC**



Fuente: RODRÍGUEZ, Asís. *Tipos de pulidos en los conectores de fibra óptica*.
www.fibraoptica hoy.com. Consulta: febrero de 2017.

2.5.3. Pulido UPC (Ultra Physical Contact)

Este pulido es utilizado en fibras monomodo y para sistemas digitales. Igual al pulido PC, el *ferrule* de una fibra UPC es esférico convexo pero extendido, para tener una mejor terminación de la superficie (figura 25). Gracias a esto la reflexión es menor de hasta 55 dB. UPC < -55 dB. Físicamente, estas fibras se pueden identificar ya que los conectores son de color azul, al igual que las fibras con pulido PC.

Figura 25. **Conector con pulido UPC**



Fuente: www.silexfiber.com. Consulta: febrero de 2017.

2.5.4. Pulido APC (Angled Physical Contact)

Este tipo de pulido es utilizado en sistemas análogos. El pulido del *ferrule* de una fibra APC tiene una superficie que forma un ángulo de 8° con la vertical, como se puede apreciar en la figura 26.

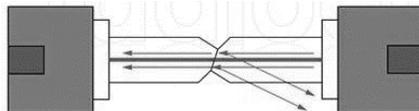
Figura 26. Conector con pulido APC



Fuente: www.silexfiber.com. Consulta: febrero de 2017.

Esto hace que las reflexiones de la transición del haz de luz de una fibra hacia la otra no retornen al núcleo de la fibra, lo que aumenta la pérdida de retorno a valores superiores a los 60 dB. APC <-65 dB. Físicamente, estas fibras se identifican por el color verde del conector. Al momento de conectarlas no hay pérdida en el haz de luz, debido a que el ángulo de 8° ayuda a transmitirlo de mejor forma, como se puede apreciar en la figura 27.

Figura 27. Conexión entre dos fibras con pulido APC



Fuente: RODRÍGUEZ, Asís. *Tipos de pulidos en los conectores de fibra óptica*.
www.fibraoptica hoy.com. Consulta: febrero de 2017.

2.6. Tipos de conectores de la fibra óptica

En la década de 1980 se comenzó a utilizar la cerámica moldeada para realizar el *ferrule* de las fibras. Desde entonces se volvió el material más empleado para los conectores de las fibras, por su economía al momento del moldeado y el pulido de las fibras. Es estable y resistente a la temperatura alta y tiene características similares al vidrio en cuanto a expansión del material.

Para realizar los conectores de cerámica el extremo del *ferrule* se pega o adhiere al cuerpo del conector. La parte trasera del conector es adecuada para introducir un estuche plástico de compresión, que se utiliza con los cables de fibra con cubierta para unir los elementos de resistencia aramida al cuerpo del conector. Esto brinda resistencia mecánica a la terminación del cable de fibra. Dependiendo del uso que se le vaya a dar, existen varios tipos de conectores para diferentes usos.

2.6.1. ST (*Straight tip* o punta recta)

Es uno de los conectores más usado en terminaciones de cables multimodo y para aplicaciones de redes. Fue uno de los primeros en usar *ferrule* de cerámica. Tiene una montura en forma de bayoneta y un *ferrule* largo y cilíndrico que sostiene la fibra. En la figura 28 se puede ver un conector ST.

Figura 28. **Conector tipo ST**



Fuente: HENTEL YANEZ, Avaloz. <http://www.hentel.com.ec>. Consulta: febrero de 2017.

2.6.2. **SC (Subscriber connector o square connector o conector de suscriptor)**

Es un conector con bajas pérdidas, muy usado en instalaciones de monomodo, aplicaciones de redes y CATV por el excelente desempeño, así como en los sistemas multimodo, ya que fue el primer conector elegido como estándar por la norma TIA-568 (figura 29). Este conector utiliza un *ferrule* de 2,50 mm. Es un conector *snap-in* que se ajusta con un mecanismo simple de *push-pull*. Tiene un mecanismo de click que previene la desconexión accidental.

Figura 29. **Conector tipo SC**

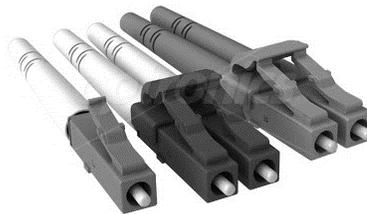


Fuente: www.optronics.com.mx. Consulta: febrero de 2017.

2.6.3. LC (lucent connector or little connector o conector pequeño)

Conector más pequeño que los ST y SC, ya que utiliza un *ferrule* de 1.25 mm, la mitad de tamaño que el conector SC. Ya que tiene un buen desempeño, este tipo de conector es utilizado en fibras monomodo y en las fibras multimodo para enlaces de gigabit o mayores. Incluso se utiliza en enlaces ethernet multimodo (figura 30). Este tipo de conector es el que se utiliza en los equipos de comunicación de alta densidad de datos.

Figura 30. Conector tipo LC



Fuente: www.optronics.com.mx. Consulta: febrero de 2017.

2.6.4. FC (Ferrule Connector o Conector Ferrule)

Fue uno de los conectores más utilizados. Tiene un *ferrule* de 2,5 mm al igual que los conectores SC y ST. Es un conector redondo que se debe de atornillar a la base para hacer un buen contacto (figura 31). Es mayormente usado en equipos de medición como OTDR y también en conexiones de CATV.

Figura 31. **Conector tipo F**



Fuente: HENTEL YANEZ, Avaloz. <http://www.hentel.com.ec>. Consulta: febrero de 2017.

2.7. Ventajas y desventajas de la fibra óptica

Por los aspectos físicos, la fibra tiene ciertas ventajas sobre otros medios físicos que se utilizan en las redes de telecomunicaciones:

2.7.1. Ventajas

- La fibra óptica hace posible la transmisión de datos a una velocidad mayor que el cobre.
- Es inmune al ruido y las interferencias electromagnéticas de las señales eléctricas, ya que los datos se transportan por medio de un haz de luz, no llevan señales eléctricas.
- No tienen pérdida de luz, por lo cual es segura y no puede ser perturbada.
- La instalación es más sencilla.
- Utiliza menos espacio físico que un cable de cobre.
- Pesa menos que un cable metálico de cobre, lo que la hace más fácil de maniobrar e instalar. Además, con un peso menor se puede transmitir un gran número de señales.

- El material que se usa para fabricarla se encuentra abundantemente en la naturaleza.
- Es más amigable con la tecnología digital.
- Tiene valores bajos de atenuación gracias al medio de transmisión que utiliza.
- Tiene una alta fidelidad.
- Tiene una larga vida operativa.

2.7.2. Desventajas

- Enfrenta una gran resistencia de la industria con respecto al cambio de tecnología, por el coste alto de la inversión.
- Una de las principales desventajas es el costo, ya que es alto.
- El costo de la instalación también es elevado.
- El costo de la navegación se cobraría por información transferida y no por tiempo de utilización, como se hace en una red de cobre.
- La fragilidad de las fibras es una desventaja mayor. Es muy versátil y delgada pero cualquier movimiento brusco podría romperla, cortarla y ocasionar una completa pérdida de la comunicación.
- Dificultad reparar al momento de que haya una fibra dañada. Por su mismo material y especificaciones, al momento de que se llegue a romper, la reparación es bastante complicada y solamente personal experimentado y especializado puede hacerlo. Sería más fácil cambiar todo el cable de fibra.
- Disponibilidad limitada de conectores en las fibras y en los equipos que se utilizan.
- Es necesario un alto grado de precisión al momento de conectar los cables y los conectores.

3. TECNOLOGÍA FTTH (FIBRA HASTA EL HOGAR)

Cada vez el internet se utiliza para mayor cantidad de actividades como realizar video llamadas, ver series o películas, escuchar música, videojuegos en línea y otras actividades. Cada una de estas implica el uso de un ancho de banda determinado que puede variar según la actividad que se realice y el dispositivo empleado para tal fin.

Los dispositivos en el hogar tienden a estar conectados a internet, lo que implica que el ancho de banda que prestan los servicios con tecnologías ADSL y HFC se están saturando y no cumplen con las necesidades del cliente.

Para solucionar este problema, los ISP buscan nuevas tecnologías para brindar un mayor ancho de banda a cada hogar. De esta manera surge la tecnología de fibra hasta el hogar FTTH, por sus siglas en inglés.

3.1. ¿Qué es la tecnología FTTH?

“Fibra Óptica Al Hogar, o según sus siglas en inglés FTTH (*Fiber To The Home*), es una tecnología de telecomunicaciones que consiste en la utilización de cableado de fibra óptica y sistemas de distribución ópticos para la provisión de servicios de internet, telefonía IP y telefonía sobre internet a hogares, negocios y empresas.”¹¹

¹¹ Iptel. *¿Qué es FTTH o Fibra Óptica al Hogar?* www.lptel.com.ar. Consulta: enero de 2017.

La finalidad de la tecnología FTTH es entregar servicios de Triple Play a un hogar con fibra óptica desde la central del ISP directamente, sin elementos activos intermediarios. Para esto se requiere que la distancia máxima desde el IPS hasta el punto final sea de 20 Km. De esta manera ya no se utilizarán los cableados de cobre que en este momento hacen un cuello de botella y limitan los anchos de banda que se puede entregar a los usuarios finales. Las redes FTTH utiliza la tecnología PON, redes de fibra óptica pasivas, como medio de transporte para llevar la señal de Triple Play desde la central de transmisión del ISP hasta el usuario final.

La fibra óptica permite mayores anchos de banda, tanto simétrica como asimétricamente, y se puede utilizar en una mayor distancia. Las PON, por ser redes pasivas no requieren del uso de amplificadores ni elementos activos que generan un costo extra y pérdidas en el tramo entre el ISP y el usuario final. De esta manera se puede ampliar el ancho de banda para entregar y dar un mejor servicio.

