



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DISEÑO DE UNA RED FTTH CON TECNOLOGÍA GPON PARA LA  
MIGRACIÓN DE UNA RED ADSL PARA 500 USUARIOS

Autor

Erick Alexander Chauca Lasso

Año

2020



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DISEÑO DE UNA RED FTTH CON TECNOLOGÍA GPON PARA LA MIGRACIÓN  
DE UNA RED ADSL PARA 500 USUARIOS

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos establecidos  
para optar por el título de Ingeniero en Redes y Telecomunicaciones.

Profesor Guía

PhD. Nathaly Verónica Orozco Garzón

Autor

Erick Alexander Chauca Lasso

Año

2020

## DECLARACIÓN PROFESOR GUÍA

"Declaro haber dirigido el trabajo, diseño de una red FTTH con tecnología GPON para la migración de una tecnología ADSL para 500 usuarios, a través de reuniones periódicas con el estudiante Erick Alexander Chauca Lasso, en el semestre 202010, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".



---

Nathaly Verónica Orozco Garzón

Doctora en Ingeniería Eléctrica en el Área de Telecomunicaciones y Telemática

CI. 1720938586

## DECLARACIÓN PROFESOR CORRECTOR

"Declaro haber revisado este trabajo, diseño de una red FTTH con tecnología GPON para la migración de una tecnología ADSL para 500 usuarios, de Erick Alexander Chauca Lasso, en el semestre 202010, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los trabajos de Titulación".

A handwritten signature in blue ink, reading "Carlos Enrique Carrión Betancourt", is written over a horizontal line. Below this line is another horizontal line, creating a signature box.

Carlos Enrique Carrión Betancourt  
Máster en Telecomunicaciones y Telemática

CI. 1103738074

## DECLARACIÓN DE AUDITORÍA DEL ESTUDIANTE

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

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Erick Alexander Chauca Lasso', positioned above a horizontal line.

Erick Alexander Chauca Lasso

CI: 1714631452

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a mis padres por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera y terminarla de manera exitosa.

## DEDICATORIA

El presente trabajo quiero dedicarlo a mi hijo Camilo, quien día a día se convierte en un pilar fundamental para cumplir mis objetivos y metas, ayudándome a ser cada día una mejor persona y excelente profesional.

## RESUMEN

En la actualidad, el crecimiento del uso de Internet de banda ancha ha aumentado constantemente. Los proveedores de servicios de Internet están migrando tecnologías para la red de acceso, de una red basada en cobre a una red basada en fibra óptica logrando así mejorar el servicio y satisfacer las necesidades del usuario.

El presente trabajo de fin de carrera tiene como objetivo diseñar una red FTTH con tecnología GPON para la migración de una red ADSL para dar cobertura a 500 usuarios de un Condominio.

Para lo cual, en primer lugar, se indica los conceptos y principios básicos de la fibra óptica y la tecnología FTTH-GPON, así como características, tipos de redes ópticas, ventajas, desventajas, funcionamiento y sus aplicaciones.

Luego se describe el estado de la red actual del Condominio, se hace un estudio de la infraestructura del Condominio, el estado de la red ADSL (del inglés, *Asymmetric Digital Subscriber Line*), se verifica número de usuarios y problemas que presenta la tecnología ADSL del Condominio, sabiendo las necesidades de los usuarios se procede al diseño de la red FTTH (del inglés, *Fiber To The Home*) con tecnología GPON (del inglés, *Gigabit Passive Optical Network*), se definirá los criterios del diseño de la red de acceso GPON, adicional a esto se expondrá el esquema y despliegue de la red así como el ancho de banda necesario para los usuarios con el fin de mejorar el servicio de acceso a internet en cuanto al ancho de banda y velocidad.

En base al diseño propuesto se hace un análisis técnico mostrando los resultados de pruebas del enlace propuesto, además se hace un análisis económico de los costos de equipos y materiales mostrando el monto total de la inversión para el despliegue de la red FTTH-GPON.

Finalmente se indican las conclusiones y recomendaciones del diseño propuesto en el presente trabajo de titulación.

## **ABSTRACT**

At present, the growth of broadband Internet use has steadily increased. Internet service providers are migrating technologies for the access network, from a copper-based network to a fiber optic-based network, thus improving service and meeting user needs

The purpose of this final degree project is to design an FTTH network with GPON technology for the migration of an ADSL network to cover 500 users of a Condominium.

For which, first, the basic concepts and principles of fiber optic and FTTH-GPON technology are indicated, as well as characteristics, types of optical networks, advantages, disadvantages, operation and their applications.

Then the state of the current network of the Condominium is described, a study of the infrastructure of the Condominium is made, the state of the ADSL network (in English, Asymmetric Digital Subscriber Line), the number of users and problems presented by ADSL technology are verified of the Condominium, knowing the needs of the users, we proceed to the design of the FTTH network (in English, Fiber To The Home) with GPON technology (in English, Gigabit Passive Optical Network), the design criteria of the access network will be defined GPON, in addition to this, the network scheme and deployment as well as the necessary bandwidth for users will be exposed in order to improve the internet access service in terms of bandwidth and speed.

Based on the proposed design, a technical analysis is carried out showing the test results of the proposed link, in addition an economic analysis is made of the costs of equipment and materials showing the total amount of investment for the deployment of the FTTH-GPON network.

Finally, the conclusions and recommendations of the design proposed in this degree work are indicated.

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
Antecedentes.....	1
Alcance .....	2
Justificación .....	3
Objetivos.....	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos .....	4
1.    CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1    Tecnología xDSL (x Digital Subscriber Line) .....	5
1.1.1    ¿Qué es xDSL? .....	5
1.1.2    Familia de tecnologías xDSL .....	6
1.1.2.1    ADSL ( <i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i> ).....	6
1.1.2.2    SDSL ( <i>Symmetric Digital Subscriber Line</i> ).....	6
1.1.2.3    HDSL ( <i>High bit-rate DSL</i> ).....	7
1.1.2.4    SHDSL ( <i>Single-pair High-speed Digital Subscriber Line</i> ) .....	7
1.1.2.5    CDSL ( <i>Consumer DSL</i> ).....	8
1.1.3    Características del ADLS .....	9
1.1.4    Funcionamiento ADSL .....	10
1.2    Introducción a las redes ópticas.....	11
1.2.1    Fibra óptica. ....	13
1.2.2    Ventajas y desventajas de la fibra óptica.....	14

1.2.2.1	Ventajas. ....	14
1.2.2.2	Desventajas. ....	14
1.2.3	Conceptos Fundamentales. ....	15
1.2.3.1	Índice de refracción. ....	15
1.2.3.2	Refracción. ....	15
1.2.3.3	Reflexión. ....	16
1.2.3.4	Angulo crítico. ....	17
1.2.3.5	Ley de Snell. ....	17
1.2.3.6	Ancho de banda. ....	18
1.2.3.7	Velocidad de transmisión. ....	18
1.2.3.8	Distorsión. ....	18
1.2.4	Composición de la fibra óptica. ....	18
1.2.4.1	Núcleo óptico. ....	19
1.2.4.2	Revestimiento de la fibra ( <i>Cladding</i> ). ....	19
1.2.4.3	Revestimiento de protección ( <i>Buffer</i> ). ....	20
1.2.4.4	Chaqueta exterior. ....	20
1.2.5	Tipos de fibra óptica. ....	20
1.2.5.1	Fibra óptica monomodo. ....	20
1.2.5.2	Fibra óptica multimodo. ....	21
1.2.5.3	Fibra óptica multimodo de índice gradual. ....	22
1.2.5.4	Fibra óptica multimodo de índice escalonado. ....	23
1.3	Arquitectura de una red FTTx ( <i>Fiber to the x</i> ). ....	24
1.3.1	FTTB (Fibra hacia el edificio) ....	26
1.3.2	FTTH (Fibra hacia el hogar) ....	26
1.3.3	FTTC (Fibra óptica hasta la acera) ....	28

1.3.4 FTTN (Fibra óptica hasta el nodo) .....	28
1.4 GPON (Red óptica pasiva con capacidad Gigabit) .....	29
1.4.1 Arquitectura de una red GPON. ....	32
1.4.1.1 OLT ( <i>Optical Line Termination</i> ) .....	34
1.4.1.2 ONT ( <i>Optical Network Terminal</i> ).....	34
1.4.2 Tecnología de una red GPON. ....	37
1.4.2.1 <i>Downstream</i> TDM.....	37
1.4.2.2 <i>Upstream</i> TDMA .....	37
1.4.3 Esquema de una red GPON .....	38
1.4.4 ODN (Red de distribución óptica) .....	38
1.4.5 Red <i>Feeder</i> (Troncal).....	39
1.4.6 Red de distribución. ....	40
1.4.7 Red de dispersión.....	41
1.4.8 Splitter (Distribuidor óptico).....	41
1.4.9 Despliegue de una red GPON en el mundo.....	43
<b>2. CAPÍTULO II. ESTUDIO DE LA RED ACTUAL.....</b>	<b>44</b>
2.1 Situación actual Geográfica .....	44
2.2 Infraestructura del Condominio. ....	45
2.3 Estado actual de la red del Condominio .....	46
2.4 Infraestructura de la red .....	46
2.4.1 Red Primaria del Condominio. ....	47
2.4.2 Red secundaria del Condominio. ....	49

2.4.3 Red de dispersión del Condominio. ....	50
2.4.4 Enlace ADSL del condominio.....	51
2.4.5 Tecnología y velocidades que usan en el Condómino.....	51
<b>3. CAPÍTULO III. DISEÑO DE LA RED GPON. ....</b>	<b>53</b>
3.1 Esquema de la red GPON.....	53
3.2 Arquitectura de la red GPON. ....	56
3.2.1 Red feeder .....	56
3.2.1.1 Fibra óptica para la red <i>feeder</i> .....	58
3.2.1.2 Área de distribución. ....	59
3.2.2 Diseño de la ODN .....	60
3.2.3 Red de distribución (ODN) .....	60
3.2.3.1 Plano del diseño y distribución de la red FTTH con tecnología GPON	61
3.2.3.2 Cable de fibra óptica en la ODN. ....	62
3.2.3.3 Elementos de la red de distribución.....	64
3.2.3.4 Distribución de las NAPs en los bloques y departamentos.....	66
3.2.3.5 Identificación de la fibra óptica .....	68
3.2.4 Red de dispersión. ....	69
3.2.5 ONT .....	70
3.2.6 Conectores.....	71
<b>4. CAPÍTULO IV. ANÁLISIS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS</b>	

4.1	Capacidad total de la red óptica propuesta. ....	73
4.2	Pruebas de capa física en la ODN. ....	74
4.2.1	Cálculo del presupuesto óptico del enlace. ....	74
4.2.2	Cálculo de potencia del enlace. ....	77
4.2.3	Ventajas y desventajas de la migración de la red ADSL a red GPON. ....	80
4.3	Análisis económico del proyecto. ....	81
4.3.1	Costo de implementación del proyecto. ....	82
5.	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. ....</b>	<b>86</b>
5.1	Conclusiones. ....	86
5.2	Recomendaciones. ....	88
6.	<b>REFERENCIAS. ....</b>	<b>90</b>

## Índice de Tablas

Tabla 1. Velocidades máximas y distancias SDSL.....	7
Tabla 2. Comparación de las tecnologías xDSL.....	8
Tabla 3. Velocidades máximas y distancias ADSL.....	9
Tabla 4. Tipos de fibra y sus valores de atenuación respecto a su longitud de onda .....	24
Tabla 5. Comparativa de las tecnologías PON.....	31
Tabla 6. Número de clientes del Condominio.....	46
Tabla 7. Zonas y número de usuarios del Condominio. ....	56
Tabla 8. Atributos de la fibra UIT- G652.D .....	59
Tabla 9. Capacidad de los cables de fibra óptica. ....	62
Tabla 10. Número de hilos en cada zona del Condominio. ....	63
Tabla 11. Distribución de los elementos de la ODN .....	66
Tabla 12. Distribución e identificación de las cajas NAPs .....	67
Tabla 13. Selección de la fibra óptica para el diseño de red GPON.....	72
Tabla 14. Cálculo de presupuesto óptico <i>upstream</i> . ....	76
Tabla 15. Cálculo de presupuesto óptico <i>downstream</i> . ....	77
Tabla 16. Norma ITU-T G.984.2.....	78
Tabla 17. Comparativa entre tecnología ADLS vs GPON .....	81

Tabla 18. Costos de materiales de la red feeder.....	82
Tabla 19. Costo de materiales de la red de distribución.....	83
Tabla 20. Costo de la red de dispersión.....	84
Tabla 21. Costo de la mano de obra.....	84
Tabla 22. Costo total del proyecto.....	85

## Índice de Figuras

Figura 1. Conexión ADSL.....	10
Figura 2. Esquema del servicio ADSL.....	11
Figura 3. Espectro de la fibra óptica.....	12
Figura 4. Fibra óptica.....	13
Figura 5. Índice de refracción.....	16
Figura 6. Ley de reflexión.....	16
Figura 7. Representación de los ángulos críticos y la reflexión interna total.....	17
Figura 8 . Estructura de la fibra óptica.....	19
Figura 9. Fibra óptica monomodo.....	21
Figura 10. Fibra óptica multimodo.....	22
Figura 11. Esquema de una fibra de índice gradual.....	23
Figura 12. Esquema de una fibra de índice escalonado.....	23
Figura 13. Redes FTTx.....	25
Figura 14. Arquitectura FTTB.....	26
Figura 15. Arquitectura FTTH.....	27

Figura 16. Arquitectura FTTC.....	28
Figura 17. Arquitectura FTTN.....	29
Figura 18. Arquitectura GPON .....	33
Figura 19. Conexión de una Arquitectura GPON .....	36
Figura 20. Tecnología Downstream TDM.....	37
Figura 21. Tecnología Upstream.....	38
Figura 22. ODN (Red de Distribución Óptica) .....	39
Figura 23. Red de distribución.....	40
Figura 24. Esquema de una red GPON.....	41
Figura 25. Topologías de distribuidores ópticos .....	42
Figura 26. Despliegue de la red GPON en el mundo. ....	43
Figura 27. Ubicación Geográfica del Condominio. ....	44
Figura 28. Fachada del Condominio. ....	45
Figura 29. Red de acceso en cobre .....	47
Figura 30. Red subterránea.....	48
Figura 31. Armario metálico del Condominio.....	49

Figura 32. Caja de dispersión Condominio.....	50
Figura 33. Red de dispersión .....	50
Figura 34. Velocidad en función de la distancia ADSL. ....	52
Figura 35. Vista superior del esquema del Condominio. ....	54
Figura 36. División de Zonas del Condominio. ....	55
Figura 37. Recorrido de la fibra óptica desde la OLT hacia la ONT. ....	57
Figura 38. Plano de distribución de fibra óptica en el Condominio.....	61
Figura 39. Código e colores de la fibra óptica .....	63
Figura 40. Splitter 1: Asignación de nomenclatura y colores del splitter. ....	64
Figura 41. Distribución del primer nivel de splitting hasta el segundo nivel de splitting. .....	65
Figura 42. Identificador de un cable de fibra óptica en la red de distribución .....	68
Figura 43. Identificador de un cable de fibra óptica en la red Feeder.....	68
Figura 44. Ejemplo de la identificación de los elementos de la ODN. ....	69
Figura 45. Distribución de la fibra en el bloque del Condominio.....	71
Figura 46. Conector APC .....	72

Figura 47. Pulido APC..... 72

Figura 48. Fusiones y conectores del enlace óptico..... 75

# Introducción

## Antecedentes

A mediados de los años 90, un grupo de proveedores internacionales de servicios de red se reúnen para crear normas que acabarían definiendo la nueva red pasiva de fibra óptica hacia el hogar (Cromycz, 2002).

La Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit (del inglés, *Gigabit-capable Passive Optical Network*, GPON), definido en el estándar G.894 de la ITU-T, es una mejora de la Red Óptica Pasiva de Banda Ancha (del inglés, Broadband PON), en la capacidad de los canales downstream y upstream. La red GPON puede transmitir y recibir varios servicios por el mismo hilo de fibra óptica, mediante la multiplexación por división de longitud de onda (del inglés, Wavelength Division Multiplexing, WDM), la cual evita que choquen los paquetes en una comunicación full dúplex. El alcance máximo entre los equipos del nodo y los equipos terminales es de 20 km, esto gracias a que las pérdidas en el medio de transmisión de fibra óptica son bien bajas. (Keiser, 2006)

Actualmente, estamos viviendo en la era tecnológica de las telecomunicaciones, y gracias a esto ha crecido la demanda de los usuarios para el uso de aplicaciones y envío de datos a velocidades mayores.

Cada día va evolucionando el Internet con nuevas tecnologías de comunicación para poder solventar la demanda del mismo, una de ellas es la implementación de enlaces de fibra óptica nacionales y locales en base a establecer procedimientos adecuados para implementar la desagregación del bucle (banda ancha), logrando así un mayor ancho de banda disponible hacia los usuarios. (Francisco Córdova, 2010)

Es por ello que se da la problemática, ya que todo el conjunto habitacional donde se va a dar la migración de tecnología tiene una red de cobre, la misma que está

obsoleta y limitada hacia los usuarios debido a que tiene un ancho de banda muy bajo por lo cual no cubre con las necesidades que los usuarios requieren.

Se ha visto la necesidad de mejorar la conectividad y el acceso a la red del Internet, por lo que se ha propuesto el diseño de la migración de la tecnología actual ADSL a una red de fibra óptica FTTH con tecnología GPON para 500 usuarios lo que permitirá aumentar la capacidad y velocidad mejorando la calidad de servicio.

## **Alcance**

El alcance del presente proyecto se basa principalmente en el diseño de una red de fibra óptica con tecnología GPON, para cubrir las necesidades de alrededor de 500 usuarios dentro de un conjunto habitacional ubicado en el norte de la ciudad de Quito. El diseño se lo realiza como parte de una migración de servicios de una red de cobre ADSL a una red de fibra óptica, con el fin de mejorar la calidad y velocidad de los servicios ofertados.

Se diseñará una topología FTTH, incluyendo entre los principales elementos de la red: fibra canalizada, fibra ADSS o aérea, mangas de distribución, mangas GPON o NAPs, *splitters* para fusión y *splitters* conectorizados y ONT para los usuarios.

Parte del proyecto será enfocado en evidenciar las deficiencias, carencias y limitaciones de la red actual de cobre, logrando exponer los beneficios tanto económicos como tecnológicos, ventajas y desventajas que se puede dar en la migración de la red de cobre hacia la utilización de la red óptica con tecnología GPON.

El diseño de la red GPON se lo va a realizar por medio del programa AutoCAD, el cual cumple con las herramientas necesarias y permite realizar modificaciones con mayor facilidad.

## **Justificación**

La implementación de fibra óptica se ha convertido en un medio universal de transmisión en los últimos años, debido a la necesidad mantener conectados los servicios con los usuarios finales y mantener accesibilidad, conectividad, calidad y control sobre los medios tecnológicos que nos rodean, beneficiando directamente al usuario.

La red GPON es una tecnología moderna con los estándares más altos de transmisión frente a tecnologías de acceso anteriores como son la ADSL. Entre las principales ventajas de una red GPON están: el cable utilizado para esta red no presenta atenuación frente al ruido o interferencia electromagnética, compatible con la tecnología digital, peso del cable utilizado en esta red es mucho menor que el cobre, soporta los servicios Triple Play entre otras.

Por este motivo se propone el diseño de la migración de tecnología con el que se pretende mejorar a los usuarios Condominio, el desempeño de la red de fibra óptica logrando así ampliar su cobertura actual y mejorar el acceso hacia las aplicaciones y servicios ofertados a grandes velocidades con la confiabilidad que así lo caracteriza a esta tecnología de red de datos.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Diseñar una red de fibra óptica para la migración de una red cobre con tecnología ADSL a una red de acceso FTTH mediante tecnología GPON para proveer de internet a 500 usuarios en la ciudad de Quito.

## Objetivos específicos

- Definir conceptos básicos utilizados en el diseño de la red de fibra óptica y describir parámetros importantes considerados en la migración de la red.
- Analizar las tecnologías existentes que se ajustan a la problemática especificadas en el diseño de la red.
- Determinar los factores relevantes y problemas de la red actual para analizar su migración.
- Diseñar la red de fibra óptica considerando una migración de una red de cobre con tecnología ADSL a una red de acceso FTTH mediante tecnología GPON.
- Analizar los resultados del diseño de la red de fibra óptica.

# 1. Capítulo I. Marco teórico

## 1.1 Tecnología xDSL (x Digital Subscriber Line)

### 1.1.1 ¿Qué es xDSL?

xDSL es un conjunto de tecnologías “x” donde la letra x sustituye a la letra que identifica las distintas variantes de esta tecnología, las cuales pueden ser simétricas o asimétricas. Denominadas Línea de Abonado Digital (del inglés, *Digital Subscriber Line, DSL*) que se implementa en la última milla para proveer la conectividad de datos al usuario utilizando como medio de comunicación el par trenzado de hilos de cobre, a esta red se le denomina Red Conmutada Pública de Teléfonos (del inglés, *Public Switched Telephone Network, PSTN*). A continuación, se detallan las características de una tecnología xDSL.

- Esta tecnología permite el uso de la línea del teléfono (línea de cobre)
- La tasa de transferencia va desde 1.5 Mbps de descarga hasta 512 Kbps de subida estos valores dependen de algunos factores como son: la tecnología utilizada, la distancia del cliente final (bucle de abonado) y del estado de la red de acceso.
- La distancia máxima que garantiza conectividad de datos con esta tecnología llega máximo hasta 5Km teóricos, 3Km en la práctica para ADSL y 0.5Km para VDSL.
- La tecnología xDSL utiliza el esquema del servicio tradicional de telefonía y la red de acceso de cobre que ya está desplegado por parte de los operadores de telecomunicaciones hacia los usuarios (Tenecora Mejía, 2015).

## **1.1.2 Familia de tecnologías xDSL**

### **1.1.2.1 ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*)**

La tecnología ADSL es la más conocida nivel mundial de las tecnologías de acceso por cobre no es más que una tecnología de modulación. La letra A de asimétrica significa que esta tecnología permite darle un mayor ancho de banda al canal de downstream (de Internet hacia el usuario) que al canal upstream (del usuario a Internet), y a su vez permite utilizar la línea telefónica normalmente, es decir permite transmisión de voz analógica y datos al mismo tiempo, la tecnología ADSL se basa en la modulación que es convertir las señales digitales de datos que salen del ordenador en señales analógicas que transmite por la línea telefónica, y la demodulación de manera viceversa (Hanze Sanchez, Carlos Eduardo; Pasmay Bohorquez, 2012).

En la sesión 1.1.3 se va a explicar con más detalle las diferentes características de la tecnología ADSL.

### **1.1.2.2 SDSL (*Symmetric Digital Subscriber Line*)**

La tecnología SDSL se trata de una línea simétrica permanente esto quiere decir que tanto el canal downstream (de Internet hacia el usuario) como el canal upstream (del usuario a Internet) tendrán el mismo ancho de banda. El sistema de modulación que utiliza SDSL es 2B1Q (*2 Bit, 1 Quaternary*) es un tipo de codificación lineal donde 2 bits son codificados de 1 a 4 niveles para la transmisión, los mismos que puede asumir 4 valores discretos desde -3v hasta 3v. Esta tecnología maneja distancias desde los 3 Km con velocidades de 2,32 Mbps hasta 6 Km con velocidades de 416 kbps. En la Tabla 1 se puede observar las distancias y velocidades para la tecnología SDSL.

