



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA  
Y REDES DE COMUNICACIÓN**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

**TEMA:**

**“ANÁLISIS DE LA DEMANDA ACTUAL Y FUTURA DE ACCESO A  
BANDA ANCHA EN EL CANTÓN ANTONIO ANTE Y PROPUESTA DE  
DISEÑO DE UNA RED ÓPTICA PASIVA (PON) PARA LA EMPRESA CNT  
E.P. COMO SOLUCIÓN A FUTURAS DEMANDAS”**

**AUTOR: HENRY DAVID BOLAÑOS ERAZO**

**DIRECTOR: MSc. CARLOS HERNÁN PUPIALES YÉPEZ**

**Ibarra- Ecuador  
2017**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

La UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

---

**DATOS DEL CONTACTO**

---

**Cédula de identidad** 0401905096

---

**Apellidos y Nombres** Bolaños Erazo Henry David

---

**Dirección** Urbanización “El Prado”

---

**E-mail** [hdbolanios@utn.edu.ec](mailto:hdbolanios@utn.edu.ec)

---

**Teléfono fijo** 062-291-223

---

**Teléfono móvil** 0990820717

---

**DATOS DE LA OBRA**

---

**Título** ANÁLISIS DE LA DEMANDA ACTUAL Y FUTURA DE ACCESO A BANDA ANCHA EN EL CANTÓN ANTONIO ANTE Y PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA RED ÓPTICA PASIVA (PON) PARA LA EMPRESA CNT E.P. COMO SOLUCIÓN A FUTURAS DEMANDAS.

---

**Autor** Bolaños Erazo Henry David

---

**Fecha** Marzo del 2017

---

**Programa** Pregrado

---

**Título** Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación

---

**Director** MSc. Carlos Pupiales

---

## 2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

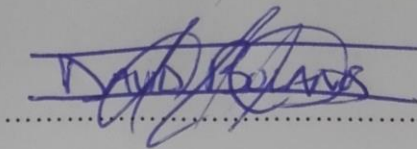
Yo, Henry David Bolaños Erazo, con cédula de identidad Nro. 040190509-6, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en forma digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad de material y como apoyo a la educación, investigación y extensión, en concordancia con la ley de Educación Superior Artículo 144.

### 3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, marzo del 2017

**EL AUTOR**



Henry David Bolaños Erazo

0401905096



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE  
LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, Henry David Bolaños Erazo, con cédula de identidad número 0401905096 manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor del trabajo de grado con el tema: **“ANÁLISIS DE LA DEMANDA ACTUAL Y FUTURA DE ACCESO A BANDA ANCHA EN EL CANTÓN ANTONIO ANTE Y PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA RED ÓPTICA PASIVA (PON) PARA LA EMPRESA CNT E.P. COMO SOLUCIÓN A FUTURAS DEMANDAS”**, que ha sido desarrollado con el propósito de obtener el título de Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación de la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, marzo del 2017

Henry David Bolaños Erazo

0401905096



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CERTIFICACIÓN DEL ASESOR**

Certifico que, el presente Trabajo de Titulación: “ANÁLISIS DE LA DEMANDA ACTUAL Y FUTURA DE ACCESO A BANDA ANCHA EN EL CANTÓN ANTONIO ANTE Y PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA RED ÓPTICA PASIVA (PON) PARA LA EMPRESA CNT E.P. COMO SOLUCIÓN A FUTURAS DEMANDAS” fue desarrollado en su totalidad por el señor: Henry David Bolaños Erazo, bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "Carlos Pupiales", is written over a horizontal dotted line.

MSc. Carlos Pupiales

DIRECTOR DEL PROYECTO



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

#### DECLARACIÓN

Yo, Henry David Bolaños Erazo declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; y que este no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que he consultado las referencias bibliográficas que se presentan en este documento. A través de la presente declaración cedo los derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Universidad Técnica del Norte, según lo establecido por las leyes de propiedad intelectual, reglamentos y normatividad vigente de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, marzo del 2017

**EL AUTOR**

Henry David Bolaños Erazo

0401905096



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

#### AGRADECIMIENTO

*Agradezco a Dios por darme la fortaleza para poder salir adelante cuando más lo necesitaba, por guiarme y brindarme toda la sabiduría para enfrentar cada desafío.*

*A mi director de tesis Ing. Carlos Pupiales, por instruirme y guiarme durante la realización de este trabajo de titulación, ya que sin su apoyo permanente no hubiese podido comenzar este proyecto y a la vez culminarlo.*

*A mis padres, Henry y Rosy, por ser mi fortaleza, por brindarme su apoyo incondicional y su comprensión, por inculcarme valores desde muy pequeño y ser mi ejemplo.*

*A mis hermanos, Kevin y Alejandro por estar siempre apoyándome en los buenos y malos momentos.*

*David Bolaños*



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo está dedicado a las personas más importantes en mi vida, mis padres, por ser mi pilar, mi fortaleza, mi guía; y ser mi apoyo incondicional a pesar de la distancia.*

*De igual manera a mis hermanos, parte fundamental en mi vida, sin el apoyo de toda mi familia este trabajo no lo hubiera podido culminar.*

*David Bolaños*



## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como finalidad efectuar un análisis de la demanda actual y futura de acceso a banda ancha en el cantón Antonio Ante y realizar un diseño de una red óptica pasiva que logre satisfacer los requerimientos y exigencias de usuarios futuros en el sector. Para cumplir con este objetivo se realizan procesos claves y prioritarios que permitirán obtener resultados fiables. Primero se establecen los antecedentes y problemática que justifican la realización de este trabajo de investigación. Después se procede a realizar un análisis de la demanda actual y futura de acceso a banda ancha en todas las parroquias urbanas y rurales del cantón Antonio Ante, el análisis de la situación actual se lo realiza empleado el proceso determinado como muestreo mediante encuestas en todas las parroquias del cantón Antonio Ante, este análisis se lo efectúa para poder establecer la demanda actual del acceso a banda ancha en el sector y poder determinar si los proveedores de servicios de telecomunicaciones satisfacen los requerimientos actuales de los usuarios. Para poder estimar la demanda futura de acceso a banda ancha, se utilizan parámetros como el crecimiento poblacional con respecto a los servicios de telecomunicaciones y la estimación de la población insatisfecha respecto al servicio que cada abonado posee. Posteriormente se realiza un diseño de red GPON tomando en cuenta los resultados y requerimientos establecidos mediante las encuestas y el análisis de la demanda actual y futura, por último, se realiza un análisis financiero para determinar la viabilidad económica del trabajo utilizando los indicadores de rentabilidad como el VAN, la TIR y el PRI.

## **ABSTRACT**

The purpose of the present titling work is to analyze the current and future demand for broadband access in the canton Antonio Ante and to design a passive optical network that will meet the requirements of future users in the sector. To achieve this objective, key and priority processes are carried out, which will allow reliable results to be obtained. First, it establishes the antecedents and problems that justify the accomplishment of this research work. An analysis of the current and future demand for broadband access is carried out in all the urban and rural parishes of the canton Antonio Ante, the analysis of the current situation is performed using the process determined as sampling by surveys in all Parishes of the canton Antonio Ante, this analysis is done to establish the current demand for broadband access in the sector and to be able to determine if the telecommunications service providers meet the current requirements of users. In order to estimate the future demand for broadband access, parameters such as population growth with respect to telecommunications services and the estimation of the population unsatisfied with the service that each subscriber own are used. Later a GPON network design is realized taking into account the results and requirements established by the surveys and the analysis of the current and future demand, finally, a financial analysis is made to determine the economic viability of the work using the profitability indicators as The VAN, the TIR and the PRI.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.....	ii
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE .....	iv
CERTIFICACIÓN DEL ASESOR.....	v
DECLARACIÓN .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
DEDICATORIA.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT .....	x
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xxii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xxv
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xxviii
Capítulo I.....	1
1. Antecedentes.....	1
1.1. Tema.....	1
1.2. Problema.....	1

1.3.	Objetivos.....	3
1.3.1.	Objetivo General.....	3
1.3.2.	Objetivos Específicos .....	3
1.4.	Alcance .....	4
1.5.	Justificación .....	5
Capítulo II.....		9
2.	Marco Teórico .....	9
2.1.	Conceptos Generales Sobre Fibra Óptica.....	9
2.1.1.	Estructura De La Fibra Óptica .....	9
2.1.2.	Ventajas Y Desventajas De La F.O. ....	10
2.1.2.1.	Ventajas. ....	10
2.1.2.2.	Desventajas. ....	11
2.1.3.	Propagación De La Luz En La Fibra Óptica.....	12
2.1.3.1.	Velocidad de propagación de la luz en la fibra.....	12
2.1.3.2.	Reflexión.....	12
2.1.3.3.	Refracción.....	13
2.1.3.4.	Ángulo crítico. ....	14
2.1.3.5.	Apertura numérica. ....	15
2.1.4.	Tipos De Fibra Óptica.....	15
2.1.4.1.	Fibra monomodo.....	16

2.1.4.2.	Fibra multimodo. ....	17
2.1.5.	Pérdidas En La Fibra Óptica.....	18
2.1.5.1.	Absorción por rayos ultravioletas e infrarrojos. ....	18
2.1.5.2.	Absorción debido a impurezas.....	18
2.1.5.3.	Dispersión de Rayleigh.....	19
2.1.5.4.	Macro curvaturas. ....	19
2.1.5.5.	Micro curvaturas. ....	19
2.1.5.6.	Tendido, ambiente y envejecimiento.....	19
2.1.6.	Ventanas De Transmisión De La Fibra Óptica.....	20
2.1.7.	Dispersión En La Fibra Óptica.....	21
2.1.7.1.	Dispersión modal.....	21
2.1.7.2.	Dispersión cromática.....	21
2.1.7.3.	Dispersión por modo de polarización.....	21
2.1.8.	Tipos De Cable De Fibra Óptica.....	22
2.1.8.1.	Cable de estructura holgada.....	22
2.1.8.2.	Cable de estructura ajustada.....	22
2.1.8.3.	Cable blindado.....	23
2.1.8.4.	Cable auto soportado o figura 8.....	24
2.1.8.5.	Cable compuesto tierra-óptico.....	24
2.1.8.6.	Cable ADSS (All Dielectric Self-Supporting).....	25

2.1.9.	Tendido De Fibra Optica .....	25
2.1.10.	Empalme Y Conexión De Fibra Óptica .....	26
2.1.10.1.	Técnicas de empalme.....	26
2.1.10.2.	Conectores. ....	26
2.1.11.	Sistemas De Comunicación Óptica .....	29
2.1.11.1.	Componentes de un sistema de comunicación óptico.....	29
2.1.11.2.	Técnicas de multiplexación. ....	30
2.2.	Redes Y Tecnologías De Acceso.....	32
2.2.1.	Componentes De Una Red De Acceso .....	32
2.2.2.	Tecnologías De Acceso .....	32
2.2.2.1.	Tecnologías cableadas. ....	33
2.3.	Redes X-PON .....	33
2.3.1.	Tipos De Redes Pon.....	34
2.3.1.1.	APON.....	34
2.3.1.2.	BPON.....	35
2.3.1.3.	GPON.....	35
2.3.1.4.	EPON.....	35
2.3.2.	Tabla Comparativa.....	35
2.3.3.	Principales Ventajas De Las Redes PON .....	36
2.4.	Redes Ópticas Pasivas Con Capacidad De Gigabit (GPON) .....	36

2.4.1.	Tecnologías Utilizadas Por Las Redes GPON.....	36
2.4.1.1.	DBA (Dynamic Bandwidth Allocation) .....	36
2.4.1.2.	ATM (Modo De Transferencia Asíncrono) .....	37
2.4.1.3.	GEM (GPON Encapsulation Method).....	37
2.4.2.	Recomendaciones UIT G.984.X.....	37
2.4.2.1.	UIT-T G.984.1: .....	38
2.4.2.2.	UIT-T G.984.2: .....	38
2.4.2.3.	UIT-T G.984.3: .....	38
2.4.2.4.	UIT-T G.984.4: .....	38
2.4.2.5.	UIT-T G.984.5: .....	39
2.4.3.	Arquitectura De Red GPON .....	39
2.4.3.1.	Trama Downstream.....	40
2.4.3.2.	Trama Upstream .....	41
2.4.4.	Multiplexación De Servicios .....	42
2.4.4.1.	Canal descendente.....	42
2.4.4.2.	Canal ascendente.....	43
2.4.5.	Elementos De Una Red GPON.....	43
2.4.5.1.	La red de acceso GPON.....	43
2.4.5.2.	Equipo terminal de línea óptica (OLT).....	43
2.4.5.3.	Red óptica de distribución (OND) .....	45

2.4.5.4.	Equipo terminal de red óptica (ONT) .....	50
2.4.5.5.	Equipo unidad de red óptica (ONU) .....	51
2.5.	Arquitecturas De Red FTTX (Fiber To The X).....	52
2.5.1.	Topología .....	52
2.5.2.	Medio De Transmisión - Fibra Óptica .....	53
2.5.2.1.	Composición .....	53
2.5.2.2.	Tendido del cable de fibra óptica.....	53
2.5.3.	Clasificación Tecnología FTTX .....	53
2.5.3.1.	FTTH (Fiber To The Home).....	54
2.5.3.2.	FTTB (Fiber To The Building).....	55
2.5.3.3.	FTTC (Fiber To The Cabinet) .....	55
2.5.3.4.	FTTN (Fiber To The Building).....	56
2.6.	Consideraciones Para El Diseño De La Red .....	57
2.6.1.	Parámetros Y Criterios De Diseño De La ODN .....	57
2.6.1.1.	Caja Óptica de Distribución Terminal (NAP) .....	57
2.6.1.2.	Armario de Distribución .....	57
2.6.1.3.	Red de Distribución .....	58
2.6.1.4.	Red Troncal.....	58
2.6.2.	Presupuesto Óptico .....	59
2.6.2.1.	La pérdida de inserción (IL) .....	61



2.6.2.2. La pérdida de retorno óptico (ORL) .....	62
Capítulo III .....	65
3. Análisis De La Demanda Actual Y Futura .....	65
3.1. Oferta y Demanda.....	65
3.2. Delimitación Del Área De Cobertura .....	67
3.3. Situación Actual de Abonados .....	69
3.4. Muestreo .....	70
3.5. Universo de la Investigación .....	71
3.6. Tamaño y Cálculo De La Muestra.....	72
3.7. Análisis De Resultados Y De La Demanda Actual .....	74
3.8. Análisis Y Proyección De La Demanda .....	76
3.8.1. Crecimiento Poblacional.....	76
3.8.2. Estimación De La Demanda Basada En Los Servicios De Telecomunicaciones .....	79
Capítulo IV .....	87
4. Diseño De La Red Óptica Pasiva .....	87
4.1. Condiciones Preliminares De La Red.....	90
4.2. Criterios Para El Diseño De La Red.....	91
4.2.1. Tipo De Red A Utilizarse En El Diseño .....	91
4.2.2. Topología De La Red.....	95

4.2.3.	División Del Sector Seleccionado Para El Diseño De La Red. ....	96
4.2.4.	Ubicación De La OLT .....	96
4.2.5.	Ubicación De Los Divisores Ópticos.....	98
4.2.6.	Tipo De Fibra A Utilizarse .....	99
4.2.6.1.	Fibra Monomodo G.652.D.....	101
4.2.6.2.	Fibra Monomodo G.657.A1.....	102
4.3.	Presupuesto Óptico Y Cálculos De Pérdidas.....	103
4.3.1.	Atenuación Por Distancia En La Fibra Óptica.....	105
4.3.2.	Atenuación Ocasionada Por Los Conectores .....	106
4.3.3.	Atenuación Ocasionada Por Los Divisores Ópticos .....	107
4.3.4.	Atenuación Ocasionada Por Los Empalmes .....	107
4.3.5.	Margen De Respaldo .....	108
4.3.6.	Atenuación Total.....	108
4.3.7.	Longitud Máxima De La Red De Fibra Óptica .....	109
4.4.	Diseño De La Red GPON.....	109
4.4.1.	Requerimientos Generales .....	109
4.4.2.	Red Feeder (Troncal) .....	111
4.4.3.	Red Óptica De Distribución (ODN) .....	112
4.4.4.	Red Dispersión.....	117
4.4.5.	Requerimientos Equipos Activos GPON.....	120

4.4.5.1.	OLT De Marca HUAWEI SmartAX MA5600T .....	121
4.4.5.2.	OLT De Marca ALCATEL – LUCENT 7302 ISAM.....	122
4.4.5.3.	OLT De Marca MOTOROLA AXS 1800 .....	123
4.4.5.4.	ONT De Marca HUAWEI Echo Life HG8245 .....	125
Capítulo V: .....		127
5.	Análisis Costo-Beneficio.....	127
5.1.	Análisis Financiero .....	127
5.1.1.	Egresos Del Proyecto.....	127
5.1.1.1.	Red Feeder .....	127
5.1.1.2.	Red Distribución.....	128
5.1.1.3.	Red Dispersión.....	128
5.1.1.4.	Canalización.....	129
5.1.1.5.	Presupuesto Total Implementación.....	130
5.1.1.6.	Mantenimiento De La Red.....	130
5.1.1.7.	Costos Administrativos.....	130
5.1.1.8.	Movilización Personal Administrativo .....	131
5.1.1.9.	Equipos Activos.....	131
5.1.1.10.	Costos Totales Actuales.....	132
5.1.1.11.	Depreciaciones.....	132
5.1.2.	Ingresos Del Proyecto.....	132

5.1.2.1. Establecimiento De Costos De Usuario.....	133
5.1.2.2. Ingresos Por Prestación Servicios.....	134
5.2. Evaluación Financiera .....	136
5.2.1. Flujo De Caja .....	136
5.2.2. Indicadores De Rentabilidad.....	137
5.2.2.1. Valor Actual Neto (VAN).....	137
5.2.2.2. Tasa Interna De Retorno (TIR).....	139
5.2.2.3. Período De Recuperación De La Inversión (PRI).....	140
5.2.2.4. Costo/Beneficio .....	141
5.2.2.5. Resumen.....	142
Capítulo VI.....	145
6. Conclusiones Y Recomendaciones.....	145
6.1. Conclusiones.....	145
6.2. Recomendaciones .....	147
Referencias Bibliográficas.....	149
Glosario De Términos .....	161
Anexos.....	165
Anexo A: Formato Encuesta.....	165
Anexo B: Resultados Encuesta.....	167
Anexo C: Plano Canalización.....	181

Anexo D: Plano Red Feeder .....	181
Anexo E: Plano Red Distribución .....	181
Anexo F: Datasheet OLT Marca Huawei MA5600T .....	182
Anexo G: Datasheet De ONT Marca Huawei HG8245 .....	189
Anexo H: Recomendación UIT-T G.984.1 Gigabit Capable - PON .....	194

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ejemplo de Cable de Fibra Óptica Multimodo .....	9
Figura 2: Estructura de la Fibra Óptica .....	10
Figura 3: Reflexión de la luz .....	13
Figura 4: Refracción de la Luz .....	13
Figura 5: Efectos Refracción de la luz.....	14
Figura 6: Ángulo Crítico .....	14
Figura 7: Estructura Fibra Monomodo. ....	16
Figura 8: Fibra Óptica Multimodo, índice escalonado. ....	17
Figura 9: Fibra Óptica Multimodo, índice gradual.....	18
Figura 10: Ventanas del Espectro Óptico. ....	20
Figura 11: Cable de Estructura Holgada. ....	22
Figura 12: Cable de Estructura Ajustada.....	23
Figura 13: Cable Blindado.....	23
Figura 14: Cable Figura 8.....	24
Figura 15: Cable OPGW .....	24
Figura 16: Cable ADSS.....	25
Figura 17: Conector FC.....	27
Figura 18: Conector ST. ....	27
Figura 19: Conectar LC.....	28
Figura 20: Conector SC.....	28
Figura 21: Splitter Óptico.....	30

Figura 22: Estructura Básica de una Red PON.....	34
Figura 23: Arquitectura RED GPON.....	39
Figura 24: Principio GPON Transmisión Downstream Tipo Broadcast .....	40
Figura 25: Principio GPON Transmisión Upstream Sincronizado por la OLT .....	41
Figura 26: OLT en central .....	44
Figura 27: Tarjetas puertos OLT .....	45
Figura 28: ODN distribución.....	45
Figura 29: Splitter Distribuidos .....	48
Figura 30: Splitter Centralizado. ....	49
Figura 31: ONT, EQUIPO HUAWEI .....	51
Figura 32: FTTx Topologías .....	52
Figura 33: FTTH.....	54
Figura 34: FTTB.....	55
Figura 35: FTTC.....	55
Figura 36: FTTN.....	56
Figura 37: FTTx .....	56
Figura 38: Ejemplos de topologías FTTx.....	57
Figura 39: Pérdida por Inserción. ....	61
Figura 40: Pérdida de Retorno Óptico.....	62
Figura 41: Curva de la oferta.....	66
Figura 42: Curva de la demanda.....	66
Figura 43: División Política del Cantón Antonio Ante .....	68
Figura 44: Población.....	69

Figura 45: Metas de Conectar 2020.....	79
Figura 46: Topología Red GPON.....	95
Figura 47: División del sector determinado para el diseño .....	96
Figura 48: Ubicación de la OLT en Diagrama Lógico.....	97
Figura 49: Diagrama Red GPON-Conectores .....	106
Figura 50: Diagrama Red GPON-Empalmes .....	107
Figura 51: Diagrama GPON CNT .....	110
Figura 52: Diagrama Red Feeder.....	111
Figura 53: Red Feeder .....	112
Figura 54: Diagrama Red ODN.....	113
Figura 55: Diagrama Distribución Divisores Ópticos .....	114
Figura 56: Ubicación FDH en zonas .....	115
Figura 57: Red Óptica de Distribución.....	116
Figura 58: Diagrama Red Dispersión .....	117
Figura 59: Distribución de NAP respecto al Divisor Óptico.....	118
Figura 60: Diagrama Total red Dispersión.....	119
Figura 61: OLT HUAWEI SMART MA5600T .....	122
Figura 62: OLT ALCATEL – LUCENT 7302 ISAM.....	122
Figura 63: OLT MOTOROLA AXS 1800 .....	123



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tabla comparativa redes PON.....	35
Tabla 2: Tasa de transmisión GPON .....	40
Tabla 3: Ejemplo Tabla de Presupuesto de Pérdida .....	60
Tabla 4: Atenuación por relación de Splitteo. ....	62
Tabla 5: Valores de atenuación por elementos .....	62
Tabla 6: Rangos de Atenuación Óptica .....	63
Tabla 7: Parámetros Ópticos GPON Clase B+ .....	63
Tabla 8: Parroquias Antonio Ante .....	67
Tabla 9: Población Cantón Antonio Ante.....	69
Tabla 10: Número de Abonados Actuales en el Cantón Antonio Ante.....	70
Tabla 11: Abonados de Internet por Sector .....	70
Tabla 12: Muestreo .....	72
Tabla 13: Nivel de confianza (Z).....	73
Tabla 14: Resumen Datos Encuesta .....	75
Tabla 15: Resultados sector empresarial .....	76
Tabla 16: Tasa de Crecimiento Poblacional Anual 2001-2010.....	77
Tabla 17: Demanda Estimada en 5 Años.....	78
Tabla 18: Número Total Actual de Abonados Internet Sector Rural .....	81
Tabla 19: Número Total Actual de Abonados Internet Sector Urbano. ....	81
Tabla 20: Consumo de planes de Internet en el sector rural del cantón. ....	81
Tabla 21: Capacidad Total actual utilizada por el sector rural. ....	82

Tabla 22: Consumo de planes de Internet en el sector Urbano del cantón.....	82
Tabla 23: Capacidad Total actual utilizada por el sector urbano. ....	82
Tabla 24: Capacidad Total actual utilizada por el cantón Antonio Ante.....	82
Tabla 25: Ancho de banda actual. ....	83
Tabla 26: Número de Abonados estimados para el 2020.....	83
Tabla 27: Capacidad de Tx Datos actual y estimado para el 2020.....	84
Tabla 28: Comparación Costos F.O. ....	100
Tabla 29: Capacidad de los cables de F.O.....	101
Tabla 30: Atributo de Fibra Monomodo G.652.D.....	102
Tabla 31: Atributos de la fibra monomodo G.657.A1.....	103
Tabla 32: Valores típicos en OLT .....	104
Tabla 33: Valores típicos en ONT.....	104
Tabla 34: Tabla General de Requerimientos .....	111
Tabla 35: Tabla de requerimientos OLT .....	120
Tabla 36: Tabla de requerimientos ONT.....	120
Tabla 37: Tabla de requerimientos generales.....	121
Tabla 38: OLT HUAWEI SMART MA5600T-Especificaciones.....	121
Tabla 39:OLT ALCATEL – LUCENT 7302 ISAM – Especificaciones .....	122
Tabla 40: OLT MOTOROLA AXS 1800 – Especificaciones.....	123
Tabla 41: Comparación Marcas OLT.....	124
Tabla 42: ONT Echo Life HG8245 - Especificaciones.....	125
Tabla 43: Presupuesto Red Feeder .....	128
Tabla 44: Presupuesto Red Distribución .....	128

Tabla 45: Presupuesto Red Dispersión.....	129
Tabla 46: Presupuesto Canalización.....	129
Tabla 47: Total de Gastos.....	130
Tabla 48: Gasto Total Personal Administrativo .....	131
Tabla 49: Total Gasto Movilización.....	131
Tabla 50: Gastos Equipos Activos .....	131
Tabla 51: Costos Totales Actuales .....	132
Tabla 52: Depreciaciones .....	132
Tabla 53: Telefonía Fija-Tarifa Mensual.....	133
Tabla 54: Internet Fijo-Tarifa Mensual .....	133
Tabla 55: Telefonía Fija-Ingresos Anuales .....	134
Tabla 56: Internet-Crecimiento Abonados .....	135
Tabla 57: Internet-Ingresos Anuales .....	135
Tabla 58: Instalación de Equipos-Ingresos Anuales .....	135
Tabla 59: Ingreso Total por Años.....	136
Tabla 60: Flujo de Caja .....	137
Tabla 61: Período de Recuperación de la Inversión (PRI) .....	141

**ÍNDICE DE ECUACIONES**

Ecuación 1: Velocidad de propagación en la Fibra Óptica .....	12
Ecuación 2: Ángulo Crítico .....	15
Ecuación 3: Apertura Numérica. ....	15
Ecuación 4: Cálculo de la muestra .....	73
Ecuación 5: Fórmula del crecimiento poblacional .....	78
Ecuación 6: Fórmula Distancia Máxima de la Fibra Óptica .....	109
Ecuación 7: Fórmula VAN .....	138
Ecuación 8: Fórmula TIR .....	140
Ecuación 9: Fórmula Costo/Beneficio.....	141

## Capítulo I

### 1. Antecedentes

#### 1.1. Tema

Análisis De La Demanda Actual Y Futura De Acceso A Banda Ancha En El Cantón Antonio Ante Y Propuesta De Diseño De Una Red Óptica Pasiva (PON) Para La Empresa CNT E.P. Como Solución A Futuras Demandas

#### 1.2. Problema

La Corporación Nacional de Telecomunicaciones Empresa Pública (CNT E.P.) tiene a disponibilidad en el cantón Antonio Ante una red de comunicaciones de datos basada en la tecnología ADSL, este grupo de tecnologías permiten el uso de una línea de cobre que conecta el domicilio del cliente con la central telefónica de la CNT E.P. para la transmisión de datos y su uso normal como línea telefónica.

La CNT E.P. utiliza la tecnología ADSL, la línea de abonado digital asimétrica es la más adecuada para el uso doméstico de Internet, dicha tecnología de acceso punto a punto entrega una velocidad máxima en promedio de 3 Mbps, sin embargo, existen nuevas tecnologías que ofrecen a los usuarios un ancho de banda mucho mayor como lo es la Fibra Óptica. (Goralski, 2000)

Antonio Ante, cantón conocido como el “Centro Industrial de la moda”, según datos de la Cámara de Comercio del mismo, donde existen alrededor de 500 talleres y empresas industriales y textiles que acogen a cerca de 5.000 personas de forma directa y unas 100 indirectamente. *“El sector textil de Antonio Ante ha crecido notoriamente. El Ministerio de Industrias y Productividad lo ha calificado como uno de los cantones de mayor desarrollo económico a nivel nacional, sostiene David Guevara, presidente de la Cámara de Comercio de Antonio Ante.”* (Antonio Ante es el cantón industrial del país, 2012)

Teniendo en cuenta estos significativos datos sobre las empresas que existen en el cantón y las demandas actuales de los usuarios como transacciones comerciales y bancarias, videoconferencias, acceso a Internet, etc. El ancho de banda que ofrece la red actual no será el adecuado para satisfacer las necesidades de las grandes, medianas y pequeñas empresas, así como también los requerimientos de los usuarios residenciales.

Antonio Ante al ser un cantón comercial e industrializado posee una demanda con una alta probabilidad de evolución en las empresas existentes y obviamente la red actual no abastecerá los requerimientos necesarios para brindar un servicio adecuado a sus usuarios en futuras demandas. La CNT E.P. tiene implementado en su red de fibra óptica tecnología GPON en algunas ciudades del país como Guayaquil, Quito, Ambato, Cuenca, Loja, Manta.

“GPON optimiza la relación inversión – cobertura, sobre ella se comercializarán servicios de nueva generación e interactivos, que requieren de una disponibilidad de altos anchos de banda. La red tiene una capacidad de transmisión de 1 Gbps, con crecimiento, a futuro, a 10 Gbps, conforme la demanda del mercado en servicios triple play (voz, datos y video)”. (CNT E.P., Corporación Nacional de Telecomunicaciones, 2015)

Evidentemente la tecnología GPON ofrece un importante avance tecnológico que las grandes empresas de las ciudades antes mencionadas explotan al máximo, por lo tanto, Atuntaqui como las demás parroquias del cantón Antonio Ante, se encuentran en una desventaja considerable al no poseer la velocidad de transmisión que brinda la Fibra Óptica. Adicionalmente es oportuno señalar que no solo en las ciudades del Ecuador existe una implementación esta tecnología, países norteamericanos y europeos tienen implementado en sus ciudades más industrializadas tecnologías con un ancho de banda considerablemente superior al de nuestro país. (Millán, 2007)

Partiendo del planteamiento del problema antes mencionado se considera muy relevante establecer preguntas o interrogantes que serán resueltas y analizadas con la investigación del proyecto:

- ¿Cuál es la demanda actual y futura de comunicaciones de datos y el ancho de banda de los usuarios residenciales y comerciales en el cantón Antonio Ante?
- ¿La red actual cumple con los requerimientos exigidos por los usuarios residenciales y de las grandes empresas?
- ¿La red actual cumplirá con los requerimientos futuros de un cantón industrializado y con tendencia a evolucionar tecnológica y comercialmente?
- ¿Qué tecnología será la adecuada a implementar para satisfacer las necesidades actuales y futuras de todos los usuarios del cantón Antonio Ante?
- ¿Qué tipos de servicios adicionales al Internet se puede ofrecer con el diseño de la nueva red basada en GPON?

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Analizar la demanda actual y futura de acceso a banda ancha de usuarios del cantón Antonio Ante y realizar la propuesta a la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT E.P.) de una red óptica pasiva (PON) como solución a futuras demandas.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Realizar un estudio y análisis de la demanda actual de acceso a banda ancha en el cantón Antonio Ante.
- Establecer las demandas futuras de los usuarios en conexión de datos y los requerimientos exigidos para el diseño de una nueva red de transmisión de datos.

- Analizar los beneficios que tendría la CNT E.P. al usar parte de su red actual de acceso de cobre como parte de la red PON.
- Desarrollar el diseño de una red óptica pasiva (PON) basada en los requerimientos actuales y futuros para el acceso a banda ancha en el cantón Antonio Ante.
- Efectuar un análisis de costo-beneficio sobre la red basada en la tecnología GPON-FTTX, con el propósito de conocer cuáles son las ventajas y ganancias que tendría la CNT E.P.

#### **1.4. Alcance**

Poseer una velocidad de transmisión rápida y evitar cortes en la comunicación de datos, se ha convertido en características fundamentales y necesarias para que una empresa pueda trabajar eficientemente. Por lo tanto, realizar un análisis de la demanda actual de acceso de banda ancha en el cantón Antonio Ante de la provincia de Imbabura, se vuelve primordial.

Determinar si los requerimientos de los usuarios residenciales y enfocándose mucho más en los corporativos se logran satisfacer. Determinar cuántas grandes y medianas empresas existen actualmente en el cantón, y cuál es la situación actual con respecto a sus exigencias de conexión. Son puntos claves para establecer si el entorno de trabajo de un cantón industrializado como Antonio Ante es el adecuado.

Determinar qué tipo de acceso a conexión de datos tiene la red actual y si esta tecnología satisface las necesidades de la población basándose en el Plan Nacional del Buen Vivir de la República del Ecuador. Según la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, el objetivo 11 del Plan Nacional del Buen Vivir dice lo siguiente: “Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica”. Después de realizar el análisis de la red actual se determinará si ésta cumple con los requerimientos mencionados en el Plan Nacional del Buen Vivir.



Adicionalmente se analizará la demanda futura, determinar si la red de conexión de datos actual brindará los servicios adecuados en un mediano y/o largo plazo. Establecer si la infraestructura de la red actual logrará satisfacer las necesidades en unos años, y diseñar una red que abastezca las necesidades futuras de las empresas.

Realizar un estudio de las redes PON, y determinar qué tipo de red PON es la idónea para su diseño, comparar velocidades de transmisión de datos, costos de instalación y mantenimiento de la red, ventajas y desventajas. Además, que servicios puede soportar y por lo tanto ofrecer a sus abonados dependiendo del tipo de red óptica pasiva (PON) seleccionada.

Para realizar el diseño de una red óptica pasiva (PON) se determinarán aspectos fundamentales como son definiciones teóricas, analizar que técnicas se utilizan en los canales ascendentes y descendentes, estipular que tipos de filtros son los adecuados para una correcta transmisión; de esta manera se diseñará una red óptica pasiva que estará basada en los requerimientos ópticos futuros que tenga la población del cantón.

Establecer y determinar cuál es el costo-beneficio que la red le entregará a la CNT E.P. realizando un análisis comparativo de la inversión realizada, de los ingresos esperados y cuanto economiza al utilizar la última milla de la red de cobre que posee actualmente la CNT E.P.

### **1.5. Justificación**

Los requerimientos y exigencias de los usuarios y empresas hacia sus proveedores de Internet son cada vez más ambiciosos. Servicios como telefonía móvil, telefonía fija, video e Internet deben satisfacer las demandas de los clientes, es por eso que las empresas proveedoras de dichos servicios deben contar con una infraestructura adecuada para brindar un excelente servicio.

Por ejemplo, en las ciudades de Quito, Guayaquil y en algunas partes de Ibarra, la empresa NETLIFE tiene implementada la tecnología FTTH (Fiber To The Home), también conocida

como fibra hasta el hogar, que brinda a sus clientes velocidades de transmisión desde 15 hasta 90 Mbps en velocidades nacionales y desde 3 hasta 18 Mbps en velocidades internacionales. (Netlife, Netlife, 2015)

Otro ejemplo muy claro es la ciudad de Cuenca, con un 36,9 % de la población, según el Reporte Anual de Estadísticas sobre Tecnologías de la Información y Comunicaciones, del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, Reporte Anual Estadísticas Tecnologías de la Información Y Comunicaciones, 2015), Azuay se convirtió en la segunda provincia del Ecuador con mayor porcentaje de personas que accede a Internet. El uso de Internet de Azuay es superado por Pichincha, donde el 44,5 % de la población accede a este servicio. La provincia con menos usuarios con acceso a la red es Santa Elena con 18,8 %.

Para el director ejecutivo del Consorcio Ecuatoriano para el Desarrollo de Internet Avanzado, CEDIA, y profesor de la Universidad de Cuenca, Villie Morocho, una de las razones que explican el alto uso de la red en Azuay, responde a la cantidad de estudiantes de nivel superior en la provincia comparado no sólo con el resto del Ecuador sino con Sudamérica. El director ejecutivo de CEDIA atribuye al desarrollo económico de Cuenca, una ciudad con una amplia clase media, y a la visión de las instituciones que han respondido a la demanda de conexiones. (Tapia, 2012)

A diferencia de Atuntaqui, donde en esta ciudad la tecnología ADSL brinda a sus clientes una tasa de transmisión menor a la de las ciudades antes mencionadas. La CNT E.P. brinda al cantón Antonio Ante servicios basados en la tecnología ADSL, sin embargo, la velocidad de transmisión de dicha tecnología es inferior a los 3 Mbps, y en algunos casos, en donde el abonado se encuentra a una gran distancia de la central, esta velocidad disminuye considerablemente, además respecto al mantenimiento de ADSL es mucho mayor que el de otras tecnologías de banda ancha basadas en fibra óptica.

Según un estudio de la Cámara de Comercio de este cantón, al menos el 60% de los 43.518 habitantes de Atuntaqui tienen algún nexo con la industria textil, y al ser una ciudad considerada como eje económico del cantón y del norte del país, sus empresas industriales deben tener a su disposición una red de conexión de datos estable y preparada para el progreso tecnológico que día a día crece considerablemente. (Comercio, 2013)

Debido a esto, el presente proyecto tiene como objetivo analizar la infraestructura actual de la red que la empresa CNT E.P. tiene en el cantón de Antonio Ante y determinar si estas instalaciones cubren con los requerimientos actuales que el cantón necesita. Establecer si la red proveerá un servicio eficiente a un largo y mediano plazo a todos sus clientes, ya sean estos usuarios residenciales o comerciales. (Sattarov, 2010)

Teniendo en cuenta que Antonio Ante es un cantón industrializado que cuenta con innumerables empresas textiles e industriales, es fundamental realizar el análisis mencionado y después de concluir la investigación, realizar el diseño de una red que satisfaga la demanda actual y futura de las conexiones a Internet. La calidad y efectividad del servicio no solo está dirigido a las empresas, sino a todos los usuarios de internet fijo, cumpliendo hasta las más altas expectativas de los amantes a los juegos en línea, usuarios que observan videos y películas en Full HD y en un futuro los usuarios de casas inteligentes para controlar todo desde su Smartphone.

El impacto que este proyecto generará va dirigido específicamente al sector tecnológico, comercial y económico del cantón, las empresas existentes deben estar a la vanguardia de las tecnologías; contar con un buen servicio de conexión definitivamente beneficiará a todas las empresas que conforman el mercado textil e industrial más importante del norte del país.

El tener una conexión de alta velocidad es un aspecto muy fundamental para que una determinada ciudad progrese tecnológicamente, un claro ejemplo es Singapur; Según el diario

digital EL TIEMPO, Singapur tiene el mayor acceso a Internet de banda ancha de todo el mundo, tomando en cuenta el promedio de picos de velocidad de Singapur (135,4 Mbps), en el año 2010 el 99,9 % de los hogares de la ciudad estuvieron conectados a la red, por delante del 92 % de Corea del Sur y del 83,8 % de Hong Kong. (Diario El Tiempo, 2015)

Los resultados alcanzados de esta investigación servirán para que la CNT E.P. pueda contribuir al desarrollo industrializado y tecnológico del cantón y al ser una empresa pública pueda explotar un mercado que talvez no se lo haya enfocado anteriormente; y brindar las pautas para la creación de nuevas industrias y que éstas cuenten con los servicios adecuados a sus requerimientos. La CNT E.P. seguirá siendo una empresa clave en el ámbito de las telecomunicaciones en el país.

## Capítulo II

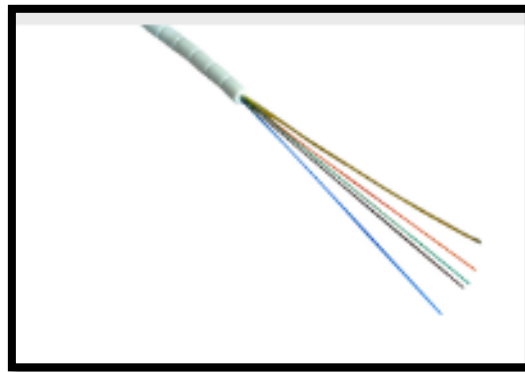
### 2. Marco Teórico

#### 2.1. Conceptos Generales Sobre Fibra Óptica

La fibra óptica se refiere a la tecnología asociada a la transmisión de información con pulsos de luz a lo largo de un alambre fibra de vidrio o de plástico. Tecnología desarrollada en la década de 1960 que está reemplazando rápidamente los cables de cobre en las telecomunicaciones.

La fibra óptica es el medio de transmisión cableado con mayor capacidad en la actualidad. Su aparición y utilización ha dado lugar al surgimiento de nuevos sistemas de comunicaciones que interconectan el mundo entero. (Edison, 2011)

La fibra óptica transporta mucha más información que el cable coaxial convencional y su principal ventaja es que los cables de fibra óptica no están sujetos a la interferencia electromagnética. Ha habido muchos avances en el campo de la fibra óptica desde que fueron inventadas por primera vez a finales de los años 50. Las fibras en la actualidad son mucho más fuertes y más eficientes. En la Figura 1 se observa varios hilos de fibra óptica.



*Figura 1: Ejemplo de Cable de Fibra Óptica Multimodo*

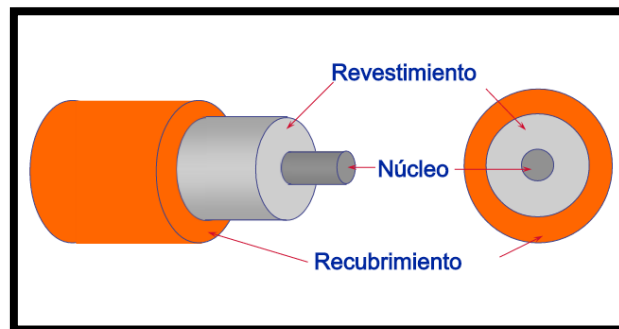
*Fuente: (TelecoCable, 2016)*

##### 2.1.1. Estructura De La Fibra Óptica

Son conductos rígidos o flexibles, con las dimensiones aproximadas a las de un cabello humano, construidas a partir de plástico o vidrio, capaces de conducir luz entre sus extremos.

Se las puede considerar como guías de onda que trabajan a frecuencias ópticas. (Jimenez, 2014)

La estructura básica de una fibra óptica consta de tres partes; el núcleo, el revestimiento, y el recubrimiento. La estructura básica de una fibra óptica se muestra en la Figura 2.



*Figura 2: Estructura de la Fibra Óptica*

*Fuente: Blandón, D. (2008)*

- **Núcleo central:** El núcleo es una varilla cilíndrica de material dieléctrico. El núcleo está hecho generalmente de vidrio.
- **Revestimiento:** Cubre el núcleo y confina la luz refractándola al centro de la fibra.
- **Recubrimiento:** Es un plástico o cubierta acrílica cuya función es proteger la fibra.

## 2.1.2. Ventajas Y Desventajas De La F.O.

### 2.1.2.1. Ventajas.

Según Edison Coimbra en su artículo “Transmisión de Datos por Fibra Óptica” (Edison, 2011), las principales ventajas de la fibra óptica con respecto al cable coaxial son:

- Tiene un tiempo de vida útil mucho mayor que el cobre.
- Las comunicaciones con fibra óptica pueden alcanzar velocidades de transmisión muy y a largas distancias.
- La atenuación no depende de la velocidad de transmisión, sino únicamente de la distancia.

- La transmisión de información es más segura que usando cable coaxial porque es muy difícil colocar un dispositivo de escucha en la línea de transmisión, proporcionando una mejor seguridad de la red física.
- Permite ofertar un mayor ancho de banda y por lo tanto una mayor capacidad a cada usuario individual.
- A un largo plazo el costo de la fibra óptica será mucho menor al de la actualidad.
- Pérdida de señal baja, típicamente menos de 0,3 dB/km, por lo que la transmisión utilizando un repetidor a través de largas distancias es posible.
- Inmunidad a la interferencia electromagnética, incluyendo pulsos electromagnéticos nucleares.
- No hay radiación electromagnética en los sistemas de comunicación con fibra óptica.
- Alta resistencia eléctrica, por lo que es seguro trabajar cerca de equipos de alta tensión.
- Señales contienen muy poca energía
- No existe diafonía entre los cables de fibra óptica.

#### **2.1.2.2. Desventajas.**

Según Edison Coimbra en su artículo “Transmisión de Datos por Fibra Óptica” (Edison, 2011) las principales desventajas de la fibra óptica con respecto al cable coaxial son:

- Las fibras ópticas son muy frágiles, cualquier movimiento violento puede causar la ruptura de la fibra y esto implicaría costos elevados en la reparación.
- Necesidad de transmisores y receptores ópticos más caros.
- En potencias ópticas altas, es susceptible de "fusión de fibra" en el que un poco demasiado encuentro de luz con una imperfección puede destruir hasta 1,5 kilómetros de alambre a varios metros por segundo.

### 2.1.3. Propagación De La Luz En La Fibra Óptica

#### 2.1.3.1. Velocidad de propagación de la luz en la fibra.

Como lo explica Carmen España en su libro “*Comunicaciones Ópticas*” (Boquera, 2005), la velocidad con la que se propaga la luz dentro de la fibra óptica está relacionada directamente con el índice de refracción del material del que está constituido el núcleo, al ser este índice siempre mayor a la unidad, la velocidad de propagación será siempre menor a la velocidad de la luz en el vacío. Según (Ebbing & Gammon, 2009) la *Velocidad de la luz en el vacío es  $3 \cdot 10^8$  m/s*. La Ecuación 1 se utiliza para determinar la velocidad de propagación en la fibra óptica. (Sattarov, 2010)

$$v = \frac{c}{n} \quad [1]$$

Donde:

v = Velocidad de propagación en la fibra óptica

c: Velocidad de la luz en el vacío.

n: Índice de refracción del núcleo de la fibra.

#### 2.1.3.2. Reflexión.

Cuando un haz lumínico se encuentra con la frontera entre el medio en el cual se está propagando y otro medio distinto, parte de su energía pasa al siguiente medio en forma de haz refractado o transmitido, otra parte de la energía regresa al medio original como haz reflejado.

Según Erandio Bizkaia (Erandio, 2014) la ley de la reflexión de la luz establece que todo rayo de luz que incide en una superficie reflectante, saldrá reflejado con un ángulo igual al ángulo de incidencia y de tal forma que tanto el rayo incidente como el reflejado y la



perpendicular a la superficie reflectante en el punto de incidencia están en el mismo plano. Se observa en la Figura 3 la Ley de la Reflexión.

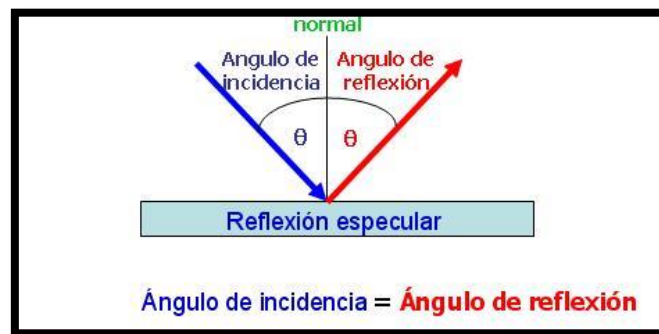


Figura 3: Reflexión de la luz

Fuente: Bizkaia, E. (2014)

### 2.1.3.3. Refracción.

Como se puede observar en la Figura 4, la refracción se produce cuando un haz lumínico pasa de un medio con una densidad hacia otro con distinta densidad, implica que el haz cambie de velocidad y de dirección en la frontera entre los dos medios. Si el medio original es menos denso, el haz refractado es desviado hacia la normal ( $\theta_1 > \theta_2$ ). Por el contrario, si el medio original es más denso, el haz refractado tomará una dirección con un ángulo mayor con relación a la normal ( $\theta_1 < \theta_2$ ). (Bizkaia, 2011)

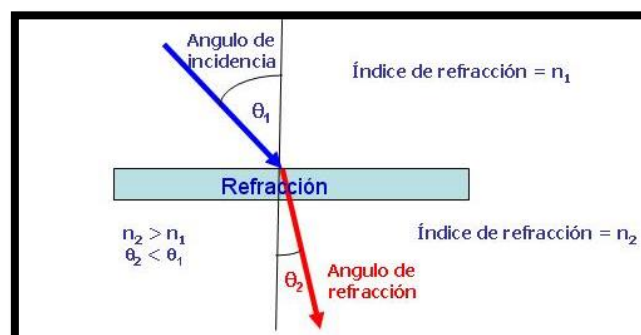


Figura 4: Refracción de la Luz

Fuente: Bizkaia, E. (2014)

En la Figura 5 se observa el fenómeno de refracción de la luz, se aprecia el lápiz quebrado justo cuando se produce el cambio de medio entre el agua y el aire.

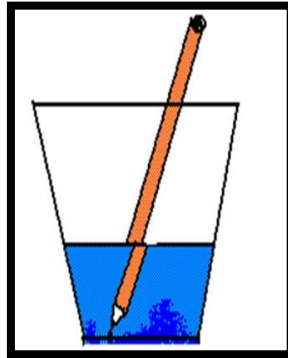


Figura 5: Efectos Refracción de la luz.

Fuente: (Bustos, 2014)

#### 2.1.3.4. Ángulo crítico.

Otro principio importante con el que trabajan las comunicaciones ópticas es el de la reflexión interna total, es decir, que toda la luz que ingresa por un extremo de la fibra viaje a lo largo de ésta mediante sucesivas reflexiones. Podemos observar el ángulo crítico en la Figura 6

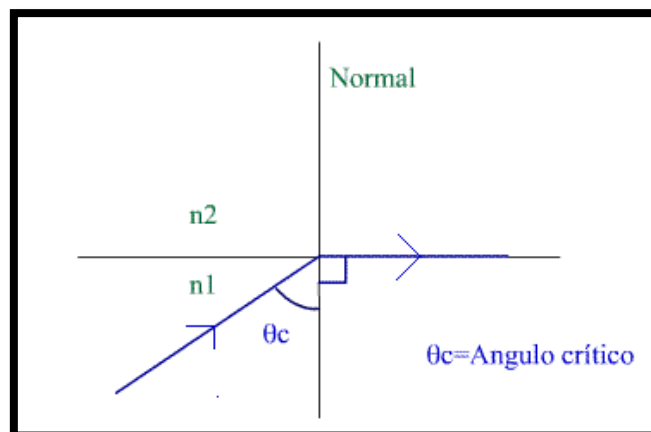


Figura 6: Ángulo Crítico

Fuente: Ornelas, J. (2004)

Para que esto se cumpla el haz debe incidir con un ángulo superior al denominado ángulo crítico, caso contrario existirán refracciones y por lo tanto pérdida de energía. (Bizkaia, 2011). Según Erden (Mrs. Serife Erden, 2014), para medir el ángulo se utiliza la Fórmula 2:

$$\sin \theta_c = \frac{n_1}{n_2} \quad [2]$$

#### 2.1.3.5. Apertura numérica.

Está relacionada matemáticamente con el ángulo de acoplamiento, y permite tener una idea del cono de acoplamiento del haz de luz. A mayor AN, más directiva debe ser la fuente de luz. (Sattarov, 2010). La Fórmula 3 se utiliza para calcular la AN:

$$AN = \sin \varphi = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} \quad [3]$$

Siendo:

AN= apertura numérica de la fibra

$\varphi$ = ángulo máximo de acoplamiento

$n_1$ = índice de refracción del núcleo

$n_2$ = índice de refracción del revestimiento

#### 2.1.4. Tipos De Fibra Óptica

De acuerdo a la cantidad de modos o haces de luz que puede transportar, la fibra óptica se clasifica en dos tipos: la fibra óptica monomodo y fibra óptica multimodo.

#### 2.1.4.1. Fibra monomodo.

Pastor (2007) afirma:

La fibra de monomodo permite una mayor capacidad para transmitir información porque puede retener la fidelidad de cada pulso de luz a grandes distancias sin la dispersión causada por los múltiples modos. Además, la fibra de monomodo presenta menor atenuación de la fibra que la multimodo, por tanto, se puede transmitir más información en menos tiempo. (Pastor, Ramos , & Capmany, 2007).

En la Figura 7 se observa la estructura de la fibra monomodo.



*Figura 7: Estructura Fibra Monomodo.*

*Fuente: (Universidad Nacional Abierta Y A Distancia, 2009)*

De acuerdo con la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) en el sector de normalización, así existen fibras de acuerdo con la norma G.652 (Estándar), G.653 (Dispersión Desplazada), G.654 (Mínima Atenuación), G.655 (Dispersión Desplazada no nula) y G.657 (Insensible a curvaturas), dos de ellas son adecuadas para tendidos aéreos.

Según Ulloa (Ing. Ulloa, 2013) la Fibra óptica normalizada es factible de usarse en 1300 nm y 1550 nm, esta fibra está optimizada para el cero de dispersión en 1300 nm. Es el cable más popular en redes de telecomunicaciones, adecuada en aplicaciones de redes metropolitanas, de acceso y cableados estructurados.

##### 2.1.4.1.1. Subcategorías de la recomendación G.652.

Según la UIT en la recomendación G.652 (UIT, Recomendación G.652, 2016) especifica lo siguiente:

- G.652.A: Contiene los atributos y valores recomendados necesarios para soportar sistemas de hasta STM-16, así como 10 Gbps hasta 40 km (Ethernet) y STM-256.
- G.652.B: Contiene los atributos y valores recomendados que son necesarios para soportar aplicaciones de mayor velocidad binaria, hasta STM-64, y STM-256.
- G.652.C: Semejante a G.652.A, pero permite transmisiones en partes de una gama de longitudes de onda ampliada desde 1360 nm a 1530 nm.
- G.652.D: Semejante G.652.B, pero permite transmisiones en partes de una gama de longitudes de onda ampliada desde 1360 nm a 1530 nm.

#### 2.1.4.2. Fibra multimodo.

Los rayos de luz se propagan cubriendo diferentes trayectorias o modos. De acuerdo al índice de refracción, las fibras multimodo se pueden dividir en dos tipos:

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

Pastor (2007) afirma:

Son fibras ópticas en las que el índice de refracción del núcleo es constante, por tanto, la velocidad de propagación es la misma para todos los modos, por lo que al cubrir diferentes trayectorias los modos llegarán en tiempos distintos, produciendo un retardo que ensancha el pulso de luz. (Pastor, Ramos , & Capmany, 2007).

En la Figura 8 se observa la estructura de la fibra óptica de índice escalonado.

