



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

DISEÑO DE UNA RED ÓPTICA FTTH G-PON PARA EL BARRIO  
OYAMBARILLO UBICADO EN LA PARROQUIA RURAL TABABELA DEL  
CANTÓN QUITO

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

Profesor Guía

MSc. Diego Fabián Paredes Páliz

Autor

Víctor Hugo Lema Moya

Año

2016

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA**

Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con el estudiante, 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.

---

Diego Fabián Paredes Páliz

Master In Optical Communications And Photonic Technologies

CI: 0603014143

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE**

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

---

Víctor Hugo Lema Moya

CI: 1720948833

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi sentimiento de gratitud a la Universidad, los profesores que han motivado un espíritu de profesionalismo y excelencia y a mi profesor guía, quien ha contribuido en el desarrollo del presente trabajo.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo se lo dedico a mi padre, quien ha sido ejemplo silencioso de sacrificio, lucha y entrega. A mi madre, quien ha velado incondicionalmente por mi bienestar y el de su familia.

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo principal el diseño de una red óptica con tecnología FTTH G-PON para el barrio Oyambarillo, que se encuentra ubicado en la Parroquia rural Tababela del Cantón Quito.

Para lo cual se presenta en primera instancia los conceptos relacionados con los principios y fundamentos de las redes ópticas, los elementos básicos de una red, tipos de redes ópticas y sus aplicaciones.

Luego se describen los fundamentos de diseño para una red óptica FTTH G-PON, basándose en las normativas ITU-T vigentes y se explican los detalles de los elementos pasivos y activos que intervienen en la red óptica G-PON para el barrio Oyambarillo de Tababela.

Al evaluar los factores anteriormente indicados y la situación actual del barrio, se realiza un análisis de demanda para la ubicación estratégica de cajas de distribución, reservas, mangas y demás elementos pasivos de la red. Se consolida el diseño de la red óptica FTTH G-PON para el barrio Oyambarillo de Tababela cumpliendo con normativas ITU-T vigentes y se presentan los planos de la red diseñada.

Finalmente se detallan las conclusiones y recomendaciones del proyecto realizado.

## ABSTRACT

This titling project's main objective is the design of an optical network with FTTH G-PON technology for Oyambarillo neighborhood, which is located in the rural parish of Canton Tababela Quito.

To which occurs in the first instance the concepts related to the principles and foundations of optical networks, basic elements of a network, types of optical networks and their applications.

The fundamentals of design for an optical network FTTH G-PON are then described, based on the ITU-T current regulations and details of passive and active elements that interview in the optical network G-PON for Oyambarillo neighborhood Tababela explained.

In evaluating the above factors and the current situation of the district, a demand analysis for the strategic location of distribution boxes, reserves, sleeves and other liabilities network elements is performed. The design of the optical network FTTH G-PON for Tababela Oyambarillo neighborhood meeting ITU-T standards in force and network maps designed are presented consolidated.

Finally the conclusions and recommendations made detailed project.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
1. CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO .....	2
1.1 Introducción a las redes ópticas .....	2
1.1.1 Propagación de la luz .....	3
1.1.2 Estructura de la fibra óptica .....	4
1.2 Tipos de fibra óptica .....	5
1.2.1 Fibras ópticas de índice escalonado.....	5
1.2.2 Fibra óptica de índice gradual.....	7
1.3 Componentes de un sistema de comunicación óptica .....	8
1.3.1 El transmisor óptico .....	9
1.3.2 El receptor óptico .....	10
1.3.2.1 Fotodiodo PIN.....	13
1.3.2.2 Fotodiodo de avalancha o APD .....	14
1.3.3 Canal de comunicación.....	15
1.4 Redes ópticas de acceso (OAN) .....	15
1.4.1 Arquitectura de una red óptica de acceso.....	16
1.4.2 Arquitectura FTTx .....	17
1.4.2.1 Fibra óptica hasta el edificio (FTTB).....	17
1.4.2.2 Fibra óptica hasta la acera (FTTC).....	18
1.4.2.3 Fibra óptica hasta el nodo (FTTN).....	19
1.4.2.4 Fibra óptica hasta el hogar (FTTH).....	19
1.4.3 Bloques funcionales de una OAN .....	21
1.4.3.1 Terminación de línea óptica (OLT) .....	21
1.4.3.2 Red de distribución óptica (ODN) .....	22
1.4.3.3 Terminación de red óptica (ONT) .....	23
1.5 Red óptica pasiva (PON).....	24
1.5.1 Tipos de redes PON .....	25
1.5.1.1 Red óptica pasiva basada en ATM (APON) .....	25
1.5.1.2 Red óptica pasiva <i>broadband</i> (BPON).....	27



1.5.1.3 Red óptica pasiva basada en Ethernet (EPON) .....	28
1.5.1.4 Red óptica pasiva con capacidad Gigabit (GPON) .....	29

## 2. CAPÍTULO II. VARIABLES DE DISEÑO DE LA RED

FTTH GPON .....	31
2.1 Demografía del barrio Oyambarillo de Tababela .....	31
2.1.1 Contexto tecnológico del sector .....	33
2.2 Justificación de la propuesta GPON .....	35
2.3 Análisis de posibles proveedores del servicio GPON .....	36
2.3.1 Definición de proveedor .....	42
2.4 Normativa de construcción de red GPON de CNT E.P. ....	43
2.4.1 Red de <i>Feeder</i> .....	43
2.4.2 Red de Distribución .....	44
2.4.2.1 Distribución aérea .....	44
2.4.2.2 Distribución canalizada .....	47
2.4.3 Red de dispersión .....	48
2.4.4 Materiales y equipos .....	49
2.4.4.1 Caja de distribución (NAP) .....	49
2.4.4.2 Caja de distribución principal (FDB) .....	50
2.4.4.3 Caja de distribución secundaria (FDF) .....	51
2.4.4.4 Roseta óptica .....	51
2.4.4.5 Manga de empalme .....	52
2.4.4.6 Equipo terminal de línea (OLT) .....	53
2.4.4.7 Equipo terminal de red (ONT) .....	54
2.4.5 Etiquetación de la red .....	56
2.4.6 Modelo de despliegue y presupuesto óptico .....	59
2.5 Características generales de la red GPON para el barrio Oyambarillo .....	60
2.5.1 Servicios .....	60
2.5.1.1 Telefonía fija .....	61
2.5.1.2 Servicio de internet .....	62
2.5.1.3 Servicio de televisión digital (IPTV) .....	62

2.5.2 Velocidad de bits ( <i>bit rate</i> ) .....	63
2.5.3 Alcance lógico y físico.....	64
2.5.4 Retardo máximo de transferencia de datos ( <i>delay</i> ) .....	64
2.5.5 Relación de división (splitter) .....	64
2.5.6 Sistemas de protección de la sección PON .....	65
2.5.7 Seguridad .....	66
<b>2.6 Capa dependiente de los medios físicos en las redes</b>	
<b>GPON .....</b>	<b>66</b>
2.6.1 Velocidad binaria nominal para la señal digital .....	67
2.6.2 Medio físico y método de transmisión.....	67
2.6.3 Código de línea.....	68
2.6.4 Potencia óptica inyectada .....	68
2.6.5 Mínima relación de extinción .....	68
2.6.6 Intervalo de atenuación de la ODN.....	69
2.6.7 Pérdida de retorno óptica mínima (ORL) .....	69
2.6.8 Reflectancia discreta máxima de la ODN .....	69
2.6.9 Probabilidad de error .....	69
2.6.10 Sensibilidad del receptor.....	70
2.6.11 Sobrecarga mínima.....	70
2.6.12 Máxima penalización del trayecto óptico .....	71
2.6.13 Máximo alcance lógico.....	71
2.6.14 Pérdida del trayecto óptico diferencial .....	72
2.6.15 Corrección de errores en la recepción.....	72
2.6.16 Niveles de potencia de la ONT .....	72
2.6.17 Mecanismos de nivelación de potencia de la ONT .....	73
<b>3. CAPÍTULO III. DISEÑO DE LA RED FTTH GPON</b>	
<b>PARA EL BARRIO OYAMBARILLO.....</b>	<b>74</b>
3.1 Esquema de la red.....	74
3.1.1 Ubicación y enlace de la OLT .....	76
3.1.2 Ubicación de cajas terminales (NAP).....	78
3.1.2.1 Cajas terminales en Zona 1 .....	79

3.1.2.2 Cajas terminales en Zona 2.....	80
3.1.2.3 Cajas terminales en Zona 3.....	81
3.2 Despliegue de la red.....	82
3.2.1 Selección de modelo de despliegue GPON.....	83
3.2.2 Red de <i>feeder</i> .....	86
3.2.3 Red de distribución.....	87
3.2.3.1 Red de distribución Zona 1.....	88
3.2.3.2 Red de distribución Zona 2.....	89
3.2.3.3 Red de distribución Zona 3.....	92
3.2.4 Red de dispersión.....	93
3.3 Cálculo del ancho de banda.....	95
3.3.1 Ancho de banda disponible por cliente.....	95
3.4 Análisis financiero del proyecto.....	96
3.4.1 Costos directos.....	97
3.4.2 Costos indirectos.....	100
3.4.3 Costo total del proyecto.....	101
3.4.4 Costo fijo anual de producción.....	101
3.4.5 Proyección de ingresos anuales.....	102
3.4.6 Punto de equilibrio.....	103
3.4.7 Factibilidad del proyecto.....	104
3.4.7.1 Cálculo del VAN.....	104
3.4.7.2 Cálculo del TIR.....	105
<b>4. CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y</b>	
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>106</b>
4.1 Conclusiones.....	106
4.2 Recomendaciones.....	108
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>113</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Reflexión y refracción de una haz de luz. a) Caso general. b) Reflexión total.....	4
Figura 2. Estructura general de una fibra óptica.....	5
Figura 3. Corte transversal de una fibra óptica a) multimodo b) monomodo, con sus medidas de núcleo.....	6
Figura 4. Representación de una fibra óptica de índice gradual. ....	7
Figura 5. Sistema de comunicación óptica.....	9
Figura 6. Coeficientes de absorción de materiales en función de la longitud de onda. ....	11
Figura 7. Diagrama básico de un receptor óptico.....	12
Figura 8. Esquema de un fotodiodo PIN. ....	13
Figura 9. Fotodiodo de avalancha o APD.....	15
Figura 10. Arquitecturas de OAN .....	16
Figura 11. Fibra hasta el edificio (FTTB) .....	18
Figura 12. Arquitecturas FTTx.....	20
Figura 13. Bloques funcionales de la OLT. ....	22
Figura 14. Bloques funcionales de la ONT.....	24
Figura 15. Arquitectura APON.....	27
Figura 16. Arquitectura BPON.....	28
Figura 17. Arquitectura EPON.....	29
Figura 18. Arquitectura GPON. ....	30
Figura 19. División político administrativa Parroquia Tababela.....	31
Figura 20. Ubicación geográfica del barrio Oyambarillo.....	33
Figura 21. Volumen de servicio según proveedores. ....	37
Figura 22. Despliegue de red troncal. ....	38
Figura 23. Densidad de líneas telefónicas por proveedor. ....	39
Figura 24. Densidad del servicio de televisión pagada por proveedor. ....	40
Figura 25. Capacidad de cable submarino.....	41
Figura 26. Red de feeder. ....	44
Figura 27. Herrajes terminales. ....	45

Figura 28. Herraje de suspensión o de paso.....	45
Figura 29. Retenidas del tipo doble, farol y poste contra poste.....	46
Figura 30. Tipos de tapones.....	47
Figura 31. Red de distribución.....	48
Figura 32. Red de dispersión. ....	49
Figura 33. Caja de distribución NAP. ....	50
Figura 34. Caja FDB.....	50
Figura 35. Caja FDF.....	51
Figura 36. Roseta óptica. ....	52
Figura 37. Manga de empalme tipo domo.....	52
Figura 38. OLT outdoor. ....	54
Figura 39. Equipo terminal ONT.....	55
Figura 40. Identificación de cables.....	56
Figura 41. Identificación de manga troncal. ....	57
Figura 42. Identificación de cajas NAP. ....	57
Figura 43. Identificación de FDB.....	58
Figura 44. Identificación de ODF.....	58
Figura 45. Modelo referencial de distribución óptica con OLT outdoor. ....	59
Figura 46. Puertos de la ONT.....	61
Figura 47. Modelo de distribución telefónica.....	62
Figura 48. Servicio IPTV.....	63
Figura 49. Sistema dúplex de protección PON.....	65
Figura 50. Sistema dual de protección PON. ....	66
Figura 51. Máximo alcance lógico y diferencial.....	71
Figura 52. Esquema general de la red. ....	76
Figura 53. Ubicación y enlace equipo OLT. ....	77
Figura 54. Trayectoria de enlace equipo OLT. ....	78
Figura 55. Cajas terminales NAP en Zona 1.....	79
Figura 56. Cajas terminales NAP en Zona 2.....	80
Figura 57. Cajas terminales NAP en Zona 3.....	82
Figura 58. Modelo de despliegue zonas 1, 2 y 3.....	84
Figura 59. Trayectoria de red de feeder barrio Oyambarillo.....	87

Figura 60. Diagrama en bloques de red de distribución Zona 1.....	88
Figura 61. Diagrama en bloques de red de distribución Zona 2.....	90
Figura 62. Diagrama en bloques de red de distribución Zona 3.....	92
Figura 63. Conector tipo SC/APC.....	94

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de penetración del servicio de internet del barrio Oyambarillo .....	33
Tabla 2. Penetración de servicios de CNT E.P. en el barrio Oyambarillo .....	34
Tabla 3. Especificaciones técnicas OLT Huawei MA5603T .....	53
Tabla 4. Especificaciones técnicas ONT Huawei HG8245 .....	55
Tabla 5. Presupuesto óptico del modelo de despliegue de red GPON con OLT <i>outdoor</i> descrito en la Figura 45. ....	60
Tabla 6. Datos estadísticos de pérdidas según tipo de <i>splitter</i> .....	65
Tabla 7. Velocidades de línea versus sentidos de transmisión. ....	67
Tabla 8. Presupuesto óptico de red GPON zonas 1, 2 y 3 .....	85
Tabla 9. Descripción de cables de distribución en Zona 1 .....	89
Tabla 10. Descripción de cables de distribución en Zona 2 .....	91
Tabla 11. Descripción de cables de distribución en Zona 3 .....	93
Tabla 12. Cálculo de demanda de ancho de banda por usuario GPON.....	95
Tabla 13. Costos de enlace OLT .....	97
Tabla 14. Costos de red de <i>feeder</i> .....	98
Tabla 15. Costos de canalización.....	98
Tabla 16. Costos de red de distribución .....	99
Tabla 17. Costo equipamiento OLT .....	100
Tabla 18. Costo directo total del proyecto .....	100
Tabla 19. Detalle de costos indirectos.....	101
Tabla 20. Detalle del costo total del proyecto.....	101
Tabla 21. Costo fijo anual de producción .....	102
Tabla 22. Ingreso anual por demanda actual de servicios .....	102
Tabla 23. Proyección de ingresos anuales.....	103
Tabla 24. Cálculo de ganancias por año .....	103
Tabla 25. Cálculo del FENC .....	104
Tabla 26. Cálculo del TIR.....	105

## INTRODUCCIÓN

La construcción de redes ópticas en el Ecuador se encuentra en auge. Según el Ministerio de Telecomunicaciones, dentro de las políticas de gobierno de la Revolución Ciudadana, se toma en cuenta el crecimiento de las tecnologías de información, como una línea inclusiva. Durante estos últimos 6 años, la longitud de la fibra óptica se multiplicó 25 veces en Ecuador. (Mintel, s.f.).

De acuerdo con los últimos datos de la Encuesta de Tecnologías de la Información y la Comunicación, del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), realizada en el Ecuador a 21.768 hogares en Diciembre de 2013, reflejó que existe una penetración del servicio de internet del 40,4 por ciento. (Mintel, s.f.)

El alto consumo de ancho de banda por el uso de aplicaciones web, aulas virtuales, juegos en red, video streaming, redes sociales y transmisión de video en alta definición; incrementa la necesidad del usuario de contar con un servicio de acceso a internet de calidad y con el ancho de banda suficiente para satisfacer sus necesidades.

Tomando en cuenta las vulnerabilidades de una red de cobre tales como la distancia, atenuación por inducción, atenuación por bajo aislamiento a tierra, ruido electromagnético y peligro de robo de cables, es necesario optar por la implementación de una tecnología que brinde el servicio de internet de alta velocidad y pueda ser utilizada para dar varios servicios por la misma red.

El barrio Oyambarillo ubicado a 3 [Km] de Tababela, con una población aproximada de 600 familias, en su mayoría de clase media no tiene servicio de internet de alta velocidad. Al momento el barrio cuenta con una red de cobre desplegada desde las centrales de CNT Pifo y Tababela, a una distancia de 4,2 y 3 [Km] respectivamente.



## 1. CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Introducción a las redes ópticas

Una red óptica es una red de telecomunicaciones en donde se utilizan fibras ópticas como enlaces 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 y Ortega, 2009, p.17)

Según Grosz (2003, p. 23) asegura, la primera generación de sistemas de comunicación óptica fue introducida comercialmente en 1980, operaba a longitudes de onda de 0,8  $[\mu\text{m}]$ , a una tasa de transmisión de 45 [Mbps], y con una distancia máxima de 10 [Km] entre repetidores.

Durante mucho tiempo, el principal material con el que se construía la fibra óptica fue el Niobato de Litio, sin embargo este material no era totalmente apto para lograr una óptica integrada, ya que no permitía la construcción de dispositivos activos. Para solventar este inconveniente, se propusieron ciertos materiales, entre los cuales destacan:

**Sustratos de Silicio.-** El silicio por sí solo no puede funcionar eficientemente, para lograr este objetivo, se han propuesto aleaciones de mezclas de silicio con otros materiales, tales como el vidrio y el óxido.

**Polímeros.-** Las fibras de plástico son utilizadas generalmente en aplicaciones de medicina, tienen bajo coste y los tamaños de fabricación están entre las 250 y 1000 [micras]. (Pereda, 1989, p. 66)

Las comunicaciones ópticas, son el resultado de décadas de investigación en componentes y sistemas de transmisión. En la actualidad existe la madurez tecnológica para lograr la implementación de estas redes en forma masiva, ya

que se pueden obtener altas velocidades de transmisión, operando a distintas longitudes de onda y con un aumento considerable de distancia entre repetidores.

### 1.1.1 Propagación de la luz

La construcción de la fibra óptica significó el inicio de las comunicaciones ópticas. De tal manera que se dispuso de un medio capaz de transmitir pulsos luminosos de forma equivalente a como se transmiten electrones a través de un cable conductor. A continuación, se mencionan los fenómenos que determinan el comportamiento de la luz dentro de un medio dieléctrico, sea este, la fibra óptica.

#### Reflexión y Refracción

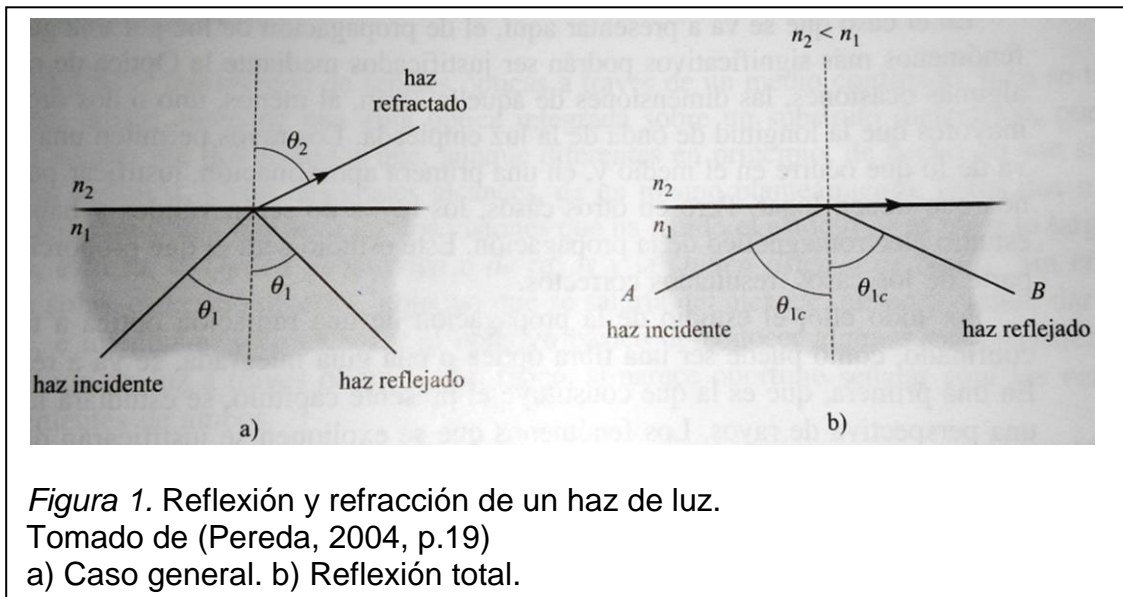
Según Pereda (2004, p.19) la reflexión y la refracción son fenómenos que sufre un haz de luz al incidir, con cierto ángulo, sobre la superficie que separa dos medios dieléctricos de diferente índice de refracción. Si ambos medios son homogéneos, el resultado es la conocida bifurcación del haz incidente en dos, uno reflejado y otro refractado. El haz reflejado se propagará siguiendo una trayectoria que forma un ángulo con la normal al plano de separación de los medios, igual al de incidencia; mientras que el refractado seguirá una trayectoria de acuerdo con la ley de Snell

$$n_1 \operatorname{sen}(\theta_1) = n_2 \operatorname{sen}(\theta_2) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Este fenómeno se cumple para cualquier ángulo de incidencia cuando  $n_2 > n_1$ , mientras que si  $n_2 < n_1$ , para un cierto ángulo  $\theta_{1c}$  se cumple que:

$$\operatorname{sen}(\theta_{1c}) = \frac{n_1}{n_2} \quad (\text{Ecuación 2})$$

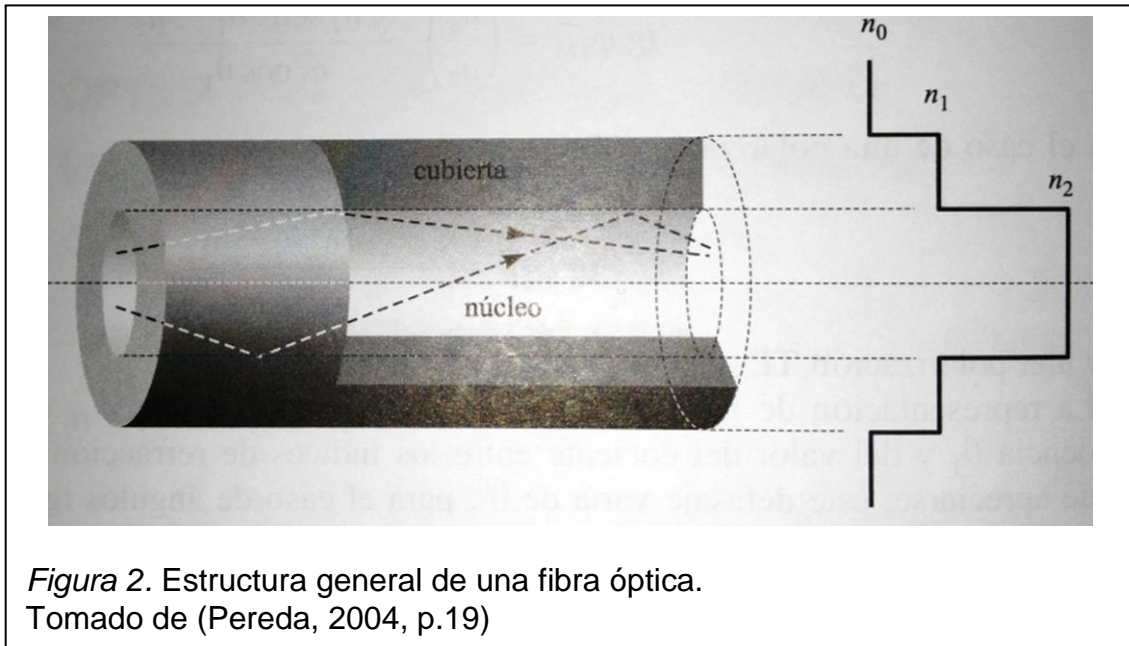
A este ángulo se lo conoce como ángulo crítico, y todos los casos donde se cumpla que  $\theta_1 > \theta_{1c}$ , están dentro de la reflexión total, es decir, no existe un haz de luz refractado.



### 1.1.2 Estructura de la fibra óptica

Lo estudiado en el apartado anterior, permite dar una idea de cómo se propaga la luz a través de un medio dieléctrico, para el caso, la fibra óptica. La forma de conseguir que el haz de luz sufra variaciones significativas en sus características es haciendo que la radiación se propague a través de un medio con un índice de refracción superior al medio que lo rodea, y al mismo tiempo con un ángulo de incidencia sobre la superficie de separación entre los medios, superior al ángulo crítico. El resultado da lugar al funcionamiento y construcción de fibras ópticas, para ser usadas en redes de telecomunicaciones.

Como Grosz (2003, p. 23) ya lo dijo, la fibra óptica está formada por un núcleo de vidrio con un índice de refracción  $n_2$  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.



*Figura 2.* Estructura general de una fibra óptica.  
Tomado de (Pereda, 2004, p.19)

El recubrimiento de la fibra de vidrio se construye de plástico, de forma que se eviten los daños causados por agentes externos.

## 1.2 Tipos de fibra óptica

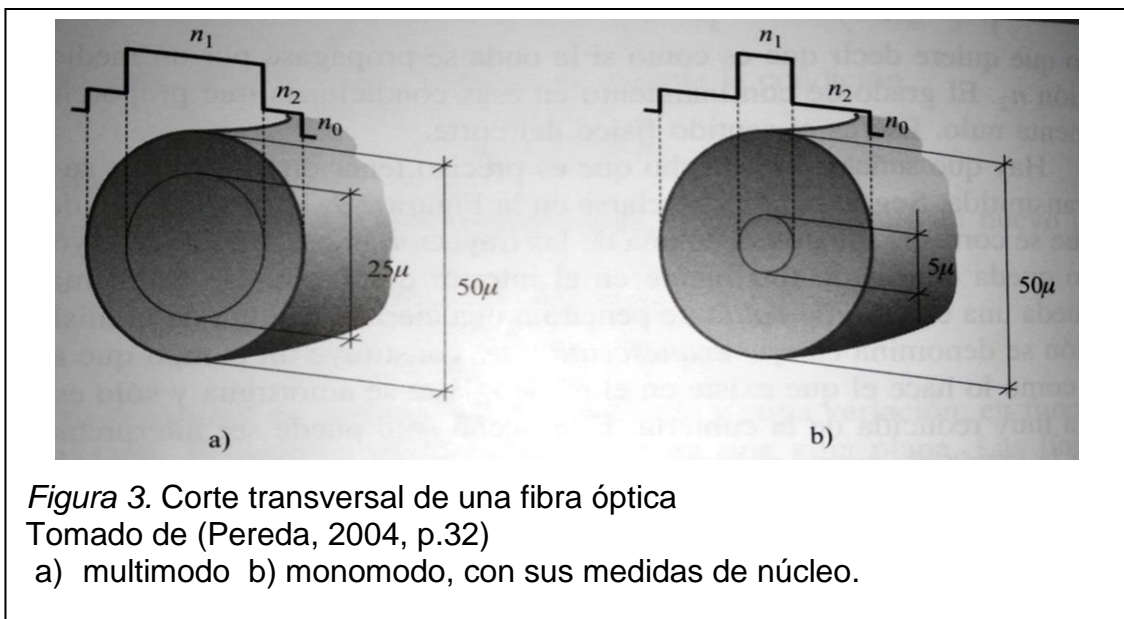
### 1.2.1 Fibras ópticas de índice escalonado

En virtud de las características de transmisión, las fibras ópticas de índice escalonado, o de salto de índice, se denominan monomodo y multimodo. La característica diferencial entre estas fibras ópticas es el diámetro de su núcleo, para el caso de las fibras ópticas multimodo el diámetro del núcleo está por encima de las 50 [micras], mientras que el núcleo de una fibra óptica monomodo está por debajo de las 10 [micras]. A pesar de esta diferencia una fibra óptica puede comportarse como multimodo o monomodo, dependiendo de la longitud de onda del haz de luz que viaje por ella.

Las fibras ópticas de índice abrupto tienen la característica de que los índices de refracción del núcleo y la cubierta, tienen una diferencia en torno a las centésimas de unidad.

**Fibra monomodo.-** Se denomina fibra óptica monomodo, al medio por el que se permite que la luz viaje en un único modo electromagnético, de modo que los haces de luz se propaguen de forma paralela al eje de la fibra óptica, permitiendo así un rendimiento óptimo del medio de transmisión. Estas fibras proporcionan un gran ancho de banda y poca atenuación con la distancia, lo que permite que se las utilice en redes metropolitanas y troncales. Su costo de producción es alto, ya que se requiere el uso de transmisores láser para lograr la inyección de luz y un equipo más sofisticado.

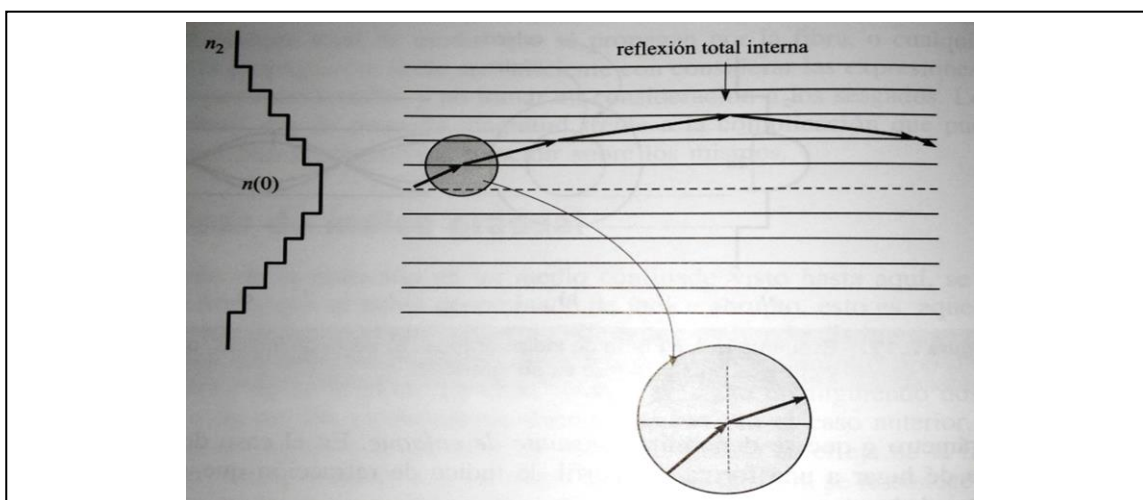
**Fibra multimodo.-** Esta fibra óptica permite que varios modos electromagnéticos sean transmitidos a través de su núcleo. Las fibras multimodo comúnmente se utilizan en redes locales por su bajo costo, la distancia de transmisión que alcanzan estas fibras es de aproximadamente 2,4 [km]. (Vallejo, 2013, p. 26)



### 1.2.2 Fibra óptica de índice gradual

Según Pereda (2004, p. 38) en las fibras ópticas de índice gradual se siguen distinguiendo dos regiones, pero sus índices de refracción varían gradualmente, ya que el índice del núcleo va disminuyendo desde un valor máximo, situado en el eje de la fibra, hasta un valor mínimo situado en la cubierta.

La variación gradual del índice de refracción, se transforma en una variación discreta compuesta por capas de dimensiones infinitesimales, cada una de ellas con un índice de refracción constante, pero diferente en una cierta cantidad con respecto a las contiguas. Debido a ello, un rayo que pase de una capa a otra, sufrirá ciertos fenómenos característicos de este tipo de fibra óptica. Si el haz de luz está siendo transmitido por encima del ángulo crítico, sufrirá una refracción pasando a la capa siguiente, aunque con un ángulo menor que el que tenía en la capa anterior. Este proceso se repetirá de forma indefinida hasta que se alcance el ángulo crítico, en donde el haz de luz sufrirá una reflexión total y dirigirá su trayectoria hasta el centro de la fibra. De esta manera se inicia el proceso en sentido contrario, aumentándose cada vez el valor del ángulo hasta que llegue al eje, generando un comportamiento ondulatorio. (Pereda, 2004, p.39)



*Figura 4.* Representación de una fibra óptica de índice gradual.  
Tomado de (Pereda, 2004, p. 40)

### 1.3 Componentes de un sistema de comunicación óptica

Un sistema de transmisión óptica difiere muy poco conceptualmente de los otros sistemas de comunicaciones que se utilizan en la actualidad. La única diferencia radica en que la longitud de onda de la señal que se transmite está en el orden de una micra. Esta diferencia hace que el comportamiento del sistema de transmisión óptica, y sus requerimientos de funcionamiento sean diferentes. Al mismo tiempo, el hecho de que la frecuencia de transmisión sea superior, hace que la luz sea capaz de transmitir mucha más información que cualquier otro sistema de los empleados hasta hoy.

El transmisor óptico corresponde a la etapa de procesado de la señal, previa a la transmisión, en donde la señal accede a un dispositivo que la convierte en radiación óptica, que luego será modulada. Una vez obtenida la señal óptica modulada con la información a transmitir, se la hace llegar al canal de transmisión, que será la fibra óptica.

El canal de comunicación, en casi todos los casos, está compuesto por tramos de fibra óptica. A éste caso se le conoce como transmisión a través de un medio confinado. Cuando existen circunstancias en las que no hay facilidades para tender un enlace físico, se utiliza como medio de transmisión el aire, este caso es conocido como transmisión por un medio no confinado. En la actualidad existen fibras ópticas con la capacidad de amplificar la señal que pasa a través de ellas, esta amplificación elimina conversiones entre señales eléctricas y ópticas que antiguamente se daban al utilizar repetidores o centrales de conmutación en medio del canal de comunicación. Finalmente, para completar el sistema de comunicación óptica, es necesaria la presencia de un receptor, capaz de recibir las señales ópticas, amplificarlas y entregarlas al usuario final a manera de información.

En la Figura 5, se muestra el esquema básico de un sistema de comunicación óptica punto a punto, con sus componentes principales

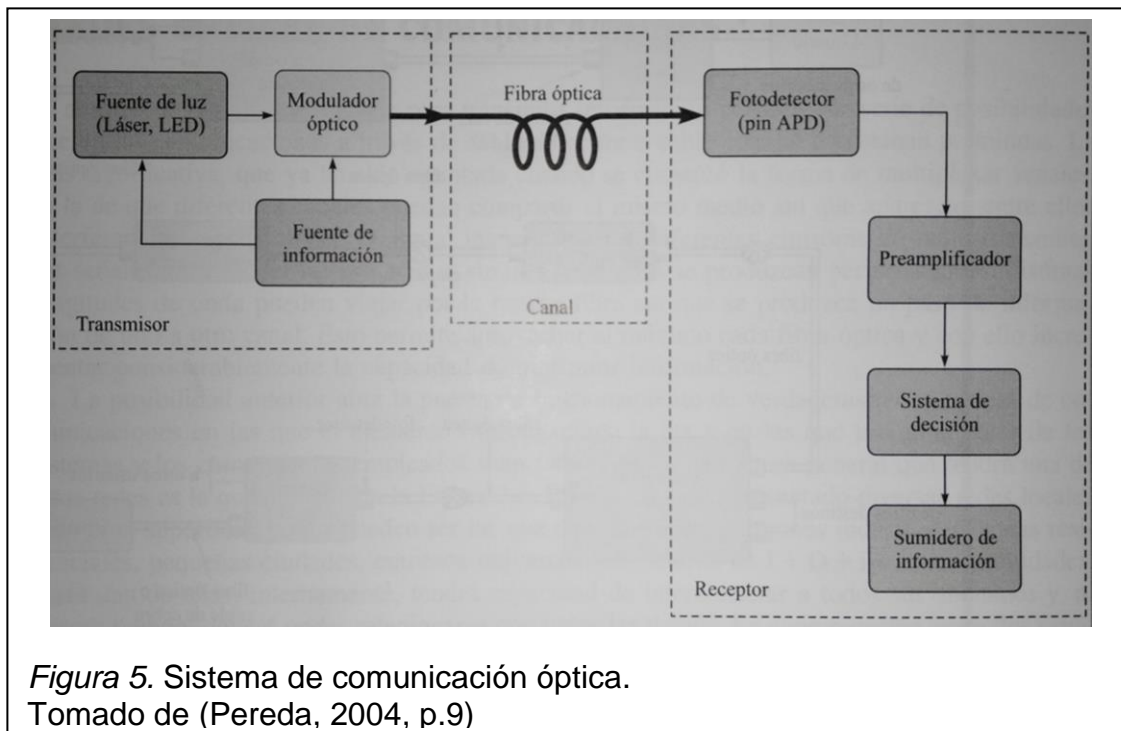


Figura 5. Sistema de comunicación óptica.  
Tomado de (Pereda, 2004, p.9)

### 1.3.1 El transmisor óptico

Un transmisor óptico está compuesto principalmente por un láser semiconductor capaz de emitir luz de forma coherente. Este semiconductor se caracteriza por tener electrones localizados en las bandas de energía en las que se producen las transiciones energéticas, bien en el interior de una de estas bandas o entre dos bandas diferentes. La emisión de fotones se da solamente en el caso de que la transición energética se dé entre dos bandas diferentes, se disponga de electrones en la banda de conducción y la vez, huecos en la banda de valencia. (Pereda, 2004, p.153)

Los transmisores ópticos comúnmente utilizados en la actualidad son los diodos LED y los diodos láser. La diferencia entre estos dispositivos es que los LED producen una luz no coherente, la cual se dispersa, mientras que el diodo láser produce luz coherente no dispersa. Para su uso en comunicaciones



ópticas los láseres semiconductores deben cumplir ciertas características, entre las principales tenemos:

- Pequeña anchura espectral del pico de emisión menor a 1 [nm], para disminuir la dispersión cromática en el medio de transmisión.
- Capacidad de modulación en frecuencias sobre los gigahertz.
- Coherencia espacial alta, para facilitar el enfoque por una lente en un punto.
- Potencia de emisión óptica sobre los milivatios.