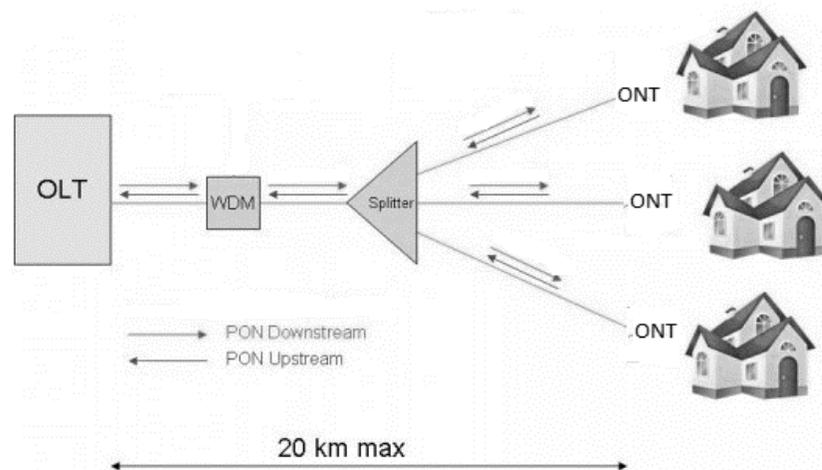
3.2. Componentes de una red FTTH

En la configuración de las redes FTTH, la conexión desde el ISP hasta el usuario final hace que este tipo de tecnología sea la mejor alternativa para prestar servicios con banda ancha. A la vez, también hace que su costo sea más elevado, ya que implica una inversión bastante alta en la implementación de fibra óptica desde la central hasta cada uno de los usuarios finales. La manera como se realiza la transmisión de datos en este tipo de redes sin ningún tipo de equipo activo entre la central y el usuario final es la multiplexación por longitud de onda.

“Cualquier tipo de red FTTH independientemente de su configuración y arquitectura, propone utilizar la multiplexación por longitud de onda para llegar desde la central a cada abonado.”¹² Al momento de hablar de FTTH se debe tomar muy en cuenta la tecnología PON, redes ópticas pasivas, ya que son la base de las redes FTTH. De esta forma, los componentes que conforman una red FTTH son los mismos que conforman la tecnología PON. Los principales elementos de una red FTTH (figura 32) que se utilizan son:

- Terminal óptica de línea (OLT del inglés Optical Line Terminal)
- Terminal óptica de red (ONT del inglés Optical Network Terminal)
- Divisores ópticos o splitters
- Red de distribución óptica (ODN del inglés Optical Distribution Network)

Figura 32. **Componentes de una red de fibra óptica pasiva**



Fuente: *How does a PLC Splitter work*. www.exfiber.com/old. Consulta: marzo de 2017.

¹² PAYÁN, Manuel Cano. *Proyecto de ejecución de una red FTTH*. p.32.

3.2.1. Terminal óptica de línea OLT

Es un elemento activo que se encuentra en la central del proveedor de internet o en la cabecera que presta el servicio. De este equipo parten todas las fibras ópticas hacia los usuarios finales. Puede funcionar como un *router*, ya que es el encargado de gestionar el tráfico hacia los usuarios finales y también el que proviene de los usuarios finales. Estos equipos tienen la capacidad de proveer los servicios a cientos de usuarios. Los equipos OLT obtienen 3 tipos de datos de 3 fuentes diferentes que multiplexan para luego enviar hacia los usuarios finales. Las fuentes son las siguientes:

- PSTN (*Public Switched Telephone Network*): en español es más conocida como RTB (Red Telefónica Básica). El equipo OLT se conecta a este para los servicios de telefonía.
- Internet: para los servicios de datos el equipo OLT se conecta a un *router* o un *Gateway IP/ATM*.
- Video: para los servicios de video difusión, el OLT se conecta a un *router ATM* que presta los estos servicios.

3.2.1.1. Partes de un OLT

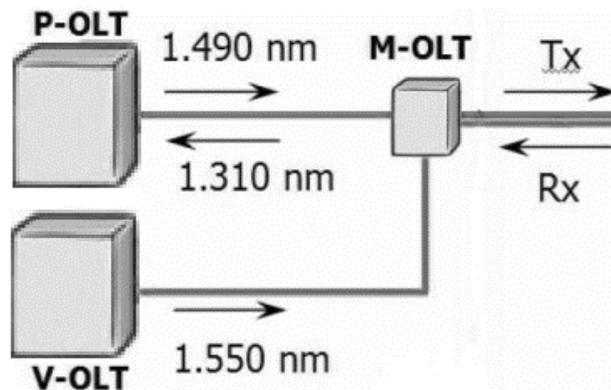
Para realizar la comunicación y multiplexación hacia los usuarios finales, los equipos OLT constan de 3 partes, cada una de estas con una función específica que es:

- P-OLT (Proveedor OLT): es el encargado de recoger las tramas de voz y de datos que se dirigen hacia la red de distribución que proceden del RTB y de internet, utilizando el protocolo TDM (*Time Division Multiplexing*), o

multiplexación por división en el tiempo. Para esto utilizan la longitud de onda de 1490 nm. De igual forma lo hace a la inversa al dirigir el tráfico de voz y datos que proviene de las ONT hacia los respectivos RTB o internet. Para esto utiliza la longitud de onda de 1310 nm. Aparte de esto se encarga de multiplexar el canal de carga y descarga por la misma fibra.

- V-OLT (OLT de video): esta parte de los equipos OLT es la encargada de transportar las tramas de video que vienen de la red de video difusión hacia los usuarios finales de las ONT. Se encarga de multiplexar la señal en la longitud de onda de 1550 nm.
- M-OLT (OLT multiplexador): como lo dice su nombre, se encarga de multiplexar y de demultiplexar las señales que se obtienen de las V-OLT y P-OLT. En la figura 33 se puede ver el funcionamiento de las partes en un OLT.

Figura 33. Estructura de un equipo OLT



Fuente: MARCHUKOV, Yaroslav. *Desarrollo de una aplicación gráfica para el diseño de infraestructuras FTTH*. p.19.

3.2.1.2. Características de un OLT

- Realiza las funciones de control en la red de distribución.
- Controla la multiplexación de los servicios, tanto en carga como descarga de datos.
- Agrega el tráfico y lo encamina hacia el usuario final.
- Funciona como un *router* para ofrecer todos los servicios.
- La comunicación entre un OLT y ONT es a través de elementos completamente pasivos.
- La conexión entre la OLT y varios ONT es través de varios divisores ópticos.
- La distancia máxima entre una OLT y un ONT es de 20 kilómetros.

3.2.2. Terminal óptica de red ONT

También se puede nombrar ONU por sus siglas en inglés *Optical Network Unit* (Unidad de red óptica). Son equipos que realizan la conversión de señales ópticas a eléctricas y viceversa en el hogar del usuario final. En estos equipos se termina la línea de fibra óptica antes de conectar los dispositivos finales. También hace la función de multiplexar y demultiplexar la señal del Triple Play en sus diferentes componentes:

- Teléfono sobre IP
- Televisión sobre IP
- Conexión a Internet

Para realizar la multiplexación y demultiplexación los equipos ONT hacen el uso de la multiplexación por división de tiempo (TDM), la cual es gestionada por

el OLT encargado de asignar los intervalos de tiempo a cada uno de los ONT que se encuentran conectados.

Las tramas que procesa un equipo ONT se encuentran a nivel de Ethernet y constan de 3 partes:

- Cabecera: contiene información de sincronización de la trama enviada.
- CRC: identifica si la trama ha llegado o no con errores a su destino.
- Carga útil o más conocido como *payload*: son los datos a enviar.

Para separar las tres señales de video, voz y datos, el equipo ONT usa un módulo electroóptico que posee dos fotodiodos: uno analógico y otro digital.

Los filtros ópticos que utiliza son los siguientes:

- Filtro óptico analógico (OAF): utiliza los fotodiodos APD para realizar la conversión de la señal de video. El video se transmite a una longitud de onda de 1550 nm.
- Filtro óptico digital (ODF): utiliza los fotodiodos DPD para realizar la conversión de la señal de voz y datos. Esta señal se transmite a una longitud de onda de 1490 nm.

3.2.2.1. Características de un ONT

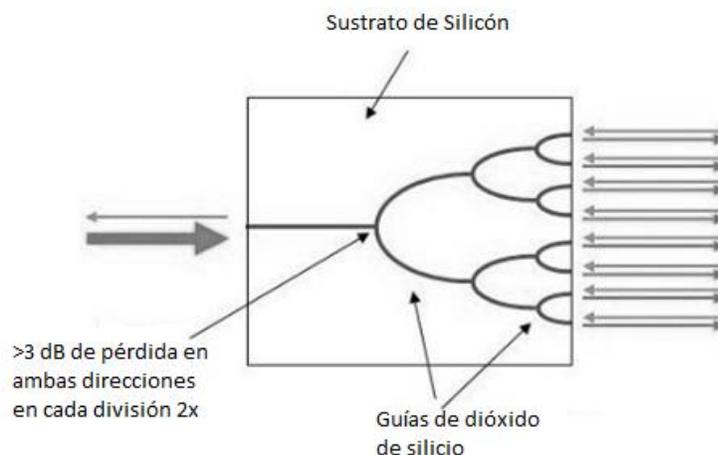
- Multiplexación y demultiplexación de los servicios.
- Conversión de eléctrico a óptico y viceversa para conectar a los equipos finales por medio de cobre (televisión y teléfono)

- Constan de un puerto RJ11 de cobre para proporcionar la señal de teléfono sobre IP al usuario final, si es necesario.
- Constan de uno o varios puertos RJ45 de cobre para proporcionar conexión física a algún computador u otro dispositivo que lo utilice como teléfonos sobre IP o consolas de videojuegos.
- Constan de señal wifi en la mayoría de los casos para conectar computadoras, teléfonos inteligentes y tabletas.

3.2.3. Divisores ópticos o *splitters*

“Los divisores ópticos son elementos esenciales en la arquitectura de las FTTH, en las que una sola entrada óptica se divide en múltiples salidas”¹³.