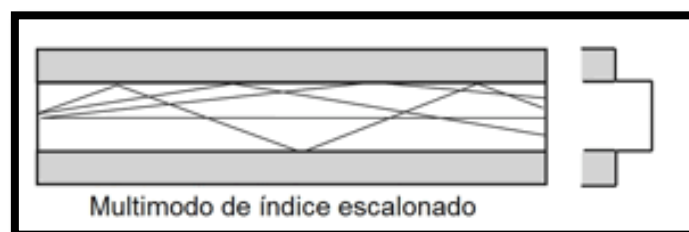
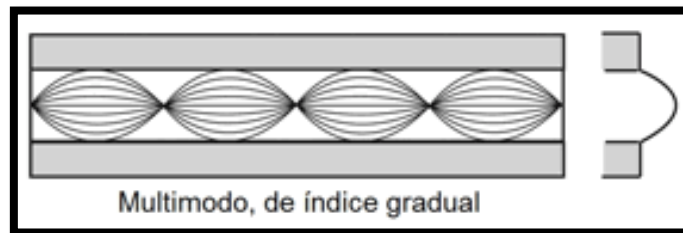


Figura 8: Fibra Óptica Multimodo, índice escalonado.

Fuente: (The Fiber Association, 2014)

#### 2.1.4.2.2. Fibra óptica multimodo de índice gradual.

Según Pastor “en este tipo de fibra óptica, el núcleo está constituido de varias capas concéntricas de material óptico con diferentes índices de refracción”, (Pastor, Ramos , & Capmany, 2007) causando que el rayo de luz de refracte poco a poco mientras viaja por el núcleo, pareciendo que el rayo se curva como se observa en la Figura 9.



*Figura 9: Fibra Óptica Multimodo, índice gradual.*

*Fuente: (The Fiber Association, 2014)*

#### 2.1.5. Pérdidas En La Fibra Óptica

Existen varios tipos de pérdidas en la fibra óptica, los más principales son las pérdidas por:

##### 2.1.5.1. Absorción por rayos ultravioletas e infrarrojos.

Este tipo de pérdidas se produce por la vibración que se genera debido a la interacción que existe entre los fotones y las moléculas del material del que está compuesto el núcleo.

La atenuación debido a la absorción por rayos ultravioletas decrece exponencialmente mientras aumenta la longitud de onda, siendo despreciable a partir de los 1000 nm. Mientras que la absorción infrarroja crece exponencialmente a medida que la longitud de onda aumenta, siendo perceptible a partir de los 1400 nm. (Villacís, 2013)

##### 2.1.5.2. Absorción debido a impurezas.

Las impurezas de tipo metálica presentes en la fibra óptica, especialmente en las que son construidas a partir de silicio, pueden causar un problema de absorción, sin embargo, en la

actualidad y gracias a las sofisticadas técnicas de construcción de fibra, se ha logrado evitar este inconveniente. (Villacís, 2013)

#### **2.1.5.3. Dispersión de Rayleigh.**

A medida que la luz viaja por la fibra óptica se puede encontrar con irregularidades o partículas extrañas al medio por el que está transitando. Estas partículas tienen un diámetro menor que la longitud de onda de la luz transmitida, de este modo la luz se escarce y se produce una atenuación. (Jimenez, 2014)

#### **2.1.5.4. Macro curvaturas.**

Al curvar una fibra óptica se modifica el ángulo en el que el haz de luz incide, cambiando así su trayectoria y pudiendo violar el principio de reflexión interna total. Se originan principalmente al momento de instalar o “tender” un cable de fibra óptica. Si un cable es más flexible requerirá de menor tensión para su instalación, y por lo tanto sufrirá menos daños.

#### **2.1.5.5. Micro curvaturas.**

Se originan por las irregularidades entre el núcleo y el manto, las variaciones en el diámetro del núcleo y, principalmente las deformidades del eje de la fibra. Para hacer frente a este problema, se puede aumentar la sección de la fibra o aumentar la diferencia entre los índices de refracción.

#### **2.1.5.6. Tendido, ambiente y envejecimiento.**

Como lo recomienda la Norma Técnica de Diseño y Construcción de Redes de Telecomunicaciones con Fibra Óptica de La CNT E.P. (CNT E.P. C. , 2013), se debe tener mucho cuidado al momento de instalar la fibra óptica, para evitar causar daños a los hilos por los que viajará la luz. Adicionalmente se debe verificar que el cable escogido sea el adecuado para el tendido que se realizará y el ambiente al que estará expuesto, pues de otra manera estos

factores influirán negativamente en la comunicación, aumentarán la atenuación que sufrirá la energía lumínica y acortarán el tiempo de vida de la fibra.

### 2.1.6. Ventanas De Transmisión De La Fibra Óptica

Villacís afirma que “las comunicaciones ópticas tienen lugar en ciertas zonas del espectro óptico, en donde se presentan condiciones favorables para que éstas se lleven a cabo, como por ejemplo una menor atenuación.” (Villacís, 2013).

A estas zonas se las denomina ventanas y son cinco, las cuales se presentan a continuación:

- Primera ventana: longitud de onda = 850 nm
- Segunda ventana: longitud de onda = 1310 nm
- Tercera ventana: longitud de onda = 1550 nm
- Cuarta ventana: longitud de onda = 1625 nm
- Quinta ventana: longitud de onda = 1470 nm

En la Figura 10 se puede apreciar las ventanas del espectro óptico.

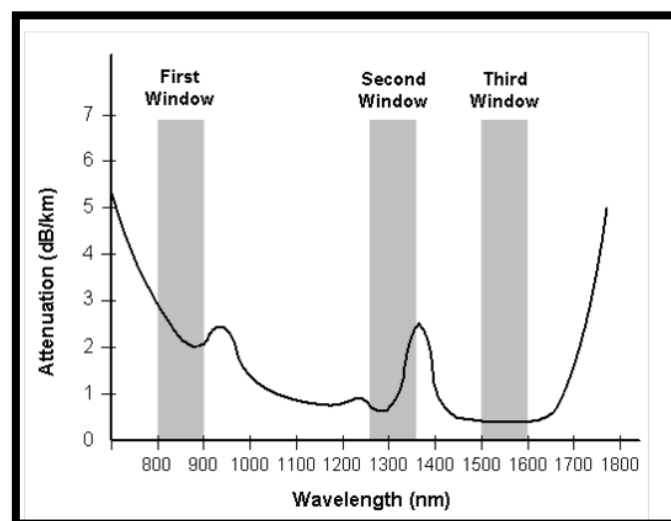


Figura 10: Ventanas del Espectro Óptico.

Fuente: (PROMAX, 2014)



### **2.1.7. Dispersión En La Fibra Óptica**

Como lo explica (Jimenez, 2014) , mientras se transmite un pulso luminoso, éste sufre un ensanchamiento en el tiempo, el cual es proporcional a la distancia que recorre por la fibra. Es una de las principales limitantes que tienen los sistemas de comunicación óptica, pues el ancho de banda de la señal se ve afectado y por lo tanto se disminuye la capacidad de transmisión. Existen tres tipos de dispersión temporal: Dispersión Modal, Dispersión Cromática y Dispersión por modo de polarización.

#### **2.1.7.1. Dispersión modal.**

“Se presenta únicamente en las fibras multimodo. El pulso se ensancha debido a la diferencia que existe en los tiempos de propagación de los rayos que conforman dicho pulso, los cuales viajan por diferentes trayectorias, recorriendo diferentes distancias.” (Jimenez, 2014). Si la dispersión es muy grande el pulso se puede solapar con el siguiente causando una interferencia inter símbolo, pudiendo modificarlo y así afectar la comunicación.

#### **2.1.7.2. Dispersión cromática.**

“Se puede presentar en todos los tipos de fibra óptica, sin embargo, no se lo considera para las fibras multimodo pues su efecto se ve enmascarado por la dispersión modal, por lo que únicamente es de interés para las fibras monomodo.” (Jimenez, 2014)

#### **2.1.7.3. Dispersión por modo de polarización.**

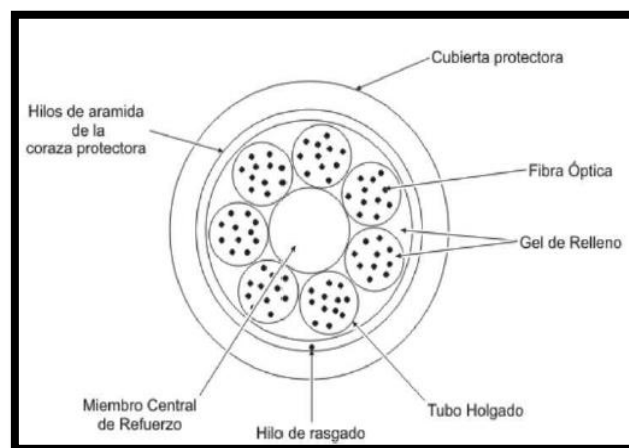
“Se presenta únicamente en fibras monomodo. Se origina debido a las asimetrías del núcleo, es decir, no presenta exactamente el mismo índice de refracción ni el mismo diámetro en las dos direcciones perpendiculares de cada componente del modo.” (Jimenez, 2014). Por lo tanto, cada componente viajará a una velocidad diferente llegando en tiempos distintos, y por consecuencia, ensanchando el pulso.

### 2.1.8. Tipos De Cable De Fibra Óptica

Un hilo de fibra óptica es muy frágil, por lo tanto, no se lo encuentra en forma unitaria, sino agrupados en un cable que cuenta con varias protecciones adicionales.

#### 2.1.8.1. Cable de estructura holgada.

Según Pabón el cable de estructura holgada “está conformado por varios tubos los cuales contienen varios hilos de fibra óptica en su interior. Todos estos tubos rodean a un miembro central el cual sirve de refuerzo, puede ser de acero, kevlar u otro material muy fuerte.” (Pabón, 2009). En la Figura 11 se observa la estructura de cable holgada.

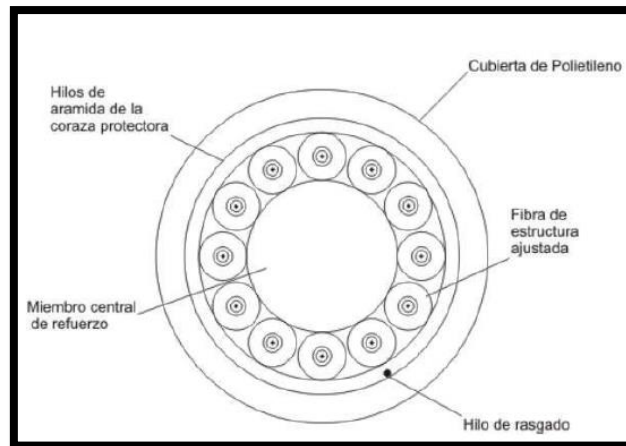


*Figura 11: Cable de Estructura Holgada.*

*Fuente: (Pabón, 2009)*

#### 2.1.8.2. Cable de estructura ajustada.

Según Pabón el cable de estructura ajustada “consta de varias fibras en donde cada una de ellas está cubierta por un revestimiento secundario. Estas fibras rodean a un miembro central de refuerzo y a su vez están cubiertas por una protección exterior.” (Pabón, 2009). En la Figura 12 se observa la estructura de cable ajustada.

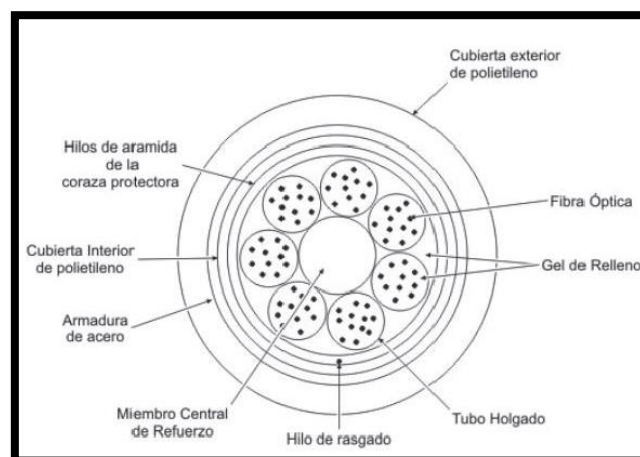


*Figura 12: Cable de Estructura Ajustada*

*Fuente: (Pabón, 2009)*

### 2.1.8.3. Cable blindado.

Pabón afirma que el cable blindado “está conformado por todos los elementos anteriormente mencionados y adicionalmente cuenta con una coraza protectora de acero o kevlar, la cual se ubica bajo la cubierta exterior y proporciona una gran resistencia al aplastamiento y repele a los roedores.” (Pabón, 2009). En la Figura 13 se observa la estructura de cable blindado.

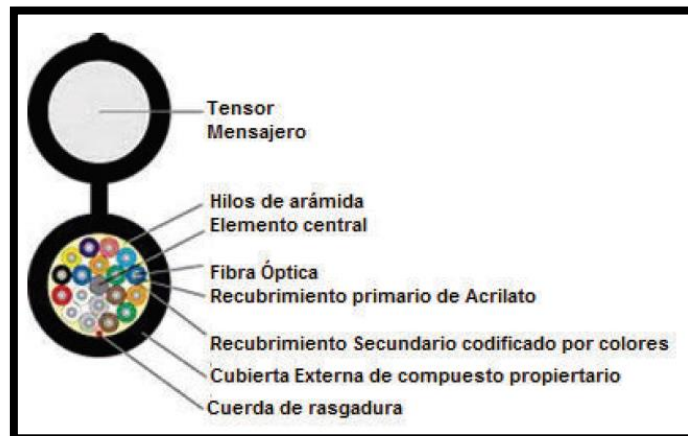


*Figura 13: Cable Blindado*

*Fuente: (Pabón, 2009)*

#### 2.1.8.4. Cable auto soportado o figura 8.

Es un cable compuesto de dos partes. La primera un cable de acero o kevlar conocido como mensajero. La otra parte del cable es similar a lo expuesto anteriormente, consta de 2 a 12 fibras (Rivera, 2012) protegidas con un recubrimiento secundario, hilos de aramida y un recubrimiento exterior. En la Figura 14 se observa la estructura de cable figura 8.

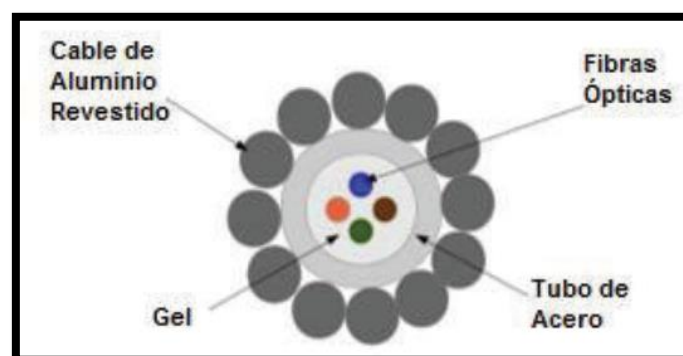


*Figura 14: Cable Figura 8.*

*Fuente: (Rivera, 2012)*

#### 2.1.8.5. Cable compuesto tierra-óptico.

El cable compuesto tierra-óptico (OPGW) es utilizado por las compañías que dan servicio eléctrico. En la Figura 15 se observa la estructura de cable OPGW.

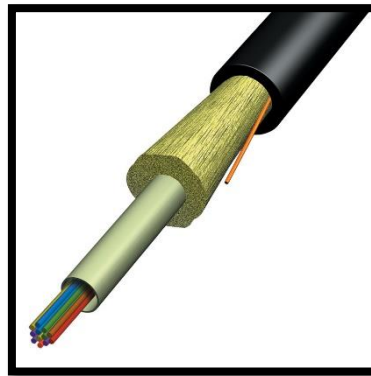


*Figura 15: Cable OPGW*

*Fuente: (Rivera, 2012)*

#### 2.1.8.6. Cable ADSS (All Dielectric Self-Supporting).

Con el uso de este tipo de cables se elimina la necesidad de un cable mensajero, lo que los constituye en una excelente solución para distancias largas tales como travesías de ríos y carreteras ofreciendo ventajas en costo y facilidad de instalación. Tienen un revestimiento extra de polietileno que envuelve al cable óptico dieléctrico y al elemento de sujeción externo, lo que proporciona la resistencia necesaria a la tracción. En la Figura 16 se observa el cable ADSS.



*Figura 16: Cable ADSS.*

*Fuente: (AFL, 2016)*

#### 2.1.9. Tendido De Fibra Optica

Según la Norma Técnica de Diseño y Construcción de Redes de Telecomunicaciones con Fibra Óptica de la CNT E.P. “se conoce como tendido de fibra a la instalación de la fibra óptica. Existen varias formas de tender o instalar los cables de fibra, las mismas que dependen del escenario en donde funcionará la red.” (CNT E.P. C. , 2013)

El tendido aéreo es muy utilizado pues se aprovechan las redes de transporte de energía eléctrica existentes y sus postes dispuestos en casi todo el país. Se debe utilizar un cable adecuado que garantice un correcto soporte, evitando así que sufra daños por las fuerzas de tracción. En este tipo de tendido es recomendable utilizar el cable ADSS.

## **2.1.10. Empalme Y Conexión De Fibra Óptica**

### **2.1.10.1. Técnicas de empalme.**

Un empalme es necesario cuando se quiere unir dos fibras ópticas sin dispositivos intermedios. Existen básicamente dos procesos:

#### **2.1.10.1.1. Empalme por fusión.**

Se realiza fundiendo los núcleos de las fibras por medio de una descarga eléctrica, es el que menos pérdidas introduce. Se lo emplea para uniones definitivas.

Para una correcta fusión se deben seguir los siguientes pasos:

- Preparación y limpieza de la fibra
- Corte de los extremos
- Alineamiento de los núcleos
- Fusión por descarga eléctrica
- Protección del empalme

#### **2.1.10.1.2. Empalme mecánico.**

Es utilizado cuando las uniones son temporales. Se hace uso de un elemento de auto alineamiento, una vez que los núcleos de las fibras coincidan perfectamente se los fija por medio de un adaptador adhesivo. Igualmente debe ser protegido con elementos externos.

### **2.1.10.2. Conectores.**

Son utilizados para conectar la fibra óptica a los distintos equipos activos o pasivos, por medio de los cuales se realiza la transmisión de información.

Tipos de conectores según (Acosta, 2012) :

#### 2.1.10.2.1. Fiber Connection (FC).

Es un conector metálico el cual se atornilla en el adaptador mediante una rosca. Presenta pérdidas de alrededor de 0,20 dB. (Acosta, 2012). En la Figura 17 se observa el conector FC.



*Figura 17: Conector FC.*

*Fuente: (Li, 2015)*

#### 2.1.10.2.2. Subscriber Termination (ST).

Consta de un acoplamiento del tipo “bayoneta”. Es necesario realizar un pequeño giro para su inserción. Es muy parecido a un conector para cable coaxial. Presenta pérdidas del orden de los 0,3 dB. (Acosta, 2012). En la Figura 18 se observa el conector ST.



*Figura 18: Conector ST.*

*Fuente: (Li, 2015)*

#### 2.1.10.2.3. Lucent Technologies Connector (LC).

Es considerado un conector de cuarta generación. Se lo utiliza para redes de alta densidad de datos. Presentan pérdidas de aproximadamente 0,1 dB. (Acosta, 2012). En la Figura 19 se observa el conector LC.

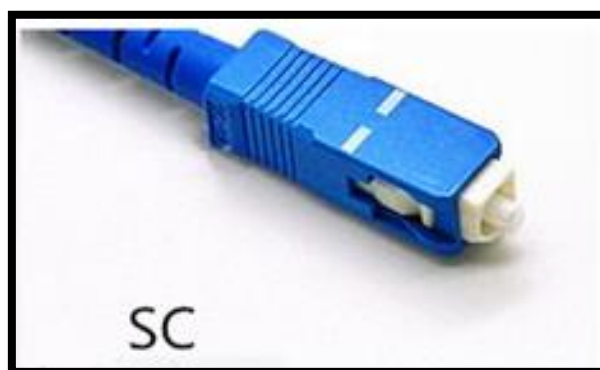


*Figura 19: Conectar LC.*

*Fuente: (Li, 2015)*

#### 2.1.10.2.4. Subscriber Connection (SC).

Es un conector del tipo *push & pull*, se lo utiliza normalmente en conmutadores. Las pérdidas que introducen son de alrededor de 0,20 dB. (Acosta, 2012). En la Figura 20 se observa el conector SC.



*Figura 20: Conector SC.*

*Fuente: (Li, 2015)*



### **2.1.11. Sistemas De Comunicación Óptica**

En la actualidad la inmensa mayoría de redes de larga distancia son ópticas, interconectan entre sí a varios países e incluso a varios continentes. Esto es posible gracias a que la información que viaja a través de la fibra óptica puede cubrir grandes distancias antes de requerir de un repetidor o amplificador. Normalmente los amplificadores ópticos están separados 100 Km entre sí. Al igual que los sistemas de comunicación tradicional, una red óptica consta principalmente de una fuente de luz, que hace las veces de transmisor, un detector o receptor, y el medio de transmisión pasivo que es la fibra óptica.

#### **2.1.11.1. Componentes de un sistema de comunicación óptico.**

##### **2.1.11.1.1. Fuentes de luz.**

Existen dos tipos de fuente de luz:

- **Diodos LED:** Irradian una sola luz (monocromáticos), una sola frecuencia, se propagan de forma dispersa.
- **Diodos Láser:** Emiten una luz monocromática y monofásica, resultando en un rayo de luz muy preciso.

##### **2.1.11.1.2. Detectores.**

Para detectar la luz que viaja en la fibra óptica se utilizan foto detectores o fotodiodos semiconductores, que están constituidos por uniones p-n polarizadas inversamente. Realizan un proceso inverso a las fuentes de luz.

Deben cumplir con ciertas condiciones para garantizar una correcta recepción de la señal:

- Deben ser altamente sensitivos.
- Tener un tiempo de respuesta muy corto.
- Tener un ruido interno mínimo.

Los detectores más utilizados son: Detector PIN (P-Intrinsic-N) y Detector APD (Avalanche Photodiode)

#### **2.1.11.1.3. Acopladores.**

Son utilizados para distribuir la luz que viaja por una fibra a 2 o más fibras. Pueden ser del tipo T, estrella, o TAP. Se debe considerar que al dividir la señal también se divide la potencia, por lo que puede ser necesario el uso de amplificadores.

#### **2.1.11.1.4. Divisores ópticos.**

Es un tipo de acoplador utilizado comúnmente en el despliegue de redes ópticas pasivas (PON). Es un dispositivo bidireccional que cuenta con un puerto de entrada y 2 o más puertos de salida. Permite que varios usuarios compartan el ancho de banda y la capacidad disponible inicialmente en un solo hilo de fibra. En la Figura 21 se observa un divisor óptico.



*Figura 21: Splitter Óptico.*

*Fuente: (CY COM FTTX SOLUTION., 2011)*

#### **2.1.11.2. Técnicas de multiplexación.**

Permite optimizar el uso del medio de transmisión enviando no una sino varias señales a la vez, con lo que se logran aprovechar al máximo las bondades de la fibra óptica. Existen varias técnicas de multiplexación entre las cuales se encuentran la multiplexación por división

de frecuencia (FDM), la multiplexación por división de tiempo (TDM), la multiplexación por división de código (CDM) y la multiplexación óptica por división de longitud de onda (WDM).

### **WDM (Wavelength Division Multiplexing)**

En la multiplexación óptica por división de longitud de onda a cada señal se le asigna una portadora de diferente longitud de onda. Permite que varias señales diferentes se propaguen simultáneamente, compartiendo un único medio de transmisión, en este caso la fibra óptica.

Al trabajar con WDM se consigue maximizar la capacidad de la fibra óptica, por lo tanto, cada vez se necesita menor cantidad de fibra para transmitir más información. Brinda la posibilidad de ir aumentando la capacidad del enlace según la demanda. Es utilizada exclusivamente en sistemas ópticos.

#### **a) Multiplexación óptica por división de longitud de onda ligera (CWDM)**

Según la UIT (UIT, Tutorial de Comunicaciones Ópticas, 2013) En esta tecnología se especifican 18 longitudes de onda en el intervalo de 1270 a 1610 nm, con espaciados de 20 nm entre ellas. Dado que la separación entre canales es amplia, cada uno de ellos dispone de una mayor capacidad para transportar datos. Sin embargo, no se dispone de amplificadores que trabajen con este tipo de multiplexación por lo que su alcance es limitado, alrededor de 60 Km.

Esta tecnología es atractiva debido a su bajo costo en relación con sistemas DWDM. En el futuro se podría reemplazar un canal CWDM por varios canales DWDM logrando incrementar la capacidad del sistema con un costo inicial reducido.

#### **b) Multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM)**

En la actualidad, existen sistemas que pueden trabajar con 320 señales, por lo tanto, teóricamente se pueden alcanzar capacidades del orden de decenas de Tbps.

Según el Tutorial de comunicaciones ópticas de la UIT “DWDM suministra espaciamentos entre canales de 200 GHz, 100 GHz, 50 GHz e inclusive hasta 12.5 GHz, por lo que se pueden colocar varios cientos de longitudes de onda en una sola fibra.” (UIT, Tutorial de Comunicaciones Ópticas, 2013).

Además, la UIT en su Tutorial de comunicaciones ópticas afirma que “en la práctica, normalmente un sistema DWDM utiliza entre 40 y 80 canales, pero se puede llegar a utilizar incluso 320 canales.” (UIT, Tutorial de Comunicaciones Ópticas, 2013). En la norma UIT-T G.694.1 se especifican las longitudes de onda utilizadas en DWDM, las mismas que se ubican en la banda C (1530-1565 nm), la banda L (1570-1610 nm) y la banda S (1470-1530 nm).

## **2.2. Redes Y Tecnologías De Acceso**

Las redes de acceso conectan los usuarios finales con el proveedor de servicios. En la actualidad, dada la necesidad de ancho de banda que tienen los clientes, la gran mayoría de redes de acceso utilizan fibra óptica como medio de transmisión.

### **2.2.1. Componentes De Una Red De Acceso**

Tenemos los principales componentes de una red de acceso:

- **El medio físico de transmisión:** Que puede ser: par trenzado, cable coaxial, fibra óptica, o el aire.
- **Elementos de telecomunicaciones:** Tales como antenas, equipos de acceso óptico, equipos de acceso DSL (línea de abonado digital), equipos MSAN (nodo de acceso multiservicio).
- **Dispositivos de interconexión:** Conectores de par trenzado, empalmes de fibra óptica, cajas de distribución, etc.

### **2.2.2. Tecnologías De Acceso**

De acuerdo al medio de transmisión, se clasifican en tecnologías cableadas o inalámbricas.

### **2.2.2.1. Tecnologías cableadas.**

Existen varias tecnologías que utilizan medios cableados para la transmisión de información, entre las que se pueden mencionar las siguientes:

#### **2.2.2.1.1. Redes híbridas de fibra óptica y cable (HFC).**

Esta tecnología permite el acceso a internet de banda ancha utilizando las redes CATV existentes. Se puede dividir la topología en dos partes. La primera consiste en conectar al abonado por medio de cable coaxial a un nodo zonal y posteriormente interconectar los nodos zonales con fibra óptica.

#### **2.2.2.1.2. Redes de acceso por fibra óptica (FTTx, PON, EFM).**

Este tipo de redes se las analiza más adelante detalladamente.

Las redes de acceso empleando fibra óptica surgen por la necesidad de hacer frente a las limitaciones tecnológicas en el lado del abonado o usuario final. Al trabajar con fibra óptica se pueden ofertar líneas digitales de gran capacidad.

### **2.3. Redes X-PON**

Las redes PON reemplazan a todos los equipos activos que pueden existir entre el servidor y el usuario final, con componentes pasivos los mismos que guían el tráfico a lo largo de toda la red. (UIT-T, Recomendación UIT-T G.984.1, 2008). Una red PON es una red de fibra que sólo utiliza componentes pasivos como divisores en lugar de componentes activos como amplificadores. Estas redes cuestan mucho menos que los que utilizan componentes activos. La desventaja principal es un rango más corto de la cobertura limitada por la potencia de la señal. Mientras que una AON puede cubrir un rango de alrededor de 100 kilómetros, una red PON se limita típicamente a los tendidos de cable de fibra de hasta 20 Km.

En el nodo central se ubica la OLT, que tiene capacidad para brindar acceso a miles de usuarios a los servicios que éstos requieran. De igual forma conduce el tráfico proveniente de

los clientes hacia la OLT. La ONT está ubicada en el lado del usuario y vienen equipadas para soportar condiciones atmosféricas adversas. Pueden funcionar con baterías o conectadas a la corriente eléctrica. La función que cumplirán tanto la OLT como la ONT depende de si el canal es ascendente o descendente. Como se puede observar en la Figura 22 la estructura básica de una red PON.

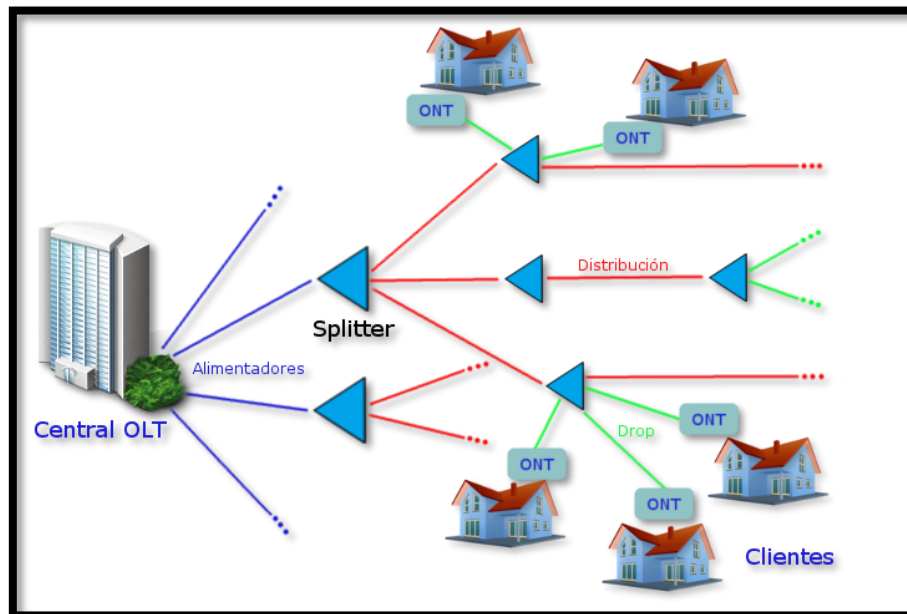


Figura 22: Estructura Básica de una Red PON.

Fuente: (Simosa, H, 2009)

### 2.3.1. Tipos De Redes Pon

#### 2.3.1.1. APON.

APON (Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network), la define el estándar UIT-T G.983. Utiliza ATM para la señalización en la capa enlace de datos. Para el canal descendente se utilizan celdas ATM con un tamaño de 53 bytes, a una velocidad de 622 Mbps, la cual se reparte entre todas las ONT conectadas. Por su parte, en el canal ascendente se emplean máximo 54 celdas ATM a una velocidad de 155,5 Mbps.

### 2.3.1.2. BPON.

BPON (Broadband Passive Optical Network), Está especificada en las revisiones del estándar UIT-T G.983. Surgió como una mejora frente a las APON, utiliza WDM lo que le permite tener un mayor ancho de banda y poder acceder a mayores servicios como por ejemplo Ethernet.

### 2.3.1.3. GPON.

GPON (Gigabit Capable Passive Optic Network), está estandarizado en varias de las recomendaciones UIT-T G.984. Fue la primera red PON que permitió tener velocidades superiores 1 Gbps. En el canal ascendente se transmite a 1.244 Gbps mientras que para el canal descendente la transmisión se realiza a 2.488 Gbps.

### 2.3.1.4. EPON.

EPON (Ethernet Passive Optical Network), está definida en las recomendaciones IEEE 802.3ah. Básicamente encapsula el tráfico en tramas Ethernet. EPON 802.3ah especifica una red pasiva similar con un alcance de hasta 20 km. Utiliza WDM con las mismas frecuencias ópticas como GPON y TDMA. La velocidad de transmisión es simétrica y es de 1.25 Gbps.

## 2.3.2. Tabla Comparativa

A continuación, se presenta en la Tabla 1 la comparación entre las redes PON:

*Tabla 1: Tabla comparativa redes PON*

<b>Tecnología</b>	<b>Estándares</b>	<b>Tipos de Trama</b>	<b>Divisores Por Fibra</b>	<b>Vel. De subida</b>	<b>Vel. De bajada</b>	<b>Alcance (Km)</b>
<b>APON</b>	UIT-T G.983.1	ATM	32	155 Mbps	622 Mbps	20
<b>BPON</b>	UIT-T G.983.x	ATM	32	155 Mbps	622 Mbps	20
<b>EPON</b>	IEEE 802.3ah	Ethernet	32	1.25 Gbps	1.25 Gbps	20
<b>GPON</b>	UIT-T G.984.x	ATM GFP	32/64	155 Mbps - 2.5 Gbps	1.25 Gbps - 2.5 Gbps	20

*Fuente: (Carrión, 2012)*

### **2.3.3. Principales Ventajas De Las Redes PON**

- Reducen al máximo el despliegue de fibra óptica gracias a su topología.
- Aumentan el área de cobertura hasta los 20 km.
- Proveen un mayor ancho de banda al usuario y por lo tanto se pueden alcanzar mayores velocidades.
- Mejoran la calidad del servicio debido a la inmunidad ante los campos electromagnéticos.
- Son menos costosas que las redes punto a punto.

### **2.4. Redes Ópticas Pasivas Con Capacidad De Gigabit (GPON)**

Definido como una innovación del conjunto de estándares PON, la Red Óptica Pasiva con capacidad de Gigabit, GPON, es miembro de esta familia desde el 2004 con la creación de las recomendaciones UIT-T G.984. X. (UIT-T, Recomendación UIT-T G.984.1, 2008)

Según (Millán Tejedor, GPON (Gigabit Passive Optical Network), 2007) el estándar que se expone, permite manejar amplios márgenes de ancho de banda, para prestar servicios a nivel comercial y residencial, mejorando sus prestaciones en el transporte de servicios IP y con una nueva capa de transporte diferente, él envió de la señal en forma ascendente y descendente con rangos de 1.25Gbps y 2.5Gbps para el primer caso y de 2.5Gbps para el segundo ya sea de forma simétrica o asimétrica llegando bajo ciertas configuraciones a entregar hasta 100Mbps por usuario.

#### **2.4.1. Tecnologías Utilizadas Por Las Redes GPON**

##### **2.4.1.1. DBA (Dynamic Bandwidth Allocation)**

La Asignación Dinámica de Ancho de Banda (DBA), es una técnica por la cual el ancho de banda de un medio de comunicación compartido puede ser asignado de forma adecuada y dependiendo de la necesidad entre diferentes usuarios.



Es una forma de manejo de ancho de banda y es básicamente igual a la multiplexación estática, donde la compartición de un enlace se adapta de alguna forma para la demanda del tráfico instantáneo de los nodos conectados a dicho enlace.

#### **2.4.1.2. ATM (Modo De Transferencia Asíncrono)**

Es una tecnología de transmisión de datos digital, implementado como un protocolo de red por conmutación de paquetes de tamaño fijo, con la ventaja sobre IP o Ethernet en el aprovechamiento de las cualidades de la conmutación de circuitos y de paquetes para la transmisión en tiempo real de la información, en un modelo de conexión orientada con el establecimiento de un circuito virtual entre los puntos de enlace previo al intercambio de datos.

#### **2.4.1.3. GEM (GPON Encapsulation Method)**

Se trata de la innovación en el protocolo de encriptación definido por la UIT-T G.984.3, el mismo que resulta una evolución del protocolo de entramado genérico GFP, que define las maneras de encapsular la información de longitud variable de diversas señales, para transportarlas por redes SDH (Jerarquía Digital Síncrona). (UIT-T, Recomendación UIT-T G.984.3, 2008)

### **2.4.2. Recomendaciones UIT G.984.X**

Debido a la necesidad de brindar al usuario mejores costos, competitividad y diversidad de marcas, se han propuesto un conjunto de recomendaciones que regulan las diferentes características de los equipos desarrollados para el soporte del estándar GPON, a continuación, se presentan las cinco recomendaciones aprobadas en la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT en la serie G: (Sistemas y Medios De Transmisión, Sistemas y Redes Digitales):

#### **2.4.2.1. UIT-T G.984.1:**

##### **Características Generales**

Se trata de la introducción hacia el estándar GPON, presentando características generales de funcionamiento y constitución, con el fin de llegar a la convergencia de equipos, así como mostrar la topología utilizada. (UIT-T, Recomendación UIT-T G.984.1, 2008)

#### **2.4.2.2. UIT-T G.984.2:**

##### **Especificación De La Capa Dependiente De Los Medios**

Se describe una red flexible de acceso en fibra óptica capaz de soportar los requisitos de banda ancha de los servicios a empresas y usuarios residenciales. (UIT-T, Recomendación UIT-T G.984.2, 2008)

#### **2.4.2.3. UIT-T G.984.3:**

##### **Especificación De La Capa De Convergencia De Transmisión**

Denominada como la especificación de la Capa de Convergencia de Transmisión TC (Convergencia de Transmisión), expone los formatos de trama, el método de control de acceso, el método ranging, la funcionalidad OAM y la seguridad en redes GPON. (UIT-T, Recomendación UIT-T G.984.3, 2008)

#### **2.4.2.4. UIT-T G.984.4:**

##### **Especificación De La Interfaz De Control Y Gestión De La Terminación De Red Óptica**

Especificación de la interfaz de control y gestión OMCI de la terminación de red óptica ONT, donde el análisis se enfoca en los recursos y servicios procesados de una base de información de gestión o manejo MBI independiente del protocolo de comunicación entre OLT y ONT. (UIT-T, Recomendación UIT-T G.984.4, 2008)

### 2.4.2.5. UIT-T G.984.5:

#### Banda De Ampliación

Recomendación que sugiere el rango de bandas y longitudes de onda que se reservan para en un futuro, implementar señales de nuevos servicios, usa la técnica de multiplexación de información (WDM), para aprovechar de mejor manera en el caso de nuevas redes ópticas pasivas, en virtud del manejo recomendable de las ODN. (UIT-T, Recomendacion UIT-T G.984.5, 2008)

### 2.4.3. Arquitectura De Red GPON

Partiendo desde la oficina central se conecta por medio de una fibra Monomodo hacia un Splitter cercano a los usuarios finales. Es en este punto es donde se realiza la división de la fibra en N rutas a los suscriptores. En la Figura 23 se observa la arquitectura de red GPON.

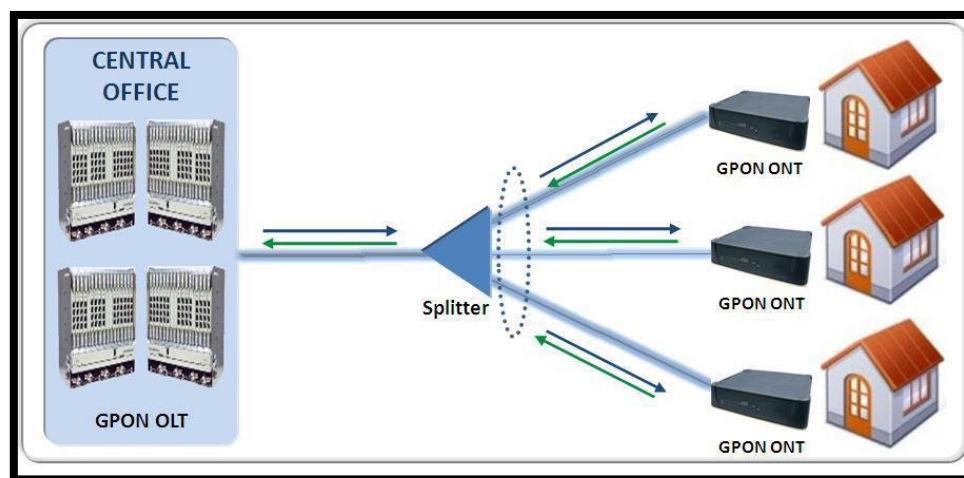


Figura 23: Arquitectura RED GPON

Fuente: (Del Rio, E., 2013)

Las longitudes de onda están relacionadas con el Upstream y el Downstream 1310 nm y 1490 nm respectivamente, para video RF 1550 nm. El número de rutas o caminos puede variar desde 2 hasta 64 desde el Splitter de modo único hasta cada usuario (Edificio, empresa, Hogar, Nodo, etc.), donde la transmisión de Fibra desde la oficina central hasta cada usuario puede ser

de hasta 20 Km. GPON define un estándar de tasas de transmisión de Upstream y Downstream dependiendo de la dirección del tráfico. En la Tabla 2 se especifican las tasas de transmisión.

Tabla 2: Tasa de transmisión GPON

Dirección de Transmisión	Tasa Bits
Upstream	155.52 Mbit/s
	622.08 Mbit/s
	1244.16 Mbit/s
	2488.32 Mbit/s
Downstream	1244.16 Mbit/s
	2488.32 Mbit/s

Fuente: (Del Rio, E., 2013)

#### 2.4.3.1. Trama Downstream

El funcionamiento de la red GPON Downstream se detalla en la Figura 24, consiste en que la OLT envía el tráfico utilizando Broadcast donde cada ONT verifica la dirección en el encabezado de las tramas, debido a que las ONTs reciben todo el tráfico, es necesario hacer la utilización de encriptación. La OLT determina y le notifica a las ONTs los Time Slots para el envío de los datos.

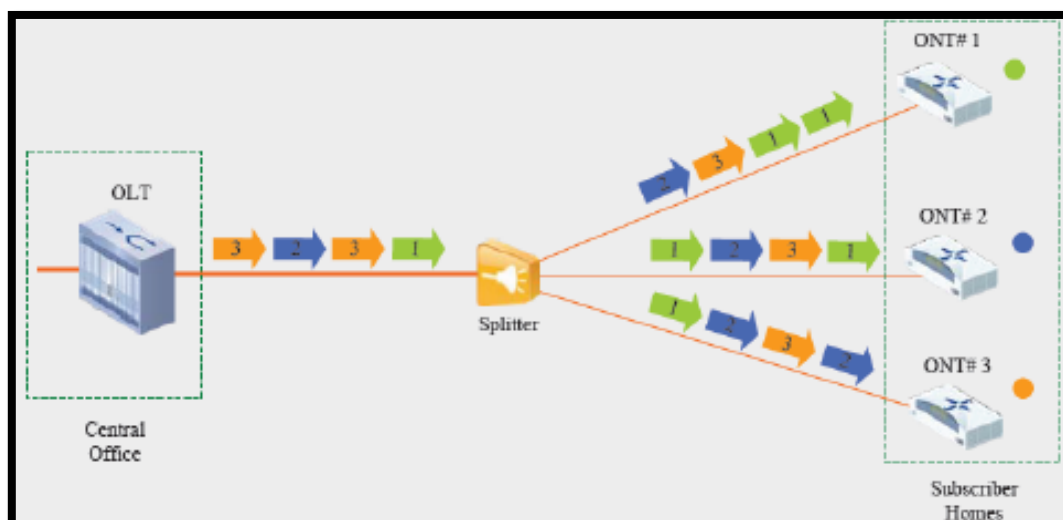


Figura 24: Principio GPON Transmisión Downstream Tipo Broadcast

Fuente: (Villacís, 2013)

El tráfico Downstream es de manera Broadcast desde la OLT hasta todas las ONU's de forma TDM, cada ONU solo debe tener en cuenta las tramas de su destino las cuales se garantiza un cifrado. La trama Downstream consiste de un bloque de control físico PCBd y la partición GEM. La trama Downstream provee una referencia común de tiempo para el PON y provee un control de señalización común para el Upstream.

La duración de la trama GPON es de  $125\mu\text{s}$  para ambas tasas de datos Downstream. La Longitud del PCBd es la misma para ambos y depende de la velocidad y del número de estructuras de asignación por trama. Si no hay datos para el envío, la trama todavía es transmitida y utilizada por el tiempo desincronización.

#### 2.4.3.2. Trama Upstream

El funcionamiento de la Red GPON Upstream se observa en la Figura 25, la ONT toma el tráfico del puerto de usuario y lo mapea en tramas GEM. La forma de realizar la transmisión de los datos es utilizando TDMA por medio de Time Slots asignados por la OLT.

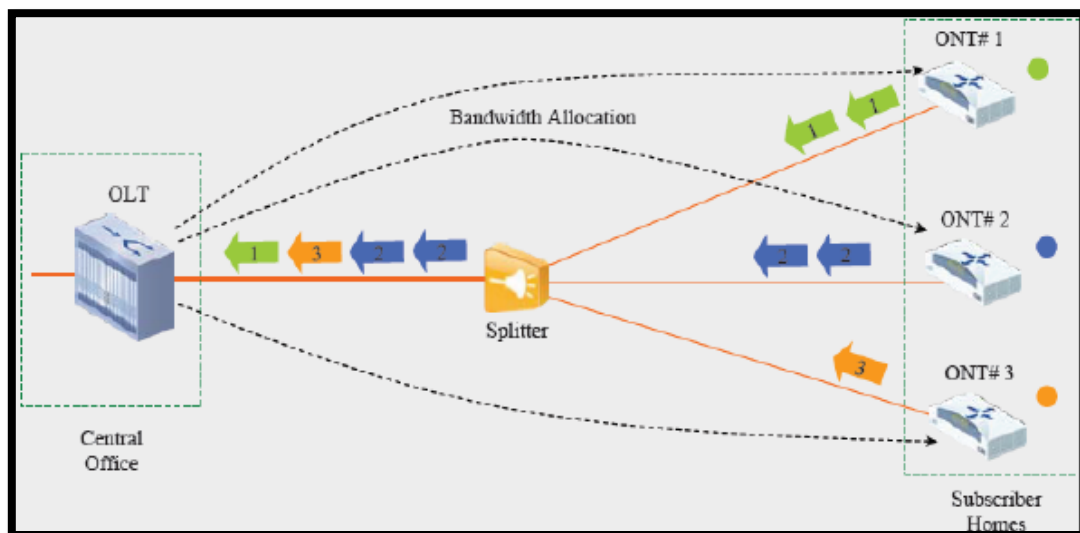


Figura 25: Principio GPON Transmisión Upstream Sincronizado por la OLT

Fuente: (Villacís, 2013)

Por las condiciones de la red en donde la distancia entre las ONT y la OLT no es igual en todas las topologías es necesario evitar las colisiones sincronizando los tiempos de transmisión de las ONT de manera que el máximo tiempo de envío es de 5ms.

El tráfico Upstream utiliza TDMA, bajo el control sobre la OLT situado en la Oficina Central, el cual asigna un time Slot para cada ONU y sincroniza la transmisión de las ráfagas de datos. La trama Upstream consiste de múltiples ráfagas de transmisiones. Cada ráfaga Upstream contiene como mínimo el PLOu. Además de la carga útil, contiene también el PLOAMu, PLSu y DBRu.

#### **2.4.4. Multiplexación De Servicios**

Para que no se produzcan interferencias entre los contenidos en canal descendente y ascendente se utilizan dos longitudes de onda diferentes superpuestas utilizando la técnica WDM. Al utilizar estas longitudes diferentes es necesario, el uso de filtros ópticos para separarlas.

Las redes ópticas pasivas deben estar ajustadas en función de la distancia entre un usuario y la central, el número de Splitters y su atenuación; de tal manera, que el nivel luminoso que reciba cada ONU esté dentro de los márgenes, o bien se ajusta el nivel del láser o la atenuación de los Splitters.

##### **2.4.4.1. Canal descendente**

En canal descendente, una red GPON va desde el OLT hacia el ONU de usuario, en forma de red punto-multipunto donde la OLT envía una serie de contenidos que pasan por los divisores y llegan a las unidades ONU, cuyo objetivo es el de filtrar los contenidos y enviar al usuario sólo aquellos que vayan dirigidos a él. Se utiliza una multiplexación en el tiempo TDM para enviar la información en diferentes instantes de tiempo. (Huidobro J. , 2006).

#### **2.4.4.2. Canal ascendente**

En canal ascendente una GPON es una red punto a punto donde las diferentes ONUs transmiten contenidos a la OLT. Por este motivo también es necesario el uso de TDMA para que cada ONU envíe la información en diferentes instantes de tiempo, controlados por la unidad OLT. Al mismo tiempo, todas las ONUs se sincronizan a través de un proceso conocido como “Ranging” que consiste en medir el tiempo de propagación para cada ONT en particular.

### **2.4.5. Elementos De Una Red GPON**

#### **2.4.5.1. La red de acceso GPON.**

La red de acceso GPON está dividida principalmente en tres partes, el OLT, el cual está interconectado por una ODN a un nodo o un ONT. Como lo detalla (Huidobro J. , 2014) en su libro, una red de acceso óptica pasiva GPON está formada básicamente por:

- Un módulo OLT que se encuentra en el nodo central.
- Una red óptica de distribución ODN compuesta por: cables de fibra óptica, cajas de empalmes, divisores ópticos o Splitters, entre otros elementos de la planta externa.
- Varias ONTs y/o ONUs que están ubicadas hacia el lado del usuario según corresponda.

#### **2.4.5.2. Equipo terminal de línea óptica (OLT)**

La OLT es un elemento activo del cual parten las redes de fibra óptica hacia los usuarios, los OLT tienen una capacidad para dar servicio a miles de consumidores conectados al servicio que se desea prestar.

Este elemento de la red GPON está ubicado en las dependencias del operador, y consta de varios puertos de línea GPON, cada uno soportando hasta 64 ONT. Aunque depende del suministrador, existen sistemas que pueden alojar hasta 7.168 ONTs en el mismo espacio que un DSLAM. (Huidobro J. , 2006).

En la Figura 26 se observa la OLT en el rack.



*Figura 26: OLT en central*

*Fuente: (EXPRESS, 2016)*

La OLT tiene como objetivo la interconexión de la red de acceso con la red backbone a través de las puertas de uplink las cuales se encuentran ubicadas en un slot del OLT. La OLT es el encargado de administrar y sincronizar el tráfico de downstream OLT-ODN-ONT en modalidad TDM, administra el tráfico que se transmite por la red ODN y se replica por todas las puertas de los Splitters que estén asociados a la puerta PON hasta llegar a los ONTs.

De igual manera se encarga de gestionar, sincronizar y administrar el tráfico upstream ONT-ODN-OLT en modalidad TDMA. El OLT cuenta con un chasis, el cual contiene varios slots para la colocación de varias tarjetas. Para objeto de estudio se toma como ejemplo una OLT de marca HUAWEI MA5600T que utiliza la CNT, donde cuenta con tarjetas de diferentes funciones como:

- Tarjeta de ventiladores (fan tray),
- Tarjetas de poder (slots 21 y 22),
- Tarjetas de gestión y control (slot 9 y 10),
- Tarjetas de uplink (slots 19 y 20),
- Tarjetas de servicios (slots 1 al 8 y 11 al 16)
- Tarjetas de 16 x E1s para tráfico de telefonía (slots 17 y 18).





La transmisión en la ODN es bidireccional pudiéndose emplear la misma fibra para el tráfico ascendente y descendente o una fibra por separado para cada uno de ellos. En el primer caso deben emplearse banda de longitudes de onda diferentes, utilizándose la banda de 1530-1570 nm para el tráfico descendente y la banda de 1280-1340nm para el ascendente. (Huidobro J. , 2006)

La ODN está compuesta por los siguientes elementos en forma general:

- Patchcord de fibra entre la OLT y el ODF.
- El ODF.
- Cables de Fibra Óptica FEEDER que están asociados a la red GPON.
- Splitters primarios.
- Cables de DISTRIBUCIÓN.
- Splitters secundarios si el nivel de atenuación lo permite.
- Cables de acometida o cables DROP.
- Cajas terminales.
- Roseta óptica.
- Patchcord de fibra entre la roseta óptica y la ONT.

#### **2.4.5.3.1. ODF (Optical Distribution Frame)**

Es un elemento pasivo de la red de acceso que consiste en una bandeja que permite la conexión de un segmento de fibra a la OLT, su función principal es la de organizar y distribuir los hilos de fibra con el fin de su fácil acceso y mantenimiento.

#### **2.4.5.3.2. Cable Feeder**

El cable FEEDER corresponde al cable, o grupo de cables que contienen un filamento de fibra óptica que interconecta las puertas PON de la OLT con las puertas de entrada del Splitter primario. Este cable puede formar un anillo FEEDER cuando en las entradas del Splitter

primario existe una puerta destinada a un cable de respaldo. Generalmente este cable es de una capacidad de 144 hilos. La distancia máxima de cable feeder (entre OLT y Splitter Primario) quedará definida por el cálculo del Link Budget. Se recomienda para una red nueva hasta 3 empalmes en su extensión, en la práctica la red existente puede presentar mayor número de empalmes.

#### **2.4.5.3.3. Cable De Distribución**

El cable de distribución corresponde al cable que contiene un filamento de fibra óptica que interconecta un Splitter primario con un Splitter secundario en caso de existir, en el caso de no existir, interconecta un Splitter primario con una caja de distribución.

#### **2.4.5.3.4. Divisores Ópticos**

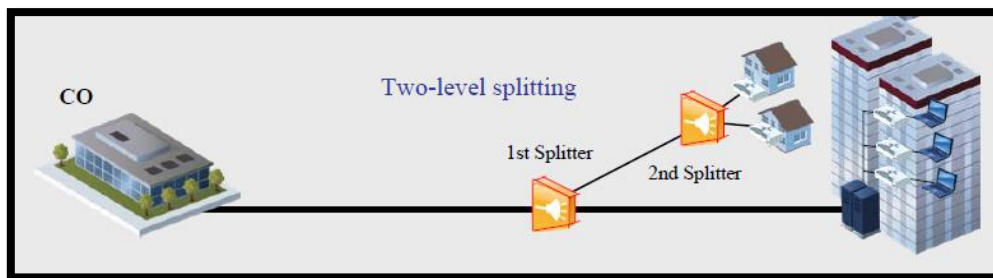
Son los elementos más importantes dentro de la ODN, en esencia son dispositivos pasivos que dividen la señal óptica, es decir, los Splitters replican por sus salidas la señal óptica que ingresa. Dentro de la ODN introducen niveles de atenuación que se incrementan a medida que la cantidad de salidas aumenta. Los splitters se ubican teniendo en cuenta dos factores:

- **La relación división/eficiencia de desarrollo:** Es recomendable dejar preparada la red para el surgimiento de futuras adaptaciones de esta tecnología.
- **La relación división/atenuación:** De tal manera que no se pierda la señal por las excesivas atenuaciones.