### 1.3.2 El receptor óptico

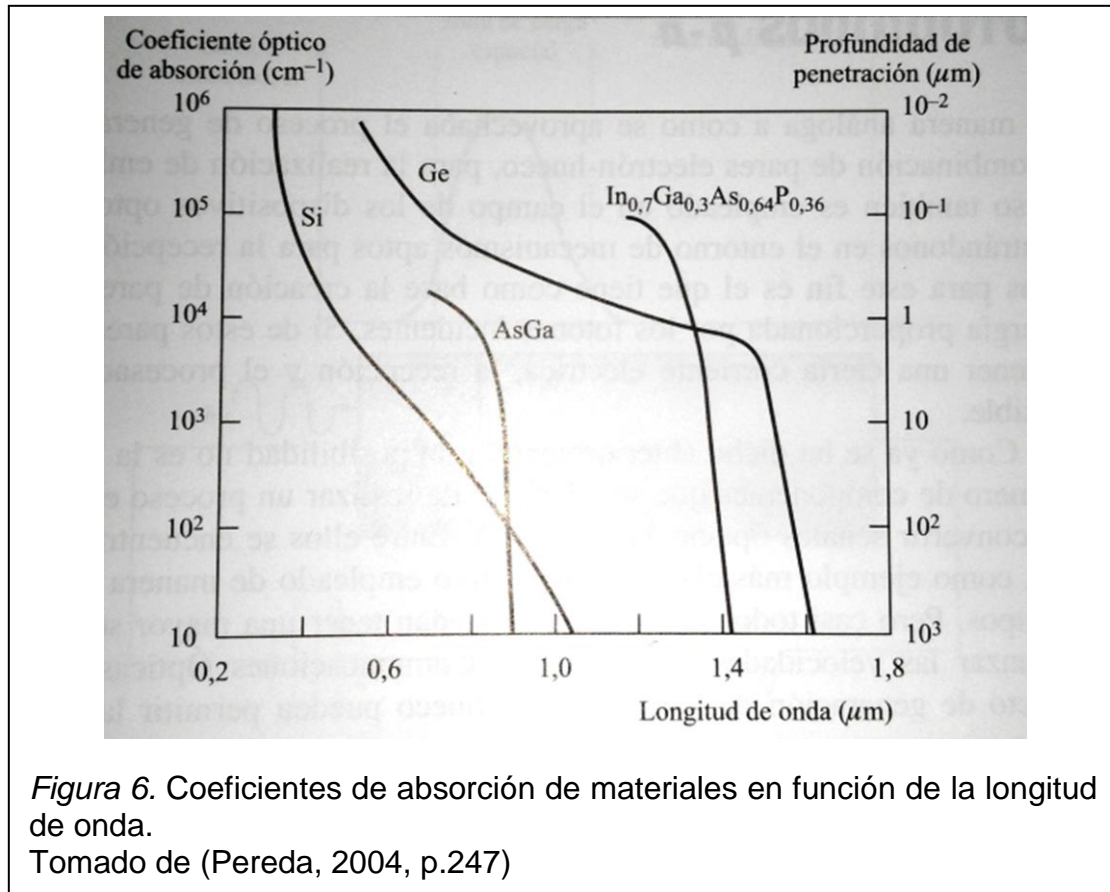
El receptor óptico está compuesto principalmente por un fotodetector, que realiza la absorción de la luz emitida por el transmisor óptico. La causa para la absorción de radiaciones ópticas en semiconductores procede de la cesión de la energía incidente sobre ellos, a electrones situados en la banda de valencia. Este proceso tiene lugar solamente para un determinado margen de longitudes de onda.

Conforme la luz penetra en el material, en la zona de absorción, la intensidad de esta disminuye de manera exponencial, siguiendo una ley del tipo

$$P(x) = P(0)e^{-\alpha x} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Siendo  $\alpha$  el coeficiente de absorción del material para la longitud de onda considerada. Por otro lado,  $P(0)$  es la densidad de potencia óptica que penetra en el semiconductor y  $x$ , la distancia recorrida. (Pereda, 2004, p.246)

En la Figura 6 se muestra la variación del coeficiente de absorción de ciertos materiales semiconductores, en función de la longitud de onda. Existen dos tipos de curvas totalmente diferenciadas, las que describen los semiconductores de *gap* (banda prohibida superconductor) indirecto, como el Si y el Ge, y las que describen los de *gap* directo, como el AsGa.



Entre los fotodetectores más utilizados están los fotodiodos PN, fotodiodo PIN y fotodiodos de avalancha o APD. Para determinar la efectividad de cierto fotodiodo con respecto a otro, es necesario conocer su capacidad para transformar luz en corriente eléctrica, y con qué rendimiento lo hace. Los dos parámetros que determinan lo mencionado anteriormente son la eficiencia cuántica,  $\eta$ , y la respuesta (conocida en inglés como *responsivity*),  $R$ .

La eficiencia cuántica,  $\eta$ , es el número de pares de portadores electrón-hueco generados por cada fotón de energía incidente, en otras palabras, representa la capacidad de transformar fotones a electrones, y está dada por la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{\text{Número de electrones}}{\text{Número de fotones incidentes}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

La respuesta,  $R$ , es una medida del comportamiento del fotodiodo, en relación a la corriente eléctrica resultante a partir de una potencia óptica incidente:

$$R = \frac{\eta q}{hf} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde  $\eta$  es la eficiencia cuántica,  $q$  representa la carga de un electrón y  $hf$  es la energía transportada por un fotón oscilando a una frecuencia  $f$  (relación de Planck).

La conversión de la señal óptica a eléctrica, se la realiza utilizando un circuito electrónico que eleve la señal eléctrica generada por el fotodetector, a un nivel suficiente para ser procesada. (Pereda, 2004, pp. 250-262)

En la Figura 7, se muestran los elementos que conforman el circuito electrónico de un receptor básico, en un sistema de comunicaciones.

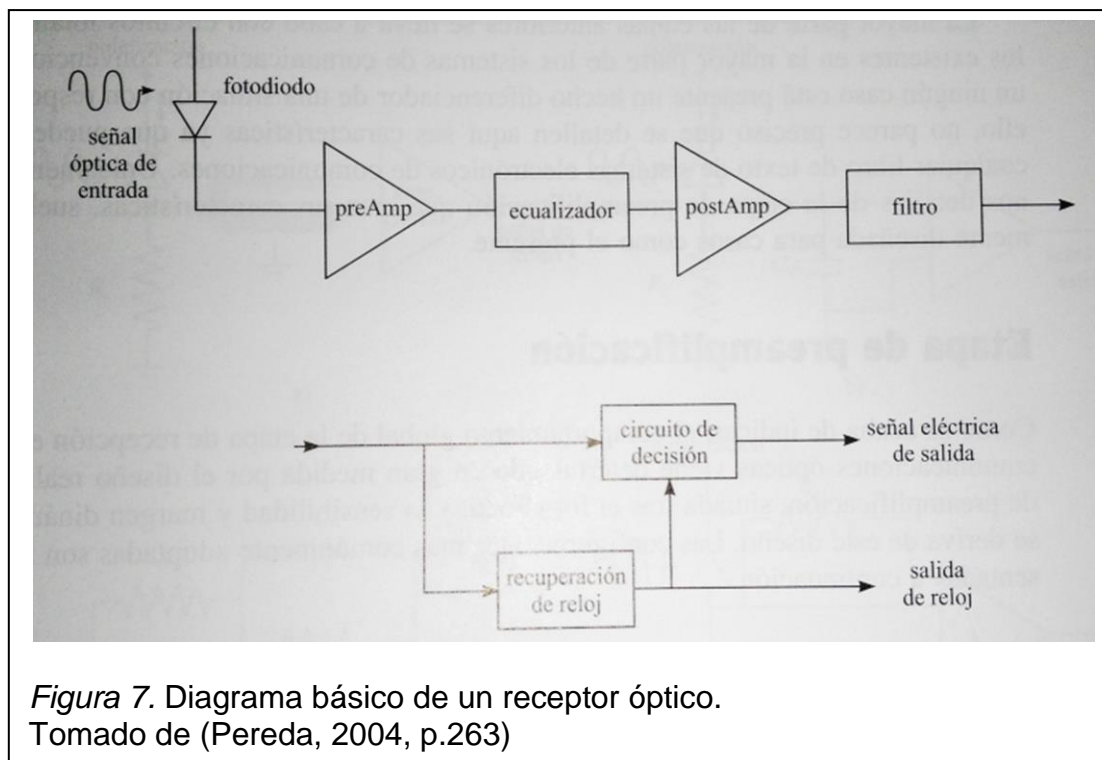
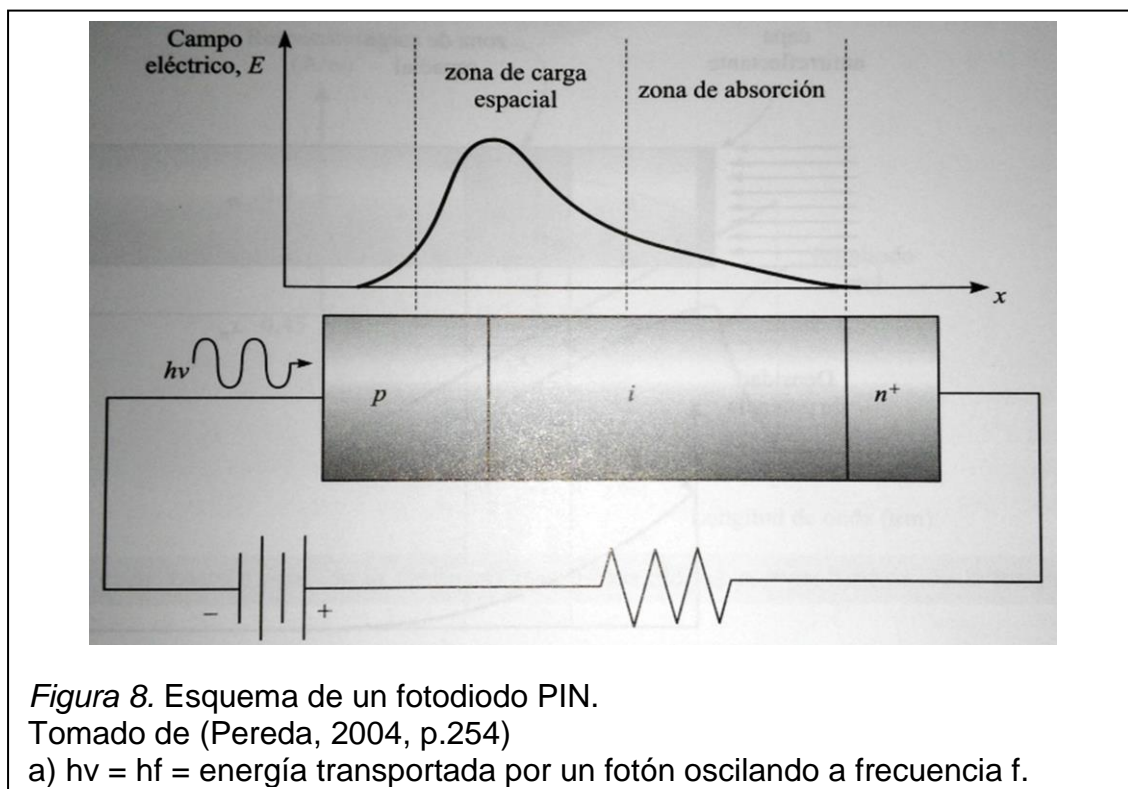


Figura 7. Diagrama básico de un receptor óptico.  
Tomado de (Pereda, 2004, p.263)

### 1.3.2.1 Fotodiodo PIN

Como Pereda (2004, pp.253-255) señala, el fotodiodo PIN presenta una capa semi-aislante de alta resistividad de silicio intrínseco entre las regiones p y n que conforman el diodo, llamada zona intrínseca o de deplexión. La característica principal que cumple este fotodiodo, es que la capa semi-aislante antes mencionada, debe ser de mayor dimensión que la longitud en la que los portadores pueden ser absorbidos por el material. Esta estructura se polariza inversamente para que la región intrínseca esté desprovista de portadores y las concentraciones de estos en las capas n y p, sean depreciables en relación a la concentración de impurezas en esta región.

El diseño del fotodiodo PIN, se da de tal manera que los portadores se generen principalmente en la zona intrínseca, que es donde la mayor parte de luz se absorbe. Debido a la polarización inversa, aparece un campo eléctrico en esta región, que da lugar a que la corriente sea recogida en un circuito externo para formar el reflejo eléctrico de la información transportada por la señal óptica.



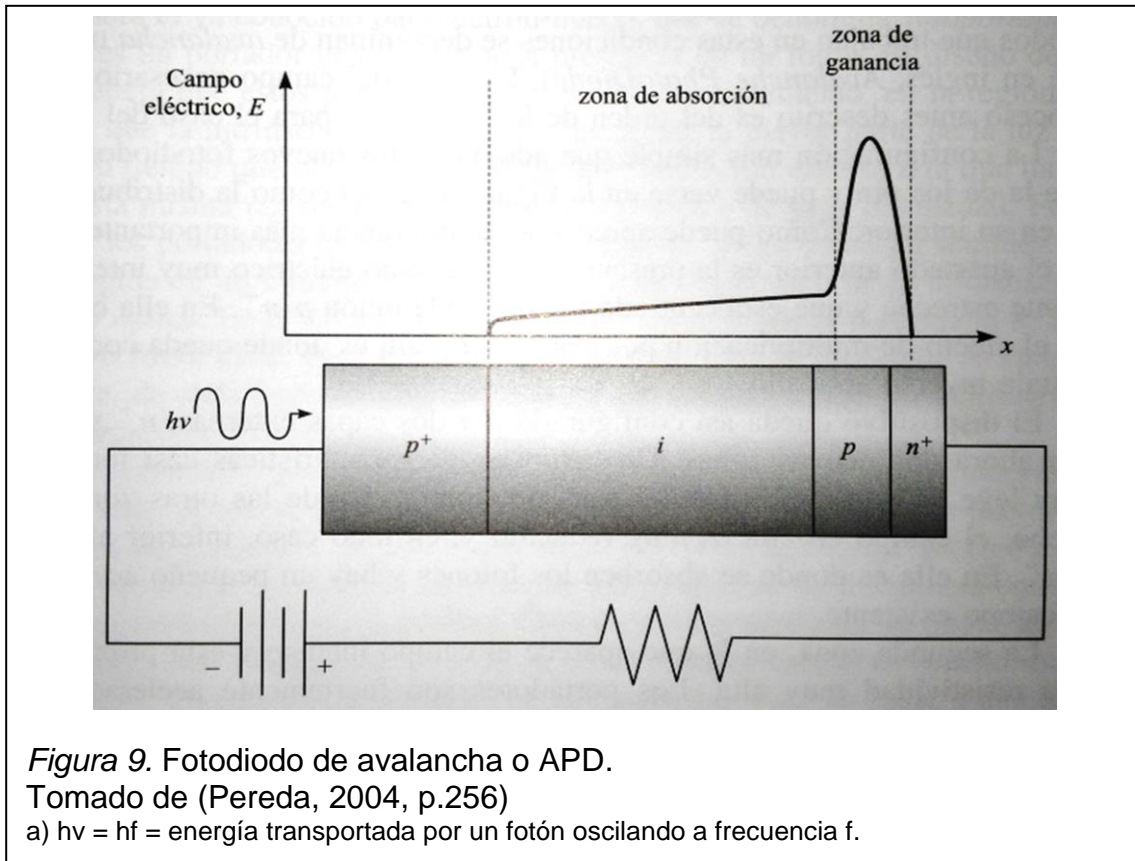
El incremento de la polarización aplicada hace que la zona intrínseca se ensanche, y a su vez, el número de fotones absorbidos aumente. Como consecuencia se logra una mayor rapidez y sensibilidad del fotodiodo. Sin embargo, el incremento de la polarización inversa aplicada no podrá hacerse indefinidamente, ya que esto provocaría una ruptura del material. La situación intermedia entre estos dos casos, da lugar al llamado fotodiodo de avalancha.

### 1.3.2.2 Fotodiodo de avalancha o APD

La característica más significativa del diodo PIN es que, por cada fotón que incida sobre él, se obtiene un par de portadores que no consiguen una ganancia superior a la unidad. Cuando la zona de trabajo de un diodo está próxima a la avalancha hace que el comportamiento del mismo cambie drásticamente, obteniendo ganancias superiores a 100 unidades.

El mecanismo que permite alcanzar dichos valores de ganancia, es la posibilidad de generar pares electrón-hueco por incidencia de fotones en el semiconductor y por el choque de portadores con la zona de depleción. Una vez que los portadores generados por la radiación luminosa alcanzan energía suficiente, pueden provocar que los electrones que se encontraban ligados a una banda de valencia, salten a la banda de conducción, y se cree un nuevo par electrón-hueco que contribuye al proceso de conducción total (avalancha). Debido a esto, los diodos que trabajan en estas condiciones se denominan diodos de avalancha o APD, por sus siglas en inglés *avalanche photodiode*. Para el caso del silicio, el valor del campo necesario para lograr el proceso antes descrito, está en el orden de los  $10^5$  [V/cm]. (Pereda, 2004, p. 255)

En la Figura 9, se muestra el esquema de un fotodetector APD y la representación del campo eléctrico existente en su interior.



### 1.3.3 Canal de comunicación

Según Grosz (2003, p. 25) al medio físico que permite el transporte de información a través de fotones, desde un foto-transmisor hacia un foto-receptor, se reconoce como canal de comunicación. El canal de comunicación corrompe la información transmitida debido a que añade pérdidas causadas por la distancia y el ruido cuántico.

### 1.4 Redes ópticas de acceso (OAN)

La especificación de las redes ópticas de acceso, por sus siglas en inglés (OAN), está dada por la recomendación ITU-T G.983.1, que describe los sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas. Estos sistemas soportan velocidades de *downlink* de 155,52, 622,08 y 1244,16 [Mbps], y velocidades en el canal de *uplink* de 155,52 y 622,08 [Mbps]. Se

describen tanto los sistemas simétricos como los asimétricos. La Recomendación propone especificaciones de capa física y los protocolos de delimitación de distancia de una red óptica pasiva de banda ancha basada en ATM. (Unión Internacional de Telecomunicaciones [ITU-T], s.f.)

#### 1.4.1 Arquitectura de una red óptica de acceso

De acuerdo a la recomendación G.983.1 de la ITU-T, los sistemas de redes de acceso presentan una arquitectura de la sección óptica del tipo punto a punto, o punto a multipunto, pasiva o activa, y es común para las arquitecturas que van desde la fibra a la vivienda (FTTH, *fiber to the home*), pasando por la fibra al edificio/acera (FTTB/FTTC, *fiber to the building/curve*), hasta la fibra hacia el armario (FTTCab, *fiber to the cabinet*). Para su estudio, se las menciona dentro del conjunto de las arquitecturas FTTx. (ITU-T, s.f.)

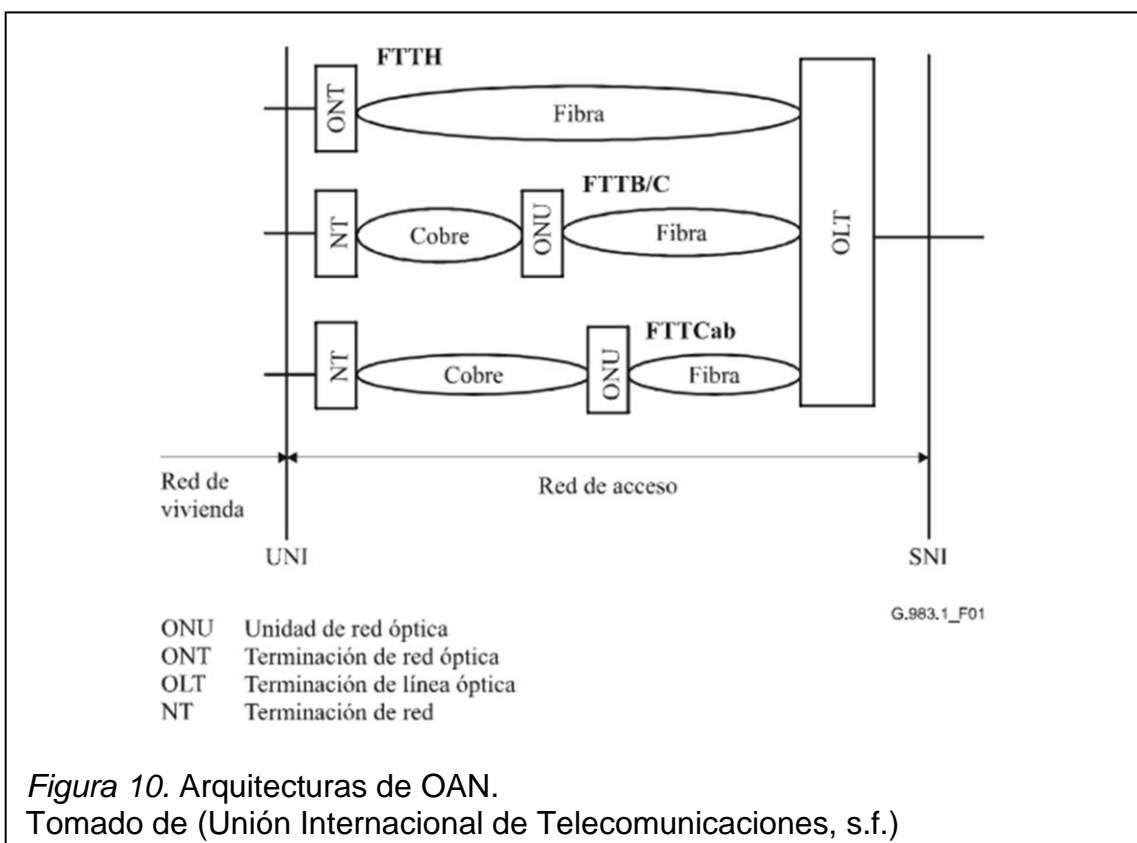


Figura 10. Arquitecturas de OAN.

Tomado de (Unión Internacional de Telecomunicaciones, s.f.)

## 1.4.2 Arquitectura FTTx

La arquitectura FTTx (*Fiber to the x*), es el acrónimo de las redes de fibra óptica de acceso que reemplazan al bucle de cobre y se diferencian según su proximidad al abonado o cliente final.

Como Incera, J. y Cairó, O. (2007, pp. 14-16) señalan, para el transporte de la información, el uso de la fibra óptica es muy atractivo dadas sus cualidades de inmunidad a interferencias electromagnéticas, alta capacidad de ancho de banda y poca atenuación. Los despliegues de fibra óptica tienen un costo elevado para el proveedor, por lo que es necesario se escoja adecuadamente la arquitectura de red apropiada. Salvo ciertos casos, es económicamente inviable reemplazar toda la red de cobre por una red de fibra hasta el abonado, por lo que los proveedores de servicio utilizan las arquitecturas de red FTTx.

### 1.4.2.1 Fibra óptica hasta el edificio (FTTB)

La arquitectura FTTB, *fiber to the building* por sus siglas en inglés, se caracteriza porque la acometida principal de fibra óptica llega hasta la entrada del edificio. Se utiliza para aumentar el ancho de banda hacia el abonado, aprovechando la red interna de cobre ya existente en una edificación y reduciendo el costo de instalación del servicio.

Para este escenario, la red de distribución de fibra óptica (ODN), en su estructura, parte desde la central hasta el cuarto de telecomunicaciones de un edificio, o a su vez, se puede utilizar una sola fibra principal con un splitter óptico, para dividir la señal de transmisión cuando se pretende atender con el servicio a varios edificios. El equipo terminal del usuario (ONU), se ubica en el cuarto de telecomunicaciones del edificio, que es hasta donde llega la fibra óptica.

En la recomendación G.983.1 de la ITU-T, se consideran las siguientes categorías de servicio:



- Servicios con ancho de banda asimétrico, por ejemplo, servicios de banda ancha digitales, video bajo demanda (VoD), Internet, aprendizaje a distancia, tele-medicina, entre otros.
- Servicios con ancho de banda simétricos, por ejemplo, servicios de telecomunicación para pequeños clientes comerciales y tele-consulta.
- RTPC (Red telefónica pública conmutada) y RDSI (Red digital de servicios integrados). La red de acceso deberá poder proporcionar, de una manera flexible, los servicios telefónicos de banda estrecha con la temporización apropiada para la introducción. (ITU-T, s.f.)

En la Figura 11, se muestra el diagrama de una red de acceso por fibra óptica, en el escenario de la arquitectura FTTB.

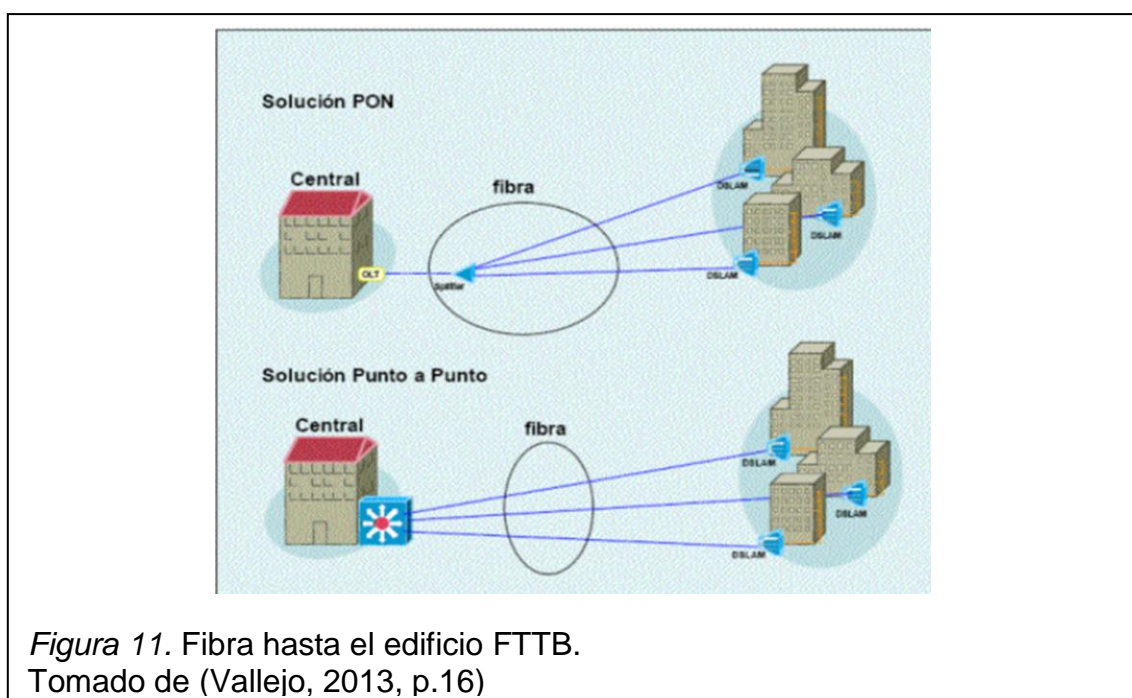


Figura 11. Fibra hasta el edificio FTTB.  
Tomado de (Vallejo, 2013, p.16)

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

La arquitectura FTTC (*fiber to the curve*) por sus siglas en inglés, se caracteriza por presentar el despliegue de la red de acceso por fibra óptica, hasta la acera, utilizando una cabina exterior o un poste.

Según la recomendación G.983.1 de la ITU-T, las arquitecturas FTTB y FTTC son muy similares y suelen diferenciarse únicamente en su implementación, y por lo tanto pueden tratarse como equivalentes. Las categorías de servicio para este escenario son las mismas que las anteriormente citadas para FTTB. (ITU-T, s.f.)

#### **1.4.2.3 Fibra óptica hasta el nodo (FTTN)**

La arquitectura FTTN, (*fiber to the node*) por sus siglas en inglés, tiene la característica de que la trayectoria de fibra óptica va desde la central de telecomunicaciones hasta un punto lejano al abonado, puede ser este, una central de telecomunicaciones. El medio de transmisión entre el nodo y el usuario no es la fibra óptica, sino el cobre. Este escenario se utiliza generalmente para ofertar el servicio de internet por un par de cobre, utilizando una línea de abonado digital (xDSL), desde la central, hacia el abonado.

#### **1.4.2.4 Fibra óptica hasta el hogar (FTTH)**

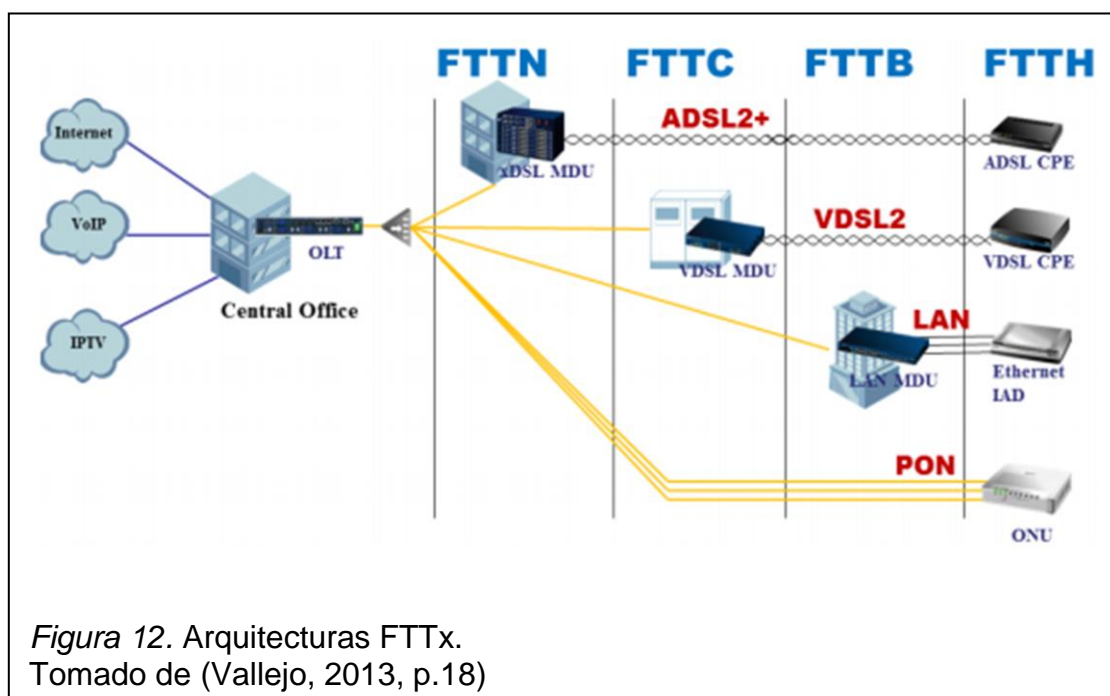
La arquitectura FTTH, (*fiber to the home*) por sus siglas en inglés, se caracteriza porque la acometida de fibra óptica llega hasta la casa del abonado. En esta arquitectura se provee a los usuarios de enlaces dedicados que utilizan una topología tipo estrella, la cual permite que el abonado disponga de un mayor ancho de banda. La principal desventaja de esta arquitectura es que se necesitan cables con mayor número de fibras (*feeder*), para construir la red de acceso óptico, así como también un mayor número de fuentes láser en el equipo terminal óptico (OLT).

En la recomendación G.983.1 de la ITU-T, se consideran las siguientes categorías de servicio:

- Pueden considerarse ONU interiores, por lo que se obtienen condiciones ambientales más favorables.

- No es necesario modificar la ONU intermedia para perfeccionar las capacidades de la red de acceso con el fin de acomodar una futura evolución de servicios de banda ancha y medios.
- El mantenimiento es fácil porque sólo se requiere para sistemas de fibra, y se considera que todos los sistemas de fibra son más fiables que los sistemas mixtos de fibra y metal.
- FTTH es un método que promueve el desarrollo de tecnologías optoelectrónicas avanzadas.
- El mayor volumen de producción de los módulos ópticos repercutirá en una reducción de costo. (ITU-T, s.f.)

En la Figura 12, se muestra un esquema de las diferentes arquitecturas FTTx ya mencionadas, pertenecientes a las redes de acceso óptico (OAN).



### 1.4.3 Bloques funcionales de una OAN

#### 1.4.3.1 Terminación de línea óptica (OLT)

De acuerdo a la recomendación G.983.1 de la ITU-T, la OLT se encarga de la gestión de todos los aspectos del sistema de transporte que se relacionan específicamente con la red óptica pasiva (PON). La ONU y la OLT proporcionan un servicio de transporte ATM (modo de transferencia asíncrona) entre los usuarios y la interfaz del nodo de servicio de la red, a través de la PON. (ITU-T, s.f.)

La OLT se conecta a las redes conmutadas a través de interfaces normalizadas (VB5.x, V5.x, NNI), y consta de tres partes fundamentales:

**Función de puerto de servicio.-** Esta función se encarga de la interconexión con los nodos de servicio, gestionando la inserción de células ATM en la carga útil SDH (jerarquía digital síncrona) hacia el origen y la extracción de células ATM de la carga útil SDH hacia el destino.

**Multiplexor.-** El multiplexor/demultiplexor (MUX) proporciona conexiones de trayecto virtual (VP), entre la función de puerto de servicio y la interfaz ODN. Diversos tipos de información tales como contenidos principales, señalización y flujos de operación, administración y mantenimiento (OAM); se intercambian utilizando canales virtuales del trayecto virtual.

**Interfaz ODN.-** La OLT gestiona el proceso de conversión optoelectrónica, y su interfaz ODN gestiona la inserción de células ATM en la carga útil de la red óptica pasiva (PON) hacia el destino y la extracción de células ATM de la carga útil de la PON hacia el origen.

En la Figura 13, se muestra la constitución interna por bloques funcionales, de una OLT.