Figura 34. Estructura básica de un divisor óptico de 1:8



Fuente: Exfiber Optical Technologies Co. Lt. *How does a PLC Splitter work?*

www.exfiber.com/old. Consulta: marzo de 2017.

¹³ LEE, Dr. Bernard. *DIVISORES ÓPTICOS, Evaluación Comparativa del Rendimiento de las Redes de Acceso de Nueva Generación y Alta Velocidad*. p.45.

Estos son los equipos pasivos encargados de dividir y de guiar las señales ópticas desde el elemento activo de la red hasta cada uno de los abonados. En la figura 34 se puede apreciar la estructura interna básica de un *splitter* de 8 divisiones.

Dependiendo de la topología de la red puede haber uno o varios divisores colocados en cascada en una red de distribución óptica.

“La recomendación G.984 de la ITU-T permite relaciones de división de hasta 31, mientras que la recomendación G.984.6 amplía la relación hasta 64. Independientemente de la topología, el divisor debe satisfacer el presupuesto de pérdida óptica previsto.”¹⁴ En la figura 35 se puede ver un divisor óptico de 32 puertos.

Figura 35. **Divisor óptico con relación 1:32 con puertos LC/UPC**



Fuente: Milestone Technologies. www.milestone.com.ec/site. Consulta: marzo de 2017.

Cada división por *splitter* introduce una pérdida de potencia óptica que se calcula con la Ecuación 3, donde N es el número de salidas del divisor

Ecuación. 3

$$\text{Atenuación}_{\text{divisor}} = 10 \log \left(\frac{1}{N} \right)$$

¹⁴ Kefiber. *Divisores ópticos*. www.keyfibre.com. Consulta: marzo de 2017.

3.2.3.1. Características de un divisor óptico

- Tiene una entrada de fibra y divide la señal en las necesitadas. Dependiendo de la recomendación de la ITU-T, puede ser en 1:31 o 1:64.
- Componentes de alta calidad diseñados para dividir o combinar la señal óptica.
- Son elementos completamente pasivos ya que no es necesario conectarlos a energía eléctrica para su funcionamiento.
- Son partes vitales de las redes FTTH.
- Introduce pérdidas de potencia óptica sobre las señales de comunicación.

3.2.4. Red de distribución óptica ODN

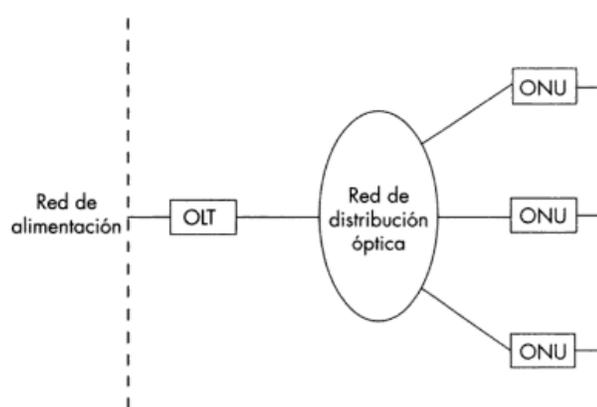
“Proporciona el medio de transmisión desde la OLT hasta la ONU. El medio físico de transmisión empleado es la fibra óptica y la transmisión en la misma, a diferencia de lo que ocurre en las redes de acceso híbrido fibra-coaxial, se realiza en formato digital en banda base. La topología de red de distribución óptica implementada con mayor frecuencia es la red óptica pasiva.”¹⁵

Se puede llamar red de distribución al conjunto de cables de fibra óptica que salen del edificio de la central y se van ramificando hasta llegar a los equipos terminales de red que, normalmente pero no siempre, constituyen el final de la red de fibra más los equipos ONT y OLT (figura 36). Esta red está conformada por las fibras ópticas que se encuentre entre la central del distribuidor de internet

¹⁵ ESPAÑA BOQUERA, María. *Comunicaciones-Ópticas Conceptos esenciales y Resolución de Ejercicios*. p.62.

hasta los diferentes usuarios final es el medio mediante el cual se transmiten los datos desde el OLT hasta el ONT.

Figura 36. **Configuración del segmento de distribución de una red FTTH**



Fuente: ESPAÑA BOQUERA, María. *Comunicaciones-Ópticas Conceptos esenciales y Resolución de Ejercicios*. p.42.

3.3. Topologías de las redes FTTH

La topología de una red de telecomunicación es el diseño de una red como tal. Las redes FTTH utilizan como infraestructura las redes pasivas ópticas que, a su vez, utilizan estructuras punto-multipunto, en las que una sola fibra sale de la central donde se encuentra el OLT y se divide en varios puntos por medio de divisores ópticos para llegar a diferentes hogares. Para tener un mejor desempeño al momento de realizar una red FTTH se recomienda que los divisores ópticos se encuentren lo más cercano al cliente final posible. De esta manera, se puede tener un mejor escalamiento de la red a futuro con la menor inversión posible. Existen tres diferentes tipos de ramales que se deben de distinguir al momento de realizar una arquitectura de red:

- *Feeder* o troncal: es el par de hilos de fibra principal que se encuentra conectado al OLT en la central del ISP, hasta el primer divisor óptico.
- Distribución: es la parte de la red que se encuentra entre el *feeder* y el último punto de distribución o el último divisor óptico del cual parten las fibras hacia cada ONT del usuario final.
- Acceso al abonado: el acceso al abonado corresponde a la parte de la red que se conecta directo a los ONT del usuario final o cliente hasta el primer divisor óptico o punto de conexión.

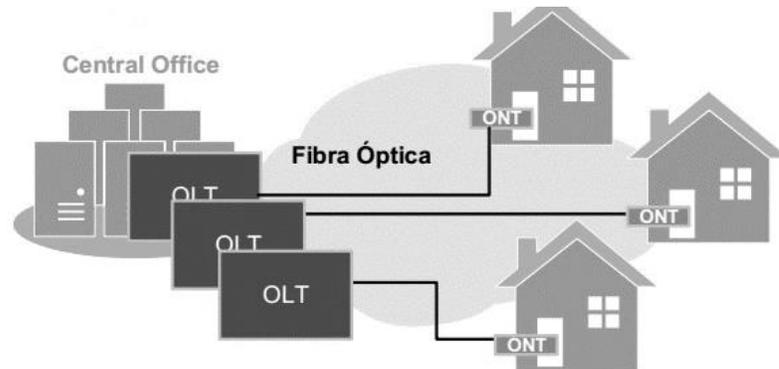
3.3.1. Topología punto a punto

“En este tipo de topología, el medio (la fibra) es dedicado para una comunicación directa entre la OLT y la ONT. Es usado para servicios corporativos (servicios como Metro-LAN o Giga-LAN), en la cual el cliente necesita de un gran ancho de banda “en exclusiva” y con servicios adicionales, y de alta seguridad en el transporte de datos.”¹⁶

Son aquellas topologías de red en las que cada canal de datos se usa para comunicar únicamente al OLT con ONT específico (figura 37). En este tipo de topología existe un canal dedicado para cada uno de los ONT de la red. Esta topología se puede utilizar cuando los ONT se encuentran en un lugar geográfico cercano a la central en la cual se encuentra el OLT, pero es mucho más costoso debido a la cantidad de fibras ópticas que se debe instalar desde el OLT hasta el ONT.

¹⁶ LÓPEZ PASTOR, Eduardo Tommy. *Módulo 1: Red de Acceso*, p.23.

Figura 37. **Topología punto a punto**



Fuente: LÓPEZ PASTOR, Eduardo Tommy. Módulo 1: Red de Acceso, p.23.

Debido a que no existe un equipo pasivo como divisor óptico en la ODN de este tipo de topología, la pérdida de potencia óptica se da únicamente por el degrado que ocasiona la fibra por la distancia entre el equipo OLT y los equipos ONT.

3.3.2. **Topología punto a multipunto**

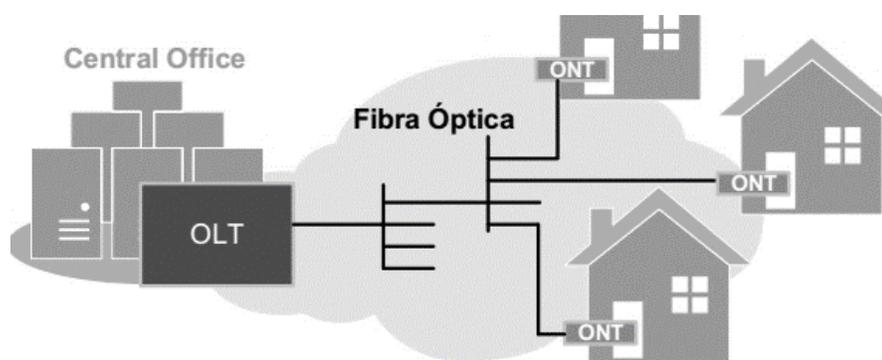
Esta es la topología usada por la tecnología GPON. Es una topología punto-multipunto (una OLT compartida por múltiples ONTs), que se asemeja al tronco de un árbol (la fibra que sale de la OLT), y las ramas de los árboles (que son las bifurcaciones de fibra que van hacia el cliente). Como es necesario compartir el medio entre varios clientes, la red óptica cuenta con dos niveles de *splitting* (*splitters* de 1er nivel y 2do nivel), de donde parten las bifurcaciones de fibra.¹⁷

En este tipo de topología, entre el equipo OLT y el equipo ONT, existen diferentes niveles de divisores ópticos que dividen la señal que se envía desde el OLT (figura 38). De esta forma se puede tener los servicios en lugares más

¹⁷ LÓPEZ PASTOR, Eduardo Tommy. Módulo 1: Red de Acceso, p.23.

lejanos, sin necesidad de instalar fibras que vayan desde la central donde se encuentra el equipo OLT hasta el ONT final, sino que se dividen en etapas con cada divisor óptico que divide la señal. Esta topología es más utilizada por su economía en la instalación de fibra óptica y su fácil escalonamiento para futuro.