Se puede diferenciar el tipo de arquitectura dependiendo de la forma cómo estén distribuidos los splitters en: distribuidos y centralizados. Para ambos tipos de arquitectura la normativa técnica de diseño de ODN de La CNT E.P. (CNT E.P., Normativa de diseño de la ODN., 2014) recomienda ubicar el primer divisor óptico lo más cerca del cliente, minimizando de esta manera el número fibras por kilómetro en la ODN lo cual se refleja en una reducción de la inversión de cable, además de simplificar el diseño de la red.

## Divisores Ópticos Distribuidos.

En esta configuración se tienen MxN usuarios producto de los dos niveles de splitteo por el que pasa la fibra desde que sale de la OLT hasta que llega a los abonados. El primer nivel de splitters se ubica en los armarios de distribución y tienen una relación 1: N; el segundo nivel de splitters tiene relación 1:M y se instala en cajas terminales de las cuales salen fibras que llegan a la NAP para luego salir por M acometidas hasta las casas de los usuarios. En la Figura 29 se observa un diseño de Divisores Ópticos Distribuidos.



*Figura 29: Splitter Distribuidos*

*Fuente: (Lattanzi & Graf, 2015)*

### Ventajas

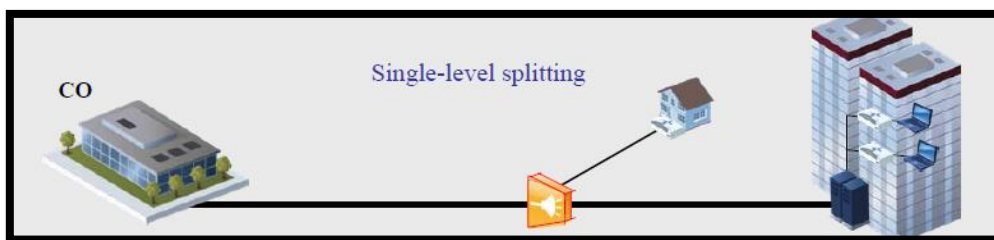
- Ideal para aquellas zonas que presenten una alta tasa de penetración de servicios por área de cobertura.
- Permite atender rápidamente las demandas a nuevos servicios ya que la red diseñada deja puede dejar armada hasta la NAP.
- Menores costos de despliegue por abonado; esto se debe a los bajos costos al momento de adquirir el cable de F.O. debido a la baja capacidad de la fibra que se necesita para llegar hasta la NAP.

## Desventajas

- Existe menor eficiencia en el uso de puertos PON, además debido a la elevada inversión de elementos de la red y de puertos PON que se requieren, no es conveniente que se utilice esta topología en áreas que tengas bajas tasas de penetración de servicios.
- Se tienen más puntos probables de fallas ya que número de puntos de conexión donde también se introducen pérdidas ópticas. Es necesario controlar que admite la red.

## Divisores Ópticos Centralizados.

Se tiene solo un nivel de splitters con una relación 1: N. De cada puerto sale una fibra que alimenta un splitter, ubicado en un armario óptico, con N fibras que llegan a las NAP que darán servicio a cada abonado. Un solo nivel de Splitter facilita el mantenimiento y las pruebas de campo. En la Figura 30 se observa un diseño de Divisor Óptico Centralizado.



*Figura 30: Splitter Centralizado.*

*Fuente: (Lattanzi & Graf, 2015)*

## Ventajas

- Debido a que cada casa es atendida de acuerdo al requerimiento de servicios, se recomienda utilizar esta topología en sectores con medianas y bajas tasas de penetración de servicios a brindar respecto a la densidad de viviendas de la zona a atender.
- Al tener un solo nivel de división óptica, se reduce la inversión inicial por el hecho de requerir una menor cantidad de splitters.

- Existen menores puntos de fallas resultado de tener menos puntos de conexión y por lo tanto existen también menores pérdidas ópticas.
- La red es más flexible en cuanto a crecimiento de ancho de banda ya que de existir una mayor demanda, es necesario solamente cambiar los splitters por otros de menor relación de división.

#### Desventaja

- Se tiene mayores costos de despliegue por abonado; esto se debe a que es necesario realizar una mayor inversión al adquirir el cable de fibra porque se debe prever el número de fibras de acuerdo al número de clientes que se requiera atender.

#### **2.4.5.3.5. Cable Drop o Última Milla**

Cable de fibra óptica para acometida desde caja de distribución óptica: Longitud máxima 300 metros en cable nuevo.

#### **2.4.5.4. Equipo terminal de red óptica (ONT)**

La ONT es el elemento que se sitúa en la casa del usuario donde termina la fibra óptica y ofrece las interfaces del usuario. Las ONT deben estar fabricadas de manera tal que soporten las peores condiciones ambientales y generalmente vienen equipadas con baterías.

Existe una gran variedad de ONTs que están en función de los servicios que se quiera brindar al usuario entre otros se puede citar:

- **Interfaces de Fast-Ethernet** que alcancen velocidades hasta 100Mbps, generalmente para consumidores residenciales, ofreciendo servicios de TV e Internet.
- **Interfaces de Gigabit-Ethernet** que alcanzan velocidades hasta de 1Gbps usadas para servicios empresariales.
- **Interfaces E1 o STM-1** específicos para brindar servicios corporativos.

Debido que no existe interoperabilidad total entre la OLT y ONT GPON, los fabricantes de estas deben ser los mismos para que exista compatibilidad entre sí. En las arquitecturas FTTN (Fibra hasta el Nodo) las ONT son sustituidas por ONU, que ofrecen habitualmente VDSL2 hasta las casas de los abonados, reutilizando así el par de cobre instalado, pero, a su vez, consiguiendo las mínimas distancias necesarias para alcanzar velocidades simétricas de hasta 100 Mbps por abonado.

Los elementos que conforman la ONT son similares a los bloques constructivos de la OLT, ya que la ONT funciona con una única interfaz PON, se omite la función de conexión cruzada, para el manejo del tráfico se añade la función MUX y DMUX. En la Figura 31 se observa una ONT de marca HUAWEI.



*Figura 31: ONT, EQUIPO HUAWEI*

*Fuente: (Alibaba., 2012)*

#### **2.4.5.5. Equipo unidad de red óptica (ONU)**

Es un importante elemento que a diferencia de las ONTs ofrecen servicio a múltiples usuarios. Existen varios tipos de ONU's entre la que se destaca:

La ventaja fundamental que presentan estos frente a los ONTs es que permiten aprovechar las redes de cobre existentes. Las desventajas que tienen son las mismas que presentan la tecnología xDSL. xDSL define una serie de tecnologías que permiten el acceso a internet de

banda ancha mediante es uso de una línea de cobre, y a la vez, para el uso simultaneo de la línea telefónica.

## 2.5. Arquitecturas De Red FTTX (Fiber To The X)

Ulloa afirma que “en las arquitecturas FTTx se agrupan una serie de técnicas de acceso basadas en el empleo de la fibra óptica hasta la proximidad del usuario. Los integrantes de esta familia se basan fundamentalmente en el grado de proximidad alcanzado.” (Ing. Ulloa, 2013)

### 2.5.1. Topología

La sección óptica de un sistema de red de acceso local puede ser activa o pasiva y su arquitectura puede ser punto a punto o punto a multipunto como se mencionó anteriormente.

En la Figura 32 se observa un resumen de las tecnologías FTTx.

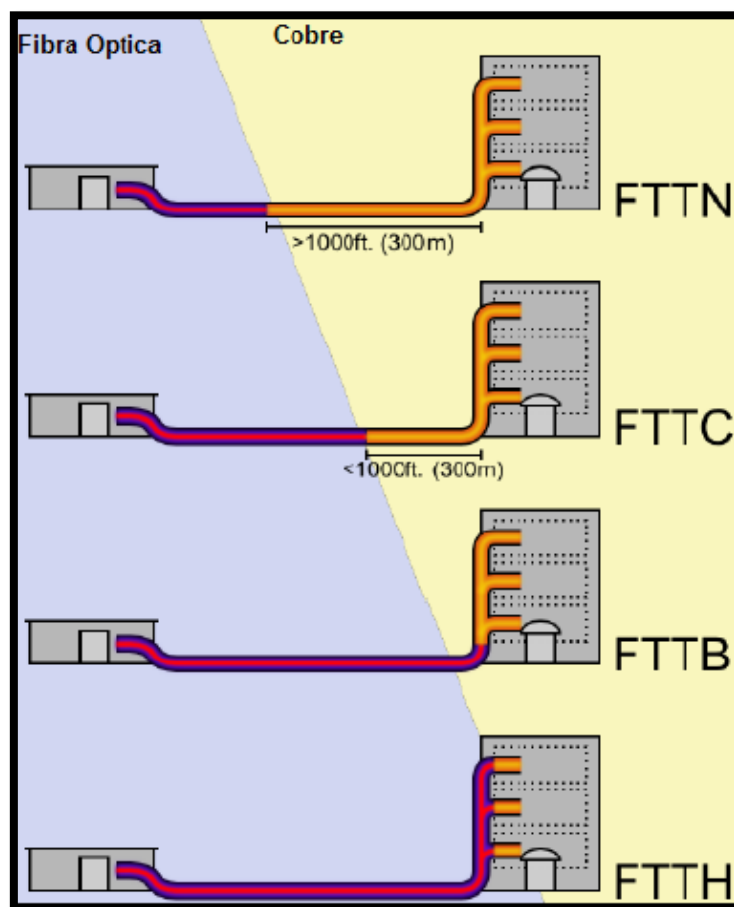


Figura 32: FTTx Topologías

Fuente: (Udunuwara, A, 2013)



## 2.5.2. Medio De Transmisión - Fibra Óptica

### 2.5.2.1. Composición

En cuanto a la composición del cable de fibra, hay tres posibilidades:

- Núcleo de plástico y cubierta plástica
- Núcleo de vidrio con cubierta de plástico
- Núcleo de vidrio y cubierta de vidrio

### 2.5.2.2. Tendido del cable de fibra óptica

Se tienen dos opciones principales:

- **Canales subterráneos:** a través de ductos los cuales deben ser construidos a lo largo de todo el trayecto que recorrerá la fibra.
- **Tendido aéreo:** a través de postes.

Como lo detallan en su libro (Keiser, Hoboken, & Wiley, 2006) el tendido subterráneo de la fibra implica una serie de complicaciones como la construcción de los ductos en todo o gran parte del recorrido de la fibra, además de los requisitos previos para la construcción como pueden ser permisos de acceso, construcción y los costos adicionales que surgen de esta actividad sin olvidar los inconvenientes de tipo geográfico que pueden aumentar la complejidad en la construcción de las rutas de ducterías (ríos, quebradas, etc.).

Al utilizar estructuras que permitan el tendido aéreo de la fibra, se tiene la ventaja de la existencia de postes a lo largo del recorrido del cable.

### 2.5.3. Clasificación Tecnología FTTX

Una red FTTx puede adoptar dos configuraciones: P2P (Point to Point) y PON. La configuración punto a punto utiliza dos hilos de fibra óptica, uno para la transmisión y otro para la recepción, por lo que no es muy atractivo y desperdicia recursos.

La configuración PON por su parte, llega con una sola fibra hasta el usuario final, por lo que su costo se reduce y es más eficiente. Las redes FTTx permiten que los operadores de telecomunicaciones oferten servicios convergentes, ya que garantizan un gran ancho de banda y por lo tanto altas capacidades de transmisión. A continuación, se describen los modelos más comunes para redes FTTx detallados en el libro de (Keiser, Hoboken, & Wiley, 2006) :

### 2.5.3.1. FTTH (Fiber To The Home)

La fibra óptica llega hasta el hogar del abonado. Utiliza una configuración en estrella lo que permite brindar un mayor ancho de banda a cada usuario. Se pueden utilizar Splitters, lo importante es que se cumpla con el principio fundamental de tener una fibra en la central de telecomunicaciones y varias fibras del lado del usuario.

Para transmitir la información se utiliza multiplexación por división de longitud de onda o WDM, con lo que se alcanzan altas capacidades de transmisión. En la Figura 33 se observa una arquitectura FTTH.

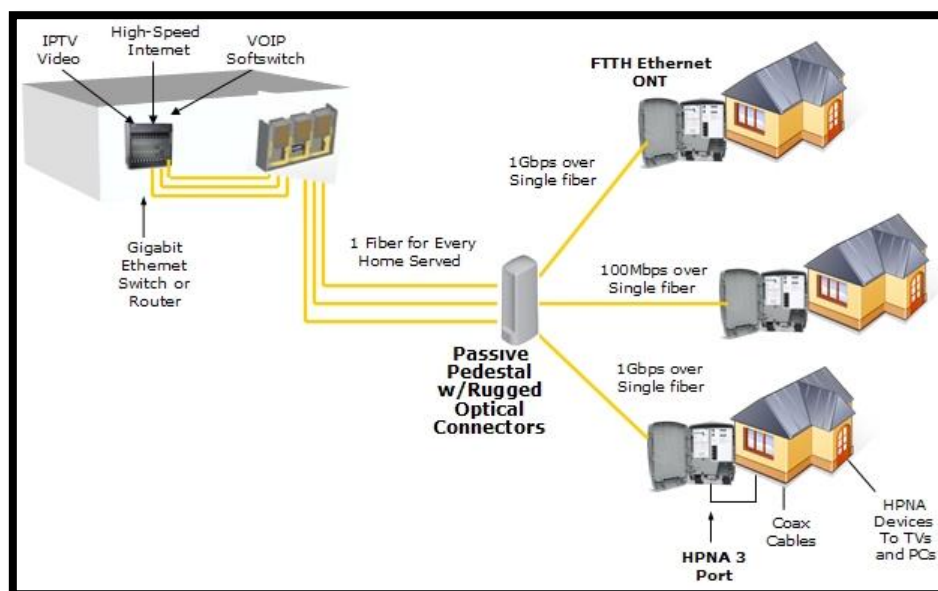
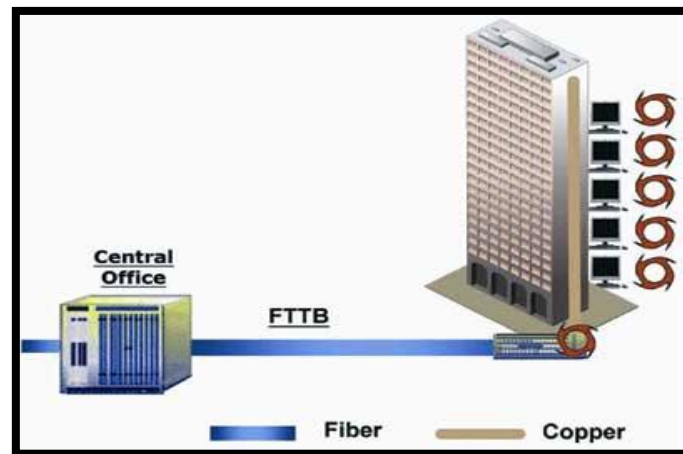


Figura 33: FTTH.

Fuente: (Ready Links, 2014)

### 2.5.3.2. FTTB (Fiber To The Building)

La red de fibra llega hasta la entrada del edificio comercial o residencial. El acceso a la red por parte de los usuarios internos se lo realiza por medio de una red de cobre con cableado estructurado. En la Figura 34 se observa una arquitectura FTTB.

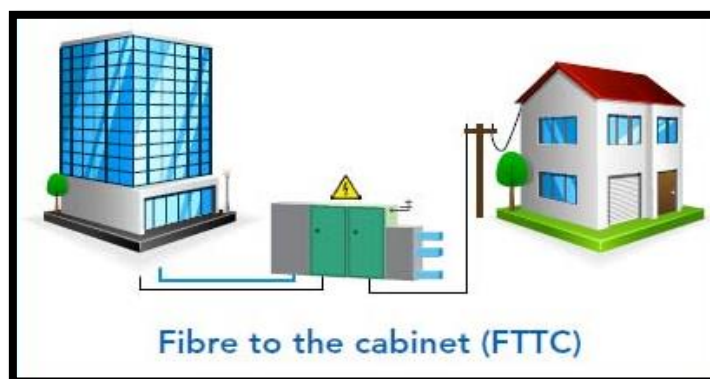


*Figura 34: FTTB.*

*Fuente: (SPINT., 2016)*

### 2.5.3.3. FTTC (Fiber To The Cabinet)

Es utilizada comúnmente para interconectar edificios, en donde un armario sirve a varios usuarios. La fibra llegará hasta este armario, y a partir de él, se utilizará cobre. En la Figura 35 se observa una arquitectura FTTC.



*Figura 35: FTTC*

*Fuente: (DORSET SUPERFAST., 2016)*

### 2.5.3.4. FTTN (Fiber To The Building)

La fibra va desde la oficina central hasta el nodo más cercano al usuario. Sin embargo, esta distancia puede ser relativamente larga. A partir del nodo y hasta llegar al usuario final, el medio de transmisión será el cobre. (Keiser, Hoboken, & Wiley, 2006). En la Figura 36 se observa una arquitectura FTTN.

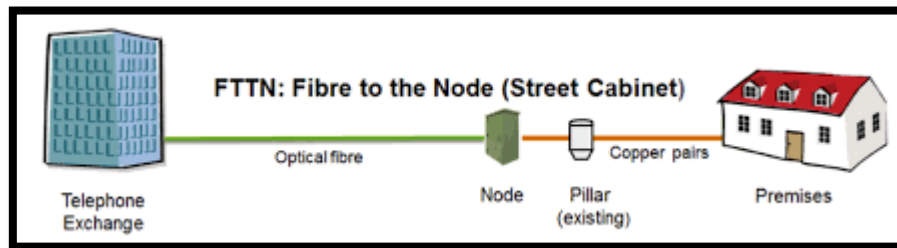


Figura 36: FTTN.

Fuente: (National Broadband Network, 2014)

Resumen de las 4 tecnologías se detalla en la Figura 37:

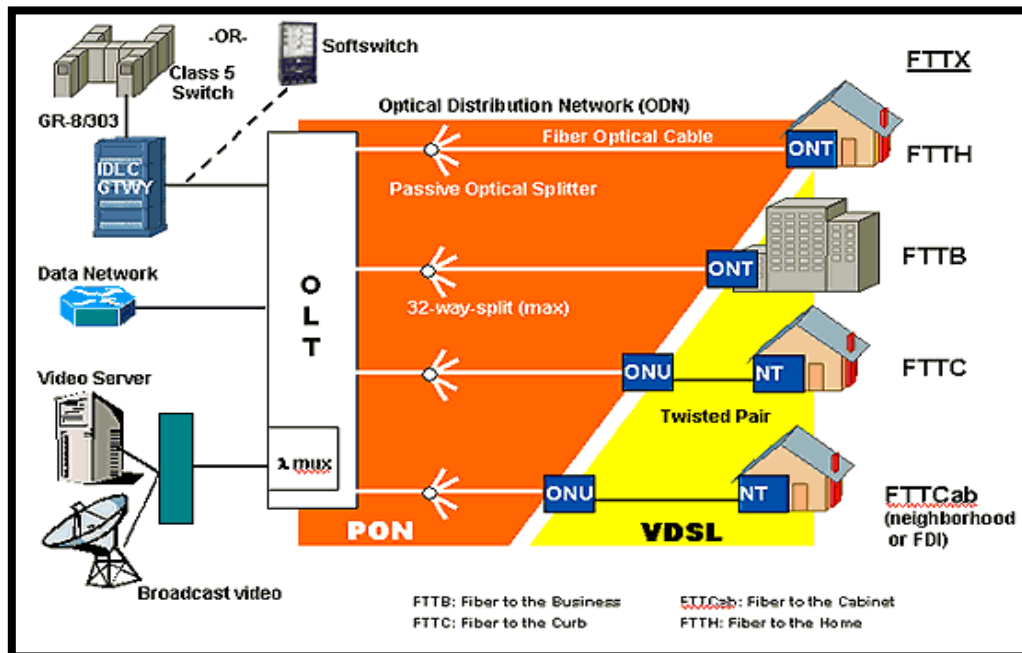


Figura 37: FTTx

Fuente: (FTTx SOLUTION, 2016)

En la Figura 38 se muestra ejemplos de tecnologías FTTC, FTTB, y FTTH.

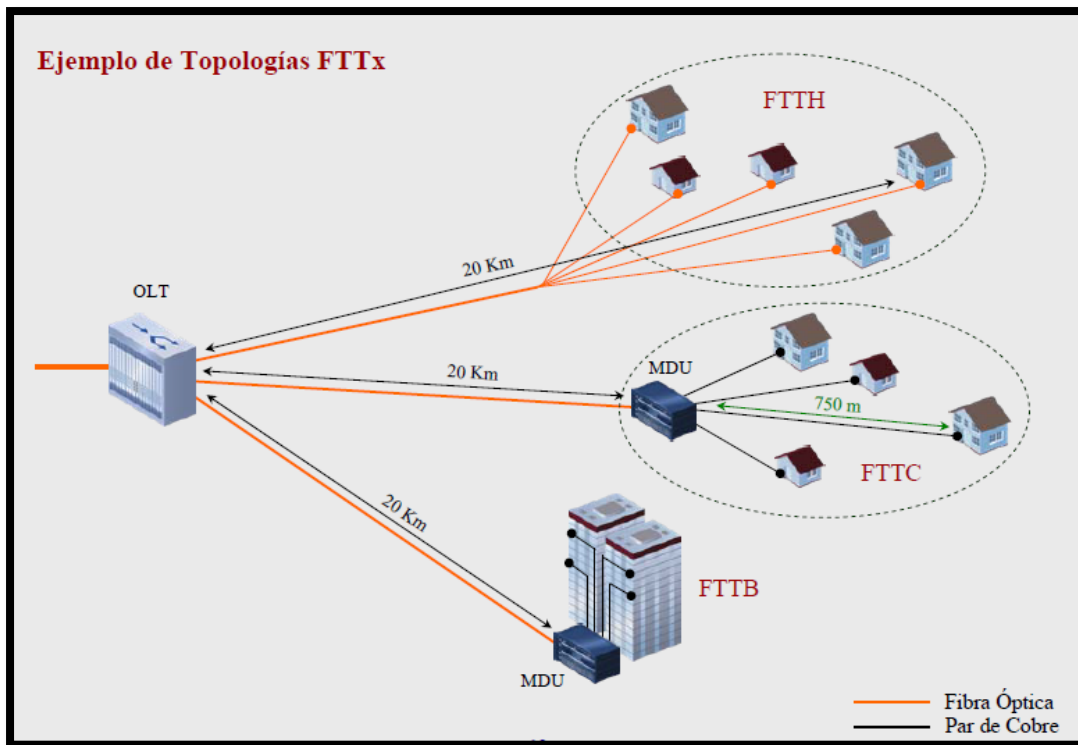


Figura 38: Ejemplos de topologías FTTx

Fuente: (Lattanzi & Graf, 2015)

## 2.6. Consideraciones Para El Diseño De La Red

### 2.6.1. Parámetros Y Criterios De Diseño De La ODN

#### 2.6.1.1. Caja Óptica de Distribución Terminal (NAP)

Como primer paso se recomienda limitar geográficamente la zona a la que se va a dar servicio y definir cuál va a ser el área de atención de cada NAP tratando de que ésta quede en el centro del sector a atender. Las reservas deben dejarse en las cajas terminales, el objetivo es poder servir a un cliente futuro que no esté considerado en el diseño actual.

#### 2.6.1.2. Armario de Distribución

Para definir la ubicación geográfica de los distintos centros de distribución, es necesario tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Quedar en las proximidades del centro geográfico de los servicios a atender.
- Instalarse en lugares donde el espacio físico lo permita. En caso de que el centro de distribución sea subterráneo se debe prever la ubicación de una cámara que pueda contenerlo.
- Ubicarse próxima a la canalización que llevará el cable troncal.
- Tener posibles rutas para los cables de distribución.

En este punto es posible dejar reservas en los splitters del primer nivel con el fin de poder satisfacer algún futuro splitter de segundo nivel.

#### **2.6.1.3. Red de Distribución**

Es necesario definir el recorrido que tendrán los cables de esta red en función de:

- Infraestructura existente.
- Para nueva infraestructura deben tenerse en cuenta las características geográficas del área, así como las ordenanzas municipales existentes.
- Para canalizaciones nuevas, es recomendable dejar ductos de reserva para el tendido de futuros cables.

Los cables de distribución deben dimensionarse de tal manera que contenga una cantidad de fibras suficiente para atender a la totalidad de los servicios. Se tiene la opción de sobredimensionar la capacidad de los cables con el objetivo de tener una reserva en el caso de que en el futuro la demanda requiera que se cambien los splitters de segundo nivel por otros de menor capacidad, lo que conllevaría a la necesidad de que la red de distribución sea capaz de soportar una mayor cantidad de fibras.

#### **2.6.1.4. Red Troncal**

A manera de protección, este cable debe llegar de manera canalizada hasta la ubicación del distribuidor óptico y la OLT, para ello se debe tratar de utilizar infraestructura existente

con el fin de reducir la inversión, sin embargo, en caso de tener que construir canalizaciones nuevas, es indispensable dejar ductos libres a manera de reserva para el tendido de nuevos cables. Además, se valida la opción de dejar reservas de fibras en caso de que la demanda de ancho de banda requiera cambiar los splitters de primer nivel por otros de menor capacidad.

### 2.6.2. Presupuesto Óptico

El presupuesto óptico es el margen dinámico en un enlace de fibra óptica, es la diferencia entre la potencia que emite el transmisor y la sensibilidad del receptor, se lo mide en dB. El presupuesto óptico se encarga de determinar la cantidad de potencia óptica que se tiene disponible para que funcione un enlace sin que el servicio colapse. Por supuesto, se tiene muy en cuenta las pérdidas que habrá en el camino entre el transmisor y el receptor.

Una de las primeras tareas que debe realizarse al diseñar redes de fibra óptica es evaluar el presupuesto óptico aceptable para obtener un diseño de red que satisfaga las necesidades y requerimientos de los abonados. *Las pérdidas de atenuación que se produzcan durante la transmisión no deben superar el presupuesto óptico.* Según la guía FTTH PON de EXFO (EXFO, 2014), para caracterizar correctamente el presupuesto óptico se consideran generalmente los siguientes parámetros principales:

- **Transmisor:** potencia de lanzamiento, temperatura y envejecimiento.
- **Conexiones de fibra:** divisor, conectores y empalmes.
- **Cable:** pérdida de fibra y efectos de temperatura.
- **Receptor:** sensibilidad del detector.
- **Otros:** margen de seguridad y reparaciones

El cálculo óptico debe ser una de las primeras cosas a verificar antes de cualquier implantación y se considera una actividad obligatoria para garantizar que la clase del sistema seleccionado sea compatible con la topología que se implantará. Si, por ejemplo, se diseña un

sistema con los elementos indicados en la Tabla 3 y si la potencia de lanzamiento del transmisor a 1310 nm es 4 dBm con una sensibilidad de receptor de  $-28$  dBm, se obtendría un presupuesto óptico de 32 dB. (EXFO, 2014)

Tabla 3: Ejemplo Tabla de Presupuesto de Pérdida

	Pérdida típica [dB]	Número/Longitud	Pérdida total [dB]
Divisor (1:32)	~ 16 - 17	1	17
Acoplador WDM (1:2)	~ 0,7 - 1,0	1	1
Empalme (fundido)	~ 0,02 - 0,05	4	0,2
Conector (APC)	~ 0,2	2	0,4
<b>Fibra G.652C</b>			
1310 nm	~ 0,35/km	18,2 km	6,4
1490 nm	~ 0,27/km		4,9
1550 nm	~ 0,20/km		3,6
<b>Presupuesto de pérdida total</b>			
1310 nm			25,0
1490 nm			23,5
1550 nm			22,2

Fuente: (EXFO, 2014)

En este caso el presupuesto de pérdidas es de 25 dB y no sobrepasa el presupuesto óptico de 32 dB, por lo que el desempeño de la red es óptimo. Los cálculos se los realiza de la siguiente manera:

- Presupuesto Óptico= (Potencia Lanz. Tx) - (Sensibilidad. Receptor)
- Presupuesto Óptico=(4dBm) - (-28dBm)
- Presupuesto Óptico= 32 dB

La pérdida total medida durante la implantación de la red no debe superar el presupuesto óptico establecido en el diseño del sistema y debe tener suficiente margen para permitir cualquier fluctuación de pérdida que pueda producirse durante el ciclo de vida del sistema.

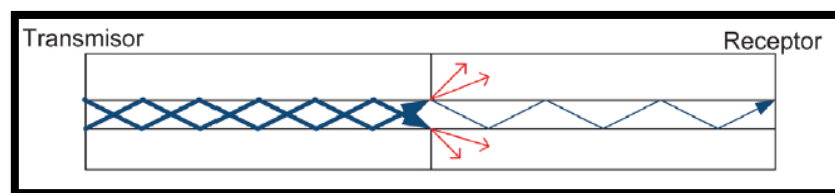


En este punto se considera la siguiente pregunta: *¿Qué puede afectar al presupuesto óptico?*, la ODN está formada por varios elementos que contribuyen a la pérdida general de un sistema. En teoría, considerar la pérdida de inserción de cada elemento debería ser suficiente para garantizar que el presupuesto de pérdida se respetará una vez realizada la implantación. Lamentablemente, esto no siempre es así en la práctica.

Se considera dos tipos de pérdidas de potencia:

### 2.6.2.1. La pérdida de inserción (IL)

Es el incremento en la atenuación causado por la introducción de un par de conectores o un componente pasivo como el Splitter, en un enlace de fibra óptica. Se perderá una determinada cantidad de señales en cada punto. En la Figura 39 se observa un ejemplo de pérdida de inserción.



*Figura 39: Pérdida por Inserción.*

*Fuente: (EXFO, 2014)*

Las atenuaciones más comunes son las siguientes:

- **Atenuación por distancia en la Fibra Óptica**
- **Atenuación en los conectores**
- **Atenuación en los empalmes**
- **Atenuación por Splitters**

En la Tabla 4 se muestra la atenuación para cada relación de Splitteo según la Recomendación UIT-T G.671 (UIT-T, Recomendación G.671, 2012).

Tabla 4: Atenuación por relación de Splitteo.

División óptica	Atenuación Máxima	Atenuación Mínima
1:2	-4.2 dB	-2.6 dB
1:4	-7.8 dB	-5.4 dB
1:8	-11.4 dB	-8.1 dB
1:16	-15.0 dB	-10.8 dB
1:32	-18.6 dB	-13.1 dB
1:64	-22.8 dB	-15.7 dB

Fuente: (UIT-T, Recomendación G.671, 2012)

Y en la Tabla 5 se muestra las atenuaciones por los distintos elementos según la recomendación UIT-T G.984.2 (UIT-T, Recomendación UIT-T G.984.2, 2008).

Tabla 5: Valores de atenuación por elementos

Elemento	Atenuación
Fibra óptica 1310nm (Km)	-0.4 dB
Fibra óptica 1550nm (Km)	-0.3 dB
Empalme por fusión	-0.1~ 0.2 dB
Empalme mecánico	-0.5 dB
Perdidas inserción (Conector)	-0.3 ~ -0.5 dB
FEC	2 dB
Margen guarda	-3 dB

Fuente: (UIT-T, Recomendación UIT-T G.984.2, 2008)

#### 2.6.2.2. La pérdida de retorno óptico (ORL)

Es la relación de la potencia óptica de transmisión respecto a la potencia óptica reflejada. Al inyectarse luz en un componente de fibra óptica, como por ejemplo un conector, un multiplexador o en la misma fibra, una parte de la energía se transmite, otra se absorbe y otra se refleja. La luz total que regresa, es decir, que se refleja, es lo que se denomina ORL. En la Figura 40 se observa un ejemplo de pérdida de retorno óptico.

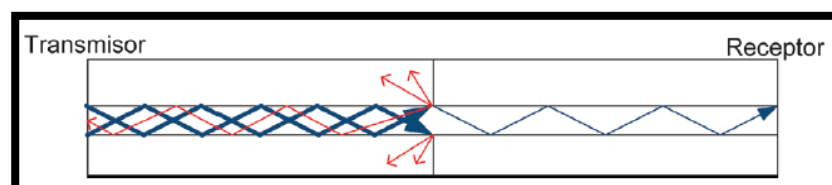


Figura 40: Pérdida de Retorno Óptico

Fuente: (EXFO, 2014)

Existen dos efectos fundamentales que provocan ORL.

**El primero es el efecto de dispersión Rayleigh;** sobre todo la parte que regresa al punto de origen, conocida como retrodispersión.

**El segundo efecto consiste en reflexiones de Fresnel,** que son pequeñas partes de luz que se reflejan cuando la luz viaja por materiales de distintos índices de reflexión.

El presupuesto óptico varía dependiendo de la clase de red GPON que se utilice en el diseño, como se muestra en la Tabla 6, según las normas UIT-T G.984.2 (UIT-T, Recomendación UIT-T G.984.2, 2008), el rango de atenuación para cada clase de red son los siguientes:

*Tabla 6: Rangos de Atenuación Óptica*

<b>Clase</b>	<b>Rango De Atenuación Óptica</b>
GPON CLASE A	5-20 dB
GPON CLASE B	10-25 dB
GPON CLASE C	15-30 dB
<b>GPON CLASE B+</b>	<b>13-28 dB</b>
GPON CLASE C+	17-32 dB

*Fuente: (UIT-T, Recomendación UIT-T G.984.2, 2008)*

Por lo general en la mayoría de las redes GPON se utiliza las de CLASE B+, además también ésta es la sugerida en la normativa CNT. E.P., por lo tanto, a continuación, en la Tabla 7 se presentan los parámetros ópticos de ésta clase B+.

*Tabla 7: Parámetros Ópticos GPON Clase B+*

<b>Parámetros interfaz GPON B+</b>	<b>ONT</b>	<b>OLT</b>
Mínima potencia media inyectada	+0,5 dBm	+1,5 dBm
Máxima potencia media inyectada	+ 5 dBm	+5 dBm
Mínima sensibilidad	-27 dBm	-28 dBm
Mínima sobrecarga	-8 dBm	-8 dBm
Degradación óptica (descendente)	0.5 dB	0.5 dB

*Fuente: (García, 2014)*



### **Capítulo III**

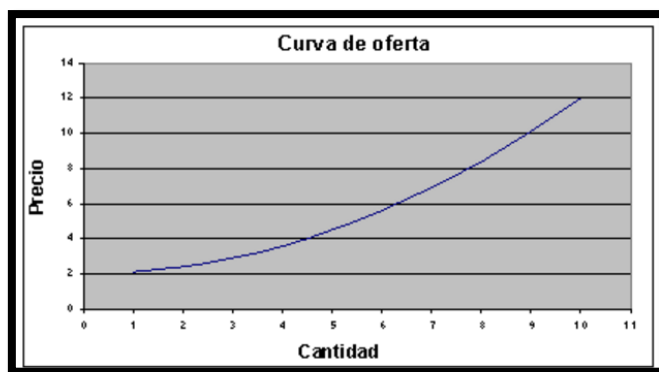
#### **3. Análisis De La Demanda Actual Y Futura**

Un mercado se define por las características de la demanda de los usuarios por un determinado servicio. Albert Recio afirma en su libro *Economía Crítica: Trabajo, Personas, Mercados*, que “la demanda de mercado es la cantidad total de compras de un servicio que pueden ser realizados por un determinado grupo demográfico o una zona geográfica concreta.” (Recio, 1997). En otras palabras, un mercado es el lugar en que se relacionan las fuerzas de la oferta y la demanda para realizar las transacciones de bienes y servicios a un determinado precio. Una parte fundamental del análisis de la demanda es determinar el tamaño del mercado, lo que hará posible determinar si la empresa necesita incentivar el interés del consumidor de un determinado grupo demográfico para generar negocio o impulsar diferentes mercados.

Partiendo de las definiciones anteriores, el siguiente análisis tiene como objetivo determinar la situación actual de la demanda de mercado de ancho de banda en el cantón Antonio Ante, análisis que se lo realizó mediante un muestreo aleatorio simple para verificar los datos mediante encuestas realizadas a los usuarios de los servicios de telecomunicaciones de telefonía fija, Internet y televisión por cable o satelital. Posteriormente se determinó la demanda proyectada y se realizó un análisis para establecer si la red actual abastecerá los requerimientos de los usuarios en un largo plazo.

##### **3.1. Oferta y Demanda**

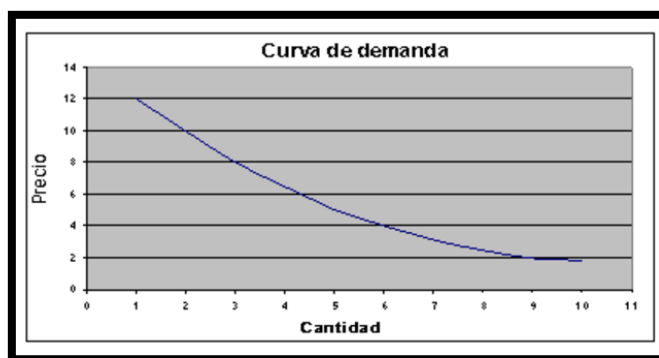
La oferta y la demanda interactúan de manera conjunta en el proceso de mercados, de esta manera se logra determinar la cantidad que se produce de cada bien o servicio y el precio al que debe venderse. La oferta es la cantidad de servicios ofrecidos en el mercado, como lo podemos apreciar en la Figura 41, ante un aumento en el precio de un bien, la cantidad ofrecida de ese bien va a ser mayor, es decir aumenta la cantidad ofrecida.



*Figura 41: Curva de la oferta*

*Fuente: (Subgerencia Cultural del Banco de la Republica, 2015)*

Por el contrario, la demanda es la cantidad de servicios que el cliente intenta adquirir en el mercado, al aumentar el precio de un servicio la demanda de éste disminuye, este efecto lo observamos en la Figura 42.



*Figura 42: Curva de la demanda*

*Fuente: (Subgerencia Cultural del Banco de la Republica, 2015)*

La evaluación de la demanda de mercado es una de las formas más importantes utilizadas por las empresas para decidir qué productos vender y cómo hacerlo, influyendo directamente en las estrategias de comercialización. La medida correcta de la demanda de mercado es muy importante pues permite establecer el ritmo de producción, distribución y precio. La forma más habitual de evaluar la demanda para un grupo demográfico dado es realizando un análisis estructurado de demanda de mercado. Básicamente este proceso busca la identificación de

consumidores que se sienten atraídos por el producto o servicio estudiado lo suficiente como para comprarlo.

Por tal motivo se establece el análisis de la demanda de banda ancha en el cantón Antonio Ante como una estrategia fundamental y con la finalidad de efectuar un diseño óptimo es primordial una exitosa estimación de la demanda actual y una proyectada.

### 3.2. Delimitación Del Área De Cobertura

El cantón Antonio Ante se encuentra ubicado en el norte del país específicamente en la provincia de Imbabura. La provincia tiene una ubicación estratégica pues se encuentra ubicada a 60 Km de Quito, capital de la república, y a 100 Km de la frontera con Colombia. (GADM Antonio Ante, 2016)

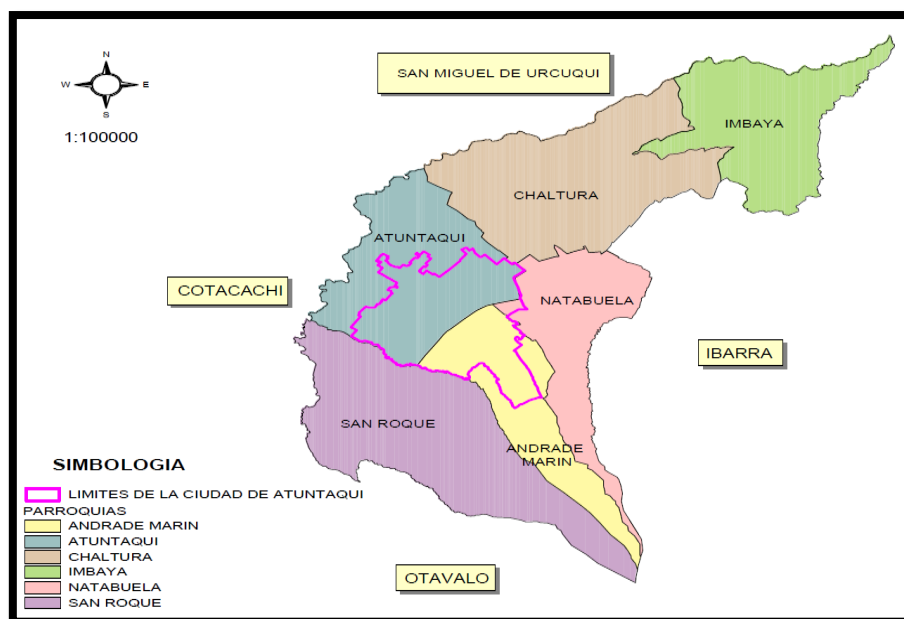
El cantón Antonio Ante se localiza en el centro de la provincia de Imbabura, y su cabecera cantonal es Atuntaqui. Según la página oficial del cantón, éste posee una superficie de 79 Km<sup>2</sup> (GADM Antonio Ante, 2016) y una población de 43.518 habitantes basada en el último censo de 2010. (INEC, Instituto Nacional de Estadísticas Y Censos, 2010). El cantón Antonio Ante está conformado por 6 parroquias, de las cuales 2 son urbanas y 4 son rurales. Las parroquias se las detalla a continuación en la Tabla 8.

*Tabla 8: Parroquias Antonio Ante*

<b>URBANAS</b>	• Atuntaqui
	• Andrade Marín
<b>RURALES</b>	• Imbaya
	• Chaltura
	• Natabuela
	• San Roque

*Fuente: GAD Antonio Ante*

La ubicación de todas las parroquias se las observa en la Figura 43:



*Figura 43: División Política del Cantón Antonio Ante*

*Fuente: (SIISE 3.5 , 2015)*

El cantón Antonio Ante es el de menor extensión territorial en la provincia de Imbabura con 79 Km<sup>2</sup>, lo que significa el 1.8% de la provincia de Imbabura según el censo del Sistema de Indicadores Sociales del Ecuador del 2015 (SIISE 3.5 , 2015), pero su población representa el 10.5% de Imbabura.

Según datos obtenidos del Ministerio Coordinador de Desarrollo Social (SIISE 3.5 , 2015) la población crece a una tasa del 2.5% anual, superior a la nacional que es de 2.1% y a la de Imbabura que tiene 2.3%, lo que la ubica como la segunda ciudad en dinámica poblacional de la Provincia, después de Otavalo con un 4.29%. Según el INEC, la población rural de Antonio Ante es de 22.232 habitantes, ligeramente superior a la urbana que posee 21.286 habitantes.



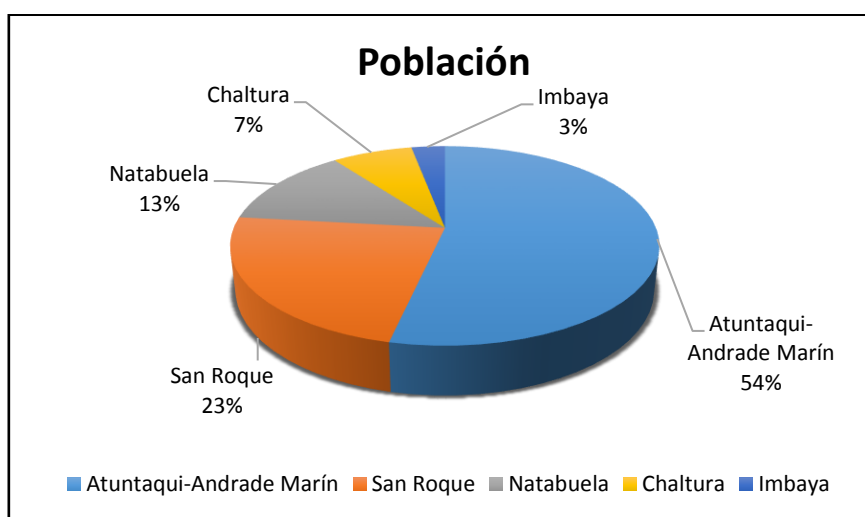
La población del cantón se detalla a continuación en la Tabla 9:

*Tabla 9: Población Cantón Antonio Ante*

<b>Unidad Territorial</b>	<b>Población (Urbana)</b>	<b>Población (Rural)</b>	<b>Total</b>
Atuntaqui-Andrade Marín	21.286	2.013	23.299
Imbaya	-	1.279	1.279
Chaltura	-	3.147	3.147
Natabuela	-	5.651	5.651
San Roque	-	10.142	10.142
<b>TOTAL</b>	<b>21.286</b>	<b>22.232</b>	<b>43.518</b>

*Fuente: (INEC, Instituto Nacional de Estadísticas Y Censos, 2010)*

En la figura 44 se presenta un gráfico circular comparativo de la población:



*Figura 44: Población*

*Fuente: (SIISE 3.5, 2015)*

### 3.3. Situación Actual de Abonados

Para determinar la situación actual de los abonados de acceso a banda ancha en el cantón Antonio Ante, se tomó como referencia el número de usuarios que cada proveedor de servicios de telecomunicaciones tiene en el sector. Para tener datos reales y fiables, los valores que a continuación se detallan fueron referenciados por cada ISP. Los abonados de la CNT, están actualizados a enero del 2017, así mismo los usuarios de TELECOM y REDECOM. En la Tabla 10 se detallan el número de abonados actuales en el cantón.

Tabla 10: Número de Abonados Actuales en el Cantón Antonio Ante

ISP	Atuntaqui	Andrade Marín	San Roque	Natabuela	Chaltura	Imbaya	Total
CNT E.P.	1.494	609	311	317	309	132	3.172
REDECOM	99	41	21	19	20	9	209
TELECOM	15	5	3	12	2	5	42
<b>TOTAL</b>	<b>1.608</b>	<b>655</b>	<b>335</b>	<b>348</b>	<b>331</b>	<b>146</b>	<b>3.423</b>

Fuente: ISP

En la Tabla 11 se especifican el número de abonados de Internet por cada sector: Urbano y Rural.

Tabla 11: Abonados de Internet por Sector

Sector	Parroquias	Abonados	Abonados	Porcentajes
Urbano	Atuntaqui	1.608	2.263	66%
	Andrade Marín	655		
	San Roque	335		
Rural	Natabuela	348	1.160	34%
	Chaltura	331		
	Imbaya	146		
<b>Antonio Ante</b>			<b>3.423</b>	<b>100%</b>

Fuente: ISP

### 3.4. Muestreo

El análisis de la demanda inicia con la determinación del tamaño de mercado que se va a utilizar para realizar el respectivo estudio, por esta razón se utiliza el muestreo que es el procedimiento mediante el cual se selecciona una muestra representativa de la población que se va a analizar, para este caso se considera al cantón Antonio Ante como el universo en la investigación. Antes de definir el procedimiento del muestro, se considera oportuno explicar dos términos importantes en esta investigación:

- **Universo o población:** Es el total de personas que se desea estudiar.
- **Muestra:** Es el conjunto de personas del universo que se selecciona para estudiarlos, por ejemplo, a través de una encuesta.

Como lo define Carlos Ochoa, Director de Marketing e Innovación en Netquest, el muestreo es el proceso de seleccionar un conjunto de individuos de una población o universo con el fin de estudiarlos y poder caracterizar el total de la población. (Ochoa, 2015)

El muestreo es un proceso bastante efectivo, gracias a que se puede acompañarlo de un proceso inverso conocido como generalización. La generalización es el proceso mediante el cual, para conocer un universo, se extrae una muestra del mismo, se mide un dato y se proyecta en el universo el resultado observado en la muestra.

Sin embargo, el proceso de la generalización implica un cierto error en los resultados. Por lo tanto, la generalización de resultados de una muestra a un universo requiere aceptar que existen ciertos errores. Ventajosamente, el error que se puede cometer al generalizar resultados puede acotarse gracias a la estadística. Para lograr esto, se utiliza dos parámetros que son el margen de error y el nivel de confianza:

**El margen de error:** Es el valor máximo de diferencia que se espera que haya entre el dato observado en la muestra estudiada y el dato real en el universo.

**El nivel de confianza:** Es nivel de certeza que se obtiene de que realmente el dato real esté dentro del margen de error.

### **3.5. Universo de la Investigación**

Resulta muy importante determinar el tamaño de la muestra, y se responde la siguiente pregunta: **¿Qué tamaño de muestra se necesita usar para un determinado universo?** El tamaño del universo depende del nivel de error que se esté dispuesto a aceptar, cuanto más precisión se requiera, mayor muestra se necesita. A medida que se estudia universos mayores, el tamaño de muestra que se necesita cada vez representa un porcentaje menor de dicho universo. El universo planteado para realizar el muestreo será el número actual de abonados de Internet.

La Tabla 12 especifica algunos ejemplos.

*Tabla 12: Muestreo*

<b>Universo</b>	<b>Muestra Requerida</b>	<b>Porcentaje del Universo</b>
10	10	100 %
100	80	80 %
1.000	278	27,8 %
10.000	370	3,7 %
100.000	383	0,38 %
1.000.000	384	0,038 %

*Fuente: (Ochoa, 2015)*

El sector seleccionado para el diseño de la red GPON es el cantón Antonio Ante, sin embargo, se le dará más prioridad a la cabecera cantonal Atuntaqui y Andrade Marín; después a las parroquias rurales, como son San Roque, Natabuela, Chaltura e Imbaya. Teniendo en cuenta que Antonio Ante es un cantón industrializado y que su cabecera cantonal es una pieza clave en el desarrollo económico, además de que posee innumerables empresas textiles e industriales, es fundamental realizar un enfoque más detallado en el sector urbano del cantón.

Según un estudio de la Cámara de Comercio de este cantón (Comercio, 2013), al menos el 60% de los 43.518 habitantes del cantón tienen algún nexo con la industria textil e industrial, y al ser una ciudad considerada como eje económico del cantón y del norte del país, sus empresas industriales deben tener a su disposición una red de conexión de datos estable y preparada para el progreso tecnológico que día a día crece considerablemente.

### **3.6. Tamaño y Cálculo De La Muestra**

El cálculo del tamaño de la muestra es uno de los aspectos que determina el grado de credibilidad que se concederá a los resultados obtenidos. Según Mario Suárez en su libro “Interaprendizaje Holístico de la Matemática”, la Ecuación 4 se utiliza para determinar la dimensión de la muestra. (Suárez M. , 2004)

$$n = \frac{Z^2 * \sigma^2 * N}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * \sigma^2} \quad [4]$$

Dónde:

n = El tamaño de la muestra.

N = El tamaño del Universo

$\sigma$  = Desviación estándar de la población 0,5.

Z = Valor obtenido mediante niveles de confianza.

e = Límite aceptable de error muestral del 5% (0,05)

El nivel de confianza más utilizado en diversas investigaciones es del 95%, adicionalmente en la Tabla 13 se detallan más valores Z y sus respectivos niveles de confianza.

*Tabla 13: Nivel de confianza (Z)*

<b>Z</b>	<b>1,15</b>	<b>1,28</b>	<b>1,44</b>	<b>1,65</b>	<b>1,96</b>	<b>2</b>	<b>2,58</b>
<b>Nivel de confianza</b>	75%	80%	85%	90%	95%	95,5%	99%

*Fuente: (Suárez M. , 2004)*

Analizando el número de abonados en cada parroquia, se determinó la forma en las que se va a realizar las encuestas. Para la cabecera cantonal Atuntaqui y Andrade Marín las encuestas se las realizará mediante una encuesta online, de esta manera se reducen tiempos y recursos, en este caso la encuesta se la distribuirá mediante correos electrónicos y redes sociales. Para este sector se utilizará un nivel de confianza del 99% para obtener datos bastantes específicos y con un margen de error mucho menor.

Para las parroquias rurales de San Roque, Natabuela, Chaltura e Imbaya, las encuestas se las realizara personalmente visitando el domicilio de las personas a quienes van dirigidas la investigación, el nivel de confianza que se utilizará será del 95% porque una encuesta personal disminuye en gran medida el margen de error. Después de realizar los cálculos los tamaños de la muestra en las distintas parroquias son los siguientes:

- **Parroquia Atuntaqui/Andrade:** 2.263 Abonados
  - **Nivel de confianza: 99%**
  - **n=514**
- **Parroquia San Roque:** 335 Abonados
  - **Nivel de confianza: 95%**
  - **n=178**
- **Parroquia Natabuela:** 348 Abonados
  - **Nivel de confianza: 95%**
  - **n=182**
- **Parroquia Chaltura:** 331 Abonados
  - **Nivel de confianza: 95%**
  - **n=177**
- **Parroquia Imbaya:** 146 Abonados
  - **Nivel de confianza: 95%**
  - **n=106**

### **3.7. Análisis De Resultados Y De La Demanda Actual**

Como se detalló anteriormente las encuestas en las parroquias rurales se las realizó visitando el sector a investigar y para la cabecera cantonal las encuestas se las realizo vía online. El formato de la encuesta y las preguntas se lo detalla en el ANEXO A y en el ANEXO B se especifican los resultados obtenidos separados por pregunta y parroquia.

Todas las preguntas empleadas en la encuesta permiten tener un conocimiento muy aproximado de detalles que serán de mucha ayuda en el análisis planteado. Sin embargo, para una mejor apreciación de los resultados obtenidos, se ha presentado un resumen detallado con todos los valores obtenidos en cada una de las parroquias encuestadas.

La Tabla 14 especifica las tabulaciones totales.

Tabla 14: Resumen Datos Encuesta

PREGUNTAS DE LA ENCUESTA		Imbaya	Chaltura	Natabuela	San Roque	Atuntaqui / Andrade M.
<b>Nivel de satisfacción</b>	Muy Satisfecho	17%	10%	5%	16%	22%
	Satisfecho	65%	76%	77%	56%	38%
	Poco Satisfecho	16%	12%	13%	24%	26%
	Nada Satisfecho	2%	2%	5%	4%	14%
<b>Promedio de horas al día de Internet</b>	1-3 horas	23%	22%	10%	9%	7%
	3-6 horas	51%	51%	67%	46%	7%
	6-8 horas	15%	16%	20%	27%	40%
	Más de 8 horas	11%	11%	3%	18%	46%
<b>Planes Internet</b>	1-3 Mbps	84%	87%	77%	86%	46%
	3-5 Mbps	14%	12%	23%	14%	47%
<b>Aumentar navegación</b>	SI	75%	82%	86%	67%	84,5%
	NO	25%	18%	14%	33%	15,5%
<b>Velocidad por contratar</b>	5-10 Mbps	48%	59%	73%	62%	36%
	3-5 Mbps	47%	30%	19%	25%	28%
	15 Mbps o más	5%	11%	8%	13%	36%
<b>Contratar Internet</b>	SI	59%	87%	75%	72%	90%
	NO	41%	13%	25%	28%	10%
<b>Contratar Triple Play</b>	SI	51%	63%	62%	60%	73%
	NO	28%	21%	33%	32%	27%
<b>Cuanto pagarían Triple Play</b>	20-30 USD	35%	36%	55%	33%	60%
	30-45 USD	54%	61%	45%	60%	40%

Fuente: El Autor

Teniendo en cuenta que las parroquias de Atuntaqui y Andrade Marín son consideradas urbanas y es aquí en donde se encuentra el 100% de las empresas industriales y textiles se decidió realizar un análisis específico para dicho sector empresarial.