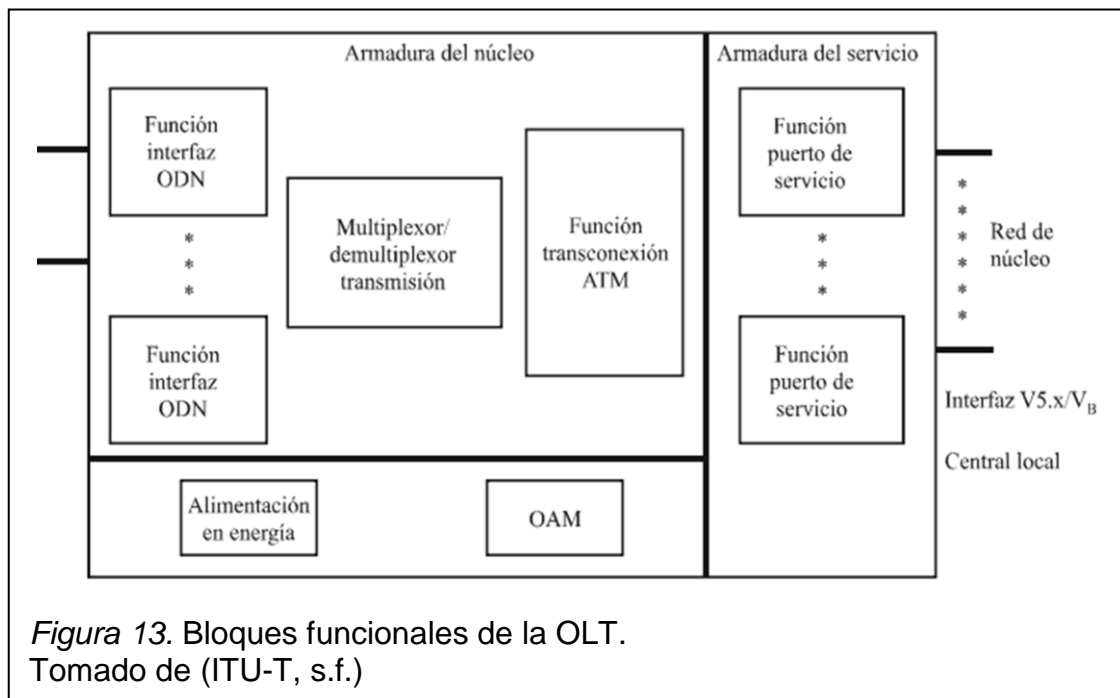


Figura 13. Bloques funcionales de la OLT.  
Tomado de (ITU-T, s.f.)

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

La red de distribución óptica (ODN), suministra el medio de transmisión óptico para la conexión física de los equipos de terminación de red óptica (ONT) con las OLT, y viceversa. La ODN comprende los siguientes componentes ópticos pasivos:

- Fibras y cables ópticos monomodo.
- Cintas de fibra óptica y cables de cintas de fibra óptica.
- Conectores ópticos.
- Divisores ópticos (*Splitters*).
- Atenuadores ópticos pasivos.
- Empalmes. (ITU-T, s.f.)

Las propiedades ópticas de la ODN deben permitir la instalación de cualquier servicio, sin tener la necesidad de realizar modificaciones significativas a la red. En la recomendación G.983.1 de la ITU-T, se identifican los siguientes requisitos esenciales, que influyen directamente en las propiedades ópticas de la ODN:

**Transparencia óptica a la longitud de onda.-** Los dispositivos tales como los divisores ópticos, que no están previstos para realizar ninguna función, deberán ser capaces de soportar la transmisión de señales en cualquier longitud de onda en las regiones de 1310 [nm] y 1550 [nm].

**Reciprocidad.-** La inversión de los puertos de entrada y salida no producirá cambios importantes en la pérdida óptica a través de los dispositivos.

**Compatibilidad con la fibra.-** Todos los componentes ópticos serán compatibles con la fibra monomodo especificada en la Recomendación UIT-T G.652. (ITU-T, s.f.)

#### **1.4.3.3 Terminación de red óptica (ONT)**

La unidad de red óptica (ONU) interconecta la interfaz de usuario de red con la interfaz de nodo de servicio. Es un elemento activo que se encuentra en el lado del cliente y desacopla la distribución interior del mecanismo de entrega de red de acceso. Según la recomendación G.983.1 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, la ONT está constituida por los siguientes bloques:

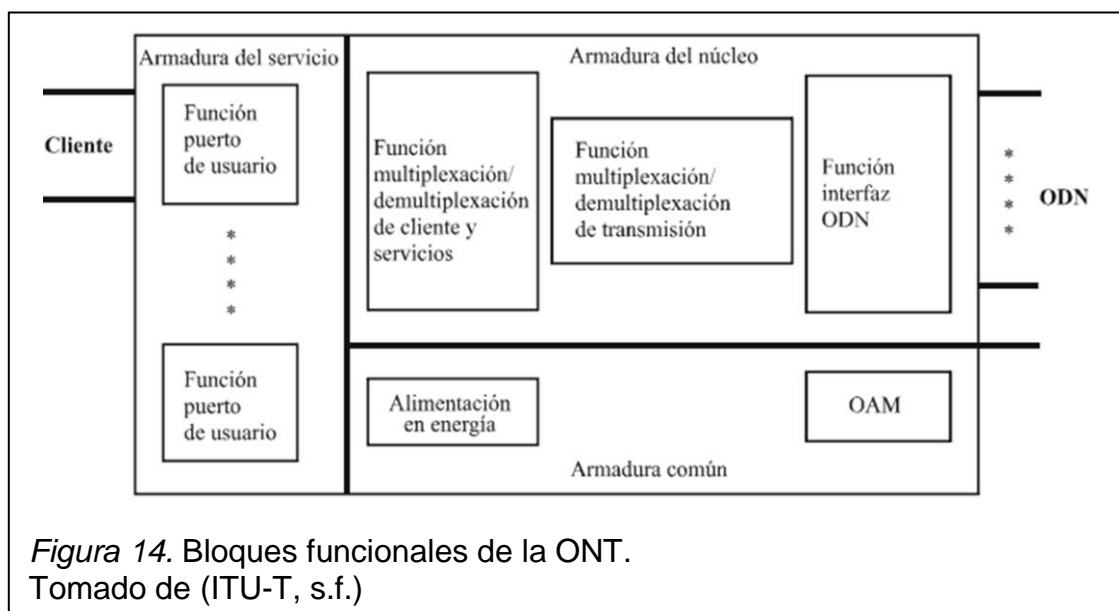
**Interfaz de red de distribución óptica.-** La interfaz ODN trata el proceso de conversión optoelectrónica. Se encarga de extraer células ATM de la carga útil de PON en sentido hacia el destino, e inserta células ATM en la carga útil de PON en el sentido hacia el origen.

**El multiplexor (MUX).**- Multiplexa interfaces de servicio hacia una interfaz ODN. Sólo las células ATM válidas pueden pasar a través del MUX; por tanto, muchos trayectos virtuales pueden compartir eficazmente el ancho de banda para la transmisión hacia el origen.

**Puerto de usuario.**- El puerto de usuario se encarga de la interconexión, a través de la interfaz usuario-red, con un terminal. El puerto de usuario gestiona la inserción de células ATM en la cabida útil hacia el origen, y extrae células ATM de la carga útil hacia el destino.

**Alimentación de la ONU.**- La alimentación de la ONU en energía puede ser independiente de la implementación. (ITU-T, s.f.)

En la Figura 14, se muestra la constitución interna por bloques, de un equipo terminal de red óptica (ONT), además de su interacción con la red de distribución óptica (ODN) y el cliente.



### 1.5 Red óptica pasiva (PON)

Las redes PON, *optical passive networks* por sus siglas en inglés constan de elementos pasivos que no necesitan de energía eléctrica para funcionar. Estas

redes utilizan dos longitudes de onda diferentes para la comunicación, una para el *downlink* y otra para el *uplink*, que son compartidas por los usuarios mediante multiplexación por división de tiempo (TDM) y multiplexación por división de longitud de onda (WDM) respectivamente. (Gonzales y Vega, 2009, p. 23)

Las redes ópticas pasivas están diseñadas para poder ofrecer diversos tipos de servicios de banda ancha por el mismo canal de comunicación, sean estas transmisiones de datos, vídeo *streamming*, o aplicaciones en tiempo real. La característica más importante de la red óptica pasiva (PON), es que la fibra óptica se sitúa entre un terminal de línea óptica (OLT) y varios terminales de red óptica (ONT). La implementación de una red PON es una de las formas más económicas de ofrecer un servicio FTTH, ya que brinda la posibilidad de atender en promedio 64 clientes por cada puerto PON de la OLT.

De acuerdo a la recomendación L.90 de la ITU-T, para seleccionar las características de una red PON, las empresas de telecomunicaciones deben tener en cuenta lo siguiente:

- Número y densidad de clientes (incluidas las previsiones de demanda).
- Costes de construcción y mantenimiento.
- Escalabilidad (número de fibras terminadas, longitud total de la fibra en la red, etc.).
- Sistema de supervisión y prueba de la red óptica. (ITU-T, s.f.)

### **1.5.1 Tipos de redes PON**

#### **1.5.1.1 Red óptica pasiva basada en ATM (APON)**

La red pasiva óptica basada en ATM, fue el primer esquema PON definido en la recomendación ITU-T G.983.1. La recomendación fue inicialmente desarrollada por el grupo FSAN (*Full Service Access Network Group*),

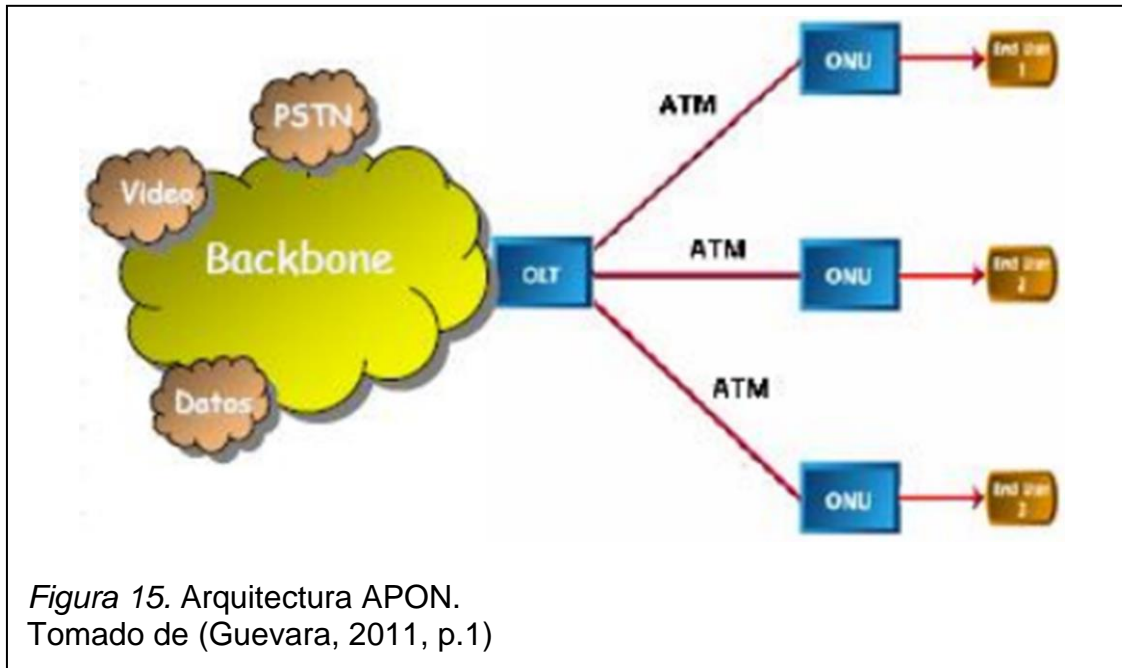


constituido por 7 empresas de telecomunicaciones, para unificar las especificaciones de acceso de ancho de banda a las viviendas.

La transmisión de datos en el canal de bajada, se da en ATM a ráfagas de 53 [bytes] cada una, con 3 [bytes] para identificación del equipo terminal del usuario (ONT). Las ráfagas se transmiten a una velocidad de 155 [Mbps] que son repartidos entre todos los usuarios conectados. Para el canal de subida la trama está conformada de 54 celdas ATM, destinadas para transmitir información de los usuarios e información de operación y mantenimiento.

Según Vallejo (2013, p.21) las características principales de este modelo de red PON son las siguientes:

- El acceso en sentido ascendente es realizado por medio de técnicas TDM y el protocolo MAC que proveen una asignación dinámica del ancho de banda disponible.
- Se proporcionan 4 interfaces ATM de 155 [Mbps] para el intercambio local.
- Se utiliza la ventana de transmisión de los 1310 [nm] para la operación de las ONT's y la ventana de los 1550 [nm] para la operación de la OLT.
- La longitud máxima de fibra óptica entre la OLT y la ONU es de 10 [Km].
- El enrutamiento de las celdas ATM y el tratamiento de sus cabeceras están basadas en el concepto de circuito virtual.

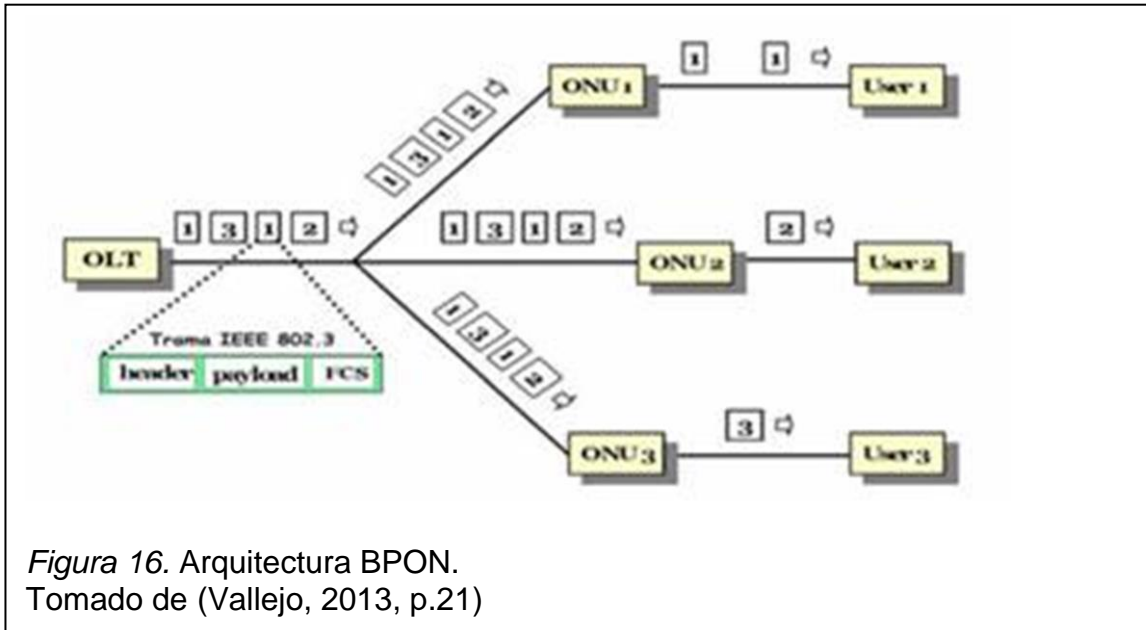


### 1.5.1.2 Red óptica pasiva *broadband* (BPON)

El estándar BPON, por sus siglas en inglés *broadband passive optical network*, está definida por el estándar ITU.T 983 y surgió como una mejora de la tecnología APON, utilizando multiplexación por longitud de onda (WDM), logrando así un aumento en el ancho de banda. Inicialmente BPON definía velocidades simétricas de 155 [Mbps], luego la norma fue revisada para permitir también velocidades asimétricas de 155 [Mbps] en el canal de subida y 622 [Mbps] en el canal de bajada.

Como Vallejo (2013, p.22) señala, las características principales de este modelo de red PON son las siguientes:

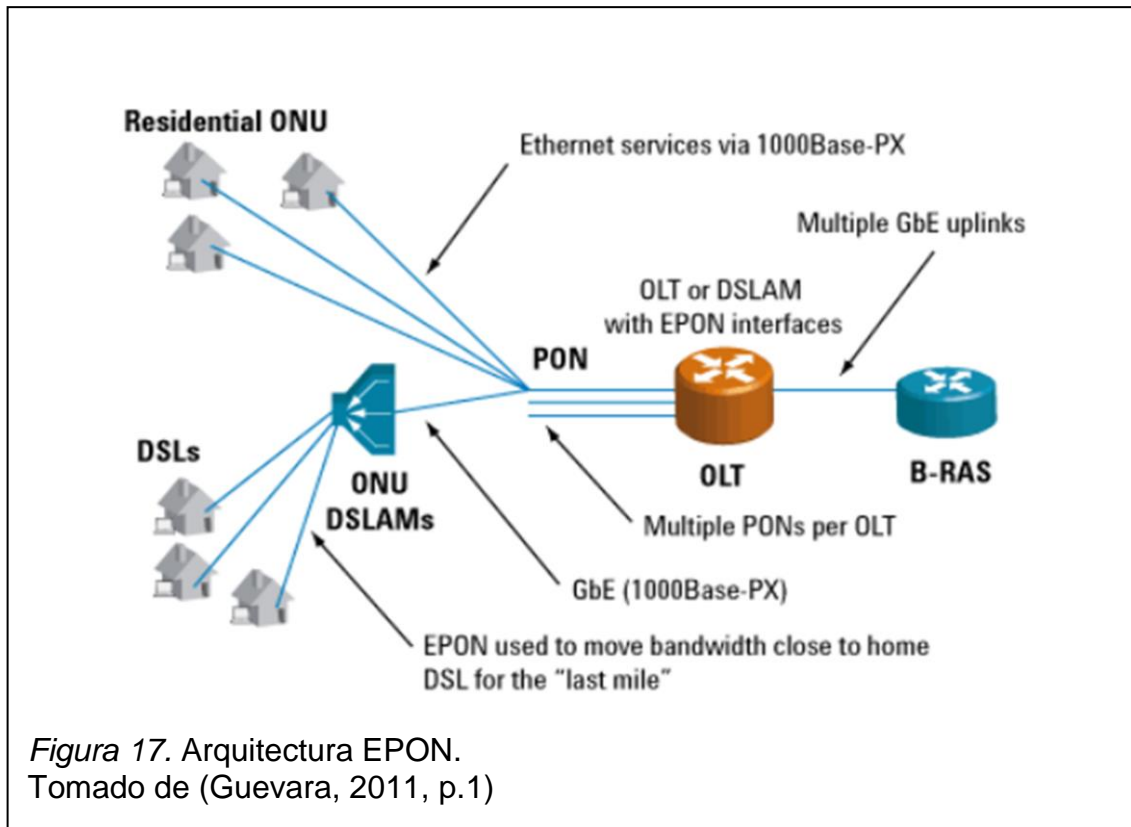
- Soporta distancias de hasta 20 [Km].
- Soporta un máximo de 32 niveles de división óptica.
- Para la transmisión descendente, emplea multiplexación WDM.
- Para la transmisión ascendente, emplea multiplexación TDM, con tramas divididas en 53 *time slots*, donde cada ranura contiene una celda ATM.



### 1.5.1.3 Red óptica pasiva basada en Ethernet (EPON)

La arquitectura EPON, se basa en la norma IEEE 802.3, y se enfoca al transporte por tráfico Ethernet, funciona a velocidades de Gigabit, y la velocidad que dispone cada usuario depende del número de ONT's en servicio.

La diferencia de esta arquitectura con respecto a las anteriores es que no transporta celdas ATM, sino tráfico Ethernet. Usa la codificación de línea 8b/10b incluyendo el uso *full dúplex* de acceso al medio. Comparado con otras tecnologías, el principal atractivo que ofrece EPON es su optimización para el tráfico IP, a diferencia de las alternativas basadas en ATM. (Vallejo, 2013, p.22)

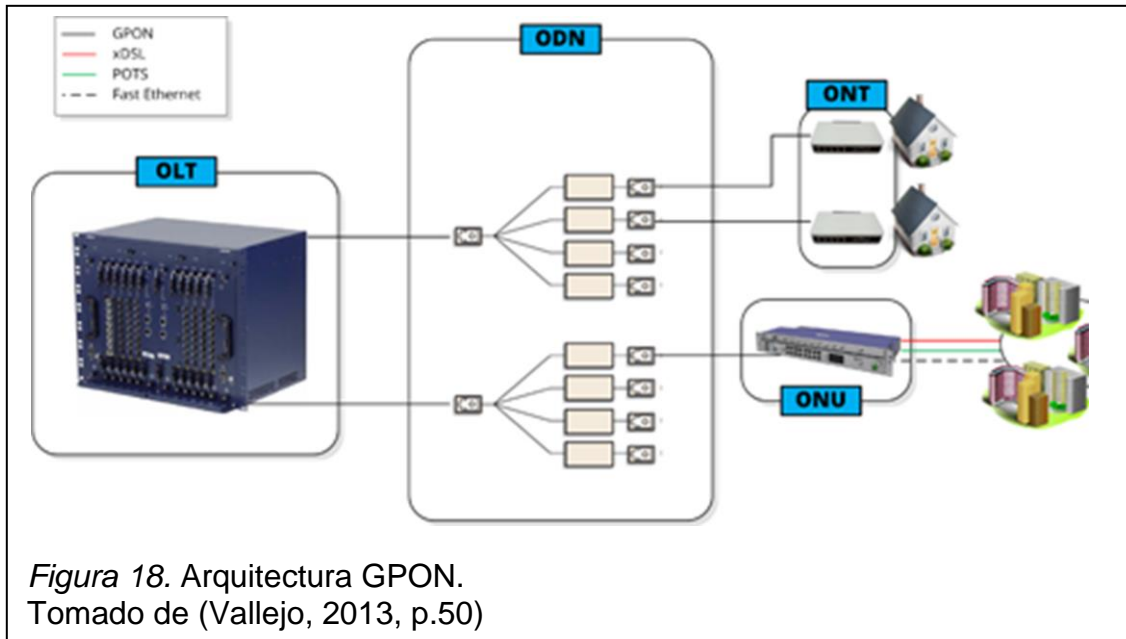


#### 1.5.1.4 Red óptica pasiva con capacidad Gigabit (GPON)

Según la recomendación UIT-T G.984.1 (s.f.) una red GPON describe una red de acceso de fibra óptica flexible, capaz de solventar los requisitos de ancho de banda de los servicios empresariales y residenciales. Cubre con sistemas de tasas de transmisión nominal de 2,4 [Gbps] en la dirección de *downlink* y 1,2 [Gbps] y 2,4 [Gbps] en *uplink*, tanto simétrica y asimétrica.

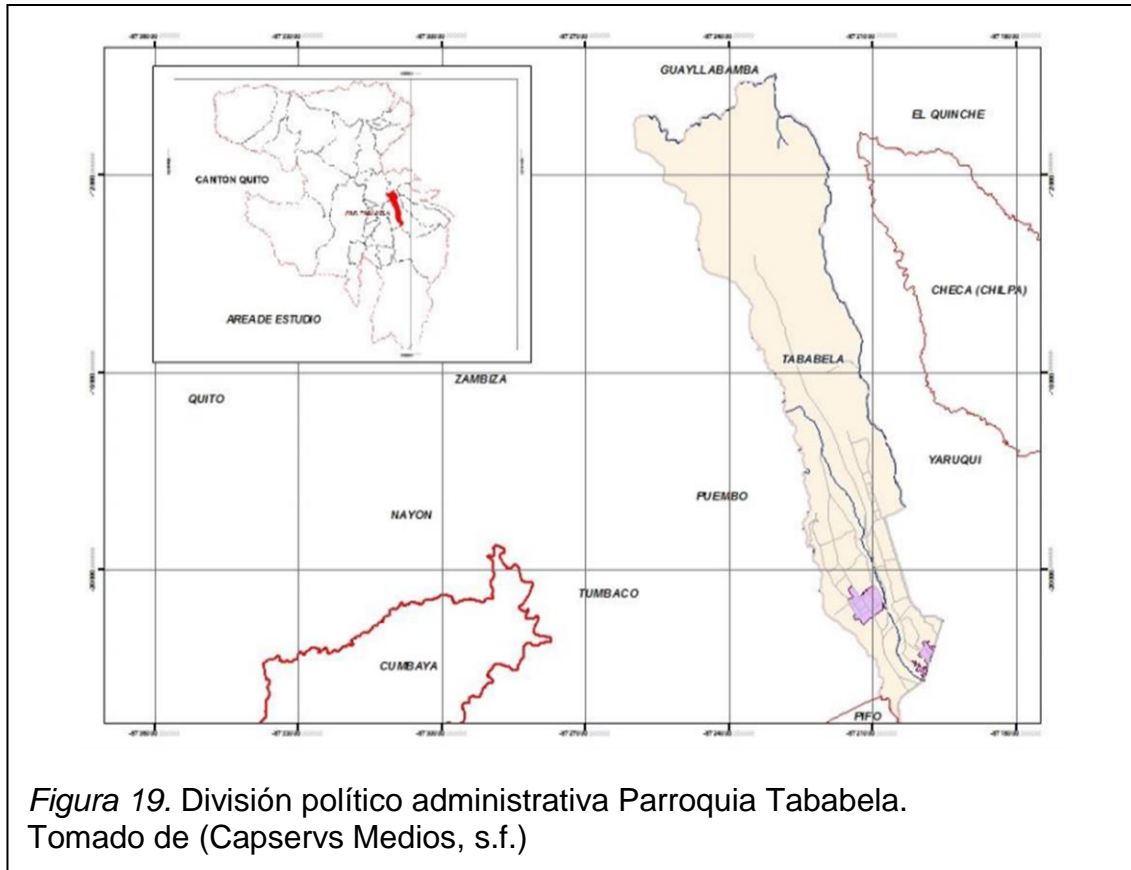
Como Guevara (2011, pp.1-3) señala, la arquitectura GPON ofrece las siguientes ventajas:

- Alcance de hasta 20 Kilómetros al usuario final.
- Red flexible de acceso de fibra óptica tipo monomodo.
- Soporta servicios comerciales, corporativos y *home*.
- Soporta transmisión de video (IPTV).
- Soporta hasta 64 abonados por puerto PON de la OLT.



## 2. CAPÍTULO II. VARIABLES DE DISEÑO DE LA RED FTTH GPON

### 2.1 Demografía del barrio Oyambarillo de Tababela



De acuerdo al informe de Actualización del Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia de Tababela (s.f., pp.1-8) el barrio Oyambarillo pertenece a la parroquia Tababela, misma que está ubicada en el sector Nororiental a 25 [Km] de la ciudad de Quito, entre los meridianos 78 y 79 de longitud occidental y entre los paralelos 0 y 1 de longitud sur. Tababela limita al norte con la parroquia de Guayllabamba, al sur con Pifo, al este con la parroquia de Yaruquí y al oeste con Puenbo.

Tababela se ha caracterizado por el importante progreso que ha tenido en lo que respecta a actividades agrícolas, industriales y de servicios; relacionadas con la producción como textiles, metalmecánica, distribución de cementos y arcillas, madera y alimentos preparados.

A pesar de que las actividades agrícolas de la población de la mayor parte de la Parroquia Tababela continúan siendo el principal factor económico para el sustento de las familias que la habitan, son los servicios y actividades relacionadas con el nuevo Aeropuerto Mariscal Sucre las que tienen mayor posibilidad de crecimiento rápido y generación de pequeños y grandes capitales de inversión o empresas.

Las necesidades que se presentaron en la construcción del nuevo Aeropuerto facilitaron la proliferación y desarrollo de servicios que no existían anteriormente como son hospedaje, alimentación, comercio e incluso la implantación de grandes empresas de acopio y de producción de elementos relacionados con la agricultura, para exportación. (Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia de Tababela, s.f.)

En la Parroquia existen siete barrios: Central, Vergel Alto, Vergel Bajo, Oyambarillo, San Rafael, San Antonio y Santa Rosa. El Centro urbano de estos barrios no presenta un crecimiento poblacional a excepción de Oyambarillo, cuya ubicación junto a la vía principal y cerca del Aeropuerto, ha contribuido a su acelerado desarrollo, de tal manera que se evidencia inversión económica, y con ello, la necesidad de conectividad de alta velocidad para satisfacer las comunicaciones de la nueva sección productiva y empresarial del sector.

El barrio Oyambarillo, con una densidad poblacional de aproximadamente 600 familias, está delimitado por la antigua vía férrea, el barrio El Vergel y la carretera Panamericana hacia Yaruquí. En la Figura 20 se muestra el área geográfica que define al barrio Oyambarillo y que es tomada en cuenta en la cobertura del diseño de la red de fibra óptica GPON.



Figura 20. Ubicación geográfica del barrio Oyambarillo.  
Adaptado de (Google Earth, s.f.)

### 2.1.1 Contexto tecnológico del sector

Las empresas de telecomunicaciones CTN E.P., CLARO y MOVISTAR, han ampliado su servicio con la colocación de repetidoras en el sector, mejorando ostensiblemente la recepción de telefónica móvil. Sin embargo existe un déficit en el servicio de internet fijo, ya que al momento el barrio cuenta con una red de cobre desplegada desde las centrales de CNT E.P., Pifo y Tababela, a una distancia de 4,2 y 3 [Km] respectivamente, lo cual permite brindar servicios de internet a través de la tecnología de línea de abonado digital asimétrica (ADSL) a velocidades no mayores a 1 [Mbps]. Además el proveedor de internet inalámbrico iPLANET, ofrece servicios de telecomunicaciones mediante tecnología *Wimax* a velocidades entre 600 [Kbps] y 1,5 [Mbps].

Tabla 1. Análisis de penetración del servicio de internet del barrio Oyambarillo

Barrio	INTERNET MÓVIL			INTERNET FIJO	
	CNT E.P.	CLARO	MOVISTAR	CNT E.P.	iPLANET
Oyambarillo	100 %	100 %	100 %	25,5 %	10 %

Adaptado de (Capservs Medios, s.f.)



El barrio Oyambarillo tiene cobertura total de telefonía celular e internet móvil por medio de esta plataforma. Sin embargo la cobertura de internet fijo se reduce a un 25,5 % por medio de tecnología ADSL que oferta la empresa CNT E.P., datos tomados del software de gestión de red, estadísticas y abonados de la CNT E.P. (OPEN FLEXIS), y a un 10% por medio de tecnología WIMAX que oferta la empresa iPLANET.

Tabla 2. Penetración de servicios de CNT E.P. en el barrio Oyambarillo

<b>PROVEEDOR</b>	<b>CNT E.P.</b>
<b>Suscriptores de internet y datos</b>	102
<b>Suscriptores de Telefonía fija</b>	582
<b>Suscriptores de Televisión pagada (DTH)</b>	98

Adaptado de (CNT E.P. OPEN FLEXIS, s.f.)

Según los datos de red de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones, el barrio Oyambarillo está atendido por dos armarios de distribución de red de cobre, armario 11 y armario 12, que provienen de las centrales de Puembo y Tababela respectivamente. Para el caso del armario 11, al estar demasiado lejos de la central, no se puede brindar el servicio ADSL por cobre, sin embargo se atiende a 283 abonados de telefonía fija. Para el caso del armario 12, perteneciente a la central de Tababela, actualmente se atienden a 102 abonados de internet fijo y 283 abonados de telefonía. Adicionalmente la CNT E.P. atiende al barrio con el servicio de televisión por suscripción (DTH), con una penetración de mercado de 98 clientes activos.

Por otro lado, el proveedor de servicios iPLANET tiene 40 clientes activos del servicio de internet por *WIMAX* y no oferta otro tipo de servicios, logrando una penetración de mercado del 10% en relación a la cantidad de familias del barrio Oyambarillo.

## 2.2 Justificación de la propuesta GPON

La tecnología GPON permite la convergencia de varios servicios de telecomunicaciones sobre una misma infraestructura de red, lo cual influye en la disminución de costos de despliegue de red de las operadoras, evitando instalar y mantener redes paralelas para cada uno de sus servicios. Esto contribuye a mediano plazo, a la reducción de tarifas por servicio de los abonados y usuarios del sector del barrio Oyambarillo.

La tecnología GPON presenta ventajas significativas en relación a otras tecnologías, es por esto que se ha determinado su aplicación para desplegar la red pasiva óptica del barrio Oyambarillo. Según el estudio comparativo de redes ópticas de la Universidad Tecnológica de Pereira (2004, p.322), las ventajas más relevantes son las siguientes:

- GPON soporta tasas de transmisión asimétricas, misma característica que no se encuentra en otras tecnologías de acceso PON, la velocidad estándar que utilizan los proveedores es de 2,488 [Gbps] en el canal de *downstream* y 1,244 [Gbps] en el canal de *upstream*.
- A diferencia de otras tecnologías, GPON utiliza el método de encapsulamiento GEM, por sus siglas en inglés de GPON *encapsulation method*, que tiene la característica de soportar cualquier servicio que utilice tecnología ATM, Ethernet, o TDM; sin la necesidad de migrar los equipos instalados en el cliente.
- Los niveles de splitteo en GPON son de hasta 64 usuarios por cada puerto PON de la OLT, lo cual representa un aspecto muy atractivo para las operadoras de este servicio.
- Soporta la transmisión de video por paquetes (IPTV), además de lograr un alcance máximo de 20 [Km] hasta el usuario final.
- GPON trabaja en una estructura tipo árbol de la capa 2, soportando redes complejas basadas en el protocolo ATM.

- La eficacia en los sistemas GPON es alta comparada con otros sistemas de red óptica pasiva, debido a que su encabezado en tramas es reducido y se obtiene un mayor número de bits de carga útil (*payload*).
- La característica de mantenimiento, operación y administración (OAM) está disponible en la capa física y de control de cliente, lo que mejora la capacidad de gestión de las redes GPON.
- La seguridad en el canal de bajada, mediante encriptación AES (advance encryption standard), está definida en el estándar de la ITU-T G.984, mientras que otras tecnologías no definen su tipo de seguridad en el *downlink*.
- En la actualidad, las redes GPON presentan cierta ventaja económica sobre otras tecnologías, además de su ventaja en términos de ingeniería.
- Al soportar 64 clientes por cada puerto PON, se necesita la instalación de una menor cantidad de equipos OLT, en relación a otras tecnologías, para satisfacer la misma demanda.

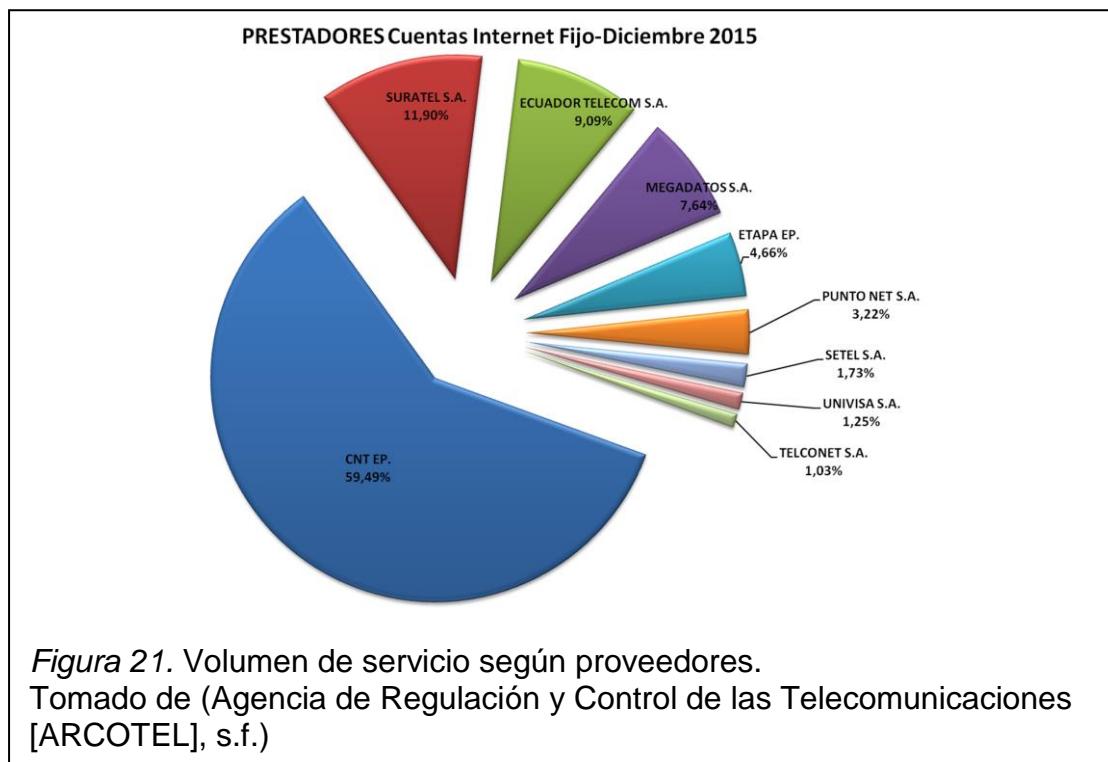
Con el despliegue de red FTTH GPON en el barrio Oyambarillo ubicado en la parroquia rural Tababela del cantón Quito, se asegura el acceso al servicio de internet de altas velocidades de consumo masivo y la posibilidad de brindar más servicios convergentes utilizando un solo canal óptico por cliente, tales como el servicio telefónico y la distribución de televisión digital (IPTV). Así mismo se deja abierta la posibilidad de atender con el servicio a más localidades del sector, como la comuna Oyambaro y demás barrios de la Parroquia.