Figura 38. **Topología punto a multipunto**



Fuente: LÓPEZ PASTOR, Eduardo Tommy. Módulo 1: Red de Acceso, p.23.

3.3.3. Topología de anillo

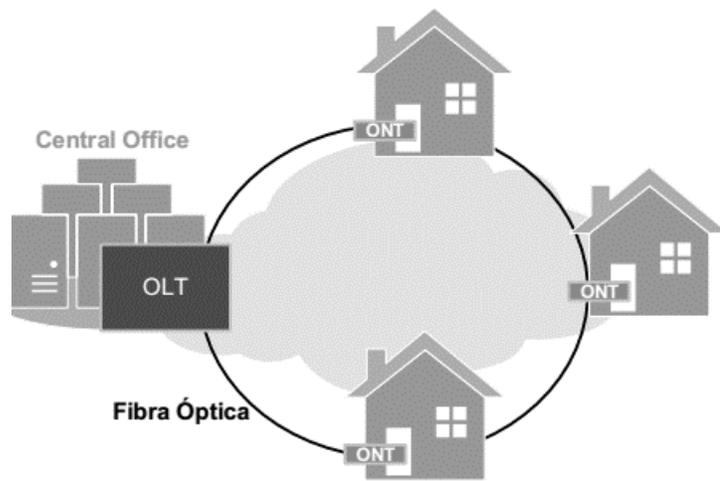
“No es usada comercialmente en el acceso. En esta topología los usuarios (ONTs) acceden a la OLT por “paso de testigo” (*token*). Recordarás las carreras de 4x100, ahora tú tienes el *token* y te toca transmitir, luego pasas el *token* a la ONT siguiente, y esta transmite, y así en adelante.”¹⁸

En este tipo de tecnología se conecta un ONT seguido de otro ONT. De esta forma, para poder acceso al ONT existe una ruta secundaria si en dado caso llegara a haber algún tipo de corte de fibra (figura 39). Esta topología es la más

¹⁸ LÓPEZ PASTOR, Eduardo Tommy. *Módulo 1: Red de Acceso*, p.15.

utilizada en redes de acceso para proteger a los equipos. Normalmente no se utiliza en los equipos de cliente.

Figura 39. **Topología de anillo**



Fuente: LÓPEZ PASTOR, Eduardo Tommy. Módulo 1: Red de Acceso, p.23.

3.4. Ventajas y desventajas de la tecnología FTTH

En la tabla VI se puede ver una comparación entre las ventajas y desventajas de las redes FTTH:

Tabla VI. **Ventajas y desventajas de las redes FTTH**

Ventajas	Desventajas
Cobertura de grandes distancias sin necesidad de repetidores y/o amplificadores.	Necesidad de instalar nueva infraestructura (fibras ópticas hasta cada hogar).
Baja atenuación en largas distancias.	Costo alto por manejo e instalación de nuevas infraestructuras.
Pueden ampliar su ancho de banda y tienen un tiempo de vida prolongado porque transmiten haces de luz.	Necesidad de instalar fibra óptica en línea recta sin muchas curvaturas para un mejor servicio y menos atenuación.
Presentan inmunidad a las interferencias electromagnéticas.	La instalación y reparación la debe hacer personal especializado.
Capacidad de transmitir una enorme cantidad de información en un menor tiempo.	Dependencia del equipo OLT del ISP.
Ancho de banda casi infinito.	
No existe problemas de retorno a tierra e interferencias cruzadas.	

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

4. IMPLEMENTACIÓN DE REDES FTTH

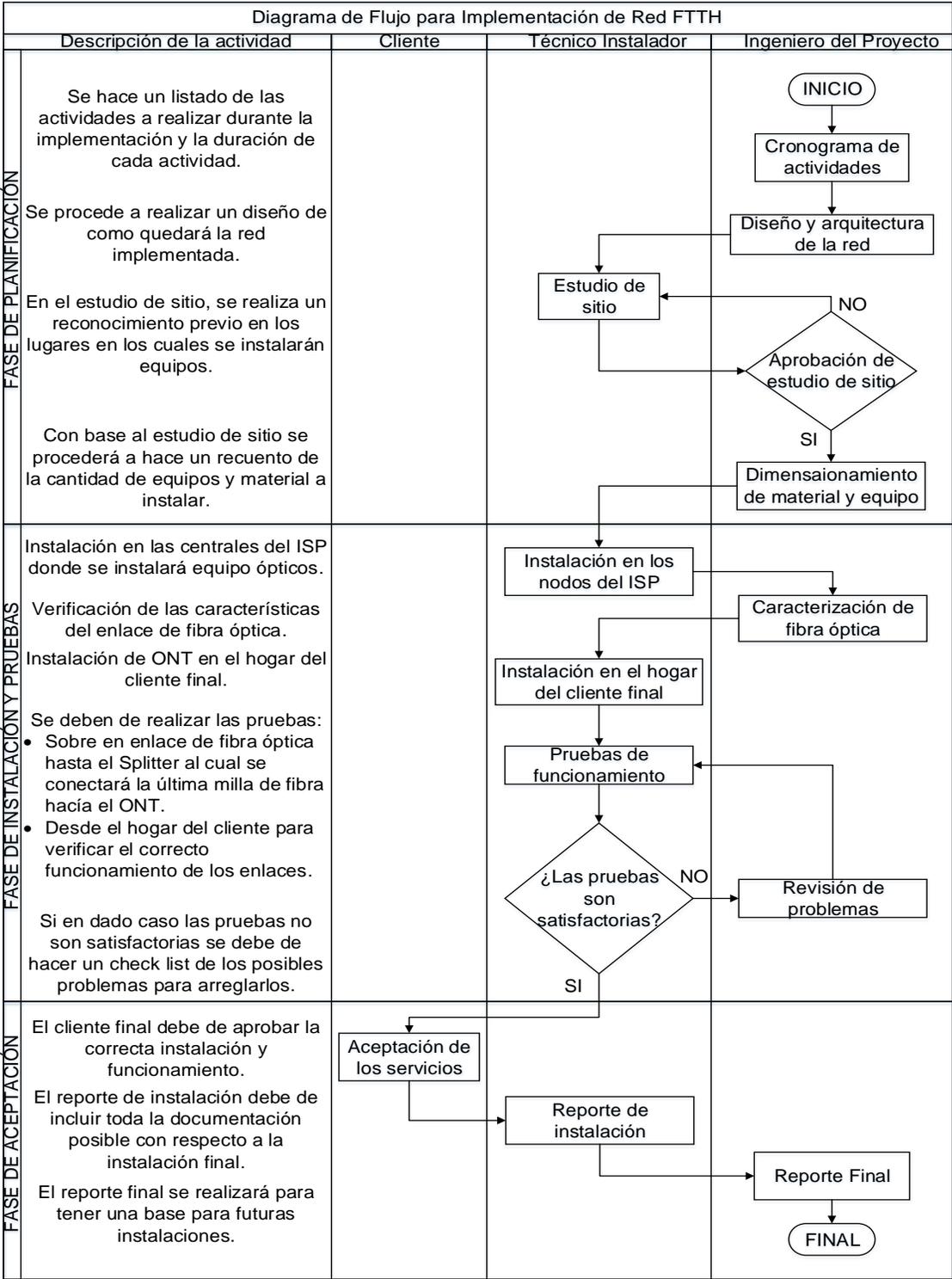
La implementación de una red FTTH ofrecerá una tecnología capaz de soportar servicios de banda ancha como video en alta definición, video juegos en línea en tiempo real, video conferencias y otras aplicaciones que los usuarios de internet demandan con mayor intensidad en la actualidad.

Para implementar una red de fibra hasta el hogar se requiere de varias actividades que se describirán a continuación. Abarca desde un estudio previo para conocer la situación actual hasta la evaluación y reportes finales de la instalación realizada y la aceptación por parte del cliente. Las fases en las cuales se podría dividir la implementación de una red FTTH son:

- Fase de planificación
- Fase de instalación y pruebas
- Fase de aceptación

Antes de iniciar con la primera fase de la implementación de esta nueva tecnología, se debe realizar un diagrama de flujo con todas las actividades necesarias para concluir la implementación correctamente en un orden cronológico real. En la figura 40 se puede apreciar el diagrama de flujo propuesto para la implementación de una red FTTH.

Figura 40. Diagrama de flujo para la implementación de una red FTTH



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Visio.

4.1. Fase planificación

Esta fase es previa a la instalación de cualquier equipo o cable de fibra óptica. Con una buena planificación se tendrá una instalación sin problemas de funcionamiento y sin retrasos. “La planificación es el instrumento que permite elegir las mejores opciones (la mejor forma de lograr objetivos) y, sobre todo, ayudará a fijar correctamente el curso concreto de la implementación.”¹⁹

Desde el principio se debe realizar un cronograma de actividades con tiempos estimados para llevar un orden al momento de la implementación.

Es necesario un estudio previo de las instalaciones del ISP en donde se realizará la implementación. Un buen estudio previo permite dimensionar mejor el equipo, material, recursos y personal necesarios. Luego ya se puede iniciar con la implementación como tal.