De acuerdo a los datos obtenidos de la Cámara de Comercio de Atuntaqui, existen 400 empresas grandes, medianas y pequeñas en el sector, tomando un nivel de confianza del 95%, el número de muestra para realizar las encuestas es de 197. En la Tabla 15 se especifican los valores obtenidos.

Tabla 15: Resultados sector empresarial

<b>Preguntas De La Encuesta Para El Sector Empresarial</b>		
<b>Nivel de satisfacción</b>	Muy Satisfecho	9%
	Satisfecho	47%
	Poco Satisfecho	26%
	Nada Satisfecho	18%
<b>Promedio de horas al día de Internet</b>	1-3 horas	2%
	3-6 horas	13%
	6-8 horas	71%
	Más de 8 horas	14%
<b>Planes Internet</b>	1-3 Mbps	12%
	3-5 Mbps	13%
	5-10 Mbps	75%
<b>Aumentar navegación</b>	SI	64%
	NO	36%
<b>Velocidad por contratar</b>	5-10 Mbps	31%
	3-5 Mbps	8%
	15 Mbps o más	61%

Fuente: El Autor

### 3.8. Análisis Y Proyección De La Demanda

Hacer una proyección implica realizar estudios cuantitativos y cualitativos, los cuales buscan describir cómo será el crecimiento económico en un determinado lapso de tiempo hacia el futuro. La proyección de la demanda permite tener un estimado de los requerimientos de la red de acceso a futuro; se ha considerado un tiempo estimado de proyección de 5 años debido a que se considera un tiempo adecuado en cual se implementarán nuevas tecnologías y por lo tanto la demanda actual cambiará proporcionalmente.

#### 3.8.1. Crecimiento Poblacional

El análisis respecto al crecimiento poblacional se basa en el aumento o reducción general de individuos que un sector tiene durante el lapso de un tiempo determinado. El crecimiento poblacional es el cambio en la población en un determinado plazo, y puede ser cuantificado como el cambio en el número de individuos en una población por unidad de tiempo para su



medición. La Tasa de Crecimiento Poblacional (TCP) es el aumento de la población de un país en un período determinado, expresado como porcentaje de la población al comenzar el período. Ésta tasa refleja el número de nacimientos y muertes ocurridos durante el período y el número de inmigrantes y emigrantes del país.

El porcentaje puede ser positivo o negativo. La tasa de crecimiento es un factor que determina la magnitud de las demandas que un país debe satisfacer por la evolución de las necesidades. En el caso de esta investigación el análisis se lo realiza en cuestión de servicios de telecomunicaciones.

Durante el análisis de la demanda de mercado se procedió a determinar el crecimiento poblacional que tendrán los sectores analizados en el cantón en un periodo de 5 años, tomando en cuenta las tasas de crecimiento de cada parroquia y de esta manera poder dimensionar correctamente la red para que esta pueda cubrir la demanda actual, demanda proyectada y el crecimiento de la población.

Según el INEC, la tasa de crecimiento inter censal anual en el país es de 1,52%. (INEC, Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010), sin embargo, para estudio de esta investigación se utilizarán las tasas de crecimiento por parroquias, estos datos fueron obtenidos de la página oficial del INEC (INEC, Población y Tasas de Crecimiento, 2010) y se detallan en la Tabla 16.

*Tabla 16: Tasa de Crecimiento Poblacional Anual 2001-2010*

<b>Parroquia</b>	<b>Hombre</b>	<b>Mujer</b>	<b>Total</b>
Antonio Ante/Andrade M.	2,13%	2,15%	<b>2,14%</b>
San Roque	1,85%	1,82%	<b>1,83%</b>
Natabuela	3,00%	3,13%	<b>3,07%</b>
Chaltura	0,94%	1,33%	<b>1,14%</b>
Imbaya	2,11%	1,04%	<b>1,57%</b>

*Fuente: (INEC, Población y Tasas de Crecimiento, 2010)*

Según la guía del Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social ILPES, “Guía Para la presentación de proyectos”, la Ecuación 5 se utiliza para determinar el crecimiento poblacional. (ILPES, 2001)

$$D(t) = D_0 (1 + i)^t \quad [5]$$

Dónde:

D(t)= Demanda proyectada con respecto al tiempo (t)

D<sub>0</sub>= Demanda inicial

i= Tasa de crecimiento poblacional

t= Tiempo en años.

El análisis y la estimación de la demanda proyectada con respecto al crecimiento poblacional se lo realiza basándose en los datos recolectados en los ISP con respecto solo a la demanda actual de Internet. Utilizando la ecuación 5 se obtienen los siguientes resultados respecto a una demanda estimada de usuarios de Internet en 5 años. La tabla 17 detalla los resultados.

*Tabla 17: Demanda Estimada en 5 Años.*

<b>Parroquias</b>	<b>Demanda Actual Abonados</b>	<b>Demanda Estimada en 5 años</b>	
<b>Imbaya</b>	146	158	
<b>Chaltura</b>	331	350	
<b>Natabuela</b>	348	405	<b>1.280</b>
<b>San Roque</b>	335	367	
<b>Andrade Marín</b>	655	728	<b>2.516</b>
<b>Atuntaqui</b>	1.608	1.788	

*Fuente: El Autor*

### 3.8.2. Estimación De La Demanda Basada En Los Servicios De Telecomunicaciones

En 2014 la UIT, reconociendo la necesidad de supervisar, abordar y reducir la brecha digital, adoptó la “*Agenda Conectar 2020*”. Según la UIT, esta Agenda establece una serie de metas y objetivos para mejorar el crecimiento y la integración de las TIC, su sostenibilidad y la contribución de la innovación y las asociaciones. (UIT, Informe sobre medición de la sociedad de la información., 2015). La Agenda incluye cuatro metas, con 17 objetivos, a fin de supervisar y estimular el desarrollo del sector de las TIC entre 2015 y 2020. Se observan las cuatro metas en la Figura 45.



Figura 45: Metas de Conectar 2020

Fuente: (UIT, 2014)

Se prevé que la proporción de hogares con acceso a Internet supere el objetivo de la “*Agenda Conectar 2020*” a nivel mundial. Dicha Agenda pretende lograr que al menos el 55% de los hogares de todo el mundo tengan acceso a Internet en el 2020, en relación con el 46,4 % estimado en el 2015. La UIT prevé que el 56 % de los hogares en todo el mundo tendrán acceso a Internet en 2020, y, por lo tanto, que se cumpliría el objetivo Conectar 2020. (UIT, Informe sobre medición de la sociedad de la información., 2015)

Según el Boletín Estadístico del Sector de Telecomunicaciones de la ARCOTEL (ARCOTEL, 2015), en el Ecuador, el 28,3% de los hogares tienen acceso a Internet, 16,5

puntos más que en el 2010. Se demuestra claramente que el Ecuador tiene un porcentaje bajo en relación al valor que la UIT estima para el 2020. El acceso a Internet varía dependiendo del tipo de población donde se analice la muestra, es así que existe una clara diferencia entre el porcentaje de población con acceso a Internet Urbano (37%) en relación al Rural (9.1%).

Para alcanzar los objetivos planteados en cuanto a la evolución tecnológica, el Ecuador ha desarrollado el “*Plan Nacional de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información*”, elaborado por el MINTEL en el 2014, este plan contiene los programas y proyectos que permitirán alcanzar los objetivos que se definirán para el sector de las telecomunicaciones en el período 2016-2021.

Según datos del MINTEL, en el Ecuador existe una penetración del 33% de los hogares en cuanto a banda ancha fija (MINTEL, Plan Nacional de las Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información del Ecuador 2016-2021, 2014). Adicionalmente el país posee una densidad de conexiones de banda ancha fija del 4,19%, lo que está por debajo del 8% de la media latinoamericana. (MINTEL, MINTEL lidera la evolución tecnológica y la lleva a la Revolución, 2016)

Según el estudio de AKAMAI, Ecuador presenta un incremento de 53% en la velocidad de conexión, alcanzando al cuarto trimestre del 2013, 3.6 Mbps como velocidad promedio de conexión (MINTEL, MINTEL lidera la evolución tecnológica y la lleva a la Revolución, 2016). Los datos obtenidos en el Cantón Antonio Ante, en promedio de las 5 parroquias analizadas, un 76% de los abonados tienen una velocidad entre 1 y 3 Mbps, un 22% posee un plan de navegación entre 3 y 5 Mbps y solo un 2% posee una velocidad superior a los 10 Mbps.

En el cantón Antonio Ante existen 4.064 abonados, para realizar el análisis de un modo más comprensible, se lo segmentará de la siguiente manera, la parte rural la conformarán las

parroquias de Imbaya, Chaltura, Natabuela y San Roque. Y para el sector urbano las parroquias Atuntaqui y Andrade Marín

El número total de abonados en el sector rural se los especifica en la Tabla 18.

*Tabla 18: Número Total Actual de Abonados Internet Sector Rural*

<b>Parroquias</b>	<b># Abonados con Acceso a Internet</b>
Imbaya	146
Chaltura	331
Natabuela	348
San Roque	335
<b>Total</b>	<b>1.160</b>

*Fuente: El Autor*

El número total de abonados en el sector urbano se los especifica en la Tabla 19.

*Tabla 19: Número Total Actual de Abonados Internet Sector Urbano.*

<b>Parroquias</b>	<b># Abonados con Acceso a Internet</b>
Andrade Marín	655
Atuntaqui	1.608
<b>Total</b>	<b>2.263</b>

*Fuente: El Autor*

Ahora se determina la capacidad total de ancho de banda que se está utilizando actualmente en el sector rural, en la Tabla 20 se observa los detalles.

*Tabla 20: Consumo de planes de Internet en el sector rural del cantón.*

<b>Parroquia</b>	<b># Abonados con Internet</b>	<b>#Abonados con 3 Mbps</b>	<b>#Abonados con 3,5 Mbps</b>
Imbaya	146	124	22
Chaltura	331	288	43
Natabuela	348	268	80
San Roque	335	287	48
<b>Total</b>	<b>1.160</b>	<b>967</b>	<b>193</b>

*Fuente: El Autor*

Para calcular la capacidad total en Gbps que la red está utilizando en este sector, se multiplica el número de abonados por su respectivo plan de navegación en Mbps, teniendo en cuenta que en el servicio de Internet para estos abonados la compartición es 8:1, se divide la

capacidad total en Mbps para ocho. De esta manera se obtienen los resultados especificados en la Tabla 21.

Tabla 21: Capacidad Total actual utilizada por el sector rural.

# Abonados	Plan Residencial	Compartición 8:1	Total
967	3 Mbps	2.901 Mbps / 8	0,36 Gbps
193	3,5 Mbps	675,5 Mbps / 8	0,08 Gbps
<b>Capacidad Total actual utilizada por el sector rural</b>			<b>0,44 Gbps</b>

Fuente: El Autor

Para el sector urbano, se observa la Tabla 22.

Tabla 22: Consumo de planes de Internet en el sector Urbano del cantón.

Parroquia	# Abonados con Internet	#Abonados con 3 Mbps	#Abonados con 3,5 Mbps	#Abonados con 10 Mbps
Andrade Marín	655	301	307	47
Atuntaqui	1.608	754	756	98
<b>Total</b>	<b>2.263</b>	<b>1.055</b>	<b>1.063</b>	<b>145</b>

Fuente: El Autor

Se realiza el mismo procedimiento que en el sector rural, se calcula la capacidad actual de ancho de banda utilizado por los abonados, se especifican los resultados en la Tabla 23.

Tabla 23: Capacidad Total actual utilizada por el sector urbano.

# Abonados	Plan Residencial	Compartición 8:1	Total
1.055	3 Mbps	3.165 Mbps / 8	0,40 Gbps
1.063	3,5 Mbps	3.721 Mbps / 8	0,47 Gbps
145	10 Mbps	1.450 Mbps / 8	0,18 Gbps
<b>Capacidad Total actual utilizada por el sector urbano</b>			<b>1,05 Gbps</b>

Fuente: El Autor

En la Tabla 24 se muestra la capacidad total de ancho de banda del cantón.

Tabla 24: Capacidad Total actual utilizada por el cantón Antonio Ante

Sector	Capacidad Ancho Banda
Urbano	1,05 Gbps
Rural	0,44 Gbps
<b>Total</b>	<b>1,49 Gbps</b>

Fuente: El Autor

El número de abonados actual es de 3.423 de los cuales 2.263 pertenecen al sector urbano y 1.160 al sector rural. Con el dato obtenido del MINTEL, la velocidad media que cada usuario utiliza en el Ecuador es de 3,6 Mbps (MINTEL, MINTEL lidera la evolución tecnológica y la lleva a la Revolución, 2016), y asumiendo que la hora pico serán las 19h00, se puede obtener el ancho de banda actual en la hora pico para cada sector, el cual se especifica en la Tabla 25. Obteniendo un ancho de banda total de 4,22 Gbps.

Tabla 25: Ancho de banda actual.

<b>Sector</b>	<b># Abonados Actual (A)</b>	<b>Velocidad Hora Pico Por Usuario (B)</b>	<b>Ancho de Banda Total (C=A*B)</b>
Urbano	2.263	0,45 Mbps	1,02 Gbps
Rural	1.160	0,45 Mbps	0,52 Gbps
<b>Total</b>	<b>3.423</b>	<b>-</b>	<b>1,54 Gbps</b>

Fuente: El Autor

Para determinar la capacidad que deberá tener el ancho de banda de la red para abastecer los requerimientos futuros de los usuarios, se obtiene el número estimado de abonados que se espera tener en el 2020 de la *Tabla 17: Demanda Estimada en 5 Años*, los datos del sector rural y del sector urbano se detallan en la Tabla 26.

Tabla 26: Número de Abonados estimados para el 2020

	<b>Parroquias</b>	<b># Abonados estimados 2020</b>	<b>Total, Por Sectores</b>
<b>Sector Rural</b>	Imbaya	158	<b>1.280</b>
	Chaltura	350	
	Natabuela	405	
	San Roque	367	
<b>Sector Urbano</b>	Andrade Marín	728	<b>2.516</b>
	Atuntaqui	1.788	
<b>Total</b>			<b>3.796</b>

Fuente: El Autor

Para estimar la velocidad media de acceso de Internet, éste análisis se basará en los datos obtenidos de CISCO, donde estima que la velocidad media de acceso a banda ancha en Latinoamérica para el 2020 será de 15,2 Mbps (CISCO, 2016), de igual manera para objeto de este análisis se asume que la compartición es de 8 a 1. Se obtiene la capacidad estimada de

ancho de banda estimado para el 2020 que la red tendrá que abastecer en la hora pico para cada sector, el cual se especifica en la Tabla 27.

Tabla 27: Capacidad de Tx Datos actual y estimado para el 2020

Sector	# Abonados Estimados (A)	Velocidad Hora Pico (B)	Capacidad Total Estimada 2020 (C=A*B)	Capacidad Total Actual
Urbano	2.516	1,9 Mbps	4,78 Gbps	1,05 Gbps
Rural	1.280	1,9 Mbps	2,43 Gbps	0,44 Gbps
<b>Total, De Capacidad</b>			<b>7,21 Gbps</b>	<b>1,49 Gbps</b>

Fuente: El Autor

Teniendo en cuenta que la red actual de CNT E.P. en el cantón Antonio Ante utiliza la tecnología ADSL, y después de estimar la capacidad de ancho de banda que la red debería tener para el 2020, se deduce que la red abastece los requerimientos actuales de los usuarios, sin embargo, conforme avanza la tecnología y la penetración de las TIC en el país, proporcionalmente irá aumentando las exigencias en cuanto a velocidad y capacidad de transmisión por parte de los abonados.

Los objetivos del Plan Nacional de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información se establecieron a partir de los avances del sector y las tendencias internacionales. El Proyecto #2 se encuentra dentro del primer macro objetivo y en el cual se resume lo siguiente: *“Incentivar al despliegue de infraestructura de última milla.”* (MINTEL, Plan Nacional de las Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información del Ecuador 2016-2021, 2014).

Con este propósito se busca acelerar el despliegue de infraestructura de banda ancha en la última milla, de igual manera este proyecto abordará el objetivo de *“Aumentar el porcentaje de hogares que se encuentran a menos de 1.5 km de la red de fibra.”* Así mismo, este proyecto se enmarca en el Lineamiento 11.3 del Plan Nacional del Buen Vivir 2013 – 2017, en lo que respecta específicamente a garantizar la accesibilidad de servicios TIC en la población. (SENPLADES, 2013).



Las empresas que brindan los servicios de telecomunicaciones en el país consideran que cumplir con los objetivos mencionados en el párrafo anterior se vuelve una estrategia fundamental para atraer más clientes y dar un servicio totalmente eficaz a sus abonados, actualmente la CNT E.P. brinda sus servicios en el cantón utilizando la tecnología xDSL, por el momento esta tecnología logra satisfacer los requerimientos de sus clientes, sin embargo conforme avanza la accesibilidad de las TIC en el mundo, las exigencias lo hacen de manera proporcional, en este punto migrar a una tecnología mucho más robusta, rápida y que sea capaz de abastecer todos los requerimientos futuros de los abonados.

Como se lo explica anteriormente un objetivo del Plan Nacional de Telecomunicaciones, es migrar gradualmente todos los usuarios nacionales a la tecnología con Fibra Óptica, en ciudades como Quito y Guayaquil, la CNT EP. ya ha implementado esta tecnología, una ventaja que tiene la F.O. sobre xDSL es que ofrece una mayor capacidad de ancho de banda, otra muy importante es que en xDSL la distancia entre el abonado y el nodo central influye bastante al momento de obtener un mejor servicio, a mayor distancia de la central, mayor atenuación y pérdidas en la señal, esto no ocurre con las redes ópticas pasivas (PON) que usan F.O. Son solo dos de las muchas ventajas que posee la Fibra Óptica respecto a xDSL, de esta manera se puede comprender que migrar a una nueva tecnología es lo más adecuado para en un futuro atender los requerimientos por parte de los abonados, teniendo en cuenta que la tecnología y acceso a banda ancha están en constante evolución.



## Capítulo IV

### 4. Diseño De La Red Óptica Pasiva

Encontrar la tecnología correcta para cubrir la última milla de cualquier red siempre ha sido un desafío para las empresas que brindan los servicios de telecomunicaciones. En la actualidad la demanda de acceso a banda ancha por parte de los abonados aumenta considerablemente. Actualmente la fibra óptica es el único medio de transmisión capaz de soportar altas tasas de transferencia de datos a largas distancias con las mínimas pérdidas de atenuación posibles, de esta manera las redes PON se convierten en la solución tecnológica más adecuada.

Sin embargo, como se lo menciona en el capítulo II, existen varios tipos de redes PON, y se vuelve fundamental decidir qué tipo de red es la apropiada para realizar el diseño de la misma. Un factor determinante en el costo efectivo de una red FTTH es entender las características de desempeño de la tecnología PON, tales como, ancho de banda, eficiencia y relación de división, parámetros importantes a analizar que servirán de utilidad para realizar un diseño óptimo de la red.

Dentro de las soluciones FTTH se tiene: Point to Point Ethernet que necesita  $N/2N$  fibras por usuario además de costos de inversión muy elevados; Curb Switched Ethernet que requiere energía eléctrica en el nodo retorno además de un equipo concentrador remoto; y por ultimo las redes PON que requieren una fibra troncal, divisores ópticos pasivos, además no necesitan corriente eléctrica, la utilización de estos sistemas pasivos reduce considerablemente los costos de inversión, adicionalmente brindando un servicio excelente a los abonados.

Las tecnologías EPON y GPON son las más usadas actualmente, aunque tienen una diferencia bien marcada en el aspecto de la arquitectura. La estructura de la red GPON consiste en múltiples redes de la capa 2 sobre la misma capa física, cada red tiene un protocolo diferente, por el contrario, EPON suministra conectividad para cualquier tipo de redes basadas en IP. (UIT-T, Recomendación UIT-T G.984.1, 2008)

La eficiencia de los sistemas EPON es pobre en comparación con GPON, la tecnología EPON se caracteriza por extensos encabezados en las tramas, que provocan baja eficiencia y consecuentemente, menor número de bits de carga útil contra soluciones GPON. El estándar IEEE 802.3ah EPON, soporta solamente dos tipos de red óptica de distribución (ODN): tipo A (5dB hasta 20dB de pérdidas) y tipo B (10dB hasta 25dB de pérdidas), ofreciendo servicio hasta 32 usuarios, mientras el estándar GPON soporta los tipos de red A y B, adicionalmente el tipo C (15dB hasta 30dB de pérdidas). (IEEE, 2002).

Con respecto a la penetración por regiones, según Millán Tejedor en su artículo *“Tecnologías de banda ancha por fibra óptica”* (Millán Tejedor, Tecnologías de banda ancha por fibra óptica, 2010) GPON es la tecnología preferida en Norte América, Latinoamérica, Europa, India y Singapur. En Norteamérica los operadores empezaron hace unos años a desplegar sistemas BPON, pero conforme evolucionan los avances tecnológicos, han comenzado la migración a GPON. EPON tiene un gran éxito en Japón y Corea del Sur, donde ha sido desplegado masivamente. En China, Hong Kong y Taiwán se están utilizando ambas tecnologías.

GPON, aunque cuenta con menor número de líneas desplegadas actualmente, es seleccionado cada vez por más operadoras, principalmente por ofrecer mayores funcionalidades estándar de gestión de la calidad de servicio, seguridad, gestión dinámica del ancho de banda, etc. La menor complejidad y coste de Gigabit Ethernet, permitió a los suministradores de equipos EPON lanzar rápidamente equipos a precios más competitivos que GPON. Sin embargo, actualmente el coste es muy similar y las mayores economías de escala esperadas en GPON durante los próximos años, convertirán a GPON en una tecnología económicamente aún más competitiva. (Millán Tejedor, Tecnologías de banda ancha por fibra óptica, 2010).

Aun analizando todas las ventajas y desventajas de las redes EPON y GPON, se vuelve difícil determinar si alguna de las tecnologías es mejor que la otra, cada tecnología tiene sus puntos positivos y negativos, por ejemplo, cuando se trata de ciertos servicios IP / Ethernet, EPON es más conveniente y rentable. Mientras GPON tiene sus propias ventajas en mayor ancho de banda, velocidad de transmisión más rápida y soporte a los servicios de triple play. Pero, de todas maneras, actualmente, EPON sigue siendo el tipo de red más utilizado, especialmente en los países asiáticos, sin embargo, GPON últimamente se está expandiendo a niveles muy altos, en las regiones occidentales, principalmente es países como EE.UU. y toda Latinoamérica. En el Ecuador tanto empresas privadas como públicas ha comenzado a incorporar la tecnología GPON en las principales ciudades del Ecuador, teniendo en cuentas estos aspectos se considera que GPON es el tipo de red más adecuado para realizar el diseño.

Por ejemplo, la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP ha iniciado, en varias ciudades, el tendido de nuevos ejes de canalización de su red de fibra óptica con tecnología GPON, la CNT está instalando en Quito, Guayaquil, Ibarra, Guaranda, Tulcán, Riobamba, Latacunga, Machala, Loja, Macas, Tena, El Coca, Puyo, Salinas, Santo Domingo, Ambato, Manta, Zamora y en corto plazo, la empresa pública implementará la instalación a nivel nacional. Son aproximadamente 18 de las ciudades más grandes e importantes del país que contarán con el servicio de la tecnología GPON. Actualmente, la CNT ha tendido cerca de 800 km. entre fibra troncal y distribución, de donde se derivan redes de dispersión para 7000 hogares. (CNT E.P., CNT llega con tecnología GPON a varios sectores del territorio nacional., 2016)

Otro claro ejemplo es la ciudad de Cuenca, La Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable y Alcantarillado (ETAPA E.P.), hasta el 2011 era la única institución pública que ofrecía servicio de internet en esta ciudad, en ese año la CNT E.P. comenzó a ofertar su servicio de Internet. De los 67.000 abonados que tiene ETAPA E.P. en su servicio de internet unos 300

son con conexión GPON. El resto aún está con la modalidad de las redes de cobre. Iván Palacios, gerente de la ETAPA E.P., indicó que desde 2014 han mejorado las condiciones del servicio de internet. Según Palacios antes el servicio ofrecía 6,2 Mbps y ahora hay 13,5 Mbps. Además, detalló que hay 2 megas que antes la ocupaba la plataforma Netflix que ahora tiene conexión local. ETAPA E.P. prevé invertir en este año alrededor de 8 millones de dólares en la instalación de tecnología de red GPON. Hasta 2017 invertirán en esta nueva modalidad unos 14 millones de dólares. (Diario El Mercurio, 2016)

La empresa privada NETLIFE posee hasta el momento cobertura de red de fibra óptica en ciudades como Quito, Guayaquil, Riobamba, Santo Domingo, Ibarra, Ambato, Salinas, Manta, Quevedo, Milagro, Portoviejo, Naranjal y Daule. Su objetivo a largo plazo es aumentar su cobertura a todas las ciudades del país. (Netlife, Mapa de Coberturas NETLIFE, 2016)

#### **4.1. Condiciones Preliminares De La Red**

Después de realizar el respectivo análisis de la demanda actual y futura de acceso a banda ancha en el cantón Antonio Ante, y basándose en los resultados obtenidos, se determinó que el diseño de la red se lo realizará únicamente para el sector urbano del cantón, específicamente para las parroquias de Atuntaqui y Andrade Marín, ya que en estas zonas existe una gran penetración del mercado económico, tecnológico e industrial actual y a largo plazo.

Teniendo en cuenta que Atuntaqui es la cabecera cantonal de Antonio Ante y que además se la considera como “El Centro Industrial de la Moda” se vuelve muy importante tener como prioridad el diseño de red en este sector, esto debido al notable progreso económico y tecnológico que se evidencia en esta ciudad industrial. Las parroquias rurales no tienen un crecimiento tecnológico y económico de una magnitud elevada como la que se evidencia en el sector urbano, por lo tanto, se considera que realizar un diseño de una red óptica pasiva no es

prioridad en esta investigación y ese proceso se lo puede realizar en unos años sin tener una repercusión negativa durante el presente proyecto de titulación.

Para realizar un diseño de red óptimo se utilizarán como guía dos normativas: de la Unión Internacional de Telecomunicaciones la normativa ITU-T G.984 (UIT-T, Recomendación UIT-T G.984.1, 2016) que es la encargada de la red óptica pasiva que soporta anchos de bandas hasta de 2,4 Gbps, y por parte de La CNT E.P. la normativa vigente de diseño de la ODN (CNT E.P., Normativa de diseño de la ODN., 2014) y la Norma Técnica para Dibujo de Redes de Planta Externa. (CNT E.P., Norma Técnica de Diseño de Planta Externa con Fibra Óptica, 2015).

El determinar la capacidad de transferencia de datos que soportará la red se vuelve fundamental al momento de realizar el diseño de la misma. En este punto, el haber realizado el análisis de la demanda actual y futura de acceso a banda ancha en el cantón en el Capítulo III, brinda una gran ayuda para determinar el ancho de banda necesario que la red debe resistir para brindar un servicio excelente en un largo plazo.

## **4.2. Criterios Para El Diseño De La Red**

Las consideraciones para el diseño de la red implican elegir criterios técnicos adecuados y precisos con respecto a la arquitectura de red seleccionada y al diseño de una red de distribución óptica (ODN) eficiente que optimice los recursos, reduzca la inversión inicial, permitiendo una recuperación del capital a un corto plazo, alcanzar los más altos niveles de flexibilidad posibles y de esta manera alcanzar los objetivos planteados en este proyecto. Los criterios técnicos a considerar se detallan a continuación:

### **4.2.1. Tipo De Red A Utilizarse En El Diseño**

La red de acceso es el segmento de la red de telecomunicaciones que interconecta los equipos de los abonados con los equipos del borde de la red del proveedor de servicios, el

medio físico de transmisión es uno de los elementos más importantes que componen la red de acceso, dentro de los cuales se tiene: Par de Cobre Trenzado, Cable Coaxial y Fibra Óptica.

Los ISP utilizan distintos tipos de tecnologías para proveer servicios de conectividad a Internet de banda ancha, Datos, Vídeo y Telefonía. A partir de la evolución de estos servicios, ya sea por la oferta de las operadoras o por los nuevos hábitos de consumo de sus clientes, la capacidad de las redes para transportar esta información se transforma en uno de los aspectos claves para la configuración del producto. Mientras más ancho de banda soporta la red, el operador tiene más posibilidades para configurar su oferta.

Como se lo mencionó anteriormente, la transmisión de información basada en cobre presenta una clara desventaja con respecto a la fibra óptica. El ancho de banda en la fibra óptica es muy superior en comparación con redes de acceso basadas en cobre, además en la fibra óptica la tasa de error de bits es inferior, baja atenuación lo que permite alcanzar mayores distancias sin instalar repetidores, bajos costos de mantenimiento, inmunes a interferencias electromagnéticas, mayor fiabilidad, flexibilidad y escalabilidad de la red, en este punto, el acceso al medio mediante la fibra óptica se vuelve en la solución más adecuada y eficaz en la actualidad.

Realizar un análisis y determinar qué tipo de arquitectura FTTx es la adecuada para el sector seleccionado, se vuelve una parte muy fundamental en el presente trabajo. Como se puntualizó en la sección: *2.5.3. Clasificación de las tecnologías FTTx*, del Capítulo II, se diferencia distintas arquitecturas dependiendo de la distancia entre la fibra óptica y el usuario final. Las más importantes en la actualidad son: FTTH, FTTB y FTTC.

En FTTC y FTTN al ser una red híbrida la velocidad estaría muy limitada y alcanzaría velocidades máximas de redes VDSL y utilizar parte de la red de cobre, de igual manera analizando ventajas y desventajas de las redes FTTB, no se consideran un tipo de red óptimo y



eficaz para el escenario planteado como lo es el sector urbano de Atuntaqui ya que en esta zona no existe una alta tasa de densidad en población.

Dentro de este análisis se plantea una interrogante: ¿Por qué usar FTTH?, para lograr satisfacer los requerimientos actuales y futuros de los abonados, las operadoras han encontrado formas para mejorar la capacidad de sus antiguas redes, llevando Fibra Óptica lo más cerca posible de sus clientes. Tecnologías como HFC, DSL y Wireless se han valido de esta arquitectura para mejorar la velocidad de transmisión de su red hacia los clientes, pero el verdadero potencial de la fibra óptica se libera cuando ésta completa todo el recorrido hasta el cliente, denominándose de esta manera Fibra al Hogar o FTTH.

En las redes FTTH se aprovecha al máximo los puertos GPON de la OLT, si se tiene en cuenta que las prestaciones en cuanto a capacidad de una red GPON son 2.5 Gbps en downstream y 1.25 Gbps en upstream, y considerando el uso de un divisor óptico de 1:32, se obtiene una capacidad de 78 Mbps en downstream y 39 Mbps en upstream, tasas de transferencia más que ideales para usuarios residenciales.

Una clara ventaja de FTTH es su gran capacidad de ancho de banda, además de que este tipo de red es ideal para ciudades en donde la mayoría de usuarios son residenciales como lo es Atuntaqui. El crecimiento de usuarios GPON a nivel nacional se va incrementando notablemente, y de acuerdo a las exigencias de los abonados, es indispensable brindar un servicio muy eficaz.

FTTH permite soportar servicios de vídeo, datos y telefonía sobre la misma fibra óptica. Si bien existen numerosas tecnologías que resuelven múltiples servicios sobre una misma red de acceso, FTTH cobra relevancia a partir de la evolución de servicios de nueva generación, que demandan mayor ancho de banda, más calidad y disponibilidad en la conexión. Por ejemplo, el Streaming de Vídeos en alta definición es una tendencia creciente dentro de los

usuarios, y las plataformas que los soportan evolucionan día a día incorporando formatos cada vez más desafiantes para las redes que los transportan.

La transmisión de video es lo que realmente pone a prueba a todas aquellas redes que están limitadas en su capacidad de transporte de datos, como por ejemplo las viejas redes de cobre. Si se utilizara FTTN o FTTC, en ambos casos, se requiere de la compleja operación de lograr la disponibilidad de energía eléctrica.

Según datos del Consejo Americano de Fibra Óptica “FTTH COUNCIL AMERICAS” en la publicación de su artículo “Latinoamérica a la velocidad de la luz” (FTTH COUNCIL AMERICAS, 2015) en junio del 2014, CISCO presentó su Proyección de Tráfico IP Global para el período 2013 -2108, que incluye los siguientes 4 tópicos de relevancia en este segmento:

- Para el 2018, habrá cerca de 4 Billones de usuarios de Internet globalmente (más del 51% de la población mundial), y muy por arriba de los 2.5 Billones del 2013.
- Para el 2018, habrá 2.1 Billones de dispositivos de red y conexiones globalmente, muy por arriba del 1.2 Billones del 2013.
- Globalmente la velocidad promedio de conexión de banda ancha fija crecerá entre 2 y 6 veces, de los 16 Mbps en el 2013 a 42 Mbps en el 2018.
- Globalmente, el video IP representará un 79% del tráfico total en el 2018, muy por arriba del 66% en el 2013.

“No cabe duda de que cualquier inversión de una Operadora que no sea sobre una red FTTH pura, será un CAPEX desperdiciado al final del ciclo de 2 a 3 años más donde comercialmente la supervivencia desesperada de una operadora que quiera entregar contenido de valor agregado para sus clientes, terminará indefectiblemente en una red pura de fibra óptica. No cabe duda que la única red robusta para aguantar los embates de los Zettabytes que se vienen por el crecimiento de vídeo, es una red FTTH.” (FTTH COUNCIL AMERICAS, 2015)

Evidentemente FTTH se considera la única red adecuada para garantizar los requerimientos futuros de los clientes y empresas, de esta manera de la tecnología FTTH servirá de plataforma para aplicaciones comerciales y de infraestructura empresariales, Smart Grid, Vídeo Monitoreo Urbano, FTTH en Aplicaciones De Salud, FTTH en Aplicaciones De Salud, etc.

#### 4.2.2. Topología De La Red

La topología de la red GPON considerada para el presente diseño es del tipo árbol de cuatro nodos o niveles, ésta tiene como nodo central la OLT ubicada en la oficina central de la CNT en Atuntaqui, la cual alimenta a los nodos de distribución (segundo nivel) representados por los armarios de distribución óptica, la cantidad de armarios ópticos necesarios se los definirá más adelante; de igual forma los armarios de distribución óptica conectan a varios nodos de tercer nivel, como son las cajas ópticas de distribución terminal, y finalmente como cuarto nivel se tienen a las ONTs ubicadas en cada sector o barrios a cubrir con la red GPON.

Teniendo en cuenta que el presente diseño de la red pretende servir a los requerimientos de la CNT E.P. se considera oportuno basar la topología en el diagrama de red GPON que se encuentra especificado en la *Normativa de Diseño de Planta Externa con Fibra Óptica ODN* de la CNT E.P. (CNT E.P., Norma Técnica de Diseño de Planta Externa con Fibra Óptica, 2015). En la Figura 46 se especifica los 4 niveles considerados en la topología de la red.

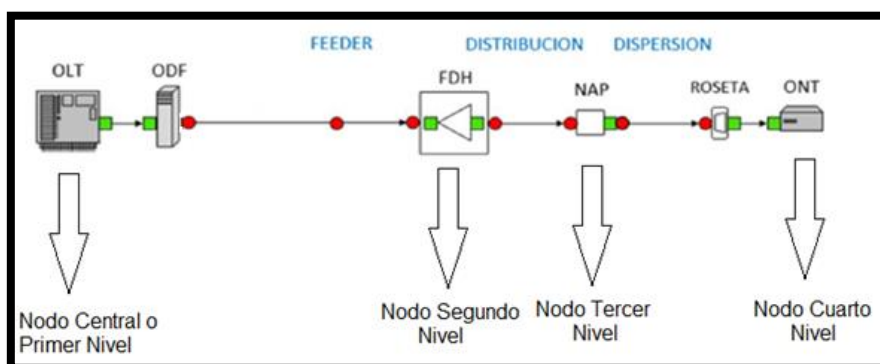


Figura 46: Topología Red GPON.

Fuente: (CNT E.P., Norma Técnica de Diseño de Planta Externa con Fibra Óptica, 2015)

### 4.2.3. División Del Sector Seleccionado Para El Diseño De La Red.

Para poder realizar un diseño de red más eficaz se ha considerado conveniente dividir todo el sector urbano en dos zonas, la Zona 1 será la parroquia Atuntaqui, y la Zona 2 será la parroquia Andrade Marín. De esta manera se realiza una distribución idónea de los FDH y NAPs en cada una de las zonas establecidas. En la Figura 47 se observan las dos zonas.



Figura 47: División del sector determinado para el diseño

Fuente: Google Maps.

### 4.2.4. Ubicación De La OLT

Para determinar el lugar adecuado en donde se considera colocar la OLT, se analizan la infraestructura existente, en el caso del Cantón Antonio Ante, la CNT E.P. tiene instalada la central telefónica en el centro de la cabecera cantonal Atuntaqui, específicamente en las calles Bolívar 1331 y Olmedo. En la Figura 49 se observa la ubicación de la OLT en el mapa de la ciudad.

Según el artículo IEEE de Miguel Lattanzi (Lattanzi & Graf, 2015), ubicar la OLT en la Central Telefónica favorece notablemente al desempeño de la red, de esta manera se aprovecha la infraestructura existente y teniendo en cuenta que la central se encuentra en el centro de la ciudad se obtiene un mejor radio de cobertura, una fácil operación y mantenimiento, se obtiene un balance de recursos como conectores, cables de fibra óptica, ductos, alimentación; además de proveer una mayor escalabilidad de la red, mayor fiabilidad y sobre todo se cumple con el alcance físico de 20Km descrito en la Recomendación UIT-T G.984.1 medidos desde la OLT hacia el domicilio del cliente más lejano. Se considera conveniente colocar la OLT en la central telefónica. En la Figura 48 se observa el diagrama lógico de la red.

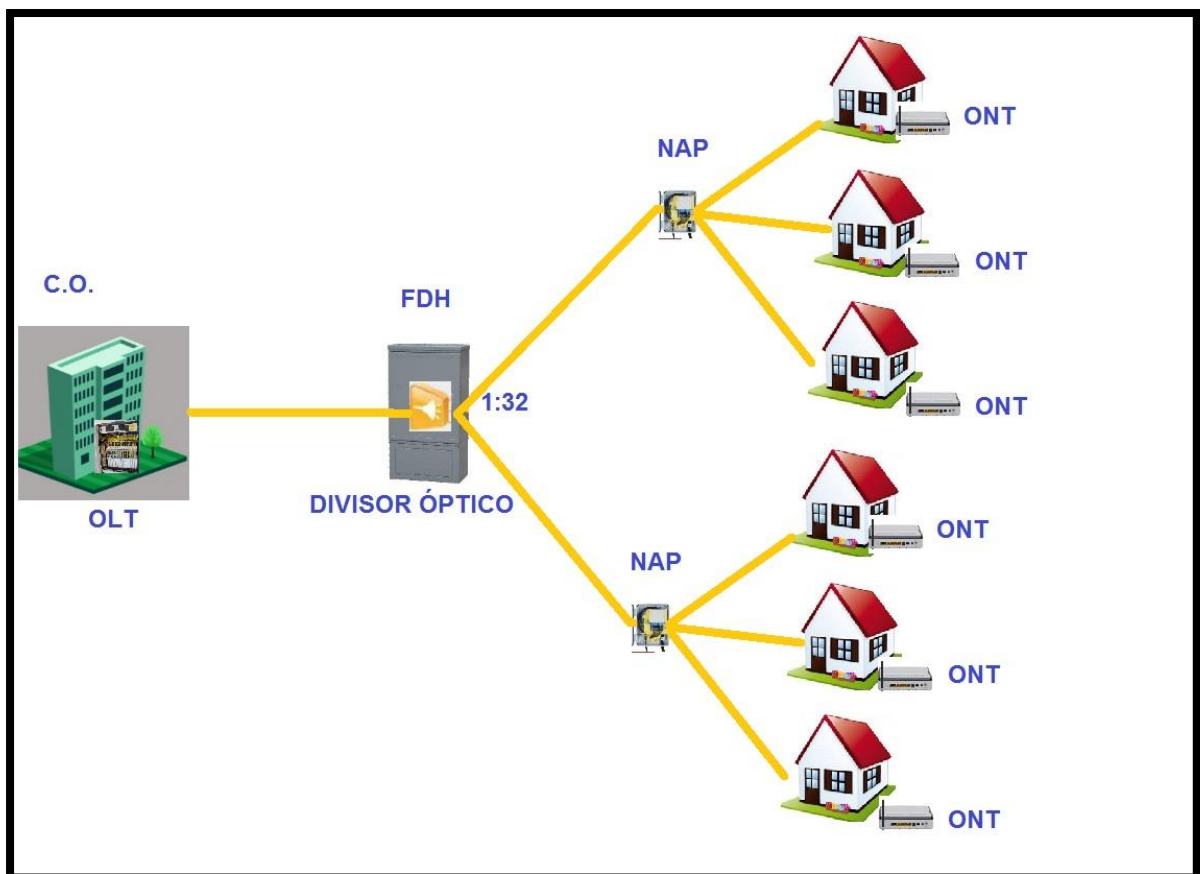


Figura 48: Ubicación de la OLT en Diagrama Lógico

Fuente: El Autor

#### 4.2.5. Ubicación De Los Divisores Ópticos

Lo ideal para cualquier tipo de arquitectura es ubicar el primer divisor óptico lo más cerca del cliente, minimizando de esta manera el número de fibras por kilómetro en la ODN, lo cual se refleja en una reducción de la inversión de cable, además de simplificar el diseño de la red.

Como se puntualizó en la sección 2.4.5. *Elementos de una red GPON* del Capítulo II, existen 2 niveles de Splitting, Centralizados con un solo nivel y Distribuidos/Cascada con dos niveles, en esa sección se analizó las ventajas y desventajas que cada arquitectura presenta. Basándose en todas las ventajas descritas, se determinó usar un diseño basado en divisores ópticos centralizados, además según el artículo científico IEEE de Miguel Lattanzi (Lattanzi & Graf, 2015) este tipo de arquitectura se usa en zonas donde existe una mediana penetración de mercado en el servicio de las telecomunicaciones y se adapta perfectamente a los requerimientos de la ciudad de Atuntaqui.

Este tipo de arquitectura permite tener una gran eficiencia en el uso de puertos PON, flexibilidad en el despliegue de fibra óptica, un fácil acceso de mantenimiento, y la facilidad para obtener resultados óptimos al realizar pruebas de campo con OTDR.

La recomendación de la UIT-T G.984 (UIT-T, Recomendación UIT-T G.984.1, 2008), permite una relación de división de hasta 1:32, además es el nivel de división óptica que valida la CNT E.P. en su normativa vigente (CNT E.P., Normativa de diseño de la ODN., 2014), solo en casos especiales la CNT valida una división de 1:64. Un divisor óptico de 1:32 tiene una atenuación promedio de 17,5 dB; intentar colocar un divisor de una relación 1:64 implicaría obtener una atenuación aproximada de 22,8 dB según la recomendación UIT-T G.671 (UIT-T, Recomendación G.671, 2012), por lo tanto se estaría obteniendo una atenuación muy grande y comprometería los cálculos para el presupuesto de pérdidas.

Si bien es cierto, en la teoría es posible usar un nivel de relación de 1:128, no se recomienda el uso del mismo porque en caso que haya un crecimiento de población, las velocidades de transmisión serán muy bajas para poder proveer servicios convergentes, la red debe ser flexible posibilitando el incremento de velocidad por usuario en caso de ser necesario.

Teniendo en cuenta que el presente diseño se lo realiza con la finalidad de servir los requerimientos de la CNT E.P., se considera oportuno basar el diseño de la red respetando los lineamientos y normas impuestas por la empresa pública CNT, sin embargo, también es adecuado analizar las ventajas que ayudaron a determinar el uso de un solo nivel de splitteo de relación 1:32, a continuación, se enumeran algunas ventajas:

- Permite mayores anchos de banda por cliente que la arquitectura de dos niveles, con un ancho de banda promedio máximo por cliente de 78 Mbps.
- La distancia admitida es mayor que en la arquitectura con dos niveles, por disponer solo una etapa de splitter y menos accesos por puerto PON.
- Se hace un uso más eficiente de los recursos, tanto de la fibra óptica como de los equipos, y por lo tanto es menos costosa.

Como se pudo observar en la Figura 48, los divisores ópticos se ubican en los FDH, teniendo en cuenta que la capacidad máxima de almacenamiento en un armario es de 9 divisores ópticos. En las secciones siguientes se detallan los lugares exactos donde se colocarán los armarios de distribución óptica (FDH) y por lo tanto la ubicación de los Splitters.

#### **4.2.6. Tipo De Fibra A Utilizarse**

El tipo de fibra considerado a usar será la fibra monomodo, ya que este tipo de fibra es el adecuado para redes de media y larga distancia y con alta tasa de transmisión de datos. Se consideran además factores importantes como el precio, valores de atenuación, distancias entre OLT y FDH, etc.

Con respecto al costo de la fibra óptica, se analizaron algunos fabricantes, por ejemplo, la marca EFON provee a fibras ópticas monomodo con valores entre \$0,5 - \$1/m (EFON, Ningbo Haishu Efon Communication Equipment Limited, 2016), y fibras multimodo con un costo entre \$0,25 y \$1/metro (EFON, 2016). Con respecto a otros fabricantes, los costos son similares, para fibras monomodo los fabricantes: OUYASEN: \$0,2 - \$1/m (OUYASEN, 2016), YUAN TONG: \$0,4 – \$1,5/m (YUAN, 2016). Y para fibras multimodo los siguientes costos según el fabricante: HXUK: \$0,1- \$5/m (HXUK, 2016), RUX: \$0,2 - \$3/m (RUX, 2016), CeNeRo: \$0,6 - \$1,8/m (CeNeRo, 2016). Se puede apreciar en la Tabla 28 que los costos entre tipos de fibras varían levemente.

*Tabla 28: Comparación Costos F.O.*

<b>Tipo F.O.</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Costo</b>
<b>Monomodo</b>	EFON	\$0,5 - \$1/m
	OUYASEN	\$0,2 - \$1/m
	YUAN	\$0,4 – \$1,5/m
<b>Multimodo</b>	RUX	\$0,2 - \$3/m
	HXUK	\$0,1- \$5/m
	EFON	\$0,25 y \$1/m
	CeNeRo	\$0,6 - \$1,8/m

*Fuente: Fabricantes*

Un factor muy importante a considerar es la atenuación producida por los tipos de fibras, dada su dispersión modal, la fibra óptica multimodo posee un ratio de esparcimiento de los pulsos mayor que la fibra óptica monomodo, limitando así, la capacidad de transmisión de la información en la fibra óptica multimodo.

Las fibras monomodo no sufren tanto el fenómeno de la dispersión modal como las multimodo ya que por la fibra sólo viaja un pulso de luz cada vez. También tiene menos atenuación lo que garantiza una transmisión de la señal más eficaz. De esta manera se tiene una atenuación más alta en las fibras multimodo que en las monomodo.

Por ejemplo, el fabricante OPTRAL posee a disposición fibras multimodo 50/125 con una atenuación de 0,7dB/Km en 1300 nm (OPTRAL, FIBRA ÓPTICA MULTIMODO 50/125 ,



2016) y fibras monomodo SMF–G657 con una atenuación de 0,22 dB/Km en 1550 nm (OPTRAL, 2016). Elementalmente la fibra monomodo posee una atenuación mucho menor, por lo tanto se considera una gran ventaja sobre las multimodo.

La distancia entre OLT y FDH es otro aspecto muy importante a considerar, las fibras ópticas multimodo están limitadas a construcciones con poca distancia entre ellas. La velocidad típica de transmisión respecto a los límites de distancia está ubicada en los 100 Mbps en distancias de hasta 2 Km, 1 Gbps hasta 1 Km y 10 Gbps hasta los 550 metros. (OM4 The next generation of multimode fiber, 2016).

Por el contrario, las fibras ópticas monomodo permiten transmisiones de Gigabits de información a una distancia muy superior a los 550 metros, teniendo en cuenta que la distancia entre la OLT y el HDF más lejano supera los 2 km se considera adecuado usar una fibra óptica monomodo en el diseño de la red.

De acuerdo al tipo de red, se utiliza un diferente tipo de cable de fibra óptica, por lo tanto, se tomará como base a la Norma Técnica de Diseño de Planta Externa con Fibra Óptica de la CNT E.P. (CNT E.P., Norma Técnica de Diseño de Planta Externa con Fibra Óptica, 2015). En la Tabla 29 se muestra a detalle el tipo de red, y su respectivo tipo de cable óptico.

*Tabla 29: Capacidad de los cables de F.O.*

<b>Aplicación</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Tipo</b>
Red Feeder	144, 288 Hilos.	ADSS (G.652D)
Red Distribución	96, 72, 48, 24, 12 Hilos.	ADSS (G.652D)
Red Dispersión	2 Hilos.	ADDS o Fig. 8 (G.657.A1 o G.657.A2)

*Fuente: (CNT E.P., Norma Técnica de Diseño de Planta Externa con Fibra Óptica, 2015)*

#### **4.2.6.1. Fibra Monomodo G.652.D**

El tipo de fibra monomodo G.652.D está basada en la recomendación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU-T G.652.D. Esta fibra posee características técnicas

superiores comparadas con los otros tipos de fibra que pertenecen a la familia G.652, por ello es la más indicada para la implementación de la red GPON.

Esta fibra se aplica en la red de distribución óptica en la sección del feeder y de los cables de distribución (ODN). La misma se usa en transmisiones análogas y digitales y se recomienda operar en la ventana 1310 nm, ya que se optimiza su funcionamiento en esta región y posee la longitud de onda de dispersión nula; acorde a lo que indica la recomendación ITU-T G.652.D, la misma también se puede operar en la región de 1550 nm. (UIT-T, Recomendación UIT-T G.652, 2009). En la Tabla 30 se muestra algunos de los atributos de la fibra monomodo G.652.D.

Tabla 30: Atributo de Fibra Monomodo G.652.D

<b>Atributo</b>	<b>Detalle</b>	<b>Valor</b>
Diámetro de Campo Modal	Longitud de onda	1310 nm
	Rango de valores nominales	8.6 – 9.5 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0.6 \mu\text{m}$
Diámetro de Revestimiento	Nominal	125 $\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0.6 \mu\text{m}$
Error de Concentración del Núcleo	Máximo	0.6 $\mu\text{m}$
Pérdida de Macroflexión	Radio	30 nm
	Número de vueltas	100
	Máximo en 1625 nm	0.1 dB
Coeficiente de Dispersión Cromática	Máximo Coeficiente de la Pendiente de Dispersión Nula	0.092 $\text{ps}/\text{nm}^2 \cdot \text{km}$
Coeficiente de Atenuación	Máximo de 1310 nm hasta 1625 nm	0.4 dB/km
	Máximo en 1550 nm	0.3 dB/km

Fuente: (UIT-T, Recomendación UIT-T G.652, 2009)

#### 4.2.6.2. Fibra Monomodo G.657.A1

El tipo de fibra monomodo G.657. A1 está basado en la recomendación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU-T G.657, éstas se han optimizado para la reducción de la pérdida de macroflexión en comparación con las fibras monomodo G.652.D, por lo que, la CNT recomienda el despliegue de estas fibras en redes de acceso. En la Tabla 31 se muestra algunos de los atributos de la fibra monomodo G.657.A1

Tabla 31: Atributos de la fibra monomodo G.657.A1

Atributo	Detalle	Valor
	Longitud de onda	1310 nm
Diámetro de Campo Modal	Rango de valores nominales	8.6 – 9.5 $\mu\text{m}$
Diámetro de Revestimiento	Nominal	125 $\mu\text{m}$
Error de Concent del Núcleo	Máximo	0.5 $\mu\text{m}$
	Radio	15 nm
Pérdida de Macroflexión	Número de vueltas	10
	Máximo en 1550 nm	0.25 dB
Coefficiente de Dispersión Cromática	Máximo Coeficiente de la Pendiente de Dispersión Nula	0.092 ps/nm <sup>2</sup> *km
Coefficiente de Atenuación	Máximo de 1310 nm hasta 1625 nm	0.4 dB/km
	Máximo en 1550 nm	0.3 dB/km

Fuente: (UIT-T, Recomendación G.671, 2012)

### 4.3. Presupuesto Óptico Y Cálculos De Pérdidas

Como se lo explico en la sección 2.6.2. *Presupuesto de Pérdidas*, calcular el presupuesto óptico de una red FTTH es una de las actividades más básicas que hay que tener bien clara. El presupuesto óptico determina que tan lejos se puede tener a los clientes sin que la señal transmitida pierda potencia y la información no se pierda.

El objetivo principal de cualquier red de fibra óptica es ejecutar una transmisión de datos a alta velocidad, libre de errores. Sin embargo, solo en un canal infinito se tendría una conexión sin ninguna pérdida de potencia, al existir un receptor en una transmisión, automáticamente se originan pérdidas de potencia por diversos parámetros y características, por lo tanto, realizar un diseño de red con las mínimas pérdidas es lo ideal para este proyecto.

Uno de los factores más importantes para garantizar una transmisión correcta es controlar las pérdidas de potencia en la red frente a las especificaciones del presupuesto óptico del enlace con la recomendación *UIT-T G.984.2: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos* (UIT-T, Recomendación UIT-T G.984.2, 2008). El presupuesto óptico de pérdidas calculadas no debe superar el presupuesto óptico establecido al diseñar la red. En otras palabras, el presupuesto óptico establecido se considera como la atenuación máxima soportada

por un sistema que vendrá dada por la potencia máxima garantizada por la OLT menos la sensibilidad de la ONT.