Tabla 1.

*Velocidades máximas y distancias SDSL.*

<b>Distancia desde la central hacia el usuario</b>	<b>Velocidad máxima</b>
3 km	2,32 Mbps
4 km	1,1 Mbps
5 km	784 kbps
6 km	416 kbps

Tomado de (Hanze Sanchez, Carlos Eduardo; Pasmay Bohorquez, 2012).

#### **1.1.2.3 HDSL (*High bit-rate DSL*)**

Es una línea de abonado digital de altas tasas de transición de datos binarios, esta tecnología tiene un ancho de banda simétrico y bidireccional es por eso que la velocidad desde la central al usuario y desde el usuario a la central va a ser la misma, maneja velocidades de hasta 2,3 Mbps y con una distancia máxima desde la central hacia el usuario de 6 Km. Trabaja con líneas privadas y la forma de su transmisión es por full duplex. De la familia xDSL esta tecnología es la más avanzada ya que está enfocada en el uso corporativo de empresas grandes donde necesitan mayor uso de datos mientras que los usuarios *home* utilizan las tecnologías ADSL y SDSL.

#### **1.1.2.4 SHDSL (*Single-pair High-speed Digital Subscriber Line*)**

También se la conoce como G. SHDSL o G991.2 representa el estándar internacional para DSL simétrico desarrollado por la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (del inglés, *International Telecommunication Union*, ITU). Se trata de una evolución de la tecnología ya que G. HSDLS fue desarrollada para incorporar las características de ADSL Y SDSLS. Este sistema puede trabajar a

velocidades desde 192 Kbps a 2,3 Mbps, permitiendo adaptar la velocidad a las limitaciones de red del usuario. Además, tiene la particularidad de que puede utilizarse sobre un par de hilos o sobre dos pares de hilos, el beneficio que tiene esta tecnología es la posibilidad de obtener el doble de velocidad sobre cuatro hilos en lugar de dos. En este último el bucle de abonado puede extenderse hasta los 7 Km.

#### 1.1.2.5 CDSL (*Consumer DSL*)

Llamado DSL de Cliente, es una tecnología DSL desarrollada y registrada por la empresa *Rockwell*. La particularidad de esta tecnología es que no requiere instalar un filtro en las dependencias del cliente ya que en los módems CDSL para iniciar las aplicaciones de red se pueden enchufar directamente al teléfono. No obstante, tiene la limitación de la velocidad. La velocidad máxima es de 1 Mbps de bajada y de subida 128 Kbps con una distancia máxima de 6 Km (R. J. Millán Tejedor, 2000).

En la Tabla 2 se puede observar la comparación de las diferentes tecnologías xDSL con sus respectivas velocidad y distancia máxima.

Tabla 2.

*Comparación de las tecnologías Xdsl.*

Tipo	Asimétrico	Simétrico	Comparte uso con teléfono	Splitter	Velocidad máxima	Distancia máxima central
ADSL	Sí	No	Sí	Sí	8M/ 640 kbps	6 km
SDSL	No	Sí	No	No	2,32 Mbps	6 km
HDSL	No	Sí	No	No	2,32 Mbps	6 km
SHDSL	No	Sí	No	No	2,32 Mbps	7 km
CDSL	Sí	No	Sí	No	1M/ 128 kbps	6 km

Tomado de (Hanze Sanchez, Carlos Eduardo; Pasmay Bohorquez, 2012).

### 1.1.3 Características del ADSL

La tecnología ADSL permite alcanzar velocidades de hasta 8 Mbps en la dirección de bajada y 1 Mbps en la de subida. En la Tabla 3 se puede observar las diferentes distancias y velocidades que se usan para la tecnología ADSL teniendo en cuenta que la distancia máxima que maneja esta tecnología es de 5 km en la Tabla 3 se va a especificar las diferentes distancias desde la central hacia el usuario y las velocidades máximas que pueden alcanzar.

Tabla 3.

*Velocidades máximas y distancias ADSL.*

<b>Distancia desde la central hacia el usuario</b>	<b>Velocidad máxima</b>
3 km	8 Mbps
3.5 Km	5 Mbps
4 km	3 Mbps
6 km	2 Mbps

Adaptado de (Hanze Sanchez, Carlos Eduardo; Pasmay Bohorquez, 2012).

La velocidad real de la tecnología ADSL depende, de la calidad de la línea de cobre. Las distancias alcanzadas resultan adecuadas para cubrir el 95 % de los abonados. En la Figura 1 se puede observar cómo se compone una conexión ADSL que empieza en la central telefónica y viaja por el medio de transmisión que es la línea de cobre llegando al splitter que se encarga de separar la señal telefónica convencional y va hacia el teléfono y la otra ruta que toma es hacia el módem ADSL que se conecte para que llegue los datos de internet al computador. (R. J. Millán Tejedor, 2000).

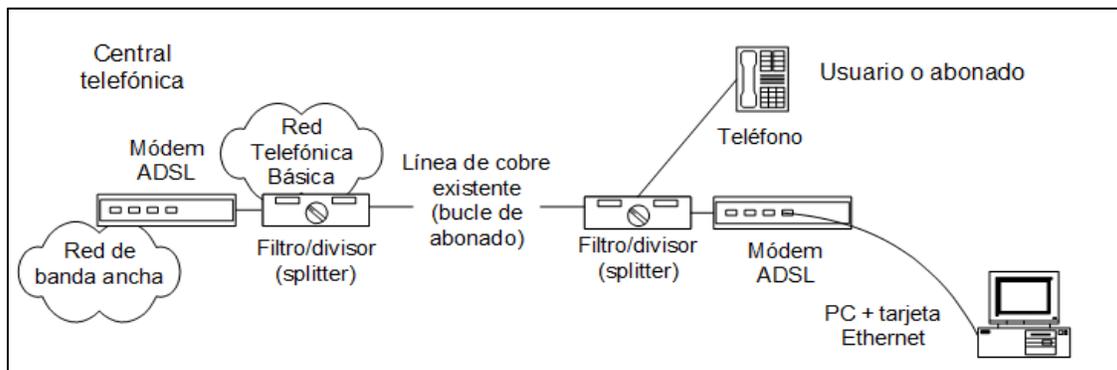


Figura 1. Conexión ADSL.

Tomado de (R. J. Millán Tejedor, 2000).

### 1.1.4 Funcionamiento ADSL

La palabra asimétrica significa que el esquema ADSL transmite datos a dos velocidades diferentes, el funcionamiento del sistema de acceso ADSL está compuesto de dos modems en cada extremo de la línea telefónica. La información downstream que fluye desde la oficina central hasta el cliente se envía a una velocidad mayor que el tráfico upstream enviado desde el cliente a la red. La razón de esta asimetría es que, por lo general, los clientes usan el enlace upstream principalmente para enviar solicitudes de información o mensajes relativamente cortos. En la otra dirección, el tráfico que fluye hacia el cliente puede consistir en elementos que requieren un ancho de banda mucho mayor como archivos de datos grandes, videoclips o información de alta resolución de internet (Keiser, 2006).

Como la comunicación es asimétrica, el proceso de modulación y demodulación se realiza en el lado del usuario y en el lado de la central, lo que quiere decir que un modem transmite los datos a 512 Kbps y recibe a 128 Kbps, mientras que el otro transmite a 128 Kbps y recibe a 512 Kbps. Al módem ubicado en el lado del usuario se le denomina Unidad Remota de Transceptor Asíncrona (del inglés, *Asynchronous Transceiver Unit-Remote, ATU-R*), mientras que al de la central se le denomina Unidad del Terminal Central Asíncrona (del inglés, *Asynchronous*

*Transceiver Unit-Central, ATU-C*). Además la velocidad de conexión del cliente disminuye a medida que aumenta la distancia desde la central hacia el abonado (Hanze Sanchez, Carlos Eduardo; Pasmay Bohorquez, 2012).

En la Figura 2 se puede observar que para la tecnología ADSL se utiliza la comunicación Multiplexor de acceso a línea de abonado digital (del inglés, *Digital Subscriber Line Access Multiplexer, DSLAM*) se realiza por medio de dos interfaces que es la ATU-R está en el lado del cliente y la ATU-C del lado del proveedor de servicio y delante de cada uno de ellos se encuentra un *splitter* y este dispositivo separa la voz y los datos de la línea del abonado.

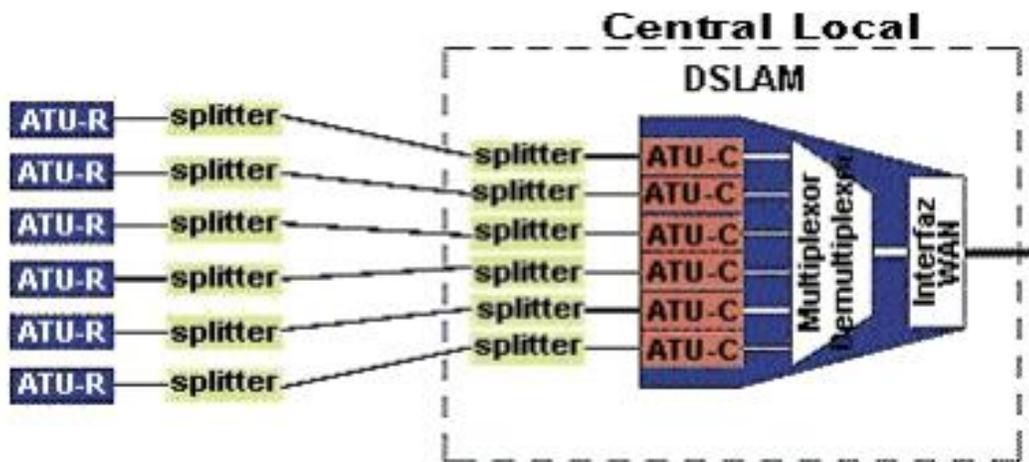


Figura 2. Esquema del servicio ADSL.

Tomado de (Teldat, 2013).

## 1.2 Introducción a las redes ópticas.

Cualquier desarrollo tecnológico siempre está impulsado por la necesidad y la demanda de los cambios en la sociedad. La rápida evolución de las redes de comunicación desde la red telefónica básica a las actuales redes de área grande de alta velocidad viene con la necesidad social de las personas de comunicarse entre sí, con las crecientes demandas de los usuarios de nuevas aplicaciones, así como

los avances tecnológicos. Las necesidades de los usuarios de permanecer conectados en todo lugar ya todo momento ha hecho que las telecomunicaciones avancen rápidamente. Las nuevas aplicaciones, es decir servicios multimedia, videoconferencias, juegos interactivos, servicios de Internet, y la *World Wide Web*, todos exigen anchos de banda muy grandes (Chadha, 2012).

Una red óptica es una red de telecomunicaciones en donde se utilizan fibras ópticas como medio de transmisión y cuya arquitectura se diseña para aprovechar las características de este medio. El diseño e implementación de una red óptica requiere de la combinación de elementos ópticos y electrónicos, así como del *software* adecuado que garantice el correcto funcionamiento del sistema (Capmany Francoy, 2006). La fibra óptica trabaja en la región del espectro del infrarrojo y luz visible ya que por las tasas de transferencias se utiliza la longitud de onda en lugar de la frecuencia en la Figura 3 se puede observar las longitudes de onda de la fibra óptica que va desde 850, 1310, 1490, 1550 nm.

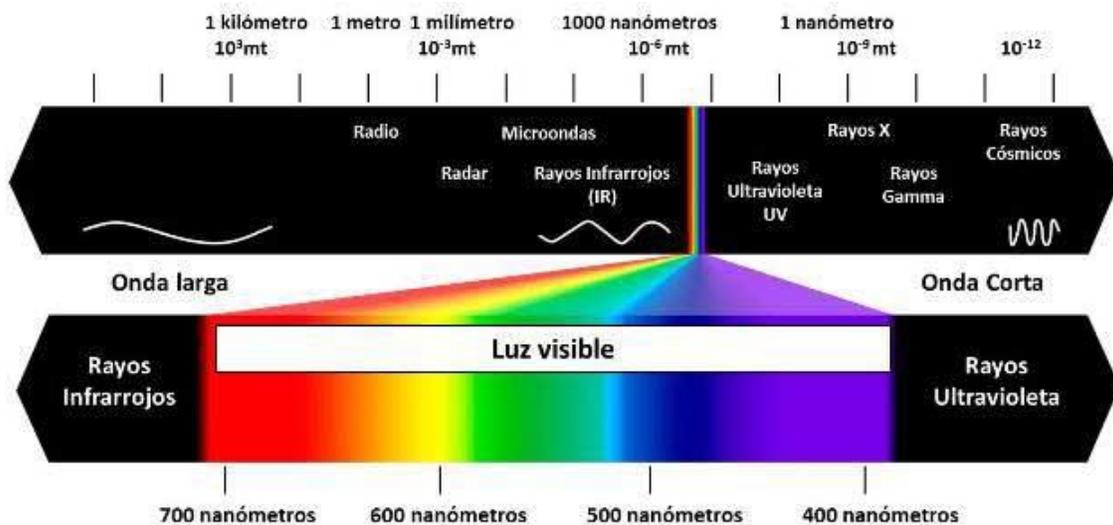
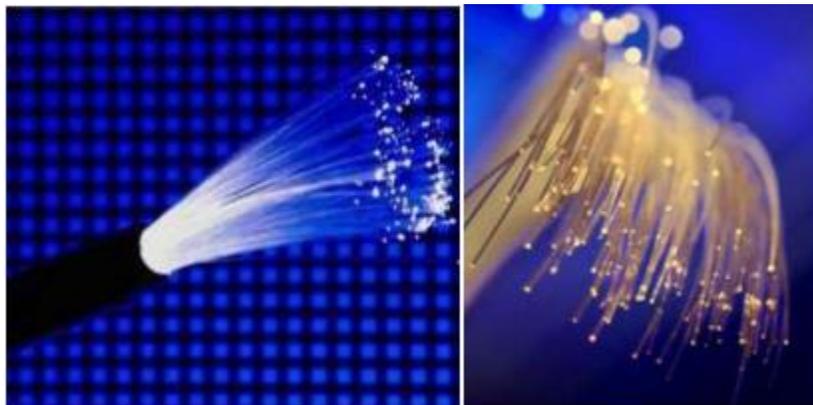


Figura 3. Espectro de la fibra óptica.

Tomado de (Keiser, 2006).

### 1.2.1 Fibra óptica.

Es un filamento cilíndrico de material transparente compuesto por cristales naturales (vidrio) o cristales artificiales (plástico) con un espesor entre 5 y 300 micrones, el cual sirve como medio de transmisión para información en forma de ondas luminosas las cuales se propagan a través de múltiples reflexiones, permitiendo de esta manera el transporte de grandes cantidades de información a velocidades muy altas (Samaniego, F; Figueroa, 2016).



*Figura 4.* Fibra óptica.

Tomado de (Vargas, 2014).

La transmisión de la fibra óptica se basa en el principio de la reflexión interna total, la luz que viaja por el núcleo de la fibra óptica incide sobre la superficie externa con un ángulo mayor que el ángulo crítico, logrando que la luz se refleje sin pérdidas hacia el interior de la fibra óptica, es por ello que la luz puede transmitirse a largas distancias. El núcleo de la fibra óptica está cubierto con una capa de vidrio para evitar pérdidas en el enlace por dispersión de la luz debido a impurezas que se puede encontrar en la superficie de la fibra, estas reflexiones se producen en la superficie que separa la fibra de vidrio y el recubrimiento (Vargas, 2014).

## **1.2.2 Ventajas y desventajas de la fibra óptica.**

### **1.2.2.1 Ventajas.**

- La fibra óptica es capaz de soportar altas velocidades de transmisión de datos.
- La fibra óptica posee un gran ancho de banda y es invulnerable frente a interferencia electromagnética, tienen baja atenuación-larga distancia.
- Tienen ruido y cruce de datos reducido comparadas con los cables de cobre convencionales.
- Dos fibras ópticas podrían transportar todas las conversaciones a nivel de un país con equipos de alta capacidad de transmisión.
- El peso de la fibra óptica es una gran ventaja a comparación con el peso de un cable coaxial de cobre ya que el diámetro de la fibra óptica es similar al cabello humano por lo cual es apropiado para el uso de sistemas de ductos centro de datos entre otros.
- En cuanto al costo de la fibra óptica actualmente ha reducido gracias a la demanda que actualmente es mayor a diferencia de las otras tecnologías por lo que es más conveniente la fibra óptica.

### **1.2.2.2 Desventajas.**

- Los cables de fibra óptica son muy finos por lo que al momento de fusionarlos se necesita una buena precisión para evitar pérdidas en la fusión.
- La especialización del personal encargado de realizar las fusiones y empalmes.
- Cuando hay algún problema en el campo es complicado su reparación ya que los empalmes de fibra óptica son difíciles de realizar
- En cuanto a los costos de los equipos para la implementación son mayores a los de una red de cobre.

- La fibra óptica es muy frágil, es por eso que al momento de la instalación hay que tener cuidado con la excesiva curvatura o doblez ya que se puede romper internamente el hilo de la fibra óptica, el radio de curvatura en un *PatchCord* puede ser entre 3 a 7 cm

### 1.2.3 Conceptos Fundamentales.

#### 1.2.3.1 Índice de refracción.

Índice de refracción es una propiedad óptica fundamental de un material que indica cuán rápido viaja la luz en él al entrar en un medio dieléctrico o no conductor, la relación entre la velocidad de la luz en el vacío y la de la materia, conocida como índice de refracción ( $n$ ). Los valores típicos de  $n$  con dos decimales son 1.00 para el aire, 1.33 para el agua y 1.52 para vidrio. El índice de refracción esta dado por la Ecuación 1 (Keiser, 2006) de la siguiente manera:

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

(Ecuación 1)

Donde:

$c$  = la velocidad de la luz en el vacío

$v$  = la velocidad de la luz en el medio cuyo índice se calcula (agua, vidrio, etc.)

$n$  = índice de refracción del medio (Keiser, 2006).

#### 1.2.3.2 Refracción.

Es el cambio de dirección y sentido que experimenta una onda de luz al incidir sobre otro medio con un índice de refracción menor. Como se puede observar en la Figura 5 la refracción de la luz incide en el agua que es de índice de refracción menor que el agua por lo que el ángulo de refracción es menor que el ángulo de incidencia.

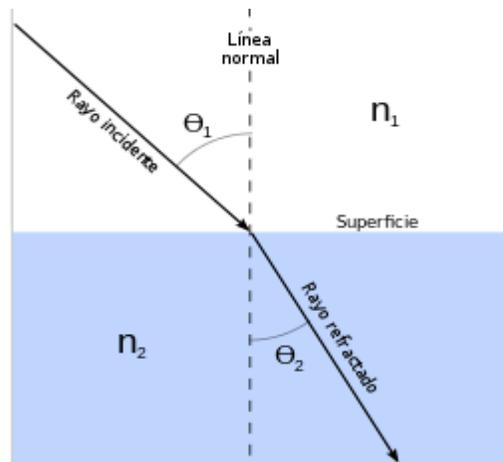


Figura 5. Índice de refracción.

Adaptado de (Keiser, 2006).

### 1.2.3.3 Reflexión.

Es el cambio de dirección y sentido que sufre una onda de luz cuando choca con la superficie. La propagación de la onda regresa al medio de donde se originó. Como se puede observar en la Figura 6 el rayo incidente choca con la superficie y regresa al lugar de donde se originó y se puede verificar que el Angulo de incidencia y de reflexión son iguales.

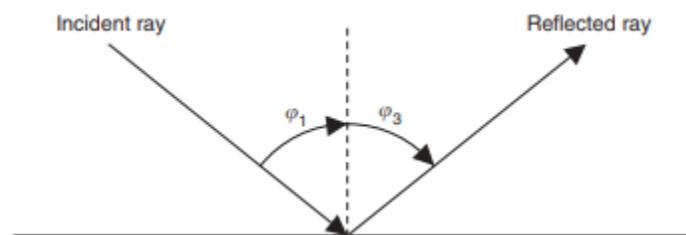


Figura 6. Ley de reflexión.

Tomado de (Keiser, 2006).

### 1.2.3.4 Ángulo crítico.

El ángulo crítico es cuando se produce la reflexión interna total como se puede observar en la Figura 7, cuando  $\phi_1$  es mayor que  $\phi_c$ , se cumple la condición para la reflexión interna total, es decir, la luz se refleja totalmente de vuelta en el cristal sin que salga luz de la superficie del cristal. (Keiser, 2006).

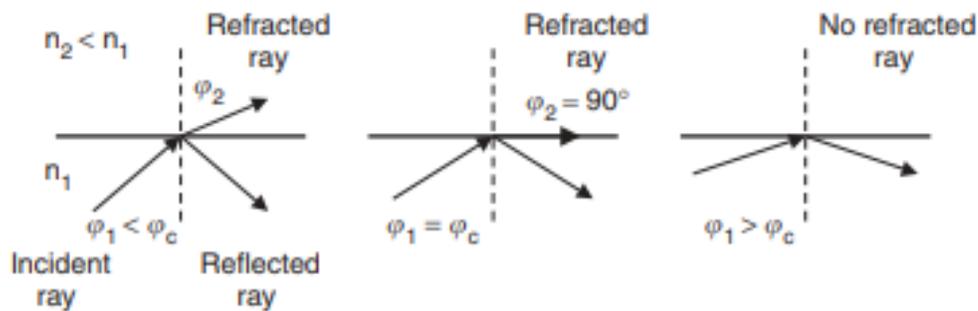


Figura 7. Representación de los ángulos críticos y la reflexión interna total Tomado de (Keiser, 2006).

### 1.2.3.5 Ley de Snell.

La ley de Snell es la relación que describe la refracción en la interfaz entre dos materiales diferentes esto nos indica cual es el comportamiento de la luz cuando pasa de un medio a otro variando su velocidad. La ley de Snell está dado por la Ecuación 2 (Keiser, 2006) de la siguiente manera:

$$n_1 \sin \phi_1 = n_2 \sin \phi_2,$$

(Ecuación 2)

Donde:

$n_1$ = índice de refracción en el primer material (adimensional).

$n_2$ = índice de refracción en el segundo material (adimensional).

$\phi_1$ = ángulo de incidencia (grados).

$\phi_2$ = ángulo de refracción (grados).

### **1.2.3.6 Ancho de banda.**

El ancho de banda es la cantidad de información que puede ser llevado por un canal de transmisión es expresado en (Hz). Para las fibras de tipo multimodo se puede decir que el ancho de banda suele ser aproximadamente de 500 MHz por Km y para las fibras de tipo monomodo el ancho de banda se encuentra en el rango de los GHz aproximadamente 100 GHz por km (Grosz, 2003).

### **1.2.3.7 Velocidad de transmisión.**

Es el número de bits que se transmiten por un canal en la unidad de tiempo, expresado en bits por segundo (bps). Es la relación entre la información transmitida a través de una red de comunicaciones y el tiempo empleado para ello, la velocidad depende de tres factores:

- Ancho de banda
- Niveles de señal que se usa
- La calidad del canal o nivel de ruido (Romero, 2005).