4.1.1. Cronograma de actividades

Un cronograma de actividades “es una descripción específica de las actividades y del tiempo que se va a emplear para la ejecución del proyecto. Se debe de organizar el trabajo en fechas probables, para saber cuánto tiempo requerirá elaborar el trabajo definitivo.”²⁰

Antes de iniciar con la implementación se debe realizar un cronograma que incluya el inicio y fin de la implementación. Este paso es de suma importancia en

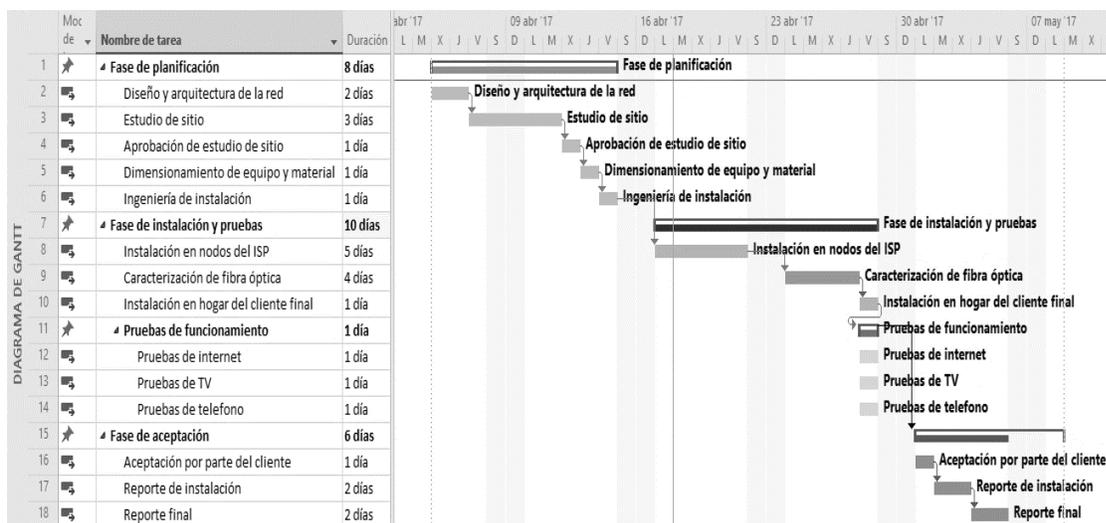
¹⁹ PARIONA, David. *Cronograma de actividades*. www.es.slideshare.net/vichodmx/cronograma-de-actividades-2555329. Consulta: julio de 2017.

²⁰ Ibid.

la implementación de cualquier proyecto porque permite organizar y manejar el tiempo empleado en cada una de las fases.

El cronograma se debe elaborar al principio del proyecto e incluye desde la fase de planificación con el diseño de la red, hasta la de aceptación con los reportes necesarios. Se realiza con estándares de gestión de proyectos según el PMI (Instituto de Directores de Proyectos). “Para su presentación se utilizan generalmente diagramas, lo que permite visualizar mejor el tiempo de cada actividad y sobre todo en aquellos casos en que hay varias actividades en un mismo tiempo.”²¹ Como el de la figura 41.

Figura 41. Cronograma de actividades en diagrama de Gantt



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Project.

²¹ PARIONA, David. *Cronograma de actividades*. www.es.slideshare.net/vichodmx/cronograma-de-actividades-2555329. Consulta: julio de 2017.

El cronograma de actividades presenta todas las tareas en una secuencia específica para implementar la red en un tiempo determinado. Para elaborar un cronograma se debe seguir los pasos que se presentan a continuación:

- Escribir las actividades en columna.
- Definir el tiempo disponible para la implementación.
- Calcular el tiempo para cada actividad e indicarlo en forma horizontal.
- Ordenar las actividades cronológicamente.
- Ajustar tiempo o secuencia de las actividades.
- Seleccionar a un recurso para cada actividad.

Luego de definir y estructurar el cronograma de actividades se da a conocer a todos los interesados en el proyecto y a quienes participarán en alguna actividad. Luego se procede a realizar el diseño.

4.1.2. Diseño y arquitectura de red

En la parte de diseño de la red se bosqueja cómo quedará finalmente para dimensionar toda la red futura FTTH de manera adecuada. Se podrá proceder con la compra de equipo y material, así como cuantificar de una buena manera la cantidad de personal y el tiempo que se tardará en realizar la instalación de esta nueva red. Con esto se logrará minimizar los problemas en las siguientes fases de la implementación.

4.1.2.1. Condiciones básicas del diseño de una red

Es una lista de condiciones que el ISP debería de tomar en cuenta al momento de la implementación. Pueden ayudar en un futuro a la red. En el momento de la instalación pueden llegar a ser útiles para ampliar los alcances de la red y minimizar los errores. Las condiciones para realizar la implementación de una red FTTH son:

- **Capilaridad:** consiste en prestar servicios a la misma cantidad o a un número mayor de clientes que en principio utilizan otro tipo de tecnología o no utilizaban ninguna tecnología.
- **Capacidad:** el diseño de la red debe de ser fácilmente escalable y tomar en cuenta futuros crecimientos de la red con clientes nuevos, para evitar problemas y trabajo extra si se necesita que la red crezca por aumento de clientes y demanda. Si se diseña la red tomando en cuenta su futura ampliación se puede evitar inversiones y problemas futuros.
- **Calidad:** realizar un diseño de excelente calidad que brinde la mayor solidez para evitar futuras averías y dar un mayor tiempo de vida a la red.
- **Distancia:** tomar en cuenta las distancias de los usuarios donde se instalarán las ONT hacia el OLT, para no sobrepasar los límites establecidos para un buen servicio. Para realizar esto se debe de tomar como base el lugar en el cual se encontrarán las OLT.

4.1.2.2. Selección de topología

Se selecciona la topología más funcional para la implementación de una nueva red. Las topologías que se pueden utilizar son:

- Punto a punto
- Punto a multipunto
- Anillo

Para minimizar los gastos y por el tipo de instalación requerida se debe seleccionar la topología más funcional con respecto al estudio previo de usuarios finales. La topología utilizada —la mayoría para la red de acceso que conecta los OLT— es una red en anillo (figura 39). Sin embargo, por recomendación y para evitar puntos de falla se aconseja utilizar una topología punto a multipunto para la red de clientes (figura 38). Esta topología tiene las siguientes ventajas:

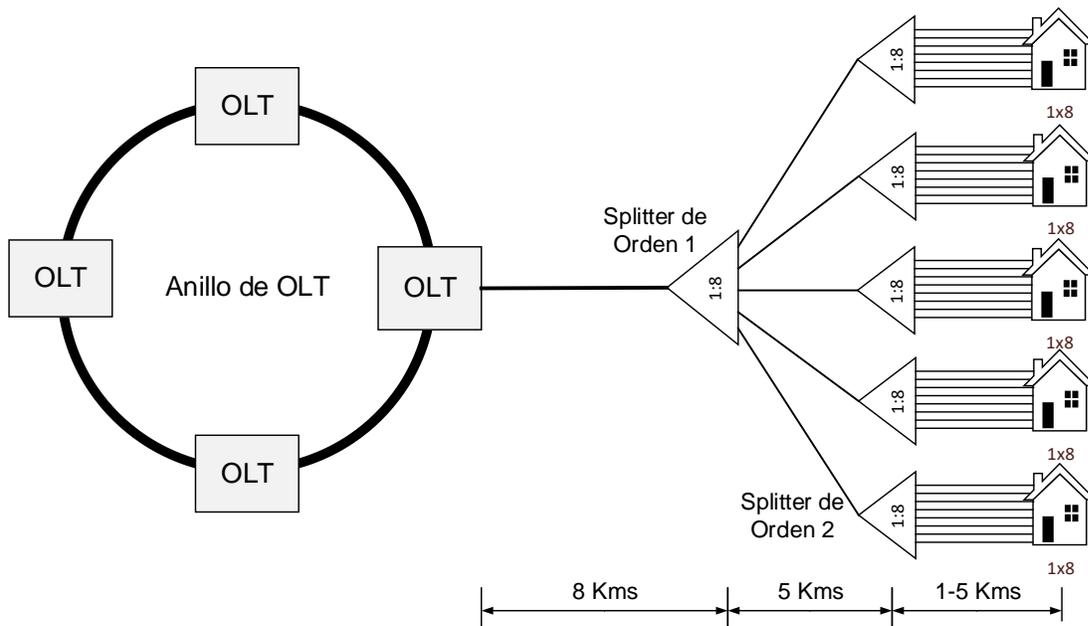
- Menor ocupación de cable de fibra óptica.
- Mayor reserva de fibra óptica para futuros clientes y una futura ampliación.
- Mayor reserva de puertos libres en los divisores ópticos para nuevas conexiones a clientes futuros.
- Mayor facilidad de manipulación de los cables de fibra que forman la red óptica.
- Reducción de costo para la instalación final.

4.1.3. Diseño de una red para 40 casas

Tomando en cuenta los aspectos anteriores se diseñará una red FTTH en una colonia de 40 casas. Se cuenta con un anillo de equipos OLT propiedad del ISP, ya instalados. Un equipo OLT que forma parte de este anillo se encuentra a 8 km de la entrada a la colonia. En la entrada a la colonia se instalará un divisor óptico 1:8, el cual tiene una pérdida de inserción de 11 dB. de orden 1 para dividir la señal del OLT hacia las diferentes calles de la colonia. Este divisor óptico alimentará a otros 5 divisores ópticos de grado 2, que se instalarán en cada calle

e irán conectados por fibra mono de 1 hilo hacia los equipos ONT en el hogar del cliente final. En la figura 42 se puede apreciar el diagrama de las conexiones de la red.

Figura 42. Diagrama de conexión para red FTTH de 40 casas



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Visio.

Los equipos OLT se encuentran instalados en centrales del ISP y estos están conectados entre sí por medio de fibras de 24 hilos. Utilizan la topología de anillo (figura 39) para protección de todo el tráfico de red que se encuentra transmitiendo entre ellos. Estos OLT deben contar con dos puertos para conectar a ambos brazos del anillo y 1 puerto con capacidad de, por lo menos, 100 Gbps para transmisión de datos al momento de tener el uso máximo de la red.

Entre el OLT y el divisor óptico de primer orden se utiliza una topología punto a punto (figura 37). El divisor de primer orden es un divisor 1:8, el cual utiliza

únicamente 5 puntos de conexión debido a la demanda inicial y se dejan libres 3 puntos de conexión para el futuro crecimiento de la red conforme aumente la demanda de servicio. Con el uso de fibras monomodo G-657 se encuentra la conexión desde el divisor óptico de orden 1 hacia los divisores ópticos de orden 2, ubicados cada uno en la entrada a cada calle. Se utiliza una topología de punto multipunto (figura 38) para esta conexión.