- Presupuesto Óptico Establecido= (Potencia Lanz. Tx) - (Sensibilidad Receptor)

Se calculará el presupuesto óptico en el peor escenario posible, en las Tablas 32 y 33 se observa las especificaciones de los valores típicos de atenuación en OLT y ONT para determinar la potencia mínima a la cual emiten y su sensibilidad de recepción.

*Tabla 32: Valores típicos en OLT*

OLT	dBm
<b>Máxima Potencia Tx.</b>	+5
<b>Mínima Potencia Tx.</b>	+1,5
<b>Mínima Sensibilidad Rx.</b>	-28

*Fuente: UIT-T G.984.2*

*Tabla 33: Valores típicos en ONT*

ONT	dBm
<b>Máxima Potencia Tx.</b>	+5
<b>Mínima Potencia Tx.</b>	+0,5
<b>Mínima Sensibilidad Rx.</b>	-27

*Fuente: UIT- T G.984.2*

Para calcular el presupuesto óptico establecido se utiliza la relación descrita anteriormente:

- Presupuesto Óptico Establecido = (Potencia Lanz. Tx) - (Sensibilidad Receptor)
- Presupuesto Óptico Establecido = (5 dBm) - (-27 dBm)
- **Presupuesto Óptico Establecido = 32 dB**

Ahora se debe calcular el presupuesto de pérdidas, en este caso se deben tener en cuenta las pérdidas que son introducidas por todos los elementos de la red, adicionalmente, se debe considerar un margen de respaldo, que abarca pérdidas que pueden presentarse por diversas causas y que no son predecibles. El presupuesto óptico de pérdidas no debe superar el presupuesto óptico establecido de 32 dB. Las pérdidas a considerar son:

### 4.3.1. Atenuación Por Distancia En La Fibra Óptica

La atenuación por distancia en la fibra óptica se relaciona en función de la longitud de onda además del tipo y la calidad de la fibra. En una red GPON, se asigna una longitud de onda para el tráfico de datos (Internet, VoIP, IPTV, etc) en downstream: 1490 nm y otra para el tráfico upstream: 1310 nm. Además, a través del uso de WDM se asigna una tercera longitud de onda: 1550 nm que está dedicada para el Broadcast de Video RF. Para realizar el cálculo de atenuación se estima que las pérdidas son las mismas para las longitudes de onda de tráfico de datos (1490 y 1310 nm).

La fibra que se recomienda usar será del tipo G.652D. La normativa *UIT-T G.984.2: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos* (UIT-T, Recomendación UIT-T G.984.2, 2008) marca la atenuación máxima de estas fibras a las distintas longitudes de onda. Para determinar el presupuesto óptico se estimarán los valores de atenuación especificados en la recomendación UIT antes mencionada, de esta manera independientemente del fabricante que se elija finalmente se tendrá un valor estimado de la atenuación producida en la fibra óptica respecto a la longitud de onda.

Como se lo especifico en la Tabla 5 del Capítulo II las atenuaciones son las siguientes:

- Cliente más cercano:
  - 1310 / 1490 nm: Atenuación =  $0.05 \text{ Km} * 0,4 \text{ dB/Km} = 0,02 \text{ dB}$
  - 1550 nm: Atenuación =  $0.05 \text{ Km} * 0,3 \text{ dB/Km} = 0,015 \text{ dB}$
- Cliente más lejano:
  - 1310 / 1490 nm: Atenuación =  $3 \text{ Km} * 0,4 \text{ dB/Km} = 1,2 \text{ dB}$
  - 1550 nm: Atenuación =  $3 \text{ Km} * 0,3 \text{ dB/Km} = 0,9 \text{ Db}$

### 4.3.2. Atenuación Ocasionada Por Los Conectores

Para determinar el número de conectores, se basará el análisis en la topología de red GPON de la Normativa de la CNT E.P. Según la normativa *UIT-T G.984.2: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos*. (UIT-T, Recomendación UIT-T G.984.2, 2008) la atenuación máxima que un conector produce es de 0,5 dB; independientemente del fabricante que en el futuro se elija, los cálculos se los realiza basados en la recomendación UIT citada anteriormente. Se utilizará dos conectores que interconectan la OLT y el ODF, dos conectores por cada divisor óptico (entrada y salida), un conector adicional que interconecta la NAP y la roseta, y por ultimo dos conectores entre la roseta y la ONT.

En la Figura 49 se observa el diagrama de la red, de esta manera el número total de conectores es de 7.

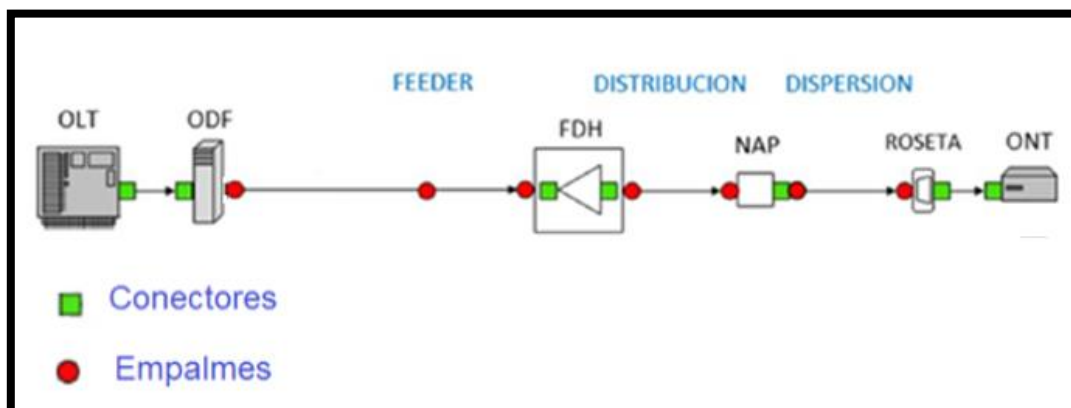


Figura 49: Diagrama Red GPON-Conectores

Fuente: (CNT E.P., Norma Técnica de Diseño de Planta Externa con Fibra Óptica, 2015)

- # Conectores= 7
- Atenuación=  $7 * 0,5 \text{ dB} = 3,5 \text{ dB}$

### 4.3.3. Atenuación Ocasionada Por Los Divisores Ópticos

Los elementos dentro de la ODN que producen más atenuación son los divisores ópticos. Para este caso se utilizará un nivel de división, con una relación de 1:32. Como se indicó anteriormente en la Tabla 4, según la norma UIT-T G.671 (UIT-T, Recomendación G.671, 2012), las atenuaciones para los divisores ópticos con una relación 1:32 es de 18,6 dB, se tomaron los máximos valores de atenuación, de esta manera se garantiza un presupuesto óptimo de potencia eficaz.

### 4.3.4. Atenuación Ocasionada Por Los Empalmes

Para determinar el número de empalmes, se basará el análisis en la topología de red GPON de la Normativa de la CNT E.P., de esta manera el número total de empalmes es de 7. La atenuación introducida por cada empalme si se realiza por fusión es aproximadamente de 0,15 dB. Se utilizará 3 empalmes que interconectan el ODF y el FDH, dos empalmes por cada divisor óptico (entrada y salida), dos empalmes por cada NAP (entrada y salida) y un conector adicional en el extremo de la roseta. En la Figura 50 se observa la ubicación de los empalmes.

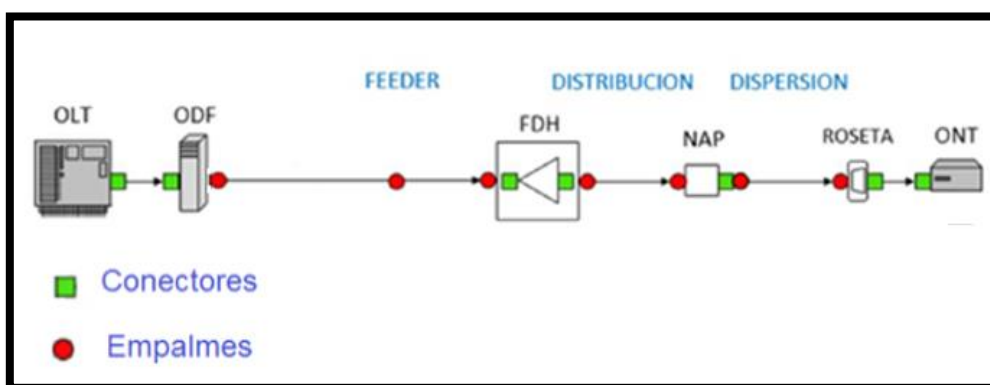


Figura 50: Diagrama Red GPON-Empalmes

Fuente: (CNT E.P., Norma Técnica de Diseño de Planta Externa con Fibra Óptica, 2015)

- # Empalmes = 7
- Atenuación=  $7 \times 0,15 \text{ dB} = 1,05 \text{ dB}$

#### 4.3.5. Margen De Respaldo

El margen de respaldo permite garantizar el enlace por atenuación cuando este aumenta por los empalmes de mantenimiento y degradaciones de los conectores, las variaciones de los parámetros de transmisión por factores ambientales, el envejecimiento de los componentes del sistema en específico. Un valor ideal para el margen de reserva es de 3 dB según la Normativa Técnica de la CNT E.P. (CNT E.P., Norma Técnica de Diseño de Planta Externa con Fibra Óptica, 2015).

#### 4.3.6. Atenuación Total

La atenuación total se calcula sumando las atenuaciones por distancia en la fibra óptica, la producida por los divisores ópticos, empalmes y conectores.

$$\text{Atenuación Total} = (Ad) + (Ac) + (As) + (Ae) + (Ar)$$

Donde:

- Ad= Atenuación por distancia en la fibra óptica.
- Ac= Atenuación por conectores.
- As= Atenuación por divisores ópticos.
- Ae= Atenuación por empalmes.
- Ar= Atenuación de reserva.

#### Cliente más cercano:

- **Atenuación T (1310 nm) = (0,02) + (3,5) + (18,6) + (1,05) + (3) = 26,17 dB**
- **Atenuación T (1550 nm) = (0,015) + (3,5) + (18,6) + (1,05) + (3) = 26,165 dB**

#### Cliente más lejano:

- **Atenuación T (1310 nm) = (1,2) + (3,5) + (18,6) + (1,05) + (3) = 27,35 dB**
- **Atenuación T (1550 nm) = (0,9) + (3,5) + (18,6) + (1,05) + (3) = 27,05 dB**



Como se lo mencionó anteriormente, las pérdidas totales no deben superar el presupuesto óptico establecido, en este caso el presupuesto establecido es de 32 dB, por lo tanto, el presupuesto de pérdida más alto es de 27,35 dB y, por lo tanto, no sobrepasa los 32 dB y se considera un presupuesto de pérdidas adecuado para realizar el diseño de la red.

#### 4.3.7. Longitud Máxima De La Red De Fibra Óptica

De acuerdo a los cálculos de todas las atenuaciones posibles, es conveniente calcular cual es la distancia máxima que la red de fibra óptica puede alcanzar, sin sobrepasar el presupuesto óptico y lograr un enlace con las mínimas atenuaciones posibles, según Adolfo García (García, 2014) la distancia óptica se la calcula de utilizando la Fórmula 6:

$$\text{Distancia Máx} = \frac{(\text{Power Lanz.TX} - \text{Sensibilidad RX} - \text{Ar}) - (\text{As}) - (\text{Ae}) - (\text{Ac})}{\text{Atenuación Fibra/Km}} \quad [6]$$

$$\text{Distancia Máx} = \frac{((5\text{dB}) - (-27\text{dB}) - (3\text{dB})) - (18,6\text{dB}) - (1,05 \text{ dB}) - (4,5 \text{ dB})}{0,4 \text{ dB/Km}}$$

$$\text{Distancia Máxima} = 12,13 \text{ Km}$$

La distancia obtenida máxima obtenida que la red puede soportar con las atenuaciones calculadas sin sobrepasar el presupuesto óptico es más que suficiente alcanzar al cliente más lejano.

### 4.4. Diseño De La Red GPON

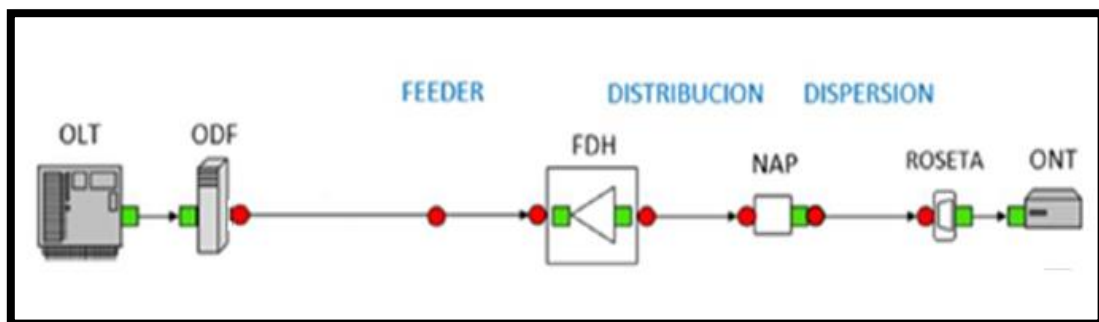
#### 4.4.1. Requerimientos Generales

Se consideró utilizar un plano base georreferenciado del sector a cubrir con la red, que contenga toda la información de planimetría y postería en general, el cual se consideró como punto de partida para empezar el diseño. La importancia de tener un plano georreferenciado

radica en que se puede contar con distancias exactas sin la necesidad de ir a un lugar específico a hacer las mediciones, además de conocer la ubicación exacta de toda la infraestructura que representa la red. Utilizando el análisis de la demanda en el Capítulo III y las coordenadas del plano georreferenciado de Atuntaqui, se pudo determinar que el usuario más lejano de la central, se encuentra aproximadamente a 3 km de distancia.

Una vez que se ha establecido el número total de abonados en el sector de Atuntaqui y Andrade Marín, obviamente se determina el número total de ONTs que se considerarán en el diseño. En esta instancia y después de haber realizado el levantamiento de la planimetría del sector, se puede proceder a realizar el diseño de la red GPON, para lo cual se ha considerado las normativas UIT-T y las Normativas de Diseño y Normas Técnicas de CNT como modelo a seguir. (CNT E.P., Norma Técnica de Diseño de Planta Externa con Fibra Óptica, 2015).

Para el diseño de la red se tomó como referencia el diagrama GPON de la CNT E.P. que se especifica en la Figura 51:



*Figura 51: Diagrama GPON CNT*

*Fuente: (CNT E.P., Norma Técnica de Diseño de Planta Externa con Fibra Óptica, 2015)*

Adicionalmente se considera oportuno establecer una tabla general de requerimientos para facilitar el diseño de la red durante el presente trabajo de titulación. En la Tabla 34 se pueden observar los requerimientos más importantes.

Tabla 34: Tabla General de Requerimientos

<b>Tabla General De Requerimientos</b>	
Nro. Estimado de Abonados Actuales	2.263
Nro. Estimado de Abonados Futuros	2.516
Velocidad Máxima Transmisión	2,488 Gbps
Velocidad Mínima Transmisión	1,244 Gbps
Atenuación Máxima Enlace Óptico	32 dB
Atenuación Mínima Enlace Óptico	26,165 dB
Distancia Máxima Enlace Óptico	12,13 Km
Red Feeder	Canalización
Red Distribución Óptica	Aérea
Red Dispersión	Aérea

Fuente: El Autor

A continuación, se realiza un resumen de todos los planos del diseño de la red:

#### 4.4.2. Red Feeder (Troncal)

El tramo que interconecta la OLT con los Armarios de Distribución Óptica (FDH) se le denomina red feeder o comúnmente como red primaria. En la Figura 52 se observa la red feeder.

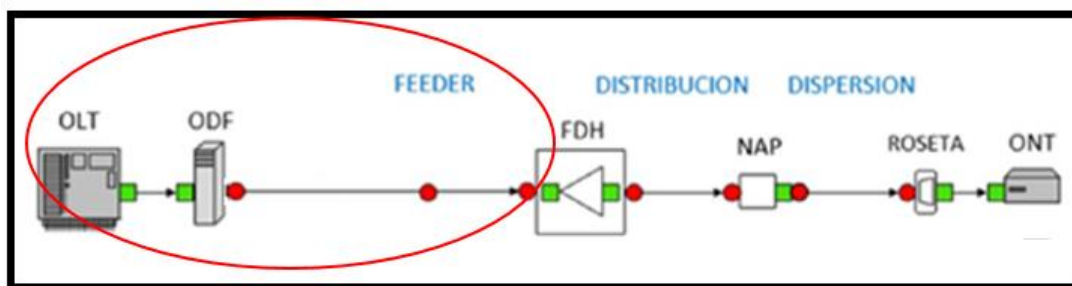


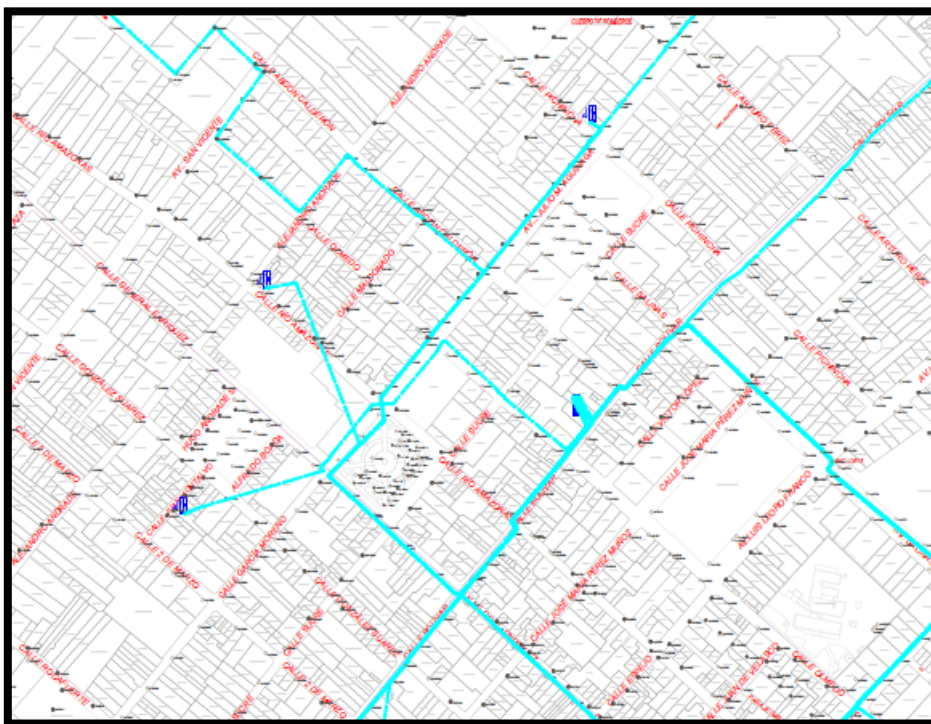
Figura 52: Diagrama Red Feeder

Fuente: CNT E.P.

La ubicación de los armarios ópticos se vuelve muy fundamental, esta parte de la detallara en la sección de red de distribución óptica (ODN), como se indicó antes, el número estimado de abonados actual en las parroquias de Atuntaqui y Andrade Marín es de 2.263, sin embargo, realizar el diseño de una red que se adapte cambios tecnológicos y el aumento de la demanda es muy importante, con el análisis realizado en el Capítulo III, se determinó que el número

estimado de usuarios para el 2020 será de 2.516, por lo tanto, dejar reservas de puertos en los divisores ópticos es primordial.

Es recomendable realizar la comunicación entre la OLT y los Armarios de Distribución Óptica mediante una canalización. En este caso se reutilizará la canalización existente para el paso del cable de fibra desde la OLT hasta los armarios de distribución óptica (FDH), en los sectores en donde no se encuentre construida la canalización se realizará una proyección de la misma. El plano completo de la canalización se encuentra en el Anexo C. En la Figura 53 se muestra una parte de la red Feeder, la línea celeste representa el trayecto de la red feeder, el plano completo de la red se encuentra en el Anexo D.



*Figura 53: Red Feeder*

*Fuente: El Autor*

#### **4.4.3. Red Óptica De Distribución (ODN)**

El tramo que interconecta la red Feeder a la red de dispersión se le denomina red de distribución óptica (ODN), esta red comprende la ubicación de los armarios ópticos, la

distribución de los divisores ópticos y la conexión hasta las NAP. En la Figura 54 se observa el diagrama de la red de distribución óptica.

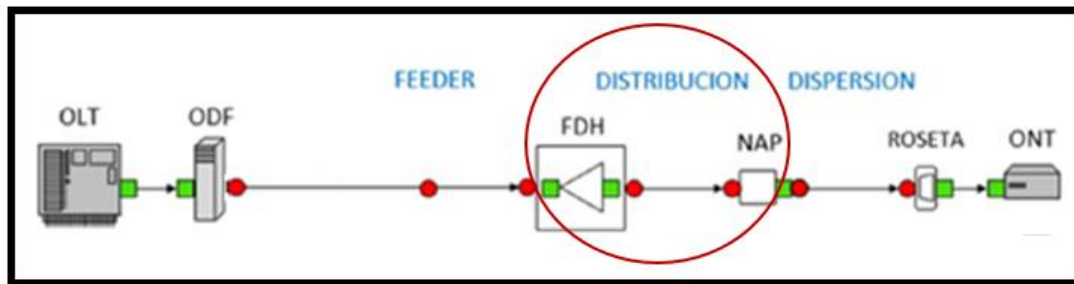


Figura 54: Diagrama Red ODN

Fuente: CNT E.P.

La red de distribución es el tramo que conecta los armarios de distribución óptica (FDH) hasta las cajas de distribución óptica (NAP). Dentro de los armarios ópticos se encuentran ubicados los divisores ópticos. Los armarios ópticos tienen la capacidad de soportar un máximo de 9 splitters con relación de división de 1:32. Como se puntualizó en la sección 4.2.5. *Ubicación de los Divisores Ópticos*, la arquitectura de distribución de los divisores será centralizada, esto quiere decir que se utilizará un solo nivel de splitteo.

Un armario óptico almacena un máximo de 9 divisores de relación 1:32, de esta manera se obtiene un número de 288 abonados por armario. Sin embargo, es muy importante dejar reservas en los divisores ópticos y en las NAP, se realiza este procedimiento con la intención de tener espacio para futuros abonados sin y que el diseño de la red sea flexible a demandas futuras, de esta manera se pretende utilizar 8 divisores y dejar el restante para futuros clientes potenciales, así mismo cada divisor puede abastecer a 32 abonados, por lo tanto, es fundamental dejar dos hilos vacíos y solo utilizar los 30 restantes. Entonces, cada armario estaría brindando servicio a 240 abonados (30\*8 divisores), de esta manera se tienen 48 puertos disponibles para ser utilizados en el futuro. En la Figura 55 se muestra un diagrama de cómo estarán distribuidos los divisores en cada armario óptico.

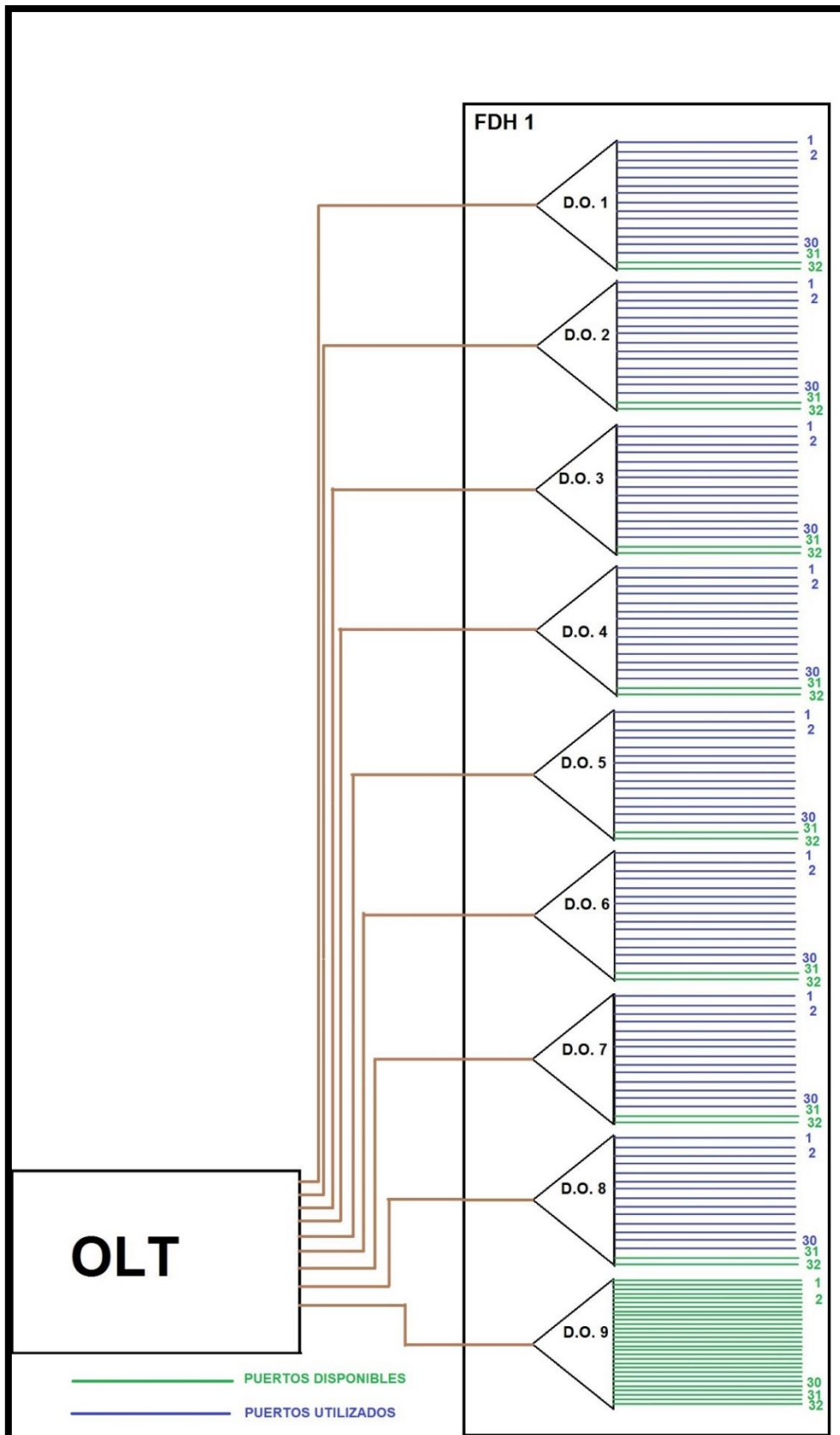


Figura 55: Diagrama Distribución Divisores Ópticos

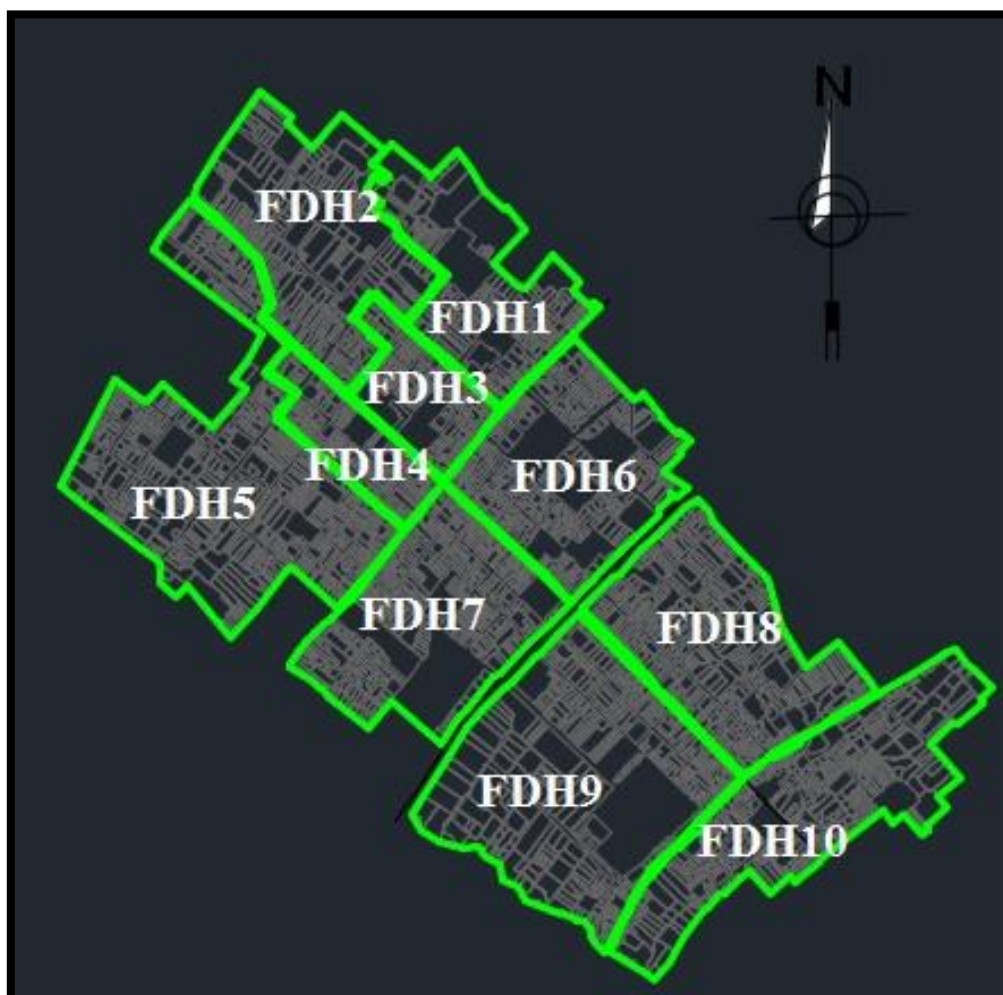
Fuente: El Autor

Se determinó la ubicación de los armarios ópticos respecto a la infraestructura existente, en este caso, la conexión entre la OLT y los FDH se los realiza mediante canalización, por lo tanto, se ubicó a los armarios en puntos estratégicos para aprovechar la canalización existente. Cada armario almacena 240 abonados, entonces serán necesarios 7 FDH para Atuntaqui y 3 FDH para el sector de Andrade Marín, y se los distribuye de la siguiente manera:

**Zona 1:** FDH 1, FDH 2, FDH 3, FDH 4, FDH 5, FDH 6, FDH 7

**Zona 2:** FDH 8, FDH 9, FDH 10

En la Figura 56 se detallan la ubicación de los FDH en las diferentes zonas:



*Figura 56: Ubicación FDH en zonas*  
*Fuente: El Autor*

Para poder pasar el cable de fibra óptica de la canalización al tendido aéreo se utiliza las subidas a poste, los cuales son pequeños tramos de canalización de dos vías que llega hasta el poste más cercano en donde se pretende que empiece el tendido aéreo, generalmente para este tramo se colocan pozos de mano (pozos pequeños de dos vías).

Para el diseño de la red de distribución fue necesario el uso de empalmes únicamente cuando a un mismo cable de fibra óptica se lo tenía que dividir para tomar dos trayectos diferentes; teniendo como máximo dos empalmes en un mismo trayecto del cable de fibra óptica. En la Figura 57 se muestra una parte de la red de Distribución Óptica (ODN), la línea azul es el trayecto de la red ODN, el plano completo de la red se encuentra en el Anexo E.

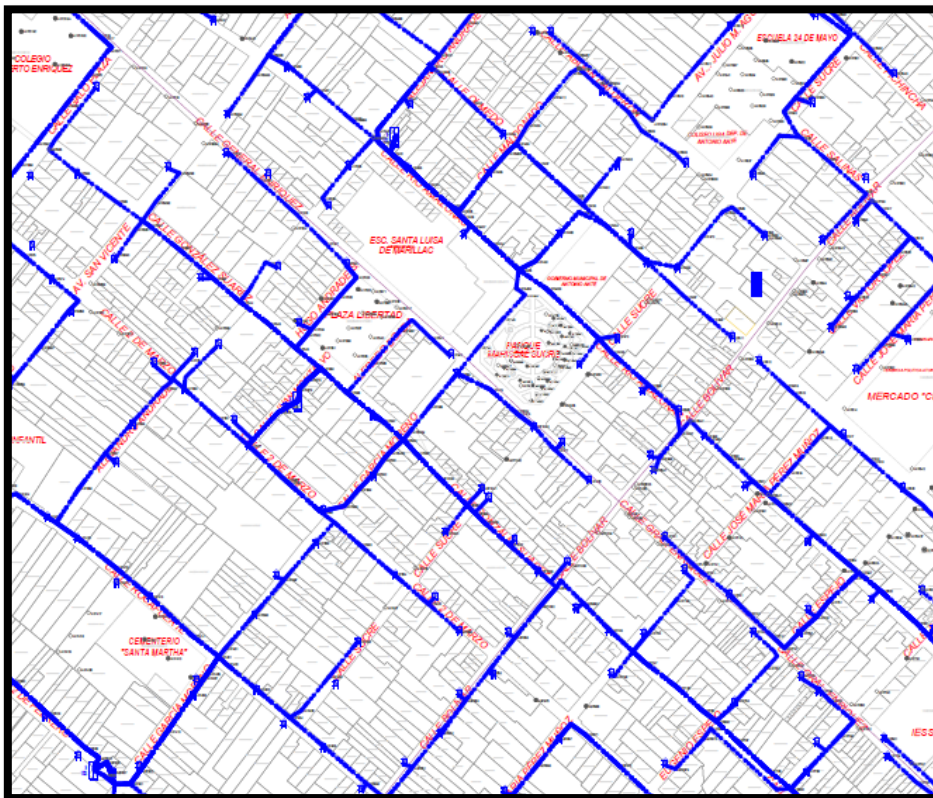


Figura 57: Red Óptica de Distribución  
Fuente: El Autor



#### 4.4.4. Red Dispersión

La red Dispersión es la que va desde la caja de distribución óptica hasta la ONT, es decir, es la red de acometida a cada abonado. Este tipo de red se instala conforme los requerimientos del abonado y este tramo de red no abarca las especificaciones en el diseño planteado en este proyecto, debido al número excesivo de ONTs en el sector que sobrepasa los 2.000 abonados. En la Figura 58 observa el diagrama de la red de dispersión.

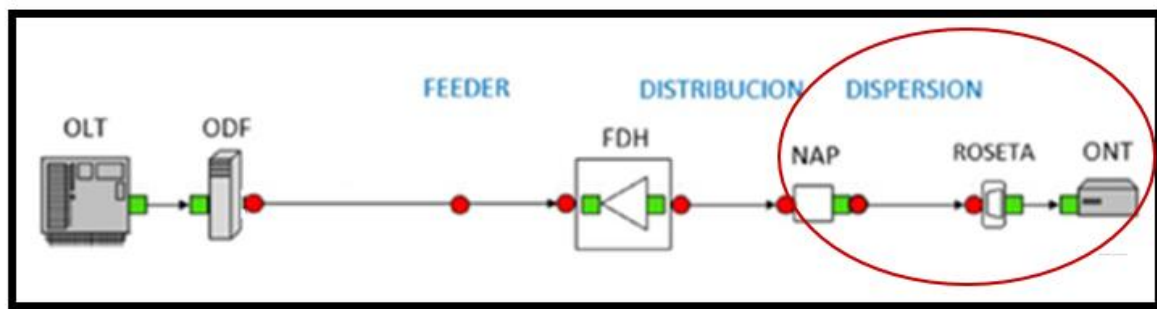


Figura 58: Diagrama Red Dispersión

Fuente: CNT E.P.

Una NAP es el punto de conexión entre la red de distribución y las acometidas individuales de cada abonado teniendo una capacidad máxima de 12 puertos por cada equipo, es decir, cada NAP puede abastecer a un máximo de 12 abonados, además son puntos de corte para labores de operación y mantenimiento. Con respecto a la distancia entre la NAP y la Acometida del abonado es recomendable no exceder los 300 metros, esto debido a que el FDH se debe ubicar lo más distante de la OLT, de esta manera se realiza un ahorro en cables de hilos de fibra.

Antes de empezar a diseñar esta red se recomienda establecer el número total de cajas ópticas y de armarios de distribución con su respectiva ubicación geográfica, además se necesita tener definido las subidas a poste para el cable de fibra óptica. Para el tendido de cable aéreo en la red de distribución se utilizan cables de fibra óptica con capacidad de: 12, 24, 48, 72 y 96 hilos.

Como se explicó en la sección anterior, es recomendable dejar reservas en los armarios ópticos y en las NAP, de esta manera, en el diseño planteado se establece dejar 2 puertos vacíos en cada NAP para futuros clientes, es decir, solo se utilizarán 10 puertos por cada NAP. Cada armario óptico puede abastecer a 24 NAP ( $24 * 12 = 288$  abonados), sin embargo, al dejar 2 puertos libres por cada caja, se tienen 48 puertos disponibles que se los utilizará en futuras demandas.

Además, como se lo determino en la sección anterior solo se utilizarán 8 de los 9 divisores ópticos disponibles en cada armario, y de los 8 divisores se usarán 30 puertos y los dos restantes se dejarán libres. Entonces, la distribución de las NAP es la siguiente: cada divisor óptico con 30 puertos utilizables abastecerá a 3 NAP, es decir cada NAP dispondrá de 10 puertos. En la Figura 59 se observa la distribución de las NAP 1, 2 y 3 de acuerdo a la ubicación del divisor óptico 1. Por, lo tanto se utilizarán 240 NAPs aéreas, 24 cajas ópticas por cada FDH, de las cuales 168 pertenecen a la Zona 1 (Atuntaqui) y los 72 restantes a la Zona 2 (Andrade Marín).

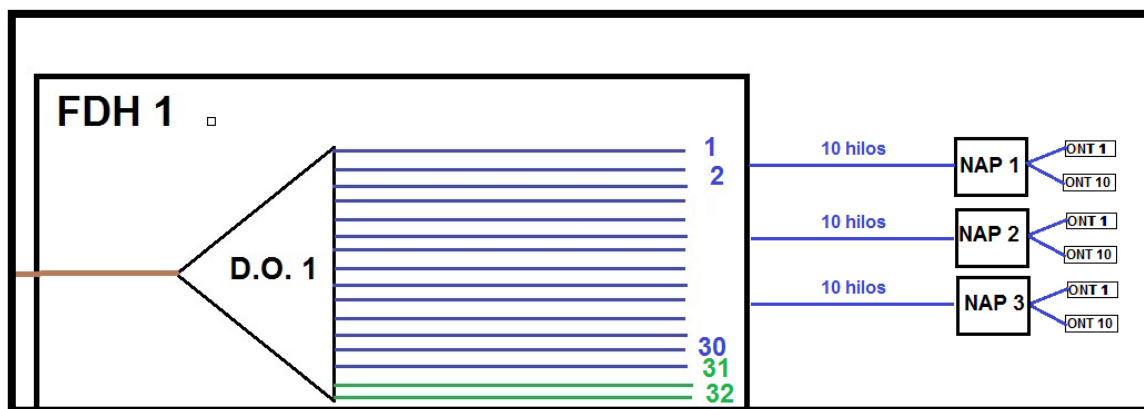


Figura 59: Distribución de NAP respecto al Divisor Óptico

Fuente: El Autor

En la Figura 60 se observa la distribución de todas las cajas ópticas pertenecientes al primer armario óptico de distribución. La distribución de los armarios ópticos restantes se lo realizará de la misma manera que en el FDH 1.

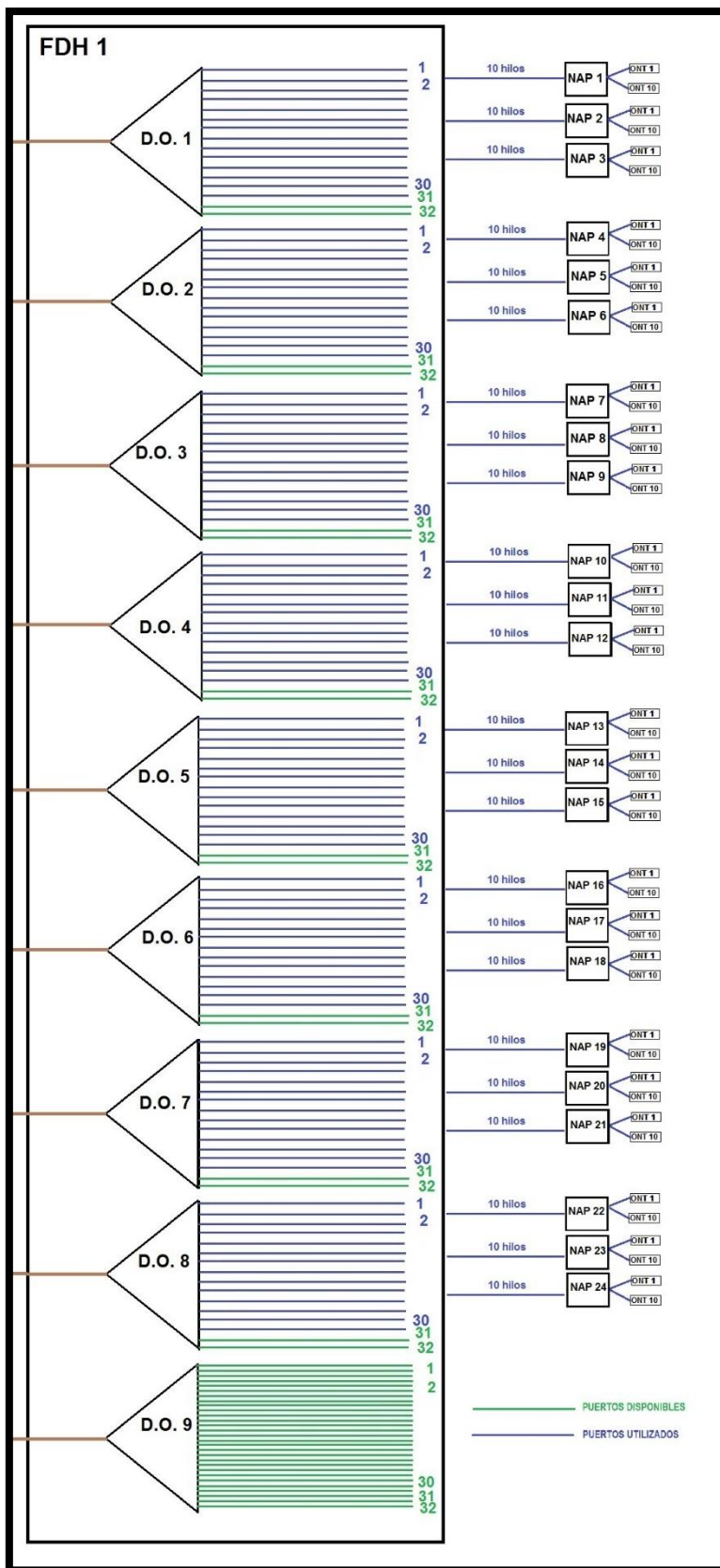


Figura 60: Diagrama Total red Dispersión

Fuente: El Autor

#### 4.4.5. Requerimientos Equipos Activos GPON

Una parte muy importante dentro del diseño de la red, es determinar cuáles equipos activos se consideran para realizar el enlace óptico y si sus características satisfacen las necesidades de la red. Por lo tanto, se considera muy adecuado establecer una tabla de requerimientos de ONT y OLT. Con respecto a las NAP, FDH y ODF, no se consideran equipos activos fijos prioritarios para el cálculo de requerimientos y por lo tanto dependerá de la empresa determinar que fabricantes y características son los adecuados.

En la Tabla 35 se observa los requerimientos principales tomados en cuenta para la OLT.

*Tabla 35: Tabla de requerimientos OLT*

<b>Tabla De Requerimientos OLT</b>	
Máxima Potencia Transmisión	+ 5 dBm
Mínima Potencia Transmisión	+ 1,5 dBm
Mínima Sensibilidad Recepción	- 28 dBm
Mínima Sobrecarga	- 8 dBm
Tarjetas de servicio	16
Mínimo puertos por tarjeta	8
Mínima Velocidad Transmisión	Downstream: 2.488 Gbps Upstream: 1.244 Gbps
Mínima Capacidad Acceso	64xGPON 10G / 256xGPON / 768xGE
Distancia Máxima Transmisión	20 Km
Máxima División Splitteo	1:64

*Fuente: El Autor*

En la Tabla 36 se observa los requerimientos principales tomados en cuenta para la ONT.

*Tabla 36: Tabla de requerimientos ONT*

<b>Tabla De Requerimientos ONT</b>	
<b>Máxima Potencia Transmisión</b>	+ 5 dBm
<b>Mínima Potencia Transmisión</b>	+ 0,5 dBm
<b>Mínima Sensibilidad Recepción</b>	- 27 dBm
<b>Mínima Sobrecarga</b>	- 8 dBm
<b>Mínima Velocidad Transmisión</b>	Downstream: 2.488 Gbps Upstream: 1.244 Gbps

*Fuente: El Autor*

En la Tabla 37 se observa los requerimientos generales principales tomados en cuenta en el diseño de la red.

*Tabla 37: Tabla de requerimientos generales*

<b>Tabla De Requerimientos Generales</b>	
Rango de Atenuación Óptica (GPON B +)	(13 – 28) dB
Atenuación Máxima Divisor 1:32	- 18,6 dB
Atenuación Mínima Divisor 1:32	- 13,1 dB
Atenuación F.O. 1310 nm (Km)	- 0,4 dB
Atenuación F.O. 1550 nm (Km)	- 0,3 dB
Empalme por Fusión	- 0,1 dB / - 0,2 dB

*Fuente: El Autor*

Después de establecer los requerimientos mínimos para los equipos activos, se procede a determinar que fabricante es el ideal.

#### **4.4.5.1. OLT De Marca HUAWEI SmartAX MA5600T**

Con respecto a la OLT es indispensable conocer las velocidades de transmisión tanto de upstream y downstream además se debe conocer la cantidad de puertos PON en cada tarjeta del OLT, ya que de ello depende la capacidad máxima de abonados que puede servir. En la Tabla 38 se observan las especificaciones del equipo Huawei.

*Tabla 38: OLT HUAWEI SMART MA5600T-Especificaciones*

<b>EQUIPO OLT HUAWEI</b>	<b>SmartAX MA5600T</b>
<b>Dimensiones (h x a x p)</b>	447 mm x 490 mm x 275,8 mm
<b>Entorno Operativo</b>	-25 °C a + 55°C / 5% A 95% de humedad relativa
<b>Alimentación</b>	-48 VCC
<b>Rango de voltaje de operación</b>	De -38,4 V a -72 V
<b>Capacidad de Acceso</b>	64 x GPON 10G / 256 x GPON/768 x GE
<b>Tarjetas de servicio</b>	16 Tarjetas
<b>Puertos GPON/Tarjeta</b>	8 Puertos
<b>Máxima división splitteo</b>	1:128
<b>Max. Potencia Transmisión</b>	5 dBm
<b>Min. Sensibilidad Recepción</b>	-28 dBm
<b>Velocidad de Transmisión</b>	Downstream: 2.488 Gbps / Upstream: 1.244 Gbps

*Fuente: (HUAWEI, OLT de la serie SmartAX MA5600T, 2016)*

En la Figura 61 se observa el equipo Huawei.



*Figura 61: OLT HUAWEI SMART MA5600T*

*Fuente: (HUAWEI, OLT de la serie SmartAX MA5600T, 2016)*

#### 4.4.5.2. OLT De Marca ALCATEL – LUCENT 7302 ISAM

En la Tabla 39 se observan las especificaciones del equipo ALCATEL. Características Generales (ALCATEL, 2016):

*Tabla 39: OLT ALCATEL – LUCENT 7302 ISAM – Especificaciones*

<b>EQUIPO ALCATEL - LUCENT 7302 ISAM</b>	
<b>Puertos GPON/ Tarjeta</b>	4
<b>Tarjetas de Servicio</b>	4 – 8 -16
<b>Velocidad de transmisión</b>	Downstream: 2.488 Gbps / Upstream: 1.244 Gbps
<b>Alcance Físico</b>	20 km
<b>Soporta</b>	QoS y Priorización de tráfico.

*Fuente: (ALCATEL, 2016)*

En la Figura 64 se observa la OLT de marca ALCATEL LUCENT:



*Figura 62: OLT ALCATEL – LUCENT 7302 ISAM*

*Fuente: (NOKIA, 2016)*

#### 4.4.5.3. OLT De Marca MOTOROLA AXS 1800

Características Generales se especifican en la Tabla 40 (MOTOROLA, 2016):

*Tabla 40: OLT MOTOROLA AXS 1800 – Especificaciones*

<b>EQUIPO MOTOROLA</b>	<b>AXS 1800</b>
Puertos GPON/ Tarjeta	4
Tarjetas de Servicio	14
Velocidad de transmisión	Downstream: 2.488 Gbps / Upstream: 1.244 Gbps
Alcance Físico	20 km
Soporta	QoS y Priorización de tráfico.
Estándar	UIT-T G.984 y 802.1 Q VLANS

*Fuente: (MOTOROLA, 2016)*

En la Figura 63 se observa la OLT de marca MOTOROLA:



*Figura 63: OLT MOTOROLA AXS 1800*

*Fuente: (MOTOROLA, 2016)*

A continuación, en la Tabla 41 se presenta una comparativa entre tres modelos y marcas de equipos de tecnología GPON, tomando en cuenta las características técnicas mínimas requeridas que deberá tener el equipo central u OLT para realizar la transmisión de información en óptimas condiciones:

Tabla 41: Comparación Marcas OLT

<b>Características Mínimas Requeridas</b>	<b>Huawei</b>	<b>Alcatel Lucent</b>	<b>Motorola</b>
Soportar de estándar ITU-T G.984	Si	Si	Si
Puerto GPON (mínimo 8 puertos GPON)	Si	No	No
Puertos con capacidad Gigabit Ethernet	Si	Si	Si
Calidad de Servicio (QoS).	Si	Si	Si
Permitir velocidad UP / DOWN: 1.24 Gbps / 2.4 Gbps	Si	Si	Si
Administrable remotamente y localmente	Si	Si	Si
Capacidad de proveer servicios de Video en la lambda de 1550nm	Si	Si	Si
Capacidad de transmisión en las ventanas 1310nm y 1490.	Si	Si	Si
Soportar distancias de transmisión hasta 20Km.	Si	Si	Si
Hot Swap (permite cambios de tarjeta en caliente)	Si	No	No
802.3z (Soporte Gigabit Ethernet para fibra en enlaces UPLINK)	Si	Si	No
802.1p (priorización de tráfico para diferentes aplicaciones)	Si	Si	No
Garantía mínima de 3 años	No	No	No
<b>Porcentaje De Cumplimiento</b>	<b>92,30%</b>	<b>76,92%</b>	<b>61,54%</b>

*Fuente: (Rojas, Espinoza, & Rhor, 2015)*

El porcentaje de cumplimiento se determina calculando cuantos requerimientos se cumplen o no dependiendo del fabricante. El 100% corresponde a 13 requerimientos, de esta manera el 92,30 % a 12 requerimientos alcanzados, 76,92% a 10 y 61,54% a únicamente 8 requerimientos logrados.

La OLT es el equipo activo principal en una red GPON, por lo tanto deberá cumplir ciertos requisitos tales como: escalabilidad, seguridad, además de un modelo de gestión que facilite al operador la administración remota de los equipos de los usuarios, es por ello que la OLT seleccionada de entre los anteriores es el equipo de la marca HUAWEI, puesto que cumple con los requerimientos técnicos de este diseño y proporcionará una excelente escalabilidad a la red, ya que cada tarjeta GPON dispone 8 puertos y 16 tarjetas, de esta manera que brindan una máxima división de splitter de 1:32 dando como un resultado aproximado de 4.096 usuarios.



#### 4.4.5.4. ONT De Marca HUAWEI Echo Life HG8245

La ONT escogida será del mismo fabricante para procurar una completa interoperabilidad, y además este producto cuenta con las interfaces necesarias para la transmisión y recepción de diferentes servicios de telecomunicaciones. Esta debe contar con varios puertos de interfaz para los servicios de telefonía, Internet y TV. HUAWEI modelo Echo Life HG8245 que posee puertos de alta velocidad a través de la fibra monomodo que se conecta con el puerto óptico upstream.

Este modelo tiene puertos ethernet para la provisión de internet por cable, puertos ethernet para IPTV, puertos de telefonía tradicional y la interfaz para Wi-Fi que es una antena para la provisión de internet inalámbrico, de esta manera permitiendo a los abonados gozar de los servicios convergentes.

En la Tabla 42 se observan las especificaciones del equipo Huawei.

*Tabla 42: ONT Echo Life HG8245 - Especificaciones*

<b>EQUIPO ONT HUAWEI</b>	<b>Echo Life HG8245</b>
Dimensiones (L x W x H)	195 mm x 174 mm x 34 mm
Temperatura de entorno operativo	0 °C hasta 40 °C
Humedad relativa	5% hasta 95%
Consumo máximo potencia	16 Watts
Máxima Potencia Transmisión	5 dBm
Mínima Sensibilidad Recepción	-27 dBm
Puertos Telefonía	2 POTS
Puertos Internet/TV	4 GE
USB	1 Puerto
Wi-Fi	(802.11 b/g/n)

*Fuente: (HUAWEI, ONT ECHO LIFE HG 8245, 2016)*



## **Capítulo V:**

### **5. Análisis Costo-Beneficio**

#### **5.1. Análisis Financiero**

El análisis financiero se lo realiza con la finalidad de determinar si la implementación de la red GPON para Atuntaqui es financieramente viable o no representa una inversión positiva para la empresa. El análisis se lo realiza basándose en una proyección de 5 años en el futuro, y después de determinar ingresos y egresos se procede a utilizar los indicadores de rentabilidad para determinar la viabilidad de la implementación de la red.

El análisis financiero se basa en una proyección de egresos e ingresos que tendrá la empresa para la implementación de la red diseñada. Los egresos estarán conformados por el presupuesto de la obra y mantenimiento de la red, por otra parte, los ingresos serán el pago de servicios de video, voz y datos por parte de los usuarios y costos por motivos de instalación de los equipos en el caso de los clientes nuevos.

##### **5.1.1. Egresos Del Proyecto**

En esta sección se calcularán los presupuestos para el tendido de la fibra y colocación de los elementos pasivos en la red feeder, red de distribución, red de dispersión, canalización y por mantenimiento de la red. Los precios que se estiman para elaborar el presupuesto para la implementación de la red, están referenciados de los volúmenes de obra de la CNT E.P. actualizado en abril del 2016.