### **1.2.3.8 Distorsión.**

La distorsión es la alteración de la señal, significa que la señal cambia su forma de onda y cuando llega al receptor tiene fases distintas de las que tenía en el emisor por lo tanto la forma de la señal es distinta (Grosz, 2003).

## **1.2.4 Composición de la fibra óptica.**

La fibra óptica está formada por un núcleo de vidrio con un índice de refracción  $n_2$  con un valor de 1.52, rodeado por una capa de índice de refracción  $n_1$  siendo  $n_1$  ligeramente menor a  $n_2$  de modo que se aproveche el fenómeno de reflexión total entre los materiales, este fenómeno se produce cuando el índice de reflexión  $n_2$  es menor que el índice de reflexión  $n_1$  el rayo de luz se refracta y no es capaz de atravesar ambos medios y se refleja completamente (Grosz, 2003).

La fibra óptica tiene características constructivas de al menos cuatro capas, como se puede observar en la Figura 8, existen varios tipos de cables de fibra óptica y dependiendo de las características que se requieran dan seguridad y protegen a la fibra óptica.



*Figura 8* .Estructura de la fibra óptica.

Tomado de (Velasco Rivera, 2018).

A continuación, se explicará las capas que conforman un cable de fibra óptica.

#### **1.2.4.1 Núcleo óptico.**

El núcleo de la fibra óptica está formado por un material cilíndrico típicamente de vidrio de silicio, que tiene un índice de refracción de 1,52 superior al del manto, lo que permite que los rayos de luz viajen a través del material hasta llegar a su destino (Velasco Rivera, 2018).

#### **1.2.4.2 Revestimiento de la fibra (*Cladding*).**

El núcleo de la fibra óptica está recubierto por un material de similares características, las fibras modernas tienen una cubierta de polímero primario, pero con un índice de refracción menor, típicamente de vidrio. De este modo, los rayos de luz se reflejan hacia el interior del núcleo evitando que se pierda información. El revestimiento de la fibra también se lo llama manto (Velasco Rivera, 2018).

#### **1.2.4.3 Revestimiento de protección (*Buffer*).**

El revestimiento de protección cubre al núcleo y al revestimiento de la fibra óptica, generalmente está formado por un material de polietileno el cual permite aislar las fibras que están adyacentes en la chaqueta exterior, al revestimiento de protección también se lo conoce como *buffer* (Velasco Rivera, 2018).

#### **1.2.4.4 Chaqueta exterior.**

La chaqueta exterior también llamada cubierta exterior, como se observa en la Figura 8, es típicamente de un material llamado polietileno y recubre a todos los componentes de la fibra óptica. De igual forma, impide que un rayo de luz externo penetre en la fibra óptica. En algunos cables de fibra óptica existe una capa de hilos de kevlar entre el revestimiento de protección y la chaqueta exterior que permite generar mayor rigidez, protección y seguridad al cable de fibra óptica (Velasco Rivera, 2018).

#### **1.2.5 Tipos de fibra óptica.**

Según el modelo de propagación se encuentra dos grupos: fibra multimodo y fibras monomodo.

##### **1.2.5.1 Fibra óptica monomodo.**

Potencialmente, esta es la fibra que ofrece la mayor capacidad de transporte de información. Tiene una banda de paso del orden de los 100 GHz/km. Los mayores flujos se consiguen con esta fibra, pero también es la más compleja de implantar (Vargas, 2014). Las fibras monomodo a diferencia de las fibras multimodo entregan una gran cantidad de ancho de banda y no tienen mucha atenuación con las distancias, por lo cual este tipo de fibra se puede utilizar en trayectos largos o en redes metropolitanas y redes troncales lo que hace compleja su instalación.

La fibra monomodo por su diseño posee un núcleo más pequeño de 9 micrones aproximadamente, causando que la emisión de luz viaje en un solo modo. se utiliza para telefonía y para televisión por cable, tiene transmisiones de alta velocidad (40 GHz, 200 km sin repetidores) y la ventana de trabajo de la fibra monomodo es de: 1310 nm, 1550 nm, 1625 nm, (Simmons, 2014). En la Figura 9 se puede observar como la luz viaja en un único modo electromagnético en una fibra monomodo.



*Figura 9.* Fibra óptica monomodo.

Tomado de (Cano Martínez, 2012).

#### **1.2.5.2 Fibra óptica multimodo.**

Una fibra Multimodo es donde la luz reflejada circula por varios modos o caminos. Esto hace que los múltiples modos de luz al ser propagados no llegan todos a la vez ya que algunos toman varios caminos retardando la llegada al receptor como se puede ver en la Figura 10. Una fibra multimodo tiene más de mil modos de propagación de los haces luz. Las fibras multimodo se usan comúnmente en enlaces de cortas distancias, menores a 2 km; su diseño es económico, la distancia máxima es de 2 km y usan diodo láser de baja intensidad (Vargas, 2014).

Las fibras multimodos se utilizan en redes locales por su bajo costo, las distancias que pueden alcanzar este tipo de fibra son de aproximadamente 1 km hasta 2 km. En la Figura 10 se puede observar que la fibra tiene un núcleo más grande comparado con la fibra monomodo, permitiendo que los modos de propagación viajen en varias rutas (Simmons, 2014).



Figura 10. Fibra óptica multimodo.

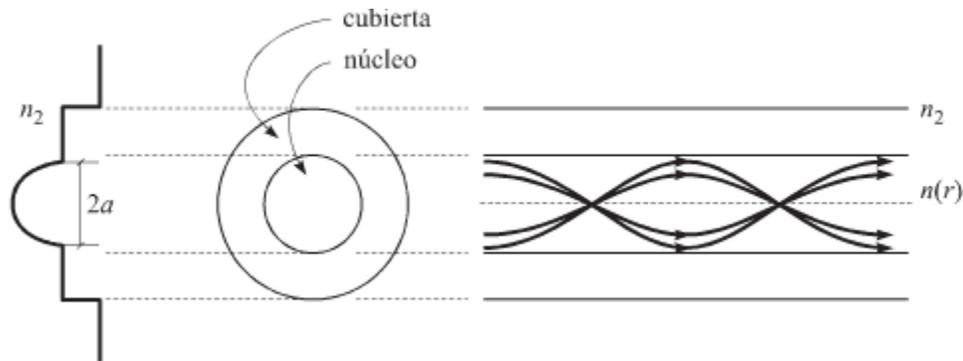
Tomado de (Vargas, 2014).

La fibra óptica multimodo se divide en fibras de índice gradual y fibra de índice escalonado, a continuación, se detallará cada una de estas.

### 1.2.5.3 Fibra óptica multimodo de índice gradual.

La fibra de índice gradual tiene un núcleo con un índice de refracción de forma parabólica, se desarrollaron para minimizar los efectos de la intermodalidad. La intermodalidad es la diferencia en los tiempos de propagación de los rayos de luz que toman diferentes trayectorias por una fibra. En tales fibras, el índice de refracción del núcleo no es uniforme, sino que disminuye de un valor máximo ( $n_1$ ) en su eje a un valor mínimo ( $n_c$ ) en el núcleo lo que hace (Ferreira, 2011).

La fibra de índice gradual tiene modos que se desplazan cerca del centro del núcleo, ven un índice refractivo más alto y se propagan más despacio que los modos que se desplazan cerca del *cladding*. En la Figura 11 se puede observar cómo los rayos de luz toman una forma ondulada por el núcleo de la fibra óptica.

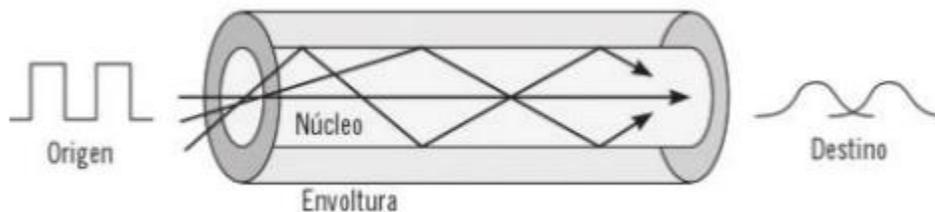


*Figura 11.* Esquema de una fibra de índice gradual.

Tomado de (Martín Pereda, 2004).

#### 1.2.5.4 Fibra óptica multimodo de índice escalonado.

Las fibras de índice escalonado fueron las primeras en diseñarse. En la fibra de índice escalonado los modos se propagan a la misma velocidad, pero sobre trayectos de distancias diferentes lo que hace que tenga una mayor atenuación. Esta fibra está constituida de un índice de refracción constante que está rodeado por un revestimiento, donde el índice de revestimiento va a ser menor que el núcleo, por lo que los rayos de luz se reflejan en ángulos diferentes sobre el núcleo de la fibra óptica causando que los diferentes rayos de luz se desfasen en su trayectoria y tomen diferentes distancias. Como se puede observar en la Figura 12 que los modos se propagan a la misma velocidad, pero en trayectos diferentes.



*Figura 12.* Esquema de una fibra de índice escalonado.

Tomado de (Cano Martínez, 2012).

En la Tabla 4 se puede observar la comparación de los tipos de fibra y sus diferentes valores de atenuación con respecto a la longitud de onda.

Tabla 4.

*Valores de atenuación y tipo de fibra óptica respecto a su longitud de onda.*

Tipo de cable	Diámetro del núcleo ( $\mu\text{m}$ )	Diámetro del revestimiento ( $\mu\text{m}$ )	NA	Atenuación (dB/Km)
Monomodo	8	125	0,18	0,4 a 1330 nm
Índice gradual	50	125	0,2	2,7 a 850 nm
	100	140	0,3	4 a 850 nm
Índice escalonado	200	380	0,27	6 a 850 nm
	300	440	0,27	6 a 850 nm
PCS	200	350	0,3	10 a 790 nm
	400	550	0,3	10 a 790 nm
Plástico	-	750	0,5	400 a 650 nm
	-	1000	0,5	400 a 650 nm

Tomado de (Pinto García, Ricardo Alfonso; Cabezas, 2014).

### 1.3 Arquitectura de una red FTTx (*Fiber to the x*).

La aplicación de la tecnología Red Óptica Pasiva (del inglés, *Passive Optical Network*, PON) sirve para proporcionar conectividad de banda ancha en el acceso a la red de hogares, unidades de ocupación múltiple y pequeñas empresas se llama comúnmente FTTx. Esta aplicación recibe la designación FTTx. Aquí x es una letra que indica qué tan cerca llega el punto final de la fibra al usuario real, más adelante se explicará los diferentes ejemplos de esta tecnología.

Como se observa en la Figura 13 hay varias denominaciones de las redes FTTx, así como: FTTB (Fibra hacia el edificio del inglés, *Fiber To The Building*), FTTH (Fibra hacia el hogar del inglés, *Fiber To The Home*), FTTC (Fibra hasta la acera

del inglés, *Fiber To The Curb*), FTTN (Fibra hacia el nodo del inglés, *Fiber To The Node*) (Keiser, 2006)

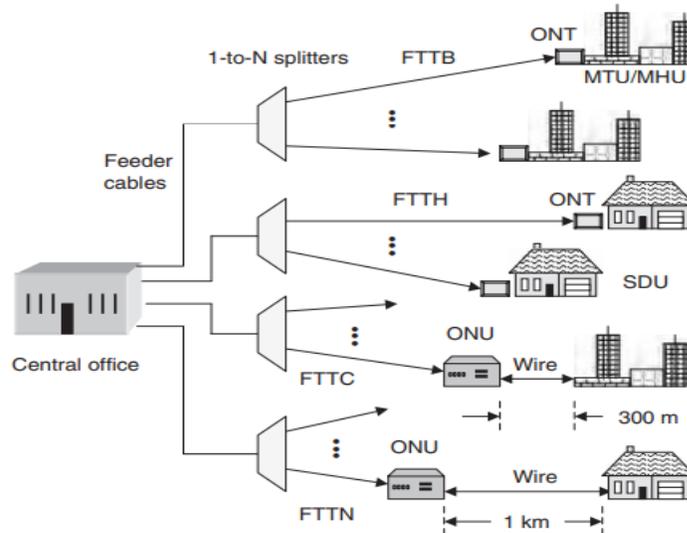


Figura 13. Redes FTTx.

Tomado de (Keiser, 2006).

Las redes FTTx están basadas en la tecnología PON, la característica principal es que no utilizan equipos activos, es decir que elimina todos los componentes activos que consumen energía entre el punto de red origen reemplazando por equipos pasivos, reduciendo así los costos. Las redes FTTx es una combinación con la red de cobre principalmente en una red de acceso logrando así economizar los costos, una de las características importantes es que utilizan un solo hilo para poder transmitir en full dúplex, lo que quiere decir que transmite y recibe datos por el mismo hilo de fibra óptica con diferentes longitudes de onda, una para transmisión y otra para recepción.

### 1.3.1 FTTB (Fibra hacia el edificio)

La arquitectura FTTB (Fibra hacia el edificio del inglés, *Fiber To The Building*), se caracteriza por la acometida principal de fibra óptica desde una oficina central OLT(Optical Line Terminal) hacia el interior de un edificio (Keiser, 2006).

En la Figura 14 se puede observar que La fibra óptica viaja desde la OLT hasta llegar a la caja del convertidor del edificio que por lo general se encuentra en el cuarto de telecomunicaciones, desde este punto de distribución intermedio, se accede a los abonados finales del edificio o de la casa, aprovechando la red interna de cobre ya existente logrando así reducir el costo de instalación del servicio.

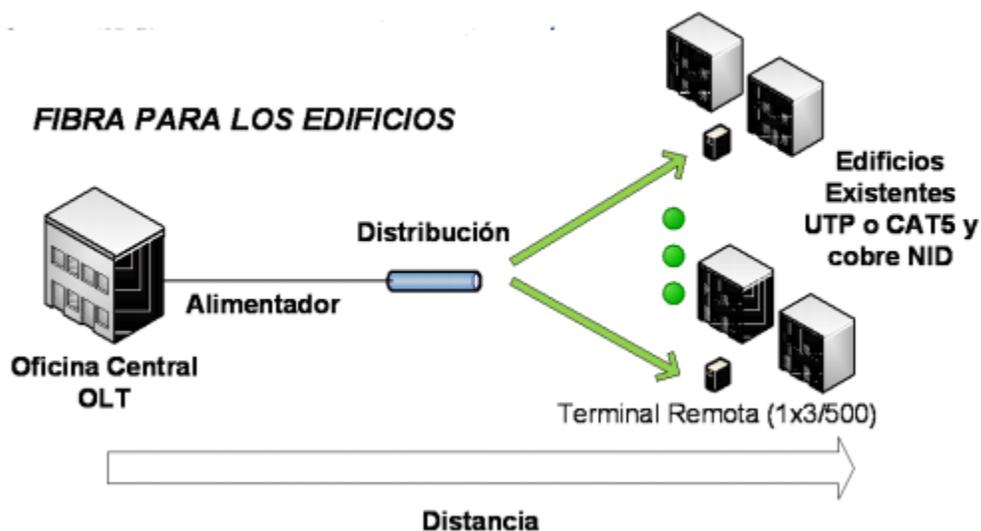


Figura 14. Arquitectura FTTB.

Tomado de (R. J. Millán Tejedor, 2000).

### 1.3.2 FTTH (Fibra hacia el hogar)

La tecnología FTTH (Fibra hacia el hogar del inglés, *Fiber To The Home*), se refiere al despliegue de fibra óptica desde un interruptor de la oficina central directamente a un hogar. La diferencia entre FTTB y FTTH es que, por lo general, las empresas

demandan mayores anchos de banda en una mayor parte del día que los usuarios domésticos. Como resultado, un proveedor de servicios de red puede recopilar más ingresos de las redes FTTB y así recuperar los costos de instalación antes que para las redes FTTH (Keiser, 2006).

Una de las características de esta arquitectura es que al abonado se le puede entregar un mayor ancho de banda gracias a que los enlaces utilizan una topología tipo estrella.

Según la recomendaciones de la UIT G.983.1, se han considerado las siguientes categorías de servicios: Servicios de banda ancha asimétricos por ejemplo, servicios de transmisión digital, VoD, Internet, distante aprendizaje, telemedicina, etc. (UIT-T, 2005). En la Figura 15 se puede observar como la fibra nace desde la OLT (del inglés, Optical Line Terminal) pasando por la red de distribución llegando a los splitters que está en la ODN (*Optical Distribution Network*) para terminar en la ONT (Optical Network Terminal) que son los modems se los usuarios.

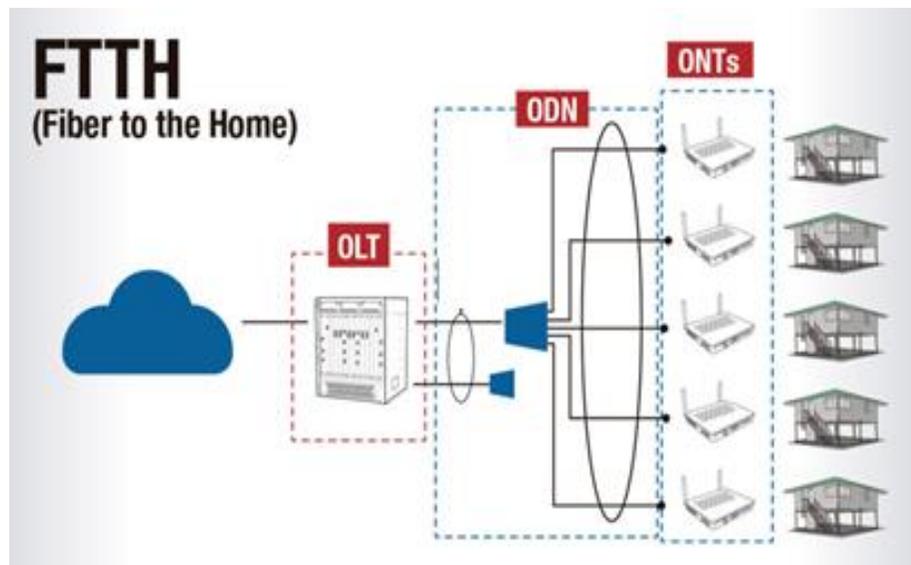


Figura 15. Arquitectura FTTH.

Adaptado de (R. Millán Tejedor, 2008).

### 1.3.3 FTTC (Fibra óptica hasta la acera)

La arquitectura FTTC (Fibra hasta la acera del inglés, *Fiber To The Curb*) la fibra óptica llega hasta la acera o vereda, donde se encuentra una caja de distribución ubicada en el poste, la misma que está ubicada aproximadamente 300m de una casa o empresa. Se utiliza cable coaxial, cables de cobre de par trenzado o algún otro medio de transmisión para conectar el equipamiento para los clientes en un edificio (Keiser, 2006).

En la Figura 16 se puede observar la diferencia con la tecnología FTTB, la fibra sale de la OLT y llega a la caja de distribución que está ubicada a 300 m del edificio para luego ser distribuido hacia los usuarios.

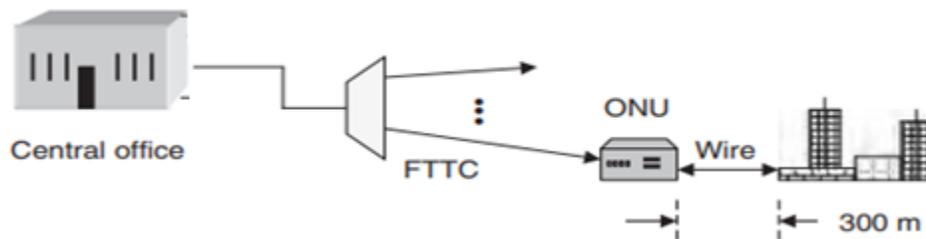


Figura 16. Arquitectura FTTC.

Adaptado de (Keiser, 2006).

### 1.3.4 FTTN (Fibra óptica hasta el nodo)

La tecnología FTTN (Fibra hacia el nodo del inglés, *Fiber To The Node*), se refiere a una arquitectura PON donde la fibra óptica termina en un nodo en la que los cables de fibra se extienden aproximadamente 1 km de hogares y negocios siendo atendido por la red (Keiser, 2006).

En esta arquitectura toma parte de la red del abonado de telefónica, lo que baja los costos y minimiza el despliegue de la red de acceso, la ONU (del inglés, Optical Network Unit), están ubicados en el armario de cableado o en los postes de distribución y son encargados de realizar la conversión eléctrica-óptica de las señales, también realizan la transformación entre los formatos de entramado utilizados en cada sección (Incera, Cartas, & Cairó, 2007).

En la Figura 17 se puede observar como la fibra empieza en la OLT y termina en el nodo que esta alrededor de 1 km con relación a los abonados.

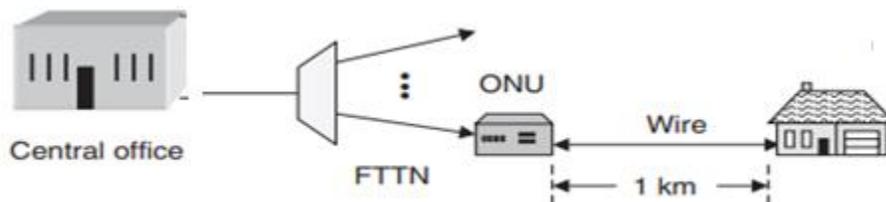


Figura 17. Arquitectura FTTN.

Adaptado de (Keiser, 2006).

#### 1.4 GPON (Red óptica pasiva con capacidad Gigabit)

La demanda de incrementar las velocidades en la red de acceso y la amplia difusión del internet cada día van aumentando para satisfacer las necesidades del usuario. El uso de *Ethernet* generó la idea de desarrollar una PON con capacidades más allá de las arquitecturas de Red Óptica Pasiva de Banda Ancha (del inglés, *Broadband Passive Optical Network*, BPON) y Ethernet sobre redes ópticas pasivas (del inglés, *Ethernet Passive Optical Network*, EPON). Un objetivo principal de esta idea fue desarrollar un PON versátil con un formato de trama que pudiera transmitir paquetes de longitud variable de manera eficiente a velocidades de gigabit por segundo (Keiser, 2006).

En GPON, la distancia máxima que se puede alcanzar es de 20 km conforme con la recomendación de la Rec. UIT-T G.983.1.

La red de acceso es la parte que interactúa directamente con los usuarios finales o abonados, se caracteriza por tener abundancia de protocolos y servicios. El método de encapsulación que utiliza la tecnología GPON se le conoce como GEM (del inglés, *Gigabit Encapsulation Method*) es el que permite soportar servicios de tipo Ethernet (R. Millán Tejedor, 2008) como la Multiplexación por División de Tiempo (del inglés, *Time Division Multiplexing*, TDM), Modo de Transferencia Asíncrono (del inglés, *Asynchronous Transfer Mode*, ATM), etc. GEM se basa en el estándar de Procedimiento de Enramado Genérico (del inglés, *Generic Framing Procedure*, GFP), definida por la ITU-T G.7041, logrando menores modificaciones para optimizarla las tecnologías PON. Es por esto que la tecnología GPON, ofrece un mayor ancho de banda a diferencia de otras tecnologías, siendo mucho más eficiente lo cual permite que las operadoras continúen ofreciendo sus servicios tradicionales (voz basada en TDM, líneas alquiladas, etc.) sin tener que cambiar los equipos instalados en los usuarios finales.