Los divisores ópticos de segundo orden se encuentran conectados hacia casa ONT ubicado en el hogar del cliente final. Estas conexiones utilizan topología punto multipunto y cables de fibras monomodo G-657 de 8 hilos de fibra óptica de conector de pulido plano (figura 22). Están colocadas dentro de 1 tubo holgado con material absorbente de humedad. El tubo contiene 8 hilos de fibra óptica tipo monomodo. Cada uno de los ONT será capaz de utilizar un ancho de banda de 2.5 Gbps simétrico según el estándar ITUT G.984.

Cada equipo ONT que se instalará en el hogar debe de poder soportar el máximo de entrega posible, tanto en carga como en descarga de datos.

4.1.4. Estudio de sitio

Previo a comenzar cualquier tipo de instalación se debe hacer un reconocimiento de los sitios en los cuales realizará la nueva instalación de equipos de telecomunicaciones en las instalaciones del ISP, así como en los hogares de los clientes. No es necesario visitar la casa de los clientes por dentro; se puede hacer un reconocimiento por fuera. Se debe realizar un reconocimiento de las centrales en las cuales se procederá a instalar los equipos OLT, el lugar donde se instalará la fibra y los divisores ópticos de fibra para los cableados hacia los clientes.

Esto se debe realizar para hacer un dimensionamiento correcto de los equipos y materiales que se utilizarán y no tener que hacer inversiones extras.

Para realizar el estudio de sitio se envía un encargado de la implementación con un documento, en el cual se solicitan varios datos que servirán para tomar en cuenta en futuras actividades. El documento puede ser un archivo de una hoja, donde se anotan los datos importantes del lugar. Se puede dividir en:

- Datos generales del sitio
 - Cómo llegar al lugar
 - Ubicación
 - Coordenadas
 - Especificación que ayude a ubicar mejor el sitio
 - Tipo de acceso
 - Horario de acceso si existiera alguna restricción de horario
 - Datos que puedan servir para poder llegar de manera más rápida y ubicar el lugar.

- Condiciones del sitio
 - Se revisará si existe espacio suficiente para instalar el equipo y las fibras, así como las distancias de los equipos.
 - Fuentes de energía disponibles y la distancia a la cual se encuentran de la futura instalación, si es necesario.
 - Las distancias del lugar donde se instalará los nuevos equipos a los puertos de accesos de fibra.

- Diagrama del sitio
 - Diagrama con medidas de distancias.
 - Dibujos de los bastidores con dimensiones de los mismos.

- Dimensiones del sitio
- Fotografías: es necesario agregar la mayor cantidad de fotografía. Servirán para verificar los datos apuntados y si se requiere algún otro dato que no se anotó.
- Observaciones: si en dado caso es necesario agregar alguna observación extra que pueda proveer información importante para la implementación.

4.1.5. Dimensionamiento de material y equipo

“Para el dimensionado de equipos en la central se deberá tener en cuenta la previsión de bajada de precios de los equipos con el paso del tiempo y la rapidez en la evolución tecnológica de estos”²² El dimensionamiento de equipos va ligado de la cantidad de usuarios finales que utilizarán la red FTTH. Los equipos OLT en las centrales son los equipos principales que se deben instalar, ya que son los equipos activos que se encargarán de realizar la alimentación a la red.

Aparte de los equipos a utilizar en las centrales y en los hogares de los clientes se debe de dimensionar los cables de fibra óptica a utilizar, así como los divisores ópticos y todo el material extra que se utiliza para la instalación como etiquetas, cinchos plásticos, velcro, etc. Aparte de este material se debe tomar en cuenta los elementos ópticos que se instalarán luego de realizar la caracterización de la fibra óptica (DCM, atenuadores y/o amplificadores).

²² CANO PAYÁN, Manuel. *Proyecto de ejecución de una red FTTH*. p.45.

4.1.6. Ingeniería de instalación

Con los estudios de sitio y con un buen dimensionamiento de material y equipos, se procede a realizar un documento en el cual se explicará la actividad de instalación. Este se denominará ingeniería de instalación.

En este documento se documenta detalladamente todos los pasos para realizar la instalación. Se debe realizar uno por cada central donde se instalará el OLT, así como un documento por cada cliente si el ISP lo considera necesario. En este documento de ingeniería se debe detallar lo siguiente:

- **Objetivo:** una breve explicación de lo que se quiere lograr con esta instalación.
- **Alcance:** descripción de lo que se procederá a instalar.
- **Justificación:** el motivo por el cual es necesario realizar lo que describe la ingeniería.
- **Equipo a instalar:** una lista de equipos que serán instalados, con número de serie y número parte del fabricante.
- **Topología:** un diagrama de la topología que se utilizará.
- **Procedimiento:** en esta parte se describe paso a paso el procedimiento que utilizará para la implementación de la red. Este procedimiento debe ser detallado para que los encargados de realizar los trabajos puedan seguirlo sin ningún problema.
- **Plano de la ubicación:** planos del sitio y donde serán ubicados los equipos nuevos a instalar.
- **Energía:** el lugar del cual se tomará la energía si es necesario. Se debe colocar las posiciones asignadas para energía principal y de protección.
- **Conexiones de fibra:** se debe de colocar la manera en la cual se instalarán las fibras y todo cableado que sea necesario.

- Pruebas: se coloca a detalle las pruebas a realizar para verificar el correcto funcionamiento de lo que se instalará.
- Consideraciones adicionales: cualquier comentario adicional que se considere necesario para la ejecución de la instalación.
- Aprobación: esta ingeniería debe ser aprobada por el personal responsable de la actividad. Sin aprobación no se puede comenzar a instalar.
- *Rollback plan*: el *rollback* es el procedimiento que se debe realizar si no se puede concluir la instalación por algún motivo. Si en dado caso se afecta algún servicio al momento de realizar la instalación, este se debe de lograr arreglar y que no se encuentren inconvenientes al finalizar la actividad de instalación.

Luego de la aprobación se comienza la instalación de los nuevos equipos y de la red.

4.2. Fase de instalación

“Cuando ya se posea toda la información necesaria, como planos, permisos y cualquier otro anexo terminado, se da por concluida la fase de diseño y la acción se traslada a la instalación en campo.”²³ La instalación de la red es la implementación física de todos los equipos y materiales necesarios para utilizar la red de tecnología FTTH.

²³ PRIETA, Jaime Zapardiel. *Diseño De Una Red de Acceso Mediante Fibra Óptica*. p.78.

4.2.1. Instalación de ODN

Como se mencionó, la ODN son todos los medios físicos del ISP que se encargan de interconectar toda la red. “De acuerdo a la geografía de la ciudad, barrio, torre o complejo habitacional se definirá la traza de los cables principales los lugares donde se colocarán los empalmes, derivaciones a cables secundarios, lugar donde se colocará los *splitters* y las cajas de acceso a la red (NAP *Network Access Point*)”²⁴.

Es importante recalcar que este tipo de redes son de vida útil larga y deben ser de poco mantenimiento. El material que se utilice debe cumplir con los requerimientos y estándares necesarios para que cumplan esta condición. Los elementos que debe formar una ODN son:

- ODF (*Optical Distribution Frames*)
- Cable de alimentación
- Cierre de empalme
- FDH
- Cable de distribución
- NAP (*Network Access Point*)

Luego de instalar correctamente la ODN se procederá a la caracterización de fibra desde la central de la OLT hasta el punto de conexión al ONT.

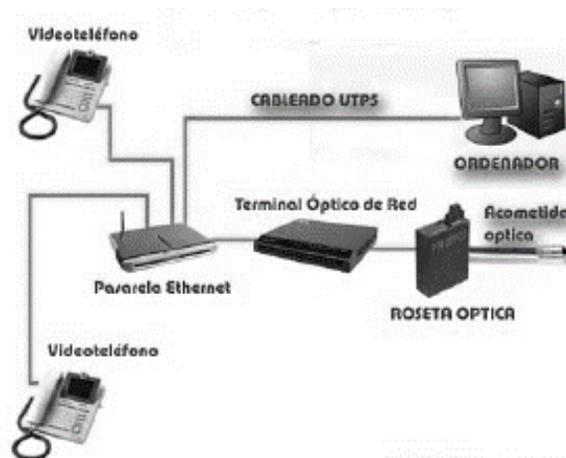
Esta actividad se hace para corroborar el correcto funcionamiento de la fibra óptica y el presupuesto óptico para entregar los servicios.

²⁴ FERNÁNDEZ, Miguel Angel. *Guía de Implementación de Redes PON*. p.98.

4.2.2. Instalación en hogar del cliente

Esta instalación es la que da de alta el servicio. Este se prueba desde el hogar del cliente. Es de suma importancia lograr el alta del cliente de la forma más sencilla, eficaz y con el mínimo de tiempo posible debido a que se requiere el alta de varios puntos distintos en la misma red y el mismo personal será el encargado de instalarlo. La conexión dentro del hogar del cliente debe ser simple y no requiere de mucho material (figura 43).

Figura 43. Instalación en el hogar



Fuente: MACEDA, Andoni Linge y CID VILLA, Mikel. *¿Qué es FTTH?* www.slideshare.net.

Consulta: abril de 2017.

Afuera del hogar del cliente final se debe de hacer el trabajo de conexión a la acometida. Este trabajo se puede dividir en tres partes:

- Conexión al NAP
- Instalación del cable DROP
- Conexión del ONT en el abonado

4.2.2.1. Conexión NAP

Depende del NAP que se haya realizado. Si tiene terminación en el panel de conexiones únicamente se realiza una conexión hacia el mismo. Si no posee conectores se debe realizar un empalme mecánico para unir las fibras ópticas de la red con el cable de DROP.