### **2.3 Análisis de posibles proveedores del servicio GPON**

A continuación se presentan los aspectos a considerar para la selección del proveedor de servicios GPON del barrio Oyambarillo de Tababela. Es necesario tomar en cuenta características como soporte técnico, tiempo promedio de respuesta a reclamos, despliegue de la red, tipos de servicios

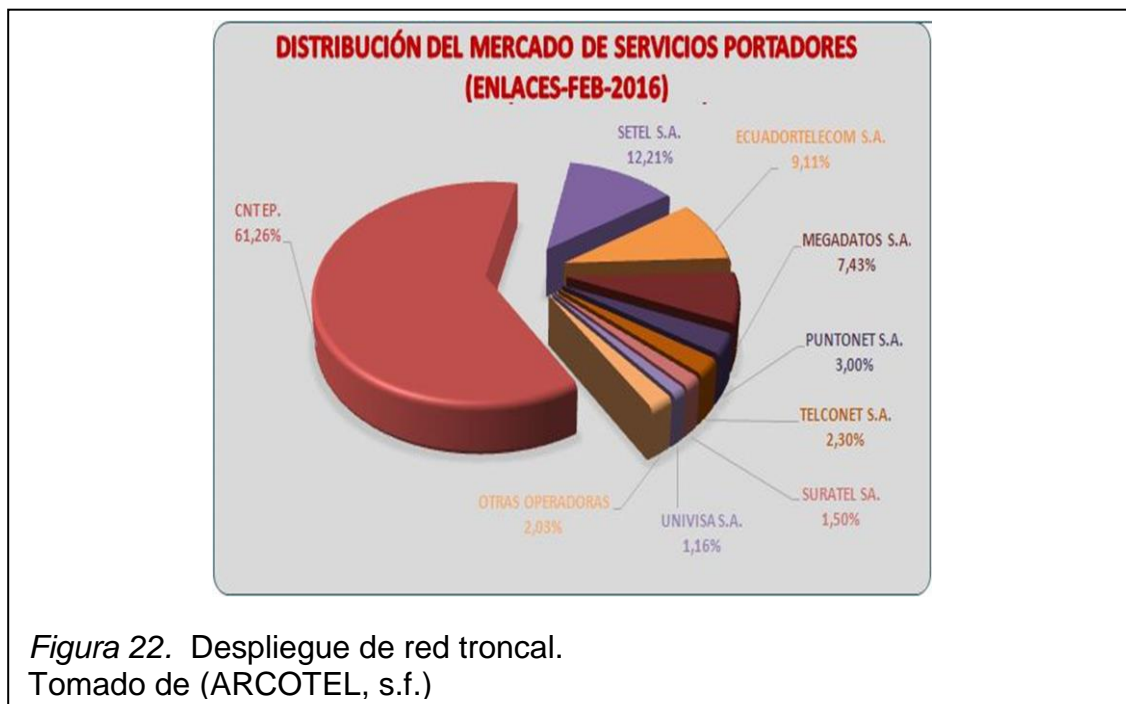
convergentes, distancia desde la central más cercana, entre otros que influyen en la calidad de servicio y factibilidad de despliegue de la red GPON.

En la Figura 21 se muestra un diagrama del número de prestadores o cuentas de internet fijo por cada proveedor de servicios con una penetración de mercado considerable a nivel nacional, independientemente del tipo de acceso que usa cada operador



De acuerdo a los datos estadísticos nacionales proporcionados por la ARCOTEL, la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT E.P.), tiene una penetración de mercado del 59,49 % de su servicio de internet fijo, siendo esta empresa la que presenta una mayor participación como proveedor en este mercado. Aprovechando que cuenta con una gran infraestructura de cobre desplegada para brindar el servicio de voz, emplea la misma para aplicar la tecnología de línea de abonado digital asimétrica (ADSL) para ofertar el servicio de internet fijo, además de su red de fibra óptica GPON que se encuentra en crecimiento.

En la Figura 22 se muestra un gráfico sobre la distribución de mercado en base a los servicios portadores por proveedor, mismo que hace referencia al despliegue de la red troncal y cobertura con fibra óptica de cada empresa.



Según los datos estadísticos presentados por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. (ARCOTEL, s.f.), la empresa CNT E.P., tiene la mayor distribución de mercado de servicios portadores y despliegue de red troncal a nivel nacional. El despliegue de esta fibra óptica hace mención a la interconexión entre centrales, servicios corporativos y red GPON.

La Corporación Nacional de Telecomunicaciones, ha incrementado su fibra óptica a 11.159 [Km], desde el año 2006 en el que registraba 1.251 [Km]. El despliegue de esta red ha hecho posible que 3.520 localidades de 23 provincias ecuatorianas estén conectadas. (Corporación Nacional de Telecomunicaciones [CNT E.P.], s.f.)

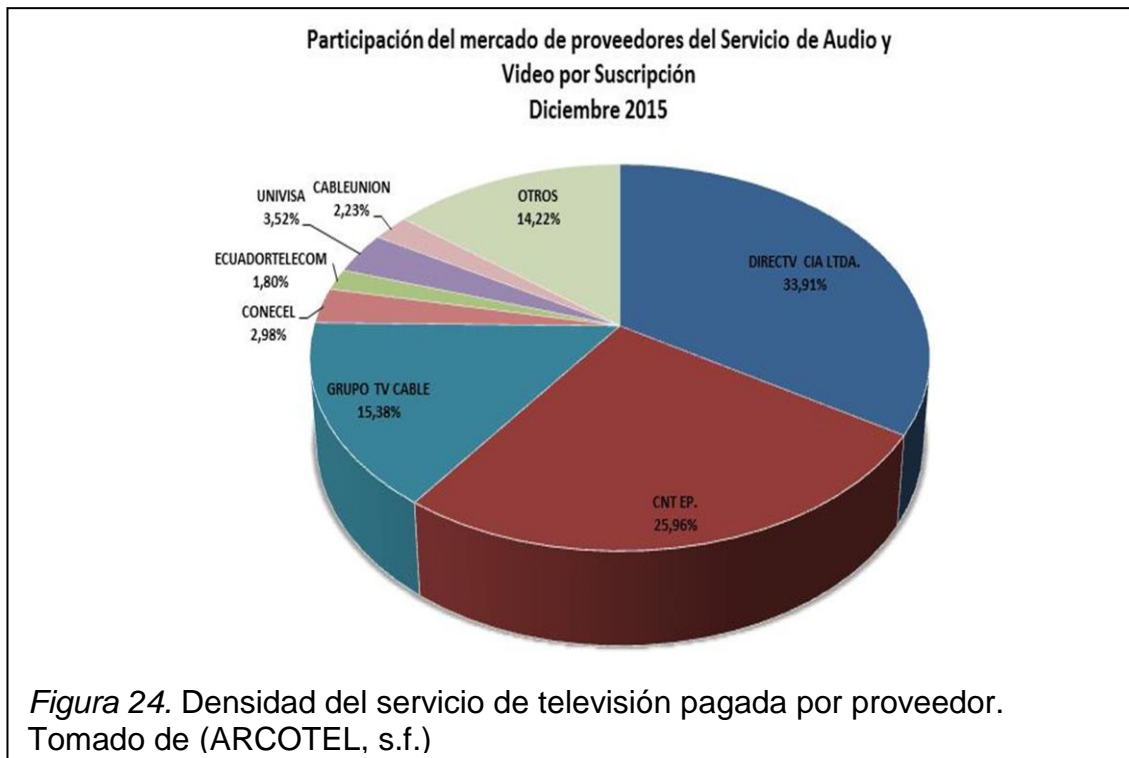
La Figura 23 describe las estadísticas nacionales de participación en el mercado de telefonía fija por cada proveedor con significativa penetración en el

mismo. Cabe recalcar que dicha participación es independiente del tipo de acceso que cada empresa utilice para ofertar su servicio.



De acuerdo a las estadísticas presentadas por la ARCOTEL, la empresa CNT E.P. tiene la mayor participación en el mercado con respecto al servicio de telefonía fija, presentando un 86 % de penetración de su servicio a nivel nacional. La empresa CNT E.P. tiene 2'104.341 abonados activos de telefonía fija en el Ecuador, por lo que su despliegue de infraestructura de canalización y postería es la más extensa.

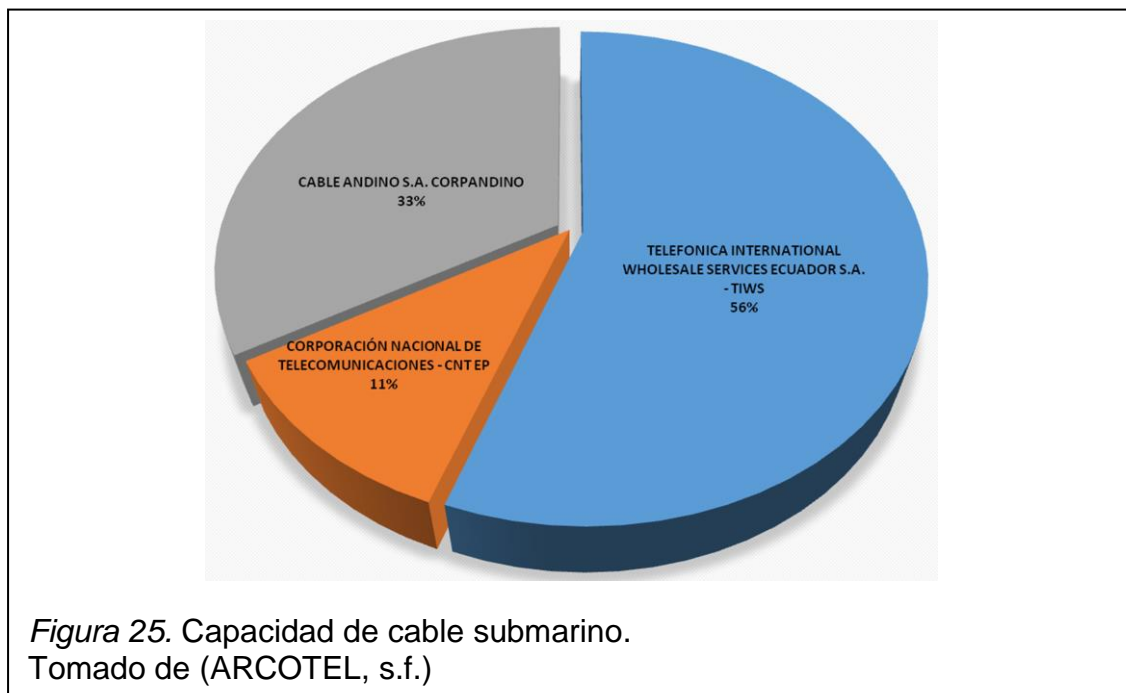
En la Figura 24 se muestra la participación de mercado de los proveedores del servicio de televisión por suscripción hasta diciembre del 2015. El análisis de la participación detallada es independiente del tipo de acceso o tecnología que cada proveedor utiliza para dar el servicio de video por suscripción.



Según los datos estadísticos presentados por la ARCOTEL, la empresa DIRECTV refleja la mayor penetración de mercado en lo que se refiere al servicio de video por suscripción con 458.283 clientes, utilizando como tecnología de acceso la conexión vía satélite. Por otro lado, la empresa CNT E.P. tiene una penetración de mercado del 25,96 % con 350841 suscriptores, utilizando también tecnología satelital como medio de acceso.

En la Figura 25 se muestra la distribución de mercado referente a la salida internacional por cable submarino de las empresas que ofertan este servicio. Las salidas internacionales en el Ecuador se dan por varios medios, el denominado *Pacific Caribbean Cable System (PCCS)*, que tiene una extensión de 6000 kilómetros y recorre las costas de Colombia, Panamá, Puerto Rico y Estados Unidos. Este proyecto es ejecutado por el consorcio internacional conformado por empresas como Telconet, Setar, Telefónica, *Cables & Wireless*, y Alcatel Lucent. El segundo cable submarino de salida internacional, llamado cable Panamericano, que se encuentra en funcionamiento desde 1988, tuvo como punto de partida Estados Unidos, y luego se desplazó hacia Panamá, Aruba, Venezuela, Colombia, Perú, Chile y Ecuador. El tercer cable

submarino que recorre el Ecuador es el SAM 1, que se encuentra en funcionamiento desde el 2007 y fue impulsado por la empresa privada Telefónica International Wholesale Services. Además de bordear la costa ecuatoriana, pasa por las costas de Argentina, Brasil, Chile, Perú, Colombia, Guatemala y Estados Unidos. (Ramírez, 2014, p.1)



Según las estadísticas presentadas por la ARCOTEL, la empresa Telefónica Internacional Wholesale Services Ecuador S.A tiene la mayor participación de capacidad de cable submarino con un 56 % del total. Por otro lado, la empresa CNT E.P. participa en un 11 % de la capacidad de cable submarino en el Ecuador, misma empresa posee nivel de ISP TIER II (de cobertura nacional), con posibilidad de transporte de datos de 192 [STM-1] a través de cinco mega puntos de conexión internacional a Internet; tres cables submarinos de gran capacidad (Cable Panamericano, Emergia y Américas) y dos cables terrestres (Telecom y Transnexa). (CNT E.P., s.f.)



### 2.3.1 Definición de proveedor

Tomando como referencia los datos estadísticos de la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), se puede evidenciar que la empresa estatal CNT E.P. presenta claras ventajas sobre otras operadoras, tales como:

- Disponibilidad de un portafolio de servicios, que al ser transmitidos a través de una red GPON, logran su convergencia y el aprovechamiento máximo del canal del usuario.
- Alta participación de mercado que se traduce en el despliegue de una gran infraestructura civil de telecomunicaciones (canalización subterránea y postería) a nivel nacional.
- Capacidad de cable submarino que aporta a la reducción de gastos por alquiler de interconexión internacional y abarata el costo del servicio al usuario final.
- Alta participación en el mercado como proveedor de servicios corporativos, inclusive CNT E.P. es proveedor de servicios de otras empresas de telecomunicaciones, lo cual evidencia su calidad de servicio y pronta atención a requerimientos del cliente.

Además de las ventajas antes mencionadas, la Corporación Nacional de Telecomunicaciones es el único proveedor de servicios GPON que utiliza plataformas OLT *outdoor*, que favorece a la capacidad de ingresar con este servicio en poblaciones y lugares de baja demanda, sin la necesidad del despliegue de un cable *feeder* desde una central de telecomunicaciones. Un equipo OLT *outdoor* de baja capacidad solo necesita conectividad, a través de un enlace de fibra óptica, hacia la red MPLS de la CNT E.P.

Para el caso del barrio Oyambarillo la central más cercana de CNT E.P. con puertos MPLS disponibles es la de Tababela, a 3 [Km] de distancia, desde la cual se desplegará una fibra óptica hacia el barrio para alimentar el *uplink* del

equipo OLT *outdoor*. Por lo antes expuesto, se escoge como proveedor de servicios a la CNT E.P. y se tomará como referencia su normativa de construcción de red GPON para el diseño de la red de fibra óptica FTTH GPON para el barrio Oyambarillo de Tababela.

## **2.4 Normativa de construcción de red GPON de CNT E.P.**

De acuerdo a la normativa para construcción de redes de distribución GPON de la CNT E.P., para evitar complicaciones por posibles ampliaciones de la red, en la fase de construcción y posteriormente en la etapa de mantenimiento se deberá tener presente las siguientes consideraciones de carácter general:

**Compatibilidad con otros servicios.-** Para que la incidencia de otros servicios como instalaciones eléctricas, sistemas de agua u otros elementos, no afecte las instalaciones GPON, la canalización de acometida debe estar separada de las instalaciones de otros servicios.

**Demanda GPON.-** En el diseño de la red GPON se deberá tener en cuenta la demanda presente y la posible demanda a futuro. (CNT E.P., s.f.)

La red GPON de la CNT E.P., se divide en tres subredes, red de *feeder*, red de distribución y red de dispersión. Para el caso de una OLT *outdoor* la red de *feeder* no parte desde una central, por cuanto la ubicación de la OLT es directamente en el área de cobertura que requiere el despliegue de las redes GPON.

### **2.4.1 Red de *Feeder***

La red de *feeder* interconecta el distribuidor de fibras ópticas (ODF), ubicado en la central de telecomunicaciones o al interior de un equipo OLT *outdoor*, con los armarios de distribución o mangas. Es la parte troncal de la red y está constituida por cables de fibra óptica de 288 o 144 hilos monomodo G.652D,

generalmente canalizados, que parten desde la OLT y se dividen hacia los elementos de distribución. (CNT E.P., s.f.)

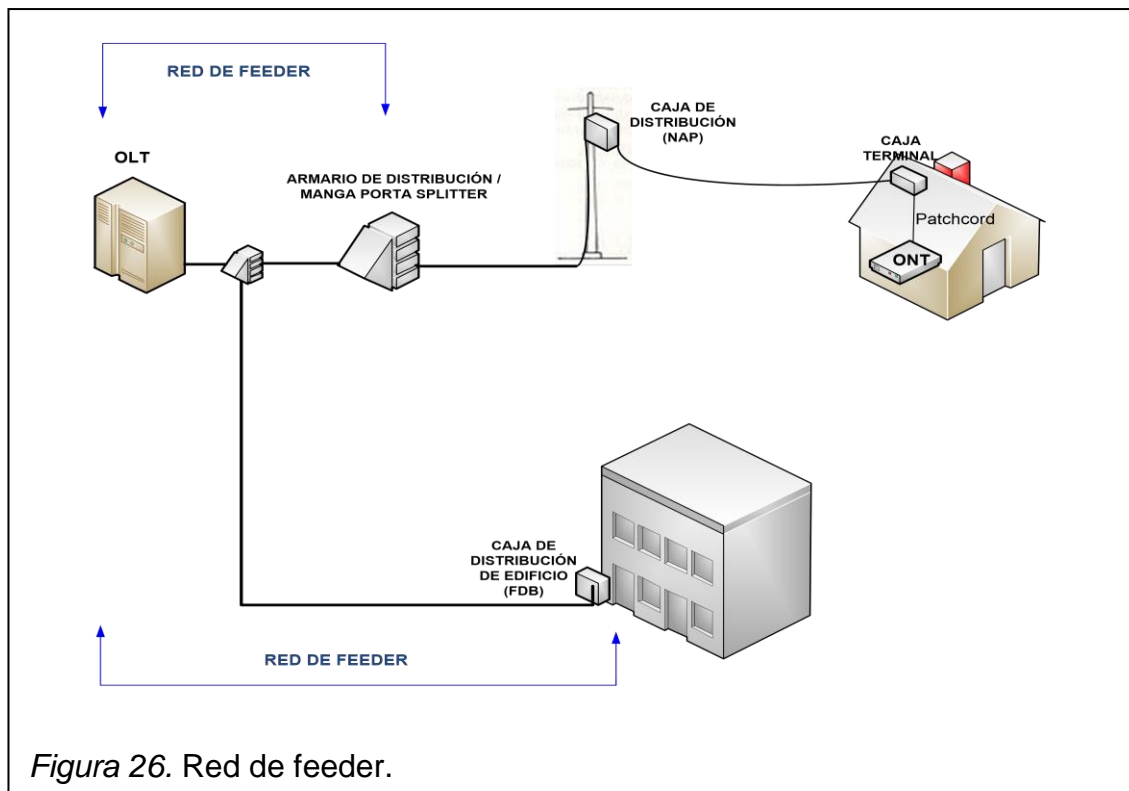


Figura 26. Red de feeder.

## 2.4.2 Red de Distribución

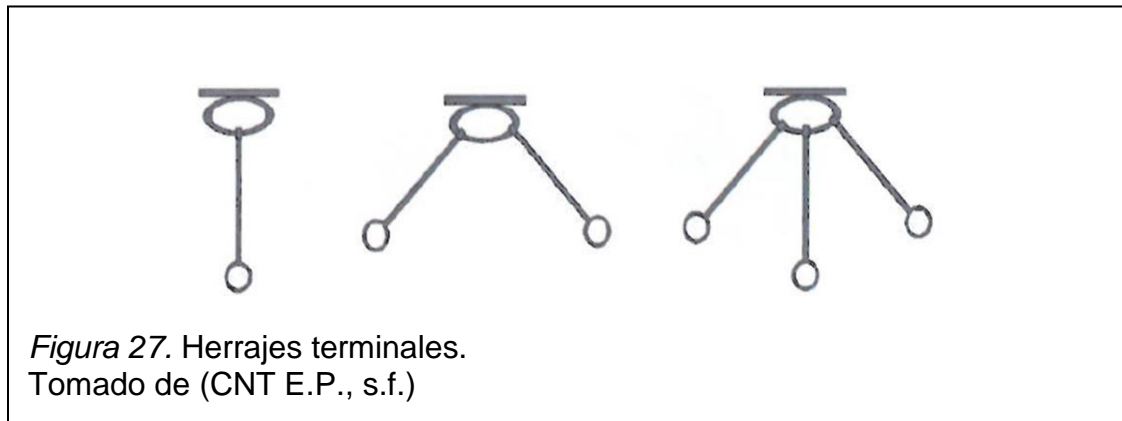
La red de distribución comprende los cables de fibra óptica monomodo G.652D aéreos, canalizados o murales, cuyas capacidades van desde 6 hilos hasta 96 hilos, elementos pasivos (mangas, NAP y *splitters*) y herrajes.

### 2.4.2.1 Distribución aérea

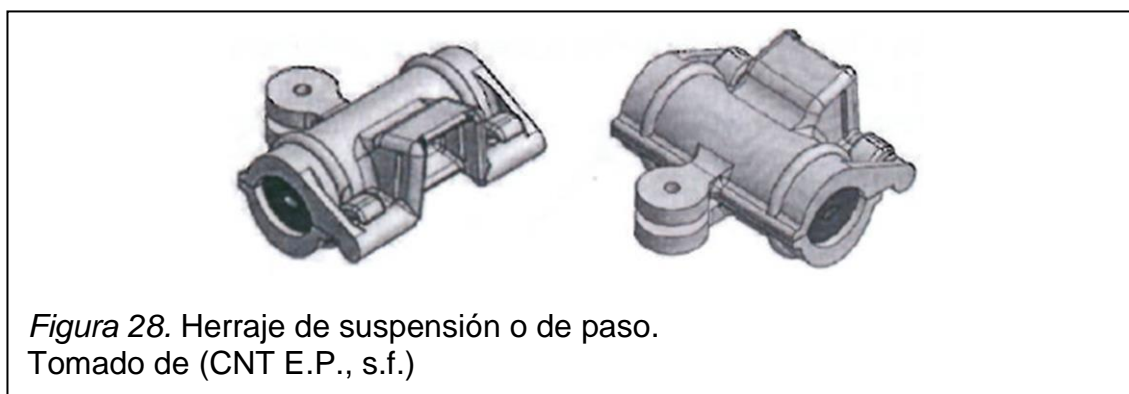
Los cables para distribución aérea son del tipo auto soportado (ADSS), para el tendido de este tipo de cable se utiliza herrajes de retención con preformados de acuerdo al diámetro del cable.

Los herrajes que se utilizan en el despliegue de la red de distribución son de tres tipos: Herraje de retención, herraje de suspensión o de paso y herraje de

dispersión. El herraje de retención se lo utiliza donde se instala una caja NAP o cuando existe un cambio de dirección del cable y se pueden instalar varios cables en un mismo herraje.



Los herrajes de suspensión o de paso se utilizan en los postes donde no se realiza un cambio de dirección en la fibra óptica y que no se supere el vano del cable especificado por el fabricante.



Los herrajes de dispersión se utilizan para la instalación del cable tipo DROP de los clientes finales y se diseñan para todos los postes que intervengan en el área de cobertura del proyecto, contengan o no cables.

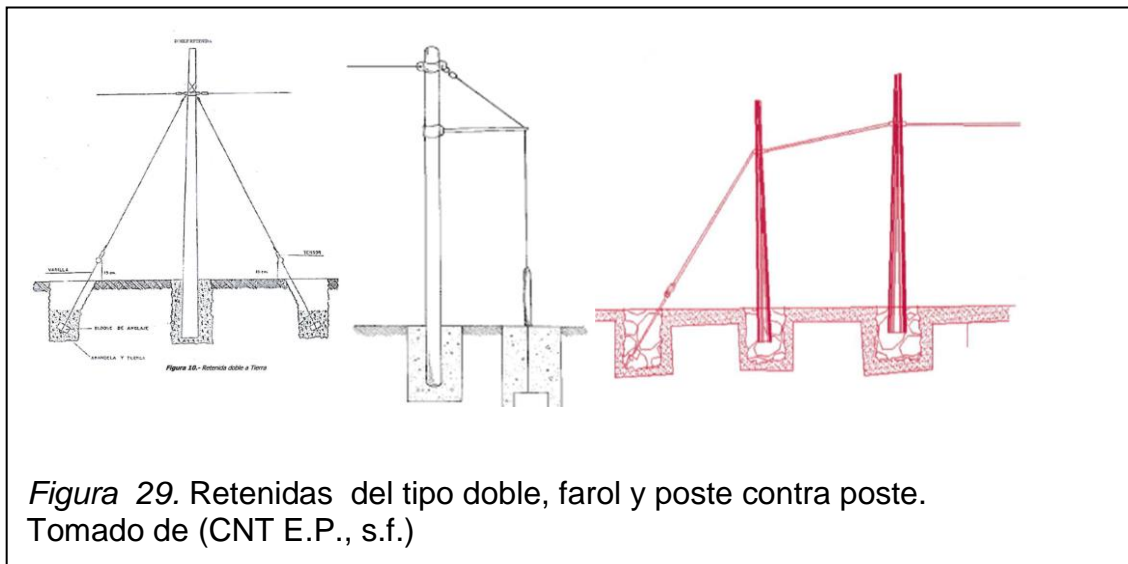
La instalación de postes de hormigón armado de entre 10 y 12 [m] se la realiza en base al cálculo de la profundidad del agujero con respecto a la longitud del

poste, suponiendo que el suelo sea firme, utilizando la siguiente fórmula; donde H es la profundidad del agujero y h es la altura del poste a instalar:

$$H = \left( \left( \frac{h}{10} \right) + 0,5 \right) [m] \quad (\text{Ecuación 6})$$

Para garantizar la verticalidad y estabilidad del poste sometido a la tensión del cable instalado, se instalan retenidas al inicio, al final y donde cambia el ángulo de la postería o del trayecto del cable, teniendo en cuenta que la retenida debe tener la dirección de la bisectriz del ángulo formado por las líneas de la postería. (CNT E.P., s.f.)

Existen varios tipos de retenidas que pueden ser utilizadas con el fin de no entorpecer la libre circulación de las personas sobre la acera, o vehículos en la calle. Entre las más utilizadas está la doble retenida, retenida tipo farol y la retenida poste contra poste.



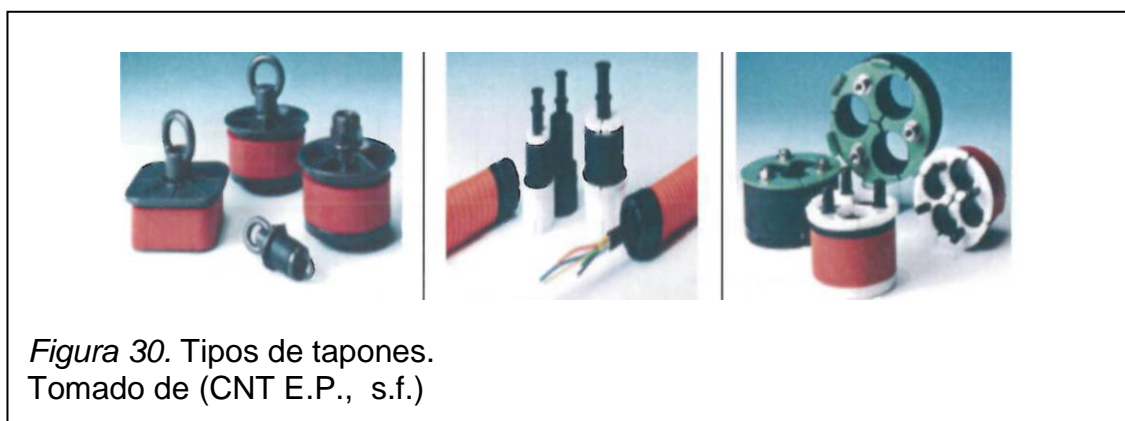
### 2.4.2.2 Distribución canalizada

Los cables canalizados y murales se los emplea para el tendido a través de ductos de canalización y deberán ser instalados de manera adosada en las paredes de los pozos o en las fachadas de las casas, con elementos como abrazaderas metálicas y clavos de acero. (CNT E.P., s.f.)

De acuerdo a la normativa de construcción de planta externa de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT E.P., s.f.), para el despliegue de la red de distribución canalizada se deberá utilizar los siguientes elementos:

**Manguera corrugada.-** El cable de fibra óptica se recubrirá con manguera corrugada cuando pase por los pozos y se colocará una etiqueta identificadora a la entrada y salida de los ductos del pozo, la manguera debe ser adosada a la pared del pozo.

**Tapones.-** Se colocan tapones ciegos en los subductos que no contengan fibras ópticas para evitar el ingreso de material que obstruya las vías. Para el caso de subductos que contengan cables de fibra óptica instalada, se colocan tapones simples.



Para las subidas a poste, que pertenecen a la red de distribución canalizada, se utiliza un cono metálico, un tubo de 5 [m] y dos canaletas para protección

del tubo que se instala de forma paralela al poste. Este kit se sujeta con cintas metálicas aseguradas con vinchas de acero. (CNT E.P., s.f.)

En la Figura 31 se muestra un esquema estructurado de una red de distribución óptica aérea y canalizada.

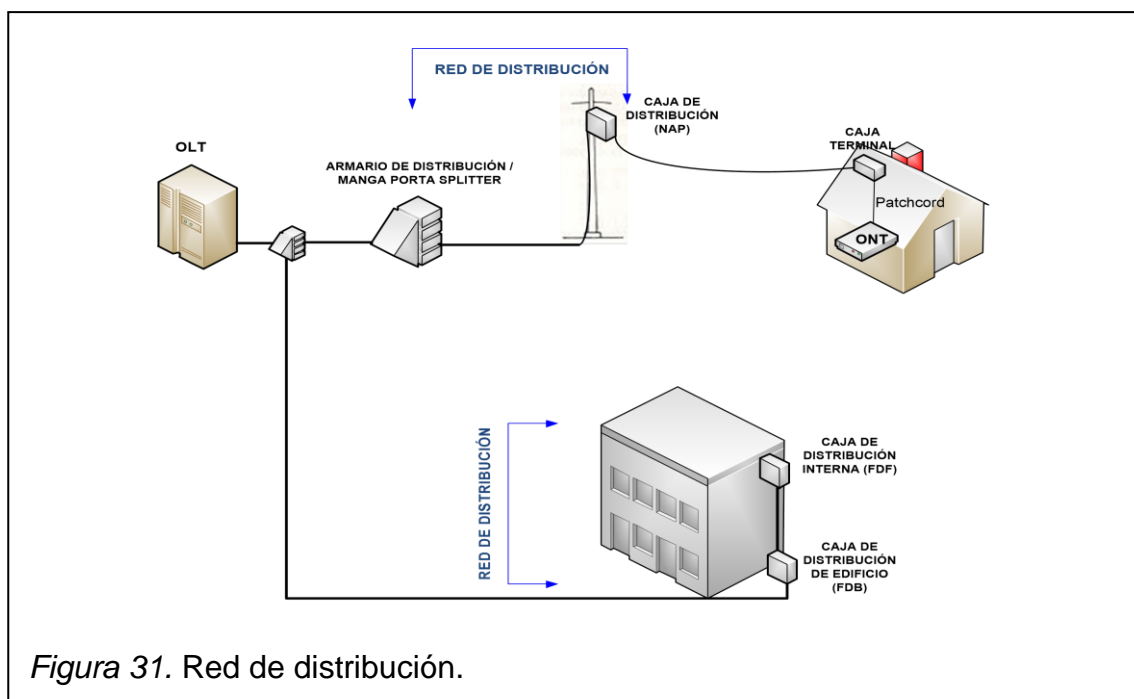
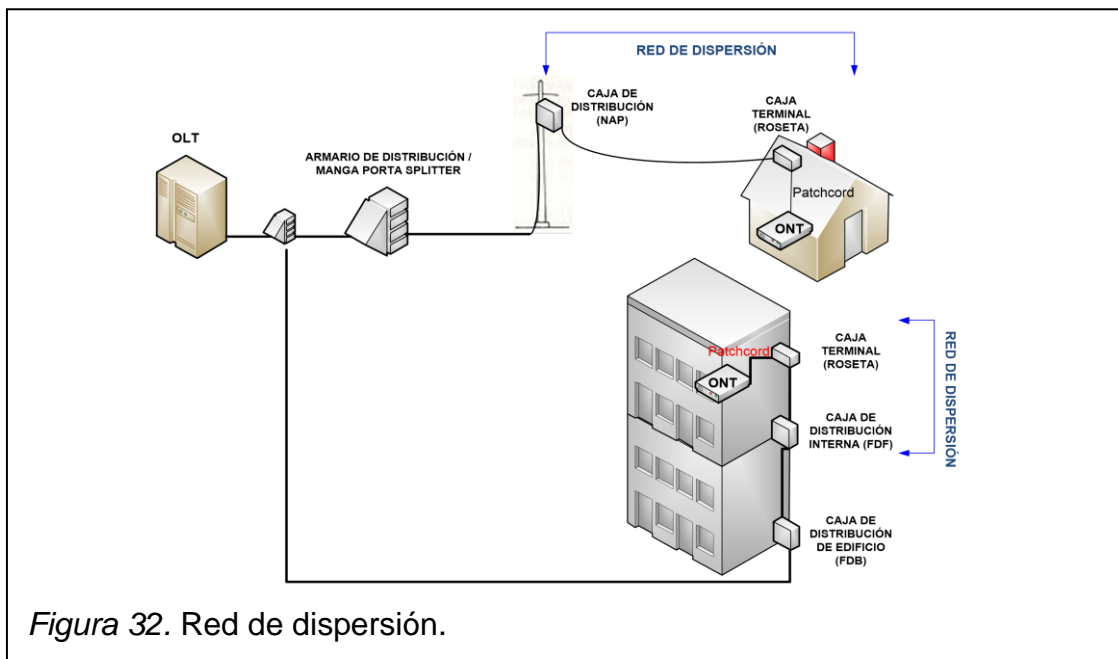


Figura 31. Red de distribución.

### 2.4.3 Red de dispersión

La red de dispersión, que puede ser aérea o canalizada, está comprendida desde la salida de la caja NAP (*network Access point*), para el caso de clientes masivos o desde la *fiber distribution building* (FDB) para el caso de edificios, hasta la roseta óptica del abonado. Para su despliegue se utiliza un cable monomodo, de dos hilos, tipo DROP que cumple con la normativa ITU-T G.657 A1-A2, misma que hace referencia a la flexibilidad del cable de fibra óptica optimizada para instalaciones internas. De ser necesario se puede utilizar una caja de transición óptica (FDF) para cable DROP de exterior a interior. En la Figura 32 se muestra el despliegue de la red de dispersión para clientes masivos y para clientes de edificios.



## 2.4.4 Materiales y equipos

Los materiales con los que se construyen las redes GPON de la CNT E.P. y los equipos que se utilizan, se encuentran normalizados dentro del catálogo de materiales y marcas homologadas por la CNT E.P., dichos materiales son los únicos autorizados para el despliegue de sus redes GPON y se los puede encontrar en su página web.