En cuanto a la velocidad y distancia, la tecnología GPON se maneja en una estructura de trama escalable desde 62 Mbps hasta 2,5 Gbps, así como soporte de tasas de bit asimétricas. La velocidad que manejan los proveedores de servicio en la tecnología GPON es desde los 2,48 Gbps *downstream* y de 1,244 Gbps *upstream*. Dependiendo las necesidades del usuario o del tipo de negocio lo que se puede configurar para cada usuario es hasta 100 Mbps.

En la Tabla 5 se puede observar la comparación de velocidades y distancias máximas que puede alcanzar GPON frente a las otras tecnologías PON (R. Millán Tejedor, 2008).

Tabla 5.

*Comparativa de las tecnologías PON.*

Características	ITU-T BPON	ITU-T GPON	ITU-T EPON
Tasa de bit (Mbps)	down: 1244, 622, 155 up: 622, 155	down: 2488, 1244 up: 2488, 1244, 622, 155	down: 1250 up: 1250
Codificación de línea	NZR (+ scrambling)	NZR (+ scrambling)	8b/10b
Ratio de división máximo	1:32	1:128 (1:64 en la práctica)	1:32
Alcance máximo	20 km	60 km (con 20 km de distancia máxima entre OLT)	20 km
Estándares	Series ITU-G.983.x	Series ITU-G.984.x	IEE 802.3ah
Soporte TDM	TDM sobre ATM	TDM nativo, TDM sobre ATM, TDM sobre paquetes	TDM sobre paquetes
Soporte video RF	No	Si	No
Eficiencia típica (depende del servidor)	83% downstream 80% upstream	93% downstream 94% upstream	61% downstream 73% upstream
OAM	PLOAM + OMCI	PLOAM + OMCI	Ethernet OAM (+ SNMP opcional)
Seguridad downstream	<i>Churning</i> o AES	AES	No definida

Tomado de (R. Millán Tejedor, 2008).

En una red con tecnología GPON, se asigna dos longitudes de onda; una longitud de onda que se usa en sentido *downstream* (1.490 nm) para el tráfico de datos y telefonía y otra longitud de onda para el tráfico en sentido *upstream* (1.310 nm). Existe una tercera longitud de onda (1.550 nm) que se asigna en una red GPON a través del uso del WDM la que está referenciada para el *broadcast* de video RF (Radio Frecuencia). Es por esto, que el vídeo/TV se puede ofrecer mediante dos métodos distintos simultáneamente: RF e IPTV (R. Millán Tejedor, 2008).

### **1.4.1 Arquitectura de una red GPON.**

La arquitectura de una red con tecnología GPON se caracterizan por ser un sistema que tiene una red activa y una pasiva donde la red activa está a los extremos del enlace, es la central local OLT y una ONT (del inglés, *Optical Network Termination*) ubicado en el usuario final, conectadas por medio de una red pasiva de distribución óptica ODN (del inglés, *Optical Distribution Network*). Entre dichos puntos se debe considerar que la pérdida óptica total del enlace de la red sea aproximadamente de 25 dB.

En la tecnología GPON existe una relación de conexión uno a muchos entre la OLT y la ONT de los usuarios finales respectivamente. En la Figura 18 se puede observar cómo está compuesta una arquitectura de red GPON con sus elementos principales donde inicia el enlace en la ONT saliendo el tráfico con una longitud de onda de 1310 nm hacia la red de distribución, llega al nivel de splitter para conectarse con la red de dispersión donde se distribuirá a cada usuario, la distancia máxima que se puede dar es de 20 km desde la ONT hasta la OLT.

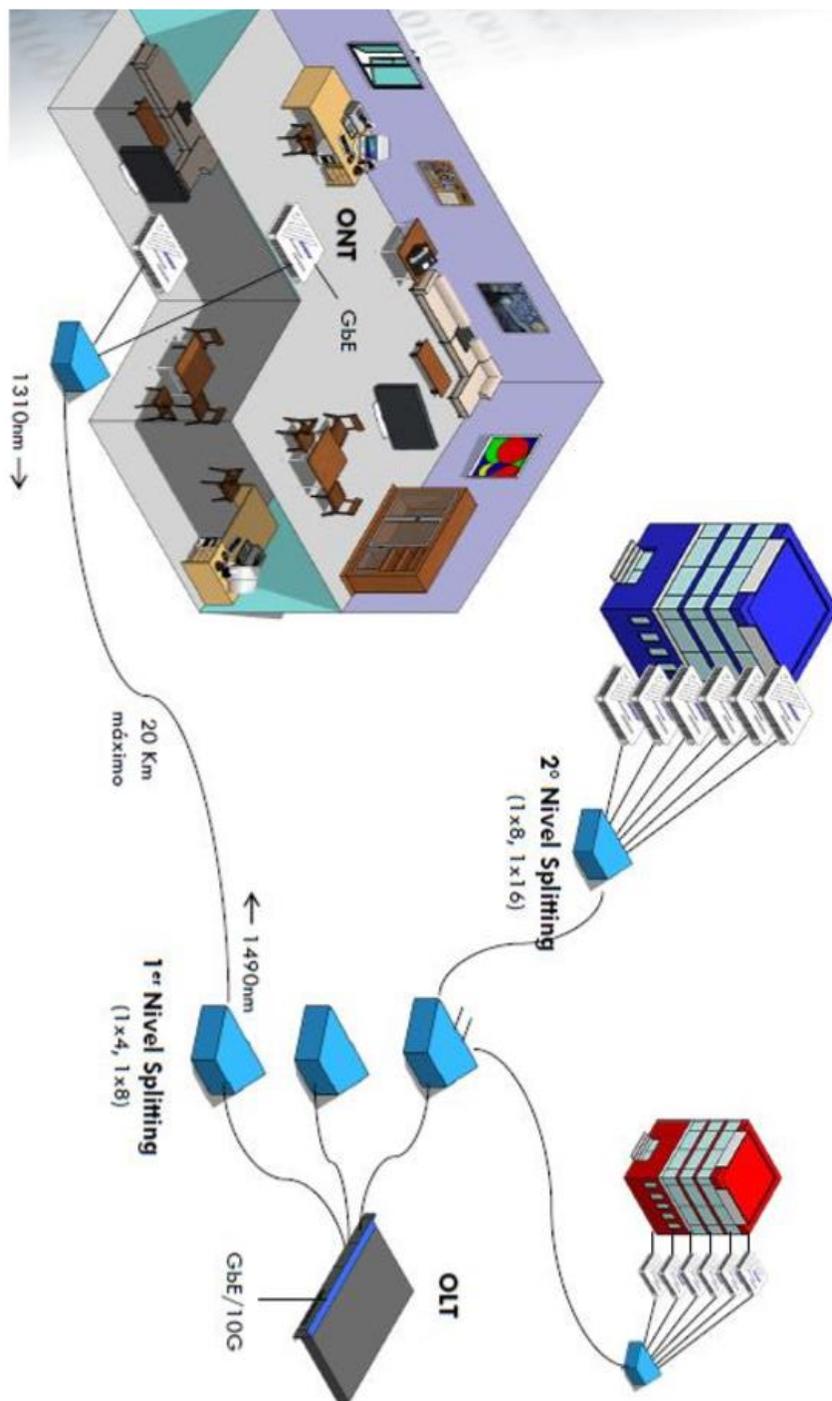


Figura 18. Arquitectura GPON.

Tomado de (Samaniego, F; Figueroa, 2016).

#### **1.4.1.1 OLT (*Optical Line Termination*)**

La OLT está ubicada en una oficina central y controla el flujo bidireccional de información a través de la Red de Distribución Óptica (del inglés, *Optical Distribution Network*, ODN). Una OLT debe ser capaz de soportar distancias de transmisión a través de la ODN de hasta 20 km, la función de una OLT es tomar el tráfico de voz, datos y video de una red de larga distancia o metro y transmitirlo a todos los módulos ONT en la ODN, una OLT acepta y distribuye múltiples tipos de tráfico de voz y datos de los usuarios de la red, la OLT generalmente se encuentra dentro de una oficina central (Keiser, 2006).

La característica principal de la OLT es cumplir la función de controlar los datos que pasan por la ODN en el cual se le asigna diferentes longitudes de onda logrando así no provocar interferencia en los datos que son de subida y de bajada, por lo cual utiliza la tecnología de Multiplexación por división de tiempo TDM (del inglés, *Time Division Multiple*) y multiplexación por longitud de onda WDM (del inglés, *Wavelength Division Multiplexing*).

#### **1.4.1.2 ONT (*Optical Network Terminal*)**

La ONT está ubicado directamente en las instalaciones del cliente. Ahí su propósito es proporcionar una conexión óptica al PON para conectarse eléctricamente al equipo del cliente en el otro lado. Dependiendo de los requisitos de comunicación del cliente o bloque de usuarios, la ONT admite una combinación de servicios de telecomunicaciones, incluidas varias tarifas de *Ethernet*, T1 o conexiones telefónicas.

El tamaño de una ONT va desde una caja simple que se puede unir al exterior de una casa hasta una unidad sofisticada montada en un estante electrónico estándar para uso en interiores, la ONT puede agregar, preparar y transportar varios tipos de tráfico de información proveniente del sitio del usuario y enviarlo corriente arriba a través de una sola fibra de infraestructura PON. Junto con la OLT, una ONT permite

la asignación dinámica de ancho de banda que permita la entrega fluida del tráfico de datos que generalmente llega en ráfagas de los usuarios (Keiser, 2006). En la Figura 19 se puede observar la conexión de la fibra óptica que va desde la ONT donde los paquetes son transmitidos hasta el usuario final la ONT con una distancia máxima de 20 km, además se puede observar la tecnología que usa la red GPON en *downstream* usa Multiplexación por división de tiempo TDM (del inglés, *Time Division Multiple Access*) y en *upstream* utiliza el Acceso Multiple por Division de Tiempo TDMA (del inglés, *Time División Múltiple Access*). A continuación, se explicará las características de estas modulaciones.

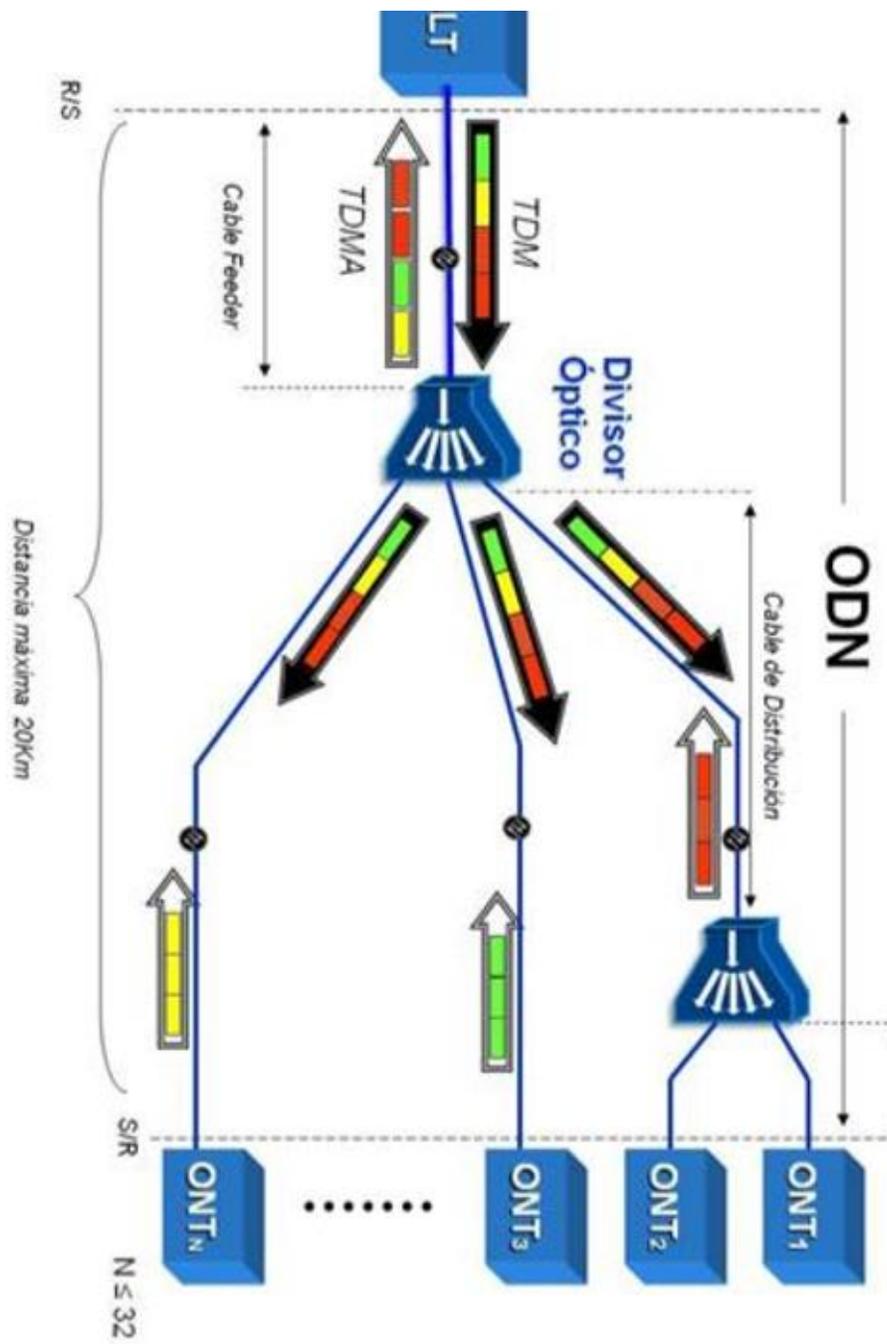


Figura 19. Conexión de una Arquitectura GPON  
Tomado de (Samaniego, F; Figueroa, 2016).

## 1.4.2 Tecnología de una red GPON.

### 1.4.2.1 Downstream TDM

En canal *downstream* de una red GPON es una red punto-multipunto, donde la OLT envía paquetes de datos hacia el *splitter*, el mismo se encarga de repartir estos paquetes de datos a todas las ONU. La función del *splitter* es diferenciar y filtrar para enviar al usuario aquella información que vayan dirigidos hacia él. Para el *downstream* se utiliza la Multiplexación por divisor de tiempo (TDM) para enviar la información en diferentes instantes.

Como se puede observar en la Figura 20 la tecnología *Downstream* TDM es donde la OLT se encarga de enviar trama de datos de forma continua al *splitter*, donde el *splitter* vuelve a reenviar los mismos datos a cada ONU que se encuentran en la red y finalmente la ONU filtra las tramas específicas de un usuario y descarta todas las demás tramas (Samaniego, F; Figueroa, 2016).

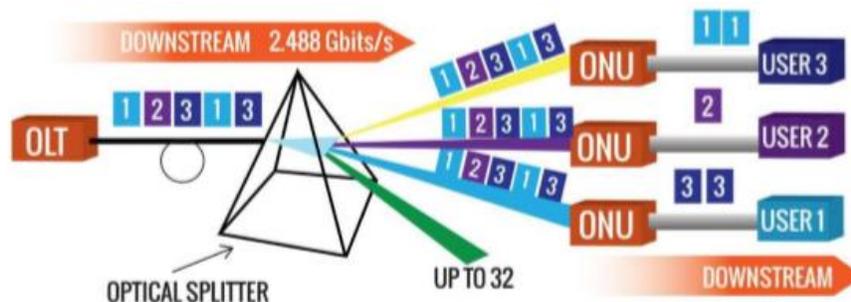


Figura 20. Tecnología Downstream TDM.

Tomado de (Samaniego, F; Figueroa, 2016).

### 1.4.2.2 Upstream TDMA

La tecnología *Upstream* TDMA se trata de una conexión de punto a punto donde las diferentes ONUs envían contenidos a la OLT. En una red GPON, los usuarios se asignan en *slots* de tiempo durante estos tiempos, los terminales remotos pueden

transmitir sus datos, cada usuario se le da un intervalo de tiempo en el que los datos pueden ser transmitidos y el tráfico de *Upstream* no es continuo, se compone de ráfagas. En la Figura 21 se puede observar como como la tecnología *Upstream* envía la información directamente a la OLT y así se asegura que no exista inconvenientes en cruce de información ya que cada paquete que sale de los usuarios está asignado con un identificador en este caso se puede ver que están asignados en números. (Samaniego, F; Figueroa, 2016).

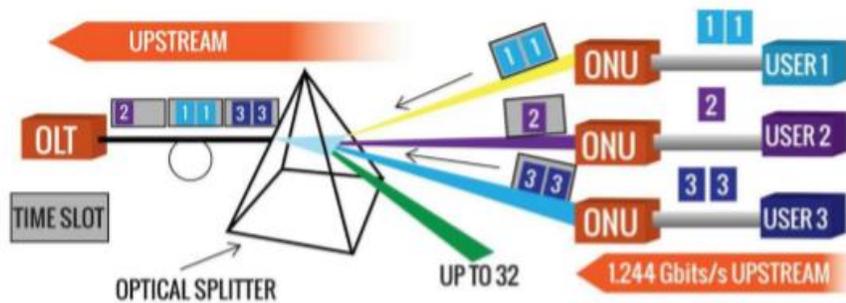


Figura 21. Tecnología Upstream.

Tomado de (Samaniego, F; Figueroa, 2016).

Para que no se produzca interferencia entre el canal *upstream* y *downstream* se utiliza dos longitudes de ondas diferentes con técnicas Multiplexación por Division de longitud de Onda WDM (del inglés, *Wavelength Division Multiplexing*).

### 1.4.3 Esquema de una red GPON

#### 1.4.4 ODN (Red de distribución óptica)

La Red de Distribución Óptica ODN (del inglés, Optical Distribution Network), está formada por un cable *feeder* (troncal), que conecta el puerto del Distribuidor de Fibras Ópticas ODF (del inglés, Fiber Optical Distributor) y la entrada principal de *splitter* primario que normalmente utiliza *splitting* de 1x2 o 1x4, esto quiere decir que al *splitter* entra un hilo de fibra y salen 2 hilos de fibra o el otro caso entra un hilo de

fibra y salen cuatro, dependiendo el diseño que se le vaya a dar a la red y dependiendo del nivel de atenuación, las salidas de los *splitters* secundarios del tipo 1xn a través de cables de distribución se conectan a los equipos terminales ONTs a través de una caja de distribución y cables tipo *Drop* o de acometida (Samaniego, F; Figueroa, 2016). En la Figura 22 se puede observar cómo está compuesta la red de distribución dentro del esquema de una red GPON, la ODN proporciona los medios ópticos de transmisión por medio de los *splitters* desde la OLT hacia los abanados y viceversa.

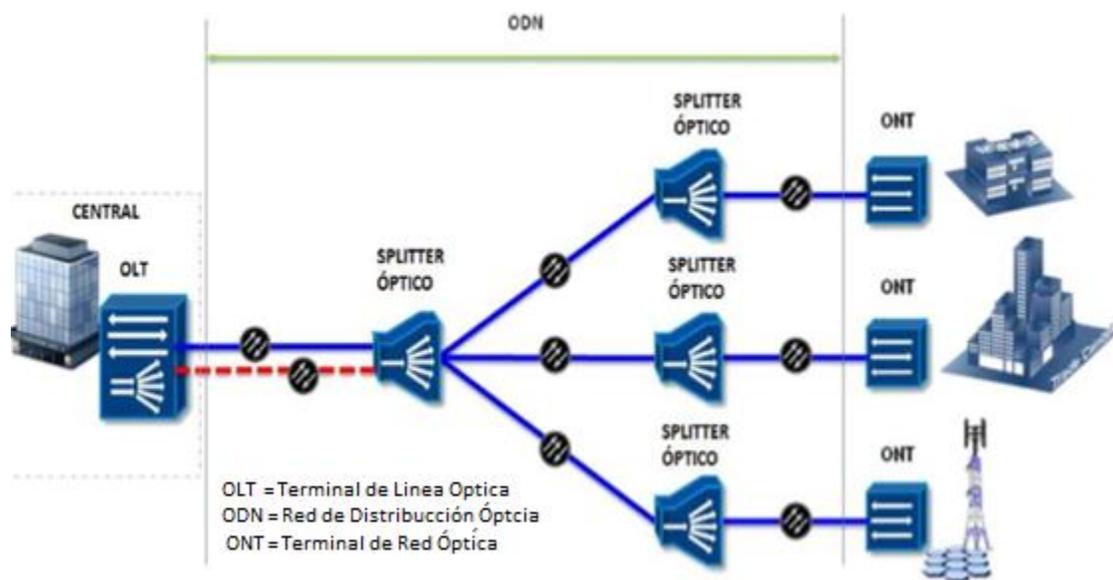


Figura 22. ODN (Red de Distribución Óptica)  
Adaptado de (Samaniego, F; Figueroa, 2016).

#### 1.4.5 Red *Feeder* (Troncal).

La red *feeder* interconecta el distribuidor ODF con los Armarios de distribución FDH (del inglés, *Fiber Distribution Home*) o FDB (del inglés, *Fiber Distribution Building*) y las mangas, las cuales están constituida por cables de fibra óptica que parten de la central OLT y se dividen hacia los armarios de distribución. Generalmente van por ductos subterráneos, es la parte troncal de la red. (Samaniego, F; Figueroa, 2016)

### 1.4.6 Red de distribución.

La red de distribución corresponde al segmento entre el armario de distribución de fibra óptica y el usuario final (Pinto García, Ricardo Alfonso; Cabezas, 2014). Es la red que une el armario de distribución FDH o FDB con las cajas NAP (del inglés, *Network Access Point*), en las que están constituida por *splitters*, cables de fibra óptica aéreos, murales, subterráneos, empalmes y cajas de distribución (Samaniego, F; Figueroa, 2016).

Como se puede observar la Figura 23, la red de distribución es donde la fibra óptica viaja por medio de la posteria llegando al splitter para poder ser distribuido a cada uno de los usuarios.

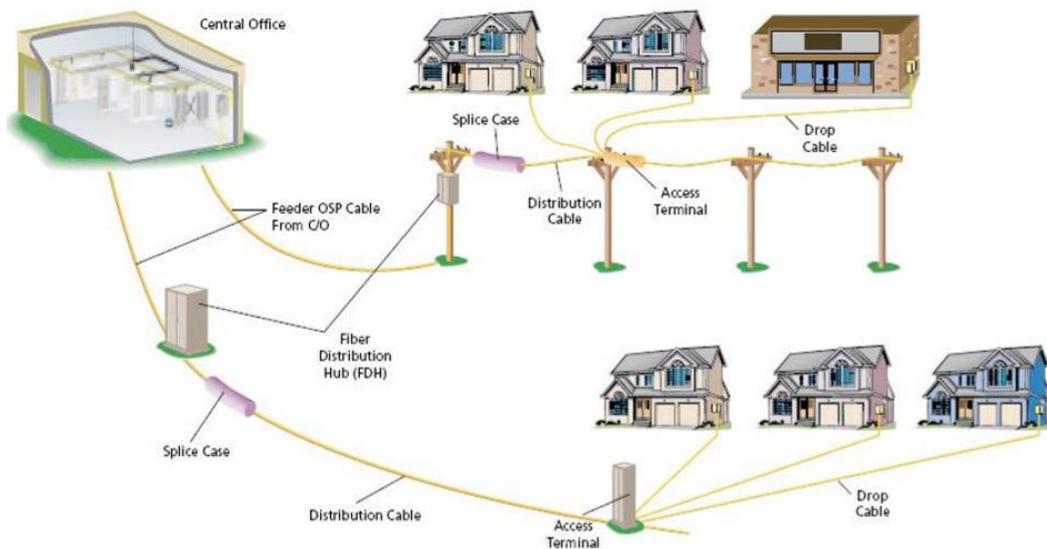


Figura 23. Red de distribución.