4.2.2.2. Instalación del cable de DROP

Este es el cable de fibra que recoge todo el tráfico que sale del hogar. En este caso se debe definir el lugar y la línea de la fibra para colocarla de mejor manera. Si es externa, se debe utilizar el tipo de fibra G 657, el cual es el estándar de la ITU-T de fibras ópticas para exteriores.

4.2.2.3. Conexión de ONT

Se puede colocar una caja de terminación o roseta de fibra óptica. En este punto terminará el cable de DROP y se colocará un cable de fibra óptica hacia el ONT. De este equipo se derivan las conexiones hacia el router que divide la señal en todas las demás conexiones de TV, teléfono e internet.

4.2.3. Pruebas de funcionamiento

“La activación del servicio debe de estar asociada a lo que se conoce como puesta en funcionamiento de servicios *“home-connect”*. Este proceso incluye la conexión entre el punto de caída de fibra (FDP) y el terminar de red óptica (ONT)

en las instalaciones del cliente.”²⁵ Para verificar el correcto funcionamiento de la red y que pueda soportar los servicios necesarios se hacen pruebas sobre la red de fibra óptica para aprobarla, y pruebas de los servicios desde el usuario final.

4.2.3.1. Pruebas de aceptación de red

Para entregar servicios se realizan pruebas sobre la red de fibra óptica y así poder dar una aceptación de la misma. Entre las pruebas y mediciones que se pueden hacer, están las siguientes:

- Caracterización de la red de fibra óptica.
- Cálculo y mediciones de pérdida óptica de los elementos de la red.
- Medición de la pérdida de retorno óptico (ORL).

4.2.3.1.1. Caracterización

Para revisar y verificar las fibras se caracterizan las mismas. Se utiliza un equipo de medición llamado OTDR (*Optical Time-Domain Reflectometer*), que puede graficar cada elemento o evento que se encuentra en la red.

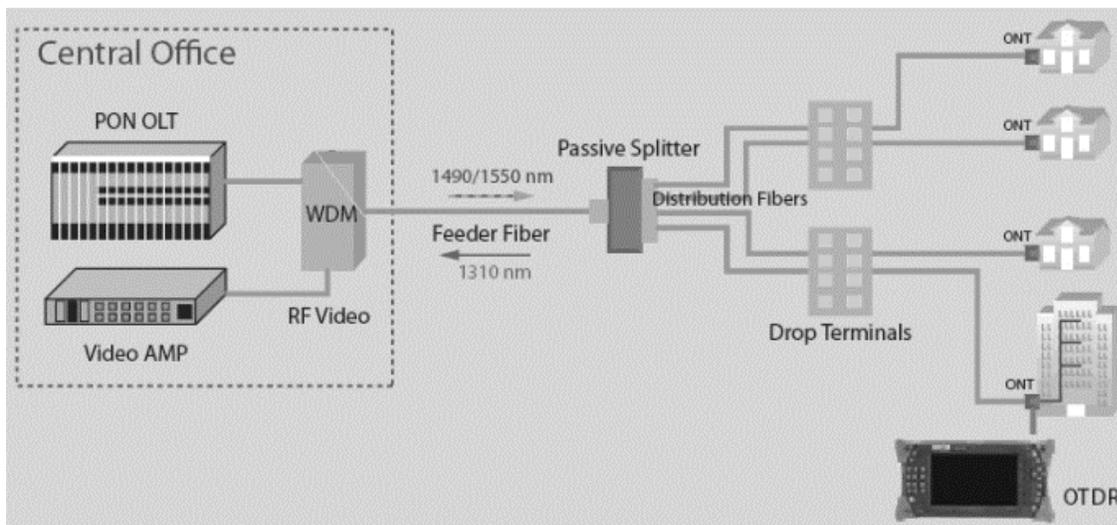
“La caracterización total del enlace es un paso importante que proporciona una muestra instantánea de todo el enlace, incluidos todos los puntos de interconexión, los empalmes de fusión y las secciones de la fibra”²⁶. La

²⁵ RODRIGUEZ, Asis. *Instaladores de Telecom Hoy*. p.21.

²⁶ EXFO. *Caracterización y solución de problemas de la fibra*. www.exfo.com. Consulta: abril de 2017.

caracterización de fibra es un proceso mediante el cual se identifican todas las características del enlace de fibra que se acaba de instalar (figura 44).

Figura 44. **Diagrama de caracterización de fibra**



Fuente: JDSU. Procedimiento de caracterización de fibra para GPON JDSU. p.7.

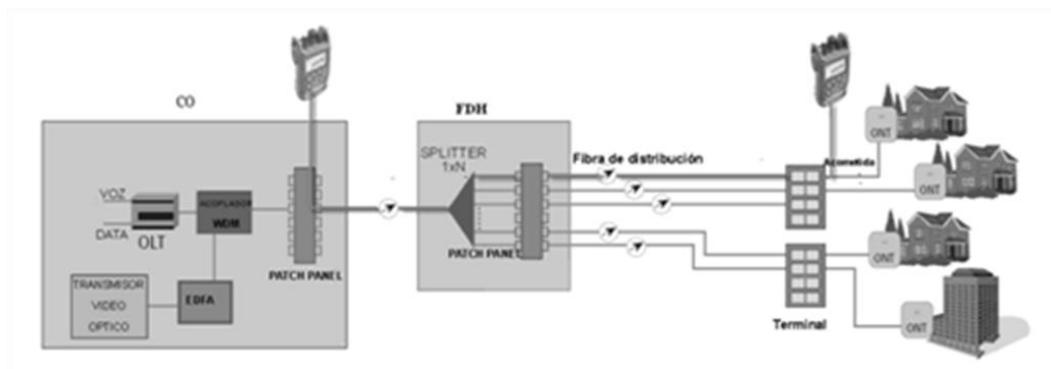
Con este procedimiento se puede verificar y encontrar lo siguiente:

- Atenuación total del enlace.
- Localización en distancia de empalmes, conectores y divisores ópticos.
- Pérdida de conectores, empalmes, divisores ópticos o alguna falla.
- Coeficiente de atenuación de la fibra en dB/Km.
- La reflectancia del enlace.
- La pérdida de retorno ORL de una parte del enlace total.
- Desalineamiento de la fibra.
- Fallas angulares.
- Suciedad en los conectores.

4.2.3.1.2. Medición de ORL

Debido a que la comunicación en estas fibras ópticas es bidireccional, la prueba de ORL debe realizarse en ambas direcciones. Para hacerlo se utiliza un medidor ORL o un equipo OLTS (*Optical Loss Test Sets*), que consiste en un conjunto de pruebas que pueden llegar a medir la pérdida de retorno y la del enlace. Se debe tomar en cuenta que las recomendaciones ITU-T G.983.1 y ITU-T G.984.2 solamente permiten un máximo valor de ORL DE 32 dB. En la figura 45 se puede observar un diagrama de una prueba bidireccional de ORL desde el OLT hasta la terminal de acometida.

Figura 45. **Prueba bidireccional del ORL desde OLT hasta acometida**



Fuente: *Mediciones de la fibra óptica; Mediciones en la instalación de las redes PON. Fibra Óptica, Ciencia & Tecnología.* www.lafibraoptica Peru.com. Consulta: mayo de 2017.

4.2.3.1.3. Medida de pérdida

“La pérdida óptica es la diferencia que existe entre el nivel de potencia entre la fuente de transmisión y la potencia medida por el medidor de potencia”²⁷. La pérdida óptica total del enlace es la suma de las pérdidas por inserción óptica de los siguientes elementos:

- Conector del equipo OLT.
- Acopladores WDM.
- Empalmes.
- Atenuación de fibras.
- Conectores del ONT.
- Conexiones a divisores ópticos.

Para el diseño de una red previamente se calcula el presupuesto de pérdida de fibra. Esto se debe hacer con mucho detalle para que el receptor reciba un nivel de potencia adecuado y tenga un nivel libre de errores en la transmisión. La pérdida de un enlace para redes FTTH está definida por la recomendación ITU-T G.983.

4.2.3.2. Pruebas de aceptación del cliente

Para validar la instalación del servicio y verificar que efectivamente todo se encuentra en buen estado y funcionamiento, se deben realizar pruebas de funcionamiento en los tres servicios que se van a entregar. Las pruebas son validadas con el cliente para que luego de realizarla apruebe la instalación y el

²⁷ *Mediciones de la fibra óptica; Mediciones en la instalación de las redes PON. Fibra Óptica, Ciencia & Tecnología.* www.lafibraoptica Peru.com. Consulta: mayo de 2017.

servicio. Las pruebas se hacen sobre los servicios de internet, de señal de televisión y de teléfono.

4.3. Fase final

La fase final de la implementación consiste en la aceptación por parte del cliente y en realizar los respectivos documentos de cierre como son los reportes de instalación y el reporte final de la actividad, a fin de tener documentación para actividades futuras.

4.3.1. Aceptación por parte del cliente

Luego de concluidas las pruebas solamente quedaría pendiente la aceptación de los trabajos por parte del cliente. Para esto se necesita de la firma del cliente en un documento para validar esta aceptación. Este documento debe de contar con lo siguiente:

- Equipo instalado en el hogar del cliente final, así como la descripción del mismo con su respectivo número de serie.
- Dirección del hogar del cliente final.
- Firma de aceptación por parte del cliente.
- Observaciones por parte del cliente.

4.3.2. Reportes

Los reportes son una parte importante de la implementación de cualquier proyecto. Estos documentos marcan un precedente para futuras instalaciones y pueden servir de base para nuevas implementaciones. Los reportes finales pueden variar dependiendo del ISP que realice la implementación.

4.3.2.1. Reporte de instalación

Consiste en un documento que elabora el personal que realiza toda la instalación, tanto en sitios del ISP como en el hogar del cliente. En este documento se detalla el estado final de la red y de las instalaciones físicas de los equipos, los cableados de fibra óptica si se realizó una instalación de este tipo.