### 2.4.4.1 Caja de distribución (NAP)

La caja de distribución NAP permite su instalación en postes, pozos o muros y su funcionalidad es permitir la conexión entre la red de distribución y la red de dispersión utilizando un enfrentamiento entre conectores tipo SC/APC. Esta conexión representa el inicio de la red hacia el cliente (dispersión), ya que permite el ingreso y salida de varios cables de usuario (DROP) y varios cables de distribución. (CNT E.P., s.f.)





Figura 33. Caja de distribución NAP.  
Adaptado de (CNT E.P., s.f.)

#### 2.4.4.2 Caja de distribución principal (FDB)

La caja de distribución principal se utiliza para la construcción de la red GPON en edificios, para conectar la red de alimentación *feeder* a la red de distribución interna del edificio. Las cajas FDB tienen la capacidad de albergar 24 o 48 clientes, además de la posibilidad de instalar en la misma *splitters* fusionados o conectorizados para el despliegue de la red interna. (CNT E.P., s.f.)



Figura 34. Caja FDB.  
Adaptado de (CNT E.P., s.f.)

### 2.4.4.3 Caja de distribución secundaria (FDF)

La caja de distribución secundaria es el elemento opcional que se utiliza para interconectar la red de distribución interna con la red de dispersión hacia cada cliente en los edificios. Esta caja de distribución puede albergar también splitters del tipo fusionado o conectorizado, para satisfacer un segundo nivel de splitteo. (CNT E.P., s.f.)

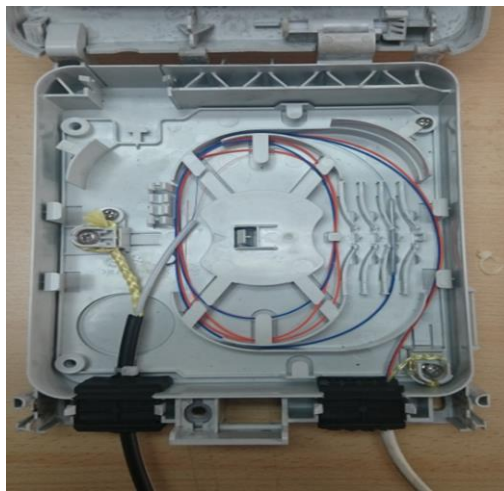


Figura 35. Caja FDF.  
Adaptado de (CNT E.P., s.f.)

### 2.4.4.4 Roseta óptica

De acuerdo a la normativa de construcción de redes ópticas GPON (CNT E.P., s.f.) la roseta óptica es el elemento pasivo en el cual termina la red de dispersión y entrega al cliente una entrada de conector de fibra óptica SC/APC, para su conexión hacia la ONT a través de un *patchcord* de fibra óptica de las mismas características. Las rosetas ópticas deben estar ubicadas en las paredes de tal manera que su borde inferior quede a una distancia entre 30 y 50 [cm] del piso, junto a una toma eléctrica. En la Figura 36 se muestra la forma de instalación típica de una roseta óptica.



*Figura 36.* Roseta óptica.  
Adaptado de (CNT E.P., s.f.)

#### 2.4.4.5 Manga de empalme

Para la construcción de empalmes y despliegue de redes de fibra óptica se utilizan mangas de cierre mecánico tipo domo, capaces de alojar en su interior splitters de diferentes capacidades y realizar la distribución hacia un posible segundo nivel de splitteo o elemento de distribución del cliente. Todos los empalmes de la red de fibra óptica aérea serán ubicados después del poste y los de red canalizada serán ubicados en la parte superior de la pared o loza del pozo. Los empalmes se realizan de acuerdo a la estructura del cable, los grupos de hilos y en función de la norma TIA-598, que describe el código de colores adoptado por la CNT E.P.



*Figura 37.* Manga de empalme tipo domo.  
Adaptado de (CNT E.P., s.f.)

### 2.4.4.6 Equipo terminal de línea (OLT)

El equipo OLT *outdoor* que utiliza la Corporación Nacional de Telecomunicaciones es de marca Huawei de la serie MA5603T, que es un producto de acceso óptico integrado de la red óptica pasiva gigabit (GPON). Esta serie cuenta con el primer terminal de línea óptica (OLT) de agregación de la industria, ya que integra capacidades elevadas de agregación y conmutación. (Huawei, s.f.)

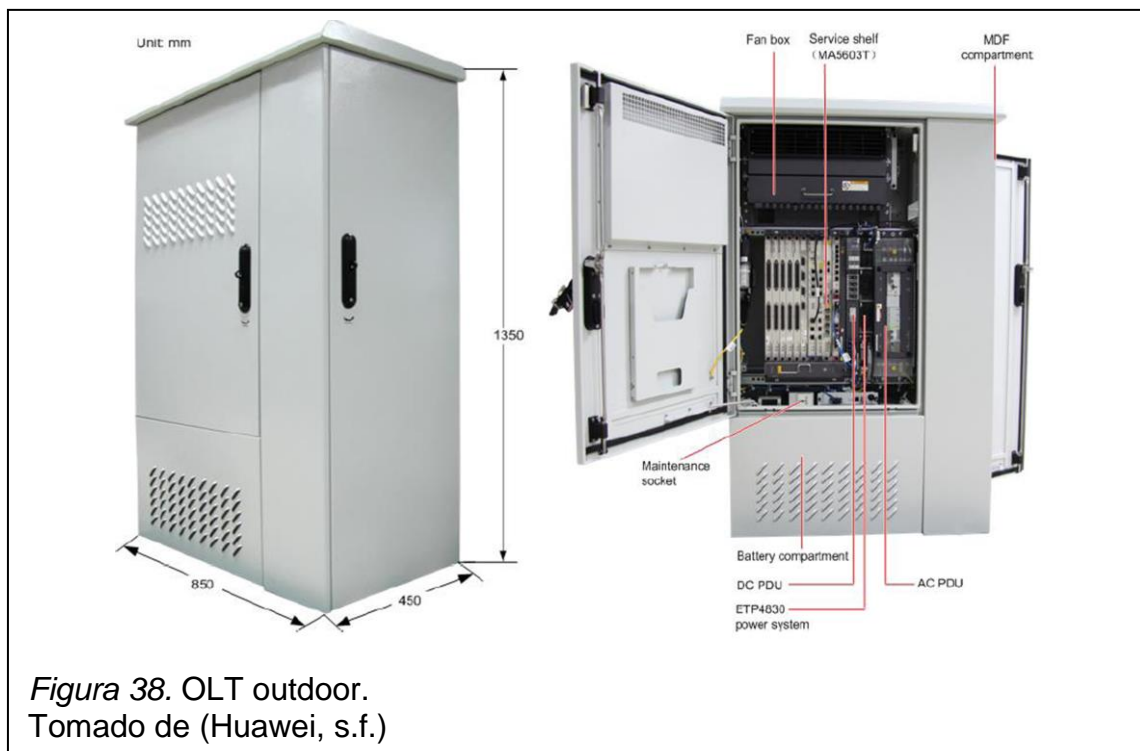
Tabla 3. Especificaciones técnicas OLT Huawei MA5603T

ESPECIFICACIONES	OLT MA5603T
<b>Dimensiones (altura x ancho x profundidad)</b>	263 mm x 442 mm x 283,2 mm
<b>Entorno operativo</b>	−40 °C a +65 °C, 5 % a 95 % de humedad relativa
<b>Alimentación</b>	Entrada de alimentación de −48 VCC con protección del suministro de energía doble
<b>Capacidad de conmutación: bus del panel de interconexión posterior</b>	1,5 [Tbps]
<b>Capacidad de conmutación: tarjeta de control</b>	960 [Gbps]
<b>Capacidad de acceso</b>	24 x GPON 10 G o 96 x GPON o 288 x GE
<b>Tipo de puerto</b>	Puertos de enlace ascendente: puertos ópticos 10 GE y puertos ópticos/eléctricos GE Puertos de servicio: puerto óptico GPON
<b>Rendimiento del sistema</b>	Transmisión a velocidad de línea de capa 2/capa 3 Ruta estática, RIP, OSPF y MPLS Esquemas de sincronización de reloj: BITS, E1, STM-1, Ethernet, 1588v2 y 1PPS + ToD Relación de separación máxima de 1:256 Distancia lógica máxima entre dispositivos: 60 km

Tomado de (Huawei, s.f.)

Para que la OLT sea apta para su instalación en campo, se utiliza un gabinete *outdoor* que permite su montaje y respaldo energético. Además de asegurar la hermeticidad de los componentes que alberga en su interior, el gabinete F01S300 permite que todas las conexiones de fibra hacia la planta externa sean realizadas dentro de un compartimento exclusivo para enfrentamiento de conectores (ODF), que es el reflejo de los puertos PON de cada tarjeta de la

OLT. Logrando así, la separación del gabinete de gestión (planta interna) donde se habilitan los puertos PON y tarjetas de servicios, del gabinete de mantenimiento donde se realizan las instalaciones hacia la planta externa.



#### 2.4.4.7 Equipo terminal de red (ONT)

El equipo ONT que al momento utiliza la Corporación Nacional de Telecomunicaciones es de marca Huawei, modelo *Echo Life* HG8245. De acuerdo a su detalle técnico (Huawei, s.f.) es un equipo terminal del usuario de la red FTTH, que proporciona dos puertos de línea telefónica tradicional (POTS), cuatro puertos RJ45 GE/FE autoadaptables y un puerto inalámbrico, Wi-Fi. Presenta además, alta capacidad de transmisión de datos y alto rendimiento que garantiza el correcto funcionamiento de los servicios de voz sobre paquetes IP (VoIP), internet y video HD. La ONT permite integrar servicios de diferente tipo en un solo equipo terminal (convergencia), sin la necesidad de disponer de diferentes medios para cada servicio, logrando aprovechar al máximo el canal de comunicaciones. Las características principales de este equipo se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Especificaciones técnicas ONT Huawei HG8245

ESPECIFICACIONES	ONT HG8245
Tasa de transmisión	Tx: 1,244 [Gbps], Rx: 2,488 [Gbps]
Tipo de puerto	Single mode
Tipo de conector	SC/APC
Distancia máxima de operación	20 [Km]
Estándar	ITU-T G.984.2 Clase B
Longitudes de onda de trabajo	Tx: 1310 [nm]
Potencia de transmisión	0,5 a 5 [dBm]
Razón de extinción	
Máxima sensibilidad del receptor	- 27 [dBm]
Máxima carga de potencia óptica	- 8 [dBm]
Interfaces	Dispone de 4 puertos 10/100/1000M Base –T Ethernet, 2 puertos telefónicos tipo RJ11, 1 puerto USB y dos antenas de irradiación Wifi.

Tomado de (Huawei, s.f.)

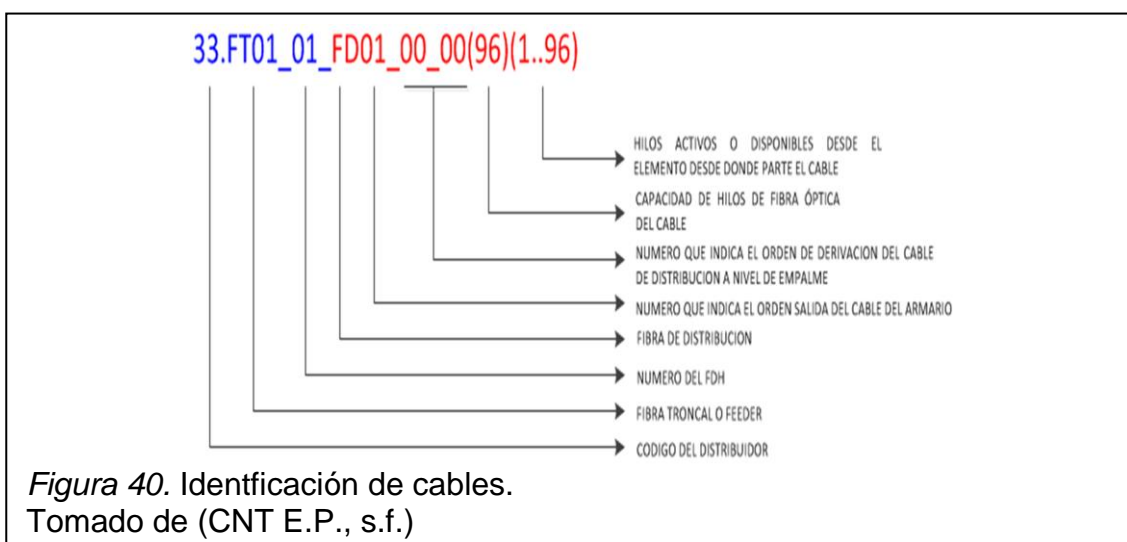
Además de proporcionar varios puertos de red para satisfacer múltiples requerimientos del usuario, las unidades ONT permiten el monitoreo remoto de fallos a través de la emulación de una llamada y la prueba de circuitos en bucle de los puertos POTS, mismas que son realizadas por el sistema de gestión de red (NMS), por sus siglas en inglés de *network management station*. La gestión a través del NMS permite que los servicios de Internet, IPTV y VoIP puedan ser configurados de forma remota, logrando optimización de recursos técnicos y humanos. (Huawei, s.f.)



Figura 39. Equipo terminal ONT.  
Tomado de (CNT E.P. s.f.)

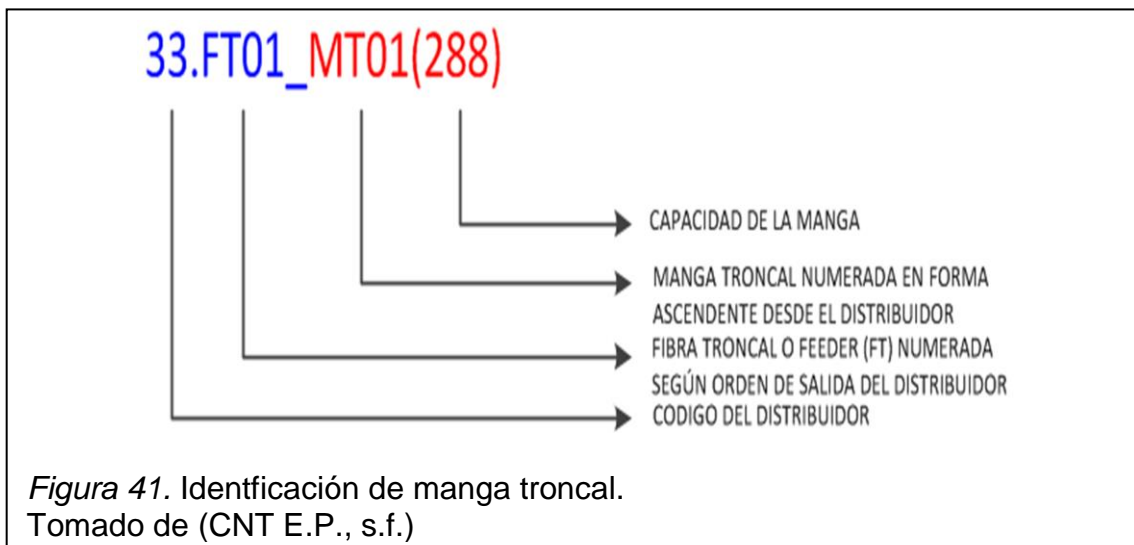
### 2.4.5 Etiquetación de la red

La identificación de cables y elementos de la red óptica GPON es una característica muy importante que no debe ser pasada por alto, el identificador que utiliza la CNT E.P., para cables en los trayectos aéreos y canalizados es acrílico de 120 [mm] de largo, 50 [mm] de ancho y espesor de 3 [mm]. El identificador debe ser de color blanco con letras azules y contener información relevante en bajo relieve. (CNT E.P., s.f.)

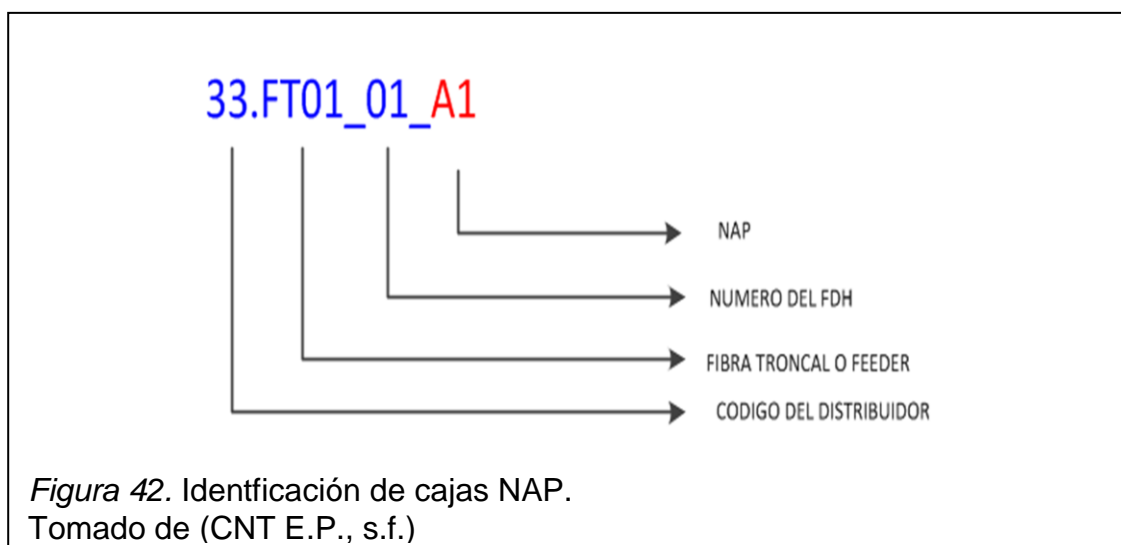


Para el caso de elementos donde no se pueda utilizar un identificador acrílico, la información deberá ser pintada en su parte frontal, describiendo datos según el tipo de elemento.

**Identificación Manga troncal.-** Etiquetas de las mangas de derivación troncal del *feeder*, o de la manga de derivación de fibra óptica que alimenta a una OLT, dicha identificación deberá contener datos de red como: código de distribuidor, fibra troncal o *feeder* que alimenta la manga, numero de manga troncal del mismo *feeder* o fibra troncal y capacidad de la manga. (CNT E.P., s.f.)

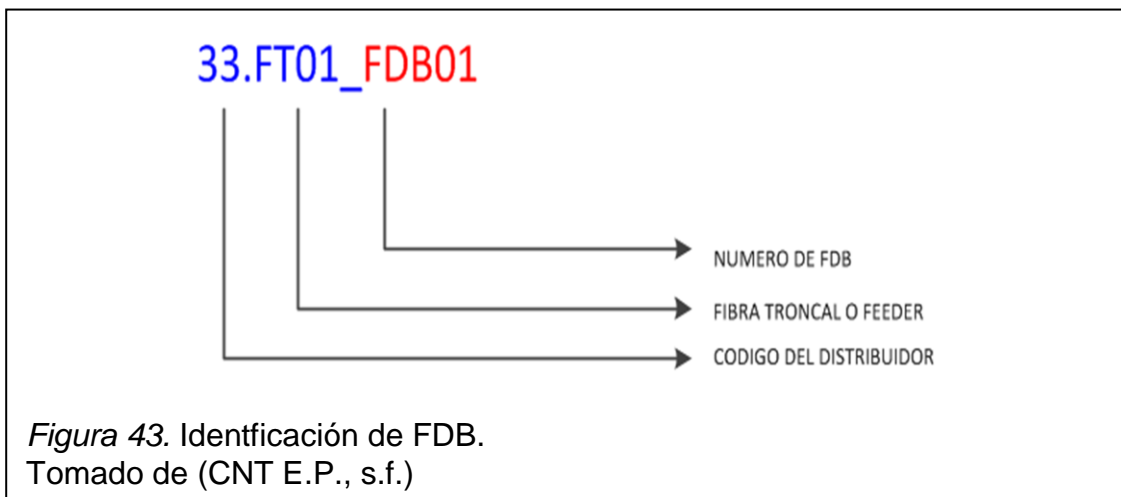


**Identificación de cajas NAP.-** Todas las cajas NAP deben ser correctamente identificadas de modo que se visualice el número de caja desde una distancia prudencial. La información de dichas cajas debe contener el código de distribuidor, el código de la fibra troncal o *feeder* que alimenta las cajas, el código del armario o manga troncal del cual se derivan las cajas y el número de la caja siguiendo un orden alfanumérico. La identificación alfanumérica sigue un patrón en series de 48 o 32 hilos asignados con una letra del alfabeto, estos grupos a su vez se dividen en 4 grupos de 12 u 8 hilos respectivamente, adoptando el siguiente código alfanumérico: A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4, C1, C2, C3, C4, etc.

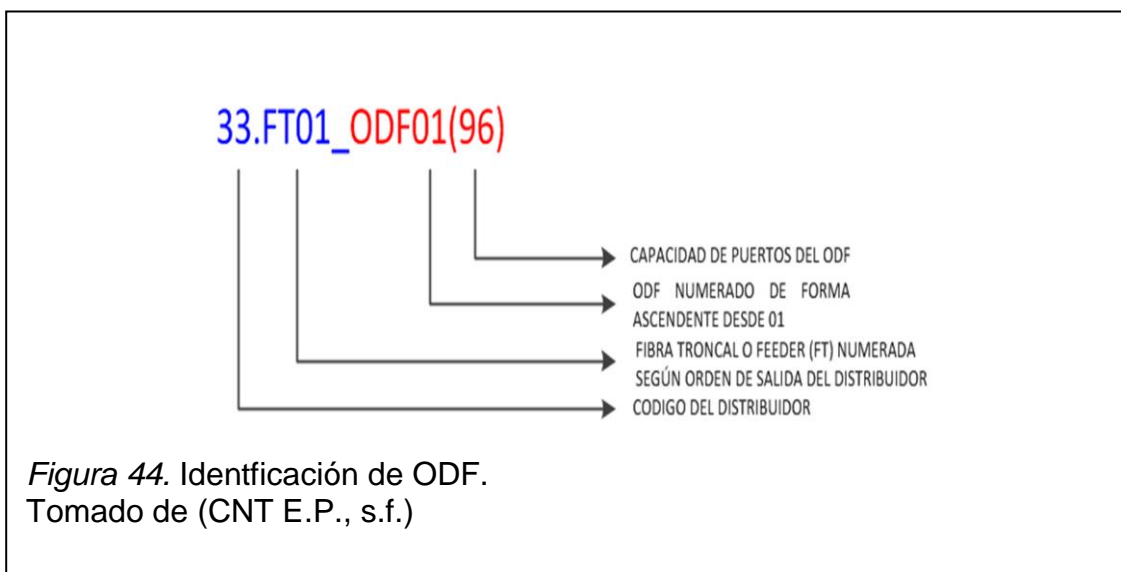




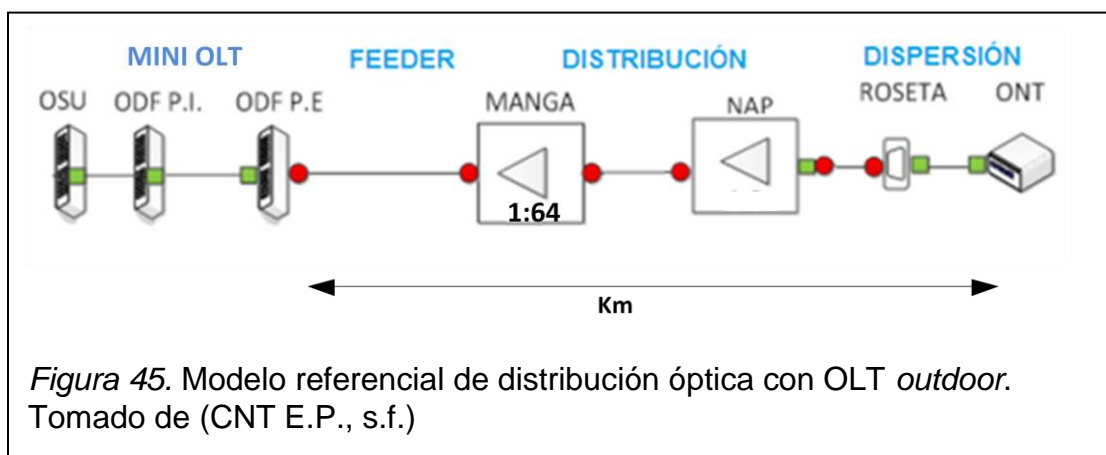
**Identificación armarios FDB.-** La identificación de un armario de distribución interna (FDB), deberá contener información descriptiva del código de distribuidor o central al que pertenece el armario, código de fibra troncal o *feeder* que alimenta el armario y su número distintivo (número de FDB).



**Identificación del ODF de planta externa.-** El elemento pasivo de distribución óptica (ODF) se sitúa en la central de telecomunicaciones y su identificación debe contener el código de distribuidor, fibra troncal o *feeder* de salida hacia la planta externa, numero de ODF y su capacidad.



## 2.4.6 Modelo de despliegue y presupuesto óptico



Para el diseño de la red óptica del barrio Oyambarillo, como ya se ha mencionado anteriormente, se utilizará el modelo de despliegue con equipo mini OLT *outdoor* con la particularidad de poder atender con el servicio GPON directamente a un sector específico, utilizando red de fibra óptica hacia la central más cercana con puertos MPLS disponibles (Tababela) como enlace de *uplink*, y desde ese punto desplegar la red de *feeder* y distribución a lo largo del barrio Oyambarillo.

Se denomina presupuesto óptico a la suma de los valores de atenuación que aportan las conexiones de elementos pasivos que intervienen en la red, dichos elementos son: ODF, conectores, fusiones, los *splitters* cuya atenuación depende del número de puertos en que se divida la señal y la fibra óptica en sí, cuya atenuación depende de la longitud de onda de transmisión y su longitud en kilómetros.

En la Tabla 5 se muestra el presupuesto óptico del modelo referencial descrito en la Figura 45, en el cual se representa la fusión de hilos con un círculo rojo y el enfrentamiento de conectores (conectorización) con un cuadrado de color verde.

Tabla 5. Presupuesto óptico del modelo de despliegue de red GPON con OLT *outdoor* descrito en la Figura 45.

PLANTILLA PARA PRESUPUESTO ÓPTICO DE CNT E.P.				
Elementos de la red de fibra óptica	Cantidad	Pérdida por elemento (dB)	Total pérdida (dB)	
Conectorización, ITU-T 671 = 0,5 dB	6	0,5	3	
Fusión, ITU-T 751 = 0,1 dB	6	0,1	0,6	
Splitters	1x2		0	
	1x4		0	
	1x8		0	
	1x16		0	
	1x32		0	
	1x64	1	21	21
	2x4		0	
	2x8		0	
	2x16		0	
	2x32		0	
	2x64		0	
Pérdidas por kilómetro de fibra operando a cierta longitud de onda	1310 nm	1,1	0,385	
	1490 nm		0	
	1550 nm		0	
<b>PERDIDA TOTAL (dB)</b>			<b>24,985</b>	

Tomado de (CNT E.P., s.f.)

## 2.5 Características generales de la red GPON para el barrio Oyambarillo

La red óptica pasiva con capacidad de Gigabit (GPON) se basa en la recomendación de la ITU-T G.984.1, donde se describe, como ya se ha mencionado en el capítulo anterior, una red de acceso de fibra óptica flexible, con capacidad de cumplir los requerimientos de ancho de banda demandados por clientes empresariales y residenciales. Además, en esta recomendación se proponen características generales de una red óptica pasiva (GPON), en base a los requerimientos de servicio de los operadores. (ITU-T, s.f.)

### 2.5.1 Servicios

Debido a su capacidad en ancho de banda, una red óptica GPON admite todos los servicios de telecomunicaciones conocidos en la actualidad y está diseñada de modo que soporte nuevos servicios que se demanden por los abonados residenciales y clientes corporativos, permitiendo la convergencia de servicios

en una misma red y utilizando un solo equipo terminal por cliente. En la Figura 46 se identifica el esquema de provisión de servicios de la red convergente GPON de la CNT E.P.

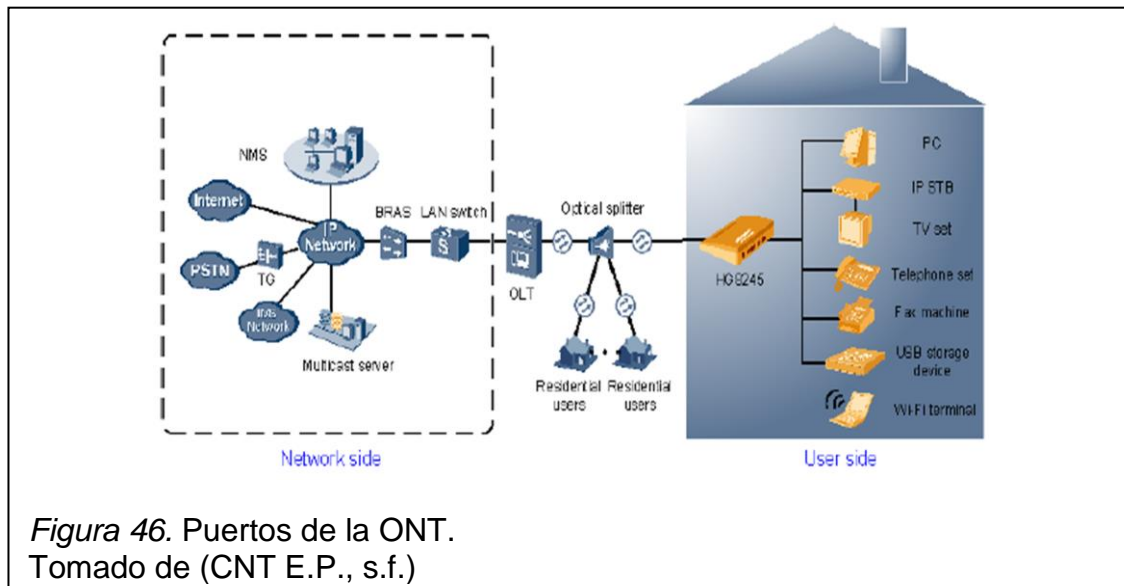
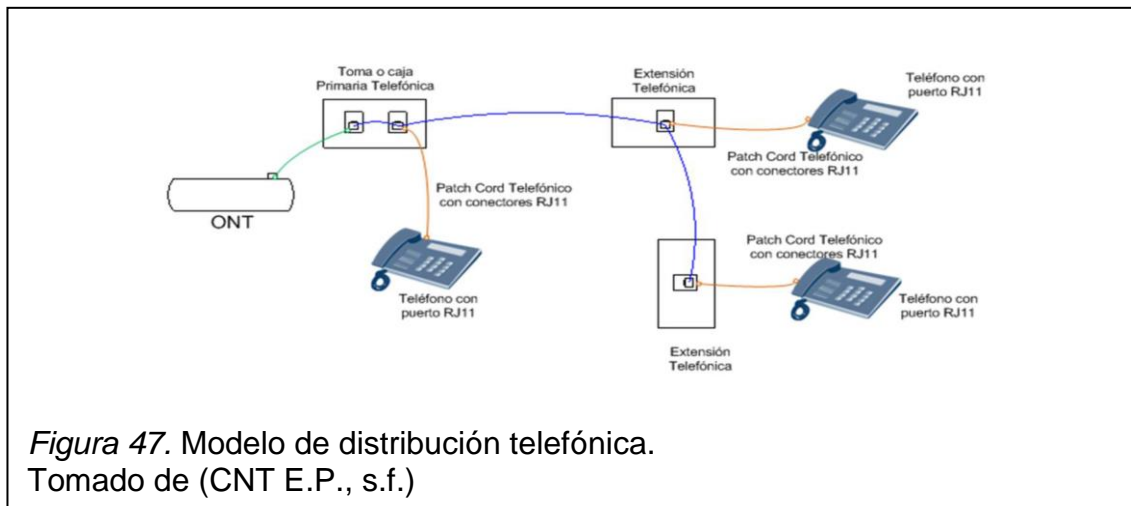


Figura 46. Puertos de la ONT.  
Tomado de (CNT E.P., s.f.)

Los servicios específicos que deben ser ofertados por un operador que utilice el estándar GPON, dependen en gran medida de las condiciones particulares de del mercado, condiciones legales, infraestructura, distribución geográfica de clientes y demanda de cada operador. Para el caso de CNT E.P., los servicios ofertados la red GPON, se detallan a continuación.

### 2.5.1.1 Telefonía fija

A diferencia del anterior servicio de telefonía fija que ofertaba la CNT E.P., en el que la "línea" era provista a través de un par de cobre que partía desde la central de telecomunicaciones hacia el abonado (acometida telefónica), en GPON el servicio de telefonía es provisto desde la ONT, más específicamente desde los puertos FXS (*Foreign exchange subscriber*), interfaz RJ11 usada para conectar teléfonos analógicos.



En caso de que en el domicilio o departamento se requiera más de una salida telefónica, es necesario que el inmueble cuente con una red interna telefónica tradicional con las extensiones necesarias (de cobre), cuya alimentación principal “o acometida” será ahora el puerto de telefonía de la ONT. (CNT E.P., s.f.)

### 2.5.1.2 Servicio de internet

El servicio de internet hacia el cliente final, utilizando la red GPON con el equipo terminal del usuario instalado, puede ser provisto a través de los puertos Ethernet 10/100/1000 [Mbps] Base-T de la ONT, utilizando cable categoría 5e o 6 con conectores RJ45 y de manera inalámbrica a través de la interfaz Wi-Fi, misma que soporta los estándares 802.11 b, g y n. (CNT E.P., s.f.)

### 2.5.1.3 Servicio de televisión digital (IPTV)

El servicio de IPTV es configurado en los restantes puertos LAN de la ONT, por lo que el número máximo de STB (*Set Top Box* o decodificador de TV) soportados por ONT, dependerá de los puertos disponibles para este servicio.

Los *set top boxes* se conectarán a la ONT a través de sus interfaces 10/100/1000 [Mbps] base-T, mediante cables UTP con conectores RJ45. Los televisores se conectarán a los *set top boxes* mediante cable HDMI o RCA dependiendo del servicio contratado y de los puertos del TV. Para la instalación del servicio en varios televisores en una misma casa, se requiere cableado estructurado interno UTP. (CNT E.P., s.f.)

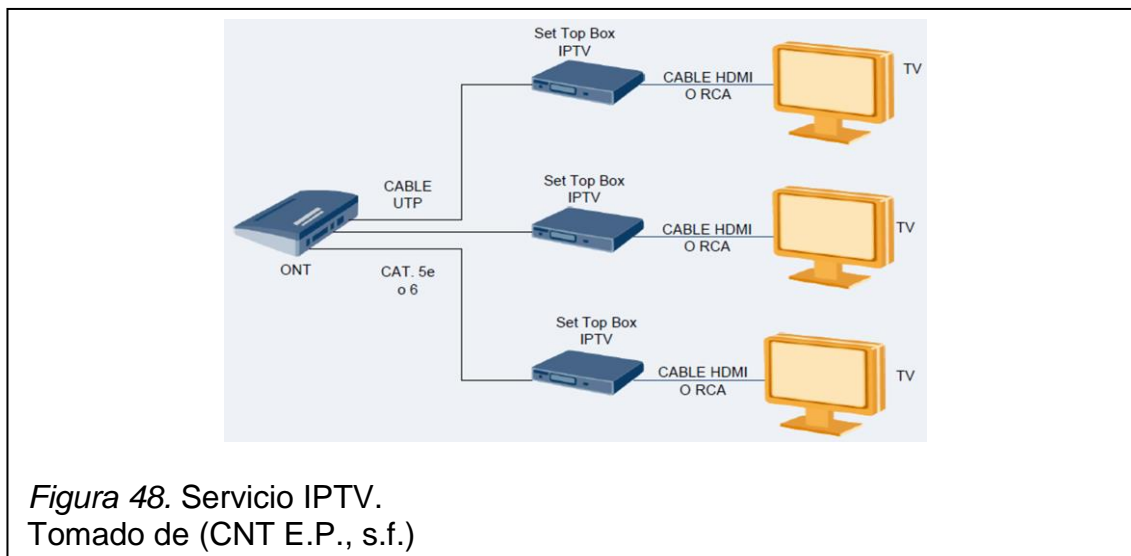


Figura 48. Servicio IPTV.  
Tomado de (CNT E.P., s.f.)