Tomado de (Samaniego, F; Figueroa, 2016).

### 1.4.7 Red de dispersión.

La red de dispersión está conformada por los cables de fibra óptica que salen desde las cajas de distribución óptica NAP hasta la ONT ubicada en cada usuario final. Este segmento de red está dividido en dos tramos, el primero que va hasta un punto de transición FDF y luego continúa con un cable distribuido hacia el interior de la casa del abonado terminando en la ONT, se puede decir que es la acometida final hacia el usuario.

En la Figura 24 dentro del cuadro rojo se puede observar la red de dispersión donde la fibra óptica sale de la caja NAP hacia la roseta óptica para luego ser distribuido a la ONT de cada cliente en su domicilio.

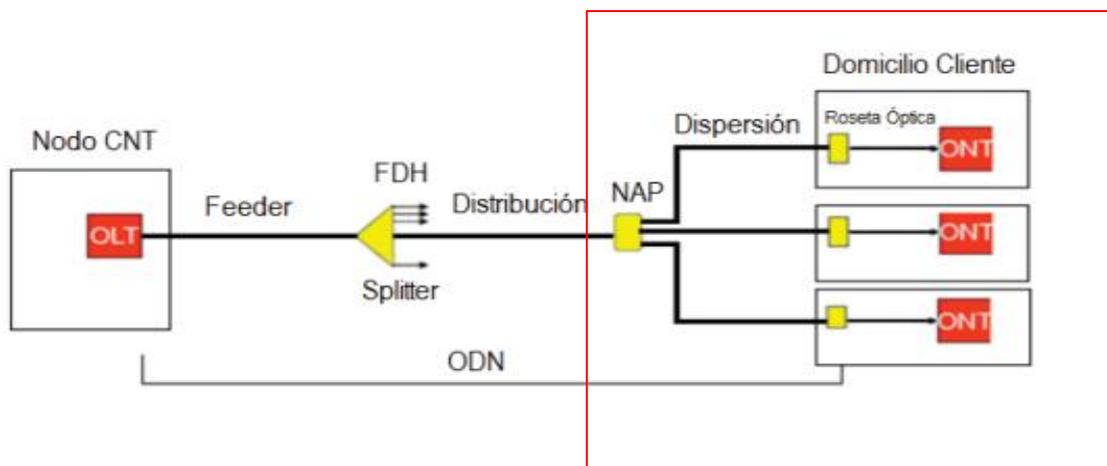


Figura 24. Esquema de una red GPON.

Tomado de (Samaniego, F; Figueroa, 2016).

### 1.4.8 Splitter (Distribuidor óptico).

El Distribuidor Óptico, es un dispositivo de derivación bidireccional de banda ancha que posee un puerto de entrada y múltiples puertos de salida. La señal óptica de entrada (descendente), se divide entre los puertos de salida, permitiendo a múltiples usuarios compartir una sola fibra óptica y consecuentemente compartir el ancho de banda disponible de la fibra óptica. Los distribuidores son dispositivos ópticos

pasivos, porque no requieren de ninguna otra fuente de energía externa que no sea la del haz de luz incidente, para su operación (Bazán Sánchez, 2018). En la Figura 25 se puede observar los niveles de *splitter* y los tipos que hay desde 1 a 2 hasta 1 a 32, se puede ver como entra una fibra y salen varias dependiendo el tipo de *splitter* que se use.

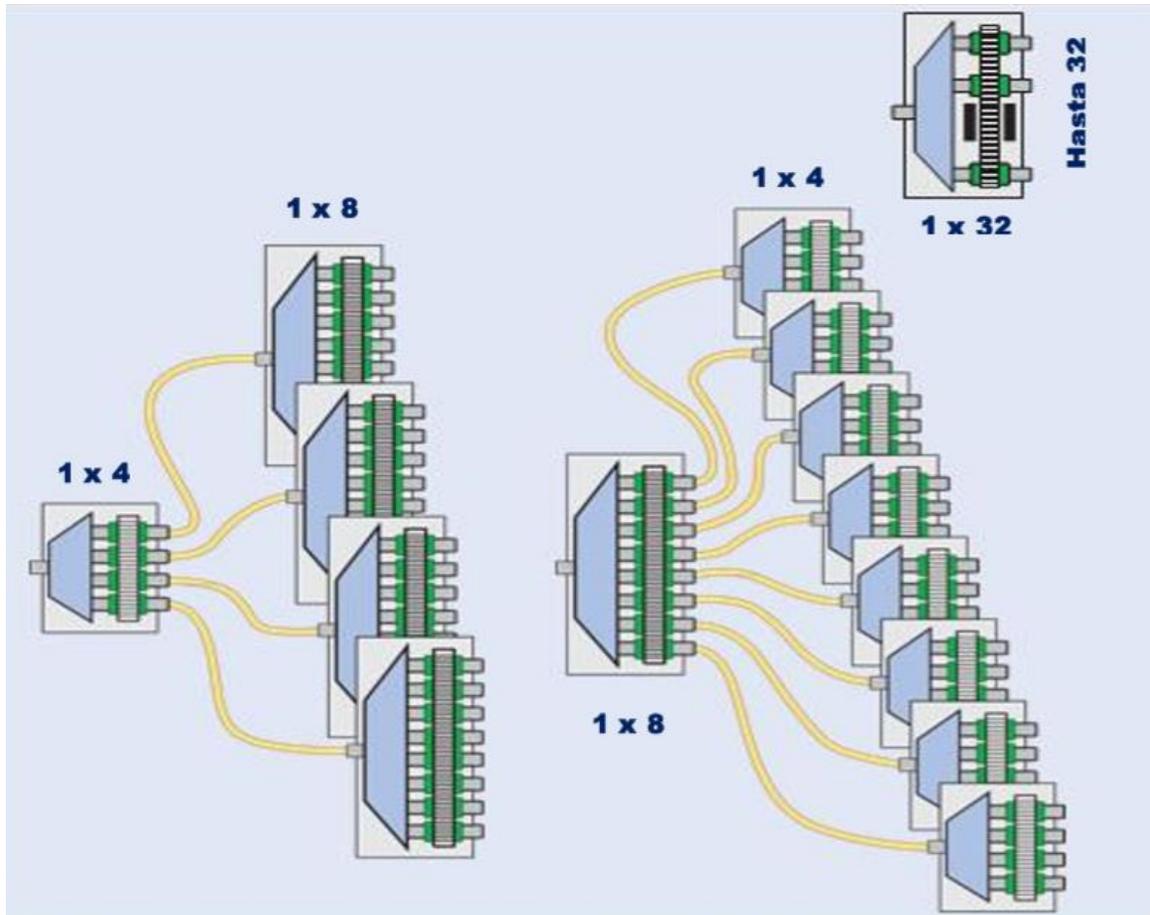


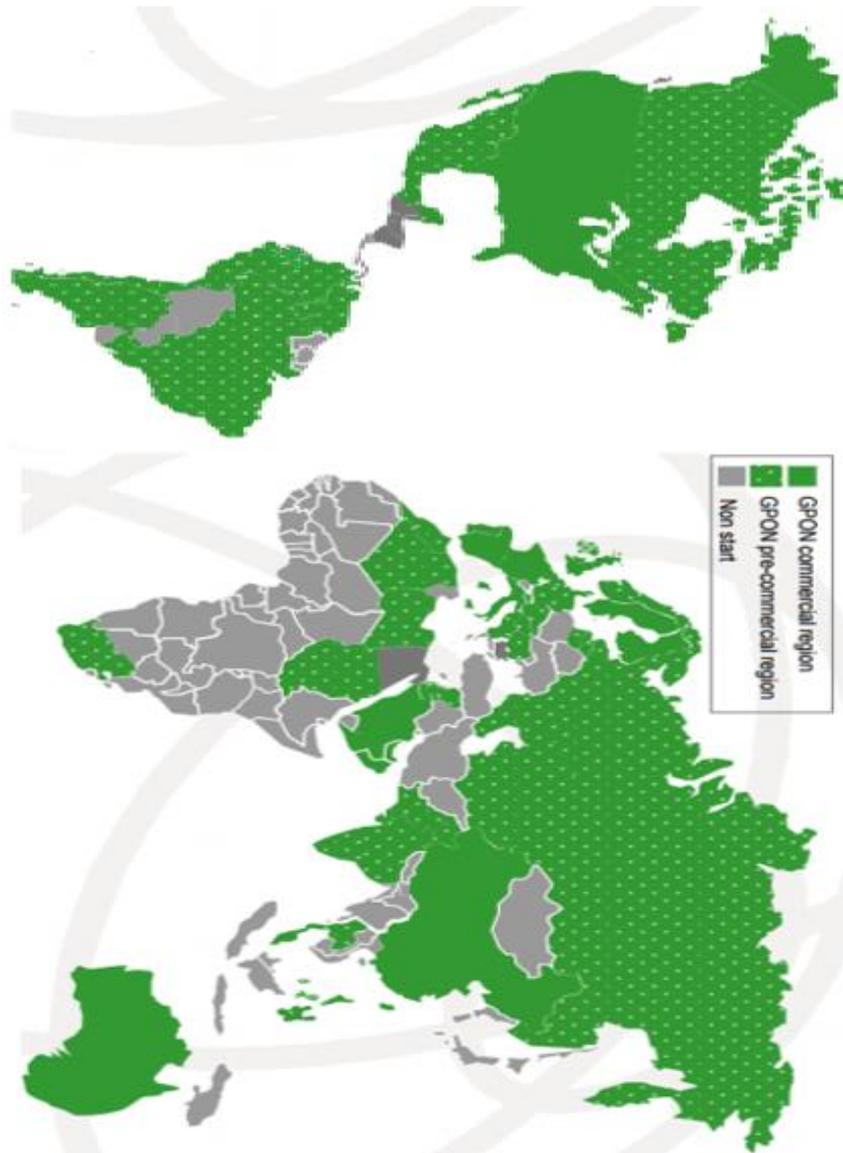
Figura 25. Topologías de distribuidores ópticos.

Tomado de (Bazán Sánchez, 2018).

Las pérdidas de potencia de estos dispositivos suelen expresarse en dB, dependiendo del número de puertos de salida aproximadamente 3 dB por cada división 1 a 2. Es importante señalar, que contrariamente a lo que se puede pensar; el dispositivo distribuidor óptico añade aproximadamente la misma pérdida de

potencia, tanto en el sentido de transmisión de subida como el de bajada (Bazán Sánchez, 2018).

#### 1.4.9 Despliegue de una red GPON en el mundo.



*Figura 26.* Despliegue de la red GPON en el mundo.

Tomado de (Samaniego, F; Figueroa, 2016).

## 2. Capítulo II. Estudio de la red actual.

### 2.1 Situación actual Geográfica

El análisis se va a realizar en un conjunto habitacional, que se encuentra en la ciudad de Quito perteneciente a la provincia Pichincha, Ecuador. Ubicado en los alrededores de la Universidad de la Américas (UDLA). En la Figura 27 se puede observar la zona limitada en el cuadro negro y la ubicación tomada desde Google Earth del conjunto en donde se va a realizar el diseño de fibra óptica con tecnología GPON.



*Figura 27.*Ubicación Geográfica del Condominio.  
Tomado de Google Earth.

## 2.2 Infraestructura del Condominio.

El condominio está distribuido en un diseño de 28 torres que están numeradas, cada torre consta de 5 pisos y en cada piso se dispone de 3 departamentos que se les diferencia con letras A, B y C, es decir hay 15 departamentos por cada torre, adicional dispone de 98 departamentos que estas distribuidos en 8 bloques de una planta, por este motivo se puede decir que los condominios el Batán hay una disponibilidad para que habiten alrededor de 518 familias, el cual actualmente está habitado el 62% con 235 familias. También el conjunto dispone de parqueaderos, una sala de eventos o reuniones, canchas deportivas, un local para la administración, espacios verdes y una pileta. En la Figura 28 se puede observar la fachada y algunos de los bloques de cómo está estructurado el condominio.



*Figura 28.* Fachada del Condominio.

## 2.3 Estado actual de la red del Condominio

La CNT E.P (Corporación Nacional de Telecomunicaciones) está encargada del manejo de la infraestructura de la red telefónica del condominio, pero existe un déficit en el servicio de internet fijo que entrega la empresa a los condominios ya que por el momento el condominio cuenta con una red de cobre, la cual está desplegada desde la central Iñaquito a una distancia de 2 Km la cual brinda servicios de internet mediante la tecnología línea de Abonado Digital Asimétrica ADSL (del inglés, *Asymmetric Digital Subscriber Line*) las velocidades que maneja CNT en cuanto a planes para los condóminos esta entre los 3 Mbps y los 5 Mbps. Actualmente en los condominios existen 320 usuarios los cuales están utilizando los planes de CNT con tecnología ADSL. En la tabla 6, se va a detallar el porcentaje de abonados existentes que ocupan los diferentes planes, velocidades y tecnología de internet fijo en el condominio.

Tabla 6.

*Número de clientes del Condominio.*

Velocidad.	Tecnología usada.	Número de Usuarios	Porcentaje de usuarios.
5 Mbps	ADSL	48	15%
3 Mbps	ADSL	272	85%
Total		320	100%

## 2.4 Infraestructura de la red

El operador en los condominios maneja una red telefónica fija básica la cual está conformada por varios módulos y el principal es el módulo de acceso el cual se divide en tres segmentos:

- Segmento de red primaria
- Segmento de red secundaria
- Segmento de dispersión

En la Figura 29 se puede observar el segmento de red primaria que nace en la central telefónica llegando hasta el armario de distribución, a continuación, se puede observar el segmento de red secundaria que va desde el armario de distribución hacia la caja de dispersión y finalmente está el segmento de red de dispersión que es la que llega hasta el abonado, estos tres segmentos de red conforman la red de acceso en cobre.

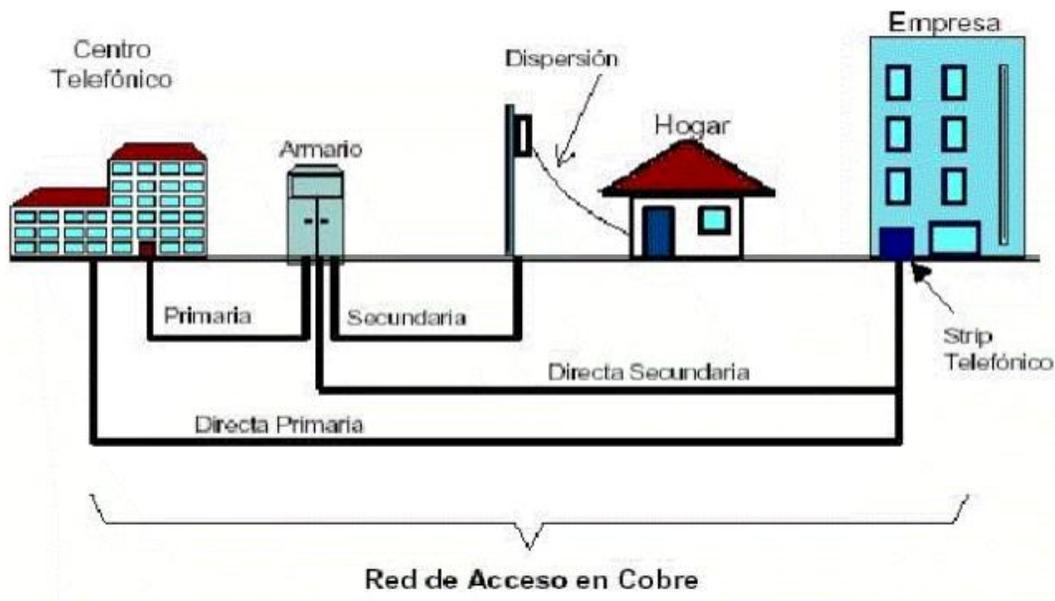


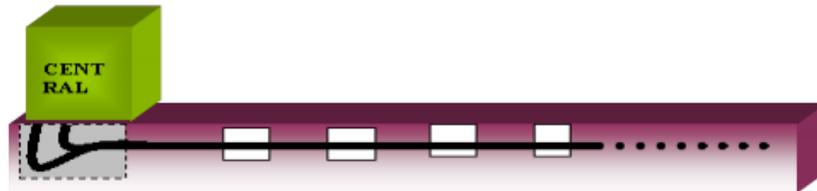
Figura 29. Red de acceso en cobre

Tomado de (Acosta Jumbo, 2009)

#### 2.4.1 Red Primaria del Condominio.

El segmento de red primaria está comprendido por puntos de conexión de las regletas del Distribuidor General (del inglés, *Main Distribution Frame*, MDF). Es el punto de unión entre la planta interna de la central telefónica con la parte externa que va hacia los abonados por medio un cable multipar primario de 1200 pares trenzados de cobre, viaja por vía subterráneo como se puede observar en la Figura 30 y llega a las regletas del armario de distribución metálica ubicado en el

condominio, este armario está ubicado en el bloque 6 del condominio y se encuentra junto a la entrada principal. Como se puede observar en la Figura 29, el armario de 1200 pares es la interfaz entre la red primaria y ya la red secundaria, donde la red primaria es donde llega el cable de cobre desde el nodo de la central y la red secundaria es la salida hacia los usuarios.



*Figura 30.* Red subterránea

Tomado de (Acosta Jumbo, 2009).

En la Figura 31 se puede observar físicamente como está el armario del condominio. Las regletas primarias del armario están enumeradas en grupos de 50 pares en orden ascendente hacia el distribuidor, la codificación que se utiliza para la numeración en el armario está en base a 5 dígitos, donde los dos primeros corresponden a la central o al nodo que pertenece y los tres números restantes pertenecen a la numeración del armario. En el condómino se utiliza los cables cruzados en los armarios metálicos como punto de corte entra la línea de los abonados para poder localizar las averías hacia el lado primario o el lado secundario. En el condominio se puede evidenciar que por causa de factores como el sol, lluvia, viento el armario metálico ha sido afectado causando el deterioro, parte de este proyecto es migrar el armario de distribución metálico a un armario de distribución de fibra de vidrio.



*Figura 31.* Armario metálico del Condominio.

### **2.4.2 Red secundaria del Condominio.**

La red secundaria es donde ya se puede verificar los cables de baja capacidad que salen del armario metálico como se puede observar en la Figura 31 y va a las cajas de dispersión como se puede visualizar en la Figura 32. El cable que se utiliza en el condominio va por vía aérea es un cable de 150 pares de 0.4 nm que llega a las cajas de dispersión que están con su nomenclatura en grupos del 1 al 5 en orden ascendente y que va hacia el armario de distribución. Las mismas están ubicadas en cada bloque del condominio la primera caja del grupo es la más lejana al armario y corresponde al número 1.

Como se puede observar en la Figura 32, las cajas de dispersión se constituyen de material plástico que son resistentes a los factores climáticos, cubiertas por un plástico de tipo policarbonato las cuales permiten conectar el cable de 10 pares que ingresan por un lado y por el otro lado sale los cables de acometida hacia el abonado.



Figura 32. Caja de dispersión Condominio.

### 2.4.3 Red de dispersión del Condominio.

La red de dispersión se le conoce como Red de Abonado en la que los cables bifilares salientes de la caja de dispersión llegan hasta conectarlos en los abonados directamente a la roseta telefónica. El cable utilizado en la red de dispersión del condominio es un *NEOPRENO 2X20 AWG*, el policloropreno, más conocido como Neopreno (marca registrada por DuPont), es uno de los cauchos sintéticos desarrollados hasta el momento, es similar al caucho natural pero más resistente a los aceites, los disolventes, la luz solar, la flexión, el calor y las llamas, el AWG hace referencia al calibre o al espesor de elementos metálicos.

En la Figura 33 se puede observar, dentro del cuadro rojo como los cables son distribuidos hasta llegar a la roseta telefónica de cada abonado.

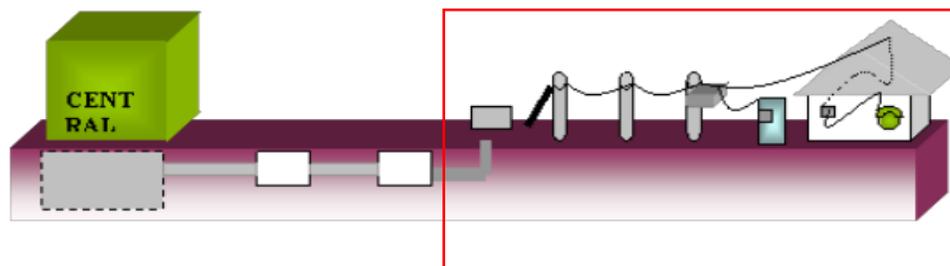


Figura 33. Red de dispersión.

Tomado de (Acosta Jumbo, 2009).

#### **2.4.4 Enlace ADSL del condominio.**

La operadora ofrece dos tipos de servicios con tecnología ADSL, Home y Plus lo que se diferencia entre los dos tipos es la compresión de última milla y los horarios establecidos. Home tiene una compresión de 8 a 1, y Plus tiene una compresión de 4 a 1, en cuanto al horario Home es de 08:00 a 18:00 de lunes a viernes y Plus maneja un horario de 24 x 7 los 365 días del año. Esto influye mucho en el tráfico de datos ya que el plan home tiene una compresión de 8 a 1, esto quiere decir que en un plan de ancho de banda de 5 Mbps si los 8 usuarios están conectados al mismo tiempo este ancho de banda se divide para todos, causando así un cuello de botella y que el internet se haga lento. En cuanto al plan Plus es mejor ya que el ancho de banda será compartido solo para 4 usuarios.

En los condóminos se maneja el servicio Home que es la compresión de 8 a 1, la desventaja de este servicio se da cuando todos los usuarios están conectados a una red ADSL y se produce un bucle en horas pico ya que todos los usuarios están ocupando el internet es decir el ancho de banda contratado se divide para los usuarios conectados reduciendo así el ancho de banda disponible para cada usuario.

Con los avances de la tecnología y programas informáticas los usuarios cada vez necesitan un mejor ancho de banda, velocidad y conexión a internet, es por esto que surge la necesidad de hacer la migración a fibra óptica con tecnología GPON, ya que esta tecnología maneja velocidades, anchos de banda muchos más amplios y la compresión de última milla es de 2 a 1 satisfaciendo así las necesidades del usuario final.

#### **2.4.5 Tecnología y velocidades que usan en el Condómino.**

Actualmente el Condominio usa la tecnología ADSL, con una velocidad teóricamente de bajada de hasta 8 Mbps y una de subida de hasta 1,4 Mbps. En

ADSL es importante saber que la distancia entre la central y el abonado influye mucho ya que si el abonado se encuentra más lejos baja la velocidad de subida y de bajada mientras que el que esté más cerca cumple con los parámetros establecidos. ADSL maneja algunas. En la Figura 34 se puede observar, como varia la velocidad en cuanto a la distancia en los diferentes tipos de ADSL, mientras más lejos este el abonado de la central la velocidad baja.