###### **5.1.1.1. Red Feeder**

Para la red Feeder se estimaron los siguientes valores de presupuesto basados en el tendido de 10 cables subterráneos de 288 hilos de fibra G.652.D cada uno, que salen desde la OLT en la central de la CNT E.P. y se conectan a los 10 FDH. Los precios que se estiman para elaborar el presupuesto están referenciados de los volúmenes de obra de la CNT E.P. actualizado en abril del 2016.

En la Tabla 43 se presente el presupuesto estimado para la implementación de la red Feeder.

Tabla 43: Presupuesto Red Feeder

Unidad De Planta	U	Cantidad Total	Unitario (USD)	Total (USD)
Suministro y colocación armario FTTH de 288 puertos	U	10	10.741,79	107.417,90
Suministro y colocación de ODF de 96 puertos con pacheo lateral	U	1	2.263,09	2.263,09
Suministro y tendido de cable canalizado 288 fibras ópticas monomodo G652.D	m	11.699,88	6,25	73.124,25
Suministro y colocación de ODF de 96 hilos	U	1	1.073,37	1.073,37
<b>Presupuesto Red Feeder (USD)</b>				<b>183.878,61</b>

Fuente: El Autor – CNT E.P.

#### 5.1.1.2. Red Distribución

En la Tabla 44 se detalla el presupuesto para la implementación de la red de Distribución conformada por cables de 12 hilos fibra G652.D, donde se utiliza 240 NAPs aéreas. Los precios que se estiman para elaborar el presupuesto están referenciados de los volúmenes de obra de la CNT E.P. actualizado en abril del 2016.

Tabla 44: Presupuesto Red Distribución

Unidad De Planta Red ODN	U	Cantidad Total	Unitario (USD)	Total (USD)
Suministro y colocación de caja de distribución aérea NAP de 12 puertos SC/APC con derivación	U	240	279,18	67.003,20
Suministro y colocación splitter modular (1x32) conectorizado en armario	U	90	1.143,70	102.933,00
Suministro y tendido de cable aéreo ADSS de F.O. monomodo de 12 hilos G.652.D	m	106.798,74	2,55	272.336,79
<b>Presupuesto Red ODN (USD)</b>				<b>442.272,99</b>

Fuente: El Autor – CNT E.P.

#### 5.1.1.3. Red Dispersión

En la Tabla 45 se encuentra el presupuesto de implementación de la red de dispersión hacia el abonado, donde se utiliza un cable de fibra óptica de 2 hilos G.657A. Con respecto a la

distancia del cable Drop, se estima un aproximado de 150 m por cada abonado. Los precios que se estiman para elaborar el presupuesto están referenciados de los volúmenes de obra de la CNT E.P. actualizado en abril del 2016.

Tabla 45: Presupuesto Red Dispersión

Unidad De Planta Red Dispersión	U	Cantidad Total	Unitario (USD)	Total (USD)
Fusión de hilo de F.O.	U	2.263	11,09	25.096,67
Fusión de hilo de F.O. con pigtail	U	2.263	17,57	39.760,91
Suministro y tendido de cable aéreo de 2 fibras ópticas G.657A1	m	339.450	1,54	522.753,00
<b>Presupuesto Red Dispersión (USD)</b>				<b>587.610,58</b>

Fuente: El Autor – CNT E.P.

#### 5.1.1.4. Canalización

En la Tabla 46 se encuentra el presupuesto para la construcción de la canalización ya que se proyectó 19 pozos para la realización de este diseño. Los precios que se estiman para elaborar el presupuesto están referenciados de los volúmenes de obra de la CNT E.P. actualizado en abril del 2016.

Tabla 46: Presupuesto Canalización

Canalización	U	Cantidad Total	Unitario (USD)	Total (USD)
Base de hormigón para armario (incluido acceso al pozo)	U	10	222,20	2.222,00
Levantamiento de la canalización y de los cables	Pozo	19	4,50	85,50
Levantamiento de tapa de pozo	U	19	56,32	1.070,08
Limpieza de pozo y desalojo	U	19	58,34	1.108,46
Protección de hormigón armado para armario	U	10	253,39	2.533,90
Subida a poste	U	240	44,82	10.756,80
Canalización calzada 4 vías + triducto (1.5m profundidad)	m	2.290,50	45,23	103.599,32
pozo de hormigón armado de 2,4 x 2,2 x 2,2 metros sin tapa	U	13	2.029,06	26.377,78
<b>Presupuesto Canalización (USD)</b>				<b>147.753,84</b>

Fuente: El Autor – CNT E.P.

### 5.1.1.5. Presupuesto Total Implementación

En la Tabla 47 se encuentra el costo total de la implementación de la red. Los precios que se estiman para elaborar el presupuesto para la implementación de la red, están referenciados de los volúmenes de obra de la CNT E.P. actualizado en abril del 2016.

Tabla 47: Total de Gastos

Detalle	Gastos (USD)
Red Feeder	183.878,61
Red Distribución	442.272,99
Red Dispersión	587.610,58
Canalización	147.753,84
<b>Total, Gasto Implementación</b>	<b>1.361.516,02</b>

Fuente: El Autor – CNT E.P.

### 5.1.1.6. Mantenimiento De La Red

El presupuesto por mantenimiento de la red refleja los gastos característicos que la empresa deberá enfrentar en el transcurso de los años de operación de la red. Según informes del departamento de proyectos de la CNT E.P. (CNT E.P., Departamento de Proyectos, 2016), para un mantenimiento preventivo de la red durante los primeros 5 años, se considera el 5% del presupuesto de implementación de la red pasiva.

COSTO TOTAL IMPLEMENTACIÓN RED= 1.361.516,84 USD

**5% DEL COSTO IMPLEMENTACIÓN= 68.075,80 USD**

### 5.1.1.7. Costos Administrativos

Para los salarios del personal técnico y administrativo, se ha tomado como referencia los datos obtenidos del departamento de proyectos de la CNT E.P. (CNT E.P., Departamento de Proyectos, 2016). En la Tabla 48 se presentan los sueldos de empleados, donde se establece el siguiente personal y sus respectivos salarios: 4 técnicos por 760 USD mensuales cada uno, un supervisor por 900 USD mensual y un director de obra 1.300 USD.

Tabla 48: Gasto Total Personal Administrativo

<b>Empleados</b>	<b>Técnicos (4)</b>	<b>Supervisor</b>	<b>Director Obra</b>
Sueldo Mensual (USD)	3.040,00	900,00	1.300,00
Total, Anual (USD)	36.480,00	10.800,00	15.600,00
TOTAL 5 Años (USD)	182.400,00	54.000,00	78.000,00
<b>Gasto Total Personal Administrativo 5 Años (USD)</b>			<b>314.400,00</b>
<b>Gasto Total Personal Administrativo De Un Año (USD)</b>			<b>62.880,00</b>

Fuente: El Autor

#### 5.1.1.8. Movilización Personal Administrativo

Para estimar los gastos por movilización se ha tomado como referencia los datos de la CNT E.P. (CNT E.P., Departamento de Proyectos, 2016). En la Tabla 49 se muestra los gastos, el costo/hora del vehículo es de 5 USD, teniendo 8 horas laborables se gastará 40 USD diarios, se trabajará de lunes a viernes, por lo que se tendrá 20 días de trabajo por mes.

Tabla 49: Total Gasto Movilización

<b>Año</b>	<b>Gasto Diario (USD)</b>	<b>Días al Mes</b>	<b>Mensual Total (USD)</b>	<b>Gasto Anual (USD)</b>
Año 1	40,00	20	800,00	9.600,00
Año 2	40,00	20	800,00	9.600,00
Año 3	40,00	20	800,00	9.600,00
Año 4	40,00	20	800,00	9.600,00
Año 5	40,00	20	800,00	9.600,00
<b>Total, Gasto Movilización</b>				<b>48.000,00</b>

Fuente: El Autor – CNT E.P.

#### 5.1.1.9. Equipos Activos

El precio estimado de la OLT HUAWEI SmartAX MA5600T es de 50.000,00 USD. (HUAWEI, OLT de la serie SmartAX MA5600T, 2016). El costo de la ONT HUAWEI Echo Life HG8245 está estimado en 75 USD (CNT E.P., Departamento de Proyectos, 2016) . En la Tabla 50 se observa los gastos totales en equipos activos.

Tabla 50: Gastos Equipos Activos

<b>Equipo Activo</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Total</b>
OLT	50.000 USD	1	50.000,00 USD
ONT	75,00 USD	2.263	169.725,00 USD
<b>Gastos Totales</b>			<b>219.725,00 USD</b>

Fuente: HUAWEI – CNT E.P.

### 5.1.1.10. Costos Totales Actuales

En esta sección se calculan los costos totales actuales, es decir, el costo por mantenimiento de red, sueldos de personal, movilización de personal y equipos activos. No se toman en cuenta los gastos por implementación de la red. En la Tabla 51 se observan los detalles.

Tabla 51: Costos Totales Actuales

<b>Detalle</b>	<b>Gastos (USD)</b>
Mantenimiento De Red	68.075,80
Gastos Personal Administrativo	62.880,00
Movilización Personal	9.600,00
Equipos Activos	219.725,00
<b>Total, Costos Actuales (USD)</b>	<b>360.280,80</b>

Fuente: El Autor – CNT E.P.

### 5.1.1.11. Depreciaciones

Un aspecto muy importante a considerar son los costos de depreciación de los equipos, para el presente proyecto se considera la vida útil de cinco años puesto que se trata de equipo tecnológico, según la página oficial del SRI el valor de depreciación de equipos activos es del 10% anual (SRI, 2016). La Tabla 52 muestra los costos por depreciación anual.

Tabla 52: Depreciaciones

<b>Equipo Activo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario (USD)</b>	<b>Precio Total (USD)</b>	<b>Depreciación Anual al 10% (USD)</b>
<b>OLT Huawei SmartAX Ma5600t</b>	1	50.000,00	50.000,00	5.000,00
<b>ONT Huawei Echo Life Hg8245</b>	2.263	75,00	169.725	16.972,50
<b>Depreciación Total Anual (USD)</b>				<b>21.972,50</b>

Fuente: El Autor - SRI

### 5.1.2. Ingresos Del Proyecto

En esta sección se calculará los ingresos que se tienen por brindar el servicio Internet Y Telefonía Fija, también se consideran los ingresos por motivo de instalación para los nuevos usuarios por lo próximos 5 años.



### 5.1.2.1. Establecimiento De Costos De Usuario

Para realizar este análisis se toma como referencia los valores actuales que la CNT E.P. tiene establecido para brindar los servicios de telefonía fija e Internet.

#### Telefonía Fija

Para el servicio de telefonía fija CNT E.P. tiene establecido los valores para instalación y un costo fijo mensual más el consumo de minutos del usuario. En la Tabla 53 se detallan los precios que cada abonado cancela por el servicio.

*Tabla 53: Telefonía Fija-Tarifa Mensual*

<b>Planes Telefonía</b>	<b>Tarifa Básica Mensual (Incluido Impuestos)</b>	<b>Instalación (Incluido Impuestos)</b>
<b>Telefonía Hogar</b>	7,07 USD + consumo	68,40 USD
<b>Telefonía Fija Corporativa</b>	18,23 USD + consumo	68,40 USD

*Fuente: (CNT E.P., Planes Telefonía, Internet y TV Digital, 2016)*

#### Internet Fijo

Para realizar este análisis se toma como referencia los valores actuales que la CNT E.P. tiene establecido para brindar el servicio de Internet. El costo por abonado depende de la velocidad contratada, en la Tabla 54 se muestran los precios para el uso de internet fijo en el hogar.

*Tabla 54: Internet Fijo-Tarifa Mensual*

<b>Planes Internet</b>	<b>Tarifa Mensual (Incluido Impuestos)</b>	<b>Instalación (Incluido Impuestos)</b>
Plan 5 Mbps (Promoción Ultra Internet)	23,83 USD	60 USD
Plan 10 Mbps (Internet Banda Ancha)	41,04 USD	60 USD
Plan 15 Mbps (Promoción Ultra Internet)	30,67 USD	60 USD
Plan 25 Mbps (Promoción Ultra Internet)	36,37 USD	60 USD
Plan 50 Mbps (Promoción Ultra Internet)	51,19 USD	60 USD
Plan 75 Mbps (Promoción Ultra Internet)	68,29 USD	60 USD
Plan 100 Mbps (Promoción Ultra Internet)	92,23 USD	60 USD

*Fuente: (CNT E.P., Planes Telefonía, Internet y TV Digital, 2016)*

### 5.1.2.2. Ingresos Por Prestación Servicios

#### Telefonía Fija

El número de abonados con acceso a telefonía fija en el sector de Atuntaqui y Andrade Marín según datos de la CNT es de 3.721 (CNT E.P., 2016). En la tabla 55 se muestra los ingresos que genera la empresa los próximos 5 años por brindar el servicio de telefonía fija.

Tabla 55: Telefonía Fija-Ingresos Anuales

Año	Tarifa Mensual (Sin Impuestos)	Número Abonados	Tarifa Mensual (Con Impuestos)	Mensual Total (USD)	Valor Anual (USD)
Año 0	6,20 USD	3.721	7,07 USD	26.307,47	315.689,64
Año 1	6,20 USD	3.721	7,07 USD	26.307,47	315.689,64
Año 2	6,20 USD	3.721	7,07 USD	26.307,47	315.689,64
Año 3	6,20 USD	3.721	7,07 USD	26.307,47	315.689,64
Año 4	6,20 USD	3.721	7,07 USD	26.307,47	315.689,64
Año 5	6,20 USD	3.721	7,07 USD	26.307,47	315.689,64
<b>Total, Acumulado 5 Años (USD)</b>					<b>1.894.137,84</b>

Fuente: El Autor

#### Internet

Para determinar el número de abonados que se estima que migrarán a la red GPON en el primer año, se toma como referencia los datos recolectados de las encuestas con respecto al nivel de satisfacción que cada abonado tiene con respecto al servicio de Internet. Como se puede observar en La Tabla 14: Resumen Datos Encuesta, el 14% de los abonados esta Nada Satisfecho con su servicio, el 26% está Poco Satisfecho, el 38% está Satisfecho y el 22% está Muy Satisfecho.

De esta manera se asume que las personas con el nivel más bajo de satisfacción accederán a la migración a red GPON en el Año 1, para el siguiente año los abonados poco satisfechos, para el tercer año los satisfechos y las personas muy satisfechas en el cuarto año; para el quinto año se asume el número estimado de la demanda futura obtenido de la Tabla 17: Demanda Estimada en 5 años.

En la Tabla 56 se detallan los abonados estimados.

Tabla 56: Internet-Crecimiento Abonados

<b>Año</b>	<b>Abonados Estimados</b>		
<b>Año 1</b>	317		
<b>Año 2</b>	588	2.263	Demanda Actual
<b>Año 3</b>	860		
<b>Año 4</b>	498		
<b>Año 5</b>	2.516	2.516	Demanda Futura

Fuente: El Autor

En la Tabla 57 se muestra los ingresos que genera la empresa los próximos 5 años por brindar internet fijo tomando como referencia la tarifa de 10 Mbps que ofrece CNT.

Tabla 57: Internet-Ingresos Anuales

<b>Año</b>	<b>Núm. Abonados</b>	<b>Tarifa Mensual (Con Impuestos)</b>	<b>Valor Mensual (USD)</b>	<b>Valor Anual (USD)</b>
Año 1	317	41,04 USD	13.009,68	156.116,16
Año 2	588	41,04 USD	24.131,52	289.578,24
Año 3	860	41,04 USD	35.294,40	423.532,80
Año 4	498	41,04 USD	20.437,92	245.255,04
Año 5	253	41,04 USD	10.383,12	124.597,44
<b>Total, Acumulado 5 Años (USD)</b>				<b>1.239.079,68</b>

Fuente: El Autor

#### 5.1.2.2.1. Ingresos Por Instalación

Los ingresos por instalación se los calcula de manera conjunta, ya sea telefonía fija o Internet, ya que la empresa no cobrará el valor de las dos instalaciones, no importa que el cliente instale solo telefonía fija o si ya dispone de este servicio y desea tener Internet. Partiendo de este punto, para objeto del análisis se estiman solo los ingresos por instalación del servicio de Internet que es de 60 USD.

En Tabla 58 se muestran los ingresos por motivos de instalación de equipos para nuevos abonados.

Tabla 58: Instalación de Equipos-Ingresos Anuales

<b>Años</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
Nro. Abonados Nuevos (Internet)	317	588	860	498	253
<b>Ingresos por año (USD)</b>	<b>19.020</b>	<b>35.280</b>	<b>51.600</b>	<b>29.880</b>	<b>15.180</b>
<b>Ingresos total 5 años</b>	<b>150.960,00 (USD)</b>				

Fuente: El Autor

### 5.1.2.2. Ingresos Totales

En la tabla 59 se muestra los ingresos anuales por prestación de servicios de Internet, además de la instalación de equipos a los nuevos abonados.

Tabla 59: Ingreso Total por Años

<b>Años</b>	<b>Tarifa Anual Telefonía Fija (USD)</b>	<b>Tarifa Anual Internet (USD)</b>	<b>Instalación (USD)</b>	<b>Ingresos Anuales (USD)</b>
Año 0	315.689,64	0	0	315.689,64
Año 1	315.689,64	156.116,16	19.020,00	490.825,80
Año 2	315.689,64	289.578,24	35.280,00	640.547,88
Año 3	315.689,64	423.532,80	51.600,00	790.822,44
Año 4	315.689,64	245.255,04	29.880,00	590.824,68
Año 5	315.689,64	124.597,44	15.180,00	455.467,08
<b>Total</b>	<b>1.894.137,84</b>	<b>1.239.079,68</b>	<b>150.960,00</b>	<b>3.284.177,52</b>

Fuente: El Autor

## 5.2. Evaluación Financiera

La evaluación financiera se la realiza para determinar si un proyecto es rentable, es necesario utilizar indicadores económicos como el VAN, TIR, PRI y C/B. Estos indicadores de rentabilidad aprueban o rechazan un proyecto a realizarse, es decir, si es rentable o no, además permiten determinar en qué tiempo se recuperará la inversión inicial.

### 5.2.1. Flujo De Caja

En el análisis económico de un proyecto, el flujo de caja es una parte fundamental, ya que los flujos de fondos son la base de cálculo del VAN y TIR. Se consideran como ingresos todo dinero que ingrese la empresa por su actividad productiva o de servicios. Se consideran egresos todo dinero que sale de la empresa y que es necesario para llevar a cabo su actividad productiva.

En este proyecto se consideran ingresos la suscripción y el costo que cada abonado cancela mensualmente, se consideran egresos los valores por concepto de equipos, fibra óptica y todos los gastos necesarios para la implementación de la red. En la Tabla 60 se detallan los valores de ingresos y egresos de manera detallada.

Tabla 60: Flujo de Caja

Años	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
<b>EGRESOS</b>						
Implementación (USD)	1.361.516,02	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00
Mantenimiento Red (USD)	00,00	68.075,80	68.075,80	68.075,80	68.075,80	68.075,80
Personal Trabajo (USD)	62.880,00	62.880,00	62.880,00	62.880,00	62.880,00	62.880,00
Movilización Personal (USD)	9.600,00	9.600,00	9.600,00	9.600,00	9.600,00	9.600,00
Depreciaciones (USD)	00,00	21.972,50	21.972,50	21.972,50	21.972,50	21.972,50
Egresos Totales (USD)	<b>1.433.996,02</b>	<b>162.528,30</b>	<b>162.528,30</b>	<b>162.528,30</b>	<b>162.528,30</b>	<b>162.528,30</b>
<b>INGRESOS</b>						
Ingresos Totales (USD)	<b>315.689,64</b>	<b>490.825,80</b>	<b>640.547,88</b>	<b>790.822,44</b>	<b>590.824,68</b>	<b>455.467,08</b>
<b>BENEFICIO NETO</b>						
Flujo Neto (USD)	<b>-1.118.276,38</b>	<b>+328.297,50</b>	<b>+478.019,58</b>	<b>+628.294,14</b>	<b>+428.296,38</b>	<b>+292.938,78</b>

Fuente: El Autor

## 5.2.2. Indicadores De Rentabilidad

### 5.2.2.1. Valor Actual Neto (VAN)

El VAN equivale al valor actualizado de una serie de flujos de fondos en el futuro. Esta actualización se realiza mediante el descuento al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto. (Catañer, 2014)

Se usa el VAN por dos motivos, primero porque su aplicación es muy simple y segundo debido a que lo que ingresa y egresa en un futuro se convierte en dinero en la actualidad y de esta manera es posible ver de forma simple si los ingresos son mayores que los egresos.

Este indicador financiero permite calcular la rentabilidad de un proyecto partiendo con una inversión inicial que en este caso es el costo total de la implementación de la red y todos los ingresos que se obtendrán a futuro. (Catañer, 2014). Se dice que un proyecto es rentable si el

resultado del VAN es positivo, cuando el VAN tiene un valor de cero es indiferente si se acepta o no dicho proyecto, pero, si el VAN resulta menor a cero el proyecto no es viable. Según Castañer (Castañer, 2014), para calcular el VAN se utiliza la Ecuación 7:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FAN}{(1+i)^t} - I_0 \quad [7]$$

Donde:

$I_0$ = Inversión Inicial

FAN= Flujos Activos Netos

t=Número de Períodos

i= Tasa de Interés

Se puede interpretar al VAN de la siguiente manera:

- Si  $VAN=0$ , da lo mismo si se invierte o no en el proyecto, ya que no se tiene rentabilidad.
- Si  $VAN>0$ , se puede invertir en el proyecto, ya que se puede obtener una buena rentabilidad y la inversión se recuperará.
- Si  $VAN<0$ , no se debe invertir en el proyecto ya que será una pérdida total debido a que no existen ingresos y la inversión inicial no se recuperará.

Para el análisis se tomarán los ingresos para los próximos 5 años de vida útil de la red proyectada, por lo cual el número de períodos  $t=5$ , la tasa de descuento a utilizar es la tasa de interés. El valor de la tasa de interés según el Banco Central del Ecuador a enero del 2017 es de  $i= 8,02 \%$ . (Banco Central del Ecuador, 2016), la tasa de interés puede variar en el transcurso de los años.

$$VAN = \frac{328.297,50}{(1 + 8,02\%)^1} + \frac{478.019,58}{(1 + 8,02\%)^2} + \frac{628.294,14}{(1 + 8,02\%)^3} + \frac{428.296,38}{(1 + 8,02\%)^4} + \frac{292.938,78}{(1 + 8,02\%)^5} - 1.361.516,02$$

$$VAN = \frac{328.297,50}{1,08} + \frac{478.019,58}{1,1} + \frac{628.294,14}{1,2} + \frac{428.296,38}{1,3} + \frac{292.938,78}{1,4} - 1.361.516,02$$

$$VAN = 303.979,17 + 434.563,26 + 523.578,45 + 329.458,75 + 209.241,99 - 1.361.516,02$$

$$VAN = 1.800.821,62 - 1.361.516,02$$

**VAN= 439.305,60 USD**

El valor del VAN es mayor a cero, por lo tanto, el proyecto es factible, además se puede concluir que la implementación de esta red será viable.

#### **5.2.2.2. Tasa Interna De Retorno (TIR)**

El TIR es un instrumento de evaluación del rendimiento de una inversión basado en sus flujos de fondos netos. Dicha tasa hace que el valor actual de las entradas de fondos sea igual al valor actual de las salidas, haciendo al flujo de fondos cero.

La TIR representa la rentabilidad promedio por período generada por un proyecto de inversión. También es la tasa de descuento requerida para que el Valor Actual Neto sea igual a cero. (Catañer, 2014). Se la utiliza para determinar si una inversión de un proyecto puede ser aceptada, ya que con una tasa de interés alta se puede concluir que el proyecto será rentable caso contrario se considera muy riesgoso si la tasa de interés es bastante baja.

La TIR es igual a la tasa de interés que como resultado el Valor Actual Neto sea igual a cero. Según Castañer (Castañer, 2014), para calcular la TIR se utiliza la Ecuación 8:

$$TIR = \sum_{t=1}^n \frac{FAN}{(1+r)^t} - I_0 = 0 \quad [8]$$

Donde:

$I_0$ = Inversión Inicial

FAN= Flujos Activos Netos

t=Número de Períodos

r= Tasa de Interés

$$TIR = \frac{328.297,50}{(1+r)^1} + \frac{478.019,58}{(1+r)^2} + \frac{628.294,14}{(1+r)^3} + \frac{428.296,38}{(1+r)^4} + \frac{292.938,78}{(1+r)^5} - 1.361.516,02 = 0$$

TIR= 17,72 %

Mediante el software Excel, se obtiene el siguiente valor de TIR de un 17,72 %. El valor del TIR es mucho mayor a la tasa de interés vigente en el mercado (8,02%), por lo tanto, se concluye que el proyecto es rentable para su implementación.

### 5.2.2.3. Período De Recuperación De La Inversión (PRI)

El PRI indica el tiempo necesario para recuperar el capital invertido. Entre más corto sea este tiempo el proyecto resultará más viable. Para calcular el PRI es necesario ir acumulando los flujos netos obtenidos en cada año hasta llegar a cubrir la inversión. Como se observa en la Tabla 61 período de recuperación de la inversión inicial se encuentra dentro de los 5 primeros años, por lo tanto, se considera el proyecto viable.



Tabla 61: Período de Recuperación de la Inversión (PRI)

<b>Período De Recuperación De La Inversión (PRI)</b>		
<b>Años</b>	<b>Flujos Netos (USD)</b>	<b>Recuperación Inversión (USD)</b>
<b>Año 0</b>	-1.118.276,38	- 1.118.276,38
<b>Año 1</b>	328.297,50	- 789.978,88
<b>Año 2</b>	478.019,58	- 311.959,30
<b>Año 3</b>	628.294,14	+ 316.334,84
<b>Año 4</b>	428.296,38	+ 564.631,22
<b>Año 5</b>	292.938,78	+ 857.570,00

Fuente: El Autor

$$- 1.118.276,38 + 328.291,50 + 478.019,58 = - 311.965,30$$

$$311.965,30 / 628.294,14 = 0,49$$

$$PRC = 3 + 0,49 = 3,49 \text{ años}$$

3,49 = 3 años, 5 meses y 26 días.

#### 5.2.2.4. Costo/Beneficio

Este parámetro determina la rentabilidad del proyecto en términos generales, es decir, el resultado expresa el dinero ganado en cada dólar invertido en el proyecto. Según Castañer (Castañer, 2014), se utiliza la Fórmula 9 para calcular el Costo/Beneficio:

$$\frac{B}{C} = \frac{I}{C + I_0} \quad [9]$$

Donde:

I: Ingresos Totales Actuales

C: Costos Totales Actuales

I<sub>0</sub>: Inversión Inicial

De la *Tabla 75: Ingresos Total por años*, se obtiene el valor de I, de la *Tabla 66: Costos Totales Actuales* el valor de C, y de la *Tabla 76: Flujo de Caja* se obtiene el valor I<sub>0</sub>.

$$\frac{B}{C} = \frac{3.284.177,52}{360.280,80 + 1.361.516,02}$$

$$\frac{B}{C} = \frac{3.284.177,52}{1.721.796,82}$$

$$\frac{B}{C} = 1,91$$

1,91 dólares es el valor Costo-Beneficio, lo que significa que por cada dólar invertido se obtiene de ganancia 1,91 dólares.

#### 5.2.2.5. Resumen

Después de realizar el análisis financiero, se puede determinar si el proyecto planteado es viable o no, esto se lo realiza utilizando los indicadores de rentabilidad. A continuación, se realiza un resumen de los datos más importantes analizados en este capítulo.

Se determinó que el costo total estimado para la implementación es de 1.361.516,02 USD, además con los datos obtenidos del departamento de proyectos de la CNT E.P. se determinó los gastos totales actuales, es decir los gastos anuales que incluyen el mantenimiento de la red, sueldos al personal administrativo, gastos por movilización y por los equipos activos, dando un total de 360.280,80 USD gastos estimados.

Así mismo, se determinó los ingresos por prestación de servicios e instalación de equipos, teniendo como ingresos de 3.284.177,52 USD durante los 5 primeros años. De esta manera se realizó una tabla de flujo de caja para establecer los flujos netos y poder determinar la viabilidad del proyecto mediante los indicadores de rentabilidad. De esta manera se concluye lo siguiente:

- El valor del VAN es 439.305,60 USD, se determina que el proyecto es factible, además se puede concluir que la implementación de esta red será viable.

- Se obtuvo una TIR del 17,72 %, y considerando que la tasa de interés descuento utilizada fue la tasa activa del Banco Central de 8,02%, resulta una TIR superior, por lo tanto, se considera un proyecto con una viabilidad enorme.
- El tiempo exacto en el cual se recuperará la inversión inicial es de 3 años, 5 meses y 26 días. El período de recuperación se encuentra dentro de los primeros 5 años, por lo tanto, se considera un tiempo adecuado para recuperar la inversión inicial y el proyecto evidentemente es muy factible.
- Con respecto a la relación costo/beneficio, se determinó que por cada dólar que la CNT E.P. invierta en el proyecto, se obtendrá una ganancia de un dólar y 91 centavos, es decir se considera una ganancia de casi el doble, por lo tanto, la relación costo/beneficio es muy positiva y favorable, entonces el proyecto se considera realizable.



## Capítulo VI

### 6. Conclusiones Y Recomendaciones

#### 6.1. Conclusiones

La población en el cantón Antonio Ante aumenta a una tasa del 2.5% anual, una tasa de crecimiento alta en comparación con la nacional que es de 2.1%, adicionalmente este cantón es considerado un sector con un alto crecimiento industrial, textil y ser un eje económico del norte del país, la red actual de cobre no abastecerá los requerimientos futuros de los abonados, la demanda futura de clientes requiere a futuro una red GPON que soporte una tasa de transferencia promedio de 15 Mbps por abonado.

En el Ecuador actualmente solo el 28,3% de los hogares tienen acceso a Internet. Se demuestra claramente que el Ecuador tiene un porcentaje bajo en relación al 56% que la UIT estima para el 2020. Adicionalmente el país posee una densidad de conexiones de banda ancha fija del 4,19%, lo que está por debajo del 8% de la media latinoamericana. Al realizar el estudio de la demanda actual y futura en el sector de Atuntaqui y posteriormente realizar el diseño, el cantón incrementará conexiones de banda ancha y a su vez la penetración del servicio de Internet incrementará.

Se consideró FTTH como la tecnología más adecuada a utilizar en el sector, ya que este tipo de red se adapta a las exigencias del sector urbano de Atuntaqui. Debido a la demanda de usuarios actuales y a la estimada, la red actual que es puramente de cobre, no podrá abastecer los requerimientos futuros en donde las tasas de transferencias superan los 5 Mbps, es en este punto donde las redes FTTH alcanzan una gran ventaja frente a redes de cobre o híbridas.

Al comenzar el análisis de la demanda actual, se tenía previsto realizar el diseño de la red para todo el cantón, es decir las parroquias urbanas y rurales, sin embargo, después de analizar las tasas de crecimiento poblacional en cada parroquia, se concluye que es prioridad realizar el diseño de la red GPON en la cabecera cantonal Atuntaqui, ya que posee una tasa de crecimiento

de 2,14%, muy por encima de las parroquias rurales, además al ser éstas, zonas en donde la penetración del servicio de Internet es baja, se considera a utilizar tecnologías como FTTC o FTTN, y aprovechar la infraestructura existente.

El número de abonados actual en el sector urbano de Antonio Ante es de 2.263, sin embargo, se realizó un diseño de red flexible, acorde a cambios tecnológicos y al aumento de la demanda, el número estimado de usuarios para el 2020 será de 2.516, por lo tanto, se consideró oportuno dejar reservas de puertos en los divisores ópticos. De esta manera se estableció un diseño de red idóneo para adaptarse a potenciales clientes a futuro.

El proyecto es financieramente factible, esto se determinó mediante los indicadores de rentabilidad, se obtuvo un VAN de 439.305,60 USD, una Tasa Interna de Retorno (TIR) de 17,72%, este análisis demostró valores adecuados para considerar el proyecto viable, y de esta manera que la empresa a la cual se pretende servir obtenga ganancias muy rentables, además, el Período de Recuperación de la Inversión Inicial (PRI) es de 3 años, 5 meses y 26 días, dicho período se encuentra dentro de los 5 primeros años y se le considera un tiempo adecuado para recuperar el capital invertido, además por cada dólar que la empresa invierta, se obtendrá 1 dólar y 91 centavos, es decir se considera una ganancia de casi el triple por cada dólar invertido, obteniendo una relación costo/beneficio (C/B) muy rentable.

## 6.2. Recomendaciones

Las encuestas dirigidas al sector urbano de la ciudad de Atuntaqui no se las realizó personalmente, sino mediante correos electrónicos y redes sociales. Se recomienda realizar este tipo de encuestas de manera online ya que así se optimiza tiempo y recursos, este tipo de encuestas se considera realizar en zonas urbanas donde existen bastantes habitantes.

Es muy importante conocer las características de los equipos activos de la red GPON, como son la OLT y ONT, ya que de esta manera se logra realizar cálculos de enlaces ópticos y pérdidas por atenuación muy fiables, además de determinar si un equipo de un determinado fabricante logrará satisfacer las necesidades y requerimientos que el diseño de la red exige conforme a los estándares y normas nacionales e internacionales.

Se recomienda disponer de un plano georreferenciado del sector a cubrir, de esta manera se facilita el diseño de la red, ya que se cuenta con fallas geográficas exactas, y no es necesario ir un lugar específico para realizar alguna medición en particular. También es fundamental disponer una planimetría del sector, en donde se encuentre nombres de calles, postería, catastros, etc.

Contar con conocimientos básicos de AUTOCAD es fundamental y primordial al momento de realizar el diseño de la red. Es recomendable manejar el software de manera rápida y eficaz, tener familiarización con los comandos, de esta manera se evita pasar por situaciones riesgosas como perder información, además de simplificar tiempo y recursos para el diseñador.





### Referencias Bibliográficas

- Acosta, C. (2012). *Diseño técnico de la Red de Acceso para la empresa ARCLAD, S.A, mediante Tecnología FTTX (Fiber to the X), a través de la infraestructura de red de CNT-EP y criterios de instalación*. Escuela Politécnica Nacional.
- AKAMAI. (2015). *State of the Internet*. Obtenido de <https://www.akamai.com/us/en/multimedia/documents/state-of-the-internet/akamai-state-of-the-internet-report-q3-2015.pdf>
- Albuja, M. (2010). *Estudio de las Tecnologías EPON / GEAPON como tecnologías de última milla para el transporte de voz, datos y video*. Escuela Politécnica Nacional.
- ALCATEL. (2016). *NETWORK NOKIA*. Obtenido de OLT ALCATEL LUCENT 7302 ISAM: <https://networks.nokia.com/products/7302-isam>
- Antonio Ante es el cantón industrial del país. (06 de Junio de 2012). *Diario El Norte*, pág. 15.
- ARCOTEL. (2015). *Boletín Estadístico del Sector de Telecomunicaciones* . Obtenido de <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/11/Boletin6.pdf>
- Banco Central del Ecuador. (2016). *BCE*. Obtenido de [https://contenido.bce.fin.ec/resumen\\_ticker.php?ticker\\_value=activa](https://contenido.bce.fin.ec/resumen_ticker.php?ticker_value=activa)
- Bizkaia, D. E. (Abril de 2011). *Proyecto Innovación sobre Fibra y Redes*. Obtenido de <http://fibraoptica.blog.tartanga.net/fundamentos-de-las-fibras-opticas/>
- Boquera, C. E. (2005). *Comunicaciones Ópticas*. España.
- Bustos, B. (2014). *Refrección de la Luz*. Obtenido de <http://slideplayer.es/slide/30348/>
- Capmany, J., & Ortega, B. (2006). *Redes Ópticas*.

- Carrión, S. (2012). *Diseño de una red de acceso GEPON para la empresa ECUANET-MEGADATOS en un sector de Cumbayá*. Escuela Politécnica Nacional.
- Catañer, J. A. (2014). *Análisis de Costo Beneficio*.
- CeNeRo. (2016). *Alibaba*. Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/shenzhen-manufacturer-cable-8-gytc-multimode-50-125-48-core-fiber-optic-cable-60285590163.html>
- CISCO. (2016). *CANAL AR*. Obtenido de <http://www.canal-ar.com.ar/23123-Cisco-en-2020-Argentina-tendra-31-millones-de-internautas.html>
- CNT E.P. (2014). *Normativa de diseño de la ODN*.
- CNT E.P. (26 de Febrero de 2015). *Cooperación Nacional de Telecomunicaciones*. Obtenido de <http://corporativo.cnt.gob.ec/cnt-llega-con-tecnologia-gpon-a-varios-sectores-del-territorio-nacional/>
- CNT E.P. (2015). *Norma Técnica de Diseño de Planta Externa con Fibra Óptica*.
- CNT E.P. (2016). *CNT llega con tecnología GPON a varios sectores del territorio nacional*. Obtenido de <http://corporativo.cnt.gob.ec/cnt-llega-con-tecnologia-gpon-a-varios-sectores-del-territorio-nacional/>
- CNT E.P. (2016). *Departamento de Proyectos*.
- CNT E.P. (2016). *Planes Telefonía, Internet y TV Digital*. Obtenido de <https://www.cnt.gob.ec/>
- CNT E.P., C. (2013). *Norma Técnica de Diseño y Construcción de Redes de Telecomunicaciones con Fibra Óptica*. CNT E.P.
- Comercio, D. E. (22 de Diciembre de 2013). *La industria textil de Atuntaqui celebra el comercio por Navidad*. Obtenido de <http://www.ecuadorenvivo.com/economia/23->

economia/9054-la-industria-textil-de-atuntaqui-celebra-el-comercio-por-navidad-diario-el-comercio-de-quito.html#.VqGtDyrhDIV

Correa, A. M., & Gallardo, D. M. (2012). *ENCUESTAS POR MUESTREO*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/astridcorrea/encuestas-por-muestreos>

Crespo, A. (2014). *Topologías de las redes de Fibra Ópticas FTTx*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/ioliasa/redes-de-fibra-optica>

*Diario El Mercurio*. (25 de Marzo de 2016). Obtenido de <http://www.elmercurio.com.ec/521202-etapa-y-cnt-se-disputaran-clientes/#.WAqO4dXhDIU>

*Diario El Tiempo*. (16 de Diciembre de 2015). Obtenido de <http://www.ecuadorenvivo.com/economia/23-economia/9054-la-industria-textil-de-atuntaqui-celebra-el-comercio-por-navidad-diario-el-comercio-de-quito.html#.VqGtDyrhDIV>

E. B. (2014). *Proyecto Innovación sobre Fibra y Redes*. Obtenido de Fundamentos de las Fibras Ópticas: <http://fibraoptica.blog.tartanga.eus/fundamentos-de-las-fibras-opticas/>

E. C. (2011). *Transmisión de Datos por Fibra Óptica*.

Ebbing, D., & Gammon, S. (2009). *Química General*. México.

Ecuador, G. N. (2013). *Buen Vivir, Plan Nacional*. Obtenido de <http://www.buenvivir.gob.ec/>

EFON. (2016). Obtenido de [http://es.made-in-china.com/co\\_efoncable/product\\_Multimodo-Armado-6-Fibras-Cable-De-Fibra-Optica-PARA-Network\\_ehoeghng.html](http://es.made-in-china.com/co_efoncable/product_Multimodo-Armado-6-Fibras-Cable-De-Fibra-Optica-PARA-Network_ehoeghng.html)

- EFON. (2016). *Ningbo Haishu Efon Communication Equipment Limited*. Obtenido de Fibras Multimodo: [http://es.made-in-china.com/co\\_efoncable/product\\_Multimodo-Armado-6-Fibras-Cable-De-Fibra-Optica-PARA-Network\\_ehoeghhng.html](http://es.made-in-china.com/co_efoncable/product_Multimodo-Armado-6-Fibras-Cable-De-Fibra-Optica-PARA-Network_ehoeghhng.html)
- EFON. (2016). *Ningbo Haishu Efon Communication Equipment Limited*. Obtenido de [http://es.made-in-china.com/co\\_efoncable/product-group/fiber-optic-cable\\_hueeshyey\\_1.html](http://es.made-in-china.com/co_efoncable/product-group/fiber-optic-cable_hueeshyey_1.html)
- EXFO. (2014). *La Guía FTTH PON: Realización de pruebas PON*. Canada: National Library of Quebec.
- EXPRESS, A. (2016). Obtenido de [https://es.aliexpress.com/store/product/huawei-Ma5608t-gpon-olt/515848\\_1573818313.html](https://es.aliexpress.com/store/product/huawei-Ma5608t-gpon-olt/515848_1573818313.html)
- FTTH COUNCIL AMERICAS. (2015). Latinoamérica a la velocidad de la luz. *LATAM CHAPTER, 52*.
- GAD Antonio Ante. (2016). Obtenido de <http://www.antonioante.gob.ec/AntonioAnte/>
- GADM Antonio Ante. (2016). *Información General*. Obtenido de <http://www.antonioante.gob.ec/AntonioAnte/index.php/canton/informacion-general>
- Garcia, A. (2014). *GPON-Introducción y Conceptos*. Obtenido de <http://www.ccapitalia.net/descarga/docs/2012-gpon-introduccion-conceptos.pdf>
- Goralski, W. J. (2000). *Tecnologías ADLS Y XDSL*. España: S.A. MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA.
- Guitarte, G. (2015). Banda Ancha y Servicios Impulsores de FTTH. *LATAM CHAPTER, 8*.

- HUAWEI. (2016). *OLT de la serie SmartAX MA5600T*. Obtenido de [http://e.huawei.com/es/products/fixed-network/access/olt/ma5680t#Download\\_More\\_Information](http://e.huawei.com/es/products/fixed-network/access/olt/ma5680t#Download_More_Information)
- HUAWEI. (2016). *ONT ECHO LIFE HG 8245*. Obtenido de <http://www.huawei.com/es/products/fixed-access/fttx/ont/hg8245/>
- Huidobro, J. (2006). *Redes y Servicios de Telecomunicaciones*.
- Huidobro, J. (2014). *Telecomunicaciones. Tecnologías, redes y servicios*. Madrid: RA-MA EDITORIAL.
- HXUK. (2016). *ALIBABA*. Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/gyts-50-125-multimode-36-core-outdoor-fiber-optic-cable-hdpe-fiber-optic-cable-60053375848.html?s=p>
- IEEE. (2002). *Telecommunications and Information exchange between systems. ANSI/IEEE Standard*.
- ILPES, P. (2001). Guía para la presentación de proyectos. En P. ILPES. Siglo XXI Editores.
- INEC. (2010). *Instituto Nacional de Estadísticas Y Censos*. Obtenido de Resultados del censo 2010: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manual-lateral/Resultados-provinciales/imbabura.pdf>
- INEC. (2010). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*. Obtenido de [http://www.inec.gob.ec/inec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=25%3Ael-ecuador-tiene-14306876-habitantes&catid=63%3Anoticias-general&lang=es](http://www.inec.gob.ec/inec/index.php?option=com_content&view=article&id=25%3Ael-ecuador-tiene-14306876-habitantes&catid=63%3Anoticias-general&lang=es)
- INEC. (2010). *Población y Tasas de Crecimiento*. Obtenido de [https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=http://www.inec.gob.ec/tabulados\\_CPV/3\\_TCA\\_PARR\\_NAC\\_POBL\\_1990\\_2001\\_2010.xls](https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=http://www.inec.gob.ec/tabulados_CPV/3_TCA_PARR_NAC_POBL_1990_2001_2010.xls)

- INEC. (2010). *Promedio de personas por hogar*. Obtenido de [https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=http://www.inec.gob.ec/tabulados\\_CPV/28\\_Promedio%20de%20Personas%20por%20Hogar.xls](https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=http://www.inec.gob.ec/tabulados_CPV/28_Promedio%20de%20Personas%20por%20Hogar.xls)
- INEC. (2010). *Proyección de la Población*. Obtenido de [https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion\\_y\\_Demografia/Proyecciones\\_Poblacionales/proyeccion\\_cantonal\\_total\\_2010-2020.xlsx](https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion_y_Demografia/Proyecciones_Poblacionales/proyeccion_cantonal_total_2010-2020.xlsx)
- INEC. (2010). *Proyecciones referenciales de la población*. Obtenido de [https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/ESTADISTICA/Proyecciones\\_y\\_estudios\\_demograficos/Proyecciones%202010/Proyecciones%20de%20poblaci%C3%B3n%20PARROQUIAL%202010-2020.xlsx](https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/ESTADISTICA/Proyecciones_y_estudios_demograficos/Proyecciones%202010/Proyecciones%20de%20poblaci%C3%B3n%20PARROQUIAL%202010-2020.xlsx)
- INEC. (2015). *Reporte Anual Estadísticas Tecnologías de la Información Y Comunicaciones*. Obtenido de [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_Sociales/TIC/2015/Presentacion\\_TIC\\_2015.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/TIC/2015/Presentacion_TIC_2015.pdf)
- Ing. Ulloa, D. (2013). *TECNOLOGÍA FTTx*. Colegio de Ingenieros y Tecnólogos.
- Jimenez, M. (2014). *Comunicaciones Ópticas*. Quito.
- Keiser, G., Hoboken, C., & Wiley, J. (2006). *FTTX Concepts and Applications*.
- KEYFibre. (2016). *¿Porqué necesitamos sustituir el cobre por la fibra?* Obtenido de <http://www.keyfibre.com/porque-necesitamos-sustituir-el-cobre-por-la-fibra/>
- Lattanzi, M., & Graf, A. (2015). *Redes FTTx-Conceptos Y Aplicaciones*. Argentina.

- Li, A. (2015). *Four Common Types of Fiber Optic Connectors*. Obtenido de <http://www.fiber-optic-solutions.com/four-common-types-of-fiber-optic-connectors.html>
- López, M., Moschim, E., & Rudge, F. (2009). *Estudio Comparativo Redes EPON Y GPON. Universidad Tecnológica de Pereira-Brasil.*
- Millán Tejedor, R. J. (2007). *GPON (Gigabit Passive Optical Network)*. Obtenido de <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/gpon.php>
- Millán Tejedor, R. J. (2010). *Tecnologías de banda ancha por fibra óptica*. Obtenido de <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/bandaanchafibraoptica.php>
- Millán, R. (2007). *Consultoría Estratégica en Tecnologías de la Información y la Comunicación*. Obtenido de GPON (Gigabit Passive Optical Network): <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/gpon.php>
- MINTEL. (2014). *Plan Nacional de las Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información del Ecuador 2016-2021.*
- MINTEL. (2014). *Reporte Tecnologías De La Información Y Comunicaciones Para El Desarrollo*. Obtenido de <http://www.industrias.ec/archivos/CIG/file/CARTELERA/MINTEL-TIC%20para%20el%20Desarrollo.pdf>
- MINTEL. (2014). *Resumen Ejecutivo-Informe sobre Medición De la Sociedad de la Información.*
- MINTEL. (2016). *MINTEL lidera la evolución tecnológica y la lleva a la Revolución*. Obtenido de <http://www.telecomunicaciones.gob.ec/mintel-entrega-laboratorios-de-computacion-a-centros-educativos-de-guayaquil/>

MOTOROLA. (2016). *OLT MOTOROLA AXS 1800*. Obtenido de <http://www.klonex.com.pl/media/produkty/pdf/motorola-axs1800.pdf>

Mrs. Serife Erden. (2014). *Reflexión Total y Angulo Crítico*. Obtenido de [http://www.physicstutorials.org/pt/es/67-%C3%81ngulo\\_cr%C3%ADtico\\_y\\_la\\_reflexi%C3%B3n\\_total](http://www.physicstutorials.org/pt/es/67-%C3%81ngulo_cr%C3%ADtico_y_la_reflexi%C3%B3n_total)

Mukherjee, B. (2007). *Optical Communication Networks*. New York: McGraw-Hill.

Netlife. (2015). *Netlife*. Obtenido de <http://www.netlife.ec/planes/hogares/internet-de-alta-velocidad/nuestros-planes/>

Netlife. (2016). *Mapa de Coberturas NETLIFE*. Obtenido de <http://www.netlife.ec/mapa-de-coberturas/>

NOKIA. (2016). Obtenido de <https://networks.nokia.com/products/7302-isam>

Ochoa, C. (2015). *Blog de Netquest*. Obtenido de El muestreo, que es y porque funciona.: <http://www.netquest.com/blog/es/muestreo-que-es-porque-funciona/>

(2016). *OM4 The next generation of multimode fiber*.

OPTRAL. (2016). *FIBRA ÓPTICA MONOMODO SMF-G657*. Obtenido de <http://www.optral.es/ficheros/catalogo/pdf/ETW04007.pdf>

OPTRAL. (2016). *FIBRA ÓPTICA MULTIMODO 50/125* . Obtenido de <http://www.optral.es/ficheros/catalogo/pdf/ETW04001.pdf>

OUYASEN. (2016). *Alibaba*. Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/high-quality-12-core-fiber-optic-cable-gyts-12-24-48-cores-single-multi-mode-low-price-60499882153.html?s=p>



- Pabón, D. (2009). *Diseño de una Red de Acceso GPON para proveer servicios Triple Play (TV, Internet y Telefonía) en el sector de La Carolina a través de la Red del Grupo TV CABLE*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Pastor, D., Ramos , F., & Capmany, J. (2007). *Sistemas de Comunicaciones Ópticas*.
- Recio, A. (1997). *Economía Crítica: Trabajo, Personas, Mercados*. Barcelona.
- Rivera, L. (2012). *Diseño de una Red de Acceso para brindar servicios Triple Play con tecnología GPON y WiMAX en el cantón PEDRO VICENTE MALDONADO para la empresa SATURNO TV*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Rojas, R. C., Espinoza, R. M., & Rhor, M. V. (2015). *Estudio y Diseño de una Red de Última Milla Utilizando la Tecnología GPON*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3708/1/2010AJIEE-31.pdf>
- RUX. (2016). *ALIBABA*. Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/gyts-multimode-50-125-micro-meter-fiber-optic-cable-60290721051.html>
- Sattarov. (2010). *FIBROOPTICA*. Moscú: Mir Moscú.
- SENATEL, S. (2011). *Línea base de la banda ancha en la Republica del Ecuador al 2011*. Obtenido de Línea base de la banda ancha en la Republica del Ecuador al 2011: [www.senatel.gob.ec](http://www.senatel.gob.ec)
- SENPLADES. (2013). *PLAN NACIONAL DEL BUEN VIVIR*. Obtenido de PLAN NACIONAL DEL BUEN VIVIR: <http://documentos.senplades.gob.ec/Plan%20Nacional%20Buen%20Vivir%202013-2017.pdf>

- SENPLADES, S. (2012). *Cien logros de la revolución ciudadana*. Obtenido de <http://documentos.senplades.gob.ec/Plan%20Nacional%20Buen%20Vivir%202013-2017.pdf>
- SIISE 3.5 . (2015). *SISTEMA DE INDICADORES SOCIALES DEL ECUADOR-MINISTERIO CORDINADOR DE DESARROLLO SOCIAL*. Antuntaqui.
- SRI. (2016). *Reglamento de Aplicación de la Ley de Régimen Tributario Interno*. Obtenido de <http://www.sri.gob.ec/web/guest/depreciacion-acelarada-de-activos-fijos>
- Suárez, K. (2012). *Reingeniería de la red MAN de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones – Loja y diseño de una Red GPON para sus clientes corporativos*. Escuela Politécnica Nacional.
- Suárez, M. (2004). *Interaprendizaje Holístico de Matemática*. Ibarra.
- Subgerencia Cultural del Banco de la Republica. (2015). *Oferta y Demanda*. Obtenido de [http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ayudadetareas/economia/oferta\\_y\\_demanda](http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ayudadetareas/economia/oferta_y_demanda)
- Tapia, E. (23 de Febrero de 2012). Azuay, segunda en conexiones a Internet. *Diario El Tiempo*, pág. 8. Obtenido de <http://www.eltiempo.com.ec/noticias-cuenca/91400-azuay-segunda-en-conexiones-a-internet/>
- TelecoCable. (2016). Obtenido de [https://www.telecocable.com/tienda/categoria/OM1-\(62,5\\_125\)/28](https://www.telecocable.com/tienda/categoria/OM1-(62,5_125)/28)
- Tyco Electronic Corporation. (2009). LigthCrimp Plus Express.
- UIT. (17 de Octubre de 2013). *Tutorial de Comunicaciones Ópticas*. Obtenido de Union Internacional de Telecomunicaciones: [http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema2/tema2\\_1\\_1.htm](http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema2/tema2_1_1.htm)

- UIT. (17 de Octubre de 2013). *Tutorial de Comunicaciones Ópticas*. Obtenido de Union Internacional de Telecomunicaciones:  
[http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema2/tema2\\_1\\_1.htm](http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema2/tema2_1_1.htm)
- UIT. (2015). *Informe sobre medición de la sociedad de la información*. Obtenido de UIT:  
<https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/publications/misr2015/MISR2015-ES-S.pdf>
- UIT. (2016). *Recomendación G.652*. Obtenido de Unión Internacional de Telecomunicaciones:  
<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652/es>
- UIT-T. (2008). *Recomendación UIT-T G.984.1*. Obtenido de Características Generales:  
<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1/es>
- UIT-T. (2008). *Recomendación UIT-T G.984.2*. Obtenido de Especificación de la capa dependiente de los medios físicos: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2/es>
- UIT-T. (2008). *Recomendación UIT-T G.984.3*. Obtenido de Especificación de la capa de convergencia de transmisión: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.3/es>
- UIT-T. (2008). *Recomendación UIT-T G.984.4*. Obtenido de Especificación de la interfaz de control y gestión de la terminación de red óptica.: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.4/es>
- UIT-T. (2008). *Recomendación UIT-T G.984.5*. Obtenido de Banda de ampliación:  
<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.5/es>
- UIT-T. (2009). *Recomendación UIT-T G.652*. Obtenido de Características de las fibras y cables ópticos monomodo: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-200911-I/es>

- UIT-T. (2012). *Recomendación G.671*. Obtenido de Características de transmisión de los componentes y subsistemas ópticos.: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.671-201202-I/es>
- UIT-T. (2016). *Recomendación UIT-T G.984.1*. Obtenido de Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Características generales: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1/es>
- Villacís, A. (2013). *Diseño de una Red 10-GPON para el barrio Carcelén Alto 3D*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Y. T. (2016). *Alibaba*. Obtenido de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/outdoor-opgw-single-mode-6-core-optical-fiber-cable-60439084715.html?s=p>

## Glosario De Términos

**ADSL:** Asymmetric Digital Subscriber Line - Línea de Abonado Digital Asimétrica.

**AKAMAI Technologies, Inc:** Corporación que provee una plataforma de computación distribuida para la entrega de contenidos globales de Internet.