### 2.5.2 Velocidad de bits (*bit rate*)

De acuerdo a la recomendación G.984.1 de la ITU-T, una red óptica pasiva GPON permite velocidades de transmisión iguales o mayores a 1,2 [Gbps]. En consecuencia, se identifican dos combinaciones de velocidad de transmisión de la siguiente manera:

- 1.2 [Gbps] en *uplink* y 2.4 [Gbps] en *downlink*.
- 2.4 [Gbps] en *uplink* y 2.4 [Gbps] en *downlink*.

La velocidad de bits más utilizada es de 1.2 [Gbps] en *uplink* y 2,4 [Gbps] en *downlink*, asimétrica, que constituye casi todo el despliegue de los sistemas GPON. (ITU-T, s.f.)

### 2.5.3 Alcance lógico y físico

El alcance lógico es la distancia entre el equipo terminal del usuario (ONU/ONT) y la OLT, a excepción de la limitación de la capa física. En GPON, el alcance lógico máximo es de 60 [Km].

El alcance físico es la distancia física máxima que puede existir entre el equipo terminal del usuario (ONU/ONT) y la OLT. En GPON, se proponen dos opciones para definir el alcance físico, 10 [Km] y 20 [Km]. La distancia máxima sobre la cual se puede utilizar la unidad ONT para brindar altas tasas de bits, tales como 1,25 [Gbps] o superior, es de 10 [Km]. (ITU-T, s.f.)

### 2.5.4 Retardo máximo de transferencia de datos (*delay*)

Un sistema GPON debe tener un tiempo de retardo máximo medio, de 1,5 [ms] en la transmisión de datos. Los retrasos introducidos por las funciones de adaptación de circuitos, no son incluidos en este valor. (ITU-T, s.f.)

### 2.5.5 Relación de división (*splitter*)

La relación de división describe cuantas bifurcaciones ópticas se puede tener para cada puerto PON. Cuanto mayor sea la relación de división, es mayor el atractivo para los operadores. Sin embargo, una mayor relación de división implica una mayor división de la potencia óptica y la inserción de mayor atenuación resultante del uso de divisores ópticos, que crean la necesidad de un aumento de potencia óptica de transmisión para apoyar el alcance físico.

Dependiendo del ancho de banda que un operador desee ofertar a sus clientes finales, relaciones de división de hasta 1:64 son realistas para la capa física, dada la tecnología y demanda actual. La atenuación que se aporta a la red, por el uso de divisores ópticos (*splitters*) depende del fabricante, sin embargo dichos valores de atenuación son muy semejantes entre las diferentes marcas del mercado.

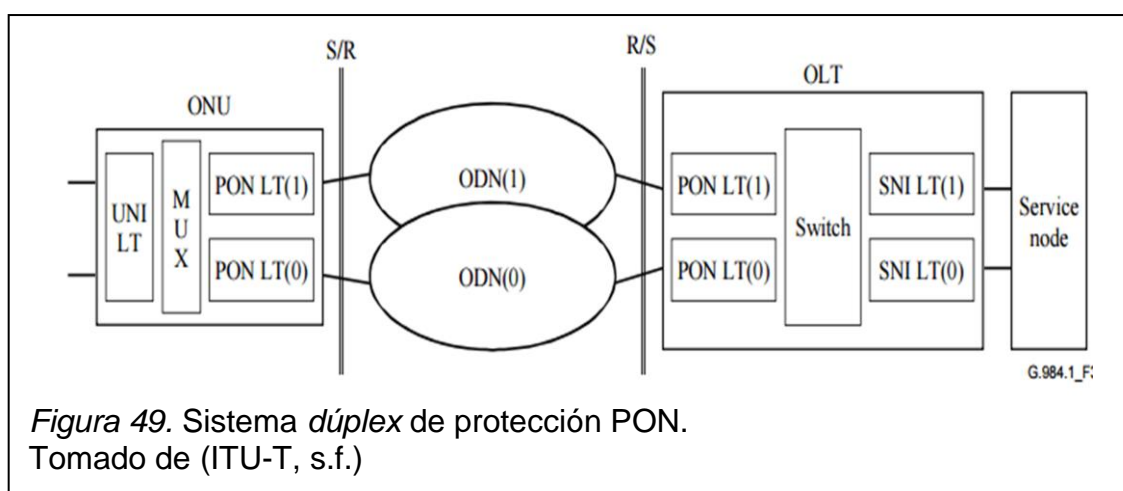
Tabla 6. Datos estadísticos de pérdidas según tipo de *splitter*

TIPO DE SPLITTER	PÉRDIDA (DB)	TIPO DE SPLITTER	PÉRDIDA (DB)
1x2	3,5	2X4	7,9
1x4	7	2X8	11,5
1x8	10,5	2X16	14,8
1x16	14	2X32	18,5
1x32	17,5	2X64	21,3
1x64	21		

Tomado de (CNT E.P., s.f.)

### 2.5.6 Sistemas de protección de la sección PON

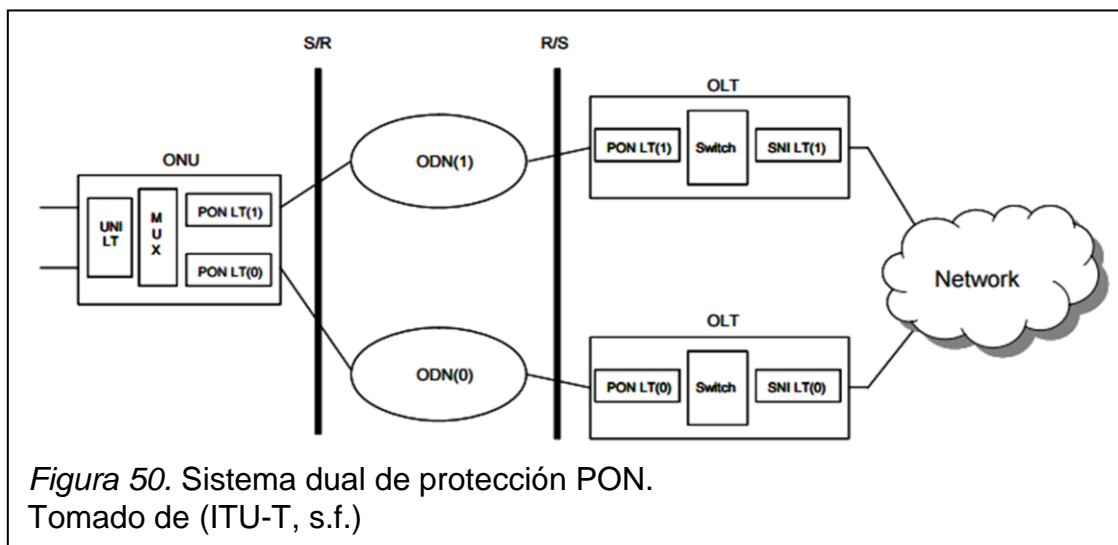
Según se describe en la recomendación G.984 de la ITU-T, la arquitectura de protección para GPON se considera con el fin de la fiabilidad de las redes de acceso, y en consecuencia, del servicio al usuario final. Sin embargo, la protección es considerada como un mecanismo opcional debido a que su aplicación demanda alta inversión económica. Para la red del barrio Oyambarillo queda abierta la posibilidad de brindar este servicio bajo demanda. A nivel físico los sistemas de protección pueden ser *dúplex* o *duales*, dependiendo del tipo de enlace entre la OLT y la ONT. (ITU-T, s.f.)



En la siguiente figura se muestra un sistema de protección dual, a través de diferentes redes de distribución óptica (ODN), utilizando redundancia de



diferentes enlaces hacia equipos OLT distintas, lo cual mejora la protección del servicio a posibles caídas ocasionadas por eventos externos.



### 2.5.7 Seguridad

Como se describe en la recomendación G.984.1 de la ITU-T, debido a la naturaleza de multi-difusión de la señal de transmisión en las redes PON, una red GPON necesita un mecanismo de seguridad adaptado a los siguientes requerimientos:

- Evitar que otros usuarios decodifiquen fácilmente los datos en sentido descendente.
- Evitar que otros usuarios, haciéndose pasar por una unidad terminal ONU/ONT en la red, canalicen información en su beneficio.
- Permitir la ejecución del servicio de manera rentable. (ITU-T, s.f.)

### 2.6 Capa dependiente de los medios físicos en las redes GPON

Las definiciones de la capa dependiente del medio físico que describe a una red óptica, de acceso flexible y con capacidad de ofrecer servicios de gran ancho de banda están dadas por la recomendación G.984.2 de la ITU-T, donde

se detallan sistemas de redes de fibra óptica con capacidad de gigabits (GPON), asimétricas y simétricas, con posibles velocidades de línea de 1244 [Mbps] y 2488 [Mbps] de *downlink* y 155,5 [Mbps], 622 [Mbps], 1244 [Mbps] y 2488 [Mbps] en *uplink*.

### 2.6.1 Velocidad binaria nominal para la señal digital

Según la recomendación G.984.2 de la Unión internacional de Telecomunicaciones, la velocidad de transmisión debe ser múltiplo de 8 kHz, teniendo normalizadas las velocidades nominales de línea y sus posibles configuraciones en sentido descendente/ascendente. (ITU-T, s.f.)

Tabla 7. Velocidades de línea versus sentidos de transmisión.

SENTIDO DE TRANSMISIÓN	VELOCIDAD BINARIA NOMINAL (Mbps)
Sentido descendente	1244,16
	2488,32
Sentido ascendente	155,52
	622,08
	1244,16
	2488,32

Tomado de (ITU-T, s.f.)

### 2.6.2 Medio físico y método de transmisión

El medio físico seleccionado es la fibra óptica monomodo, misma que cumple con la recomendación G.652D de la ITU-T, es optimizada para trabajar en el rango de longitudes de onda de 1310 y 1550 [nm] y presenta baja atenuación entre los 1260 y 1625 [nm].

El método de transmisión es bidireccional y utiliza, o bien la técnica de multiplexación por división de longitud de onda (WDM) en una sola fibra, o bien la transmisión unidireccional en dos fibras. El rango de longitudes de onda de trabajo de una sola fibra en el *downlink* es de 1480-1500 [nm]. Por otro lado, el

rango de longitudes de onda de trabajo en el *uplink* es de 1260-1360 [nm], independientemente del sistema de fibra. (ITU-T, s.f.)

### 2.6.3 Código de línea

Para la tecnología GPON, se utiliza codificación sin retorno a cero (NRZ), tanto en sentido ascendente como descendente. El nivel lógico óptico se determina con un “1” binario para el nivel alto de emisión de luz y con un “0” binario para el nivel bajo.

### 2.6.4 Potencia óptica inyectada

La potencia media inyectada es la potencia en una secuencia de datos insertados en la fibra por medio del transmisor. En el estado operativo, el valor más bajo es la potencia mínima que se suministrará y el más alto es la potencia que no se debe rebasar bajo ninguna circunstancia.

La red GPON de la CNT E.P. tiene normada la utilización de equipos OLT con potencia mínima de transmisión de 1,5 [dBm] y potencia máxima de emisión de 5 [dBm]. Por otro lado los valores de potencia umbrales de transmisión de la ONT están entre los 0,5 [dBm] y 5 [dBm]. (CNT E.P., s.f.)

### 2.6.5 Mínima relación de extinción

De acuerdo a la recomendación G.984.2 de la ITU-T, la relación de extinción se define de la siguiente forma:

$$EX = 10 \log_{10} (A/B) \quad (\text{Ecuación 7})$$

Siendo A, el nivel medio de la potencia óptica del “1” lógico y B el nivel medio de la potencia óptica del “0” lógico. (ITU-T, s.f.)

### **2.6.6 Intervalo de atenuación de la ODN**

El intervalo de atenuación, descrito en la recomendación G.983.1 de la ITU-T, especifica tres clases de gamas de atenuación, que se han dimensionado en base al caso más desfavorable, tomando en cuenta pérdidas de empalmes, conectores, atenuadores ópticos y pérdidas inherentes del cable óptico: Clase A de 5 a 20 [dB], Clase B de 10 a 25 [dB] y Clase C, con un rango de atenuación entre 15 a 30 [dB]. Esto tomando en cuenta las futuras modificaciones del cable óptico (empalmes por reparación), variaciones de la calidad de funcionamiento por factores ambientales y degradación de cualquier elemento pasivo de la red.

### **2.6.7 Pérdida de retorno óptica mínima (ORL)**

Para la red GPON, el ORL mínimo en el punto de la ODN más cercano a la OLT (R/S) debe ser mejor que 32 [dB], por otro lado el ORL mínimo en el punto más cercano a la ONT (S/R) debe ser mejor que 20 [dB]. (ITU-T, s.f.)

### **2.6.8 Reflectancia discreta máxima de la ODN**

Según describe la recomendación G.983.1 de la ITU-T, todas las reflectancias discretas en la ODN deberán ser mejores que -35 [dB]. (ITU-T, s.f.)

### **2.6.9 Probabilidad de error**

Debido a los diferentes tipos de ruido que pueden afectar un sistema de comunicaciones ópticas, existe la posibilidad de que la señal que se reciba sea confundida y consecuentemente, aparezca un error en la recepción, conocido como tasa de error, o BER por sus siglas en inglés de *bit error rate*. La forma más usual de calcular este error, es la de transmitir un número muy elevado de bits durante un tiempo determinado  $t$ , y verificar el número de errores resultantes en la recepción. El resultante del cociente entre el número de bits

erróneos ( $N_e$ ) y el número de bits transmitidos ( $N_t$ ) es el BER y está dado por la siguiente ecuación:

$$BER = \frac{N_e}{N_t} = \frac{N_e}{b_t} \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde  $b = 1/T_b$  es la velocidad de transmisión de bits por unidad de tiempo.

El valor teórico de BER para los sistemas de comunicación óptica es de  $10^{-9}$  y son necesarios 21 fotones, para que un fotodetector ideal logre recibir un bit de información. (Pereda, 2004, p. 286)

### 2.6.10 Sensibilidad del receptor

El tipo de detector que se emplee, determina el nivel de señal que llega al extremo de la fibra óptica, esta función depende del tipo de fotodiodo empleado, la velocidad de transmisión y del BER requerido. La sensibilidad del receptor tiene en cuenta las pérdidas de potencia causadas por tiempos de subida y caídas de los impulsos, ORL, degradación del conector en el receptor y tolerancias de medición. Por otro lado, no se toma en cuenta las pérdidas causadas por dispersión, fluctuación de fase, reflexiones en el trayecto óptico y envejecimiento de la red. (ITU-T, s.f.)

La red GPON de la CNT E.P. tiene normada la utilización de equipos OLT con sensibilidad mínima en el receptor de -28 [dBm]. Por otro lado el valor de sensibilidad mínima del receptor de la ONT es de -27 [dBm]. (CNT E.P., s.f.)

### 2.6.11 Sobrecarga mínima

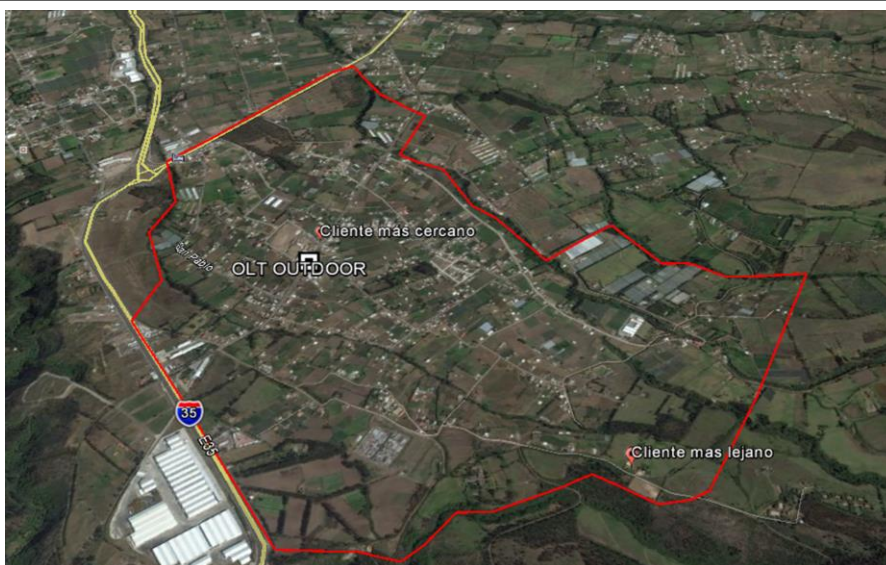
La sobrecarga mínima del receptor es el valor más alto aceptable de potencia recibida en el punto más cercano a la ONT, para una BER de  $10^{-10}$ . El receptor debe ser robusto para que el aumento del nivel de potencia óptica debido al arranque o a posibles colisiones no afecte al BER. (ITU-T, s.f.)

### 2.6.12 Máxima penalización del trayecto óptico

La máxima penalización del trayecto hace referencia a la tolerancia del receptor a eventos como la degradación debido a reflexiones, el ruido de partición, la interferencia entre símbolos y la fluctuación del láser. Esta penalización no debe rebasar el valor de 1 [dB].

### 2.6.13 Máximo alcance lógico

El máximo alcance lógico se refiere a la longitud máxima que se puede alcanzar en un sistema de transmisión independientemente del presupuesto óptico. Este parámetro se mide en kilómetros y está limitado por la capa de convergencia de transmisión y la implementación. El máximo alcance lógico diferencial es la diferencia de máximo alcance lógico entre todos los equipos terminales de la red. (ITU-T, s.f.)



*Figura 51. Máximo alcance lógico y diferencial.*  
Adaptado de (Google Earth, s.f.)

#### **2.6.14 Pérdida del trayecto óptico diferencial**

Representa la diferencia de pérdida de trayecto óptico entre la más alta y la más baja de la misma ODN. La máxima pérdida de trayecto óptico diferencial no debe ser mayor a 15 [dB]. (ITU-T, s.f.)

#### **2.6.15 Corrección de errores en la recepción**

Los sistemas que utilizan el método de corrección de errores en recepción, FEC por sus siglas en inglés, podrán soportar las gamas de atenuación para la ODN detalladas en el punto 2.6.6. De acuerdo a la recomendación G.984.2 de la ITU-T, la ganancia óptica de los sistemas que utilizan FEC, se define como la diferencia de potencia en la entrada del receptor, con y sin FEC, para una BER de  $1 \times 10^{-10}$ . (ITU-T, s.f.)

#### **2.6.16 Niveles de potencia de la ONT**

La potencia de transmisión de la ONT depende de un mecanismo de nivelación de potencia controlado por la OLT. Cuando la ONT recibe la orden de cambio de potencia, adapta su potencia de emisión y reanuda la transmisión de datos en sentido ascendente.

De acuerdo a la recomendación G.984.2 de la ITU-T, existen tres modos de potencia de transmisión de la ONT, en función de la instrucción de control, la capa dependiente de los medios físicos lleva a cabo las acciones pertinentes para que la potencia de salida esté dentro de los siguientes intervalos:

- Modo 0: Normal (potencia media inyectada MÍN/MÁX)
- Modo 1: Baja 1 = Normal -3 [dB]
- Modo 2: Baja 2 = Normal -6 [dB]. (ITU-T, s.f.)

### **2.6.17 Mecanismos de nivelación de potencia de la ONT**

El receptor de la OLT se basa en el fotodiodo de avalancha APD, funcionando a velocidades binarias de 1244,16 [Mbps] o superiores. Los receptores deben tener gran sensibilidad para lograr la recepción en modo ráfaga en altas velocidades.

Para flexibilizar el margen dinámico del receptor de la OLT, se debe reducir el nivel de potencia de transmisión de las ONT, procurando bajas pérdidas en la ODN, a fin de evitar la sobrecarga del receptor OLT. El mecanismo de nivelación de potencia aumenta o disminuye la potencia transmitida mediante mensajes que envía la OLT en sentido descendente.



### 3. CAPÍTULO III. DISEÑO DE LA RED FTTH GPON PARA EL BARRIO OYAMBARILLO

#### 3.1 Esquema de la red

Para satisfacer la posible demanda de los diferentes servicios del barrio Oyambarillo, tomando en cuenta su densidad poblacional y los datos estadísticos de la situación tecnológica del sector, calculados en el capítulo anterior, de 142 suscriptores de internet y datos, 582 abonados de telefonía fija y 98 suscriptores del servicio de televisión pagada y migrar todos los clientes vigentes se necesitaría el despliegue de la red GPON para al menos 582 usuarios finales. Por otro lado, tomando en cuenta el crecimiento poblacional del 2,39 % anual descrito en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2025 de Tababela, la utilidad a largo plazo que debe cumplir la red GPON y que actualmente existen ciertas zonas del barrio donde no se dispone de una red de telecomunicaciones; se determina que para suplir la demanda actual y futura a un plazo de 15 años, es necesario el despliegue de una red capaz de atender al menos a 790 usuarios, según el siguiente calculo:

$$\text{abonados actuales} = 582 \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$\text{crecimiento anual} = 2,39 \% \quad (\text{Ecuación 10})$$

$$\text{utilidad de la red} = 15 \text{ años} \quad (\text{Ecuación 11})$$

$$\text{demanda anual} = \text{abonados actuales} \times \text{crecimiento anual} \quad (\text{Ecuación 12})$$

$$\text{usuarios finales} = (\text{demanda anual} \times \text{utilidad de la red}) + \text{abonados actuales} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Reemplazando ecuaciones 9 y 10 en 12, se tiene un crecimiento en la demanda anual del servicio de 13,90 usuarios:

$$\text{demanda anual} = 582 \times 2,39 \% = 13,90 \quad (\text{Ecuación 14})$$

Reemplazando ecuaciones 9, 11 y 14 en 13, se determina que para satisfacer la demanda actual y la futura a 15 años, es necesario el despliegue de la red GPON capaz de atender al menos a 791 usuarios finales:

$$\text{usuarios finales} = (13,90 \times 15) + 582 = 790,6 \quad (\text{Ecuación 15})$$

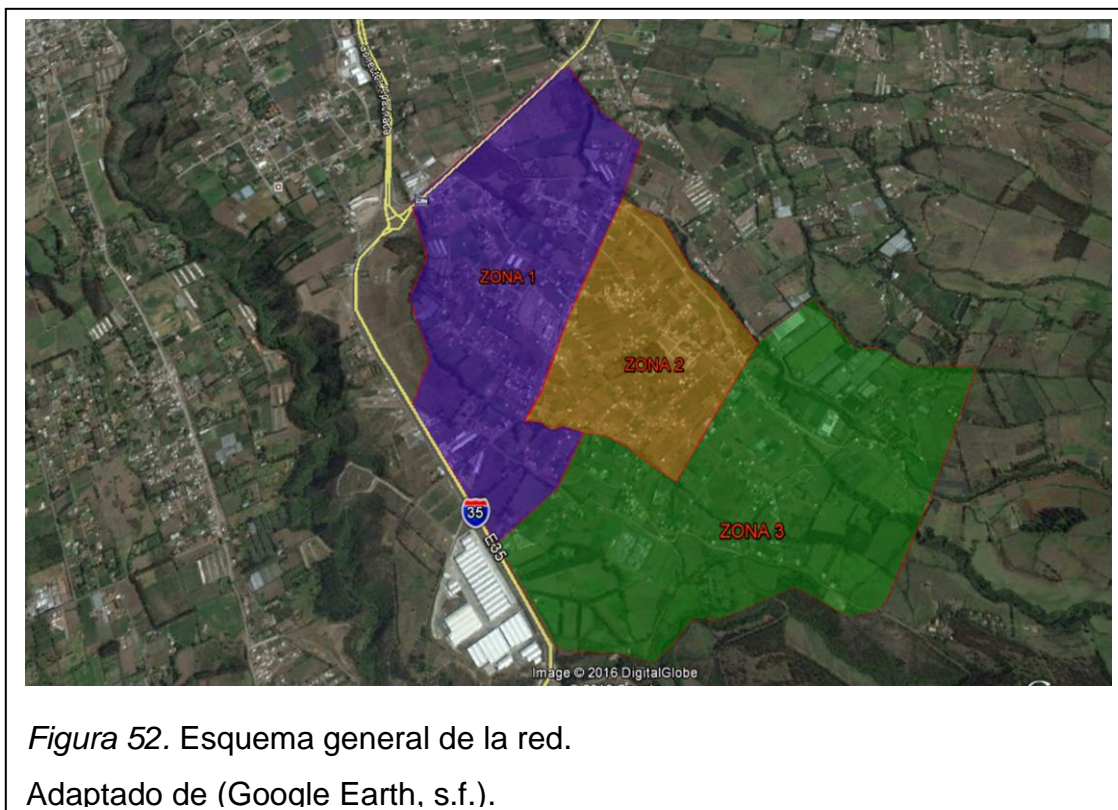
De acuerdo a la ubicación geográfica y la concentración de demanda según su centro poblado, se ha decidido dividir el diseño de la red GPON del barrio Oyambarillo en 3 zonas, las mismas en las que existe distinta demanda de servicios. El área geográfica que cubre cada zona y sus características principales se describe a continuación:

**Zona 1 (púrpura).**- Esta zona es la parte principal del barrio, donde se concentra la mayoría de locales comerciales, además por su cercanía a la vía principal existe la presencia de empresas y grandes bodegas.

**Zona 2 (amarillo).**- Esta zona tiene un alto grado de concentración poblacional y se la delimita por su situación geográfica y la posible demanda de servicios.

**Zona 3 (verde).**- Es la zona con menor densidad poblacional, la misma que no cuenta con un despliegue total de red de telecomunicaciones.

El punto central de interconexión para las diferentes zonas en que se ha dividido el barrio Oyambarillo es la OLT, la cual abastece a las diferentes zonas con el servicio GPON, por medio del tendido del cable principal *feeder*. Mediante la utilización de una manga troncal para cada zona, se realiza el sangrado o derivación del cable principal, para desde ese punto empezar el despliegue de la red de distribución de cada zona, las mismas que utilizan niveles de división óptica (*splitter*) de acuerdo a su distancia y demanda. La OLT alimenta a cada manga troncal y a su vez a cada caja de distribución (NAP) de las tres zonas.

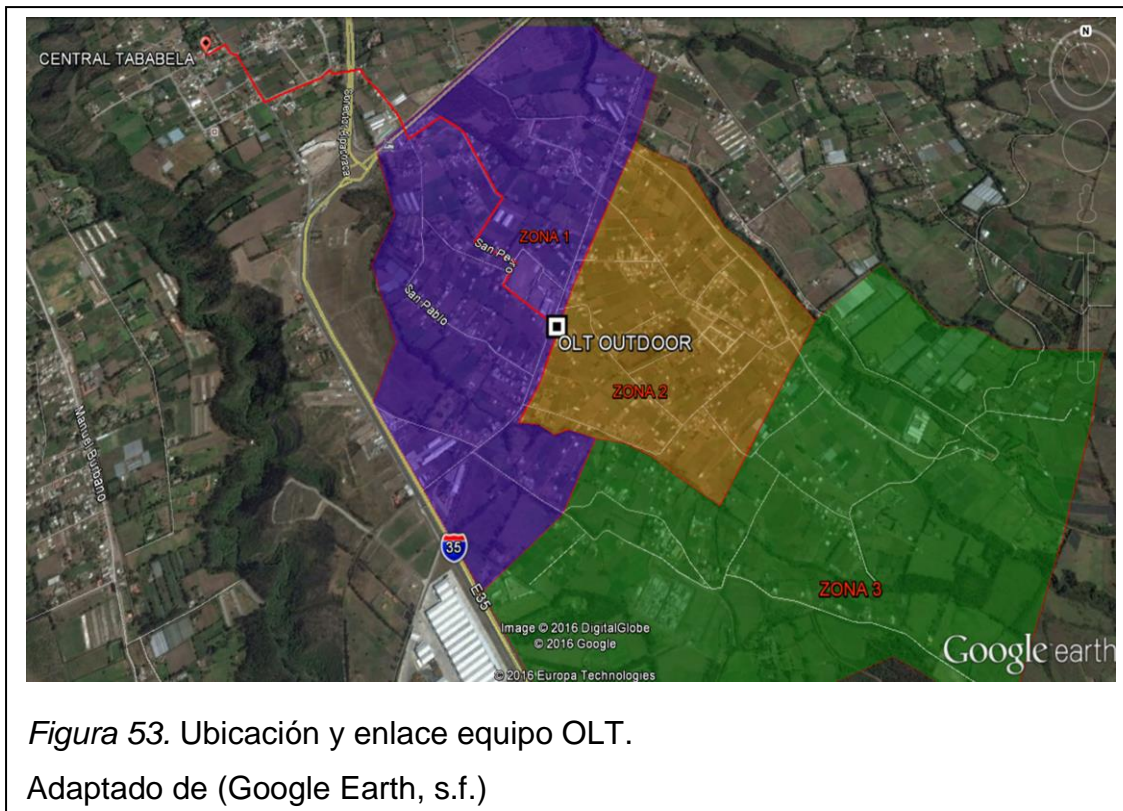


*Figura 52.* Esquema general de la red.

Adaptado de (Google Earth, s.f.).

### 3.1.1 Ubicación y enlace de la OLT

La ubicación de la OLT afecta al despliegue de la red GPON, por cuanto influye en parámetros de diseño como la distancia, atenuación y ancho de banda disponible para cada usuario, es por esto que para definir su ubicación se debe tomar en cuenta la densidad poblacional de las tres zonas, su posible crecimiento de demanda, la facilidad de acceso físico al equipo, la seguridad del lugar en donde se lo instale y la distancia máxima a los posibles clientes futuros. De tal forma, se ha definido la instalación de la OLT entre la línea férrea (calle principal del barrio) y la calle San Pedro, que se considera como el lugar más céntrico y comercial del barrio y por lo tanto cumple con las condiciones anteriormente mencionadas.



La ubicación del equipo OLT *outdoor* determina la trayectoria de su enlace de *uplink* de fibra óptica, mismo que se lo realiza desde la central de Tababela utilizando canalización por ductos. La central de Tababela cuenta con un equipo *switch* de la red MPLS de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT E.P., que es utilizado como acceso hacia la red de *core*. Para la instalación de este enlace de *uplink* se proyecta la utilización de 25 pozos existentes, por medio de los cuales se encuentra tendida la red primaria de cobre que alimenta el armario 12 de Tababela de la CNT E.P.

Ya que el enlace de *uplink* de la OLT se alimenta con dos hilos de fibra óptica en conexión tipo *dúplex*, se ha decidido prever la utilización de dos hilos más para operación y mantenimiento (O&M) y ocho hilos para posibles ampliaciones del servicio en sectores aledaños. De tal forma que, para la construcción del enlace de *uplink* de la OLT del barrio Oyambarillo se utiliza una fibra óptica de 12 hilos del tipo monomodo. En la Figura 54 se muestra la trayectoria que describe el enlace de *uplink* para la OLT *outdoor*.





*Figura 54. Trayectoria de enlace equipo OLT.*

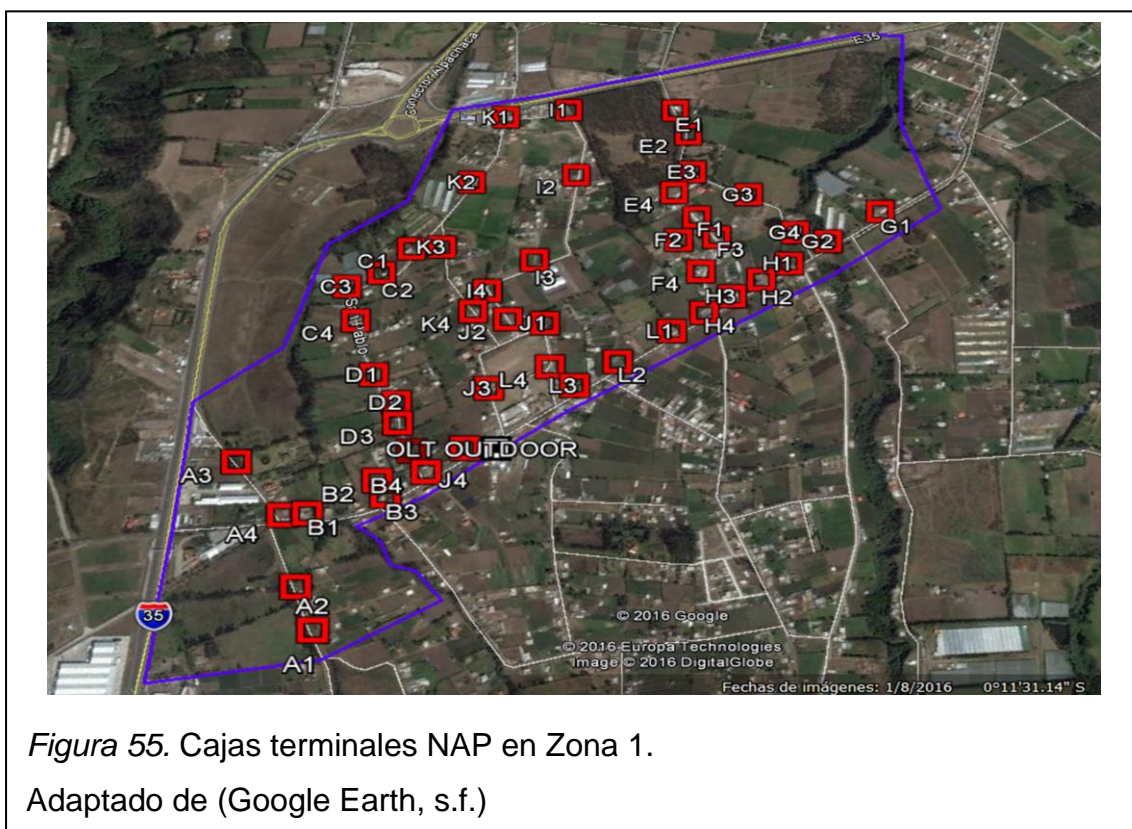
Adaptado de (Google Earth, s.f.)

### 3.1.2 Ubicación de cajas terminales (NAP)

La ubicación de las cajas NAP se la realiza de manera estratégica, de acuerdo a las características demográficas del sector, el tipo de infraestructura disponible, posible demanda y el área de cobertura de cada caja NAP proyectada. Tomando en cuenta la migración de los servicios actuales y el crecimiento a futuro se ha determinado ubicar una caja NAP por cada 8 clientes, que son atendidos a través de la red de dispersión. De tal forma es necesario disponer de un mayor número de cajas terminales en lugares donde exista mayor demanda o densidad de población. Las instalaciones de las cajas terminales se las realiza de preferencia utilizando postes existentes, o en su defecto proyectando la instalación de nuevos postes en lugares donde fuese necesario.

### 3.1.2.1 Cajas terminales en Zona 1

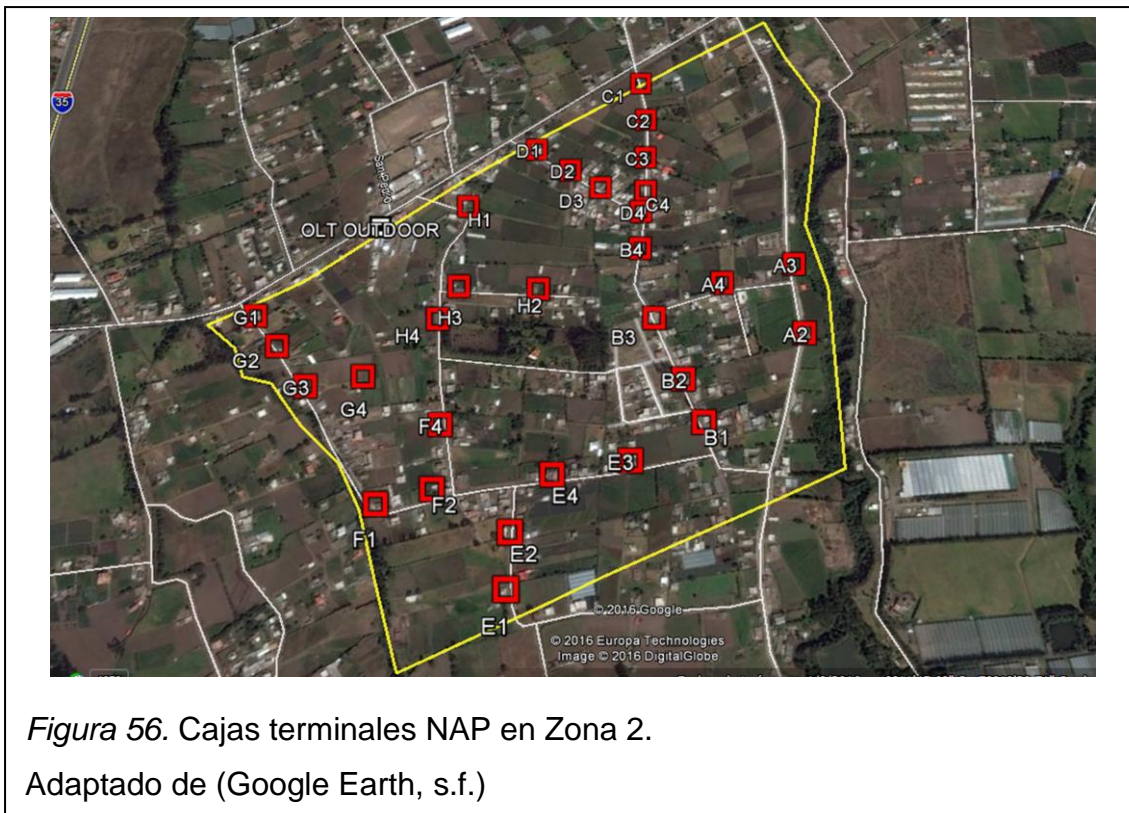
Para determinar la ubicación geográfica de las cajas terminales, se ha realizado un barrido físico de la zona (ver Anexo 1), respetando la normativa de construcción de redes de planta externa de la CNT E.P., donde indica que la primera caja de cada serie debe ser instalada en el lugar más lejano al armario de distribución. Una vez finalizada la toma de coordenadas geográficas y considerando las características demográficas, poblacionales, y de crecimiento del sector antes mencionadas, se ha determinado que para satisfacer las necesidades de demanda actual y futura de la Zona 1 es imprescindible la instalación de 48 cajas NAP. La Figura 55 muestra la ubicación física de las cajas NAP según sus coordenadas geográficas.