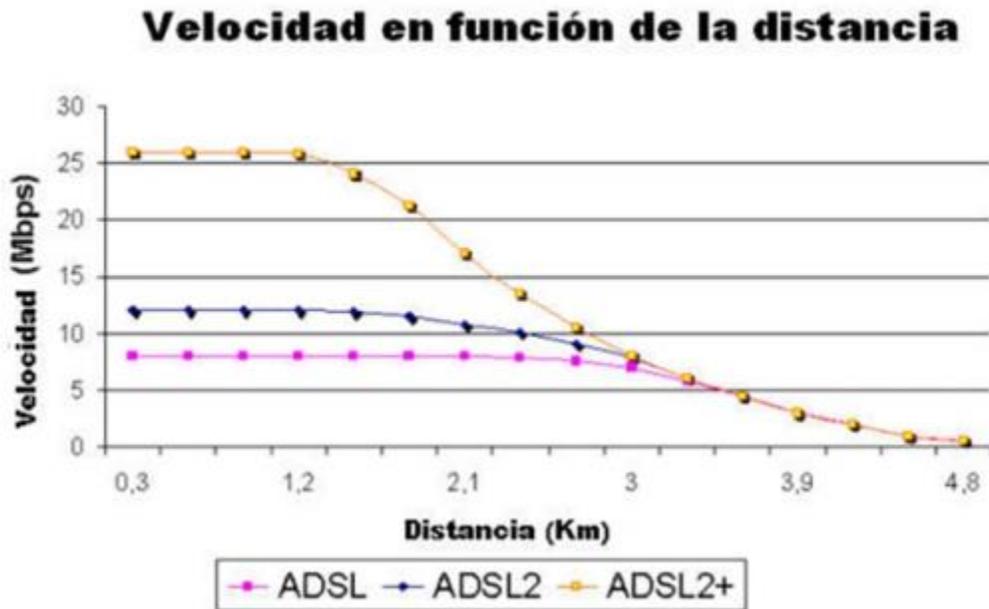


Figura 34. Velocidad en función de la distancia ADSL.  
Adaptado de (Keiser, 2006).

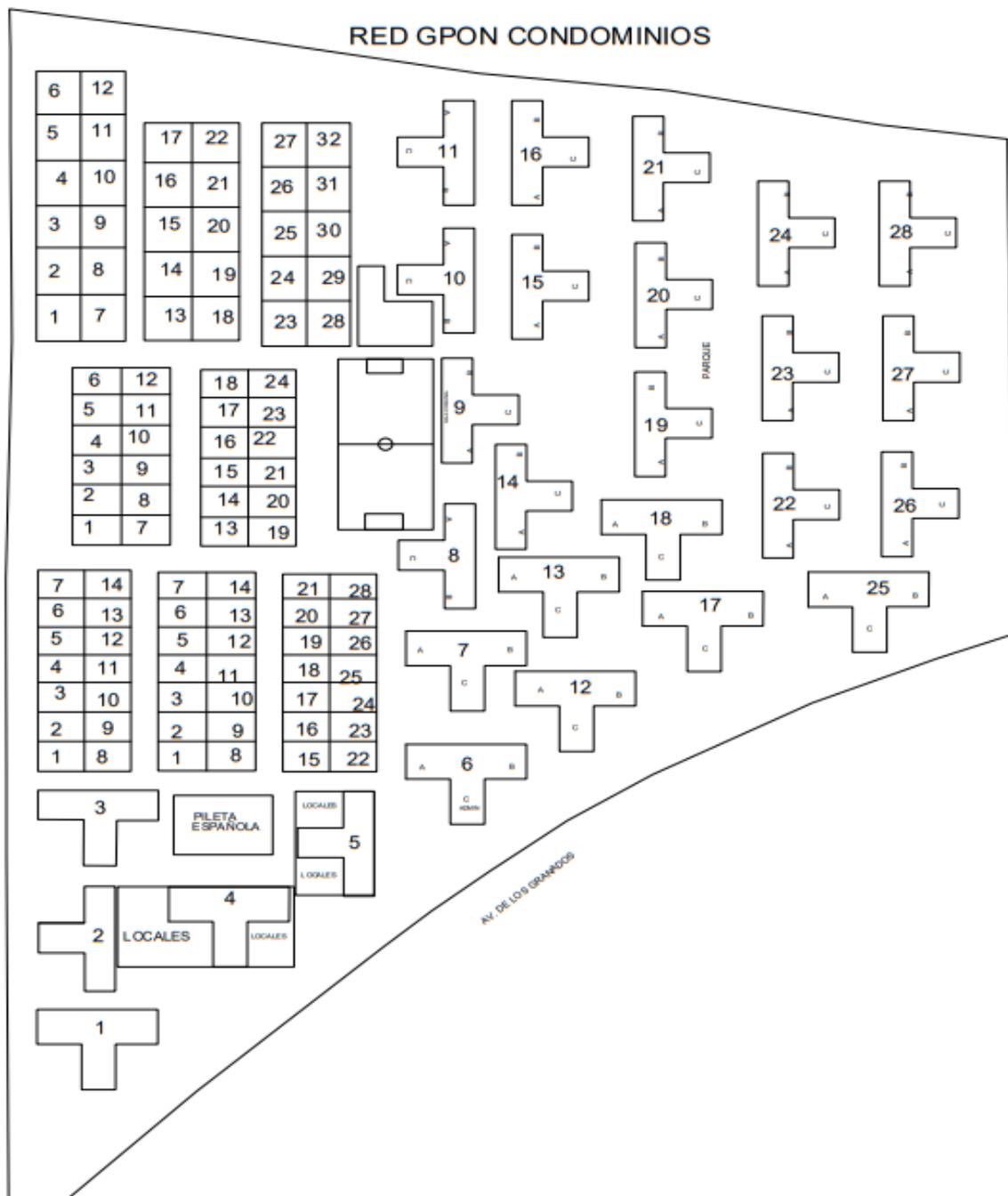
### **3. Capítulo III. Diseño de la red GPON.**

Una vez analizado y definido la red actual del Condominio, conocer su estructura, su tecnología ADSL y sus desventajas, el siguiente paso es diseñar la red de fibra óptica que va a mejorar el servicio y satisfacer las necesidades del usuario final. El presente capítulo especifica las características necesarias para la migración de tecnología ADSL y el diseño de una red FTTH con tecnología GPON para los Condominios, basándose en el estándar ITU-T G.984 (GPON). En el presente diseño se considera la demanda actual y futura por lo cual se diseñó la red para un número de 500 abonados actuales en los Condominios y 52 abonados proyectados para un futuro dando un total de 552 usuarios.

Se realiza la migración de tecnología ADSL a FTTH, ya que una red FTTH con tecnología GPON ofrece una red de acceso con gran capacidad de ancho de banda y velocidades mayores tanto en *upstream* como en *downstream*. A continuación, se va a diseñar el esquema de la red y la arquitectura para los Condominios además se expondrá la distribución de la fibra en los diferentes bloques, los planos del diseño se lo realizaron en el programa AutoCAD.

#### **3.1 Esquema de la red GPON.**

El Condominio está distribuido por bloques, departamentos de un solo piso y locales comerciales. Como se puede observar en la Figura 35, al lado derecho del Condominio consta de 28 bloques de 5 pisos en cada piso hay 3 departamentos. Adicionalmente, dispone de 98 departamentos que están distribuidos en 8 bloques de una planta como se puede observar al lado izquierdo de la figura y en la parte exterior que da hacia la calle hay 4 locales comerciales, dando un total de 552 abonados.



*Figura 35.* Vista superior del esquema del Condominio.

Como se puede observar en la Figura 36, para la distribución de la fibra óptica en los diferentes bloques y departamentos y la ubicación de los *splitters* se va a considerar dividir el Condominio en 3 zonas, para poder ingresar con 3 cables de fibra óptica, uno cable de 48 hilos y dos cables de 24 hilos que se conectaran a las

cajas NAPs ubicadas en cada bloque del Condominio, esto se explicará con más detalle en la sección 3.2.2 del proyecto.



Figura 36. División de Zonas del Condominio.

En la Tabla 7 se especifica el cable que va dirigido a cada zona y el número de usuarios en cada zona.

Tabla 7.

*Zonas y número de usuarios del Condominio.*

Zona	# de hilos	# Usuarios
1	48	345
2	24	79
3	24	98
Total		552

### 3.2 Arquitectura de la red GPON.

La arquitectura que se va a implementar en este proyecto es dos niveles de *splitting* o divisores ópticos entre la OLT y la ONT, el primer nivel será de 1:8 es decir que al *splitter* se le fusiona un hilo de fibra óptica y sale 8 hilos de fibra óptica para 8 usuarios y el segundo nivel es con dos *splitter* de 1:8 los cuales se utilizarán para los bloques de 5 pisos cubiertos por cajas NAP ubicados en la terraza de cada bloque. Para la red dispersión se considera mediante una red tipo estrella dando conexiones punto a punto desde la salida de los *splitter* hacia las ONTs de cada abonado. La distancia desde la OLT hasta la ONT es de aproximadamente 6 Km.

#### 3.2.1 Red feeder

El segmento de la red de *feeder* son los cables de fibra óptica que inician desde la central hacia la caja de distribución donde se encuentran los *splitter* de red que se encargan de multiplexar la información hacia los clientes finales (CNT E.P., 2015). Para este proyecto se considerará que el paso de la fibra óptica que viaja desde el nodo de la central, va a ser por vía soterrada hacia los Condominios, como se puede observar en la Figura 37, la fibra viajará desde la OLT hasta la ONT por las calles

Gaspar de Villarreal hasta la 6 de diciembre para luego subir por la calle Granados llegando a la entrada principal del Condominio en ese punto se encuentra la salida de un pozo donde llegan los cables de datos que ingresan hacia los Condominios.



Figura 37. Recorrido de la fibra óptica desde la OLT hacia la ONT.

### 3.2.1.1 Fibra óptica para la red *feeder*.

El cable de fibra óptica en una red *feeder* es canalizado y de alta capacidad, utilizan cables de 144 hilos o de 288 hilos, estos cables son propensos a ataques de roedores que por lo general rompen la fibra óptica, es por esto que la fibra de la red *feeder* tiene una coraza de acero debajo de la cubierta de un material de polietileno para la protección de los roedores y la humedad. Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente sobre las fibras ópticas de tipo monomodo y multimodo, para la red *feeder* se recomienda usar una fibra óptica monomodo ya que las fibras de este tipo se usan para distancias largas.

La distancia de la red *feeder* desde la OLT hasta el primer nivel de *splitting* de este proyecto tiene una distancia aproximadamente de 5.8 Km, basándonos en las recomendaciones de la ITU (del inglés, *International Telecommunication Union*) para este proyecto se usará el cable canalizado normalizado que cumple con la norma de la ITU-T G.625.D de 144 hilos ya que es suficiente para la demanda de los usuarios del Condominio, esta fibra es óptima para transmitir en ventanas de 1310 y 1550 nm.

El concepto de sangrado de fibra óptica es un proceso que se utiliza en la instalación de las mangas donde se toman en cuenta solo las fibras que se van a utilizar del *buffer*, es decir se le hace un hueco en la chaqueta que cubre la fibra óptica y se sacan las fibras a utilizarse para fusionar y las demás que no se van a utilizar se las deja que sigan su recorrido. Este proceso se lo va a realizar en el proyecto cuando el cable de fibra óptica que viene desde la OLT llegue al primer nivel de *splitting* del Condominio, se sangraran los cables que son necesarios para los abonados y los demás se dejaran que sigan su recorrido.

En la Tabla 8 se puede observar los diferentes atributos de la fibra óptica con la norma de la ITU-T G.625.D.

Tabla 8.

*Atributos de la fibra UIT- G652.D.*

Atributos de la fibra		
Atributo	Detalle	valor
Modo diámetro de campo	Longitud de onda	1310 nm
	Rango de valores nominales	8.6 a 9.5 micras
	Tolerancia	± 0,6 micras
Diámetro del revestimiento	Nominal	125.0 micras
	Tolerancia	± 1 m
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0.6 micras
No circularidad de revestimiento	Máximo	1.0%
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	126 nm
Pérdida de macrocurvaturas	Radio	30 nm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0.1 Db
Tensión de pruebas	Mínimo	0.6 Gpa
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda$ min	1300 nm
	$\lambda$ máx.	1324 nm

Tomado de (UIT-T, 2009).

### 3.2.1.2 Área de distribución.

Para poder hacer la distribución de la fibra hay que conocer el lugar donde va a ser distribuido lo más recomendable es hacer un *survey* del lugar, que es un reconocimiento o una inspección de lugar para instalarse la fibra óptica.

El Condominio consta de 28 bloques que van a estar enumerados del 1 al 28, tiene 98 casas de un solo piso van a estar enumeradas y repartidas en 3 zonas A, B, C respectivamente, hay 4 locales comerciales que son parte del bloque 4 y bloque 5. Hay que tomar en cuenta que en cada bloque hay 15 departamentos, esto para poder dividir los *splitter* que van a ir en cada NAP que se va a usar y poder saber

cuántos hilos utilizar ya que en algunas cajas NAP van a ir dos *splitters* de 1:8 y en otras van a ir un solo *splitter* de 1:8, en la sesión 3.2.3.2 se va a detallar la distribución de los elementos que comprenden la red ODN.

### **3.2.2 Diseño de la ODN**

#### **3.2.3 Red de distribución (ODN)**

Una vez que se tiene claro el área donde va a ser distribuido la fibra óptica, el número de usuarios que se pretende llegar, se realiza el diseño de la red óptica de distribución, hay que tomar en cuenta cómo va a ser los niveles de *splitting*, como van a ser distribuidos las NAPs, que tipo de fibra y de cuantos hilos se va a utilizar para cada bloque. En la Figura 38 se puede observar cómo va estar distribuido la fibra óptica en las 3 zonas del Condominio, hay que considerar que se debe garantizar un presupuesto óptico de máximo 25 dB, desde el equipo activo OLT hasta la ONT instalada en el cliente y la red de distribución no debe sobre pasar los 300m de distancia (CNT E.P., 2015).

### 3.2.3.1 Plano del diseño y distribución de la red FTTH con tecnología GPON



Figura 38. Plano de distribución de fibra óptica en el Condominio.

En el siguiente enlace se puede observar el plano del diseño en formato AutoCAD [clic aquí](#)

### 3.2.3.2 Cable de fibra óptica en la ODN.

Para la red de distribución de este proyecto se va a utilizar la fibra óptica aérea G.652D, la capacidad de estos cables es de 6 hilos hasta 96 hilos, en la Tabla 9 se puede observar las diferentes capacidades de cables de fibra óptica para cada segmento de la red FTTH.

Tabla 9.

*Capacidad de los cables de fibra óptica.*

Capacidad de los cables de fibra óptica		
Aplicación	Capacidad	Tipo
Feeder	288, 144 hilos	Ducto G.652D
Distribución interna de urbanizaciones	96,72,48,24,12,6 hilos	ADDS ó DUCTO G652D
Distribución interna en edificios	48,24,12 hilos	Riser ducto G.657.A1 ó G.657.A2
Dispersión	2 hilos	ADDS, ducto ó G.657.A1 ó G.657.A2

Tomado de (CNT E.P., 2015).

Para la zona 1 se va utilizar un cable de fibra óptica 48 hilos que serán repartidos en las entradas de los *splitters* que se van a colocar en cada bloque, para la zona 2 se va a utilizar un cable de fibra óptica de 24 hilos que igualmente será repartido en los *splitters* de cada bloque y para la zona 3 se va utilizar una fibra óptica de 24 hilos que serán repartidos en las zonas de las casas de un solo piso ubicadas en las zonas A, B, C. Se considera este número de hilos para cada bloque dependiendo el número de usuarios que hay en cada bloque, En la sección 3.2.3.1 se detallará cómo se va a utilizar cada uno de estos hilos. En la Tabla 10 se especifica la zona y el cable de fibra óptica que se va a utilizar.

Tabla 10.

*Número de hilos en cada zona del Condominio.*

Zona	# cables	# hilos
1	1	48
2	1	24
3	1	24

En un cable de fibra óptica los hilos vienen distribuidos en *buffers* de colores, y en cada buffer viene 12 hilos igualmente de colores, es decir que en un cable de fibra de 48 hilos van a estar 4 buffers de 12 hilos cada uno, por lo cual sería 12 x 4 que daría los 48 hilos que contiene el cable.

Para empezar a fusionar y a utilizar la fibra se debe considerar el código de colores de la fibra óptica ya que se debe realizar en orden como se observa en la Figura 39, empezando por el azul, anaranjado hasta terminar en el celeste y se va fusionando ordenadamente esto para poder tener un control sobre el diseño. En la Figura 39 se puede observar la identificación de los hilos del cable de fibra óptica que está en función de la Norma TIA/EIA 598.

**Código de color de la fibra óptica para  
Tubo holgado, Tubo estrecho(TIA/EIA-598)**

Posición	Colores
1	Azul
2	Anaranjado
3	Verde
4	Café
5	Plateado (Gris)
6	Blanco
7	Rojo
8	Negro
9	Amarillo
10	Violeta
11	Rosa (Rosado)
12	Aqua (Celeste)

*Figura 39. Código e colores de la fibra óptica*

Tomado de (CNT E.P., 2015).

### 3.2.3.3 Elementos de la red de distribución.

El presente proyecto constará de dos niveles de *splitting*, el primero se dará en la entrada principal del Condominio. En el pozo de ingreso de los cables de datos hay un ODF y es ahí donde se va a realizar las primeras fusiones con los *splitters*. Como se había mencionado desde la OLT viene un cable de 96 hilos del cual se va a tomar 12 hilos para hacer las fusiones en el primer nivel de *splitting*.

El primer nivel de *splitting* tendrá 9 *splitters* de 1:8 por lo que de la fibra de 12 hilos que viene de la OLT se tomará solo 9 hilos y se empezará hacer las fusiones con los *splitters*.

El primer cable de 48 hilos que va a la zona 1 se le va a dividir en 4 grupos de 12 hilos y adoptará una letra del abecedario y un código alfanumérico por el cual se les identificará así; A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4 etc. En la Figura 40 se puede observar, cómo va a estar asignado cada salida del *splitter* con su respectiva letra y numeración que va a ir fusionado con el cable que va hacia el bloque del conjunto, además se puede ver cómo debe ir fusionado las fibras respetando el código de colores ya antes mencionado.

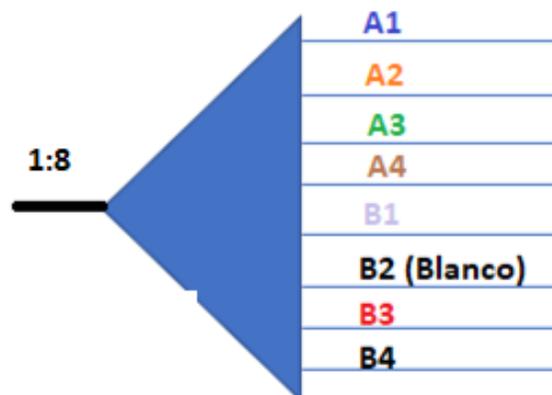


Figura 40. Splitter 1: Asignación de nomenclatura y colores del *splitter*.

En la Figura 41 se puede observar cómo va conectado la fibra desde el primero nivel de *splitting* hacia el segundo nivel de *splitting*, siguiendo el orden designado para

cada salida del *splitter* se conecta a la caja NAP designada para cada bloque del Condominio. En la tabla 12 se puede ver la distribución de las cajas NAP.

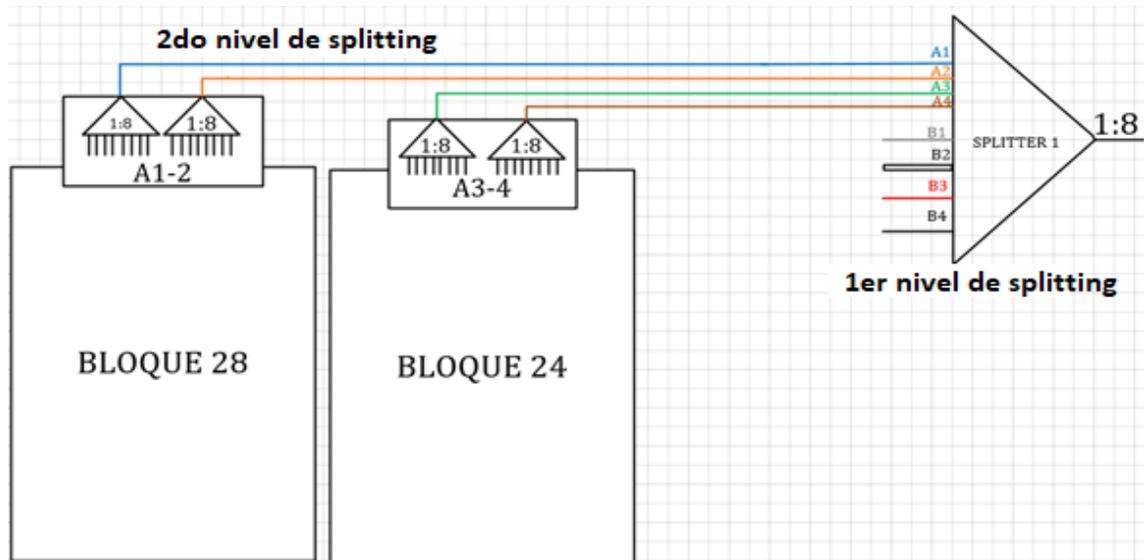


Figura 41. Distribución del primer nivel de *splitting* hasta el segundo nivel de *splitting*.

Para el diseño de este proyecto se considera utilizar 69 *splitters* de 1:8 distribuidos en todo el Condominio dando como resultado  $69 \times 8 = 552$  usuarios que es el alcance de este diseño. En la tabla 11 se puede observar cómo están distribuidos los *splitters* en cada zona.

Como se observa en la Figura 36, en la primera zona de color azul hay 23 bloques y en cada bloque se va a poner dos *splitter* de 1:8 eso quiere decir que cubrirá para 16 abonados en cada bloque, recordando que por bloque hay 15 departamentos, se ocuparán 46 hilos de los 48 designados a esta zona ya que en esta zona se colocarán 23 cajas NAPs que contienen 2 *splitters* cada caja NAP por lo cual se tendrá un total de 46 *splitters* es por eso que se usarán 46 hilos en esta zona y se le asignará la nomenclatura y numeración desde A1 hasta L2.

En la segunda zona de color naranja hay 5 bloques se colocará 5 cajas NAPs que contienen 2 *splitters* de 1:8 cada caja NAP dando un total de 10 *splitters*, la fibra

designada para esta zona es de 24 hilos por lo cual solo se ocupará 10 hilos que irán fusionados a los 10 splitters designados en esta zona. Continuando con la serie para esta zona se le asigna la numeración desde L3 hasta N4.

En la tercera zona de color verde se colocarán 13 cajas NAPs que contiene un *splitter* de 1:8 cada caja NAP, por lo cual se cubrirá la zona de 98 casas de una planta, la fibra designada para esta zona es de 24 hilos y se ocuparán 13 hilos que irán fusionados a los 13 splitters designados a esta zona, siguiendo la nomenclatura y numeración en este bloque se le asignan desde O1 hasta R1. En la tabla 11 se puede observar cómo se distribuye las zonas, el número de hilos de fibra óptica, las NAPs y los *splitters* en el Condominio.

Tabla 11.