En el reporte se documenta todo con fotografías de las instalaciones, así como diagramas y todo lo necesario que pueda apoyar de alguna u otra manera al personal que hará nuevas instalaciones y usará como base este reporte. El documento debe estar completo porque sirve de base para el reporte final de actividades y de la implementación de la red.

4.3.2.2. Reporte final

Consiste en un documento que prepara el personal que estuvo a cargo del proyecto. Se basa en el reporte de instalación, pero no solamente se centra en el equipo y material instalado, sino que describe la implementación que se llevó a cabo.

Este es un documento completo con toda la información y debe contar, como mínimo, con lo siguiente:

- Descripción de por qué se realizó la implementación.
- Resumen de la implementación.
- Descripción de las fases del proyecto.
- Recomendaciones y pendientes si los hubiera.
- Topología de la nueva red.
- Configuraciones que se hicieron en los ONT y en los OLT.
- Capacidades y distribución de las mismas.
- Si se realizó algún cambio en el transcurso del proyecto a como se encontraba inicialmente.
- Lista de material y equipo instalado con números de serie y descripciones.
- Resultados de las pruebas que se realizaron.
- Información detallada de cada uno de los sitios del ISP y del cliente en los que se instaló.
- Fotografías de los sitios.
- Lista de equipo restante si en dado caso hubiera.

CONCLUSIONES

1. Con el transcurso del tiempo han surgido diversas tecnologías que se han utilizado para brindar servicios de datos hacia los hogares, siempre para brindar un mejor servicio con una mayor velocidad de transmisión. La mayoría de estas tecnologías usa como medio físico de transmisión el cable de cobre.
2. La fibra óptica, gracias a sus características físicas, es el medio de transmisión en el futuro. Puede durar muchos años con poco mantenimiento. Gracias a que transmite haces de luz puede soportar grandes cantidades de ancho de banda.
3. La tecnología de fibra hasta el hogar, FTTH, es la recomendada para la transmisión de redes de nueva tecnología y servicios de *triple play*, por todas sus características.
4. Para implementar redes con tecnología FTTH se debe seguir diferentes pasos y procedimientos. Si se cumplen a la perfección y se utilizan los métodos, material y equipo recomendados se obtendrá una implementación de una red que no necesitará mantenimiento y puede llegar a utilizarse por muchos años.

RECOMENDACIONES

1. Al momento de instalar una nueva red FTTH tomar en cuenta el crecimiento futuro de la red para la implementación y para tener un crecimiento ordenado.
2. La fibra óptica es el material que mejor se acopla a las nuevas exigencias de la tecnología. Ofrece mejor ancho de banda con poca inversión, pero requiere un mayor cuidado al momento de instalarla. Se debe de trabajar con bastante limpieza, cuidando detalles de instalación para que no se generen rupturas o curvas muy pronunciadas.
3. Documentar toda actividad de implementación de una nueva tecnología y de una nueva red. Esto servirá para futuras implementaciones y para tener una documentación viable de las actividades que se realizaron.
4. Estudiar tanto de la cantidad de clientes que existe, como los futuros clientes.
5. Estudiar previamente los lugares donde se va a instalar. Hace que la inversión a largo plazo sea menor y las actividades se aprovechen de una mejor manera.

BIBLIOGRAFÍA

1. BARQUERO, Pedro. *Hacia las redes GPON en las operadoras*. [en línea] <www.conelectronica.com.> [consulta: 17 de abril de 2017.]
2. CANO PAYÁN, Manuel. *Proyecto de ejecución de una red FTTH*. España: 2015. 151 p.
3. CISCO. *Soluciones DSL*. [en línea] <www.cisco.com.> [consulta: 10 de enero de 2017.]
4. ESPAÑA BOQUERA, María Carmen. *Comunicaciones Ópticas-Conceptos Esenciales y Resolución de Ejercicios*. España: Ediciones Díaz de Santos, S.A. 2005. 62 p.
5. Estudiantes de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional Experimental del Táchira. [en línea] <www.telecomunicaciones.conocimientos.com.ve.> [consulta: 15 de junio de 2017.]
6. Exfiber Optical Technologies Co.,Ltd. *Fiber Optic Communication*. [en línea] <www.exfiber.com/old.> [consulta: 8 de marzo de 2017.]
7. EXFO. *Telecom Test And Service Assurance*. [en línea.] <www.exfo.com.> [consulta: 17 de abril de 2017.]

8. FERNÁNDEZ, Miguel Angel. *Guía de Implementación de Redes PON*. Argentina: 2013. 21 p.
9. GARCÍA, Jorge. *Planta Externa Telefonica Blogspot*. [en línea] <www.plantaexternatelefonica.blogspot.com.> [consulta: 15 de marzo de 2017.]
10. GELVEZ, Eduardo. *Redes. HFC ("Híbrido de Fibra y Coaxial")*. [en línea] <www.redeseduges.blogspot.com.> [consulta: 15 de mayo de 2017.]
11. GREENSTEIN, Shane. *Virulent Word of Mouse*. [en línea] <www.virulentwordofmouse.wordpress.com/2010/08/01/changes-in-the-price-of-broadband.> [consulta: 17 de abril de 2017.]
12. HENTEL YANEZ, Avalos. *Cobre y fibra óptica* [en línea] <www.hentel.com.ec.> [consulta: 15 de junio de 2017.]
13. International Telecommunication Union. *Optical, fibers, cables and systems*. ITU-2010. 324 p.
14. Iptel S.A. *¿Qué es FTTH o fibra hasta al hogar?* [en línea] <www.iptel.com.ar/que-es-ftth-o-fibra-al-hogar.> [consulta: 30 de enero de 2017.]
15. ITU Telecommunication Standardization Sector *Recomendación Q.118 (Libro Azul)*. ITU-T. Suiza: 1988. 100 p.

16. KeyFibre. *Soluciones FTTH, divisores ópticos*. [en línea] <www.keyfibre.com.soluciones-ftth/divisores-opticos> [consulta: 15 de marzo de 2017.]
17. KITZ. *Broadband Information Site*. [en línea] <www.kitz.co.uk> [consulta: 21 de febrero de 2017.]
18. LEE, Dr. Bernard. *Divisores ópticos, evaluación comparativa del rendimiento de las redes de acceso de nueva generación y alta velocidad*. Australia: 2015. 98 p.
19. LÓPEZ CATALÁ, Maytée Odette e Ing. ZUAZNABAR MAZORRA, Virgilio. *Evolución de la Fibra Óptica en el Futuro*. [en línea] <www.monografias.com> [consulta: 14 de febrero de 2017.]
20. LÓPEZ PASTOR, Eduardo Tommy. *Módulo 1: Red de Acceso*. España: 2015. 34 p.
21. LOVE, Jeff. *Computer training, education, & tutorial resources in information technology*. [en línea] < www.intelligentedu.com> [consulta: 20 de marzo de 2017.]
22. MARCHUKOV, Yaroslav. *Desarrollo de una aplicación gráfica para el diseño de infraestructuras FTTH*. Gandia: 2011. 102 p.
23. Elegant Themes. *Mediciones de la fibra optica; Mediciones En la instalación de las redes PON*. [en línea] <www.lafibraopticaperu.com> [consulta: 29 de mayo de 2017.]

24. Wordpress. *Mi Fibra óptica. Conceptos, diseños y otras cosas Sobre Fibra Óptica.* [en línea] <www.mifibraoptica.wordpress.com.> [consulta: 5 de febrero de 2017.]
25. Optronics. *Configuración y diseño de jumpers especiales.* <www.optronics.com.mx.>[en línea] [Consulta: 18 de marzo de 2017.]
26. OTAÑEZ VARGAS, Alberto. *Partes de la Reflexión.* [en línea] <www.leyesdelarefleccion.blogspot.com.> [consulta: 10 de julio de 2017.]
27. PARIONA, David. *Cronograma de actividades.* [en línea] <www.es.slideshare.net/vichodmx/cronograma-de-actividades-2555329.> [consulta: 15 de ulio de 2017.]
28. PAYÁN, Manuel. *Proyecto de ejecución de una red FTTH.* España: 2015. 90 p.
29. PORTO PÉREZ, Julián y MERINO, María. [en línea] <www.definicion.de/familia.> [consulta: 15 de enero de 2017.]
30. PRIETA, Jaime Zapardiel. *Diseño de una red de acceso mediante fibra Óptica.* España: 2014. 83 p.
31. ROBERTEXTO. *Fibra óptica.* [en línea] <www.robertexto.com/archivo7/fibraopt.htm.> [consulta: 20 de marzo de 2017.]

32. RODRIGUEZ, Asis. *Tipos de pulidos en los conectores de fibra optica*. [en línea] <www.fibraoptica hoy.com> [consulta: 20 de enero de 2017.]
33. RODRIGUEZ, Gregorio. *Fibra óptica*. [en línea] <www.monografias.com> [consulta: 20 de marzo de 2017.]
34. RODRIGUEZ, Yurisay. *Fibra óptica* [en línea] <www.monografias.com> [consulta: 20 de marzo de 2017.]
35. Silex Fiber. *FTTH. Soluciones y despliegues FTTH/FTTH – ICT2* [en línea] <www.silexfiber.com> [consulta: 25 de mayo de 2017.]
36. Textos Científicos. *El efecto fotoeléctrico*. [en línea] <www.textoscientificos.com> [consulta: 27 de enero de 2017.]
37. TINOCO ALVEAR, Juan Diego. *Estudio y diseño de una red de fibra óptica FTTH para brindar servicio de voz, vide y datos para la urbanización Los Olivos ubicada el sector Toctesol en la parroquia Borrero de la Ciudad de Azogues*. España: 2001. 107 p.
38. Venn Global, S.A. de C.V. *¿Qué es dial-up?* [en línea] <www.tudecide.com/informacion/que-es-dial-up> [consulta: 20 de enero de 2017.]
39. Wikitel. *Redes PON*. [en línea] <www.wikitel.info/wiki/pon> [consulta: 15 de febrero de 2017.]