La ubicación de las cajas terminales para esta zona se la ha realizado de manera estratégica, tomando como referencia las instaladas por la CNT E.P. para brindar el servicio de telefonía fija y las calles o pasajes donde actualmente no se cuenta con red de telecomunicaciones desplegada. Para

tender la red de distribución que suministre potencia óptica a las cajas NAP, se utilizan cables de fibra óptica de hasta 96 hilos que son distribuidos realizando empalmes o sangrados a lo largo de su trayectoria. Dicha distribución está presentada en el punto 3.2.3.1.

### 3.1.2.2 Cajas terminales en Zona 2



Siguiendo los mismos lineamientos sobre la normativa de construcción de redes de planta externa de la CNT E.P., además de tomar en cuenta la demografía de la Zona 2; se realiza la toma de datos geográficos de los lugares donde se define la instalación de una caja terminal NAP para suministrar el servicio de telecomunicaciones (ver Anexo 2). Una vez finalizada la toma de coordenadas geográficas de la Zona 2 considerando sus características demográficas, poblacionales y de crecimiento; se ha determinado que para satisfacer las necesidades de demanda actual y futura en esta zona, es imprescindible la instalación de 32 cajas NAP.



Para determinar la ubicación de las cajas terminales, se ha tomado como referencia las existentes en la actual red de cobre de la CNT E.P., y las calles o pasajes donde no se cuenta con red de telecomunicaciones. Por otro lado, para el despliegue de la red de distribución que provee potencia óptica a las cajas NAP, se emplean fibras ópticas de máximo 96 hilos que se dividen construyendo empalmes o sangrados a lo largo de su trayectoria. Dicha distribución se describe en el punto 3.2.3.2.

### **3.1.2.3 Cajas terminales en Zona 3**

Considerando las características demográficas de la Zona 3, el tipo de infraestructura disponible, la posible demanda del sector, la extensa distancia entre abonados y el área de cobertura de cada caja NAP proyectada, al igual que se ha definido para las zonas 1 y 2, se determina ubicar una caja NAP por cada 8 clientes, mismos que son atendidos a través de la red de dispersión. De tal forma se prevé instalar un mayor número de cajas terminales en lugares donde exista mayor demanda o densidad de población y se proyecta la ubicación de reservas para atender futuras demandas. La toma de datos geográficos de los lugares donde se define la instalación de cada caja terminal NAP para proveer el servicio de telecomunicaciones en la Zona 3, se detalla en el Anexo 3.

Una vez finalizada la toma de coordenadas geográficas de la Zona 3, considerando las características demográficas, poblacionales y de crecimiento del sector; se ha determinado que para atender las migraciones de la red de cobre actual al servicio GPON e instalar nuevos servicios en lugares donde no existía red es imprescindible la instalación de 22 cajas NAP. La instalación de las cajas terminales se la efectúa de preferencia utilizando postes existentes o en su defecto, proyectando la instalación de nuevos postes en lugares donde fuese necesario. La Figura 57 muestra la ubicación física de las cajas terminales de la Zona 3.



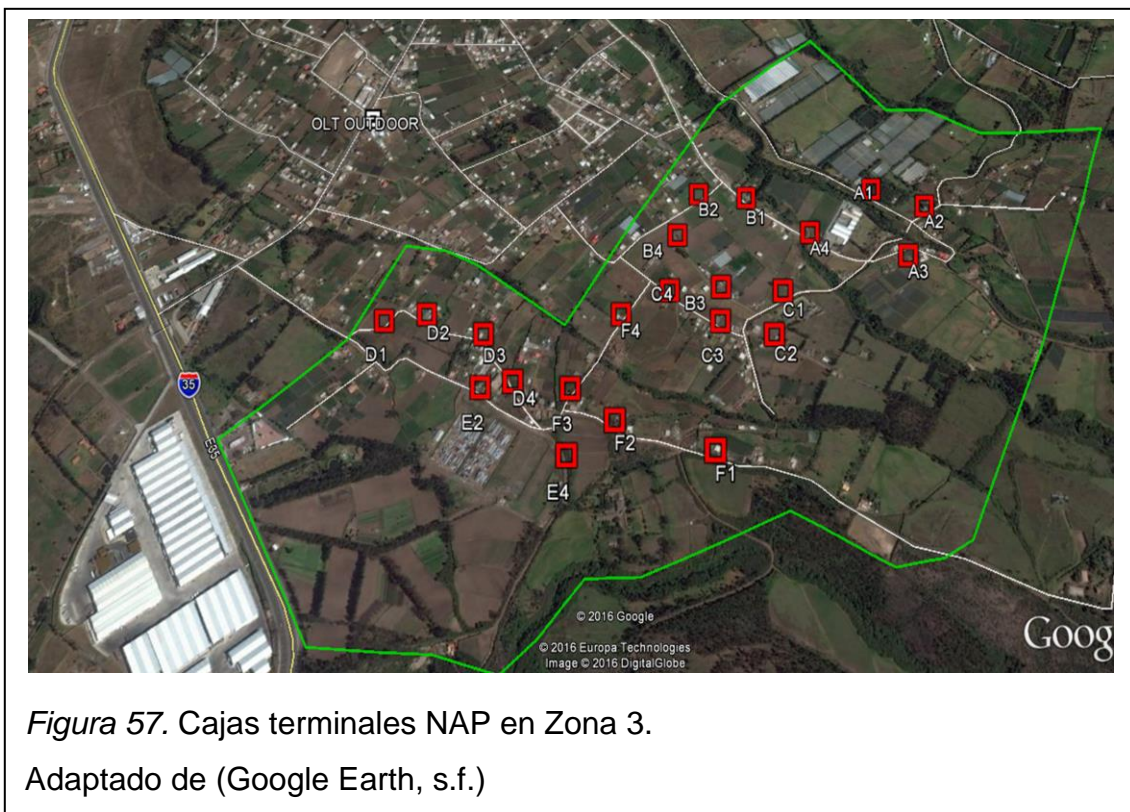


Figura 57. Cajas terminales NAP en Zona 3.

Adaptado de (Google Earth, s.f.)

La ubicación de las cajas terminales para esta zona se la ha realizado de manera estratégica, tomando como referencia las instaladas para la red de cobre de CNT E.P., y las calles o pasajes donde actualmente no se cuenta con red de telecomunicaciones. Sin embargo se ha determinado prudente habilitar dos cajas en reserva que sirven para atender el crecimiento de demanda en los sectores donde se encuentra la proyección de las cajas E2 y E4. Para el despliegue de la red de distribución que suministra potencia óptica a las cajas NAP, se utilizan cables de fibra óptica de hasta 96 hilos que son distribuidos realizando empalmes o sangrados a lo largo de su trayectoria. Dicha distribución se encuentra detallada en el punto 3.2.3.3.

### 3.2 Despliegue de la red

La definición del sitio donde se ubica el equipo OLT *outdoor* influye directamente en el modelo de despliegue de red a utilizar. Debido a que la distancia del usuario final con respecto a la OLT actúa sobre el aumento de

atenuación, disminución de ancho de banda y potencia óptica que percibe la ONT, por tal motivo es necesario calcular el presupuesto óptico de cada zona en la que se ha dividido el barrio, para garantizar que estos parámetros no sobrepasen los umbrales del equipo terminal del usuario ni los definidos por la CNT E.P., mismos que fueron detallados en el capítulo anterior.

Tomando en cuenta que las zonas en las que se ha dividido el barrio Oyambarillo tienen diferentes características demográficas, de infraestructura y de demanda, se ha definido el despliegue de la red de manera individual por zona; esto con el fin de determinar el mejor modelo de construcción de la red, ubicación de cajas NAP, mangas y reservas para cada caso según sus condiciones particulares.

### 3.2.1 Selección de modelo de despliegue GPON

Para definir el modelo de despliegue de la red se debe tomar en cuenta la potencia mínima inyectada por la OLT y la atenuación de la red, parámetros que influyen en la potencia que recibe la ONT, esto para garantizar que el sistema funcione dentro del rango de sensibilidad del receptor. Para el efecto se toma en cuenta los parámetros de los equipos activos que se ha definido utilizar, calculados en el peor de los posibles escenarios:

$$P_{tx \text{ mínima OLT}} = 1,5 \text{ [dBm]} \quad (\text{Ecuación 16})$$

$$P_{Rx \text{ mínima ONT}} = \text{Sensibilidad del receptor} = -27 \text{ [dBm]} \quad (\text{Ecuación 17})$$

$$P_{Rx} = P_{tx} - \text{Atenuación total} \quad (\text{Ecuación 18})$$

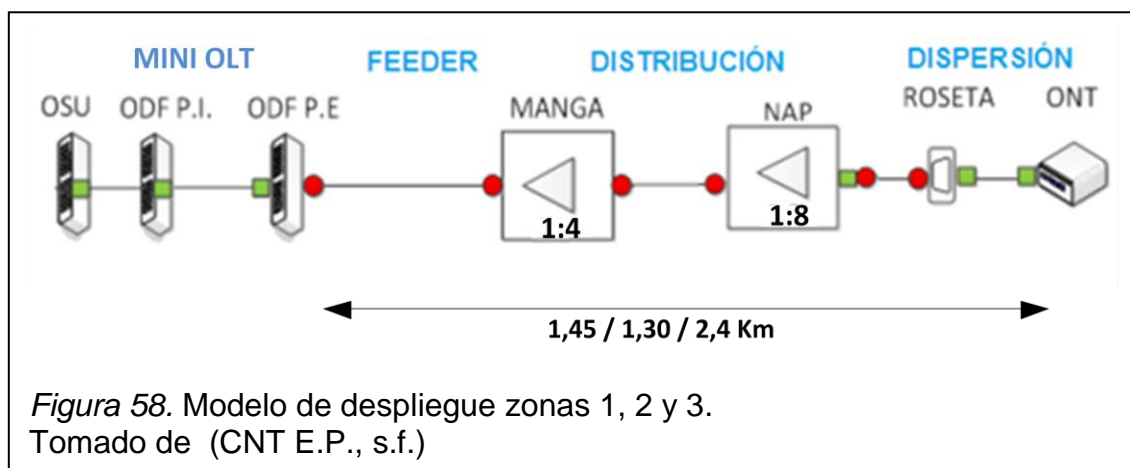
Reemplazando ecuaciones 9 y 10 en ecuación 11, se tiene que la atenuación total puede llegar a un máximo de 28,5 [dB]:

$$\text{Atenuación total} = 1,5 \text{ [dBm]} + 27 \text{ [dBm]} = 28,5 \text{ [dB]} \quad (\text{Ecuación 19})$$

El valor de atenuación total de la red es la sumatoria de las pérdidas causadas por inserción de conectores, distancia del cliente más lejano con respecto a la OLT, la división de potencia óptica (producida por el *splitter*) y las pérdidas por cada fusión.

Para definir el modelo de despliegue de red GPON de las zonas se consideran los siguientes aspectos que influyen en la disponibilidad del ancho de banda para el usuario final y en el diseño como tal:

- Valor máximo de atenuación de la red de 28, 5 [dB].
- Distancia del cliente más lejano con respecto a la OLT.
- Cantidad y ubicación de divisores de potencia óptica (*splitters*), que aportan altos valores de atenuación a la red.
- Cantidad máxima de posibles usuarios por puerto PON (delimitado según divisiones ópticas).
- Número máximo de clientes por cada caja NAP.



Para atender con el servicio GPON a cada zona se ha determinado utilizar el modelo de despliegue de red descrito en la Figura 58, mismo que presenta las siguientes ventajas:

- Al determinar un máximo de 32 clientes por cada puerto PON se aumenta la disponibilidad de ancho de banda para cada usuario.

- La ubicación del *splitter* 1:8 dentro de la caja NAP aporta menor atenuación a los usuarios finales, por cuanto la división de potencia óptica se encuentra cercana a la ONT.
- La aplicación de dos niveles de división óptica permite utilizar cables de baja capacidad en la red de distribución.

La definición del modelo de red da lugar al cálculo del presupuesto óptico, mismo que determina si la red funciona dentro de los valores de atenuación calculados anteriormente. Cabe mencionar que se ha definido el mismo modelo de red para las tres zonas debido a su similitud en número de clientes por cada caja y similitud de distancia máxima del último usuario de la zona.

Tabla 8. Presupuesto óptico de red GPON zonas 1, 2 y 3

PLANTILLA PARA PRESUPUESTO ÓPTICO DE CNT E.P.					
Elementos de la red de fibra óptica	Cantidad	Pérdida por elemento (dB)	Total pérdida (dB) ZONA 1	Total pérdida (dB) ZONA 2	Total pérdida (dB) ZONA 3
Conectorización, ITU-T 671 = 0,5 dB	6	0,5	3	3	3
Fusión, ITU-T 751 = 0,1 dB	6	0,1	0,6	0,6	0,6
Splitters	1x2	3,5	0	0	0
	1x4	1	7	7	7
	1x8	1	10,5	10,5	10,5
	1x16		14	0	0
	1x32		17,5	0	0
	1x64		21	0	0
	2x4		7,9	0	0
	2x8		11,5	0	0
	2x16		14,8	0	0
	2x32		18,5	0	0
Pérdidas por kilómetro de fibra operando a cierta longitud de onda	1310 nm	1,45/1,3/2,4	0,35	0,5075	0,455
	1490 nm		0,3	0	0
	1550 nm		0,25	0	0
<b>PERDIDA TOTAL (dB)</b>			<b>21,6075</b>	<b>21,555</b>	<b>21,94</b>

Adaptado de (CNT E.P., s.f.)

En la Tabla 8 se detalla el presupuesto óptico para la red GPON de las zonas 1, 2 y 3, con la única diferencia en la pérdida por kilómetros de fibra óptica operando a 1.310 [nm].

La atenuación total del modelo de despliegue propuesto para las tres zonas del barrio Oyambarillo, no sobrepasa el límite calculado de 28,5 [dB], por lo que se

asegura que la potencia en el receptor está dentro de los rangos umbrales en todos los clientes de las zonas analizadas y que su funcionamiento es óptimo. Cabe mencionar que en la Zona 3 los clientes son más dispersos, es decir, existen menos posibles clientes y ubicados a distancias más largas.

### **3.2.2 Red de *feeder***

Como ya se ha mencionado en el capítulo anterior, la red de *feeder* comprende el despliegue de una fibra óptica desde la OLT hacia los lugares que se pretende atender con el servicio GPON. Ya que la OLT *outdoor* Huawei MA5603T a utilizar dispone de 32 puertos PON, se define el despliegue de una fibra óptica canalizada del tipo monomodo de 48 hilos para transportar la potencia óptica directamente desde la OLT, hacia las diferentes zonas en que se ha dividido el barrio Oyambarillo. Desde ese punto, mediante un sangrado del *feeder* y la utilización de una manga troncal, se determina el inicio de la red de distribución. Debido a que la OLT ha sido ubicada de manera estratégica en la zona central poblada del barrio, la manga troncal para las Zonas 1 y 2 está instalada en el mismo pozo proyectado para el ingreso y salida de los cables de red pertenecientes a la OLT, mientras que la manga troncal para la Zona 3 se ubica en un pozo cercano al sitio donde se atienden a los clientes.

Es importante mencionar que el sangrado del *feeder* es un proceso de instalación de mangas por el cual solo se intervienen los *buffers* o hilos que se pretenden utilizar en una fusión, para atender a cierto sector, y el resto de hilos no sufren ningún corte, por lo que no se aporta atenuación óptica al todo sistema. En la Figura 59 se detalla la trayectoria de la red *feeder* proyectada para atender a las tres zonas en que se ha dividido el barrio Oyambarillo de Tababela.

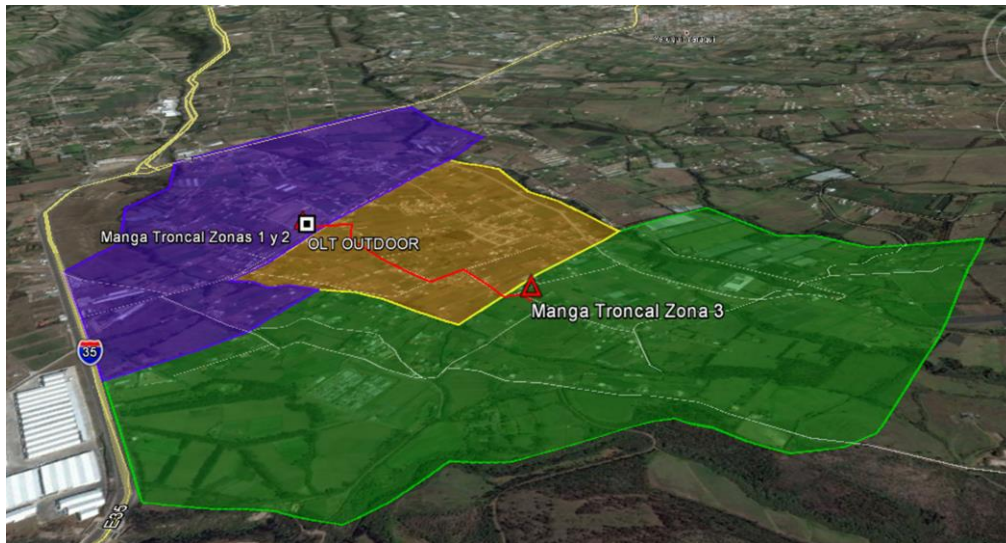


Figura 59. Trayectoria de red de *feeder* barrio Oyambarillo.

Adaptado de (Google Earth, s.f.)

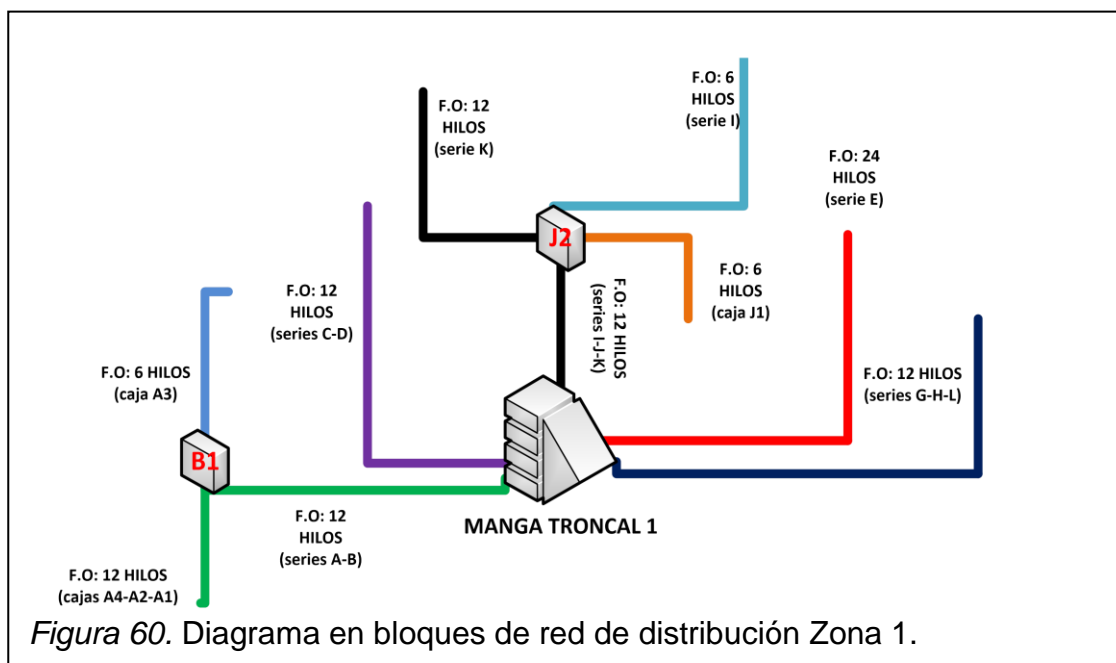
### 3.2.3 Red de distribución

La red de distribución, como ya se ha mencionado en el capítulo 2, parte desde la manga troncal de la red de *feeder* hacia las cajas terminales NAP, comprendiendo todos los empalmes, sangrados y derivaciones necesarias para suministrar potencia óptica a la mayor cantidad de cajas utilizando una misma fibra óptica. Ya que todas las cajas NAP proyectadas en el barrio Oyambarillo son del tipo aérea, el cableado de distribución también es del tipo aéreo, con la excepción de la subida a poste y empalme de suministro desde la manga troncal.

De la misma manera en que se ha dividido al barrio por zonas para determinar sus características de diseño, es necesario describir la red de distribución que se utiliza en las zonas de forma individual. Cabe mencionar que para determinar un orden en la asignación de hilos, la fibra óptica que se utiliza debe cumplir con la normativa TIA/EIA 598, que habla sobre la identificación de fibras por código de colores (ver Anexo 4).

### 3.2.3.1 Red de distribución Zona 1

De acuerdo al modelo de red GPON definido para la Zona 1, descrito en el punto 3.2.1, la red de distribución parte desde la manga troncal 1, donde se instala el primer nivel de *splitteo* 1 x 4 hacia las diferentes ramificaciones para alimentar a las cajas NAP. Dichas ramificaciones se determinan según la división de rutas por sectores y la cantidad de cajas que alimenta cada ruta, de tal forma que para construir la red de distribución hacia las cajas terminales son necesarias 5 fibras ópticas de 12 hilos del tipo aéreo monomodo, derivadas desde la manga troncal 1.



En la Figura 60 se detalla un diagrama en bloques de la forma en que se distribuyen las fibras ópticas a lo largo de la Zona 1. Para esto, se ha determinado que en la manga troncal 1 se fusionen 12 hilos provenientes del *feeder*, que alimenta a 12 *splitters* 1 x 4, para atender a las 48 cajas NAP desde la serie A hasta la serie L.

Para la asignación de fibras ópticas a cada caja NAP se debe tomar en cuenta fusionar solamente el hilo destinado para alimentar dicha caja, que representa el segundo nivel de *splitteo* 1 x 8 (como se muestra en la Figura 58), y el resto



de hilos deben continuar su trayectoria hacia las demás cajas terminales, sin ser cortados o fusionados, de manera que no se añadan pérdidas a la red. Las series son atendidas por diferentes cables de fibra óptica, de la siguiente manera:

Tabla 9. Descripción de cables de distribución en Zona 1

RED DE DISTRIBUCIÓN ZONA 1					
CANTIDAD	TIPO DE FIBRA OPTICA	HILOS CON SERVICIO	CAJAS QUE ALIMENTA	CANTIDAD DE CAJAS	CANTIDAD DE CLIENTES
1	12 hilos G.652D aérea	8	series A y B	8	64
1	12 hilos G.652D aérea	8	series C y D	8	64
1	12 hilos G.652D aérea	12	series G, H y L	12	96
1	12 hilos G.652D aérea	8	series E y F	8	64
1	12 hilos G.652D aérea	12	series I, J y K	12	96
<b>5</b>	<b>TOTAL</b>			<b>48</b>	<b>384</b>

Todas las cajas cumplen doble funcionalidad, albergar el segundo nivel de *splitteo* (1 x 8) para dar servicio a los clientes de la propia caja y permitir el paso de los hilos libres sin cortar ni fusionar, hacia el resto de cajas. Cabe mencionar que las cajas, B1 y J2 sirven también como mangas de empalme para dividir la red en recorridos distintos, sea por fusión o permitiendo el paso de la fibra, tal como se muestra en la Figura 60 y se explica a continuación:

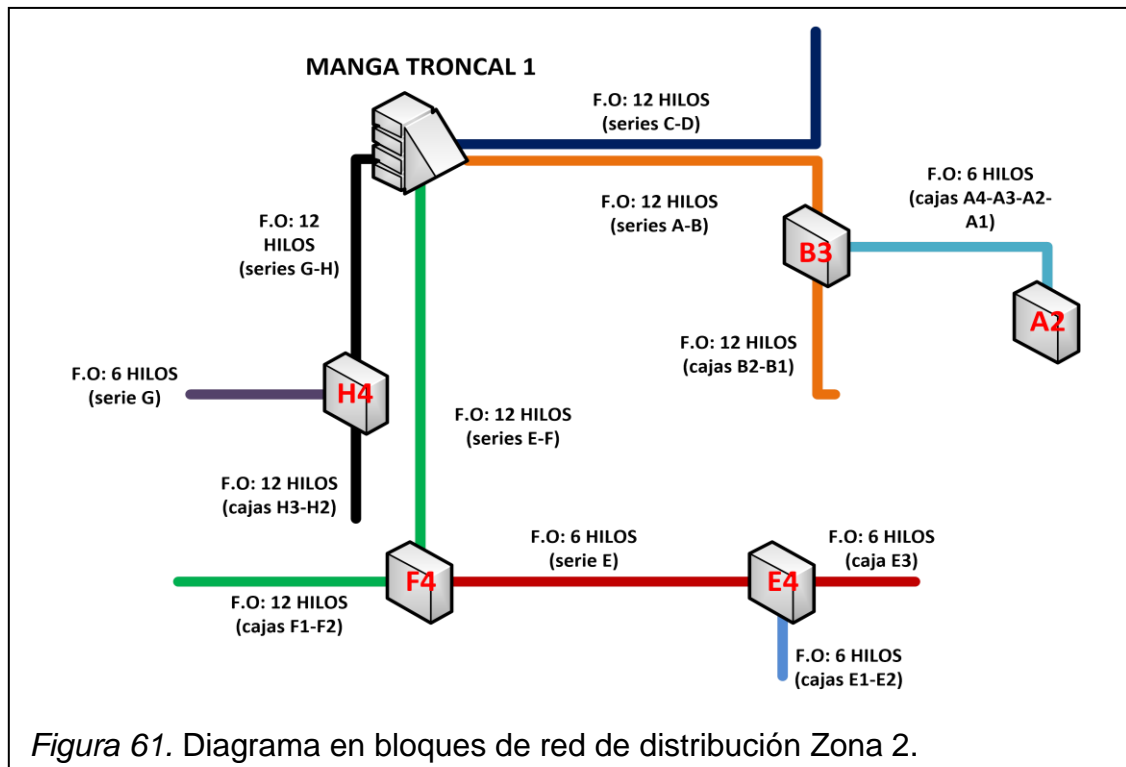
- La caja B1 se utiliza como punto de empalme para alimentar la caja A3, además de permitir el paso de la fibra óptica hacia las cajas A1, A2 y A4.
- La caja J2 se utiliza como punto de empalme para alimentar la caja J1 y la serie I, además de permitir el paso de la fibra óptica hacia la serie K.

### 3.2.3.2 Red de distribución Zona 2

De acuerdo al modelo de red GPON definido para la Zona 2, descrito en el punto 3.2.1, la red de distribución parte desde la manga troncal 1, donde se prevé instalar el primer nivel de *splitteo* 1 x 4 hacia las diferentes ramificaciones que alimentan a las cajas NAP. Dichas ramificaciones se determinan según la



división de rutas por sectores y la cantidad de cajas que alimenta cada ruta, de tal forma que para construir la red de distribución son necesarias 4 fibras ópticas de 12 hilos del tipo aéreo monomodo, derivadas desde la manga troncal 1.



En la Figura 61 se muestra a detalle la forma en que se distribuyen las fibras ópticas a lo largo de la Zona 2. Para esto, se ha determinado que en la manga troncal 1 se fusionen 8 hilos provenientes del *feeder*, con el fin de alimentar a 8 *splitters* 1 x 4 para atender a las 32 cajas NAP (dos en reserva), desde la serie A hasta la serie H.

Para la asignación de fibras ópticas a cada caja NAP se debe tomar en cuenta fusionar solamente el hilo destinado para alimentar a dicha caja, que representa el segundo nivel de *splitteo* 1 x 8 (como se muestra en la Figura 58), y el resto de hilos de la misma manera que en el análisis anterior, deben continuar su trayectoria hacia las demás cajas terminales sin ser cortados o fusionados.

Tabla 10. Descripción de cables de distribución en Zona 2

RED DE DISTRIBUCIÓN ZONA 2					
CANTIDAD	TIPO DE FIBRA OPTICA	HILOS CON SERVICIO	CAJAS QUE ALIMENTA	CANTIDAD DE CAJAS	CANTIDAD DE CLIENTES
1	12 hilos G.652D aérea	8	series A y B	8	64
1	12 hilos G.652D aérea	8	series C y D	8	64
1	12 hilos G.652D aérea	8	series E y F	8	64
1	12 hilos G.652D aérea	8	series G y H	8	64
<b>4</b>	<b>TOTAL</b>			<b>32</b>	<b>256</b>

Al igual que en el despliegue de la red de distribución de la Zona 1, en la Zona 2 todas las cajas cumplen doble funcionalidad, albergar el segundo nivel de *splitteo* (1 x 8) para dar servicio a los clientes de la propia caja y permitir el paso de los hilos libres. Cabe mencionar que las cajas, H4, F4, E4 y B3 sirven también como mangas de empalme para dividir la red en recorridos distintos, sea por fusión o permitiendo el paso de la fibra, como se define en la Figura 61 y se describe a continuación:

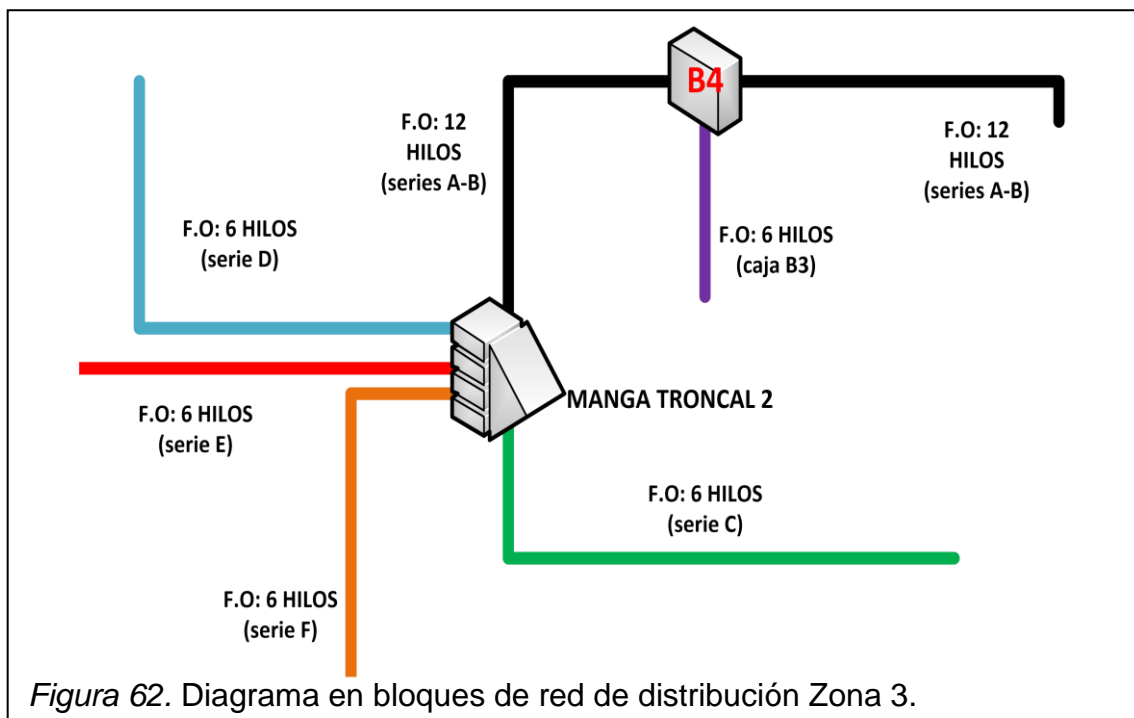
- La caja H4 permite alimentar la serie G, además de proporcionar un medio de paso a la fibra óptica hacia las cajas H3 y H2.
- La caja F4 se utiliza como punto de empalme para alimentar la serie E, además de permitir el paso de la fibra óptica hacia las cajas F1 y F2.
- La caja E4 provee potencia óptica a la caja E3, además de funcionar como medio de paso hacia las cajas E1 y E2.
- La caja B3 se utiliza como punto de empalme para alimentar la serie A, además de permitir el paso de la fibra óptica hacia las cajas B1 y B2.

La demanda actual de servicios no justifica la instalación de más cajas NAP en la red de la Zona 2, sin embargo se prevé la instalación de las cajas F3 y A1 por crecimiento futuro, mismas que se dejan en reserva dentro de las cajas F4 y A2 respectivamente.

### 3.2.3.3 Red de distribución Zona 3

La red de distribución para la Zona 3, parte desde una manga troncal diferente a la de las zonas 1 y 2, misma que se encuentra a 800 [m] de la OLT (ver Figura 59), donde se prevé instalar el primer nivel de división óptica (*splitter* 1 x 4). Desde este punto, las fibras ópticas parten hacia las diferentes ramificaciones con el fin de alimentar a las cajas NAP; para esto es necesario que la manga troncal 2 tenga disponible el servicio de 6 hilos de transmisión proveniente del *feeder* para alimentar a 6 *splitters* 1 x 4, los cuales son fusionados a los diferentes cables de fibra que proveen potencia óptica a las 24 cajas NAP de la Zona 3, desde la serie A hasta la serie F.

Adicionalmente, es importante mencionar que la caja B4 se utiliza como punto de empalme para alimentar la caja B3, además de permitir el paso de la fibra óptica hacia las series A y B. En la Figura 62 se muestra a detalle la forma en que se distribuyen las fibras ópticas a lo largo de la Zona 3.



Para la asignación de fibras ópticas a cada caja NAP, se debe tomar en cuenta fusionar solamente los hilos destinados para alimentar dicha caja (segundo nivel de división óptica 1 x 8), tal como se muestra en la Figura 58, y el resto de hilos deben continuar su trayectoria hacia las demás cajas terminales, sin ser cortados o fusionados, de manera que no se añadan pérdidas a la red. Las series son atendidas por diferentes cables de fibra óptica como se describe en la Tabla 11.

Tabla 11. Descripción de cables de distribución en Zona 3

<b>RED DE DISTRIBUCIÓN ZONA 3</b>					
<b>CANTIDAD</b>	<b>TIPO DE FIBRA OPTICA</b>	<b>HILOS CON SERVICIO</b>	<b>CAJAS QUE ALIMENTA</b>	<b>CANTIDAD DE CAJAS</b>	<b>CANTIDAD DE CLIENTES</b>
1	12 hilos G.652D aérea	8	series A y B	8	64
1	6 hilos G.652D aérea	4	serie C	4	32
1	6 hilos G.652D aérea	4	serie D	4	32
1	6 hilos G.652D aérea	4	serie E	4	32
1	6 hilos G.652D aérea	4	serie E	4	32
<b>5</b>	<b>TOTAL</b>			<b>24</b>	<b>192</b>

La demanda actual de servicios no justifica la instalación de más cajas NAP en la red de la Zona 3, sin embargo se prevé la instalación de las cajas E1 y E3 por crecimiento futuro, mismas que se dejan en reserva dentro de las cajas E2 y E4 respectivamente.