*Distribución de los elementos de la ODN.*

Zona	# de hilos	# hilos ocupados	Bloques	# Usuarios	# <i>Splitters</i>	# NAPs
1	48	46	6-28	345	46	23
2	24	10	1- 5	79	10	5
3	24	13	A-H	98	13	13
<b>Total</b>	96	69		552	69	41

#### **3.2.3.4 Distribución de las NAPs en los bloques y departamentos.**

Siguiendo las recomendaciones de la normativa técnica de diseño de planta externa con fibra óptica de la CNT, en la Tabla 12 se puede observar cómo está identificada cada caja NAP ubicada en los diferentes bloque del Condominio, con su respectiva nomenclatura del abecedario y su numeración, hay que tomar en cuenta que la tabla está en orden desde el bloque más lejano al primer nivel de *splitting*, ya que se considera el bloque más lejano para empezar con la nomenclatura y la numeración los colores identifican la zona en la que fue distribuida el condominio: azul zona 1, naranja zona 2 y verde zona 3.

Tabla 12.

*Distribución e identificación de las cajas NAPs.*

Bloque	Identificación de cajas NAP	Splitter	Bloque	Identificación de cajas	Splitter
BLOQUE 28	A1-2	1	CASA H30	O1	8
BLOQUE 24	A3-4		CASA G20	O2	
BLOQUE 21	B1-2		CASA F10	O3	
BLOQUE 20	B3-4		CASA F4	O4	
BLOQUE 27	C1-2	2	CASA E22	P1	
BLOQUE 23	C3-4		CASA D10	P2	
BLOQUE 19	D1-2		CASA D4	P3	
BLOQUE 18	D3-4		CASA A4	P4	
BLOQUE 22	E1-2	3	CASA A11	Q1	9
BLOQUE 26	E3-4		CASA B4	Q2	
BLOQUE 25	F1-2		CASA B11	Q3	
BLOQUE 17	F3-4		CASA C18	Q4	
BLOQUE 11	G1-2	4	CASA C25	R1	
BLOQUE 16	G3-4				
BLOQUE 15	H1-2				
BLOQUE 10	H3-4				
BLOQUE 9	I1-2	5			
BLOQUE 14	I3-4				
BLOQUE 8	J1-2				
BLOQUE 13	J3-4	6			
BLOQUE 7	K1-2				
BLOQUE 12	K3-4				
BLOQUE 6	L1-2	7			
BLOQUE 1	L3-4				
BLOQUE 3	M1-2				
BLOQUE 2	M3-4				
BLOQUE 4	N1-2				
BLOQUE 5	N3-4				

### 3.2.3.5 Identificación de la fibra óptica

La identificación de la fibra óptica para este proyecto se va a realizar siguiendo las normativas de la CNT, en el cual dice que los cables se identifican con cinco campos, el primero indica el orden con que sale de la OLT, el segundo y tercer campo indican derivación a nivel de empalme, el cuarto campo corresponde a la capacidad del cable y el quinto campo corresponde a los hilos activos o utilizados. En la Figura 42 se puede observar un ejemplo de la normativa de CNT, en el cual indica cómo se debe identificar un cable para la distribución en una red FTTH con tecnología GPON.

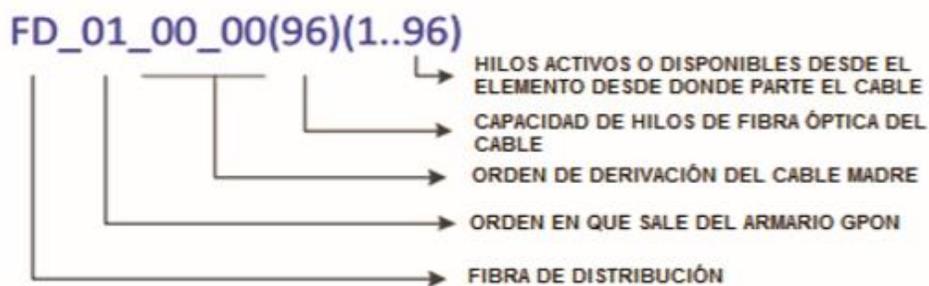


Figura 42. Identificador de un cable de fibra óptica en la red de distribución  
Tomado de (CNT E.P., 2015)

En la figura 43 se muestra un ejemplo de cómo se identifica un cable de fibra óptica que viene desde la red *feeder*.

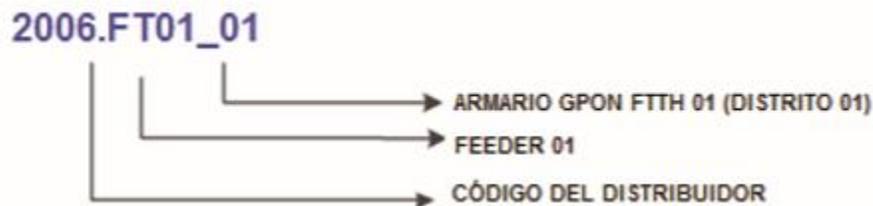


Figura 43. Identificador de un cable de fibra óptica en la red *Feeder*.  
Tomado de (CNT E.P., 2015)

En el plano diseñado para este proyecto se identificaron las fibras que llegan de la red *feeder* que serán distribuidas en los diferentes bloques del condominio y finalmente se estableció un identificador en cada fibra.

En la Figura 44 se puede observar un ejemplo completo del diseño; cómo está identificado la caja NAP, cuantos *splitters* contiene, el tipo y código de la fibra que llega hasta el Bloque 19 del Condominio, la caja NAP pertenece a la serie D1-D2, la letra P que se puede observar significa que es privado, en todas las NAPs van a llevar una letra P. Hay dos *splitter* de 1:8 designados para este bloque y se puede observar el código de la fibra de distribución designada hasta este bloque, la cual está identificado con los códigos revisados anteriormente con la normativa de la CNT.

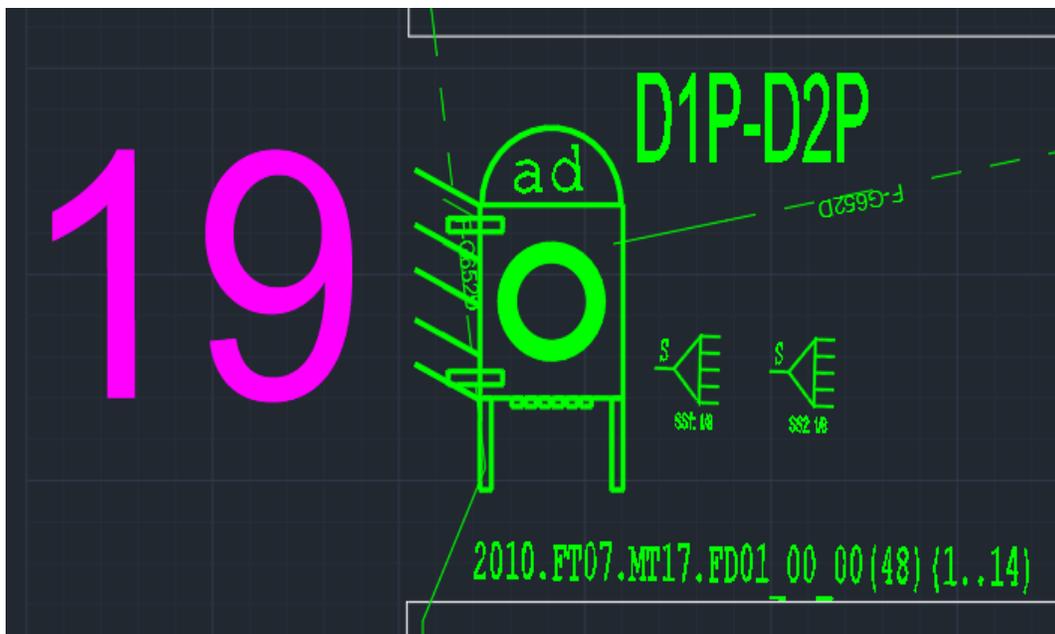


Figura 44. Ejemplo de la identificación de los elementos de la ODN.

### 3.2.4 Red de dispersión.

La red de dispersión conforma toda el área que cubre desde el *splitter* colocado en las cajas NAPs ubicadas en las terrazas de cada bloque del Condominio hasta la

ONT ubicada en cada cliente, es decir es la distribución del cable de fibra óptica que sale desde el segundo nivel de splitter hacia el usuario final en cada departamento o local. La red de dispersión no debe pasar los 300 metros.

Según la normativa utilizada, los cables de fibra óptica para la red de dispersión deberán cumplir con la norma ITU-T G.657 A1-A2 aéreo, que hace referencia a la optimización y flexibilidad del cable para las instalaciones internas. Según lo analizado sobre el tipo de fibra óptica para esta parte de la red del proyecto se usará una fibra de tipo multimodo de tipo DROP con la normativa ITU-T G.657 A1 ya que la fibra óptica G.657 A1 establece un radio de curvatura de máximo 10 nm.

### **3.2.5 ONT**

Es el equipo que se encuentra ubicado en la casa del abonado y se convierte en el punto final de la red, entre el proveedor de servicio y el cableado del usuario final ofreciendo las interfaces de usuario. El modelo de ONT seleccionado para la red FTTH-GPON correspondiente a este proyecto es un ONT de marca CALIX T071G

En la Figura 45 se puede observar la red de dispersión para los diferentes bloques del Condominio, se distribuye la fibra óptica hacia cada abonado, en este caso la fibra óptica sale de la caja NAP donde se encuentran ubicados dos *splitters* 1:8 los hilos de fibra óptica bajan por los ductos ya construidos en cada bloque del Condominio para luego ser distribuido hacia el departamento donde se encuentra la ONT de cada usuario, recordando que hay 5 pisos y en cada piso hay 3 departamentos con un total de 15 departamentos.

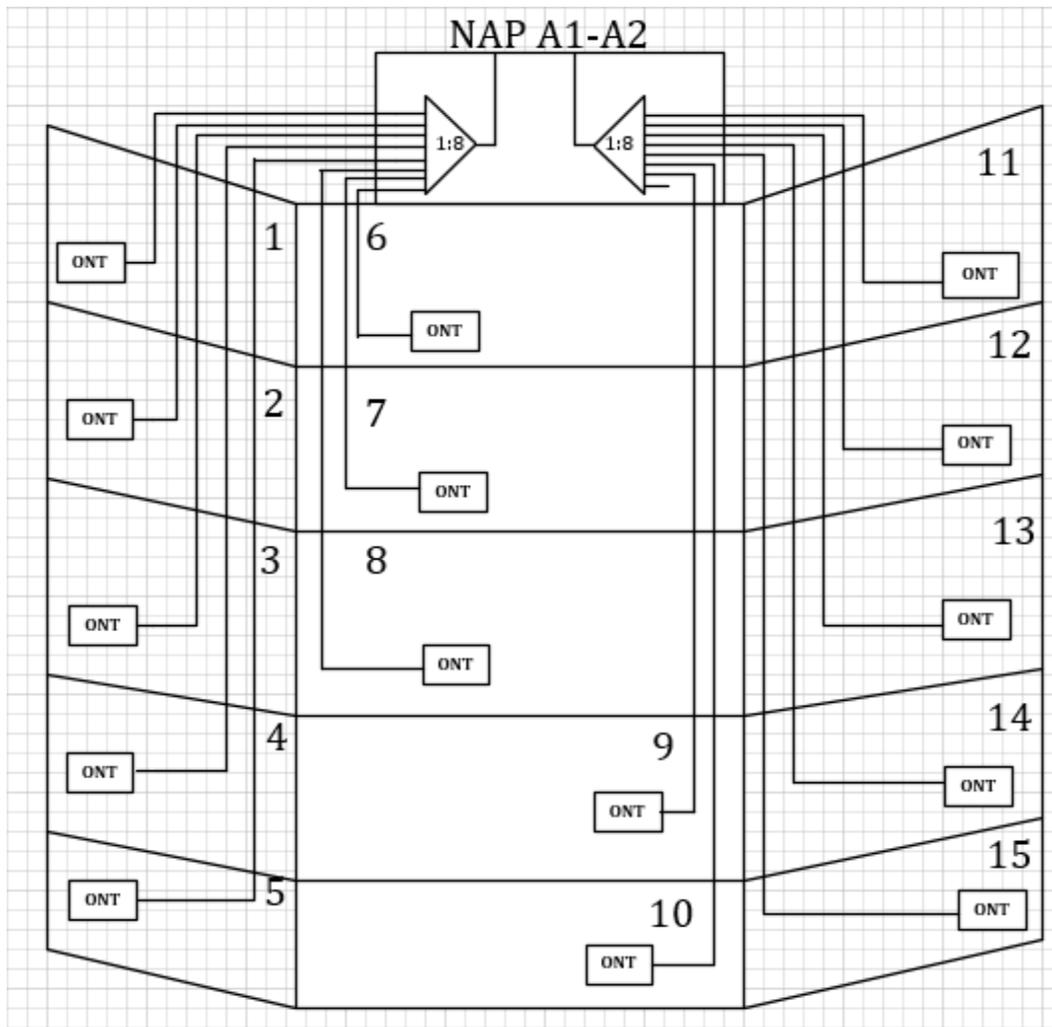


Figura 45. Distribución de la fibra en el bloque del Condominio

### 3.2.6 Conectores

Siguiendo la normativa de construcción de planta externa con fibra óptica de CNT, indica que todos los *pigtails* o conectores, *splitters* y acopladores que se utilicen en la red GPON deben ser de tipo SC (del inglés, *Standard Conector*), los SC alinean las fibras con precisión debido a sus férulas de cerámica, que funcionan con un sistema *push* y *pull* y esto facilita la conexión y para reducir las pérdidas de retorno y pérdidas de inserción en el diseño se debe usar el pulido APC (del inglés, *Angled Physical Contact*), las férulas de los conectores APC tienen un ángulo de 8°,

logrando que las conexiones sean mucho más unidas. Los estándares de la industria indican que deben tener una pérdida de retorno de -60dB (Orozco, 2018).

En la Figura 46 se puede observar, el tipo de conector SC, para la fibra monomodo se utiliza el color azul, para la fibra multimodo se usa el color *beige* y los conectores APC son verdes.



*Figura 46.* Conector APC

Tomado de (Orozco, 2018).

En la Figura 47 se puede observar el pulido APC, esto hace referencia al Angulo de corte que tiene el conector.



*Figura 47.* Pulido APC

Tomado de (Orozco,2018).

A continuación, se detalla en la Tabla 13 un resumen de del tipo de fibra que se seleccionó para las diferentes áreas de la red GPON del condominio.

Tabla 13.

*Selección de la fibra óptica para el diseño de red GPON.*

Sección de la red GPON	Tipo de Fibra óptica
Red <i>feeder</i>	G.652.D
Red de distribución	G.652.D
Red de dispersión	G.657.A1

## 4. Capítulo IV. Análisis técnicos y económicos

Después de haber realizado el diseño de la red de fibra óptica con tecnología GPON para los Condominios, es importante analizar los parámetros técnicos del enlace propuesto en la capa física. Además, se va a realizar un estudio económico del valor que tendría el alcance de este proyecto para poder establecer las ventajas y desventajas que se obtiene al hacer una migración de tecnología ADSL a fibra óptica GPON.

### 4.1 Capacidad total de la red óptica propuesta.

Para poder determinar la capacidad total de la red, es necesario conocer el número total de los abonados existentes y la demanda del servicio de internet que se va a proveer. Como mencionó en el capítulo 2, para este proyecto hay una demanda de 552 usuarios en el Condominio, Actualmente el Condominio maneja planes con tecnología ADSL de 3 y 5 Mbps por usuario aproximadamente un total de 800 Mbps lo cual es una capacidad muy baja para solventar las necesidades del usuario por este motivo se realiza la migración para lograr anchos de banda y velocidades más altas por lo cual, basándonos en los planes actuales de las redes de fibra óptica se considera entregar a los usuarios del Condominio un ancho de banda de 10 Mbps a cada usuario con compartición de 2:1 dando un total aproximadamente de 2.760 Mbps. Como es posible observar en la ecuación (3) el cálculo de esta velocidad y su resultado en la ecuación (4)

$$CT = \frac{NU * BW}{C},$$

(Ecuación 3)

donde:

$CT$ = Capacidad Total

$NU$ = Número de usuarios

$BW$ = Ancho de banda propuesto

$C$  = Compartición de Usuarios

Para el presente proyecto se considera:

$NU = 552$

$BW = 10$  Mbps

$C = 2:1$

$$CT = \frac{552 * 10 \text{ Mbps}}{2} = 2.760 \text{ Mbps},$$

(Ecuación 4)

En base al cálculo realizado se puede observar que la capacidad total de la red va a ser de 2.760 Mbps para satisfacer un plan de 10 Mbps con compartición de 2:1 para los usuarios del Condominio.

## 4.2 Pruebas de capa física en la ODN.

### 4.2.1 Cálculo del presupuesto óptico del enlace

Es la cantidad máxima de pérdidas que puede tolerar el enlace entre el emisor y el receptor. En un diseño de una red de fibra óptica es fundamental realizar el cálculo del presupuesto óptico. La ecuación (5) se puede observar los elementos que se deben considerar al momento de hacer el cálculo del presupuesto óptico del enlace en todo el trayecto de la ODN (Quisnancela & Espinosa, 2016).

$$x = (a + b) + (c * d) + (e * f) + (g * h),$$

(Ecuación 5)

dónde:

x: Atenuación total teórica dada en (dB)

a: Atenuación del splitter 1 dada en (dB)

b: Atenuación del splitter 2 dada en (dB)

- c: Atenuación de la longitud de onda dB/Km
- d: Distancia del enlace a diseñar en (Km)
- e: Atenuación del punto de empalme en (dB)
- f: Cantidad total de puntos de empalme en el enlace u
- g: Atenuación de los conectores en dB
- h: Cantidad total conectores en el enlace

Para realizar el cálculo del presupuesto óptico se debe considerar las 3 zonas del Condominio.

En primer lugar, se tomará en cuenta la zona que está más lejana a la OLT, los cálculos se lo realizarán en la zona 1 bloque 28, que tiene una distancia aproximadamente de 6 Km desde la OLT. El cálculo del presupuesto óptico se lo va a realizar mediante todas las sumas de las atenuaciones que se existe en el enlace desde la OLT hasta la ONT del bloque 28.

Se procederá hacer los cálculos de pérdida del enlace en el sentido *upstream* con una longitud de onda de 1310 nm, y en el sentido *downstream* con una longitud de onda de 1490 nm.

En la Figura 48 se puede observar el recorrido que va a tener el presupuesto óptico, hay 7 conectores de tipo SC con pulido APC de color verde los cuales tienen pérdidas de 0.5 dB y 7 fusiones representadas de color rojo los cuales tienen pérdidas de 0.1 dB.

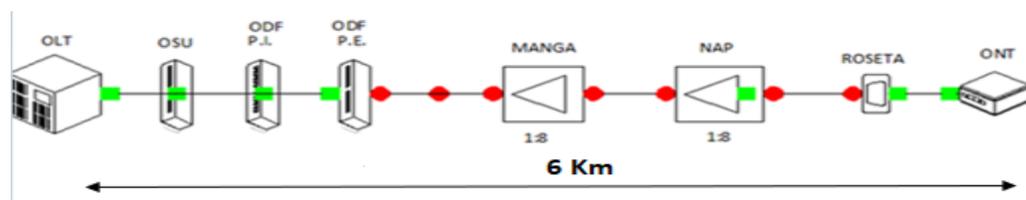


Figura 48. Fusiones y conectores del enlace óptico

En la Tabla 14 se puede observar, el cálculo del presupuesto óptico del enlace en el sentido *upstream* con una longitud de onda de 1310 nm. Hay 7 conectores y 7

fusiones con sus respectivas perdidas además dos *splitters* y una longitud de la fibra de 6 Km.

Tabla 14.

*Cálculo de presupuesto óptico upstream.*

Elementos de la Red de Fibra Óptica		Cantidad	Pérdida típica del elemento (dB)	Pérdida Total (dB)
Conectores acoplados ITU671=0.5dB		7	0,50	3,50
Fusiones ITU751=0.1db promedio		7	0,10	0,70
Empalmes mecánicos ITU 751=0.1dB promedio			0,60	0,00
Splitters	1x2		3,50	0,00
	1x4		7,00	0,00
	1x8	2	9,75	19,50
	1x16		14,00	0,00
	1x32		17,50	0,00
	1x64		21,00	0,00
	2x4		7,90	0,00
	2x8		11,50	0,00
	2x16		14,80	0,00
	2x32		18,50	0,00
	2x64		21,30	0,00
Longitud de Fibra (Km) / longitudes de onda	1310nm	6	0,35	2,10
	1490nm		0,30	0,00
	1550nm		0,25	0,00
<b>TOTAL (dB)</b>				<b>25,80</b>

En la Tabla 15 se puede observar, el cálculo del presupuesto óptico del enlace en el sentido *downstream* con una longitud de onda de 1490 nm. Hay 7 conectores y 7 fusiones con sus respectivas perdidas además dos *splitters* y una longitud de la fibra de 6 Km.

Tabla 15.

*Cálculo de presupuesto óptico downstream.*

Elementos de la Red de Fibra Óptica		Cantidad	Pérdida típica del elemento (dB)	Pérdida Total (dB)
Conectores acoplados ITU671=0.5dB		7	0,50	3,50
Fusiones ITU751=0.1db promedio		7	0,10	0,70
Empalmes mecánicos ITU 751=0.1dB promedio			0,60	0,00
Splitters	1x2		3,50	0,00
	1x4		7,00	0,00
	1x8	2	9,75	19,50
	1x16		14,00	0,00
	1x32		17,50	0,00
	1x64		21,00	0,00
	2x4		7,90	0,00
	2x8		11,50	0,00
	2x16		14,80	0,00
	2x32		18,50	0,00
	2x64		21,30	0,00
Longitud de Fibra (Km) / longitudes de onda	1310nm		0,35	0,00
	1490nm	6	0,30	1,80
	1550nm		0,25	0,00
<b>TOTAL (dB)</b>				<b>25,50</b>

#### 4.2.2 Cálculo de potencia del enlace.

Una de las pruebas que nos permiten saber si los equipos pueden soportar la señal transmitida es el balance de potencia, permite conocer si con el nivel de potencia que es transmitido desde la OLT, la atenuación total del enlace y la sensibilidad del receptor es suficiente para cubrir todo el enlace óptico y poder transmitir la información de forma adecuada y con las velocidades requeridas.

En la Tabla 16 se puede observar, la norma de la ITU-T G.984.2 Enmienda 1, donde indica y establece los valores que se puede llegar a tener en un enlace óptico.

Tabla 16.

*Norma ITU-T G.984.2*

Ítems	Valores
Velocidad de transmisión	2,4 [Gbps] down - 1,2 [Gbps] up
Longitud de onda	1490 [nm] - 1310 [nm]
Distancia de Tx	20 [Km]
Máxima sensibilidad de recepción	-28 [dBm]
Mínima sensibilidad de recepción	-5 [dBm]
Potencia Tx	5 [dBm]

Tomado de (UIT-T, 2006).

Considerando los valores de la Tabla 16 y sabiendo que la distancia desde la OLT hasta la ONT de este proyecto es de aproximadamente 6 Km se va a tomar dos valores para realizar los cálculos, el primero será 5 dBm como indica la norma y el segundo cálculo será 0 dBm que es la potencia que se recomienda el diseño de la red del Condominio.