**AN:** Apertura Numérica.

**AON:** Active Optical Network - Red Óptica Activa.

**APON:** ATM Passive Optical Network - Red Óptica Pasiva que utiliza ATM como protocolo de transporte.

**ATM:** Asynchronous Transfer Mode - Modo de Transferencia Asíncrona.

**BPON:** Broadband Passive Optical Network - Red Óptica Pasiva de Banda Ancha.

**CAPEX:** CAPital EXpenditures, inversiones en bienes de capitales.

**CDM:** Code Division Multiplexing - Multiplexación por división de código.

**CISCO:** Cisco Systems es una empresa global dedicada a la fabricación, venta, mantenimiento y consultoría de equipos de telecomunicaciones.

**CO:** Central Office - Oficina Central, en este lugar se encuentra la OLT.

**DIO:** Internal Optical Distributor - Distribuidor Interno Óptico.

**DBRu:** Reporte de Ancho de Banda Upstream.

**DSL:** Digital Subscriber Line - Línea de Abonado Digital.

**DSLAM:** Digital Subscriber Line Access Multiplexer - Multiplexor de Línea de Acceso Digital del Abonado.

**DTH:** Direct To Home - Servicio Directo a la Casa.

**EPON:** Ethernet Passive Optical Network.

**ETHERNET:** conocido también con estándar IEEE 802.3. Es una tecnología utilizada en las redes de acceso.

**FDM:** Frequency Division Multiplexing - Multiplexación por División de Frecuencia.

**F.O.:** Fibra Óptica.

**FTTX:** Fiber To The X. Hace referencia hasta el punto “x” de la red al cual se llega con fibra.

**FTTB:** Fiber To The Building – Fibra hasta el edificio.

**FTTC:** Fiber To The Curb – Fibra hasta la cabina o armario.

**FTTH:** Fiber To The Home – Fibra hasta la casa del abonado.

**GBPS:** Gigabits por segundo.

**GPON:** Gigabit-capable Passive Optical Network – Red Óptica Pasiva con Capacidad Gigabit

**HFC:** Híbrido de Fibra-Coaxial.

**IEEE:** Institute of Electrical & Electronics Engineers – Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.

**IP:** Internet Protocol – Protocolo Internet

**ILPES:** Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social.

**ISP:** Internet Service Provider - Proveedor de servicios de Internet.

**KEVLAR:** Fibra artificial, ligera, robusta y con gran resistencia al calor.

**LAN:** Local Area Network - Red de Área Local.

**MAN:** Metropolitan Area Network - Red de Área Metropolitana.

**MBPS:** Megabits por segundo.

**MINTEL:** Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información del Ecuador.

**MP2MP:** Multipoint-to-Multipoint. Red de conexión multipunto a multipunto.

**NAP:** Network Access Point - Cajas Ópticas de Distribución Terminal.

**OAN:** Optical Access Network - Red de Acceso Óptica.

**ODF:** Optical Distribution Frame - Es el Repartidor General Óptico cuya función es distribuir los hilos de fibra.

**ODN:** Optical Distribution Network - Red de Distribución Óptica.

**ONU:** Optical Network Unit – Unidad de Red Óptica.

**ONT:** Optical Network Terminal -Terminal de Red Óptico.

**OLT:** Optical Line Terminal - Terminal Óptico de Línea.

**OTDR:** Optical Time Domain Reflectometer. Instrumento utilizado para detectar fallos, permite medir la longitud de fibra y su atenuación.

**PCBd:** Bloque de Control Físico.

**PLOAMu:** Capa Física de Operación, Administración Upstream.

**PLOu:** Capa Física Superior.

**PLSu:** Secuencia de Energía de Nivelación Upstream.

**PON:** Passive Optical Network - Red Óptica Pasiva.

**QoS:** Quality of Service – Calidad de Servicio.

**SNR:** Signal to Noise Ratio - Relación de la señal a ruido.

**SPLITTER:** Dispositivo que distribuye la señal por tantos caminos como su relación de división lo indique.

**SRI:** Servicio de Rentas Internas

**TIC:** Tecnología de la Información y Comunicación.

**TCP:** Tasa de Crecimiento de la Poblacional.

**TDM:** Time Division Multiplexing - Multiplexación por División de Tiempo.

**TIR:** Tasa Interna de Retorno.

**TDMA:** Time Division Multiple Access – Acceso Múltiple por División de Tiempo.

**TRIPLE-PLAY:** Hace referencia al empaquetamiento de señales de datos y voz para brindar servicios de voz, televisión y banda ancha.

**UIT:** International Telecommunication Union - Unión Internacional de Telecomunicaciones.

**USD:** United States Dollar

**VDSL:** Very-High-Rate Digital Subscriber Line. Es una evolución de ADSL, es una tecnología de acceso de internet de banda ancha.

**VLAN:** Virtual LAN, es una Red de área local Virtual que permite aislar el tráfico entre usuarios perteneciente a diferentes VLANs.

**VoIP:** Voice over IP. Hace referencia a la transmisión de la señal de voz mediante paquetes basados en IP.

**WDM:** Wavelength Division Multiplexing - Multiplexación por División de Longitud de Onda.



**Anexos****Anexo A: Formato Encuesta**

## Demanda de usuarios en acceso a Banda Ancha en el cantón Antonio Ante

La siguiente encuesta pretende servir a una investigación realizada por parte de un estudiante de la Universidad Técnica del Norte. El objetivo de esta encuesta pretender obtener datos de la demanda de los usuarios en acceso a banda ancha en los servicios de telecomunicaciones de los habitantes del cantón Antonio Ante. Parroquias Urbanas Atuntaqui y Andrade Marín

**\*Obligatorio**

### UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



1. Por favor escriba su dirección. (Calle principal)

.....

2. ¿Cuál es el nivel de satisfacción del servicio que le brinda su proveedor de Telecomunicaciones? \*

- Muy Satisfecho
- Satisfecho
- Poco Satisfecho
- Nada Satisfecho

3. Explique el porqué de su nivel de satisfacción de acuerdo a la respuesta de la pregunta anterior.

-----

4. ¿Cuánto tiempo usa en promedio al día el servicio de Internet? \*

- 1- 3 horas

- 3 - 6 horas
- 6 - 8 horas
- más de 8 horas

5. ¿Cuál es el plan de navegación que posee usted? \*

- 1- 3 Mbps
- 3- 5 Mbps
- 5 - 10 Mbps
- 10 Mbps o superior

6. ¿Le gustaría aumentar su plan de navegación? \*

- SI
- NO

7. Explique el porqué de su respuesta en la pregunta anterior.

.....

8. ¿Qué velocidad le gustaría contratar?

- 3- 5 Mbps
- 5 - 10 Mbps
- 15 Mbps o superior

9. ¿Estaría usted dispuesto a contratar un servicio Triple Play (Telefonía fija, Internet Y Televisión) a un solo proveedor de servicios de Telecomunicaciones? \*

- SI
- NO
- YA TIENE TRIPLE PLAY

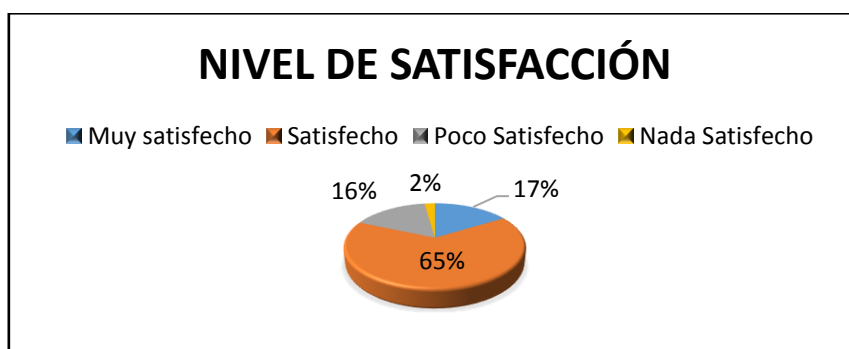
10. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por el paquete de servicios Triple Play?

- 20 - 30 USD
- 30 - 45 USD
- 45 USD o más

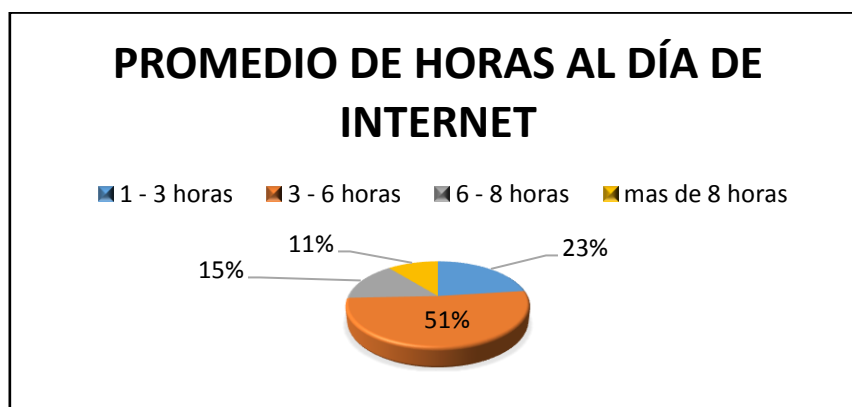
## Anexo B: Resultados Encuesta

### Parroquia Imbaya

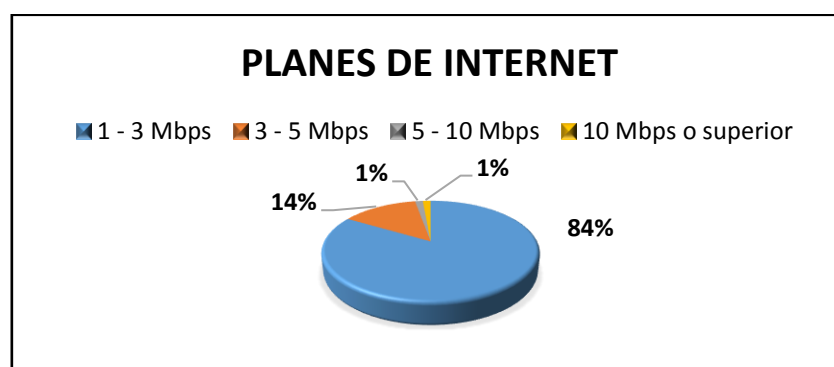
¿Cuál es el nivel de satisfacción del servicio que le brinda su proveedor de Telecomunicaciones?



¿Cuánto tiempo usa al día en promedio el Internet?



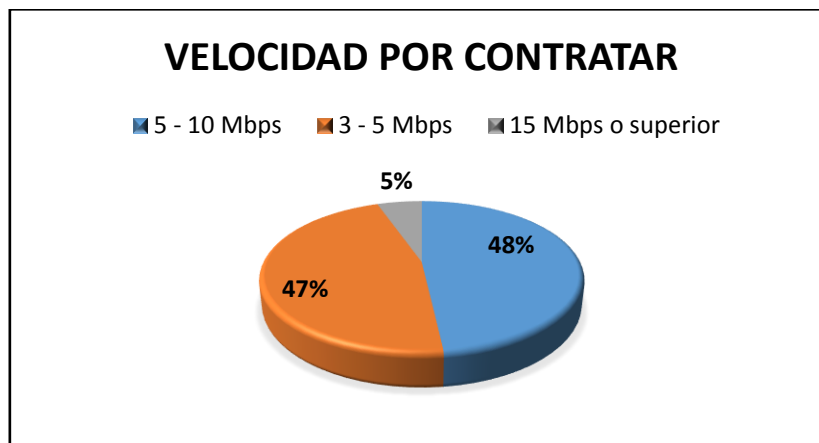
¿Cuál es el plan de navegación que posee usted?



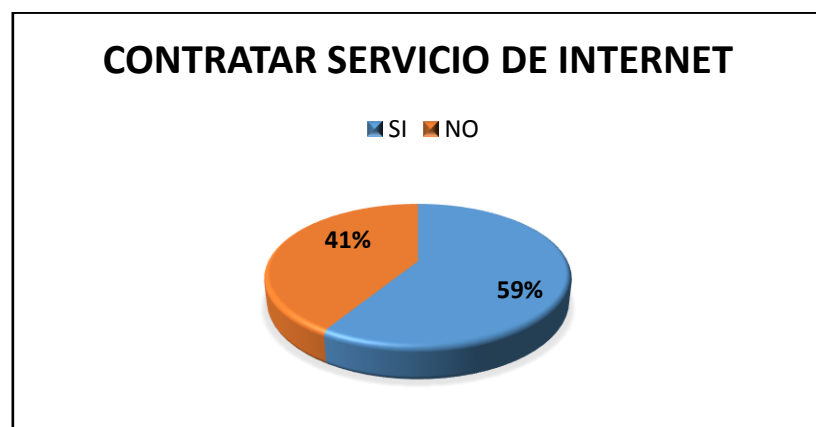
¿Le gustaría aumentar su plan de navegación?



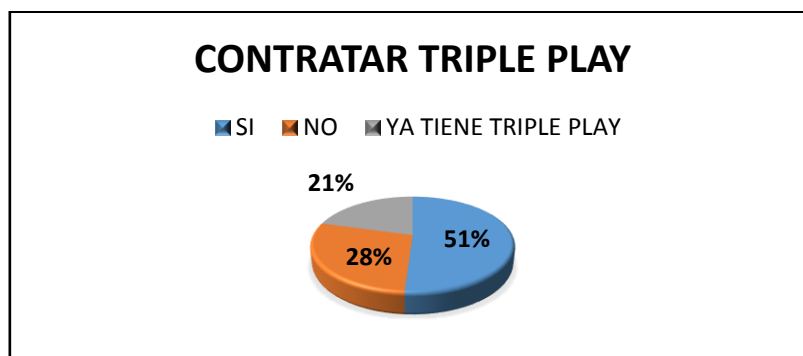
¿Qué velocidad le gustaría contratar?



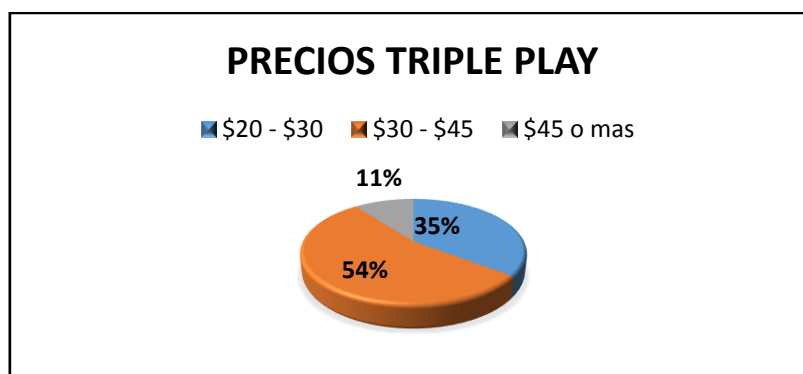
¿Si no dispone de Internet, le gustaría contratar el servicio?



¿Estaría usted dispuesto a contratar un servicio Triple Play (Telefonía fija, Internet Y Televisión) a un solo proveedor de servicios de Telecomunicaciones?

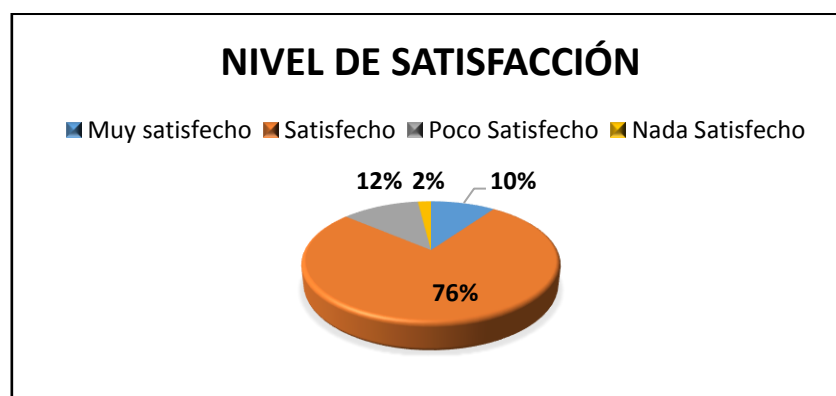


¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por el paquete de servicios Triple Play?

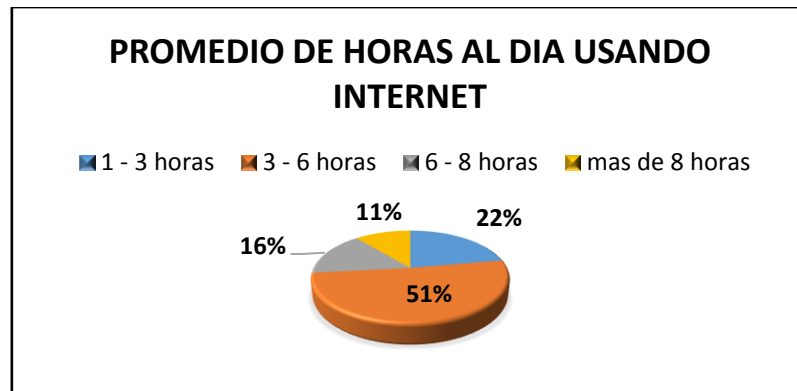


### Parroquia Chaltura

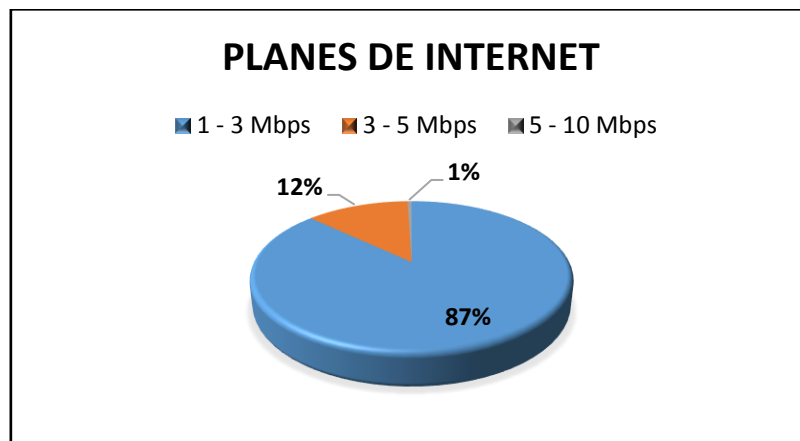
¿Cuál es el nivel de satisfacción del servicio que le brinda su proveedor de Telecomunicaciones?



¿Cuánto tiempo usa al día en promedio el Internet?



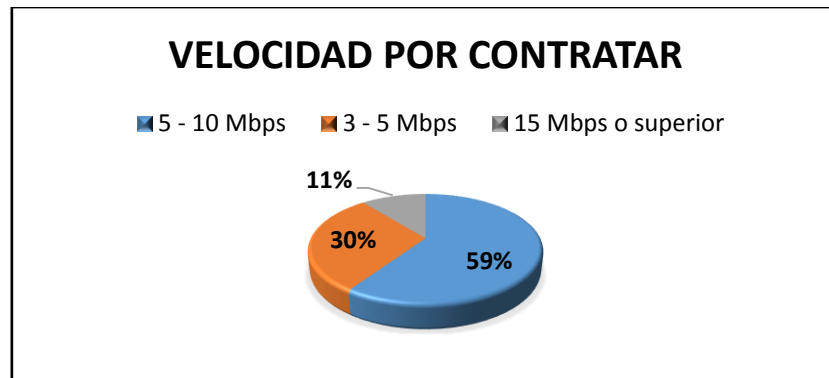
¿Cuál es el plan de navegación que posee usted?



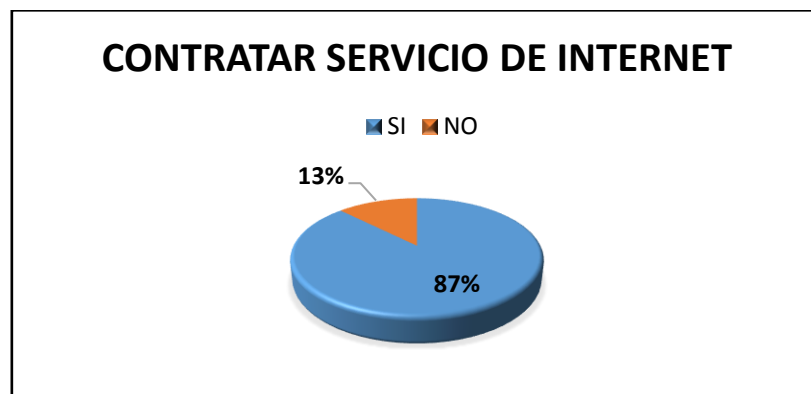
¿Le gustaría aumentar su plan de navegación?



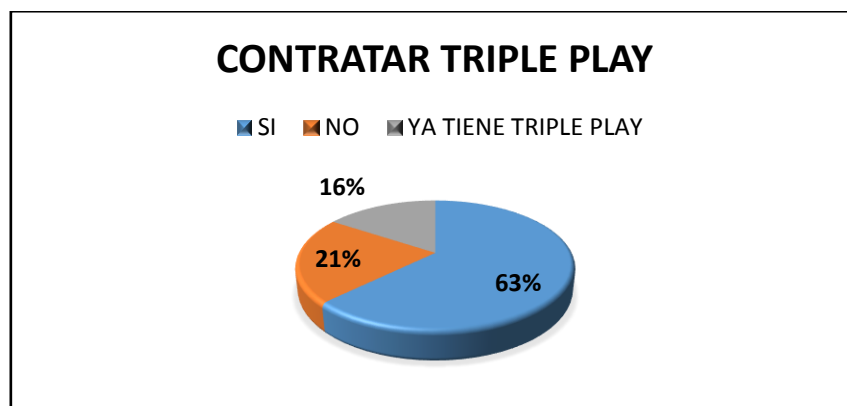
¿Qué velocidad le gustaría contratar?



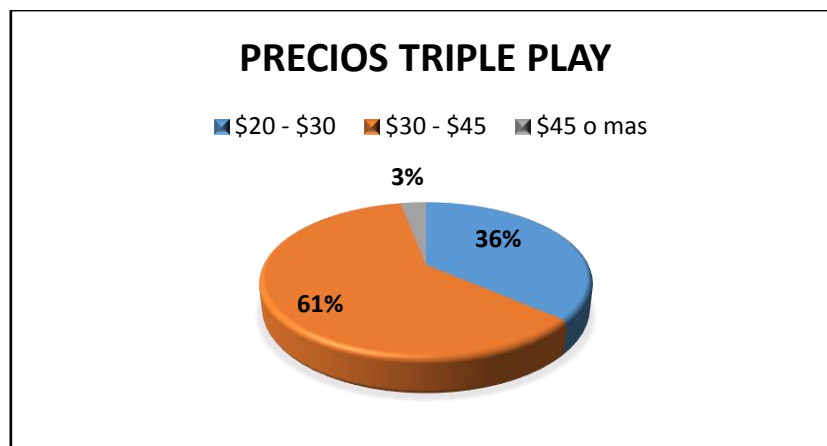
¿Si no dispone de Internet, le gustaría contratar el servicio?



¿Estaría usted dispuesto a contratar un servicio Triple Play (Telefonía fija, Internet Y Televisión) a un solo proveedor de servicios de Telecomunicaciones?

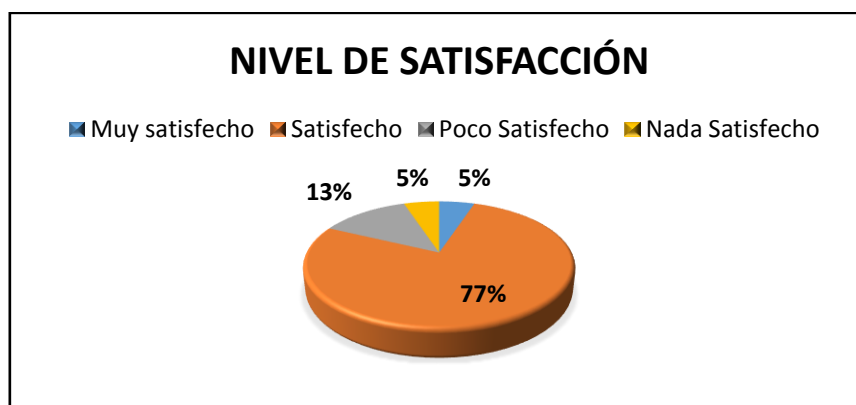


¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por el paquete de servicios Triple Play?

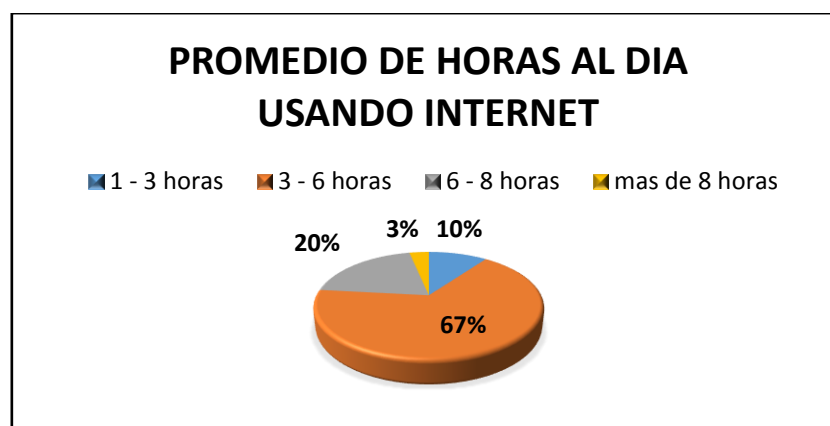


Parroquia Natabuela

¿Cuál es el nivel de satisfacción del servicio que le brinda su proveedor de Telecomunicaciones?

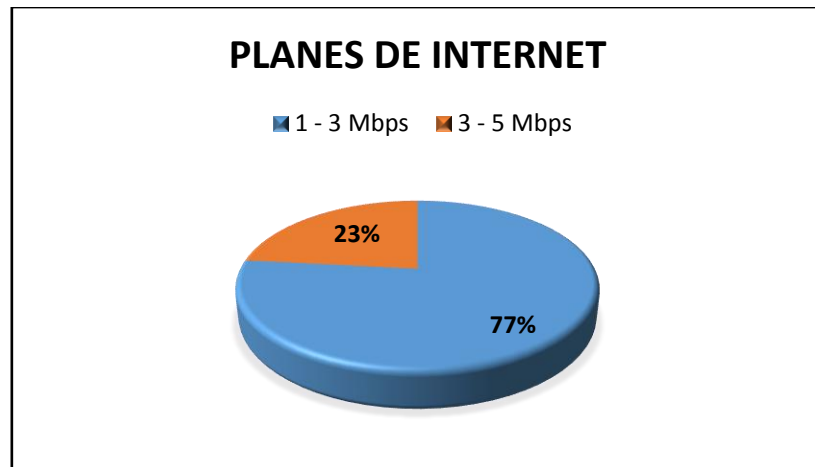


¿Cuánto tiempo usa al día en promedio el Internet?





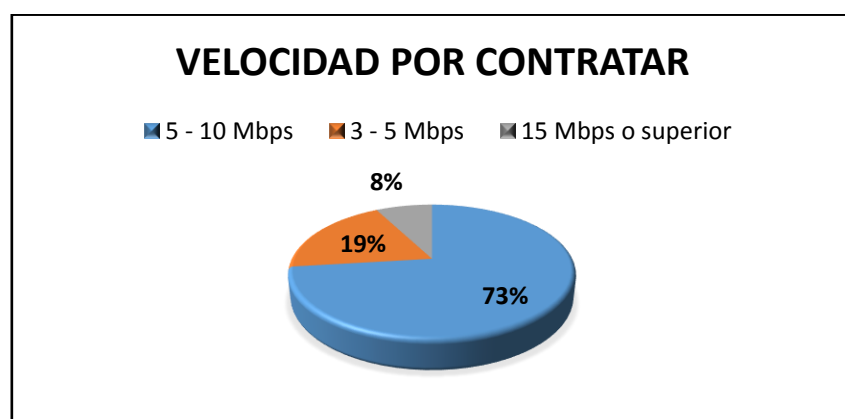
¿Cuál es el plan de navegación que posee usted?



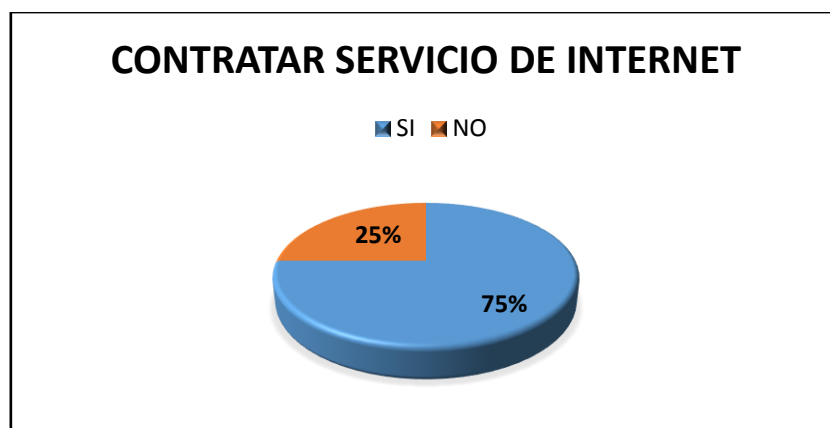
¿Le gustaría aumentar su plan de navegación?



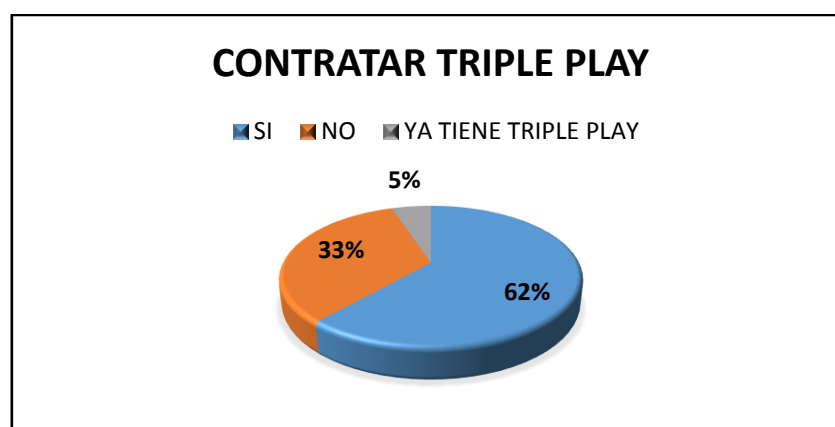
¿Qué velocidad le gustaría contratar?



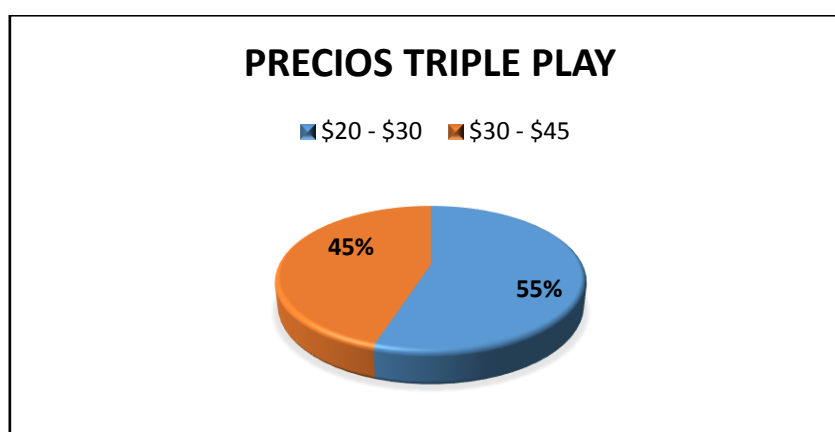
¿Si no dispone de Internet, le gustaría contratar el servicio?



¿Estaría usted dispuesto a contratar un servicio Triple Play a un solo proveedor de servicios de Telecomunicaciones?

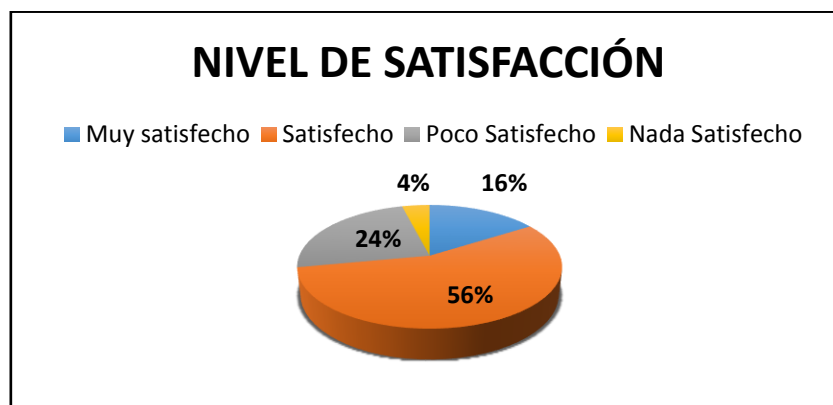


¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por el paquete de servicios Triple Play?

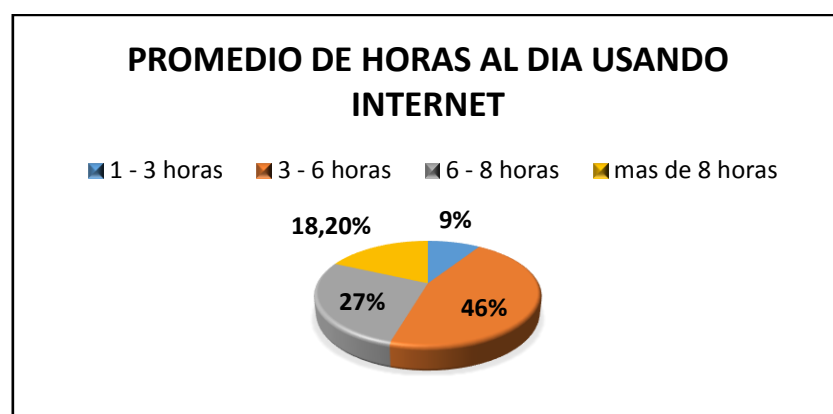


## Parroquia San Roque

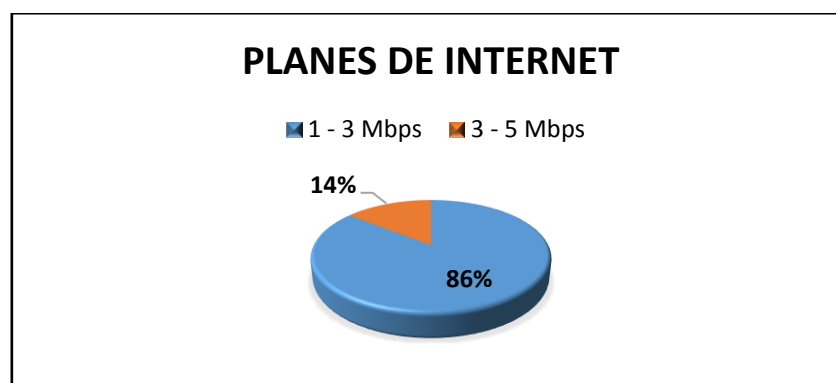
¿Cuál es el nivel de satisfacción del servicio que le brinda su proveedor de Telecomunicaciones?



¿Cuánto tiempo usa al día en promedio el Internet?



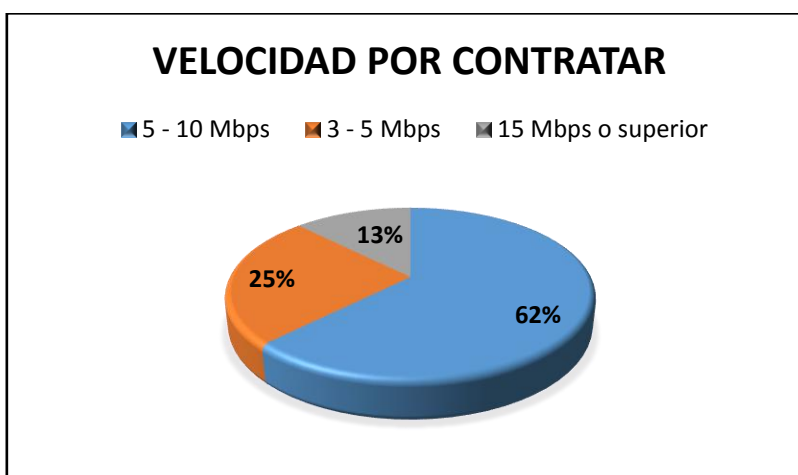
¿Cuál es el plan de navegación que posee usted?



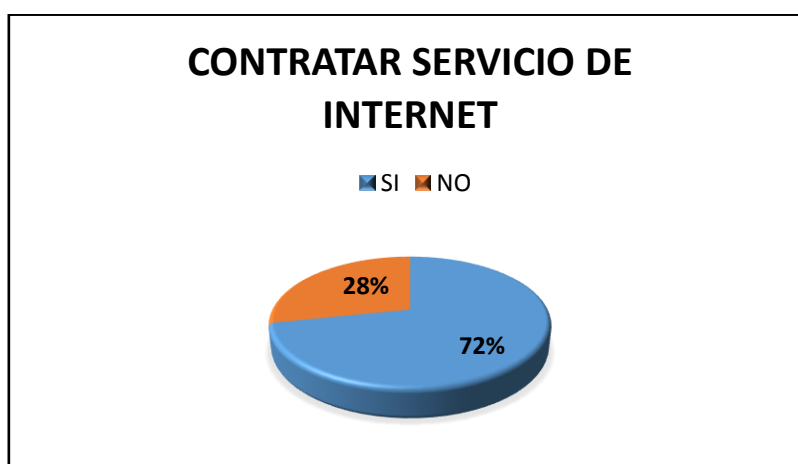
¿Le gustaría aumentar su plan de navegación?



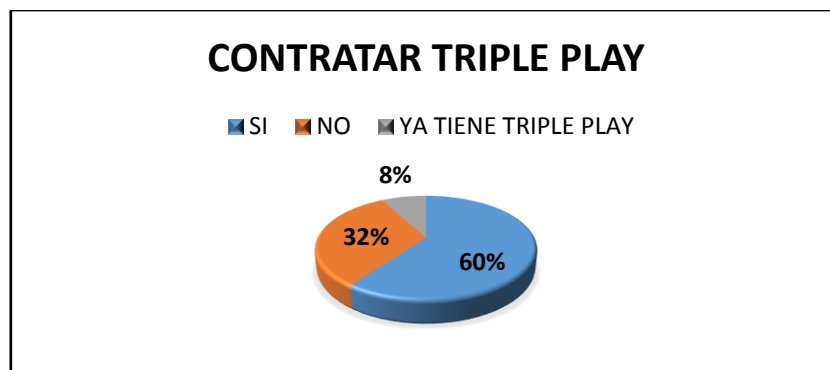
¿Qué velocidad le gustaría contratar?



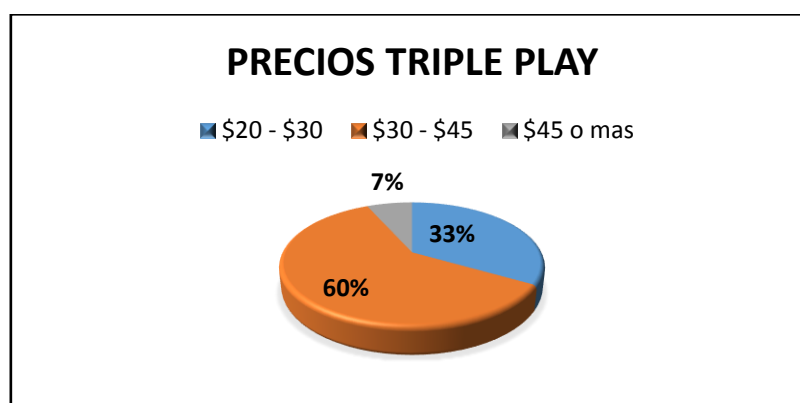
¿Si no dispone de Internet, le gustaría contratar el servicio?



¿Estaría usted dispuesto a contratar un servicio Triple Play a un solo ISP?

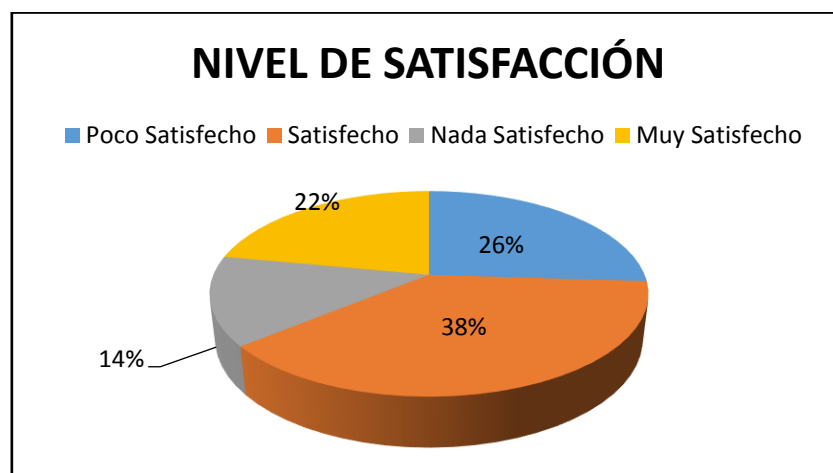


¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por el paquete de servicios Triple Play?

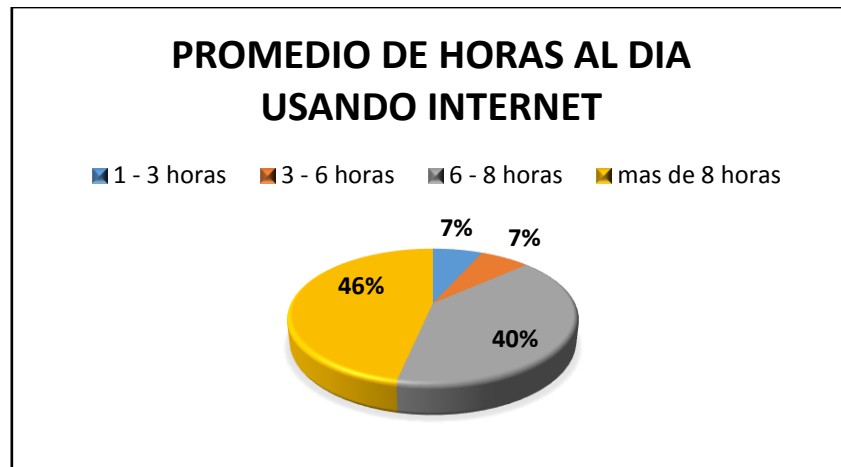


Parroquia Atuntaqui – Andrade Marín

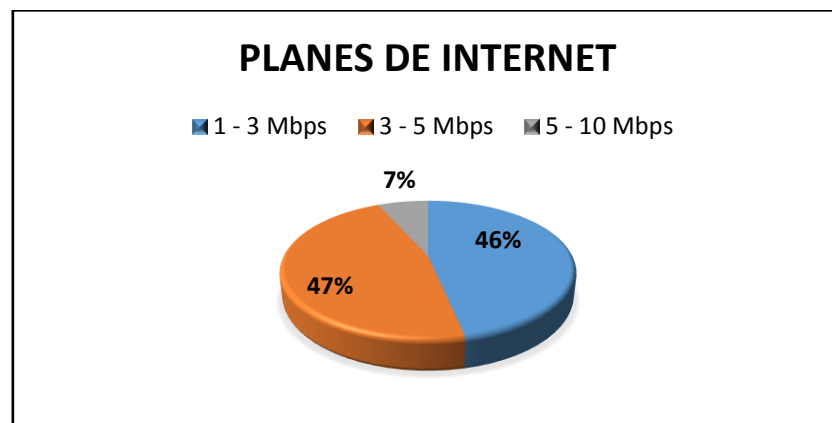
¿Cuál es el nivel de satisfacción del servicio que le brinda su ISP?



¿Cuánto tiempo usa al día en promedio el Internet?



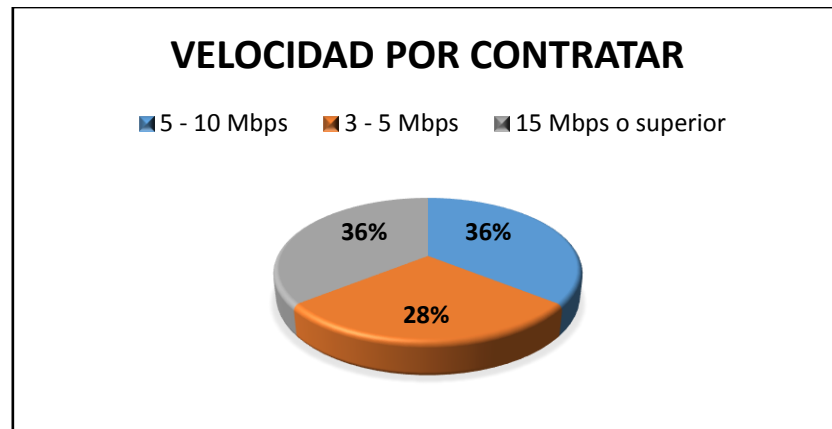
¿Cuál es el plan de navegación que posee usted?



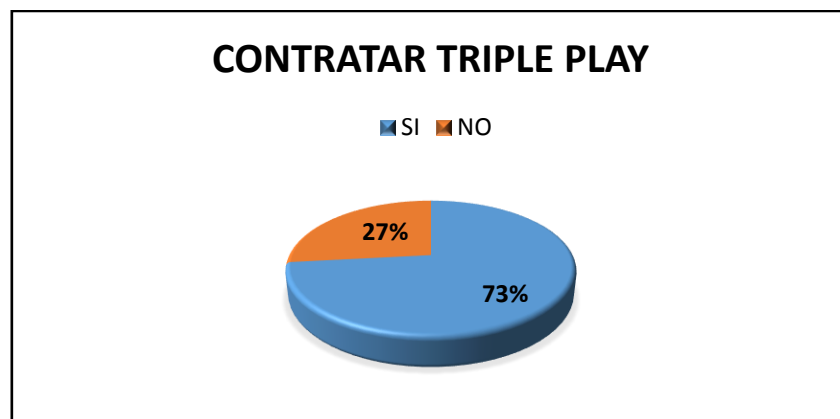
¿Le gustaría aumentar su plan de navegación?



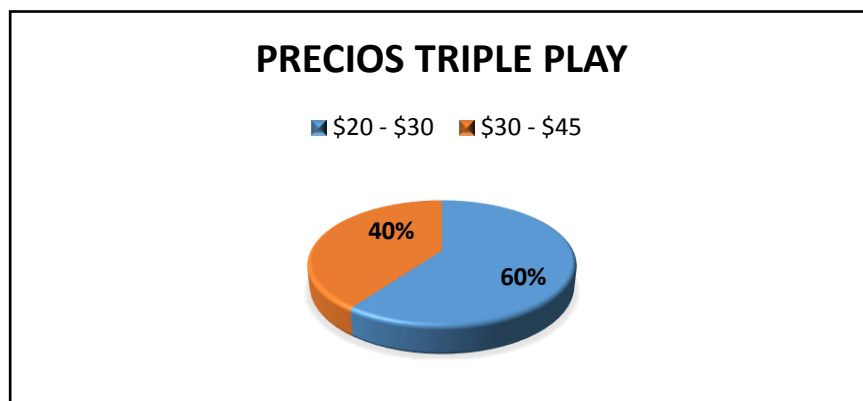
**¿Qué velocidad le gustaría contratar?**



**¿Estaría usted dispuesto a contratar un servicio Triple Play (Telefonía fija, Internet Y Televisión) a un solo proveedor de servicios de Telecomunicaciones?**

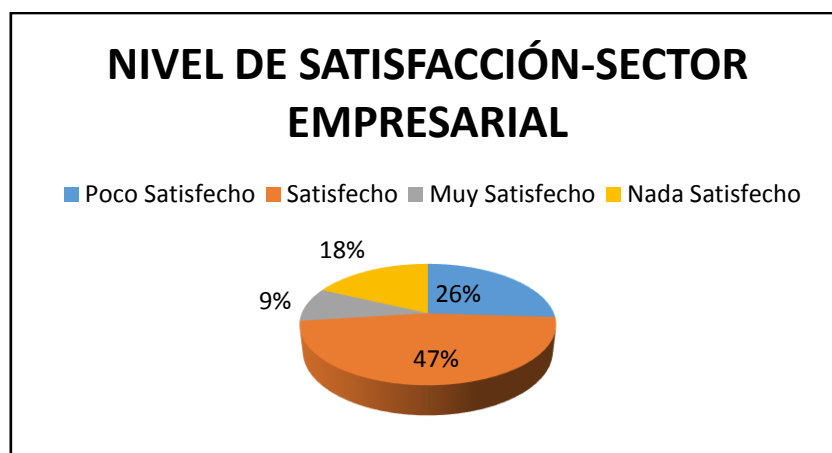


**¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por el paquete de servicios Triple Play?**

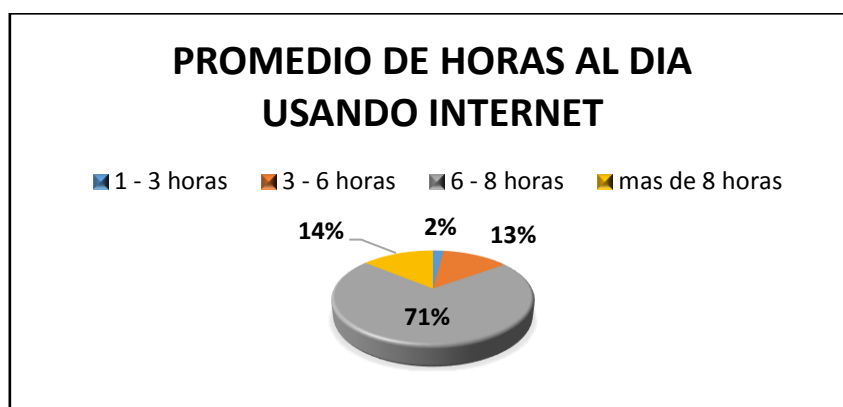


## Sector Empresarial Atuntaqui

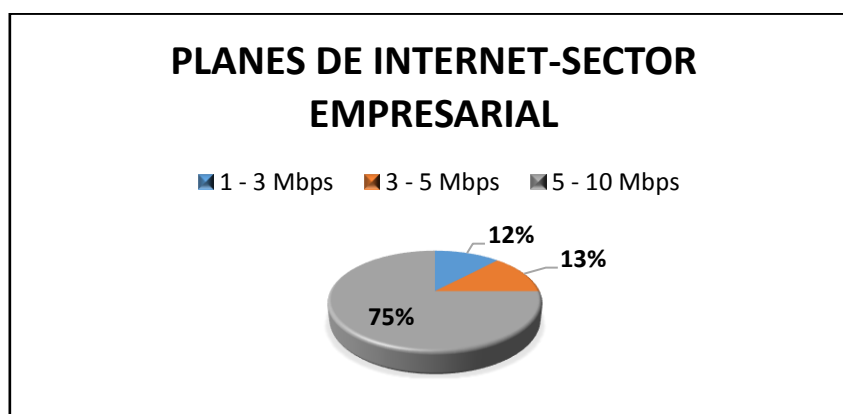
¿Cuál es el nivel de satisfacción del servicio que le brinda su ISP?



¿Cuánto tiempo usa al día en promedio el Internet?

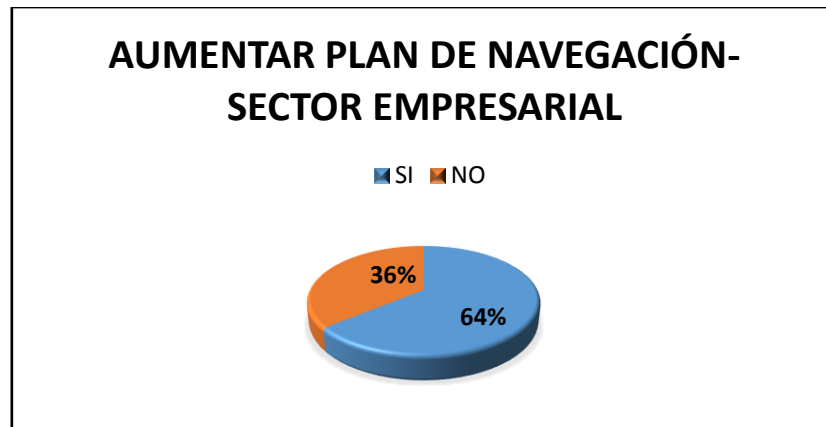


¿Cuál es el plan de navegación que posee usted?

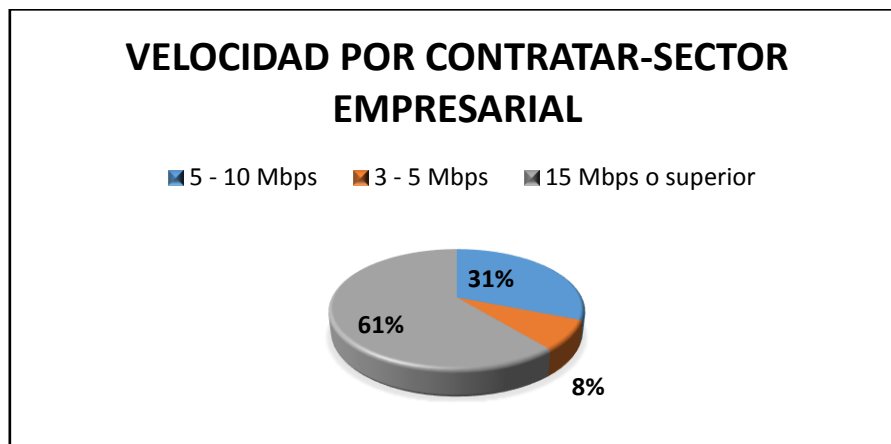




¿Le gustaría aumentar su plan de navegación?



¿Qué velocidad le gustaría contratar?



Los anexos C, D y E se encuentran en el CD adjunto.