### **3.2.4 Red de dispersión**

Esta red, como ya se ha mencionado en el capítulo 2, parte desde la caja NAP hasta la ONT en el domicilio del usuario final. Al igual que en la red de distribución, el cableado de la red de dispersión es en su mayoría aéreo, por lo que es necesario utilizar ganchos o tensores diseñados para cables de fibra óptica de planta externa, a excepción de los ingresos a las casas que cuenten con pozos o ductos para cableado interno.

Para el despliegue de la red de dispersión se ha definido emplear cable tipo DROP monomodo G.657 A1/A2 aéreo, que gracias a su estructura externa flexible permite la formación de ángulos cerrados en su instalación, sin afectar sus características mecánicas ni de funcionamiento. Una vez que el cable DROP ingresa al domicilio, se utiliza una roseta óptica (caja terminal del usuario), donde se fusiona el hilo de fibra del DROP con el *pigtail* de la roseta, para entregar al usuario final un punto de conexión.

De acuerdo con la normativa de construcción de redes de fibra óptica de CNT E.P., todos los conectores, *pigtails*, acopladores y splitter conectorizados que se utilicen en la red GPON de planta externa deben ser del tipo SC, para facilitar la conexión en los diferentes terminales y con pulido APC para reducir las pérdidas por retorno y pérdidas por inserción en la red.

En la Figura 63 se muestra el conector del tipo SC/APC que se utiliza en la construcción de la red GPON del barrio Oyambarillo de Tababela.



Figura 63. Conector tipo SC/APC.  
Adaptado de (CNT E.P., s.f.)

Finalmente como equipo terminal del usuario, como ya se ha mencionado en el capítulo anterior, se utiliza la ONT marca Huawei HG8245 para brindar los diferentes servicios que oferta la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT E.P., cuyo *datasheet* con características técnicas se encuentra detallado en el Anexo 5.

### 3.3 Cálculo del ancho de banda

Previo al cálculo de la disponibilidad de ancho de banda para cada cliente, se debe realizar un estudio del consumo promedio en la actualidad, lo cual sirve para proyectar un valor de consumo futuro y mantener la productividad de la red por varios años. Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos, el perfil del internauta varía entre las edades de 16 y 24 años y utilizan el acceso a internet con fines educativos, de comunicación, información y laborales; además se identifica que existe la tendencia de conectarse desde su hogar, un acceso público, instituciones y trabajos. (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], s.f.)

Para estimar el ancho de banda tanto de subida como de bajada necesario para satisfacer las necesidades de cada usuario del servicio GPON, se toma como referencia los planes básicos ofertados por las empresas de telecomunicaciones que brindan estos servicios. Para el efecto, se ha tomado los mismos ofertados por la CNT E.P. y la empresa TV Cable.

Tabla 12. Cálculo de demanda de ancho de banda por usuario GPON

EMPRESA	SERVICIO	AB UPLINK [Mbps]	AB DOWNLINK [Mbps]
CNT	SDTV	1	5
	HDTV	1	16
	Navegación por internet	3	5
	Voz	0,256	0,256
TV CABLE	Juegos en línea	3	3
	Video Conferencia	1,5	1,5
	Transferencia de archivos	0,512	0,512
	Video bajo demanda	0,128	6
<b>TOTAL</b>		<b>10,396</b>	<b>37,268</b>

Adaptado de (CNT E.P., s.f.)

#### 3.3.1 Ancho de banda disponible por cliente

De acuerdo a las velocidades nominales para la señal digital recomendadas por la ITU-T, mismas que son descritas en el numeral 2.6.1 y tomando en cuenta las capacidades de transmisión de cada puerto PON de la OLT, de

2.488 [Gbps] x 1.244 [Gbps] en los canales de *downlink* y *uplink* respectivamente; se ha determinado calcular la capacidad disponible de ancho de banda que disponen los usuarios de la red GPON, recalcando que se define una división óptica máxima de 1 x 32 por cada puerto PON de la OLT. Esto para resguardar actualizaciones futuras de la tecnología GPON a 10GPON y los incrementos en consumo de datos y servicios por parte de los usuarios, durante la vida útil de la red:

$$\text{Velocidad máxima downlink} = \frac{2.488 \text{ [Gbps]}}{32 \text{ clientes}} \quad (\text{Ecuación 20})$$

$$\text{Velocidad máxima downlink} = 77,7 \text{ [Mbps]} \quad (\text{Ecuación 21})$$

$$\text{Velocidad máxima uplink} = \frac{1.244 \text{ [Gbps]}}{32 \text{ clientes}} \quad (\text{Ecuación 22})$$

$$\text{Velocidad máxima uplink} = 38,8 \text{ [Mbps]} \quad (\text{Ecuación 23})$$

Se determina que para cada cliente de la red GPON del barrio Oyambarillo de Tababela se tiene un ancho de banda máximo disponible de 77,7 [Mbps] x 38,8 [Mbps] en los canales de *downlink* y *uplink* respectivamente, esto suponiendo que todos los clientes de la red consuman su máxima tasa de transmisión. Sin embargo ya que no todos los clientes de la red solicitan servicios de altos valores de ancho de banda, se puede disponer de la tasa de transmisión sobrante para satisfacer necesidades de clientes corporativos y empresas.

### 3.4 Análisis financiero del proyecto

Para determinar el costo referencial de construcción y habilitación del servicio GPON para el barrio Oyambarillo de Tababela, es necesario calcular el costo total de la propiedad (TCO), por sus siglas en ingles de *total cost of ownership*, mismo que se refiere al costo total del producto en un ciclo de vida y que se calcula tomando en cuenta los valores de costo directo e indirecto. El costo directo se refiere a todos los insumos tecnológicos, materiales, herramientas y mano de obra que se emplean para el desarrollo del proyecto y los costos indirectos son los de mantenimiento, administración y soporte técnico.

### 3.4.1 Costos directos

Para el cálculo de los costos directos del proyecto se ha tomado como referencia los precios unitarios que la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT E.P. paga a sus proveedores, por la instalación de insumos tecnológicos y la construcción de redes; estos precios unitarios incluyen el valor de instalación y la mano de obra. Para el efecto se ha dividido el análisis por tipo de red, tal como se ha dividido para su diseño.

Tabla 13. Costos de enlace OLT

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	HERRAJE DE POZO	25,00	93,01	2.325,25
2	FUSIÓN DE HILO DE FIBRA ÓPTICA CON PIGTAIL	18,00	16,99	305,82
3	FUSIÓN DE 1 HILO DE FIBRA ÓPTICA	6,00	10,72	64,32
4	PREPARACIÓN DE PUNTA DE CABLE DE FIBRA ÓPTICA Y SUJECCIÓN DE CABLES DE 6 - 96 HILOS	4,00	7,23	28,92
5	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE MANGUERA CORRUGADA 1"	25,00	2,57	64,25
6	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE IDENTIFICADOR ACRÍLICO DE FIBRA ÓPTICA 8 cm X 4 cm	27,00	5,22	140,94
7	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE MANGA SUBTERRÁNEA PORTA SPLITTER DE 12, TIPO DOMO (APERTURA Y CIERRE)	1,00	250,19	250,19
8	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ODF DE 6 PUERTOS (INCLUYE PIG TAILS FC/APC G 652.D)	1,00	162,53	162,53
9	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE CANALIZADO 6 FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO G652.D	2.800,00	2,70	7.560,00
<b>TOTAL</b>				<b>10.902,22</b>

Adaptado de (CNT E.P., s.f.)



Tabla 14. Costos de red de *feeder*

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	HERRAJE DE POZO	2,00	93,01	186,02
2	FUSIÓN DE HILO DE FIBRA ÓPTICA CON PIGTAIL	32,00	16,99	543,68
3	FUSIÓN DE 1 HILO DE FIBRA ÓPTICA	6,00	10,72	64,32
4	PREPARACIÓN DE PUNTA DE CABLE DE FIBRA ÓPTICA Y SUJECIÓN DE CABLES DE 6 - 96 HILOS	4,00	7,23	28,92
5	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE MANGUERA CORRUGADA 1"	2,00	2,57	5,14
6	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE IDENTIFICADOR ACRÍLICO DE FIBRA ÓPTICA 8 cm X 4 cm	2,00	5,22	10,44
7	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE MANGA SUBTERRÁNEA PORTA SPLITTER DE 48, TIPO DOMO (APERTURA Y CIERRE)	2,00	427,83	855,66
8	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ODF DE 48 PUERTOS (INCLUYE PIG TAILS FC/APC G 652.D)	1,00	450,53	450,53
9	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE CANALIZADO 6 FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO G652.D	1.100,00	2,70	2.970,00
<b>TOTAL</b>				<b>5.114,71</b>

Adaptado de (CNT E.P., s.f.)

Tabla 15. Costos de canalización

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	BASE DE HORMIGÓN PARA ARMARIO (INCLUIDO ACCESO AL POZO)	2,00	214,91	429,82
2	COLOCACIÓN DE CERCO Y TAPA DE HIERRO FUNDIDO U HORMIGÓN EN POZO	2,00	70,14	140,28
3	LIMPIEZA DE POZO Y DESALOJO	10,00	56,43	564,30
4	MANGUERA DE SUBIDA A POSTE (M)	130,00	2,94	382,20
5	TAPA DE POZO DE HIERRO FUNDIDO	2,00	157,16	314,32
6	POZO ACERA 80 BLOQUES 2 CONVERGENCIAS	2,00	1.190,33	2.380,66
7	ROTURA Y REPOSICIÓN ACERA	2,00	21,38	42,76
<b>TOTAL</b>				<b>4.254,34</b>

Adaptado de (CNT E.P., s.f.)

Tabla 16. Costos de red de distribución

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	HERRAJE DE DISPERSIÓN PARA POSTE	832,00	4,97	4.135,04
2	POSTE DE HORMIGÓN 10 MTS.	31,00	316,22	9.802,82
3	FUSIÓN DE 1 HILO DE FIBRA ÓPTICA	233,00	10,72	2.497,76
4	FUSIÓN DE HILO DE FIBRA ÓPTICA CON PIGTAIL	1.104,00	16,99	18.756,96
5	PREFORMADO HELICOIDAL PARA VANO DE 120M PARA FIBRA ADSS 12,00-12,80mm	832,00	12,09	10.058,88
6	PREPARACIÓN DE PUNTA DE CABLE DE FIBRA ÓPTICA Y SUJECCIÓN DE CABLES DE 6 - 96 HILOS	127,00	7,23	918,21
7	SANGRADO DE CABLE FIBRA ÓPTICA ADSS DE 72-96	2,00	12,29	24,58
8	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE HERRAJE TIPO B (CÓNICO) PARA CABLE DE FIBRA ÓPTICA ADSS	416,00	11,41	4.746,56
9	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CAJA DE DISTRIBUCIÓN AÉREA NAP DE 12 PUERTOS SC/APC CON DERIVACIÓN	100,00	15,53	1.553,00
10	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE IDENTIFICADOR ACRÍLICO DE FIBRA ÓPTICA 8 cm X 4 cm	416,00	270,03	112.332,48
11	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE SPLITTER PLC PARA FUSIÓN (1X4)	20,00	215,53	4.310,60
12	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE SPLITTER PLC PARA FUSIÓN (1X8)	80,00	427,83	34.226,40
13	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE SPLITTER PLC PARA FUSIÓN (1X32)	6,00	771,51	4.629,06
14	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE SUBIDA A POSTE PARA FIBRA ÓPTICA CON TUBO EMT DE 3 M DE 2"	9,00	57,02	513,18
15	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN HERRAJE PARA MANGA TIPO DOMO SUBTERRANEA 12 A 48	2,00	211,17	422,34
16	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE AÉREO ADSS DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO DE 12 HILOS G.652.D VANO 80 METROS	5,00	54,82	274,10
17	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE AÉREO ADSS DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO DE 6 HILOS G.652.D VANO 80 METROS	2,00	2,41	4,82
18	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE AÉREO ADSS DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO DE 48 HILOS G.652.D VANO 80 METROS	1.350,00	2,41	3.253,50
19	SUMINISTRO Y TENDIDO DE CABLE AÉREO ADSS DE FIBRA ÓPTICA MONOMODO DE 96 HILOS G.652.D VANO 80 METROS	1.150,00	2,41	2.771,50
20	INSTALACIÓN DE PORTA RESERVAS FIBRA ÓPTICA POZO	2,00	215,11	430,22
<b>TOTAL</b>				<b>215.662,01</b>

Adaptado de (CNT E.P., s.f.)

Tabla 17. Costo equipamiento OLT

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
1	Chasis OLT	25.000	1	25.000
2	Tarjeta GICK (uplink, módulo GE incluido)	4.000	1	4.000
3	Tarjeta GPBH (8 puertos PON)	7.000	4	28.000
4	Tarjeta SCUN (controladora)	1.600	2	3.200
5	Licencia software (U2000)	3.500	1	3.500
6	Módulo SFP	300	8	2.400
<b>TOTAL</b>				<b>66.100</b>

Adaptado de (CNT E.P., s.f.)

De acuerdo a los cálculos realizados anteriormente, se puede resumir el costo directo total del proyecto en la siguiente tabla:

Tabla 18. Costo directo total del proyecto

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	COSTO
1	Enlace de uplink para OLT	10.902,22
2	Red de feeder	5.114,41
3	Red de distribución	215.662,01
4	Canalización	4.254,34
5	Costo equipamiento OLT	66.100,00
<b>COSTOS DIRECTOS</b>		<b>302.032,98</b>

Cabe aclarar que el rubro de los equipos terminales ONT no se contempla en el presente análisis por cuanto sus costos son adjudicados al cliente al momento de la instalación.

### 3.4.2 Costos indirectos

Los costos indirectos son aquellos resultantes del mantenimiento, administración, soporte técnico, marketing, ventas y costos adicionales necesarios para que el beneficio del proyecto llegue hasta los usuarios finales. Para el efecto se han considerado los gastos que incurrirán en el lapso de cuatro meses, que es el tiempo promedio de despliegue de una red GPON de CNT E.P., a partir de su aprobación.

Tabla 19. Detalle de costos indirectos

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	SALARIO	CATIDAD DE PERSONAL	COSTO MENSUAL	TIEMPO (MESES)	PRECIO TOTAL
1	Salario de personal de ventas directas	400,00	4	1.600,00	4	6.400,00
2	Salario de personal técnico para configuracion y puesta a punto del equipo OLT (2 personas)	650,00	2	1.300,00	4	5.200,00
3	Costo de insumos de marketing	N/A	N/A	300,00	4	1.200,00
4	Costos de movilización del personal (alquiler de camioneta)	900,00	1	900,00	4	3.600,00
5	Costo del suministro eléctrico para funcionamiento de OLT	N/A	N/A	80,00	4	320,00
<b>TOTAL</b>						<b>16.720,00</b>

Adaptado de (CNT E.P., s.f.)

### 3.4.3 Costo total del proyecto

Una vez calculados los costos directos e indirectos, se calcula la sumatoria de los dos valores y como resultante se obtiene un costo total del proyecto de \$ 301.352,98; dicho valor se detalla en la Tabla 20.

Tabla 20. Detalle del costo total del proyecto

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	COSTO
1	Costos directos	302.032,98
2	Costos indirectos	16.720,00
<b>COSTOS TOTALES</b>		<b>318.752,98</b>

### 3.4.4 Costo fijo anual de producción

El costo fijo se refiere a los costos de producción una vez se haya finalizado el proceso de instalación y despliegue de la red GPON del barrio Oyambarillo de Tababela, para lo cual se toma en cuenta los rubros detallados en la Tabla 21.

Tabla 21. Costo fijo anual de producción

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	SALARIO	CATIDAD DE PERSONAL	COSTO MENSUAL	COSTO ANUAL
1	Salario de personal de ventas directas	400,00	4	1.600,00	19.200,00
2	Salario de personal técnico para configuración y puesta a punto del equipo OLT (2 personas)	650,00	2	1.300,00	15.600,00
3	Costo de insumos de marketing	N/A	N/A	300,00	3.600,00
4	Costos de movilización del personal (alquiler de camioneta)	900,00	1	900,00	10.800,00
5	Costo del suministro eléctrico para funcionamiento de OLT	N/A	N/A	80,00	960,00
<b>TOTAL</b>					<b>50.160,00</b>

Adaptado de (CNT E.P., s.f.)

### 3.4.5 Proyección de ingresos anuales

Para el cálculo de los ingresos anuales se toma como punto de partida la demanda de servicios en el barrio Oyambarillo, descritos en el punto 2.1.1, donde se evidencia que la empresa CNT E.P. actualmente tiene 102 suscriptores del servicio de internet, 582 suscriptores del servicio de telefonía fija y 98 suscriptores del servicio de televisión pagada (DTH), mismos que generan para la empresa un ingreso anual fijo de \$ 92.596,80:

Tabla 22. Ingreso anual por demanda actual de servicios

ÍTEM	SERVICIO	PENSIÓN BÁSICA MENSUAL	USUARIOS ACTUALES	INGRESO ANUAL
1	Internet Fastboy	22,5	102	27540
2	Telefonía Fija	6,2	582	43300,8
3	Televisión por suscripción (DTH)	18,5	98	21756
4	Internet Corporativo	150	0	0
5	Servicio de Datos	1500	0	0
<b>INGRESO TOTAL MENSUAL</b>				<b>92596,8</b>

Adaptado de (CNT E.P., s.f.)

Debido a que en el barrio Oyambarillo existe un crecimiento productivo importante, que ha sido causado por la presencia del nuevo aeropuerto Mariscal Sucre, se toma en consideración que para los servicios de Internet Corporativo y Datos, mismos que actualmente no están disponibles en el barrio; se tendrá un crecimiento de al menos un cliente por año. Por otro lado, tomando como referencia el crecimiento poblacional anual del 2,39 % del barrio

Oyambarillo, descrito en el punto 3.1; se prevé obtener un crecimiento anual proporcional en la cantidad de suscriptores de los servicios de Internet *Fastboy*, Telefonía Fija y Televisión por suscripción (DTH).

Por lo expuesto anteriormente se calcula el crecimiento en las ventas y los valores de ingresos anuales según se especifica en la Tabla 23.

Tabla 23. Proyección de ingresos anuales

ÍTEM	SERVICIO	INGRESO AÑO 1	INGRESO AÑO 2	INGRESO AÑO 3	INGRESO AÑO 4	INGRESO AÑO 5	INGRESO AÑO 6
1	Internet Fastboy	27.540,00	28.198,21	28.872,14	29.562,19	30.268,72	30.992,15
2	Telefonía Fija	43.300,80	44.335,69	45.395,31	46.480,26	47.591,14	48.728,57
3	Televisión por suscripción (DTH)	21.756,00	22.275,97	22.808,36	23.353,48	23.911,63	24.483,12
4	Internet Corporativo	0,00	1.800,00	3.600,00	5.400,00	7.200,00	9.000,00
5	Servicio de Datos	0,00	18.000,00	36.000,00	54.000,00	72.000,00	90.000,00
<b>(+)INGRESO TOTAL MENSUAL</b>		<b>92.596,80</b>	<b>114.609,86</b>	<b>136.675,82</b>	<b>158.795,93</b>	<b>180.971,49</b>	<b>203.203,83</b>

### 3.4.6 Punto de equilibrio

El punto de equilibrio es el indicador que le permite a la empresa identificar el momento en que cubre sus costos y gastos. A partir de este momento se generan utilidades o beneficio para la empresa. (Vallejo, 2016, p.125)

Para establecer el punto de equilibrio se tomó en cuenta el costo total del proyecto calculado en el punto 3.4.3, el costo fijo de producción detallado en el punto 3.4.4 y la proyección de ingresos anuales descrita en el punto 3.4.5; de tal forma que se obtienen las ganancias por año para definir el punto de equilibrio.

Tabla 24. Cálculo de ganancias por año

AÑO	COSTO TOTAL (INICIAL)	COSTO FIJO (PRODUCCIÓN)	VENTAS TOTALES	GANANCIAS
AÑO 1	-318.752,98	-50.160	92.596,80	<b>-276.316,18</b>
AÑO 2	-276.316,18	-50.160	114.609,86	<b>-211.866,32</b>
AÑO 3	-211.866,32	-50.160	136.675,82	<b>-125.350,50</b>
AÑO 4	-125.350,50	-50.160	158.795,93	<b>-16.714,57</b>
AÑO 5	0	-50.160	180.971,49	<b>130.811,49</b>
AÑO 6	0	-50.160	203.203,83	<b>153.043,83</b>

De acuerdo a los valores detallados en la Tabla 24, se determina que a partir del quinto año de producción, la empresa recupera su inversión y empieza a tener ganancias netas.

### 3.4.7 Factibilidad del proyecto

Para determinar la factibilidad del proyecto es necesario tomar en cuenta dos criterios económicos, el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno).

#### 3.4.7.1 Cálculo del VAN

Antes de realizar el cálculo del VAN, se deben identificar los valores correspondientes al flujo efectivo neto de caja (FENC), para lo cual se toman en cuenta las ventas totales anuales (ingresos) y el costo fijo de producción (egresos), como se detalla en la Tabla 25.

Tabla 25. Cálculo del FENC

AÑO	INGRESOS	EGRESOS	FENC
1	92.596,80	-50.160	42436,80
2	114.609,86	-50.160	64449,86
3	136.675,82	-50.160	86515,82
4	158.795,93	-50.160	108635,93
5	180.971,49	-50.160	130811,49
6	203.203,83	-50.160	153043,83

Basándose en los datos de la Tabla 25, se calcula el VAN, tomando en cuenta que la inversión generada se obtiene con fondos propios de la CNT E.P., por esta razón se considera una tasa de interés del 5 %:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (\text{Ecuación 24})$$

Donde  $V_t$  representa los flujos de caja en cada periodo  $t$ ,  $I_0$  es el valor de inversión inicial que es calculado como la sumatoria del costo total inicial del

proyecto y el costo fijo de producción inicial,  $n$  es el número de periodos considerado y  $k$  representa el interés. (areadepymes, s.f.)

$$VAN = \frac{42.436,80}{(1+0,05)^1} + \frac{64.449,86}{(1+0,05)^2} + \frac{86.515,82}{(1+0,05)^3} + \frac{108.635,93}{(1+0,05)^4} + \frac{130.811,49}{(1+0,05)^5} + \frac{153.043,83}{(1+0,05)^6} - 368.912,98 \quad (\text{Ecuación 25})$$

$$VAN = 110.769,50 \quad (\text{Ecuación 26})$$

Del cálculo realizado, se concluye que económicamente el proyecto es atractivo, ya que se obtiene un valor VAN mayor a 0.

### 3.4.7.2 Cálculo del TIR

Para el análisis del TIR, se utilizó la herramienta Excel que proporciona la facilidad de su cálculo a partir de los valores del flujo efectivo neto de caja (FENC), descritos en la Tabla 25 y el valor de inversión inicial. De este modo se ha obtenido el valor de TIR= 12%, por lo que se determina que el proyecto es atractivo, como se detalla en la Tabla 26.

Tabla 26. Cálculo del TIR

<b>CÁLCULO DE TIR</b>	
<b>Inversión inicial</b>	-368912,98
<b>Flujos de caja (FENC)</b>	42436,8
	64449,86352
	86515,81926
	108635,9313
	130811,4941
	153043,8328
<b>TIR</b>	<b>12%</b>



## 4. CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

Actualmente en el barrio Oyambarillo existe la necesidad de despliegue de una red de telecomunicaciones convergente que soporte varios servicios, debido al aumento en la demanda de servicios, para satisfacer necesidades de telecomunicaciones por crecimiento demográfico causado por la presencia del Aeropuerto Mariscal Sucre.

Con la finalidad de migrar a los usuarios del barrio Oyambarillo a una red que soporte servicios convergentes; se ha realizado el análisis e investigación de los conceptos teóricos, características, normativas y especificaciones necesarias para entender el principio de las comunicaciones ópticas y plantear un diseño de red FTTH G-PON.

Debido a que todas las cajas NAP proyectadas en el diseño de la red GPON del barrio Oyambarillo son del tipo aérea; se ha definido que el despliegue de la red de distribución también sea del tipo aérea en todo el diseño, con la excepción de la subida a poste y empalme de suministro desde la manga troncal.

Para definir la ubicación del equipo de acceso OLT se ha tomado en cuenta la densidad poblacional del barrio, su posible crecimiento de demanda, la facilidad de acceso físico al equipo, la seguridad del lugar en donde se lo instale y la distancia máxima a los posibles clientes futuros. De tal manera su ubicación está proyectada entre la línea férrea (calle principal del barrio) y la calle San Pedro.

El despliegue de red FTTH GPON en el barrio Oyambarillo permitirá a sus habitantes disponer del acceso al servicio de internet de alta velocidad, servicio telefónico, televisión digital (IPTV), entre otros; utilizando un único medio de

transmisión y único equipo terminal de usuario que facilita la convergencia de varios servicios de telecomunicaciones sobre una misma infraestructura de red, lo cual influye en la disminución de costos de despliegue, evitando la instalación y mantenimiento de una red para cada tipo de servicio. Esto contribuye a mediano plazo, a la reducción de tarifas por servicio de los abonados y usuarios del sector.

De acuerdo al análisis de las características de los sistemas GPON en comparación con otros sistemas de red óptica pasiva, sean estos APON, BPON y EPON; se concluye que su eficiencia es alta debido a que su encabezado en tramas es reducido y se obtiene un mayor número de bits de carga útil (*payload*).

Una vez realizado el cálculo del ancho de banda promedio que consumen las aplicaciones y servicios que se pueden ofertar a través de la red GPON, de 10,4 [Mbps] de *uplink* por 37,2 [Mbps] de *downlink*; se concluye que las velocidades de transmisión asignadas para cada usuario de 77,7 [Mbps] en el canal *downlink* y 38,8 [Mbps] en el canal *uplink*, sobrepasan la capacidad requerida, asegurando que la red soporte incrementos de velocidad y servicios por parte de los usuarios a lo largo de la vida útil de la red.

El diseño de red FTTH GPON planteado para atender a un total de 832 clientes finales del barrio Oyambarillo, ofrece cobertura a todos los sectores del barrio y establece una óptima distribución de recursos, utilizando 26 de los 32 puertos PON disponibles en la OLT; lo cual permite posibles modificaciones de infraestructura, expansiones o nuevos despliegues de red para un máximo de 192 clientes (bajo las mismas condiciones de red). Además la reserva de hilos de fibra óptica disponible en el enlace de *uplink* de la OLT del barrio Oyambarillo; deja abierta la posibilidad de instalar nuevas OLT para sectores aledaños como Oyambaro y el barrio El Vergel.

De acuerdo a la investigación de las características físicas de los diferentes tipos de fibras ópticas, se definió utilizar fibra del tipo monomodo G.652D para

construcción de la red de distribución y fibra monomodo G.657 A1/A2 para la red de dispersión del barrio Oyambarillo de Tababela, ya que estas fibras ópticas son optimizadas para trabajar en los rangos de 1310 y 1625 [nm], según las recomendaciones G.652 y G.657 de la ITU-T.

Considerando que el costo total del proyecto será asumido por la empresa proveedora de servicios, la cual tiene un alto presupuesto para construcción de redes, se realizó el cálculo de los parámetros financieros VAN y TIR, los cuales permiten determinar la factibilidad del proyecto como favorable.

#### **4.2 Recomendaciones**

Con el fin de cumplir con las características de una red GPON, se recomienda seguir los lineamientos planteados en el diseño de la red del barrio Oyambarillo; de tal manera que se logre explotar todos los beneficios que ofrece la tecnología GPON, instalando la mayor cantidad posible de servicios por usuario. Para el efecto es necesario mantener el presupuesto óptico de la red, que garantice una potencia en el receptor no menor a - 25 [dBm].

Se recomienda aprovechar la disponibilidad de infraestructura civil y de telecomunicaciones de CNT E.P., para atender con el servicio GPON al barrio Oyambarillo y generar nuevos proyectos de despliegue para los sectores aledaños, tales como Oyambaro, El vergel y Yaruquí.

Al tratarse de un sector de crecimiento continuo donde ningún proveedor ha desplegado de manera masiva redes de alta capacidad de transmisión, sería ventajoso tomar la iniciativa de explotar el mercado del sector; por lo que se recomienda la pronta implementación del proyecto, tomando en cuenta que el análisis financiero evidencia su factibilidad económica.

Se considera indispensable el constante monitoreo y mantenimiento de la red GPON que se despliegue en el barrio Oyambarillo, para mantener la operatividad eficaz de la red y evitar inconformidades de los usuarios finales.

Considerando que la empresa CNT E.P. posee una alta participación de mercado en el Ecuador, se recomienda generar estrategias de marketing y ventas que permitan apalancar nuevos clientes o servicios. Además se considera importante ofrecer facilidades de pago, descuentos por paquetes de servicios y beneficios exclusivos, que influyan en el criterio de selección del proveedor por parte de los usuarios.

## REFERENCIAS

- Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones. (s.f.). *Estadísticas*. Recuperado el 23 de mayo de 2016 de <http://www.arcotel.gob.ec/estadisticas-2/>
- Aredepymes. (s.f.). *Valor actual Neto*. Recuperado el 28 de junio de 2016 de <http://www.aredepymes.com/?tit=inversiones-en-inmovilizado-o-existencias-valor-actual-neto-van&name=Manuales&fid=ef0bcae>
- Bonilla, M. (2009). *Estudio comparativo entre redes GPON y EPON*. Recuperado el 19 de mayo de 2016 de Dialnet- [EstudioComparativoDeRedesGponYEpon-4732651.pdf](http://www.dialnet.es/EstudioComparativoDeRedesGponYEpon-4732651.pdf)
- Boquera, M. (2005). *Comunicaciones ópticas: conceptos esenciales y resolución de ejercicios*. Recuperado el 25 de abril de 2016 de <http://www.editdiazdesantos.com/wwwdat/pdf/9788479786854.pdf>
- Boronat, F., García, M. y Lloret, J. (2008). *IPTV, la televisión por Internet*. Recuperado el 22 de junio de 2015 de [https://books.google.com.ec/books?id=PvmZFX00mMYC&printsec=frontcover&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=PvmZFX00mMYC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Capmany, J. y Ortega, B. (2009). *Redes Ópticas*. Valencia, España: Editorial de la UPV.
- Capservs Medios. (s.f.). Actualización del Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia de Tababela. Recuperado el 23 de mayo de 2016 de [http://app.sni.gob.ec/visorseguimiento/DescargaGAD/data/sigadplus diagnostico/1768120010001\\_1768120010001\\_24-06-2015\\_21-15-07.pdf](http://app.sni.gob.ec/visorseguimiento/DescargaGAD/data/sigadplus diagnostico/1768120010001_1768120010001_24-06-2015_21-15-07.pdf)
- Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT E.P. (s.f.). *Normativa de instalación de clientes finales con fibra óptica*. Recuperado el 12 de junio de 2016 de <http://corporativo.cnt.gob.ec/aplicaciones-internas-cnt/>
- Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT E.P. (s.f.). *Normativa de construcción de redes de fibra óptica*. Recuperado el 20 de junio de 2016 de <http://corporativo.cnt.gob.ec/aplicaciones-internas-cnt/>

- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Tababela. (s.f.). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia Tababela 2012-2025*. Recuperado el 06 de junio de 2016 de [http://www.pichincha.gob.ec/phocadownload/leytransparencia/literal\\_k/ppot/dmq/ppdot\\_tababela.pdf](http://www.pichincha.gob.ec/phocadownload/leytransparencia/literal_k/ppot/dmq/ppdot_tababela.pdf)
- Google Earth. (s.f.). *Datos de Posicionamiento Geográfico*. Recuperado el 23 de junio de 2016 de <https://www.google.com.ec/intl/es/earth/>
- González, V. y Vega, I. (2009). *Diseño de una red de acceso que utiliza tecnología FTTB con VDSL2 en el sector La Mariscal de la ciudad de Quito*. Recuperado el 10 de junio de 2016 de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1181/7/CD-2632.pdf>
- Grosz, D. (2003). *Sistemas de Comunicación por Fibra Óptica de alta capacidad*. Recuperado el 10 de abril de 2016 de [http://www.academia.edu/5749808/SISTEMAS\\_DE\\_COMUNICACION\\_C3%93N\\_POR\\_FIBRA\\_%C3%93PTICA\\_DE\\_ALTA\\_CAPACIDAD](http://www.academia.edu/5749808/SISTEMAS_DE_COMUNICACION_C3%93N_POR_FIBRA_%C3%93PTICA_DE_ALTA_CAPACIDAD)
- Guevara, J. (2011). *Tecnologías de redes PON*. Recuperado el 13 de junio de 2016 de [http://www.tecnologia.technology/wp-content/uploads/2010/06/Definicion\\_caracteristicas\\_PON\\_APOn\\_BPON\\_GEPON\\_GPON\\_EPON.pdf](http://www.tecnologia.technology/wp-content/uploads/2010/06/Definicion_caracteristicas_PON_APOn_BPON_GEPON_GPON_EPON.pdf)
- Huawei. (s.f.). *Productos y soluciones*. Recuperado el 23 de mayo de 2016 de <http://e.huawei.com/es/products/fixed-network/access/olt/ma5680t>
- Incera, J. y Cairó, O. (2007). *Redes Digitales: Presente y Futuro*. Recuperado el 19 de mayo de 2016 de <http://allman.rhon.itam.mx/jincera/IntroRedesDigitales.pdf>
- INEC. (s.f.). *Encuesta de Tecnologías de la Información y la Comunicación*. Recuperado el 19 de mayo de 2016 de: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/tecnologias-de-la-informacion-y-comunicacion-tic/>
- MINTEL. (s.f.). *Políticas de gobierno de la revolución ciudadana*. Recuperado el 19 de mayo de 2016 de: <http://www.telecomunicaciones.gob.ec/mintel-promueve-las-politicas-del-buen-vivir/>
- OPEN FLEXIS. (s.f.). Datos estadísticos de la red de CNT E.P. Quito, Ecuador.

- Pereda, M. (1989). *Comunicaciones ópticas: Situación y perspectivas*. Recuperado el 28 de 2016 de [http://oa.upm.es/23498/1/Comunicaciones\\_opticas\\_1.pdf](http://oa.upm.es/23498/1/Comunicaciones_opticas_1.pdf)
- Pereda, M. (2004). *Sistemas y Redes ópticas de Comunicaciones*. Madrid, España: Pearson Educación.
- Ramírez, S. (2014). *Un nuevo cable submarino se instala*. Recuperado el 19 de mayo de 2016 de <http://edicionimpresa.elcomercio.com/es/13230000568b3481-c111-42b9-b908-c32fb064a8bf>
- Redes Telecom. (s.f.). *La fibra óptica marca el futuro de las comunicaciones*. Recuperado el 19 de mayo de 2016 de <http://www.redestelecom.es/infraestructuras/reportajes/1021687001803/fibra-optica-marca-futuro-comunicaciones.1.html>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (s.f.). *Recomendación UIT-T G.983.1*. Recuperado el 28 de mayo de 2016 de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.983.1-200501-l/es>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (s.f.). *Recomendación UIT-T G.984.2*. Recuperado el 30 de mayo de 2016 de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2-200303-l/es>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (s.f.). *Recomendación UIT-T G.984.1*. Recuperado el 20 de mayo de 2016 de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1-200803-l/es>
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (s.f.). *Recomendación UIT-T L.90*. Recuperado el 28 de mayo de 2016 de <http://www.itu.int/rec/T-REC-L.90-201202-l/en>
- Vallejo, R. (2013). *Diseño de una red de última milla con tecnología GPON para la parroquia Cumbayá en el Distrito Metropolitano de Quito*. Recuperado el 06 de junio de 2016 de <http://repositorio.uisek.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/527/1/%E2%80%9CDise%C3%B1o%20de%20una%20red%20de%20%C3%BAltima%20milla%20con%20tecnolog%C3%ADa%20GPON%20para%20la%20parroquia%20Cumbay%C3%A1%20en%20el%20Distrito%20Metropolitano%20de%20Quito.pdf>

## **ANEXOS**