Teniendo en cuenta estos datos y tomando los valores obtenidos del presupuesto óptico en el sentido *upstream* y *downstream* mostrados en la Tabla 14 y Tabla 15 respectivamente se calcula el balance de potencia óptica donde se sabe que la máxima sensibilidad del receptor debe ser menor o igual a -28 dBm. La ecuación (6) nos permitirá calcular el balance de potencia óptica del enlace.

$$P_{RX} \leq P_{TX} - \alpha_{TOTAL},$$

(Ecuación 6)

donde:

$P_{RX}$  = Máxima sensibilidad del receptor.

$P_{TX}$  = Máxima potencia del transmisor óptico.

$\alpha_{total}$  = Pérdidas totales del enlace.

Valor 1 = 5 dBm, sentido *upstream*.

$$P_{RX} \leq P_{TX} - \alpha_{TOTAL}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq 5 \text{ dBm} - 25.80 \text{ dB}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq -20.80 \text{ dBm}$$

Valor 1 = 5 dBm, sentido *downstream*.

$$P_{RX} \leq P_{TX} - \alpha_{TOTAL}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq 5 \text{ dBm} - 25.50 \text{ dB}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq -20.50 \text{ dBm}$$

Valor 2 = 0 dBm, sentido *upstream*.

$$P_{RX} \leq P_{TX} - \alpha_{TOTAL}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq 0 \text{ dBm} - 25.80 \text{ dB}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq -25.80 \text{ dBm}$$

Valor 2 = 0 dBm, sentido *downstream*.

$$P_{RX} \leq P_{TX} - \alpha_{TOTAL}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq 0 \text{ dBm} - 25.50 \text{ dB}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq -25.50 \text{ dBm}$$

Según la normativa de la ITU- G.984.2 indica que los niveles de recepción de potencia del enlace deben tener valores aproximados entre -20 dBm y -26 dBm, si los valores son diferentes a lo establecido se debería revisar la instalación en cada punto para poder saber dónde está el problema y poder corregirlo (UIT-T,2006). En los cálculos realizados se puede observar que el resultado se encuentra dentro del rango de valores aproximados indicado por la norma ITU-T G.9842 es decir que el diseño de este proyecto planteado es factible.

### **4.2.3 Ventajas y desventajas de la migración de la red ADSL a red GPON.**

Después de haber estudiado las necesidades de los usuarios del Condominio en cuanto a velocidades, ancho de banda y mejoras que necesitaba la red ADSL, se diseñó una migración de tecnología a fibra óptica FTTH con tecnología GPON para el Condominio por lo cual se pudo obtener ventajas y desventajas de las diferentes tecnologías las cuales se describe a continuación:

Las redes FTTH están basadas en la arquitectura PON, esto es una gran ventaja ya que los equipos eléctricos se encuentran ubicados en los extremos de la red, por lo cual es una ventaja el mantenimiento y la reparación de estos equipos logrando así reducir los costos en una red de fibra óptica GPON.

Una de las principales ventajas de la migración de una red ADSL a una red GPON es la manera en la que se envían las señales ya que la fibra óptica envía señales de luz lo que permite alcanzar grandes velocidades para navegación en el internet y una mejor calidad de señal, además que la fibra óptica presenta menor índice de errores ya que es inmune a los pulsos electromagnéticos y la radio interferencia, mientras que una desventaja de las ADSL es que están compuestas por hilos de cobre por la cual viajan señales eléctricas haciendo de esto que la calidad del servicio dependa de factores externos y es por esto que se da muchas pérdidas y atenuaciones en los enlaces ADSL.

En cuanto a la construcción de la infraestructura es mucho más fácil manejar una red de fibra óptica a diferencia de una red ADSL ya que el cable de cobre es muy pesado haciendo así complicada su instalación mientras que los cables de fibra óptica son más livianos y manejables para las instalaciones.

La fibra óptica también tiene desventajas, como es una tecnología muy eficaz de su misma manera necesita trabajos muy precisos en cuanto a la reparación, instalación de conectores o las fusiones entre fibras, se necesita personal técnico

especializados para poder realizar estos procesos ya que el manejo de la fibra óptica y sus equipos son muy complejos además que los equipos para la fibra óptica son muy costosos.

La desventaja del Condominio es la red de cobre ADSL ya que es muy obsoleta a las necesidades de los usuarios por lo que es una gran ventaja que el Condominio tenga una red de fibra óptica para lograr así la satisfacción de los usuarios.

En la Tabla 17 se puede observar, la comparativa entre la tecnología ADSL vs tecnología GPON en la cual se observa que la red GPON tiene más ventajas a una red ADSL.

Tabla 17.

*Comparativa entre tecnología ADSL vs GPON.*

<b>Parámetro</b>	<b>ADSL</b>	<b>GPON</b>
Distancia de cobertura	3 km	20 km
Ancho de banda down/up	5 Mbps/ 0,64 Mbps	2,488 Gbps/1.244 Gbps
Interferencia	Electromagnética	NA
Servicio triple-play	No	Si
Peso de cable	Alto	Bajo
Volumen de cable	Alto	Bajo
Coexistencias con otras redes	No	Si
<i>Opex</i>	Alto	Bajo
<i>Capex</i>	Alto	Bajo

Tomado de (Tenecora Mejía, 2015).

### **4.3 Análisis económico del proyecto.**

El análisis económico que se va a presentar a continuación se basa en el diseño de la migración de una red ADSL a una red de fibra óptica con tecnología GPON explicada en el capítulo 3. Este análisis indicará cual es el costo aproximado que tendrá el proyecto tomando en cuenta que se va a realizar la migración del 100%

de usuarios del Condominio, por lo cual se va a describir los materiales y precios que se van a utilizar en la implementación de cada segmento de la red del proyecto.

#### 4.3.1 Costo de implementación del proyecto.

Basándose en las normas de construcción de planta externa con fibra óptica de la CNT, en las siguientes tablas se va a detallar los materiales que se van a usar en cada segmento de la red, en la Tabla 18 se puede observar los materiales y precios para el segmento de la red *feeder* se tomó como referencia los valores de un análisis general.

Tabla 18.

*Costos de materiales de la red feeder.*

DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Herrajes de pozo	12	\$28,40	\$340,80
Manguera corrugada 3/4	15	\$1,96	\$29,40
Splitter 1:8	9	\$50,22	\$451,98
Manga subterránea porta splitter de 288	1	\$8,70	\$8,70
Chasis OLT 16 ranuras	1	\$1.675,00	\$1.675,00
Tarjeta OLT de 4 salidas GPON G984.X	2	\$5.583,00	\$11.166,00
Tarjeta OLT de enlace <i>uplink</i> de 10 GB	1	\$5.583,00	\$5.583,00
Identificador acrílico canalizado 8cm X 4cm	12	\$4,71	\$56,52
Etiquetas de cable para interiores NORMA ANSI/TIA/EIA-569-A	12	\$1,21	\$14,52
Fibra óptica 96 hilos G652.D	5000 m	\$2,05	\$10.250,00
ODF 48 puertos	1	\$8,79	\$8,79
Manga FOSC 350	3	\$133,00	\$399,00
Bandeja para manga FOSC 350	3	\$14,00	\$42,00
<b>TOTAL</b>			<b>\$30.025,71</b>

En la Tabla 19 se puede observar, la lista de materiales con sus precios que se va a utilizar en el segmento de la red de distribución del Condominio se tomó como

referencia los precios establecidos en el mercado los cuales actualmente están vigen

Tabla 19.

*Costo de materiales de la red de distribución.*

DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Tensores plásticos con ganchos de acero	23	\$0.42	\$9.66
Herrajes de dispersión para postes	7	\$3.58	\$25.06
Manguera corrugada 3/4	9	\$1.96	\$17.64
Identificador acrílico aéreo 12.50 cm X 6 cm	65	\$6.58	\$427.70
Identificador acrílico canalizado o de interiores 8 cm X 4 cm	65	\$6.58	\$427.70
Herraje de retención para fibras ADDS	55	\$9.21	\$506.55
Herraje para manda de 12 a 48	1	\$10.45	\$10.45
Caja de distribución aérea NAP de 8 puertos SC/APC	2	\$162.72	\$325.44
Caja de distribución aérea NAP de 16 puertos SC/APC	41	\$176.46	\$7,234.86
<i>Splitter</i> 1:8 conectorizados	69	\$126.82	\$8,750.58
Fibra óptica monomodo 48 hilos G.652.D aéreo	480 m	\$2.88	\$1,382.40
Fibra óptica monomodo 24 hilos G.652.D aéreo	450 m	\$1.45	\$652.50
Fibra óptica monomodo 24 hilos G.652.D aéreo	150 m	\$1.45	\$217.50
Etiquetas de cable para interiores norma ANSI/TIA/EIA-569-A	144	\$1.21	\$174.24
<b>TOTAL</b>			<b>\$20,162.28</b>

En la Tabla 20 se puede observar, los materiales y sus respectivos costos del segmento de la red de dispersión del Condominio, para esta parte se consideró los equipos de la ONT para cada usuario lo que no es muy casual hacerlo ya que el

proveedor encargado al momento de instalar el enlace de última milla solo le arrienda el equipo y cuando se desinstala se lleva el equipo ONT. Para el presente proyecto se consideró el equipo ONT para calcular un costo total del diseño.

Tabla 20.

*Costo de la red de dispersión.*

DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
ONT CALIX T071G	552	\$71,39	\$39.407,28
ODF 1 puerto	552	\$0,42	\$231,84
<i>Pigtail</i> SC	552	\$1,70	\$938,40
Adaptador SC	552	\$1,40	\$772,80
Mangos térmicos	552	\$0,12	\$66,24
Fibra multimodo G.657.A1 12 hilos aéreo	570	\$1,70	\$969,00
<i>Patchcord</i> SC-APC	552	\$5,21	\$2.875,92
<b>TOTAL</b>			<b>\$45.261,48</b>

En la Tabla 21 se hace un cálculo asumiendo que para la implementación de la obra se necesita técnicos especializados, ingeniero supervisor de la obra y el ingeniero residente de la obra del Condominio.

Tabla 21.

*Costo de la mano de obra.*

DETALLE	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TIEMPO (meses)	TOTAL
Ingeniero (supervisor de obra)	1	\$1,200.00	2	\$2,400.00
Ingeniero (residente de obra)	1	\$850.00	2	\$1,700.00
Técnicos	6	\$450.00	2	\$5,400.00
<b>TOTAL</b>				<b>\$9,500.00</b>

Después de haber hecho los cálculos de cada segmento de red y mano de obra se hace un cálculo total del costo que tendría la migración de tecnología como se puede ver en la Tabla 22.

Tabla 22.

*Costo total del Proyecto.*

DETALLE	TOTAL
Red feeder	\$30.025,71
Red de distribución	\$20.162,28
Re de dispersión	\$45.261,48
Mano de obra	\$9.500,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$104.949,47</b>

## 5. Conclusiones y recomendaciones.

### 5.1 Conclusiones.

Actualmente el mundo de las telecomunicaciones es más exigente debido a que aparecen nuevas aplicaciones y programas que requieren un mayor ancho de banda y velocidad de internet, estamos en una era donde los usuarios exigen mucha calidad de internet para poder satisfacer sus necesidades por lo cual crece la demanda en cuanto a enlaces de internet con gran capacidad hacia los usuarios. Actualmente en el Condominio analizado existe la necesidad de la migración de su tecnología actual una red de cobre ADSL, la misma que es una red obsoleta y lenta hacia las necesidades de los usuarios.

Existen varias tecnologías que puedan satisfacer las necesidades de los usuarios como pueden ser alámbricas o inalámbricas. Para este proyecto se ha diseñado una red FTTH con tecnología GPON, ya que este tipo de enlace ofrece altas velocidades de transmisión en sentido *upstream* y *downstream*, gran ancho de banda reduce las pérdidas, atenuaciones, y los niveles de ruido ya que es inmune a las interferencias electromagnéticas, además que este tipo de red utiliza la tecnología PON la cual no utiliza equipos activos entre el nodo de transmisión y las inmediaciones de los usuarios finales.

Para este proyecto se indagó la red actual del Condominio, se investigó las principales necesidades de los usuarios y los problemas que hay para el servicio de internet, con los datos que se pudo concluir en el diseño de una red FTTH-GPON que ofrecerá una velocidad de ancho de banda de 1.25 Gbps en sentido *upstream* y en sentido *downstream* de 2.4 Gbps, para lograr este diseño se tomó en cuenta las recomendaciones de la CNT, ya que es la primera empresa de telecomunicaciones que tiene desplegada una red FTTH-GPON en el país.

Para definir el despliegue de la red FTTH-GPON se tomó en cuenta la distancia que hay desde el nodo más cercano de la OLT hacia los Condominios, recordando que en una red GPON la distancia máxima que se puede alcanzar es 20 km, para el diseño de este proyecto la distancia considerada desde la OLT hasta la ONT es aproximadamente 6 Km.

Los planes que se ofrecerá para el Condominio serán de un ancho de banda de 5 y 10 Mbps con compartición de 2:1 lo cual es bueno para los usuarios a diferencia de las redes ADSL que su compartición es de 8:1 y llegar a brindar velocidades de 2,488 Gbps en *downstream* y 1.244 Gbps en *upstream*.

La fibra óptica de tipo monomodo y multimodo cada una presenta diferentes características, es por esto que para el diseño de la red FTTH para el Condominio se puede concluir que para la red *feeder* y la red de distribución se usará la fibra de tipo monomodo ya que en este tramo es donde se envía mayor cantidad de información, las fibras monomodo transmiten a un solo modo el haz de luz en distancias largas y tienen menor atenuación que las multimodo, para la red de dispersión hacia el usuario final se usará fibra óptica de tipo multimodo ya que es muy apropiado para las instalaciones de última milla en distancias cortas por su manera de propagarse en diferentes modos llevando la información hacia los usuarios y el ancho de banda de este tipo de fibra depende de su longitud.

Es importante recalcar la optimización de los hilos de fibra óptica que se da en una red GPON ya que se usa *splitters* o divisores ópticos, para este proyecto se utilizó *splitters* de 8:1 lo que quiere decir que de un hilo que entra al *splitter* o divisor óptico salen 8 hilos hacia los usuarios logrando optimizar la fibra óptica y el valor de la misma haciendo más eficiente el uso del canal.

Con los valores obtenidos de los cálculos del presupuesto óptico del enlace y los niveles de potencia se llegó a la conclusión que, el enlace no sobrepasa los valores de máxima sensibilidad del receptor recomendados por la ITU-T G.984.2 tomando en cuenta que se diseñó dos niveles de *splitting* siguiendo las recomendaciones de

la ITU, por lo cual se puede concluir que el diseño de la red FTTH- GPON propuesta para el Condominio cumplirá con los parámetros requeridos.

Para realizar el estudio económico se dividió cada segmento de red con sus respectivos materiales y costos basándose en los costos que implementa la CNT con sus proveedores y en otros precios de trabajos similares, por lo cual se pudo determinar que el valor total de la instalación es de \$104.949,47 se puede verificar que donde más se va a gastar es en el segmento de la red de *feeder* y dispersión, esto es porque se calculó el equipo de la OLT y el equipo ONT que por lo general estos equipos ya tienen las empresas de telecomunicaciones y los utilizan en varios proyectos.

Se puede concluir que es más costoso un enlace de fibra óptica GPON que una red ADSL, esto es por los equipos activos que utilizan en los extremos de la red (OLT y ONT), pero aun así se puede determinar que es necesario migrar la tecnología ya que la demanda de los usuarios crece cada vez más en cuanto a un servicio de internet más eficaz y la red GPON permita altas velocidades.

## **5.2 Recomendaciones.**

Para poder iniciar con la migración de tecnología del Condominio es importante saber los requerimientos de los usuarios ya que en base a esta información se puede hacer un buen diseño de red para solventar las necesidades. Es importante conocer el campo donde se va realizar la migración para poder distribuir las zonas de la manera correcta de tal modo que cuando se realice la implementación se lleve un control en cuanto a materiales, equipo y suministros que están distribuidos para cada zona del Condominio.

Se recomienda contratar los servicios de un proveedor en instalaciones de telecomunicaciones ya que los mismos tienen técnicos especializados en el campo para realizar el manejo de los equipos y la fibra óptica ya que estos son muy delicados y costosos.

Se recomienda mantener el presupuesto óptico de la red el cual debe garantizar una máxima sensibilidad de recepción de  $-28$  dBm para esto es necesario hacer un monitoreo y mantenimiento constante a nivel de sus diferentes segmentos de red. Así mismo llevar un control de las cajas NAPs, de los *splitters* de la red *feeder* y distribución para garantizar la disponibilidad y calidad de la red FTTH-GPON del Condominio.

Se sugiere guiarse en las recomendaciones de la ITU ya que cumple con todas las normativas de construcción de planta externa con fibra óptica además que se basa en los diferentes estándares de a fibra óptica, tomando en cuenta que el ARCOTEL regula todos estos enlaces de telecomunicaciones basándose en las normas de la ITU por lo que hay que cumplir con lo establecido para no tener multas o sanciones a futuro.

En cuanto al nivel de construcción se recomienda tener cuidado con el manejo de la fibra óptica mientras sea instalada ya que el núcleo y manto es de vidrio en el momento de su instalación hay que mantenerle siempre en una bobina para evitar que se doble y exista atenuaciones por curvatura, esto puede causar pérdidas o que se rompa la fibra y cortar el enlace.

En todo el diseño de la red FTTH-GPON se utiliza gran cantidad de fibra óptica y equipos pasivos por lo que se recomienda organizar y etiquetar los cables y equipos en toda su trayectoria, como se explicó en el capítulo III sesión 3.2.3.2 para poder facilitar a los técnicos cuando haya alguna falla o cuando se haga algún mantenimiento preventivo.

En el tendido de la fibra óptica en la red de distribución se recomienda que cada 500 metros se debe considerar una reserva de cable de 30 metros siempre y cuando en ese tramo no exista equipos pasivos, esto se hace con la finalidad de posibles usuarios a futuro.

## 6. REFERENCIAS

- Acosta Jumbo, S. del R. (2009). Levantamiento Catastral De Planta Externa Para La Corporación Nacional De Telecomunicaciones S.S. De La Central Ambato 2 - Santa Catalina y Representación En El Sistema ACAD. Universidad Técnica de Ambato.
- Bazán Sánchez, A. (2018). Módulo IV: Consideraciones Básicas para el Diseño de Redes FTTH.
- Cano Martínez, A. (2012). UF1104: Mantenimiento de redes multiplexadas. IC Editorial.
- Capmany Francoy, J. O. T. B. (2006). Redes Ópticas. Valencia- España: Universitat Politècnica de València.
- Chadha, D. (2012). *Introduction To Optical Networks. In Optical WDM Networks: From Static to Elastic Networks* (pp. 223–239). John Wiley & Sons Ltd.
- CNT E.P. (2015). Normativa de instalaciones para clientes finales en redes FTTH – GPON. 95.
- CNT E.P. (2015). Normativa Técnica de diseño de planta externa con fibra óptica (ODN - Optical Distribution Network).
- Ferreira, M. F. . (2011). Optical fibers. In *Nonlinear Effects in Optical Fibers* (pp. 29–62). Recuperado el 18 de Febrero de 2019, de: <https://doi.org/10.1002/9781118003398>
- Grosz, D. D. F. (2003). Sistemas De Comunicación Por Fibra Óptica De Alta Capacidad. CSI Boletín 51, 22–33. Recuperado el 18 de Febrero de 2019, de: <http://184.182.233.153/rid=1LSBNNPQS-Z4S2J9-4JHG/FO.pdf>
- Hanze Sanchez, Carlos Eduardo; Pasmay Bohorquez, G. A. (2012). Diseño de una

red adsl de servicios de banda ancha para la urbanización samanes con acceso a internet a través del cable panamericano. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil: Ecuador.

Incera, J., Cartas, R., & Cairó, O. (2007). Redes Digitales : Presente y Futuro. Reporte Técnico LRAV 10507, (1), 1–50. Recuperado el 18 de Febrero de 2019, de: <http://allman.rhon.itam.mx/~jincera/IntroRedesDigitales.pdf>

Keiser, G. (2006). *FTTX Concepts and Applications*. In *FTTX Concepts and Applications*. Recuperado el 18 de Febrero de 2019, de: <https://doi.org/10.1002/047176910X>

Keiser, G. (2006). *Passive optical networks*. 101–117.

Martín Pereda, J. A. (2004). *Sistemas y Redes Ópticas de Comunicaciones*. Madrid: Pearson Education S.A.

Millán Tejedor, R. (2008). GPON (*Gigabit Passive Optical Network*). *Bit*, (166), 63–67.

Millán Tejedor, R. J. (2000). La tecnología de acceso ADSL. *Windows 2000 Actual*, 2. Recuperado el 18 de Febrero de 2019, de: <http://www.ca.com/>

Pinto García, Ricardo Alfonso; Cabezas, A. F. (2014). *Sistemas de Comunicaciones Óptimas (Monografía) (Primera Ed)*. Recuperado el 18 de Febrero de 2019, de: <https://docplayer.es/1678236-Sistemas-de-comunicaciones-opticas-monografia.html>

Quisnancela, E., & Espinosa, N. (2016). Certificación de redes GPON, normativa ITU G.984.x. *Enfoque UTE*, 7(4), 16. Recuperado el 18 de Febrero de 2019, de: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n4.111>

Romero, C. (2005). *Transmisión de datos*. Depto Tecnología Electrónica Universidad de Sevilla- España.

- Samaniego, F; Figueroa, C. (2016). Curso de Redes GPON con Normativa CNT. Quito: Blueit.
- Simmons, J. M. (2014). *Optical Network Design and Planning*. Recuperado el 18 de Febrero de 2019, de: <https://doi.org/10.1007/978-0-387-76476-4>
- Teldat. (2013). *Router Teldat. Protocolo HTTP*, 4. Recuperado el 18 de febrero de febrero de: [http://www.it.uc3m.es/~teldat/TeldatC/castellano/protocolos/Dm741v10-1\\_ADSL.PDF](http://www.it.uc3m.es/~teldat/TeldatC/castellano/protocolos/Dm741v10-1_ADSL.PDF)
- Tenecora Mejía, I. B. (2015). Evaluación del proceso de migración de tecnología ADSL a fibra óptica bajo el estándar G.984.G GPON. Caso de estudio Macas, Morona Santiago”. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- UIT-T. (2005). G. 983.1 *Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON)*. Unión Internacional de Telecomunicaciones. Recuperado el 18 de Febrero de 2019, de: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.9831-200501-L/eng>
- UIT-T. (2006). Recomendación UIT-T G.984.2 – Enmienda 1.
- UIT-T. (2009). Recomendación UIT-T G.652. Recuperado el 18 de Febrero de 2019, de: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-200911-S/en>
- Vargas, I. A. (2014). Sistemas de Fibra Óptica. Recuperado el 18 de Febrero de 2019, de: [http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electrotecnia/cat/eye\\_archivos/apunt es/a\\_practico/Cap 5 Pco.pdf](http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electrotecnia/cat/eye_archivos/apunt es/a_practico/Cap 5 Pco.pdf)
- Velasco Rivera, B. L. (2018). Diseño y simulación de una red GPON para ofrecer el servicio triple play en Ibarra para la CNT-EP. Escuela Politécnica Nacional.