**Anexo C: Plano Canalización**

**Anexo D: Plano Red Feeder**

**Anexo E: Plano Red Distribución**

**Anexo F: Datasheet OLT Marca Huawei MA5600T**

# **The First Aggregation OLT for Vertical Industry**

## **Huawei SmartAX MA5600T Series Product**



**HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.**





## SmartAX MA5600T

As the first aggregation OLT in the industry, The SmartAX MA5600T series product integrate the aggregation and switching functions, provide the high-density GPON and Ethernet P2P access, abundant GE/10GE ports, high precision clock and strong platform capacity, provide the basic voice, high-speed internet, fluent video, steady TDM and the Ethernet private line services, which can improve the network reliability, reduce the investment in network construction, and reduce the O&M costs.

The MA5600T series product includes the large-capacity MA5600T and the medium-capacity MA5603T. The hardware and software of these two models are fully compatible with each other to reduce the costs of spare parts and O&M costs. The difference of MA5600T and MA5603T is that MA5600T provides 16 service slots and MA5603T provides 6 service slots.

### Product platform history

- 2006, global first T-bit OLT for commercial deployment, and IEC InfoVision Award for creative in access platform
- 2008, global first “10G PON ready” OLT, enable FTTx seamless evolution
- 2009, global first access and aggregation Integrated OLT, simplify network architecture
- 2010, global first “IPV6 ready” (phase 2 enhanced) access device certificated by IPV6 forum.



MA5600T



MA5603T

## Key Features

### Large-capacity platform with Access and Aggregation Integration

- Developed based on the iMAP hardware platform and the IAS software platform of Huawei, the MA5600T series product takes on the advanced architecture and design.
- The switching capacity of the backplane is up to 3.2 Tbit/s, and the bidirectional switching capacity of the control board is up to 480 Gbit/s.
- High density GE/10GE interfaces for cascading, up to 36\*10GE or 384\*GE interfaces, no need for additional investment of aggregation switches
- Each GPBD board supports eight GPON ports, based on the 1:128 split ratio, the single subrack supports up to 8K ONTs. In 2012, Huawei will launch 16-port GPON board which can supports 16K ONTs.
- Sharing the development platform with Huawei's broadband access devices, the MA5600T series product support the Layer 2 and Layer 3 features of the broadband access devices to provide user-oriented and future-oriented functions.
- GE/GPON/NGPON coexisting on the same platform.
- aggregation switches

### Any Access

- Large capacity IPTV service provision, 8K multicast users and 4K multicast channels and 2k concurrent multicast channels
- HQoS support 3-level QoS (Different ISP/ service/user) guarantees OLT wholesale
- Traditional E1 service access, Native TDM or CESoP for traditional E1 service of enterprise and mobile base station access
- E-LAN function for local traffic inter-connection, meet the requirements of enterprise and campus network

### Powerful integrated GPON access capability

- Supports high bandwidth. The downstream rate is up to 2.488 Gbit/s and the upstream rate is up to 1.244 Gbit/s.
- Supports long distance. The maximum physical transmission distance of the ONT is 60 km. The physical distance between the farthest ONT and the nearest ONT can be up to 20 km.
- Supports high split ratio. The 8-port GPON board supports 1:128 split ratio, which increases the access capacity and saves the optical fiber resources.
- Support high density. The MA5600T series provides the 8-port and 16-port GPON board to increase the system capacity.





### Powerful QoS capability

- Supports priority control (based on the port, MAC address, IP address, TCP port ID, or UDP port ID), priority mapping and modification based on the ToS field and 802.1p, and DSCP differentiated services.
- Supports bandwidth control (based on the port, MAC address, IP address, TCP port ID, or UDP port ID) with a control granularity of 64 kbit/s.
- Supports three queue scheduling modes: priority queue (PQ), weighted round robin (WRR), and PQ+WRR.
- Supports HQoS, which assures the multi-service bandwidth for multiple users: The first level assures the user bandwidth, and the second level assures the bandwidth for each service of each user. This ensures that the assured bandwidth is allocated absolutely and the burst bandwidth is allocated fairly.

### Comprehensive security features

1. System security measure
  - Protection against the DoS (denial of service) attack
  - MAC (media access control) address filtering
  - Anti-ICMP/IP packet attack
  - Source address routing filtering
  - Blacklist
2. User security measure
  - DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) Option 82 to enhance the DHCP security
  - Binding between MAC/IP addresses and ports
  - Anti-MAC spoofing and anti-IP spoofing
  - Authentication based on the serial number (SN) and password of the ONU/ONT
  - Triple churning encryption
  - Encrypted broadcast transmission in the GPON downstream direction for different users, such as AES (advanced encryption standard) 128-bit encryption

- GPON type B OLT dual homing
- Smart link and monitor link for the network with dual upstream channels

### Flexible network topology

As a multi-service access platform, the MA5600T series support multiple access modes and multiple network topologies to meet users' network topology requirements on different environment and services.

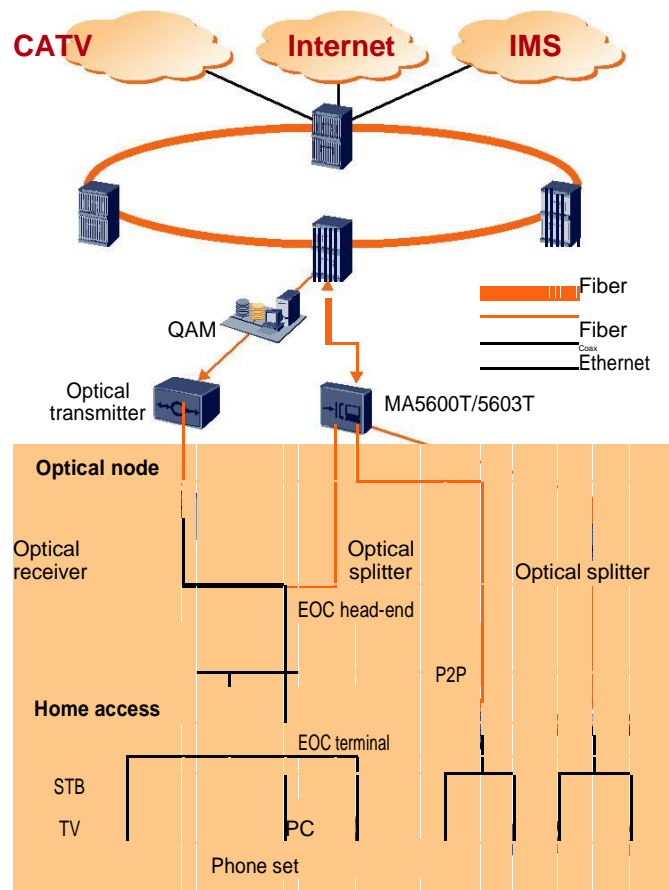


Figure 1 Network topology application for triple play in the broadcast and television industry

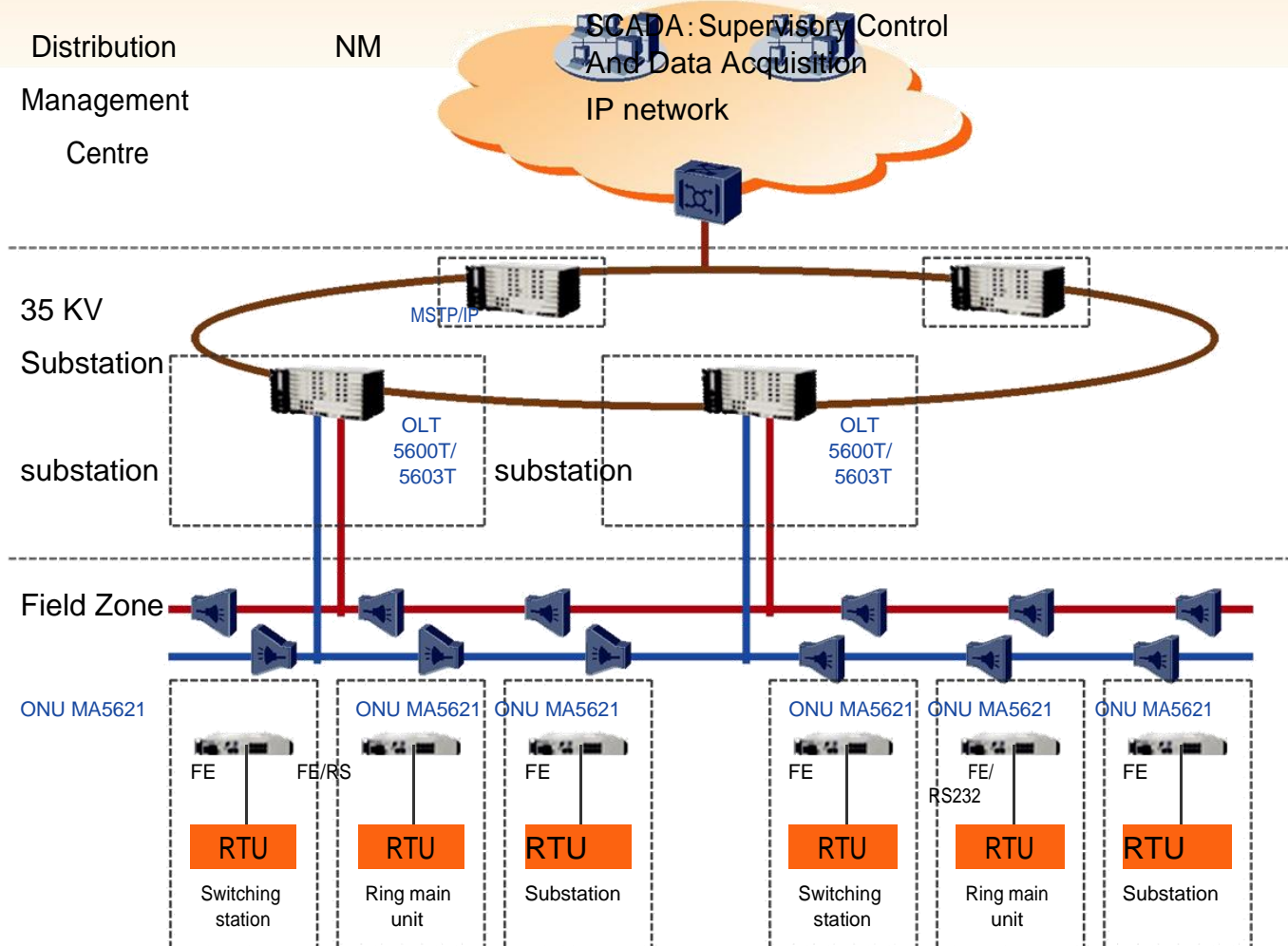


Figure 2 Network topology application for automatic power distribution in the electric power industry

## High reliability design

- Adopts 1+1 redundancy backup for the control board and the upstream interface board.
- Provides the lightning-proof and anti-interference functions.
- Supports fault pre-warning on the exhaustive (consumed) units and parts, such as the fan, power supply, and battery.
- The 1+1 (type B) protection for the PON port and the 300 ms level service protection switchover for the backbone optical fiber are supported.
- Supports main control board in-service upgrade .
- Supports high temperature detection to ensure the system safety.
- The functions of querying the board temperature, setting the

temperature threshold, and high temperature shutdown are supported.

- Supports hot swappable for all service boards and the control boards.
- Provides soft-start circuit, protective circuit, current-limit protection, and short circuit protection for the input power of the boards in the subrack to protect the boards against lightning strikes and surges.
- Supports GPON type C OLT dual homing.
- Supports smart link and monitor link for the network with dual upstream channels.



## Green

- With Huawei self-developed GPON chipsets, the maximum power consumption of the 8-port GPON line card is only 51W
- Unique energy-saving bus, the idle service card can be powered off

## Technical Specifications

### System performance

- Backplane capacity: 3.2 Tbit/s; switching capacity: 960 Gbit/s; MAC address capacity: 512 K
- Layer 2/Layer 3 line rate forwarding
- Static route/RIP/OSPF/MPLS
- BITS/E1/STM-1/Ethernet clock synchronization mode and IEEE 1588v2 clock synchronization mode

### GPON access board

- Adopts the design of 8-port high-density GPON board and 16-port GPON in 2012.
- Supports the SFP pluggable optical module.
- Supports 4 k GEM ports and 1 k T-CONTs.
- Supports a maximum split ratio of 1:128 (class C+ power module is needed).
- Supports the detection and isolation of the ONT that works in the continuous mode.
- Supports the flexible DBA working mode, and the low-delay or high-bandwidth efficiency mode.

### Ethernet P2P access board

- Supports 48 FE or GE ports and the SFP pluggable optical module on each board.

- Supports the single-fiber bidirectional optical module.
- Supports the DHCP option 82 relay agent and the PPPoE relay agent.
- Supports Ethernet OAM.
- Supports Ethernet synchronization.

### Subrack dimensions (Width x Depth x Height)

- MA5600T subrack: 490 mm x 275.8 mm x 447.2 mm
- MA5603T subrack: 442 mm x 283.2 mm x 263.9 mm

### Running environment

- Operating ambient temperature: -25°C to +55°C

### Power input

- -48 VDC and dual power input ports (supported)
- Operating voltage range: -38.4 V to -72 V



## GPON Port

### Specifications of the GPON port


Parameter	Specification
Transmission rate	Receive (Rx): 1.25 Gbit/s Transmit (Tx): 2.50 Gbit/s
Connector type	SC/PC
Maximum transmission distance	20 km
Standard compliance	ITU-T G.984.2 CLASS B+
Central wavelength	Transmit (Tx): 1490 nm Receive (Rx): 1310 nm
Transmit optical power	1.5 dBm to 5.0 dBm
Extinction ratio	10 dB
Maximum receive sensitivity	-28 dBm
Overload power	-8 dBm

Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 2011. All rights reserved.

No part of this document may be reproduced or transmitted in any form or by any means without prior written consent of Huawei Technologies Co., Ltd.

#### Trademark Notice



, HUAWEI, and  are trademarks or registered trademarks of Huawei Technologies Co., Ltd.

Other trademarks, product, service and company names mentioned are the property of their respective owners.

#### General Disclaimer

THE INFORMATION IN THIS DOCUMENT MAY CONTAIN PREDICTIVE STATEMENTS INCLUDING, WITHOUT LIMITATION, STATEMENTS REGARDING THE FUTURE FINANCIAL AND OPERATING RESULTS, FUTURE PRODUCT PORTFOLIO, NEW TECHNOLOGY, ETC. THERE ARE A NUMBER OF FACTORS THAT COULD CAUSE ACTUAL RESULTS AND DEVELOPMENTS TO DIFFER MATERIALLY FROM THOSE EXPRESSED OR IMPLIED IN THE PREDICTIVE STATEMENTS. THEREFORE, SUCH INFORMATION IS PROVIDED FOR REFERENCE PURPOSE ONLY AND CONSTITUTES NEITHER AN OFFER NOR AN ACCEPTANCE. HUAWEI MAY CHANGE THE INFORMATION AT ANY TIME WITHOUT NOTICE.

#### HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.

Huawei Industrial Base  
Bantian Longgang  
Shenzhen 518129, P.R. China  
Tel: +86-755-28780808  
Version No.: M3-142069999-20110722-C-1.0

[www.huawei.com](http://www.huawei.com)



**Anexo G: Datasheet De ONT Marca Huawei HG8245**

**EchoLife HG8245 GPON**

**Terminal V100R003C00&C01**

## **Product Description**

**Issue 02**

**Date 2011-06-15**

**Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 2011. All rights reserved.**

No part of this document may be reproduced or transmitted in any form or by any means without prior written consent of Huawei Technologies Co., Ltd.

## **Trademarks and Permissions**



HUAWEI and other Huawei trademarks are trademarks of Huawei Technologies Co., Ltd.

All other trademarks and trade names mentioned in this document are the property of their respective holders.

## **Notice**

The purchased products, services and features are stipulated by the contract made between Huawei and the customer. All or part of the products, services and features described in this document may not be within the purchase scope or the usage scope. Unless otherwise specified in the contract, all statements, information, and recommendations in this document are provided "AS IS" without warranties, guarantees or representations of any kind, either express or implied.

The information in this document is subject to change without notice. Every effort has been made in the preparation of this document to ensure accuracy of the contents, but all statements, information, and recommendations in this document do not constitute the warranty of any kind, express or implied.

## **Huawei Technologies Co., Ltd.**

Address: Huawei Industrial Base  
Bantian, Longgang  
Shenzhen 518129  
People's Republic of China

Website: <http://www.huawei.com>

Email: [support@huawei.com](mailto:support@huawei.com)

# 1 Introduction

---

## 1.1 Product Positioning

The HG8245 GPON terminal (hereafter referred to as the HG8245) is an indoor optical network terminal (ONT) designed for home users and small office and home office (SOHO) users. Its upper shell adopts the natural heat dissipation material, and its optical port adopts the dust-proof design with a rubber plug. The HG8245 is eye-pleasing and energy-efficient. It can be deployed on a workbench or mounted on a wall, meeting users' deployment requirements in different scenarios.

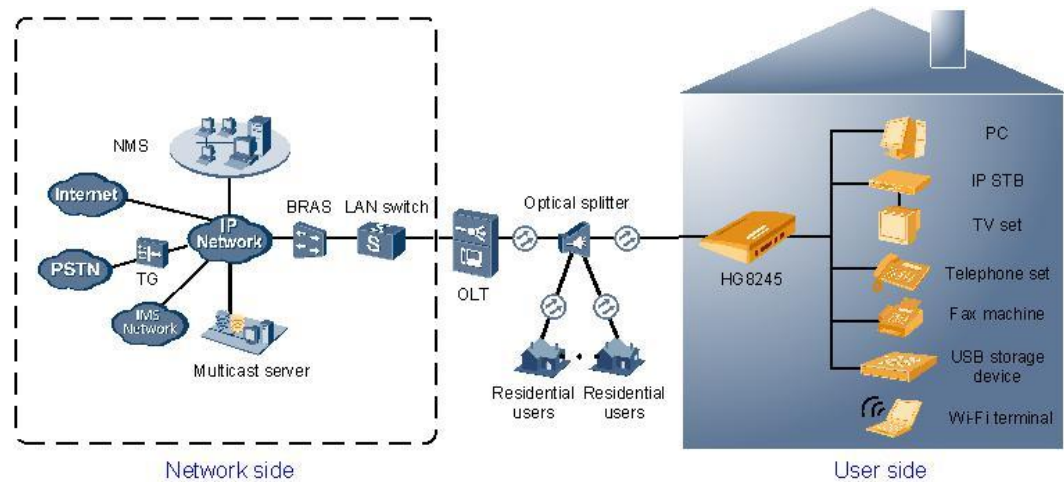
By using the Gigabit-capable Passive Optical Network (GPON) technology, the HG8245 provides a high-speed data channel through a single optical fiber with an upstream rate of 1.244 Gbit/s and a downstream rate of 2.488 Gbit/s. In this way, you can enjoy the high-speed data service, quality voice service, superior video service. Apart from that, you can also enjoy the secure and reliable wireless access service and the convenient home network attached storage and file sharing services.

As an ONT, the HG8245 provides the more convenient and efficient remote management function. It supports the TR-069 and ONT Management and Control Interface (OMCI) protocols and manages all home terminals in a unified manner, implementing remote fault diagnosis, service provisioning, and performance statistics.

## 1.2 Network Applications

As a network terminal, the HG8245 is deployed at the GPON access layer and connects the home users and SOHO users to the Internet through the optical upstream port. On the local area network (LAN) side, the HG8245 provides abundant hardware ports to meet multiple network requirements of home users and SOHO users.

**Figure 1-1** shows the position of the HG8245 in a network.

**Figure 1-1** Network topology of the HG8245

- In the upstream direction, the HG8245 is connected to the optical splitter and the network-side OLT through the passive optical network (PON) port, namely the OPTICAL port, to provide the integrated access service.
- In the downstream direction, the HG8245 is connected to various terminals through the abundant LAN-side ports, implementing the triple play service.
  - Four 10/100/1000M Base-T Ethernet ports, which can be connected to terminals such as the PC, STB, and video phone to provide the high-speed data and video services.
  - Two TEL ports, which can be connected to the telephone set or fax machine to provide the superior and cost-effective voice over IP (VoIP), fax over IP (FoIP), and modem over IP (MoIP) services.
  - Two Wi-Fi antenna, which can be connected to a Wi-Fi terminal through wireless connection to provide a secure and reliable high-speed wireless network.
  - One USB port, which can be connected to a USB storage device to provide convenient home network attached storage and file sharing services.

## 1.3 Product Highlights

### 1.3.1 Comprehensive Triple Play Service

On the LAN side, the HG8245 provides abundant hardware ports to implement multiple access services, including the home network attached storage, Internet access, voice, and video services, providing users with the comprehensive triple play service.

### 1.3.2 Secure and Reliable Wi-Fi Access

The HG8245 helps users build a secure and reliable wireless network based on the 802.11 b/g/n Wi-Fi access.

The Wi-Fi access of the HG8245 has the following features:

- Supports four SSIDs. The user can select different wireless networks by setting different SSIDs.

- Compatible with IEEE 802.11b/802.11g, passing the authentication of Wireless Fidelity (Wi-Fi) Alliance and featuring good compatibility with other WLAN devices.
- Supports multiple authentication and encryption modes, providing users with the secure and reliable wireless access.

### 1.3.3 Convenient Home Network Attached Storage and File Sharing Services

The HG8245 provides one USB port, which can be used to connect to a USB storage device to provide convenient home network attached storage and file sharing services.

The USB storage function of the HG8245 has the following features:

- The USB port supports plug and play (PnP) and hot plugging.
- The USB function can be configured on the local Web page, which facilitates home network attached file sharing.
- The USB port implements the FTP client for home storage, that is, downloading files from the FTP server in a public network to the USB storage device.

### 1.3.4 Secure and Powerful Gateway Functions

The HG8245 can function as a home gateway, which features the secure and powerful gateway functions.

The gateway features of the HG8245 are as follows:

- Forwarding rate up to 900 Mbit/s, meeting service requirements for a high quality
- Functioning as a DHCP server or a DHCP client, meeting various requirements in different scenarios
- Configuration of anti-DoS attack, MAC address filtering, IP address filtering, URL address filtering, firewall, and ONT ACL, making the HG8245 more secure and reliable when it functions as a gateway

### 1.3.5 Convenient Automatic Provisioning, Maintenance, and Management of the Remote Service

The HG8245 applies the TR-069 and OMCI management, manages terminal services without additional IP networks, which facilitates automatic provisioning, maintenance, and management of the remote service.

The remote service management of the HG8245 has the following features:

- Supports configuring the global profile and issuing the XML configuration file on the NMS. To provision ONT services in batches and adjust the network, only a few changes are required.
- Supports user-defined upgrade policies configured through the NMS. The device is automatically upgraded after being powered on and no manual operation is required.
- Supports remote performance management of the HG8245 through the NMS. By collecting the performance data, the network performance exception can be monitored in real time.
- Supports remote fault locating of the HG8245 through the NMS. Through alarm reporting and remote loopback diagnosis, the fault can be located remotely, which decreases the maintenance cost.

**Anexo H: Recomendación UIT-T G.984.1 Gigabit Capable - PON**

UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

**UIT-T**SECTOR DE NORMALIZACIÓN  
DE LAS TELECOMUNICACIONES  
DE LA UIT**G.984.2**

(03/2003)

SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN,  
SISTEMAS Y REDES DIGITALESSecciones digitales y sistemas digitales de línea –  
Sistemas de línea óptica para redes de acceso y redes  
locales

---

**Redes ópticas pasivas con capacidad de  
gigabits: Especificación de la capa  
dependiente de los medios físicos**Recomendación UIT-T G.984.2

---

## RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE G

**SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES**

CONEXIONES Y CIRCUITOS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES	G.100–G.199
CARACTERÍSTICAS GENERALES COMUNES A TODOS LOS SISTEMAS ANALÓGICOS DE PORTADORAS	G.200–G.299
CARACTERÍSTICAS INDIVIDUALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES DE PORTADORAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.300–G.399
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS SISTEMAS TELEFÓNICOS INTERNACIONALES EN RADIOENLACES O POR SATÉLITE E INTERCONEXIÓN CON LOS SISTEMAS EN LÍNEAS METÁLICAS	G.400–G.449
COORDINACIÓN DE LA RADIOTELEFONÍA Y LA TELEFONÍA EN LÍNEA	G.450–G.499
EQUIPOS DE PRUEBAS	G.500–G.599
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.600–G.699
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.700–G.799
REDES DIGITALES	G.800–G.899
SECCIONES DIGITALES Y SISTEMAS DIGITALES DE LÍNEA	G.900–G.999
Generalidades	G.900–G.909
Parámetros para sistemas en cables de fibra óptica	G.910–G.919
Secciones digitales a velocidades binarias jerárquicas basadas en una velocidad de 2048 kbit/s	G.920–G.929
Sistemas digitales de transmisión en línea por cable a velocidades binarias no jerárquicas	G.930–G.939
Sistemas de línea digital proporcionados por soportes de transmisión MDF	G.940–G.949
Sistemas de línea digital	G.950–G.959
Sección digital y sistemas de transmisión digital para el acceso del cliente a la RDSI	G.960–G.969
Sistemas en cables submarinos de fibra óptica	G.970–G.979
<b>Sistemas de línea óptica para redes de acceso y redes locales</b>	<b>G.980–G.989</b>
Redes de acceso	G.990–G.999
CALIDAD DE SERVICIO Y DE TRANSMISIÓN – ASPECTOS GENÉRICOS Y ASPECTOS RELACIONADOS AL USUARIO	G.1000–G.1999
CARACTERÍSTICAS DE LOS MEDIOS DE TRANSMISIÓN	G.6000–G.6999
EQUIPOS TERMINALES DIGITALES	G.7000–G.7999
REDES DIGITALES	G.8000–G.8999

Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.

## **Recomendación UIT-T G.984.2**

### **Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos**

#### **Resumen**

En esta Recomendación se describe una red de acceso flexible de fibra óptica con capacidad para soportar las necesidades de anchura de banda de los servicios para empresas y particulares, y abarca sistemas con velocidades de línea nominales de 1244,160 Mbit/s y 2488,320 Mbit/s en sentido descendente y 155,520 Mbit/s, 622,080 Mbit/s, 1244,160 Mbit/s y 2488,320 Mbit/s en sentido ascendente. Se describen sistemas de redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits (GPON) simétricas y asimétricas (ascendentes/descendentes). Además, se proponen los requisitos de la capa física y las especificaciones de la capa dependiente de los medios físicos (PMD). La capa de convergencia de transmisión (TC) y el protocolo de determinación de distancia para los sistemas GPON se describen en otra Recomendación UIT-T.

El sistema descrito constituye una evolución con respecto al de la Rec. UIT-T G.983.1. En esta Recomendación se mantienen los requisitos de la Rec. UIT-T G.983.1, en la medida de lo posible, a fin de lograr la máxima compatibilidad con los sistemas e infraestructura de fibra óptica existentes.

#### **Orígenes**

La Recomendación UIT-T G.984.2 fue aprobada por la Comisión de Estudio 15 (2001-2004) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8 el 16 de marzo de 2003.



## PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución 1 de la AMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

## NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

La observancia de esta Recomendación es voluntaria. Ahora bien, la Recomendación puede contener ciertas disposiciones obligatorias (para asegurar, por ejemplo, la aplicabilidad o la interoperabilidad), por lo que la observancia se consigue con el cumplimiento exacto y puntual de todas las disposiciones obligatorias. La obligatoriedad de un elemento preceptivo o requisito se expresa mediante las frases "tener que, haber de, hay que + infinitivo" o el verbo principal en tiempo futuro simple de mandato, en modo afirmativo o negativo. El hecho de que se utilice esta formulación no entraña que la observancia se imponga a ninguna de las partes.

## PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT no ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB.

UIT 2003

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

## ÍNDICE

		<b>Página</b>
1	Alcance .....	1
2	Referencias .....	1
3	Definiciones.....	2
4	Abreviaturas.....	2
5	Arquitectura de la red de acceso óptico.....	3
6	Servicios .....	4
7	Interfaz usuario-red e interfaz de nodo de servicio .....	4
8	Requisitos de la red óptica.....	4
8.1	Estructura de la red óptica dividida en capas .....	4
8.2	Requisitos de la capa dependiente del medio físico para la GPON .....	4
8.3	Interacción entre la capa PMD de la GPON y la capa TC .....	24
Apéndice I – Asignación del tiempo de tara de la capa física (informativo).....		27
Apéndice II – Descripción del mecanismo de nivelación de potencia y ejemplos .....		29
II.1	Introducción.....	29
II.2	Niveles de la ONU.....	29
II.3	Umbral en la OLT .....	29
II.4	Detección de potencia.....	31

## Recomendación UIT-T G.984.2

### Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos

#### 1 Alcance

Esta Recomendación tiene por objeto describir las redes de acceso flexible que utilizan la tecnología de fibra óptica. Se centra principalmente en los servicios de soporte de red con requisitos de anchura de banda que van desde los servicios vocales hasta los servicios de datos con velocidades de gigabits por segundo. Además, se incluyen servicios distributivos.

En esta Recomendación se describen las características de la capa PMD de una red de acceso óptico (OAN, *optical access network*) con capacidad para transportar diversos servicios entre la interfaz usuario-red y la interfaz del nodo de servicio.

La OAN contemplada en esta Recomendación debe permitir que el operador de red ofrezca versiones mejoradas con la suficiente flexibilidad para satisfacer las necesidades futuras de sus clientes, en particular en la zona de la red de distribución óptica (ODN, *optical distribution network*). La ODN considerada se fundamenta en la opción de árbol y rama punto a multipunto.

Esta Recomendación se centra en las cuestiones propias de la fibra, ya que las cuestiones relativas al cobre en los sistemas híbridos se describen en otros documentos tales como las Recomendaciones sobre la línea de abonado digital x (xDSL, *digital subscriber line x*) (serie G.99x).

Esta Recomendación se centra además en las adiciones y modificaciones de las Recomendaciones anteriores de la serie G.983.x, que describen una arquitectura basada en el modo de transferencia asíncrono (ATM, *asynchronous transfer mode*) por una red óptica pasiva. La finalidad de estas adiciones y modificaciones es soportar velocidades de datos más altas, especialmente para el transporte de servicios de datos.

En esta Recomendación se proponen los requisitos y especificaciones de la capa física para la capa PMD de una red óptica pasiva con capacidad de gigabits (GPON, *gigabit-capable passive optical network*). Las especificaciones de la capa TC y del protocolo de determinación de distancia se describen en otra Recomendación UIT-T.

#### 2 Referencias

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes. En esta Recomendación, la referencia a un documento, en tanto que autónomo, no le otorga el rango de una Recomendación.

- [1] Recomendación UIT-T G.652 (2003), *Características de las fibras y cables ópticos monomodo.*
- [2] Recomendación UIT-T G.957 (1999), *Interfaces ópticas para equipos y sistemas basados en la jerarquía digital síncrona.*
- [3] Recomendación UIT-T G.982 (1996), *Redes de acceso óptico para el soporte de servicios que funcionan con velocidades binarias de hasta la velocidad primaria de la red digital de servicios integrados (RDSI) o velocidades binarias equivalentes.*

- [4] Recomendación UIT-T G.983.1 (1998), *Sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas*.
- [5] Recomendación UIT-T G.983.3 (2001), *Sistema de acceso óptico de banda ancha con capacidad de servicio incrementada mediante atribución de longitud de onda*.
- [6] Recomendación UIT-T G.984.1 (2003), *Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Características generales*.

### 3 Definiciones

En esta Recomendación se utilizan a menudo términos definidos en las Recomendaciones UIT-T G.983.1 y G.983.3. Para mayor facilidad, se incluyen en esta cláusula las principales definiciones relativas a la capa PMD de las GPON.

**3.1 red de acceso óptico (OAN, *optical access network*):** Conjunto de enlaces de acceso que comparten las mismas interfaces del lado red y están soportados por sistemas de transmisión de acceso óptico. La OAN puede incluir varias ODN conectadas a la misma OLT.

**3.2 red de distribución óptica (ODN, *optical distribution network*):** Aquella que proporciona el medio de transmisión óptico desde la OLT hasta los usuarios, y viceversa. Utiliza componentes ópticos pasivos.

**3.3 terminación de línea óptica (OLT, *optical line termination*):** Aquella que proporciona la interfaz en el lado red de la OAN y está conectada a una o varias ODN.

**3.4 terminación de red óptica (ONT, *optical network termination*):** ONU utilizada para FTTH y que incluye la función de puerto de usuario.

**3.5 unidad de red óptica (ONU, *optical network unit*):** Aquella que proporciona (directamente o a distancia) la interfaz en el lado usuario de la OAN y está conectada a la ODN.

**3.6 acceso múltiple por división en el tiempo (TDMA, *time division multiple access*):** Técnica de transmisión en la que se multiplexan muchos intervalos de tiempo en una misma parte útil.

**3.7 multiplexación por división de longitud de onda (WDM, *wavelength division multiplexing*):** Multiplexación bidireccional que emplea diferentes longitudes de onda para las señales ascendentes y descendentes.

### 4 Abreviaturas

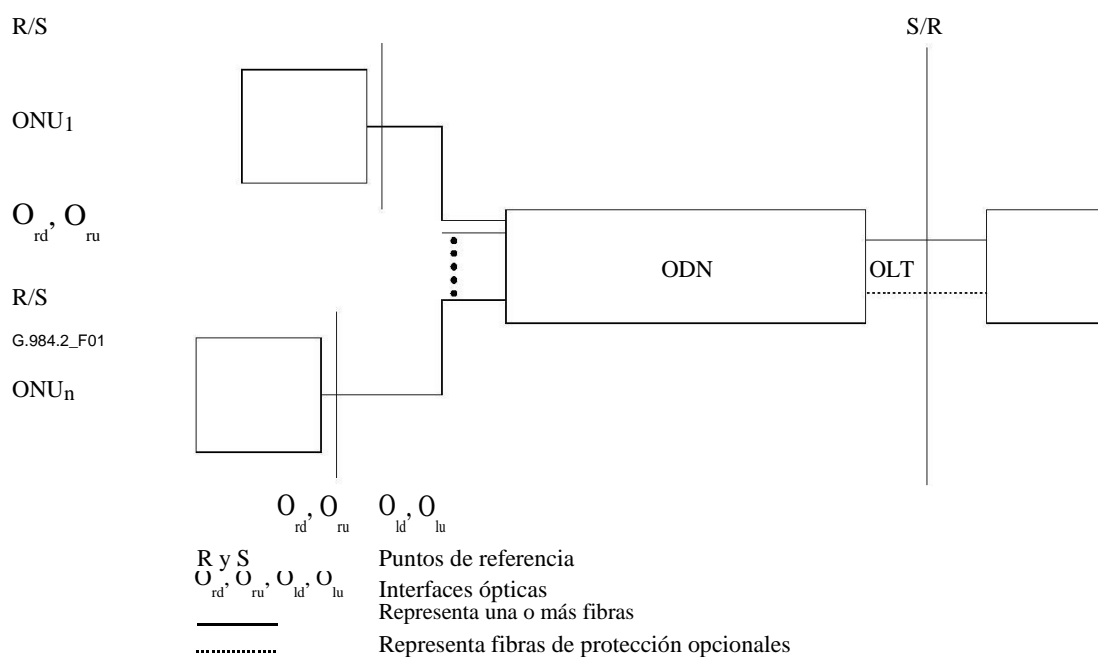
En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

APD	Fotodiodo de avalancha ( <i>avalanche photodiode</i> )
ATM	Modo de transferencia asíncrono ( <i>asynchronous transfer mode</i> )
BER	Tasa de errores en los bits ( <i>bit error ratio</i> )
CID	Dígitos idénticos consecutivos ( <i>consecutive identical digit</i> )
DFB	Láser con realimentación distribuida ( <i>distributed feedback laser</i> )
DSL	Línea de abonado digital ( <i>digital subscriber line</i> )
E/O	Eléctrico/óptico ( <i>electrical/optical</i> )
FEC	Corrección de errores en recepción ( <i>forward error correction</i> )
FTTH	Fibra a la vivienda ( <i>fibre to the home</i> )
GPON	Red óptica pasiva con capacidad de gigabits ( <i>gigabit-capable passive optical network</i> )

MLM	Modo multilongitudinal ( <i>multi-longitudinal mode</i> )
MPN	Ruido de partición de modo ( <i>mode partition noise</i> )
NRZ	Sin retorno a cero ( <i>non return to zero</i> )
O/E	Óptico/eléctrico ( <i>optical/electrical</i> )
OAN	Red de acceso óptico ( <i>optical access network</i> )
ODF	Repartidor óptico ( <i>optical distribution frame</i> )
ODN	Red de distribución óptica ( <i>optical distribution network</i> )
OLT	Terminación de línea óptica ( <i>optical line termination</i> )
ONT	Terminación de red óptica ( <i>optical network termination</i> )
ONU	Unidad de red óptica ( <i>optical network unit</i> )
ORL	Pérdida de retorno óptica ( <i>optical return loss</i> )
PIN	Fotodiodo sin ganancia por avalancha interna ( <i>photodiode without internal avalanche gain</i> )
PON	Red óptica pasiva ( <i>passive optical network</i> )
PRBS	Secuencia pseudoaleatoria de bits ( <i>pseudo-random bit sequence</i> )
RDSI	Red digital de servicios integrados
RDSI-BA	Red digital de servicios integrados de banda ancha
RMS	Valor cuadrático medio ( <i>root mean square</i> )
SDH	Jerarquía digital síncrona ( <i>synchronous digital hierarchy</i> )
SLM	Modo monolongitudinal ( <i>single-longitudinal mode</i> )
SNI	Interfaz de nodo de servicio ( <i>service node interface</i> )
SOA	Amplificador óptico de semiconductores ( <i>semiconductor optical amplifier</i> )
TC	Convergencia de transmisión ( <i>transmission convergence</i> )
TDM	Multiplexación por división en el tiempo ( <i>time division multiplexing</i> )
TDMA	Acceso múltiple por división en el tiempo ( <i>time division multiple access</i> )
UI	Intervalo unitario ( <i>unit interval</i> )
UNI	Interfaz usuario-red ( <i>user network interface</i> )
WDM	Multiplexación por división de longitud de onda ( <i>wavelength division multiplexing</i> )

## 5 Arquitectura de la red de acceso óptico

Véase la Rec. UIT-T G.983.1. Para mayor facilidad, se reproduce a continuación la figura 5/G.983.1.



**Figura 1/G.984.2 – Configuración física genérica de la red de distribución óptica (reproducción de la figura 5/G.983.1)**

Los dos sentidos de transmisión óptica en la ODN se definen del siguiente modo:

- sentido descendente: el de las señales transmitidas de la OLT a la(s) ONU,
- sentido ascendente: el de las señales transmitidas de la(s) ONU a la OLT.

La transmisión en sentido descendente y la transmisión en sentido ascendente pueden tener lugar en la misma fibra y en los mismos componentes (funcionamiento dúplex/dúplex), o en fibras y componentes distintos (funcionamiento símplex).

## 6 Servicios

Véase la Rec. UIT-T G.984.1.

## 7 Interfaz usuario-red e interfaz de nodo de

**servicio** Véase la Rec. UIT-T G.984.1.

## 8 Requisitos de la red óptica

### 8.1 Estructura de la red óptica dividida en capas

Véanse las Recomendaciones UIT-T G.983.1 y G.983.3.

### 8.2 Requisitos de la capa dependiente del medio físico para la GPON

#### 8.2.1 Velocidad binaria nominal de la señal digital

La velocidad en la línea de transmisión debe ser múltiplo de 8 kHz. El sistema normalizado deseado tendrá las siguientes velocidades nominales de línea (sentido descendente/sentido ascendente):

- 1244,16 Mbit/s/155,52 Mbit/s,
- 1244,16 Mbit/s/622,08 Mbit/s,
- 1244,16 Mbit/s/1244,16 Mbit/s,

- 2488,32 Mbit/s/155,52 Mbit/s,
- 2488,32 Mbit/s/622,08 Mbit/s,
- 2488,32 Mbit/s/1244,16 Mbit/s,
- 2488,32 Mbit/s/2488,32 Mbit/s.

Los parámetros que se han de definir se categorizan por sentido descendente o ascendente y por velocidad binaria nominal como se muestra en el cuadro 1.

**Cuadro 1/G.984.2 – Relación entre categorías de parámetros y cuadros**

Sentido de transmisión	Velocidad binaria nominal	Cuadro
Sentido descendente	1244,16 Mbit/s	Cuadro 2b (sentido descendente, 1244 Mbit/s)
	2488,32 Mbit/s	Cuadro 2c (sentido descendente, 2488 Mbit/s)
Sentido ascendente	155,52 Mbit/s	Cuadro 2d (sentido ascendente, 155 Mbit/s)
	622,08 Mbit/s	Cuadro 2e (sentido ascendente, 622 Mbit/s)
	1244,16 Mbit/s	Cuadro 2f-1 (sentido ascendente, 1244 Mbit/s)
		Cuadro 2f-2 (sentido ascendente, 1244 Mbit/s)
	2488,32 Mbit/s	Cuadro 2g-1 (sentido ascendente, 2488 Mbit/s)
Cuadro 2g-2 (sentido ascendente, 2488 Mbit/s)		

A continuación se especifican todos los parámetros que deben ajustarse al cuadro 2a (ODN) y a los cuadros 2b a 2g-2. En esta Recomendación, estos cuadros suelen denominarse cuadro 2. Hay un tipo independiente de ONU para cada combinación de velocidad binaria ascendente, velocidad binaria descendente y clase de pérdida en el trayecto óptico (clases A, B y C definidas en la Rec. UIT-T G.982).

Los valores de los parámetros especificados corresponden al caso más desfavorable en condiciones normales de funcionamiento (es decir, rangos de temperatura y humedad), incluidos los efectos del envejecimiento. Los parámetros se han especificado con relación a un objetivo de diseño de la sección óptica con una tasa de errores en los bits (BER, *bit error ratio*) mejor que  $1 \cdot 10^{-10}$  para el caso extremo de condiciones de atenuación y dispersión del trayecto óptico.

Esta Recomendación, en particular los valores de los cuadros 2b a 2g-2, es aplicable a los casos sin banda de mejora, descrita en la Rec. UIT-T G.983.3. En el caso de las GPON con aplicaciones de banda de mejora, es necesario definir un nuevo conjunto de parámetros, incluidos los requisitos de aislamiento entre las distintas bandas de longitudes de onda. Esto se puede describir en otra Recomendación, que tenga la misma relación con ésta que la que tiene la Rec. UIT-T G.983.3 con la Rec. UIT-T G.983.1. No obstante, la longitud de onda óptica especificada en esta Recomendación para el sentido descendente es conforme con la Rec. UIT-T G.983.3, a fin de lograr la integración paulatina de la banda de mejora para el futuro.

## 8.2.2 Medio físico y método de transmisión

### 8.2.2.1 Medio de transmisión

Esta Recomendación se basa en la fibra descrita en la Rec. UIT-T G.652.

### 8.2.2.2 Sentido de transmisión

La señal se transmite en ambos sentidos, ascendente y descendente por el medio de transmisión.

### 8.2.2.3 Método de transmisión

La transmisión bidireccional utiliza o bien la técnica de multiplexación por división de longitud de onda (WDM, *wavelength division multiplexing*) en una sola fibra, o bien la transmisión unidireccional en dos fibras (véase 8.2.5).

### 8.2.3 Velocidad binaria

Esta cláusula trata de los requisitos de velocidad binaria de la GPON.

#### 8.2.3.1 En sentido descendente

La velocidad binaria nominal de la señal OLT a ONU es 1244,16 ó 2488,32 Mbit/s. Cuando la OLT y la central de extremo están en su estado de funcionamiento normal, esta velocidad puede medirse mediante un reloj Stratum-1 (precisión  $1 \cdot 10^{-11}$ ). Cuando la central de extremo está en modo de funcionamiento libre, la velocidad de la señal descendente puede medirse mediante un reloj Stratum-3 (precisión  $4,6 \cdot 10^{-6}$ ). Cuando la OLT se encuentra en modo de funcionamiento libre, la precisión de la señal descendente es la de un reloj Stratum-4 (precisión  $3,2 \cdot 10^{-5}$ ).

#### 8.2.3.2 En sentido ascendente

La velocidad binaria nominal de la señal ONU a OLT es 155,52, 622,08, 1244,16 ó 2488,32 Mbit/s. Cuando se encuentra en uno de sus estados de funcionamiento y se le autoriza, la ONU deberá transmitir su señal con una precisión igual a la de la señal descendente recibida. La ONU no deberá transmitir ninguna señal cuando no se encuentre en ninguno de sus estados de funcionamiento ni cuando carezca de autorización.

### 8.2.4 Código de línea

Tanto en sentido ascendente como descendente: codificación sin retorno a cero (NRZ, *non return to zero*).

No se ha definido método de aleatorización en la capa PMD.

El convenio utilizado para el nivel lógico óptico es el siguiente:

- nivel alto de emisión de luz para el UNO binario;
- nivel bajo de emisión de luz para el CERO binario.

### 8.2.5 Longitud de onda de trabajo

#### 8.2.5.1 En sentido descendente

El intervalo de longitudes de onda de trabajo en sentido descendente en los sistemas de una sola fibra será 1480-1500 nm.

El intervalo de longitudes de onda de trabajo en sentido descendente en los sistemas de dos fibras será 1260-1360 nm.

#### 8.2.5.2 En sentido ascendente

El intervalo de longitudes de onda de trabajo en sentido ascendente será 1260-1360 nm.

### 8.2.6 Transmisor en O<sub>ld</sub> y O<sub>ru</sub>

A continuación se especifican los parámetros que se ajustarán al cuadro 2.

#### 8.2.6.1 Tipo de fuente

Véase 8.2.6.1/G.983.1.

#### 8.2.6.2 Características espectrales

Véase 8.2.6.2/G.983.1.



### 8.2.6.3 Potencia media inyectada

La potencia media inyectada en  $O_{ld}$  y  $O_{ru}$  es la potencia media de una secuencia pseudoaleatoria de datos inyectada en la fibra por el transmisor. Se presenta como intervalo para optimizar el costo en cierta medida y prevenir cualquier eventualidad en condiciones normales de funcionamiento, de degradación de los conectores del transmisor, tolerancias de las mediciones y efectos del envejecimiento.

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.

NOTA – Para la medición de la potencia inyectada en la interfaz óptica  $O_{ru}$  se debe tener en cuenta el carácter racheado del tráfico ascendente transmitido por las ONU.

#### 8.2.6.3.1 Potencia óptica inyectada sin entrada al transmisor

En sentido ascendente, el transmisor de la ONU no debe inyectar potencia en la fibra en los intervalos que no hayan sido asignados a dicha ONU. No obstante, se permite un nivel de potencia óptica menor o igual que la potencia inyectada sin entrada al transmisor, especificada en los cuadros 2d a 2g-1. La ONU también deberá cumplir este requisito durante el tiempo de guarda de los intervalos que le hayan sido asignados, exceptuando los últimos bits de activación del transmisor que pueden utilizarse para la prepolarización del láser, y los bits de desactivación del transmisor inmediatamente a continuación de la célula asignada, durante la cual la salida cae a cero. El máximo nivel de potencia inyectado permitido durante la prepolarización del láser es el nivel cero correspondiente a la relación de extinción especificada en los cuadros 2d a 2g-1.

En la serie de cuadros 2d a 2g-1 se presenta la especificación del número máximo de bits de activación y desactivación del transmisor, para cada velocidad binaria en sentido ascendente.

#### 8.2.6.4 Mínima relación de extinción

El convenio adoptado para los niveles lógicos ópticos es el siguiente:

- nivel alto de emisión de luz para el "1" lógico;
- nivel bajo de emisión de luz para el "0" lógico.

La relación de extinción (EX) se define del siguiente modo:

$$EX = 10 \log_{10} (A/B)$$

siendo A el nivel medio de potencia óptica en el centro del "1" lógico y B el nivel medio de potencia óptica en el centro del "0" lógico.

La relación de extinción para la señal en modo ráfaga en sentido ascendente se aplica desde el primer bit del preámbulo hasta el último bit de la señal de ráfaga inclusive. Esto no es aplicable a procedimientos finales relacionados con el establecimiento de la potencia óptica.

#### 8.2.6.5 Reflectancia máxima del equipo, medida a la longitud de onda del transmisor

Véase 8.2.6.5/G.983.1.

#### 8.2.6.6 Plantilla del diagrama en ojo del transmisor

Véase 8.2.6.6/G.983.1.

##### 8.2.6.6.1 Transmisor OLT

Los parámetros que definen la plantilla del diagrama en ojo se muestran en la figura 2.

##### 8.2.6.6.2 Transmisor ONU

Los parámetros que definen la plantilla del diagrama en ojo se muestran en la figura 3.

La plantilla del diagrama en ojo para la señal en modo ráfaga en sentido ascendente se aplica desde el primer bit del preámbulo hasta el último bit de la señal de ráfaga inclusive. Esto no es aplicable a los procedimientos finales relativos al establecimiento de la potencia óptica.

#### **8.2.6.7 Tolerancia a la potencia óptica reflejada**

Debe satisfacerse la calidad de funcionamiento especificada para el transmisor cuando se alcanza, en el punto S, el nivel de reflexión óptica especificado en el cuadro 2.

#### **8.2.7 Trayecto óptico entre O<sub>ld</sub>/O<sub>ru</sub> y O<sub>rd</sub>/O<sub>lu</sub>**

##### **8.2.7.1 Intervalo de atenuación**

Véase 8.2.7.1/G.983.1.

##### **8.2.7.2 Pérdida de retorno óptica mínima de la planta de cable en el punto R/S, incluidos los conectores**

Véase 8.2.7.2/G.983.1.

##### **8.2.7.3 Reflectancia discreta máxima entre los puntos S y R**

Véase 8.2.7.3/G.983.1.

##### **8.2.7.4 Dispersión**

Véase 8.2.7.4/G.983.1.

#### **8.2.8 Receptor en O<sub>rd</sub> y O<sub>lu</sub>**

A continuación se especifican todos los parámetros que deberán ajustarse al cuadro 2.

##### **8.2.8.1 Sensibilidad mínima**

Véase 8.2.8.1/G.983.1.

##### **8.2.8.2 Sobrecarga mínima**

Véase 8.2.8.2/G.983.1.

##### **8.2.8.3 Máxima penalización del trayecto óptico**

El receptor deberá tolerar una penalización del trayecto óptico que no rebase 1 dB considerando la degradación total debida a las reflexiones, la interferencia entre símbolos, el ruido de partición de modo y la fluctuación del láser. En sentido ascendente, los tipos de láser especificados en el cuadro 2 producen menos de 1 dB de penalización de trayecto óptico sobre la ODN. Como se indica en la nota 5 de los cuadros 2e y 2f-1, se puede aceptar un aumento de penalización del trayecto óptico ascendente debida a la dispersión a velocidades binarias de 622 Mbit/s o superiores, siempre que todo aumento de penalización en el trayecto óptico por encima de 1 dB se compense con un aumento de la potencia inyectada transmitida mínima o un aumento de la sensibilidad mínima del receptor.

##### **8.2.8.4 Máximo alcance lógico**

El máximo alcance lógico se define como la longitud máxima que se puede alcanzar en un sistema de transmisión determinado independientemente del presupuesto óptico. Se mide en km y no está limitado por los parámetros de dispersión por modo de polarización (PMD, *polarization mode dispersion*) sino más bien por cuestiones relacionadas con la capa TC y la implementación.

##### **8.2.8.5 Máximo alcance lógico diferencial**

El alcance lógico diferencial es la máxima diferencia de alcance lógico entre todas las ONU. Se mide en km y no está limitado por los parámetros PMD sino por la capa TC y las cuestiones de implementación.

### 8.2.8.6 Máxima reflectancia del equipo receptor, medida a la longitud de onda del receptor

Véase 8.2.8.4/G.983.1.

### 8.2.8.7 Pérdida de trayecto óptico diferencial

Véase 8.2.8.5/G.983.1.

### 8.2.8.8 Capacidad de extracción del reloj

Véase 8.2.8.6/G.983.1.

### 8.2.8.9 Característica de fluctuación de fase

Esta cláusula trata de los requisitos de fluctuación de fase de las interfaces ópticas en la GPON.

#### 8.2.8.9.1 Transferencia de la fluctuación de fase

La especificación de la transferencia de la fluctuación de fase se aplica solamente a la ONU.

La función de transferencia de la fluctuación de fase se define del siguiente modo:

$$\text{transf. de fluct. de fase} = 20 \log_{10} \frac{\text{fluct. UI señal ascendente}}{\text{fluct. UI señal descendente}} \cdot \frac{\text{velocidad binaria descendente}}{\text{velocidad binaria ascendente}}$$

La función de transferencia de fluctuación de fase de una ONU deberá estar por debajo de la curva de la figura 4, cuando se aplica una fluctuación de fase sinusoidal no superior al nivel de la plantilla de la figura 5, con los parámetros especificados en dicha figura para cada velocidad binaria.

#### 8.2.8.9.2 Tolerancia de la fluctuación de fase

Véase 8.2.8.7.2/G.983.1.

#### 8.2.8.9.3 Generación de la fluctuación de fase

La especificación de la generación de la fluctuación de fase se aplica solamente a la ONU.

Una ONU no deberá generar una fluctuación de fase cresta a cresta superior a 0,2 UI a velocidades binarias de 155,52 ó 622,08 Mbit/s ni superior a 0,33 UI cresta a cresta a 1244,16 Mbit/s, cuando no haya aplicada ninguna fluctuación de fase a la entrada descendente y la medición se efectúe en una anchura de banda especificada en los cuadros 2d a 2g-1. La máxima fluctuación de fase cresta a cresta permitida a 2488,32 Mbit/s y el intervalo de frecuencias de medición correspondientes quedan pendientes de estudio.

#### 8.2.8.10 Inmunidad a dígitos idénticos consecutivos (CID, *consecutive identical digit*)

La OLT y la ONU tendrán inmunidad a CID como se especifica en los cuadros 2b a 2g.

#### 8.2.8.11 Tolerancia a la potencia reflejada

Véase 8.2.8.9/G.983.1.

#### 8.2.8.12 Calidad de transmisión y característica de error

Véase 8.2.8.10/G.983.1.

## **SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T**

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie B	Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación
Serie C	Estadísticas generales de telecomunicaciones
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E humanos	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
<b>Serie G</b>	<b>Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales</b>
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedia
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedia
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L exterior	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	RGT y mantenimiento de redes: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos
Serie Y	Infraestructura mundial de la información y aspectos del protocolo Internet
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación