ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED DE ACCESO PARA BRINDAR SERVICIOS TRIPLE PLAY CON TECNOLOGÍA FTTX EN EL CENTRO DE LA CIUDAD DE AMBATO

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y REDES DE INFORMACIÓN

GABRIELA KATHERINE CEVALLOS SALAZAR
(tuser_17@yahoo.es)

FAUSTO MANUEL CORONEL AYALA
(famac_88@hotmail.com)

DIRECTOR: MSc. María Soledad Jiménez Jiménez
(maria.jimenez@epn.edu.ec)

Quito, Abril 2014

DECLARACIÓN

Nosotros, Gabriela Katherine Cevallos Salazar y Fausto Manuel Coronel Ayala, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Gabriela K. Cevallos S. **Fausto M. Coronel A.**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Gabriela Katherine Cevallos Salazar y Fausto Manuel Coronel Ayala, bajo mi supervisión.

MSc. María Soledad Jiménez
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme la vida, la salud, la sabiduría, el amor de mi familia y todo lo que he necesitado para lograr la culminación de mi carrera.

Les agradezco a mis padres, el consejo que me han dado ha sido fundamental para ser profesional, su ayuda hoy me concede una herramienta con la que lucharé por su bienestar y el de los que vendrán.

A mis hermanos, mi cuñado y mi sobrina; la compañía, el ejemplo, el amor que me dan a diario, como no dedicarles mi profesión, es en realidad una bendición de Dios tenerlos a mi lado.

A la Escuela Politécnica Nacional, a mis profesores quienes forjaron mi camino; agradezco a mis amigos que aliviaban mi cansancio con las fugadas y sus locuras, y por no dejarme declinar en toda la vida politécnica que hemos compartido, a Uds., gracias.

A todos quienes me abrieron camino hacia el éxito, quienes me dieron un consejo, de ciencia, de aliento, un consejo desatinado pero de corazón, qué lejos he llegado con cada mano que me han tendido.

Y a ti Manolo por darme la oportunidad de compartir tu vida conmigo.

Gaba

DEDICATORIA

Se lo dedico a Dios, sin su voluntad no sería lo que soy, a ti Señor va mi título, para que todo lo que viene, a partir de hoy, esté lleno de tu bendición.

Gaba

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios ya que sin él nada es posible.

A mis padres quienes a pesar de no llegar a ser el mejor hijo siempre han tenido fe y esperanza en mí, y con su esfuerzo y dedicación es que he logrado culminar una etapa más de mi vida.

A mi familia en general, a mis hermanos, cuñados, sobrinos, tíos, primos y demás; ya que siempre de alguna forma u otra incentivaron el esfuerzo que realicé a diario durante mi vida estudiantil.

A mis profesores quienes me han ayudado a alcanzar esta meta en mi vida, mediante sus enseñanzas tanto académicas como personales.

A mis amigos los cuales dentro y fuera de clase fueron un aliciente para no decaer aun cuando pareciera que las fuerzas no abastecían.

Y a ti Gabriela por haberme soportado durante todo este tiempo y por haber compartido este proyecto conmigo, este proyecto de vida con el que terminamos e iniciamos una etapa de nuestras vidas.

Fausto

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, a mis padres y a mi novia, quienes fueron los que más me apoyaron para no decaer y continuar hasta el final.

Gracias por todo!

Fausto

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I **1**

FUNDAMENTOS TEÓRICOS **1**

1.1 INTRODUCCIÓN 1
1.1.1 MEDIOS DE TRANSMISIÓN 1
1.1.1.1 Medios No Guiados 1
1.1.1.2 Medios Guiados 1
1.2 COMUNICACIONES ÓPTICAS 2
1.2.1 BANDAS Y VENTANAS DE TRANSMISIÓN ÓPTICAS 3
1.2.1.1 Ventanas de Transmisión Ópticas 4
1.2.1.2 Bandas de Transmisión Ópticas 5
1.2.2 PROPAGACIÓN DE LA LUZ 6
1.2.2.1 Reflexión y Refracción de la luz 7
1.2.2.1.1 Reflexión 7
1.2.2.1.2 Refracción 7
1.2.2.2 Ángulo Crítico 8
1.2.2.3 Principio de Reflexión Interna Total 8
1.2.3 MODOS DE PROPAGACIÓN EN LA FIBRA 8
1.2.3.1 Fibra Óptica Monomodo 8
1.2.3.1.1 Fibras ópticas monomodo de índice escalonado 9
1.2.3.2 Fibra Óptica Multimodo 9
1.2.3.2.1 Fibras ópticas multimodo de índice escalonado 9
1.2.3.2.2 Fibras ópticas multimodo de índice gradual 9
1.2.3.3 Longitud de onda de Corte 10
1.2.3.4 Diámetro del campo modal 10
1.2.4 DISPERSIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA 11
1.2.4.1 Dispersión Modal 11
1.2.4.2 Dispersión Cromática 11
1.2.4.2.1 Dispersión Cromática de material o espectral ($\tau\varepsilon$) 11
1.2.4.2.2 Dispersión Cromática de guía de onda (τg) 12
1.2.4.3 Dispersión de Modo de Polarización 12
1.2.5 PÉRDIDAS EN LA FIBRA ÓPTICA 13
1.2.5.1 Pérdidas por Absorción 13
1.2.5.2 Pérdidas por *Scattering* 13
1.2.5.3 Pérdidas por Curvaturas 14
1.2.5.4 Pérdidas por Empalmes 14
1.2.6 ESTÁNDARES ITU-T DE FIBRA ÓPTICA 15
1.2.6.1 G.651 Características de un cable de fibra óptica multimodo 15
1.2.6.2 SSMF G.652 Características de las fibras y cables ópticos monomodo 15
1.2.6.3 G.653 DSF (*Dispersion Shifted Fiber*) Características de los cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada 17
1.2.6.4 G.654 ZDSF (*Zero Dispersion Shifted Fiber*) Características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado 18
1.2.6.5 G.655 NZ-DSF (*Non-Zero Dispersion Shifted Fiber*) Características de los cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada no nula 19
1.2.6.6 G.656 Características de una fibra y un cable con dispersión no nula para el transporte óptico de banda ancha 22
1.2.6.7 G.657 Características de una fibra y un cable monomodo, insensible a las pérdidas por flexión para redes de acceso 22
1.2.7 CABLES DE FIBRA ÓPTICA 24

1.2.7.1 Cable de Estructura Ajustada (*Tight Buffer*) 24
1.2.7.2 Cable de Estructura Holgada (*Loose Tube*) 25
1.2.7.3 Cable para tendido aéreo 25
1.2.7.3.1 *Cable Figura 8* 25
1.2.7.3.2 *Cable ADSS (All Dielectric Self Supporting)* 26
1.2.7.3.3 *Cable OPGW (Optical Ground Wire)* 26
1.2.7.4 Cables para tendido subterráneo 27
1.2.7.4.1 Cable con Armadura (Cable Armado) 27
1.3 ELEMENTOS DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA 27
1.3.1 SPLITTERS / ACOPLADORES 27
1.3.1.1 Tipos de *splitters*/acopladores ópticos 28
1.3.1.1.1 *Splitter/Acoplador en T* 28
1.3.1.1.2 *Splitter/Acoplador en Estrella* 28
1.3.1.1.3 *Splitter/Acoplador TAP* 28
1.3.1.2 Pérdidas en *Splitters* 29
1.3.1.2.1 *Pérdidas de Inserción (Insertion Loss, IL)* 29
1.3.1.2.2 *Pérdidas de Retorno (Optical Return Loss, ORL)* 29
1.3.1.3 Tecnologías de división en *Splitters* 29
1.3.2 CONECTORES Y EMPALMES 30
1.3.2.1 Conectores 30
1.3.2.2 Empalmes 32
1.3.2.2.1 *Empalme Mecánico* 32
1.3.2.2.2 *Empalme por Fusión* 32
1.3.3 FUENTES DE LUZ 34
1.3.3.1 LED 34
1.3.3.2 LASER 34
1.3.4 DETECTORES DE LUZ 35
1.3.4.1 Diodo PIN (*P-Intrinsic-N*) 35
1.3.4.2 Diodo APD (*Avalanche Photo Diode*) 35
1.4 TECNOLOGÍAS XPON 36
1.4.1 ESTÁNDARES xPON 40
1.4.1.1 Recomendación ITU-T G.983 40
1.4.1.2 IEEE 802.3 ah 41
1.4.1.3 Recomendación ITU-T G.984 41
1.4.1.3.1 *Estructura de una red GPON* 42
1.4.1.3.2 *Recomendaciones de la ITU-T para la tecnología GPON* 43
1.4.2 VENTAJAS DE UNA RED PON 46
1.5 TECNOLOGÍAS FTTx 47
1.6 SERVICIOS *TRIPLE PLAY* 50
1.6.1 REQUERIMIENTOS DE LOS SERVICIOS 51
1.6.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PAQUETE *TRIPLE PLAY* 51
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 53
CAPÍTULO II 58
DISEÑO DE LA RED DE ACCESO 58
2.1 DELIMITACIÓN DEL SECTOR CENTRO EN AMBATO 58
2.2 TAMAÑO DE LA MUESTRA 62
2.2.1 SECTOR RESIDENCIAL 62
2.2.2 SECTOR CORPORATIVO 63
2.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS 64
2.3.1 SECTOR RESIDENCIAL 64

2.3.1.1 Características de los servicios que actualmente poseen los hogares 64
2.3.1.2 Horarios de mayor utilización de los diferentes servicios 66
2.3.1.3 Servicios contratados con un mismo proveedor 68
2.3.1.4 Grado de satisfacción con los servicios que actualmente utilizan 69
2.3.1.5 Grado de acogida del proyecto 70
2.3.1.6 Valores dispuestos a pagar por el servicio *Triple Play* 71
2.3.2 SECTOR CORPORATIVO 72
2.3.2.1 Características de los servicios que actualmente poseen los centros corporativos 72
2.3.2.2 Horarios de mayor utilización de los diferentes servicios 73
2.3.2.3 Servicios contratados con un mismo proveedor 75
2.3.2.4 Grado de satisfacción con los servicios que actualmente utilizan 76
2.3.2.5 Grado de acogida del proyecto 78
2.3.2.6 Valores dispuestos a pagar por el servicio *Triple Play* 78
2.4 DIMENSIONAMIENTO Y PROYECCIÓN DE LA DEMANDA 79
2.4.1 ANÁLISIS HISTÓRICO DE LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES 79
2.4.2 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA 82
2.4.2.1 Proyección de la demanda sector residencial 82
2.4.2.2 Proyección de la demanda sector corporativo 83
2.5 DIMENSIONAMIENTO DE LA CAPACIDAD REQUERIDA POR EL SERVICIO *TRIPLE PLAY* 85
2.6 DISEÑO DE LA RED 88
2.6.1 SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA PON 88
2.6.2 SELECCIÓN DEL PROVEEDOR DE SERVICIOS 93
2.6.3 SELECCIÓN DEL TENDIDO DE CABLE DE FIBRA ÓPTICA 94
2.6.3.1 Tendido de fibra aéreo 94
2.6.3.2 Tendido de fibra subterráneo 97
2.6.3.3 Técnica de Microzanjado 98
2.6.3.4 Comparación y selección del tendido de cable de fibra óptica 100
2.6.4 DESCRIPCIÓN DE LA TOPOLOGÍA DE LA RED GPON 100
2.6.4.1 Topología Lógica de red 100
2.6.4.1.1 *Topología Lógica del Sector Residencial y Corporativo* 100
2.6.4.2 Topología Física de red 101
2.6.4.2.1 *Topología Física del Sector Residencial y Corporativo* 101
2.6.5 TRAZADO DE LA RED 103
2.6.5.1 División por sectores de la red 103
2.6.5.1.1 *Zona 1* 105
2.6.5.1.2 *Zona 2* 106
2.6.5.1.3 *Zona 3* 107
2.6.5.1.4 *Zona 4* 107
2.6.5.1.5 *Zona 5* 108
2.6.5.1.6 *Zona 6* 109
2.6.5.1.7 *Zona 7* 109
2.6.5.2 Rutas para el tendido del cable de fibra 111
2.6.6 CRITERIOS DE DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DE RED PASIVOS Y ACTIVOS 113
2.6.6.1 Criterios de Diseño 113
2.6.6.2 Características de los Elementos Activos y Pasivos 113
2.6.6.2.1 *Equipos activos* 114
2.6.6.2.2 *Elementos Pasivos* 117
2.6.7 TECNOLOGÍA FTTx 122

2.7 PRESUPUESTO DE PÉRDIDAS DE POTENCIA 124
2.7.1 PRESUPUESTO DE POTENCIA DEL USUARIO MÁS CERCANO 126
2.7.2 PRESUPUESTO DE POTENCIA DEL USUARIO MÁS LEJANO 128
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 131
CAPÍTULO III 134
ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO 134
3.1 INVERSIÓN DEL PROYECTO 134
3.1.1 INVERSIONES FIJAS 134
3.1.1.1 Costo de la red 134
3.1.1.1.1 *Optical Line Termination* 134
3.1.1.1.2 *Optical Network Terminal* 135
3.1.1.1.3 *Splitters* 136
3.1.1.1.4 *Fibra Óptica* 137
3.1.1.2 Costo del microzanjado 140
3.1.1.3 Gasto por muebles de oficina 140
3.1.1.4 Gastos por equipos de cómputo 140
3.1.1.5 Depreciación de Activos Fijos 141
3.1.2 INVERSIONES NOMINALES 141
3.1.2.1 Gastos por configuración de los equipos activos 141
3.1.2.2 Amortización de Activos Nominales 142
3.1.3 GASTOS EN GENERAL 142
3.1.3.1 Gastos por constitución de la empresa 142
3.1.3.2 Gastos de los permisos de funcionamiento 143
3.1.3.3 Costos de mantenimiento de la red 146
3.1.3.4 Gastos de sueldos del personal 147
3.1.3.5 Costo de cargos de interconexión 148
3.1.3.6 Gastos de Publicidad 149
3.1.3.7 Costo de la capacidad en Mbps contratada 149
3.1.3.8 Gastos para la compañía 149
3.2 RÉDITOS DEL PROYECTO 150
3.2.1 PAQUETES A OFERTAR 150
3.2.1.1 Sector Residencial 150
3.2.1.1.1 *Paquete D* 150
3.2.1.1.2 *Paquete G* 151
3.2.1.2 Sector Corporativo 151
3.2.1.2.1 *Paquete D* 151
3.2.1.2.2 *Paquete G* 152
3.2.2 INGRESOS ANUALES 152
3.3 FUENTES DE FINANCIAMIENTO 154
3.4 FLUJO DE CAJA 155
3.5 REGLAS DE DECISIÓN 155
3.5.1 TASA MÍNIMA ACEPTABLE DE RENDIMIENTO (TMAR) 155
3.5.2 VALOR ACTUAL NETO (VAN) 157
3.5.3 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) 158
3.5.4 PERÍODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN (PRI) 158
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 160
CAPÍTULO IV 162
SIMULACIÓN Y RESULTADOS 162
4.1 ANÁLISIS DE *SOFTWARE* EXISTENTE EN EL MERCADO 162

4.1.1 *SOFTWARE* COMERCIAL 162
4.1.1.1 OpNet Modeler 162
4.1.1.2 OptSim 164
4.1.1.3 OptiSystem 166
4.1.1.4 VPI *Transmission Maker* 168
4.1.2 *SOFTWARE* LIBRE 169
4.1.2.1 *Optical* WDM *Network Simulator* (OWns) 169
4.1.3 ANÁLISIS COMPARATIVO Y ELECCIÓN DEL *SOFTWARE* DE SIMULACIÓN 171
4.2 INTRODUCCIÓN AL FUNCIONAMIENTO DE OPTISYSTEM 172
4.2.1 LICENCIAS Y REQUERIMIENTOS DE OPTISYSTEM 172
4.2.2 ENTORNO GRÁFICO 173
4.2.3 HERRAMIENTAS DE INTEGRACIÓN CON OTROS PROGRAMAS 178
4.3 SIMULACIÓN DE LA RED 178
4.3.1 ESTRUCTURACIÓN DEL ARCHIVO DE SIMULACIÓN 179
4.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS TEÓRICOS Y SIMULADOS 188
4.4.1 USUARIO MÁS CERCANO 188
4.4.2 USUARIO MÁS LEJANO 196
4.4.3 RESUMEN Y CONCLUSIONES 201
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 204
CAPÍTULO V 205
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 205
5.1 CONCLUSIONES 205
5.2 RECOMENDACIONES 211

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I **1**

FUNDAMENTOS TEÓRICOS **1**

TABLA 1.1 Ventanas de Transmisión 5
TABLA 1.2 Bandas de transmisión 6
TABLA 1.3 Estándares G.652 16
TABLA 1.4 Estándares G.653 17
TABLA 1.5 Estándares G.654 19
TABLA 1.6 Estándares G.655 A y B 20
TABLA 1.7 Estándares G.655 C, D y E 21
TABLA 1.8 Estándares G.656 22
TABLA 1.9 Estándares G.657 23
TABLA 1.10 Servicios con sus respectivas longitudes de Onda 42
TABLA 1.11 Tipos de T-CONT 45
TABLA 1.12 Comparación de las tecnologías PON 46
TABLA 1.13 Distribución mundial de FTTH 49
TABLA 1.14 Requerimientos de los servicios *Triple Play* 51

CAPÍTULO II **58**

DISEÑO DE LA RED DE ACCESO **58**

TABLA 2.1 Población Urbana y Rural del cantón Ambato 58
TABLA 2.2 Principales establecimientos del centro de la ciudad de Ambato. 61
TABLA 2.3 Clientes residenciales que poseen los diferentes paquetes de servicios. 65
TABLA 2.4 Horarios de utilización de los servicios, sector residencial. 66
TABLA 2.5 Clientes residenciales que utilizan dos o más servicios de telecomunicaciones de un mismo proveedor. 68
TABLA 2.6 Grado de satisfacción de los clientes residenciales con sus servicios. 69
TABLA 2.7 Acogida del servicio *Triple Play* por parte del sector residencial. 70
TABLA 2.8 Precio en dólares que estiman pagar los clientes residenciales para contratar un servicio *Triple Play*. 71
TABLA 2.9 Clientes corporativos que poseen los diferentes paquetes de servicios. 73
TABLA 2.10 Horarios de utilización de los diferentes servicios, sector corporativo. 74
TABLA 2.11 Clientes corporativos que utilizan dos o más servicios de telecomunicaciones de un mismo proveedor. 75
TABLA 2.12 Grado de satisfacción de los clientes corporativos con sus servicios. 77
TABLA 2.13 Acogida del servicio *Triple Play* por parte del sector corporativo. 78
TABLA 2.14 Precio en dólares que estiman pagar los clientes corporativos para contratar un servicio *Triple Play*. 79
TABLA 2.15 Porcentajes históricos de hogares en Tungurahua urbano que tuvieron los servicios. 80
TABLA 2.16 Porcentajes de hogares que tendrían los servicios. 81
TABLA 2.17 Crecimiento porcentual anual de la tenencia de los servicios. 82
TABLA 2.18 Hogares por paquete de un total de 2359. 82
TABLA 2.19 Clientes residenciales iniciales por paquete. 83
TABLA 2.20 Proyección de los clientes residenciales hacia cinco años. 83
TABLA 2.21 Corporaciones por paquete de un total de 247. 84
TABLA 2.22 Clientes corporativos iniciales por paquete. 84
TABLA 2.23 Proyección de los clientes corporativos hacia cinco años. 84
TABLA 2.24 Servicio con su respectiva capacidad para el sector residencial. 85

TABLA 2.25 Servicio con su respectiva capacidad para el sector corporativo. 86
TABLA 2.26 Cálculo año a año de la capacidad requerida, sector residencial. 87
TABLA 2.27 Cálculo año a año de la capacidad requerida, sector corporativo. 88
TABLA 2.28 Relación de división máxima de las tecnologías PON 89
TABLA 2.29 Capacidades de las diferentes tecnologías PON 89
TABLA 2.30 Características de eficiencia y seguridad 90
TABLA 2.31 Alcance de las diferentes tecnologías PON 91
TABLA 2.32 Tecnología NG-PON 91
TABLA 2.33 Clases de Redes GPON 92
TABLA 2.34 Pérdidas establecidas por clase. 92
TABLA 2.35 Parámetros para la clase B+. 93
TABLA 2.36 Parámetros de equipo activo clase B+. 93
TABLA 2.37 Número de abonados y capacidad en Mbps de los proveedores del servicio de Internet 94
TABLA 2.38 Limitaciones de proveedores del servicio de Internet más representativos. 94
TABLA 2.39 Comparación entre las diferentes técnicas de tendido de cable. 100
TABLA 2.40 Resumen de requerimientos para OLT y ONT. 116
TABLA 2.41 Parámetros y cálculo del ancho de banda. 118
TABLA 2.42 Resumen de diferencias entre estándares 119
TABLA 2.43 Coeficiente de atenuación para estándares G.652 120
TABLA 2.44 Atenuación de cada longitud de onda dependiendo el estándar. 124
TABLA 2.45 Pérdidas de inserción para elementos de ramificación (*splitters*) 125

CAPÍTULO III 134

ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO 134

TABLA 3.1 Comparación entre la OLT Alcatel y Huawei 135
TABLA 3.2 Comparación entre ONT Alcatel y Huawei 136
TABLA 3.3 Costo de los *splitters* de primer nivel. 137
TABLA 3.4 Costo de los *splitters* de segundo nivel. 137
TABLA 3.5 Diferentes marcas de cable de fibra óptica G652.D de 48 hilos. 138
TABLA 3.6 Diferentes marcas de cable de fibra óptica G652.D de 24 hilos. 138
TABLA 3.7 Costo del cable de fibra óptica de 6 hilos. 138
TABLA 3.8 Costo cable de fibra óptica G-657 A. 138
TABLA 3.9 Costo total de la red. 139
TABLA 3.10 Cotización técnica de microzanjado 140
TABLA 3.11 Cotización de muebles de oficina 140
TABLA 3.12 Cotización de equipos de cómputo 140
TABLA 3.13 Depreciación de activos fijos para el año 2017. 141
TABLA 3.14 Total gasto de configuración de equipos activos. 142
TABLA 3.15 Amortización de activos nominales. 142
TABLA 3.16 Gastos por constitución de la empresa 143
TABLA 3.17 Gastos totales para obtener los permisos de funcionamiento 145
TABLA 3.18 Costo del mantenimiento de la red para cuatro años. 146
TABLA 3.19 Sueldos estipulados por empleado, con beneficios de ley. 148
TABLA 3.20 Gastos de publicidad. 149
TABLA 3.21 Costo de la capacidad para el servicio de Internet, año 2017. 149
TABLA 3.22 Gastos varios de servicios básicos. 150
TABLA 3.23 Costo del paquete D, sector residencial. 151
TABLA 3.24 Costo del paquete G, sector residencial. 151
TABLA 3.25 Costo del paquete D, sector corporativo. 152

TABLA 3.26 Costo del paquete G sector corporativo. 152
TABLA 3.27 Ingreso del año 2012. 153
TABLA 3.28 Ingreso del año 2013. 153
TABLA 3.29 Ingreso del año 2014. 153
TABLA 3.30 Ingreso del año 2015. 153
TABLA 3.31 Ingreso del año 2016. 154
TABLA 3.32 Ingreso del año 2017. 154
TABLA 3.33 Monto invertido por los socios. 154
TABLA 3.34 Flujo de Caja. 156
TABLA 3.35 Valores del Período de Recuperación de la Inversión. 159
CAPÍTULO IV **162**
SIMULACIÓN Y RESULTADOS **162**
TABLA 4.1 Comparación entre *software* de simulación. 171
TABLA 4.2 Requerimientos Mínimos del Sistema 173
TABLA 4.3 Resumen Balance de Potencias. 201
TABLA 4.4 Resumen Diagramas 202

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I **1**

FUNDAMENTOS TEÓRICOS **1**

FIGURA 1.1 Medios Guiados 2
FIGURA 1.2 Espectro electromagnético 3
FIGURA 1.3 Espectro óptico 4
FIGURA 1.4 Curva de atenuación de la fibra óptica 5
FIGURA 1.5 Bandas de transmisión utilizadas por la fibra óptica 6
FIGURA 1.6 Partes de la fibra óptica 6
FIGURA 1.7 Reflexión. 7
FIGURA 1.8 Refracción. 7
FIGURA 1.9 Fibra óptica monomodo índice escalonado 9
FIGURA 1.10 Fibra óptica multimodo de índice escalonado 9
FIGURA 1.11 Fibra óptica multimodo índice gradual 10
FIGURA 1.12 Diámetro del campo modal 10
FIGURA 1.13 Dispersión Cromática 12
FIGURA 1.14 Dispersión de Modo de Polarización. 12
FIGURA 1.15 *Scattering* de Mie y Rayleigh 13
FIGURA 1.16 Pérdidas por macro-curvaturas y micro-curvaturas 14
FIGURA 1.17 Resumen de pérdidas en un fibra óptica. 15
FIGURA 1.18 Perfiles de índice de refracción y curva de dispersión. 17
FIGURA 1.19 Curva de dispersión desplazada nula 18
FIGURA 1.20 Cable de Estructura Ajustada 24
FIGURA 1.21 Cable de Estructura Holgada 25
FIGURA 1.22 Cable figura ocho. 26
FIGURA 1.23 Cable ADSS. 26
FIGURA 1.24 Cable OPGW 27
FIGURA 1.25 Cable con armadura 27
FIGURA 1.26 *Splitter* 1:2. 28
FIGURA 1.27 *Splitter* FBT. 29
FIGURA 1.28 *Splitter* PLC 30
FIGURA 1.29 (a) Partes de un conector **(b)** *Pigtails* 31
FIGURA 1.30 Tipos de conectores. 31
FIGURA 1.31 (a) Pulido PC **(b)** Pulido UPC **(c)** Pulido APC. 32
FIGURA 1.32 Posibles resultados de la fusión 33
FIGURA 1.33 Anchura espectral LED vs. Láser. 34
FIGURA 1.34 Distribución de la información en una red AON. 36
FIGURA 1.35 Distribución de la información en una red PON 37
FIGURA 1.36 Infraestructura de una red PON. 38
FIGURA 1.37 Mensaje PLOAM. 39
FIGURA 1.38 Proceso de *Ranging*. 39
FIGURA 1.39 Arquitectura de una red APON. 40
FIGURA 1.40 Infraestructura GEPON 41
FIGURA 1.41 Infraestructura de una red GPON. 42
FIGURA 1.42 Funciones comunes de una red GPON 43
FIGURA 1.43 Identificador Alloc-ID. 44
FIGURA 1.44 Tecnologías FTTx. 47
FIGURA 1.45 Distribución hacia el usuario FTTH y FTTB 49

FIGURA 1.46 Países que han acogido FTTH 50
FIGURA 1.47 Convergencia de servicios. 50
CAPÍTULO II **58**
DISEÑO DE LA RED DE ACCESO **58**
FIGURA 2.1 Distribución cantonal y parroquial de la Provincia de Tungurahua 59
FIGURA 2.2 Delimitación del área para el diseño de la red de acceso. 60
FIGURA 2.3 Relación porcentual de los diferentes paquetes de servicios, sector residencial. 66
FIGURA 2.4 Representación de los horarios de utilización del servicio telefónico, sector residencial. 66
FIGURA 2.5 Representación de los horarios de utilización del Internet, sector residencial. 67
FIGURA 2.6 Representación de los horarios de utilización de TV suscrita, sector residencial. 67
FIGURA 2.7 Hogares que utilizan dos o más servicios de telecomunicaciones con un mismo proveedor. 68
FIGURA 2.8 Hogares que no utilizan dos o más servicios de telecomunicaciones con un mismo proveedor. 69
FIGURA 2.9 Representación de la satisfacción con los diferentes servicios, sector residencial. 70
FIGURA 2.10 Representación de la insatisfacción con los diferentes servicios, sector residencial. 70
FIGURA 2.11 Porcentaje de acogida del servicio *Triple Play*, sector residencial. 71
FIGURA 2.12 Representación de los precios en dólares que estiman pagar los clientes residenciales para contratar el paquete *Triple Play*. 72
FIGURA 2.13 Relación porcentual de los diferentes paquetes de servicios, sector corporativo. 73
FIGURA 2.14 Representación de los horarios de utilización del servicio telefónico, sector corporativo. 74
FIGURA 2.15 Representación de los horarios de utilización del Internet, sector corporativo. 74
FIGURA 2.16 Representación de los horarios de utilización de TV suscrita, sector corporativo. 75
FIGURA 2.17 Clientes corporativos que utilizan dos o más servicios de telecomunicaciones con un mismo proveedor. 76
FIGURA 2.18 Clientes corporativos que no utilizan dos o más servicios de telecomunicaciones de un mismo proveedor. 76
FIGURA 2.19 Representación de la satisfacción con los diferentes servicios, sector corporativo. 77
FIGURA 2.20 Representación de la insatisfacción con los diferentes servicios, sector corporativo. 77
FIGURA 2.21 Representación de la acogida del servicio *Triple Play*, sector corporativo. 78
FIGURA 2.22 Representación de los precios en dólares que estiman pagar los clientes corporativos para contratar el paquete *Triple Play*. 79
FIGURA 2.23 Proyección del crecimiento anual de hogares que poseen servicio de Internet. 80
FIGURA 2.24 Porcentaje de crecimiento anual de hogares con tenencia de línea telefónica. 81
FIGURA 2.25 Tendido aéreo de fibra óptica, intersección calle Abdón Calderón y Primera Imprenta. 95
FIGURA 2.26 Manga de fibra óptica en el tendido aéreo. 95

FIGURA 2.27 Manga de fibra óptica empotrada en las paredes de los hogares del centro de la ciudad de Ambato. 96
FIGURA 2.28 Instalación de ductos para soterramiento de cables, ciudad de Quito. 97
FIGURA 2.29 Ductería subterránea de telecomunicaciones. 98
FIGURA 2.30 Microzanja realizada en el asfalto 98
FIGURA 2.31 Diagrama de la topología lógica *downstream, broadcast* 101
FIGURA 2.32 Diagrama de la topología lógica *upstream*, TDMA. 101
FIGURA 2.33 Distribución de los dispositivos acoplados al punto de conexión central en la topología en árbol. 102
FIGURA 2.34 Diagrama de la topología física. 102
FIGURA 2.35 Área centro segmentada en siete zonas. 104
FIGURA 2.36 Zona 1, distribución de rutas y *splitters*. 105
FIGURA 2.37 Zona 2, distribución de rutas y *splitters*. 106
FIGURA 2.38 Zona 3, distribución de rutas y *splitters*. 107
FIGURA 2.39 Zona 4, distribución de rutas y *splitters*. 108
FIGURA 2.40 Zona 5, distribución de rutas y *splitters*. 109
FIGURA 2.41 Zona 6, distribución de rutas y *splitters*. 110
FIGURA 2.42 Zona 7, distribución de rutas y *splitters*. 111
FIGURA 2.43 OLT GPON y tarjetas desmontables 115
FIGURA 2.44 ONT y posibles puertos de conexión. 116
FIGURA 2.45 Cable de fibra G.652.D. 120
FIGURA 2.46 Instalaciones de fibras G.657. 121
FIGURA 2.47 *Splitters* de varios tipos y relaciones de división. 122
FIGURA 2.48 Diferenciación entre FTTB y FTTH. 123
FIGURA 2.49 Balance de pérdidas totales del cliente más cercano. 130
FIGURA 2.50 Balance de pérdidas totales del cliente más lejano. 130

CAPÍTULO III 134

ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO 134

FIGURA 3.1 Conformación del personal. 147
FIGURA 3.2 Período de recuperación de la inversión. 159

CAPÍTULO IV 162

SIMULACIÓN Y RESULTADOS 162

FIGURA 4.1 OpNet Modeler. 162
FIGURA 4.2 Diferentes editores de OpNet Modeler 163
FIGURA 4.3 OptSim. 164
FIGURA 4.4 Simulación red BPON en OptSim. 166
FIGURA 4.5 OptiSystem. 166
FIGURA 4.6 Simulación red XGPON en OptiSystem. 167
FIGURA 4.7 Simulación red PON en VPI 169
FIGURA 4.8 Simulación red en OWns. 171
FIGURA 4.9 Entorno GUI OptiSystem. 173
FIGURA 4.10 Creación de un nuevo proyecto. 174
FIGURA 4.11 Inserción de componentes. 175
FIGURA 4.12 *Autoconnect on Drop*. 175
FIGURA 4.13 *Autoconnect on Move*. 175
FIGURA 4.14 Inserción de elementos de visualización. 176
FIGURA 4.15 Configuración *CW Laser Properties*. 176
FIGURA 4.16 Formas de calcular la simulación. 177

FIGURA 4.17 Puesta en marcha de la simulación. 177
FIGURA 4.18 Visualizadores ópticos. 178
FIGURA 4.19 Bloques que constituyen la OLT. 179
FIGURA 4.20 Bloque de Transmisión de Datos/Voz de la OLT. 180
FIGURA 4.21 Bloque de Transmisión de Video de la OLT. 180
FIGURA 4.22 Bloque de Recepción (conversión electro-óptica). 181
FIGURA 4.23 *Optical Distribution Network* (ODN). 182
FIGURA 4.24 Parámetros de la fibra óptica. 183
FIGURA 4.25 Parámetros de los *splitters*. 184
FIGURA 4.26 Pérdidas por empalmes, conectores y margen de guarda. 184
FIGURA 4.27 Bloques componentes del ONT. 185
FIGURA 4.28 Composición interna del receptor de DATOS/VOZ. 185
FIGURA 4.29 Composición interna del receptor de VIDEO. 186
FIGURA 4.30 Composición interna transmisor de *Upstream*. 186
FIGURA 4.31 Configuración del *Time Slot* en los ONTs. 187
FIGURA 4.32 Vista de la transmisión de tres ONTs a diferente tiempo. 187
FIGURA 4.33 Señal eléctrica inicial. 188
FIGURA 4.34 Señal óptica inicial. 189
FIGURA 4.35 Espectro de la señal óptica de datos. 189
FIGURA 4.36 Diagrama de constelación de la modulación 16-QAM. 189
FIGURA 4.37 Señal óptica de 16-QAM. 190
FIGURA 4.38 Espectro de la señal óptica de video. 190
FIGURA 4.39 Señal óptica resultante. 190
FIGURA 4.40 Espectro de la señal óptica resultante. 190
FIGURA 4.41 Potencia de la señal óptica resultante transmitida por la OLT. 191
FIGURA 4.42 Potencia medida antes de la fibra óptica. 191
FIGURA 4.43 Potencia medida luego de la fibra óptica. 191
FIGURA 4.44 Parámetros de configuración de la fibra óptica. 191
FIGURA 4.45 Potencia medida antes del *splitter* 1er nivel usuario más cercano. 192
FIGURA 4.46 Potencia medida luego del *splitter* 1er nivel usuario más cercano. 192
FIGURA 4.47 Potencia medida antes del *splitter* 2do nivel usuario más cercano. 192
FIGURA 4.48 Potencia medida luego del *splitter* 2do nivel usuario más cercano. 192
FIGURA 4.49 Potencia recibida en el receptor del ONT. 193
FIGURA 4.50 Diagrama del ojo de la señal recibida por el ONT usuario más cercano. 193
FIGURA 4.51 BER obtenido de la señal recibida por el ONT usuario más cercano. 193
FIGURA 4.52 Diagrama de constelación de la señal recibida por el ONT (video) usuario más cercano. 194
FIGURA 4.53 Señal transmitida por el ONT en el primer slot de tiempo. 194
FIGURA 4.54 Espectro de la señal transmitida por el ONT usuario más cercano. 194
FIGURA 4.55 Potencia de la señal *Upstream* a la salida del ONT usuario más cercano. 195
FIGURA 4.56 Potencia medida de la señal recibida por la OLT usuario más cercano. 195
FIGURA 4.57 Diagrama del ojo de todas las señales recibidas por la OLT usuario más cercano. 195
FIGURA 4.58 BER obtenido para las señales recibidas por la OLT usuario más cercano 195
FIGURA 4.59 Diagrama del ojo de la señal transmitida por el último ONT. 196
FIGURA 4.60 Potencia inicial transmitida por la OLT. 197
FIGURA 4.61 Potencia medida antes de la fibra óptica inicial. 197
FIGURA 4.62 Potencia medida luego de la fibra óptica inicial. 197
FIGURA 4.63 Potencia medida antes del *splitter* 1er nivel usuario más lejano 197

FIGURA 4.64 Potencia medida luego del *splitter* 1er nivel usuario más lejano. 197
FIGURA 4.65 Potencia medida antes del *splitter* 2do nivel usuario más lejano. 197
FIGURA 4.66 Potencia medida luego del *splitter* 2do nivel usuario más lejano. 197
FIGURA 4.67 Potencia medida antes de la fibra óptica de acometida. 198
FIGURA 4.68 Potencia medida antes del ingreso al receptor del ONT. 198
FIGURA 4.69 Diagrama del ojo de la señal recibida por el ONT usuario más lejano. 198
FIGURA 4.70 BER obtenido de la señal recibida por el ONT usuario más lejano. 198
FIGURA 4.71 Diagrama de constelación de la señal recibida por el ONT usuario más lejano. 199
FIGURA 4.72 Señal transmitida por el ONT en su slot de tiempo. 199
FIGURA 4.73 Espectro de la señal transmitida por el ONT usuario más lejano. 199
FIGURA 4.74 Potencia de la señal *Upstream* a la salida del ONT usuario más lejano. 200
FIGURA 4.75 Potencia medida de la señal recibida por la OLT usuario más lejano. 200
FIGURA 4.76 Diagrama del ojo de todas las señales recibidas por la OLT usuario más lejano. 200
FIGURA 4.77 BER obtenido para las señales recibidas por la OLT usuario más lejano. 200

RESUMEN

El proyecto de titulación comprende el diseño de una red de fibra óptica en el centro de la ciudad de Ambato, para ofrecer el servicio *Triple Play* a los usuarios residenciales y corporativos del sector. Se desarrolla en cinco capítulos y éstos son:

El primer capítulo empieza con la descripción de diferentes medios de transmisión, para despuntar con el estudio de las comunicaciones ópticas, donde se describen sus características como las bandas y ventanas de transmisión, propagación de la luz, modos de propagación, diferentes tipos de dispersión y pérdidas, estándares de fibra óptica tanto multimodo como monomodo, entre otras. Se explican las diferentes tecnologías XPON y FTTx. Al finalizar el capítulo se estudia al servicio *Triple Play*, sus requerimientos, ventajas, desventajas y demás características.

El segundo capítulo comprende el diseño de la red de acceso de fibra óptica. Mediante la encuesta, se realiza el estudio de los requerimientos de los clientes que se ubican en el sector centro de la ciudad de Ambato; con los datos obtenidos se calculan los clientes iniciales por paquete y el tráfico demandado.

Mediante el desarrollo generalizado del primer capítulo se escoge de entre todas las tecnologías xPON la más adecuada para la demanda. Posteriormente se realiza el trazado de la red zonificando la ciudad y estableciendo rutas que permitan un crecimiento a futuro de la demanda. Se establecen las características que debe poseer el equipo activo y elementos de la red pasiva; por último se selecciona la tecnología FTTx adecuada para cada sector de la red. Con todos estos datos se elabora el presupuesto de pérdidas de potencia para los casos críticos como son el usuario más lejano y usuario más cercano.

En el tercer capítulo se estudia la rentabilidad del proyecto. Comienza desglosando las inversiones fijas, se analizan al menos dos marcas y los precios de cada elemento involucrado en la red, en base a las cotizaciones se escoge el

proveedor más adecuado; luego se desagrega la inversión nominal; para así determinar el costo del proyecto.

A continuación se fija el costo y características de los paquetes a ser ofertados tanto para usuarios residenciales como para usuarios corporativos, definiendo así los ingresos del proyecto. Con todos estos datos se realiza el Flujo de Caja y se deducen los indicadores económicos como son el TMAR, VAN, TIR y PRI para comprobar la rentabilidad del proyecto y determinar el tiempo en que se va a recuperar la inversión.

En el cuarto capítulo se verifican los resultados del presupuesto de pérdidas de potencia de la red diseñada, por medio de un *software* que permita la simulación de redes de fibra óptica GPON. En un inicio se analizan las diferentes alternativas de *software* tanto libre como pagado, se procede a seleccionar el más adecuado, de éste se realiza una introducción más detallada de su funcionamiento y uso. A continuación se simulan dos partes importantes de la red, el canal de acceso del usuario más cercano y el canal de acceso del usuario más lejano. Este capítulo concluye verificando, mediante la simulación, que las características del tipo de fibra, tecnología xPON empleada y equipo activo dimensionados en el capítulo II; en su conjunto forman una red robusta presta a brindar el servicio *Triple Play* en el centro de la ciudad de Ambato de una manera óptima.

Finalmente en el quinto capítulo se incluye todas las conclusiones y recomendaciones derivadas del desarrollo total del proyecto elaborado.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto pretende dar solución a la falta de construcción de redes de telecomunicaciones con excelentes características, por parte de las empresas que brindan servicios de telecomunicaciones en nuestro país, a usuarios finales quienes no han visto a esta clase de servicios como lo que en realidad son, una vía de crecimiento cognitivo y productivo para el país.

La ciudad de Ambato, es un fiel ejemplo de esta realidad, ya que dispone de los servicios como Internet, Televisión suscrita y Telefonía, los cuales no alcanzan las expectativas que los usuarios poseen. El presente proyecto considera estas circunstancias, y mediante la utilización de tecnologías que están desarrollándose e implementándose a nivel mundial como son FTTH y FTTB, combinadas con tecnologías como GPON; se presenta un diseño de red con grandes ventajas, intentando así resolver y emprender el desarrollo tecnológico en esta ciudad.

El proyecto en sí es de interés y está dirigido a todo estudiante, o persona en general que se encuentre interesada en el diseño de redes ópticas con tecnologías como GPON, FTTH y FTTB. Además de empresas que quisieran invertir en el desarrollo de la ciudad de Ambato y del país realizando la implementación de este tipo de redes.

Finalmente cabe invitar a todas las personas que buscan información del diseño de redes GPON a introducirse más en el tema, para no solamente referenciarse en el presente proyecto, sino para perfeccionarlo desarrollándolo en un nivel más avanzado.

CAPÍTULO I
FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 INTRODUCCIÓN [1] [2]

1.1.1 MEDIOS DE TRANSMISIÓN

El medio de transmisión interconecta usuarios de extremo a extremo, hace posible la comunicación entre ellos y limita las características del sistema de transmisión, se clasifican en medios guiados (cableados) y no guiados (inalámbricos).

1.1.1.1 Medios No Guiados

Son el aire, vacío y agua, permiten el fácil desplazamiento, interconexión de edificios, acceso nómada, entre otros. Las comunicaciones inalámbricas no utilizan componentes físicos, se requiere de medidas superiores de seguridad para la información ya que puede ser interceptada con mayor facilidad. La velocidad de transmisión con esta tecnología es mucho menor a la que puede proveer una conexión cableada, además se debe considerar que la atenuación[1] en este medio es una función más compleja y es directamente proporcional a la distancia al cuadrado. Existen las transmisiones por ondas de radio, microondas, satelitales e infrarrojas.

1.1.1.2 Medios Guiados

Son aquellos que utilizan elementos físicos para transmitir la información, expuestos en la figura 1.1[2], no permiten el libre desplazamiento de los usuarios. Sin embargo, pueden brindar mayores velocidades, que mejoran continuamente. La atenuación es menos crítica variando logarítmicamente con la distancia, son mucho más seguros que un medio no guiado por lo que son muy recomendados. Se tienen los siguientes tipos de medios guiados:

- Coaxial: Transporta señales eléctricas, apto para transmisiones de señales analógicas y digitales. Su atenuación está en el orden de las unidades y

[1] Atenuación: Es la disminución de la potencia de la señal según la distancia alcanzada, característico del medio de transmisión, sus unidades son dB/km.

[2] Las figuras además de las tablas, en el presente proyecto de titulación, que sean de nuestra autoría no tienen referencia bibliográfica.

decenas de dB/km. Consta de un núcleo de cobre, encargado de llevar la información, el aislante o dieléctrico, la malla metálica que sirve como referencia a tierra y retorno de la corriente, y una cubierta protectora, todo esto lo hace más resistente a las interferencias electromagnéticas en comparación al par trenzado. Sin embargo, es más costoso que éste, por su grosor no es tan flexible y hoy por hoy su uso está en declive.

- Par Trenzado: Es un cable de pares de cobre, transporta señales eléctricas. Su atenuación está en el orden de las decenas de dB/100 m. Su velocidad de transmisión empieza a igualar a las velocidades del cable coaxial, considerando la distancia del cable. El par trenzado es menos inmune a interferencias electromagnéticas, es más barato que el cable coaxial, más flexible y más fácil de instalar. Las herramientas para manejarlo, instalarlo y certificarlo son menos costosas.
- Fibra Óptica: Transporta pulsos de luz emitidos por un láser o por un LED. Su atenuación es muy pequeña, puede alcanzar distancias en el orden de varios kilómetros, es inmune a interferencias ya que maneja fotones. Es un medio de gran capacidad que utiliza frecuencias de luz que van desde $1x10^{12}$ Hz hasta $1x10^{16}$ Hz. Es mucho más liviana, más costosa y frágil; las herramientas para manejarla, instalarla y certificarla son costosas; ofrece confidencialidad ya que no se puede intervenir fácilmente como otros medios de transmisión lo que la hace más segura. Actualmente es utilizada para enlaces de *backbone* y redes de acceso gracias al enorme crecimiento en el ancho de banda hasta cientos de Gbps.

FIGURA 1.1 Medios Guiados. [12] [13] [14]

1.2 COMUNICACIONES ÓPTICAS [3] [5] [6] [7]

Las comunicaciones han experimentado un amplio avance en las últimas décadas, en cuanto a tecnologías, procedimientos de transmisión, compresión y

porque no decirlo en los mismos medios de transmisión; es así que en la actualidad se cuenta con medios que permiten alcanzar mayores velocidades debido al gran ancho de banda que los mismos proporcionan.

En consecuencia hablar de fibra óptica hoy en día no es hablar de un sueño al que solo las grandes empresas transnacionales pueden acceder. Con el avance de las tecnologías de la información hoy se tiene la posibilidad de llegar con un medio de transmisión de gran ancho de banda como lo es la fibra óptica hasta el punto de conexión del usuario final, sin que esto se vea reflejado en el costo del servicio o de la instalación.

Un sinnúmero de aplicaciones son las que se pueden aprovechar sobre los sistemas ópticos, ya que la capacidad de este medio de transmisión aún no se ha explotado completamente. Es así que se pretende explicar el cómo y el por qué las comunicaciones ópticas han llegado a este punto de gran interés para las tecnologías de la información.

1.2.1 BANDAS Y VENTANAS DE TRANSMISIÓN ÓPTICAS

La fibra óptica al igual que los medios de transmisión de cobre depende de la frecuencia de operación del sistema para poder trabajar en condiciones óptimas. Es así que si bien el espectro electromagnético comprende a todas las ondas que el hombre ha sido capaz de diferenciar, cada medio de transmisión puede ser utilizado únicamente en un área específica del mismo, como se observa en la figura 1.2.

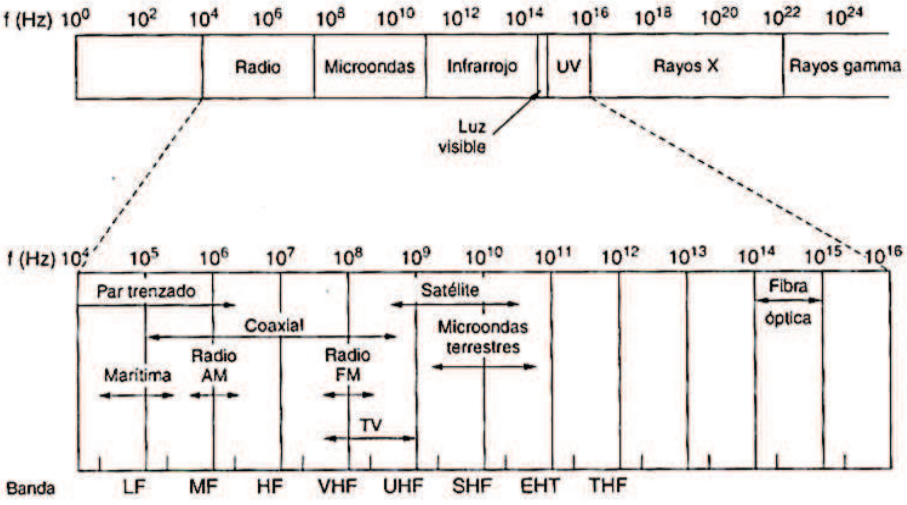


FIGURA 1.2 Espectro electromagnético. [15]

Observando la figura 1.3, el espectro electromagnético está dividido en 8 grupos siendo éstos: Radiofrecuencias, Microondas, Infrarrojo, Luz Visible, Ultravioleta, Rayos X, Rayos Gamma y Rayos Cósmicos. Lo concerniente al Espectro Óptico está comprendido por las bandas: Infrarrojo, Luz Visible y Ultravioleta.

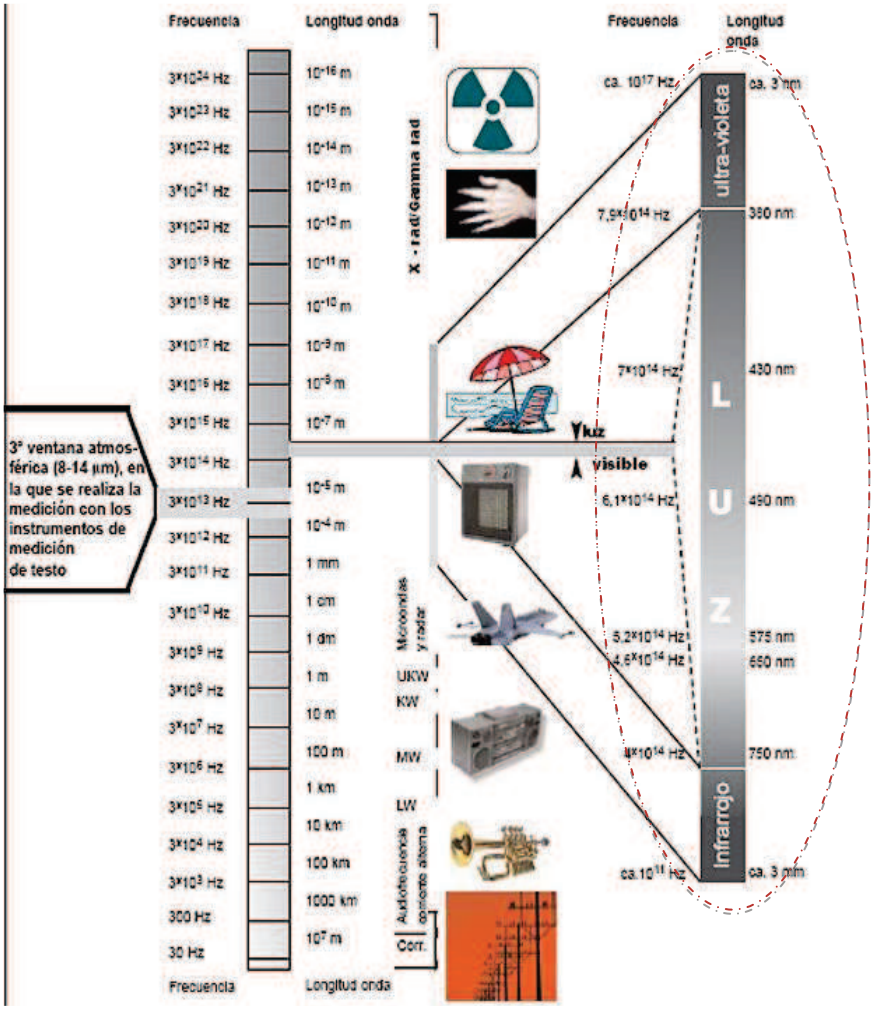


FIGURA 1.3 Espectro óptico. [16]

1.2.1.1 Ventanas de Transmisión Ópticas

El espectro óptico y específicamente la sección Infrarroja y una parte de la Luz Visible son las que comúnmente se utilizan para la transmisión de información a través de la fibra óptica. Se tiene así una primera clasificación denominada "*Ventanas de Transmisión"*, las mismas que más que por la frecuencia en la que se ubican, se las identifica por su longitud de onda que se obtiene de la siguiente relación:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Donde: λ = Longitud de onda

C = Velocidad de la luz en el vacío ($3x10^8$ [$^m/_s$])

f = Frecuencia

Es así que las ventanas de transmisión se muestran en la tabla 1.1.

Denominación	Longitud de Onda
Primera Ventana	850 nm.
Segunda Ventana	1310 nm.
Tercera Ventana	1550 nm.
Cuarta Ventana	1625 nm.
Quinta Ventana[3]	1470 nm.

TABLA 1.1 Ventanas de Transmisión. [17]

Cada una de estas ventanas puede ser utilizada por ciertas aplicaciones, siendo las más usadas las ventanas de 850, 1310 y 1550 nm. ya que en éstas se encuentran las menores atenuaciones como se muestra en la figura 1.4.

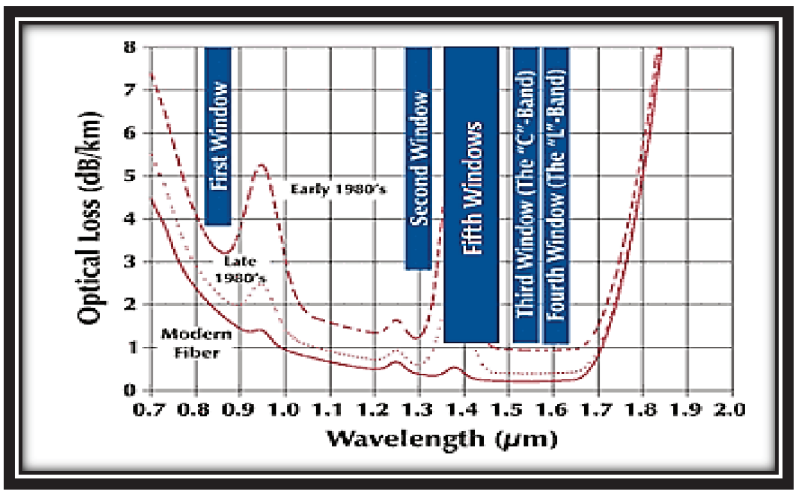


FIGURA 1.4 Curva de atenuación de la fibra óptica. [18]

Para la quinta ventana se ha logrado eliminar los picos que se presentan por los iones Hidroxilo (OH^-) pero únicamente con fibras especiales que se las citará posteriormente.

1.2.1.2 Bandas de Transmisión Ópticas

Una segunda clasificación para la identificación y utilización del espectro óptico son las denominadas *"Bandas de Transmisión"*, citadas en la tabla 1.2.

[3] La Quinta Ventana se la puede utilizar únicamente con fibras ópticas del tipo ZWP (*Zero Water Peak*) que se encuentran definidas en la recomendación ITU –G652.C.

Denominación	Rango
Banda T	820 – 1260 nm.
Banda O	1260 - 1360 nm.
Banda E	1360 - 1460 nm.
Banda S	1460 - 1530 nm.
Banda C	1530 - 1565 nm.
Banda L	1565 - 1625 nm.
Banda U	1625 – 1675 nm.

TABLA 1.2 Bandas de transmisión. [6]

Las más utilizadas son la banda C y la banda L, obsérvese la figura 1.5, las otras mantienen poca o nula utilización en aplicaciones que se encuentran en el mundo.

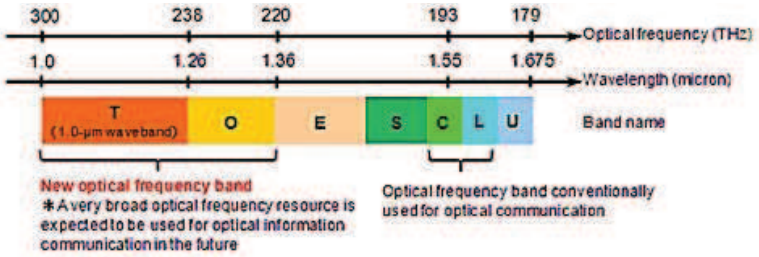


FIGURA 1.5 Bandas de transmisión utilizadas por la fibra óptica. [19]

1.2.2 PROPAGACIÓN DE LA LUZ

Un tema muy importante a considerar cuando se habla de comunicaciones ópticas es la propagación de la luz al interior de la fibra óptica, para lo cual se debe identificar las partes esenciales que componen una fibra óptica. Haciendo referencia a la figura 1.6 éstas son:

- Núcleo: es la parte central de la fibra óptica, normalmente está hecho de plástico o vidrio y posee un alto índice de refracción; es el área a través de la cual viaja la luz.
- Manto o revestimiento: es la parte que recubre al núcleo, también puede estar hecho de plástico o vidrio y posee un índice de refracción menor al del núcleo.

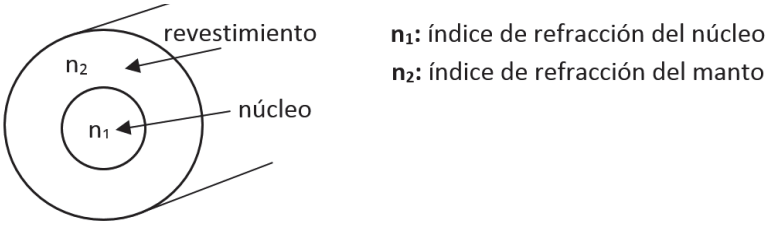


FIGURA 1.6 Partes de la fibra óptica. [20]

1.2.2.1 Reflexión y Refracción de la luz

La reflexión y la refracción son fenómenos que provienen del estudio de la Óptica, la rama de la Física que se encarga de éstos y de muchos otros fenómenos.

1.2.2.1.1 Reflexión

Hace referencia al cambio de dirección de un rayo de luz que incide sobre la interfaz entre dos medios, de diferente índice de refracción, haciendo que éste retorne al medio del cual proviene, como se indica en la figura 1.7. Así se obtiene una primera ecuación:[21]

$$\alpha_{incidente} = \alpha_{reflexión}$$

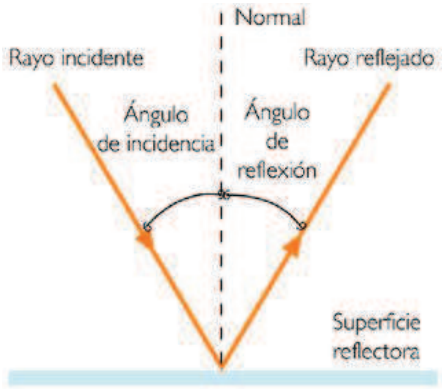


FIGURA 1.7 Reflexión. [21]

1.2.2.1.2 Refracción

Muy similar a la reflexión, se presenta en la interfaz entre dos medios, pero para considerar que un rayo de luz se refracta, éste debe pasar al otro medio, cambiando su dirección y velocidad, como se indica en la figura 1.8, con lo cual se obtiene la ley de refracción o ley de Snell, así: [21]

$$\eta_1 \cdot \sin(\alpha_{incidente}) = \eta_2 \cdot \sin(\alpha_{refracción})$$

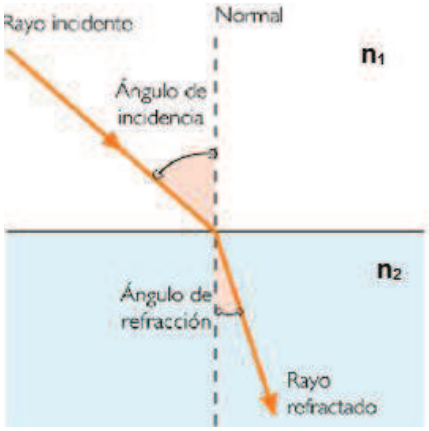


FIGURA 1.8 Refracción. [21]

1.2.2.2 Ángulo Crítico

Es considerado como el ángulo límite donde no existe ni reflexión ni refracción, es el ángulo de incidencia con el cual el rayo de luz se vuelve paralelo a la interfaz de los medios en contacto, haciendo que la luz no cambie de medio ni regrese al medio del cual provino. Por lo tanto al considerar que el ángulo de refracción es igual a 90° se obtiene la ecuación para el cálculo del ángulo crítico. [21]

$$\eta_1 . \sin(\alpha_{incidente}) = \eta_2 . \sin(90^o)$$

$$\sin(\alpha_{incidente}) = {}^{\eta_2}/_{\eta_1}$$

$$\alpha_{crítico} = \sin^{-1}\left({}^{\eta_2}/_{\eta_1}\right)$$

1.2.2.3 Principio de Reflexión Interna Total

Es el fenómeno en el cual un rayo de luz que incide sobre la interfaz de contacto de dos medios, retornará al medio del cual provino, es decir se reflejará en su totalidad. Para que se pueda cumplir con el principio de Reflexión Interna Total (TIR), es necesario considerar lo siguiente:

$i)$ $\eta_1 > \eta_2$

$ii)$ $\alpha_{incidente} > \alpha_{crítico}$

Esto significa que el medio del cual proviene la luz debe ser más denso que el medio hacia el cual se dirige el rayo, y que el ángulo de incidencia debe ser mayor[4] que el ángulo crítico.

1.2.3 MODOS DE PROPAGACIÓN EN LA FIBRA

Dentro de la óptica geométrica se conoce como modos a los diferentes haces de luz que se pueden transmitir dentro de una fibra óptica, de lo cual se obtiene una clasificación de las fibras según el modo de propagación.

1.2.3.1 Fibra Óptica Monomodo

Las fibras monomodo son las que actualmente ofrecen mayores velocidades y distancias, debido a que en éstas se envía un único rayo de luz, que viaja en línea recta dentro de la fibra sin que se produzca ningún tipo de rebote o reflexión; en las curvaturas es ineludible encontrar este efecto.

[4] El ángulo de incidencia al igual que el ángulo crítico deben ser medidos con respecto a la normal de la interfaz entre los medios para cumplir con el TIR.

1.2.3.1.1 Fibras ópticas monomodo de índice escalonado

Este tipo de fibras disponen de un perfil de refracción en el cual se mantienen constantes los índices de refracción ($\eta_1 \, y \, \eta_2$), obsérvese la figura 1.9. Fueron las primeras fibras ópticas que se tuvieron, por lo cual se las conoce como SSMF (*Standard Single Mode Fiber*). Actualmente se pueden encontrar otros tipos de perfiles en los índices de refracción que optimizan las comunicaciones, como por ejemplo perfiles tipo W[5].

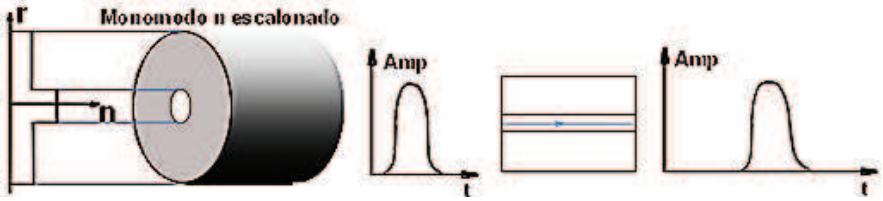


FIGURA 1.9 Fibra óptica monomodo índice escalonado. [22]

1.2.3.2 Fibra Óptica Multimodo

La fibra multimodo por su parte es capaz de transportar dentro de ella varios modos o rayos de luz, ya que tienen un mayor diámetro del núcleo.

1.2.3.2.1 Fibras ópticas multimodo de índice escalonado

Estas fibras poseen un perfil de refracción escalonado similar al de las fibras SSMF, cada rayo dentro de la fibra viaja por medio de sucesivos rebotes en la interfaz de separación de los medios (núcleo y manto), obsérvese la figura 1.10. En este tipo de fibras el ensanchamiento[6] de los pulsos es alto.

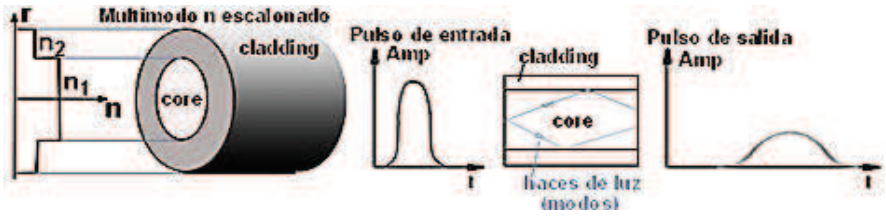


FIGURA 1.10 Fibra óptica multimodo de índice escalonado. [22]

1.2.3.2.2 Fibras ópticas multimodo de índice gradual

El perfil para este tipo de fibras se ha mejorado para disminuir los ensanchamientos en los pulsos que se producían en las fibras con perfil

[5] Las fibras ópticas monomodo que disponen de perfiles de refracción del tipo W son conocidas como DSF (*Dispersion Shifted Fiber*).

[6] Durante la transmisión de información, los datos son enviados mediante pulsos ópticos, mismos que en su recorrido al interior de las fibras sufren un fenómeno de ensanchamiento. Este fenómeno se debe a que los rayos de luz que son enviados a través del núcleo de la fibra, recorren diferentes caminos y por ende diferentes distancias y tiempos, lo cual hace que a su llegada al otro extremo estos pulsos lleguen ensanchados o dispersos.

escalonado, es así que estas fibras no mantienen un índice de refracción constante en el núcleo haciendo que los rayos de luz ya no reboten en la interfaz sino realicen curvas más suaves en su trayectoria, como se muestra en la figura 1.11.

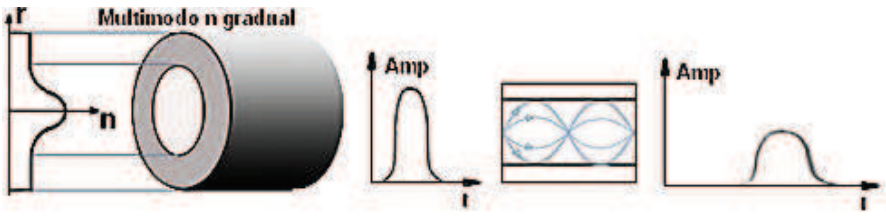


FIGURA 1.11 Fibra óptica multimodo índice gradual. [22]

1.2.3.3 Longitud de onda de Corte

Es la longitud de onda límite para la cual se define si la fibra óptica se comporta como monomodo o multimodo, para frecuencias inferiores a este límite la fibra óptica transmitirá dos o más modos y para frecuencias superiores solo podrá transmitir un solo modo, se la puede calcular así: [6]

$$\lambda_c = \frac{\pi . d_N . \sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{2,4}$$

Donde: λ_c = longitud de onda de corte

d_N = diámetro del núcleo [um]

n_1 = índice de refracción del núcleo

n_2 = índice de refracción del manto

1.2.3.4 Diámetro del campo modal

Parámetro dado por el fabricante de la fibra a través del cual la fibra monomodo puede transmitir la luz. Por lo general es mayor que el diámetro del núcleo, como se visualiza en la figura 1.12, ya que una parte de la luz también puede viajar por el manto.

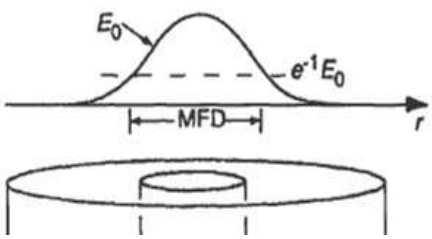


FIGURA 1.12 Diámetro del campo modal. [23]

1.2.4 DISPERSIÓN EN LA FIBRA ÓPTICA

1.2.4.1 Dispersión Modal

Está presente en las fibras ópticas multimodo, y con mayor incidencia en las de índice escalonado. Como se indicó anteriormente estas fibras son capaces de transportar varios rayos de luz o modos, los mismos que recorren diferentes trayectorias y por lo tanto pueden llegar al otro extremo en diferentes tiempos, haciendo que el pulso se ensanche a su llegada. El principal problema que conlleva este tipo de dispersión es que si los pulsos se ensanchan demasiado, éstos pueden llegar a interferirse unos con otros creando así el denominado ISI (*Inter Symbol Interference*), lo cual aumenta la tasa de errores y por lo tanto limita la velocidad de transmisión.

En las fibras ópticas multimodo de índice gradual, esta dispersión es menor ya que este tipo de fibras no mantienen un índice de refracción constante en el núcleo, lo cual hace que los rayos de luz tiendan a llegar al otro extremo de la fibra en tiempos aproximadamente iguales disminuyendo así la dispersión modal.

1.2.4.2 Dispersión Cromática

Este tipo de dispersión se la encuentra principalmente en fibras ópticas monomodo, y depende básicamente de la fuente de luz y de los índices de refracción del material del que está construida la fibra óptica. El fenómeno de dispersión cromática es el resultado de los siguientes tipos de dispersión:

1.2.4.2.1 Dispersión Cromática de material o espectral (τ_ε)

Una fuente óptica entrega luz la cual está compuesta por varias longitudes de onda, y por lo tanto tiene una *anchura espectral*[7] considerable. Por su parte el material de la fibra posee su índice de refracción (η), el mismo que varía según la longitud de onda (λ), al combinar estos dos fenómenos se obtiene que para cada una de las longitudes de onda, contenidas en la luz entregada, el núcleo de la fibra presentará diferentes índices de refracción. Lo cual hace que cada una de estas longitudes de onda viajen a diferente velocidad y por lo tanto el pulso a su llegada al otro extremo sufra un ensanchamiento, tal como se observa en la figura 1.13.

[7] La anchura espectral de la fuente, se define como el rango de longitudes de onda que contiene la mayor parte de la energía de la señal lumínica que entrega dicha fuente.

Existe un coeficiente de dispersión de material cuya unidad se expresa en $\left[\frac{ps}{Km\,.\,nm}\right]$.

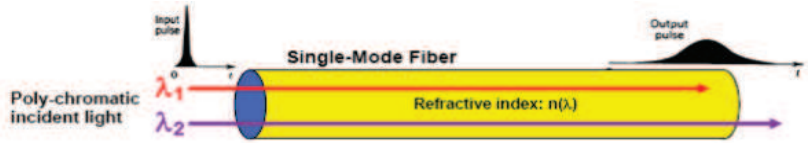


FIGURA 1.13 Dispersión Cromática. [6]

1.2.4.2.2 Dispersión Cromática de guía de onda (τ_g)

Este tipo de dispersión está presente únicamente en fibras ópticas monomodo y se debe a que el diámetro del campo modal es mayor al del núcleo, haciendo que la luz que viaja por el manto vaya más rápido debido a que su índice de refracción es menor, dándose así el fenómeno de dispersión.

También se puede mencionar a un coeficiente de dispersión de guía de onda expresado en $\left[\frac{ps}{Km\,.\,nm}\right]$.

1.2.4.3 Dispersión de Modo de Polarización

La Dispersión de Modo de Polarización (PMD) está presente únicamente en fibras ópticas monomodo y es apreciable cuando se trabaja a velocidades por sobre los 10 Gbps, es muy difícil de calcularla debido a su naturaleza y por lo tanto se recurre a métodos estadísticos.

La luz emitida por la fuente óptica es descompuesta en sus componentes horizontal y vertical, para cada una de ellas se presentan diferentes índices de refracción, debido a que el núcleo de la fibra no es cien por ciento simétrico, haciendo que la luz que se obtiene a la llegada se encuentre dispersa, como se observa en la figura 1.14.

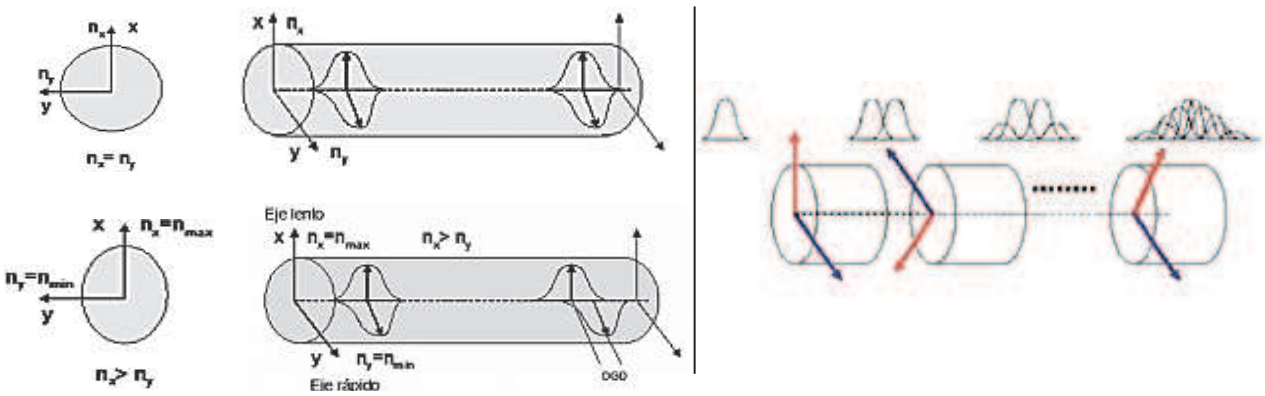


FIGURA 1.14 Dispersión de Modo de Polarización. [24]

Existe un coeficiente de dispersión de modo de polarización cuya unidad se expresa en $\left[\frac{ps}{\sqrt{Km}}\right]$.

1.2.5 PÉRDIDAS EN LA FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica a pesar de ser un medio de transmisión que posee muy pocas desventajas, siempre es necesario considerar todas las posibles circunstancias que podrían impedir el correcto funcionamiento del sistema.

1.2.5.1 Pérdidas por Absorción

Son consideradas pérdidas intrínsecas de la fibra, lo que quiere decir que no se las puede eliminar, ya que dependen del material del que está hecha la fibra, las impurezas del mismo y otros factores al momento de la fabricación; dentro de este tipo de pérdidas se tienen:

a) Pérdidas por iones (OH^-)
b) Pérdidas por absorción ultravioleta
c) Pérdidas por absorción infrarroja.

1.2.5.2 Pérdidas por *Scattering*

También son consideradas inherentes a la fibra óptica, ya que son generadas al momento de la fabricación de la misma, y se deben principalmente a irregularidades en el núcleo de la fibra lo que genera que la luz que atraviesa el núcleo al encontrar estas irregularidades se disperse en varias direcciones, haciendo que lo que originalmente era un solo rayo luego éste genere varios, como se aprecia en la figura 1.15, dentro de este tipo de pérdidas se tienen:

a) *Scattering* de Mie[8]
b) *Scattering* de Rayleigh[9]

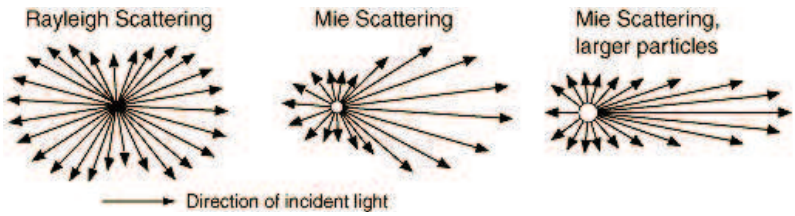


FIGURA 1.15 *Scattering* de Mie y Rayleigh. [25]

[8] *Scattering* de Mie: Se da cuando el diámetro de las irregularidades es de tamaño igual o mayor a la longitud de onda de la señal.
[9] *Scattering* de Rayleigh: Se da cuando el diámetro de las irregularidades es mucho menor que la longitud de onda de la señal.

1.2.5.3 Pérdidas por Curvaturas

Este tipo de pérdidas, por el contrario son pérdidas extrínsecas a la fibra o ajenas a la naturaleza de la misma, hacen que la luz se pierda al variar el ángulo crítico con el que incide la luz, generando fenómenos de refracción en lugar de la reflexión que debería primar para que la luz viaje eficazmente. Se pueden citar dos tipos de pérdidas principales:

a) Pérdidas por micro curvaturas
b) Pérdidas por macro curvaturas

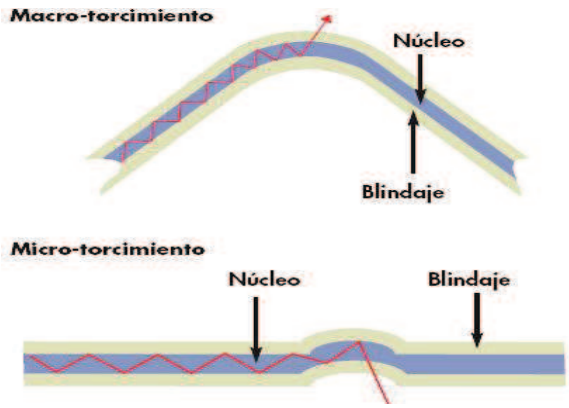


FIGURA 1.16 Pérdidas por macro-curvaturas y micro-curvaturas. [26]

Las micro curvaturas, son alteraciones entre el núcleo y el manto de la fibra generadas al momento de la fabricación de la misma, o por error de concentricidad en el núcleo; mientras que las macro curvaturas se generan al momento de la instalación del cable de fibra, si se dobla demasiado se incumple con el requerimiento para el ángulo crítico, por lo tanto el principio del TIR no se cumple, refiérase a la figura 1.16.

1.2.5.4 Pérdidas por Empalmes

Los empalmes son técnicas muy utilizadas en donde los extremos de dos fibras son unidos mediante empalmes por fusión o empalmes mecánicos, al realizar estas uniones se generan pérdidas debido a malos alineamientos y/o diferencias entre las fibras que se están empalmando. Existen varios tipos de empalmes que van a ser explicados con mayor detalle en la sección 1.3.2.2.

En la figura 1.17 se puede observar el resumen de todas las pérdidas explicadas en esta sección.

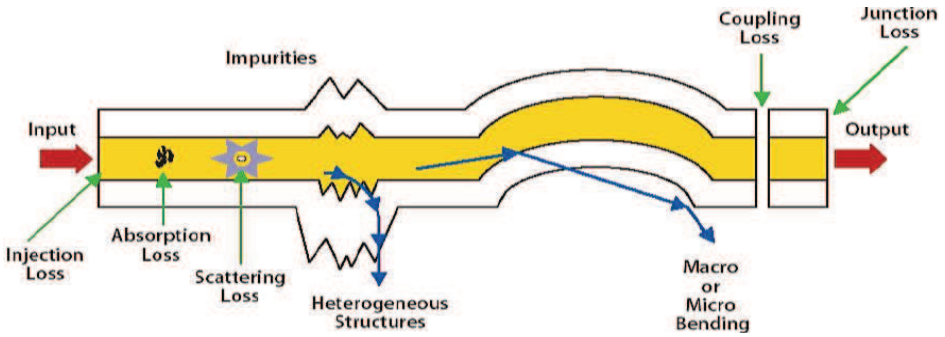


FIGURA 1.17 Resumen de pérdidas en un fibra óptica. [6]

1.2.6 ESTÁNDARES ITU-T DE FIBRA ÓPTICA

1.2.6.1 G.651 Características de un cable de fibra óptica multimodo [27]

La recomendación ITU-T G.651 define las características de un cable de fibra óptica multimodo de índice gradual de 50/125 µm, las cuales son:

Características Ópticas; donde se detalla lo concerniente al perfil del índice de refracción y el valor adecuado para la apertura numérica.[10]

Características de los materiales de la fibra; se definen los materiales para la construcción de la fibra así como también los materiales para los revestimientos.

Características Geométricas; mismas que son: diámetro del núcleo y manto, error de concentricidad, no circularidad del núcleo y manto.

Esta recomendación fue creada haciendo referencia a un estándar para fibra óptica MM (MultiModo), la misma que fue suprimida el 16 de Agosto del año 2008. Se puede encontrar partes de su contenido en la recomendación ITU-T G.651.1 sobre las aplicaciones de fibra multimodo en redes de acceso óptico.

1.2.6.2 SSMF G.652 Características de las fibras y cables ópticos monomodo [28]

Es una de las fibras que tuvo y todavía tiene gran acogida, es así que existen muchos kilómetros de este tipo de fibras instalados, y con las nuevas técnicas de multiplexación CWDM[11] y DWDM[12] se prevé que este tipo de fibras sean utilizadas

[10] Apertura Numérica: Número adimensional, define la cantidad de luz que el núcleo de una fibra puede receptar.
[11] CWDM (*Coarse Wavelength Division Multiplexing*), técnica de multiplexación por división de longitud de onda, donde se multiplexan hasta 18 canales ópticos.
[12] DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*), en DWDM se consigue mayor número de canales ópticos, reduciendo la dispersión cromática de cada canal mediante el uso de un láser de mayor calidad. Las fibras G.652 tienen alta dispersión cromática en la ventana de 1550 nm lo que impide el correcto desempeño de DWDM, para reducir la dispersión es necesario tener compensadores de dispersión, lo cual incrementaría los costos, sin obtener un mejor funcionamiento.

por mucho más tiempo. La tabla 1.3 muestra las características de las subcategorías del estándar.

Attribute	Detail	G.652.A	G.652.B	G.652.C	G.652.D
Mode Field Diameter	Wavelength	1310 nm	1310 nm	1310 nm	1310 nm
	Range of nominal Values	8.6 - 9.5 µm	8.6 - 9.5 µm	8.6 - 9.5 µm	8.6 - 9.5 µm
	Tolerance	± 0.6 µm	± 0.6 µm	± 0.6 µm	± 0.6 µm
Cladding Diameter	Nominal	125.0 µm	125.0 µm	125.0 µm	125.0 µm
	Tolerance	± 1 µm	± 1 µm	± 1 µm	± 1 µm
Core concentricity error	Maximum	0.6 µm	0.6 µm	0.6 µm	0.6 µm
Cladding non-circularity	Maximum	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260 nm	1260 nm	1260 nm	1260 nm
Macrobend Loss	Radius	30 mm	30 mm	30 mm	30 mm
	Number of turns	100	100	100	100
	Maximum at 1550 nm.	0.1 dB	0.1 dB	0.1 dB	0.1 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa	0.69 GPa	0.69 GPa	0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient	λ_{0min}	1300 nm	1300 nm	1300 nm	1300 nm
	λ_{0max}	1324 nm	1324 nm	1324 nm	1324 nm
	S_{0max}	0.092 ps/(nm^2 × km)	0.092 ps/(nm^2 × km)	0.092 ps/(nm^2 × km)	0.092 ps/(nm^2 × km)
Cable Attributes					
Attenuation coefficient	Maximum at 1310 nm.	0.5 dB/km	0.4 dB/km	1310 to 1625 nm. 0.4 dB/km	1310 to 1625 nm. 0.4 dB/km
	Maximum at 1550 nm.	0.4 dB/km	0.35 dB/km	0.3 dB/km	0.3 dB/km
	Maximum at 1625 nm.	-	0.4 dB/km	At 1383 nm, ±3 nm. 0.4 dB/km	At 1383 nm, ±3 nm. 0.4 dB/km
PMD coefficient	M	20 cables	20 cables	20 cables	20 cables
	Q	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
	Maximum PMD_Q	0.5 ps/√km	0.20 ps/√km	0.5 ps/√km	0.20 ps/√km

TABLA 1.3 Estándares G.652. [28]

La subcategoría G.652.A, contiene los atributos para soportar aplicaciones a tasas de transmisión hasta de un STM-16, así como 10 Gbps para Ethernet a una distancia máxima de 40 km.

Por su parte la subcategoría G.652.B soporta mayores tasas de transmisión llegando a un STM-64 o también un STM-256, dependiendo de la aplicación.

Mientras que las subcategorías G.652.C y G.652.D son muy similares a la G.652.A y G.652.B respectivamente; sin embargo, permiten transmisiones en un rango extendido de longitudes de onda de 1360 nm a 1530 nm debido a la ausencia de picos de atenuación provocados por los iones OH-.

1.2.6.3 G.653 DSF (*Dispersion Shifted Fiber*) Características de los cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada

Este tipo de fibras hacen que mediante las variaciones en los perfiles de índice de refracción se puedan optimizar los parámetros de dispersión y atenuación en la tercera ventana, a 1550 nm, obsérvese la figura 1.18.

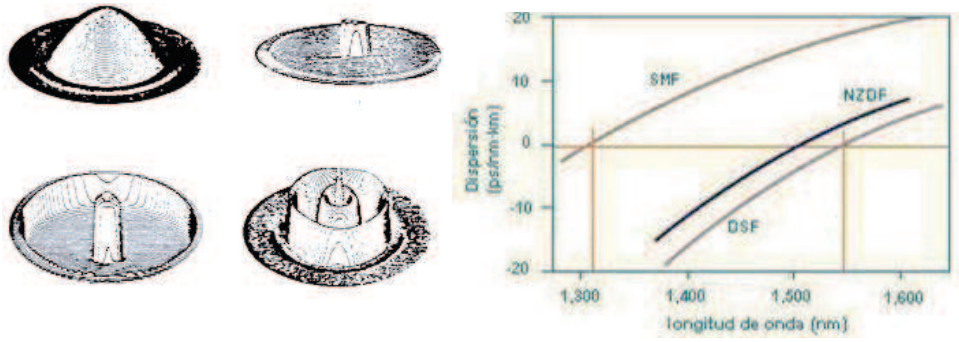


FIGURA 1.18 Perfiles de índice de refracción y curva de dispersión. [29]

La tabla 1.4 muestra las características de las subcategorías del estándar.

Attribute	*Detail*	*G.653.A*		*G.653.B*
Mode Field Diameter	Wavelength	1550 nm		1550 nm
	Range of nominal Values	7.8 - 8.5 µm		7.8 - 8.5 µm
	Tolerance	± 0.8 µm		± 0.6 µm
Cladding Diameter	Nominal	125 µm		125.0 µm
	Tolerance	± 1 µm		± 1 µm
Core concentricity error	Maximum	0.8 µm		0.6 µm
Cladding non-circularity	Maximum	2.0%		1.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1270 nm		1270 nm
Macrobend Loss	Radius	30 mm		30 mm
	Number of turns	100		100
	Maximum at 1550 nm.	0.5 dB		0.1 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa		0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient	λ_{min}	1525 nm	$D_{\min}(\lambda)$ 1460 – 1525 nm	0.085*(λ – 1525) – 3.5
	λ_{max}	1575 nm	$D_{\min}(\lambda)$ 1525 – 1625 nm	3.5/75*(λ – 1600)
	D_{max}	3.5 ps/(nm × km)	$D_{\max}(\lambda)$ 1460 – 1575 nm	3.5/75*(λ – 1500)
	λ_{0min}	1500 nm	$D_{\max}(\lambda)$ 1575 – 1625 nm	0.085*(λ – 1575) + 3.5
	λ_{0max}	1600 nm	-	-
	S_{0max}	0.085 ps/(nm^2 × km)	-	-
Cable Attributes				
Attenuation coefficient	Maximum at 1550 nm.	0.35 dB/km		0.35 dB/km
PMD coefficient	M	20 cables		20 cables
	Q	0.01%		0.01%
	Maximum PMD_Q	0.5 ps/√km		0.20 ps/√km

TABLA 1.4 Estándares G.653. [30]

La subcategoría G.653.A, es la base de esta recomendación y mantiene la especificación original para el coeficiente de dispersión, posee una separación entre canales desigual en la región de 1550 nm.

Por su parte la subcategoría G.653.B es muy similar a G.653.A, pero con requerimientos más estrictos para la Dispersión de Modo de Polarización (PMD) permitiendo así sistemas STM-64[13] a distancias mayores a 400 Km y aplicaciones STM-256.

1.2.6.4 G.654 ZDSF (*Zero Dispersion Shifted Fiber*) Características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado

Al variar el perfil del índice de refracción se logra tener fibras con dispersión cromática nula alrededor de los 1550 nm, como se observa en la figura 1.19; estas fibras están optimizadas para su uso en el rango de los 1530 a 1625 nm. La tabla 1.5 muestra las características de las subcategorías del estándar.

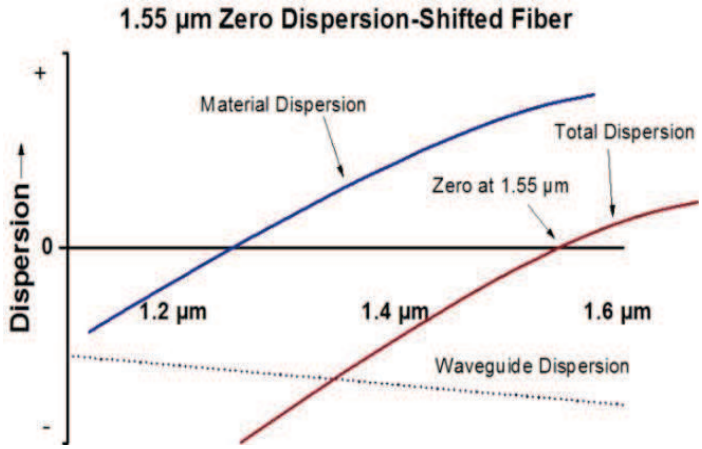


FIGURA 1.19 Curva de dispersión desplazada nula. [31]

La subcategoría G.654.A, es la base del estándar y trabaja en la región de 1550 nm.

Mientras tanto la subcategoría G.654.B, puede ser aplicada en sistemas de transmisión de más larga distancia y de mayor capacidad WDM, como por ejemplo sistemas submarinos sin repetidores y sistemas submarinos con amplificadores ópticos.

[13] SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*), se la considera como la evolución de los sistemas de transmisión, ya que se utiliza en redes de comunicaciones de alta capacidad. Nació en EE.UU con el nombre de SONET (*Synchronous Optical Network*). La trama básica de SDH es el STM-1 (*Synchronous Transport Module level* 1) con una velocidad de 155 Mbps, los niveles superiores se forman multiplexando 4 tramas del nivel anterior.

Por último la subcategoría G.654.C es similar a G.654.A, pero reduce los requisitos de Dispersión de Modo de Polarización (PMD) con lo que se puede trabajar a mayores tasas de bits y con aplicaciones de larga distancia.

Attribute	*Detail*	*G.654.A*	*G.654.B*	*G.654.C*
Mode Field Diameter	Wavelength	1550 nm	1550 nm	1550 nm
	Range of nominal Values	9.5 - 10.5 μm	9.5 - 13 μm	9.5 - 10.5 μm
	Tolerance	± 0.7 μm	± 0.7 μm	± 0.7 μm
Cladding Diameter	Nominal	125 μm	125 μm	125.0 μm
	Tolerance	± 1 μm	± 1 μm	± 1 μm
Core concentricity error	Maximum	0.8 μm	0.8 μm	0.8 μm
Cladding non-circularity	Maximum	2.0%	2.0%	2.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1530 nm	1530 nm	1530 nm
Macrobend Loss	Radius	30 mm	30 mm	30 mm
	Number of turns	100	100	100
	Maximum at 1625 nm.	0.5 dB	0.5 dB	0.5 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa	0.69 GPa	0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient	$D_{1550max}$	20 ps/(nm × km)	22 ps/(nm × km)	20 ps/(nm × km)
	$S_{1550max}$	0.070 ps/(nm^2 × km)	0.070 ps/(nm2 × km)	0.070 ps/(nm^2 × km)
Cable Attributes				
Attenuation coefficient	Maximum at 1550 nm.	0.22 dB/km	0.22 dB/km	0.22 dB/km
PMD coefficient	M	20 cables	20 cables	20 cables
	Q	0.01%	0.01%	0.01%
	Maximum PMD_Q	0.5 ps/√km	0.20 ps/√km	0.20 ps/√km

TABLA 1.5 Estándares G.654. [32]

1.2.6.5 G.655 NZ-DSF (*Non-Zero Dispersion Shifted Fiber*) Características de los cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada no nula

Características de las fibras ópticas monomodo que poseen el valor absoluto del coeficiente de dispersión cromática mayor que un valor diferente de cero, en toda la gama de longitudes de onda mayores que 1530 nm. La tablas 1.6 y 1.7 muestran las características de las subcategorías del estándar.

Las subcategorías G.655.A y G.655.B se encuentran especificadas en la versión del 2003 de la recomendación, misma que se encuentra obsoleta.

Las subcategorías G.655.A y G.655.B son muy similares, ya que su valor absoluto de dispersión cromática reduce los efectos no lineales de la fibra, pudiendo así trabajar con sistemas DWDM. La diferencia es que en la subcategoría A la separación mínima entre canales ópticos puede llegar hasta los 200 GHz y en B puede alcanzar hasta los 100 GHz.

Attribute	Detail	G.655.A	G.655.B
Mode Field Diameter	Wavelength	1550 nm	1550 nm
	Range of nominal Values	8 - 11 µm	8 - 11 µm
	Tolerance	± 0.7 µm	± 0.7 µm
Cladding Diameter	Nominal	125 µm	125 µm
	Tolerance	± 1 µm	± 1 µm
Core concentricity error	Maximum	0.8 µm	0.8 µm
Cladding non-circularity	Maximum	2.0%	2.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1450 nm	1450 nm
Macrobend Loss	Radius	30 mm	30 mm
	Number of turns	100	100
	Maximum at 1625 nm.	0.5 dB	0.5 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa	0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient Wavelength range: 1530-1565 nm	λ_{min} y λ_{max}	1530 nm and 1565 nm	1530 nm and 1565 nm
	Minimum value of D_{min}	0.1 ps/(nm × km)	0.1 ps/(nm × km)
	Maximum value of D_{max}	6.0 ps/(nm × km)	10.0 ps/(nm × km)
	Sing	Positive or Negative	Positive or Negative
	Maximum	By manufacturer	-
	D_{max} - D_{min}	-	≤5,0 ps/nm·km
Chromatic dispersion coefficient Wavelength range: 1565-1625 nm	λ_{min} y λ_{max}	-	TBD
	Minimum value of D_{min}	-	TBD
	Maximum value of D_{max}	-	TBD
	Sing	-	Positive or Negative
	Maximum	-	By manufacturer
Cable Attributes			
Attenuation coefficient	Maximum at 1550 nm.	0.35 dB/km	0.35 dB/km
	Maximum at 1625 nm.	-	0.4 dB/km
PMD coefficient	M	20 cables	20 cables
	Q	0.01%	0.01%
	Maximum PMD_Q	0.5 ps/√km	0.5 ps/√km

TABLA 1.6 Estándares G.655 A y B. [33]

Para la subcategoría G.655.C los requerimientos para el PMD son más estrictos que en G.655.B con lo cual se logra la operación con sistemas STM-64 a distancias superiores a los 2000 Km, dependiendo de otros elementos del sistema.

Por su parte la subcategoría G.655.D define sus requisitos de dispersión cromática como un par de curvas en función de la longitud de onda, para longitudes de onda desde 1460 nm hasta 1625 nm. Para longitudes de onda superiores a 1530 nm, la dispersión es positiva y de magnitud suficiente para suprimir la mayoría de alteraciones no lineales. Para longitudes de onda inferiores a 1530 nm, la dispersión cruza por cero, pero la fibra puede ser utilizada para soportar aplicaciones de CWDM en canales ubicados en longitudes de onda de 1471 nm y superiores.

Y finalmente para G.655.E, se definen atributos muy similares a la subcategoría anterior, pero con valores de dispersión cromática más altos, lo cual puede ser de mucha utilidad en varios tipos de sistemas como por ejemplo los que utilizan menor espaciamiento entre canales ópticos.

Attribute	*Detail*	*G.655.C*		*G.655.D*	*G.655.E*
Mode Field Diameter	Wavelength	1550 nm		1550 nm	1550 nm
	Range of nominal Values	8 - 11 µm		8 - 11 µm	8 - 11 µm
	Tolerance	± 0.7 µm		± 0.6 µm	± 0.6 µm
Cladding Diameter	Nominal	125 µm		125 µm	125 µm
	Tolerance	± 1 µm		± 1 µm	± 1 µm
Core concentricity error	Maximum	0.8 µm		0.6 µm	0.6 µm
Cladding non-circularity	Maximum	2.0%		1.0%	1.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1450 nm		1450 nm	1450 nm
Macrobend Loss	Radius	30 mm		30 mm	30 mm
	Number of turns	100		100	100
	Maximum at 1625 nm.	0.5 dB		0.1 dB	0.1 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa		0.69 GPa	0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient Wavelength range: 1530-1565 nm	λ_{min} y λ_{max}	1530 nm and 1565 nm	$D_{\min}(\lambda)$ 1460 – 1550 nm	$\frac{7.00}{90}*(\lambda - 1460) - 4.20$	$\frac{5.42}{90}*(\lambda - 1460) + 0.64$
	Minimum value of D_{min}	1.0 ps/(nm × km)	$D_{\min}(\lambda)$ 1550 – 1625 nm	$\frac{2.97}{75}*(\lambda - 1550) + 2.80$	$\frac{3.30}{75}*(\lambda - 1550) + 6.06$
	Maximum value of D_{max}	10.0 ps/(nm × km)	$D_{\max}(\lambda)$ 1460 – 1550 nm	$\frac{2.91}{90}*(\lambda - 1460) + 3.29$	$\frac{4.65}{90}*(\lambda - 1460) + 4.66$
	Sing	Positive or Negative	$D_{\max}(\lambda)$ 1550 – 1625 nm	$\frac{5.06}{75}*(\lambda - 1550) + 6.20$	$\frac{4.12}{75}*(\lambda - 1550) + 9.31$
	D_{max} - D_{min}	≤ 5.0 ps/(nm × km)	-	-	-
Chromatic dispersion coefficient Wavelength range: 1565-1625 nm	λ_{min} y λ_{max}	TBD	-	-	-
	Minimum value of D_{min}	TBD	-	-	-
	Maximum value of D_{max}	TBD	-	-	-
	Sing	Positive or Negative	-	-	-
Cable Attributes					
Attenuation coefficient	Maximum at 1550 nm.	0.35 dB/km		0.35 dB/km	0.35 dB/km
	Maximum at 1625 nm.	0.4 dB/km		0.4 dB/km	0.4 dB/km
PMD coefficient	M	20 cables		20 cables	20 cables
	Q	0.01%		0.01%	0.01%
	Maximum PMD_Q	0.20 ps/√km		0.20 ps/√km	0.20 ps/√km

TABLA 1.7 Estándares G.655 C, D y E. [33]

1.2.6.6 G.656 Características de una fibra y un cable con dispersión no nula para el transporte óptico de banda ancha

Esta recomendación describe a una fibra monomodo cuya dispersión cromática es mayor que algún valor diferente de cero para el rango de longitudes de onda de 1460 a 1625 nm, este valor de dispersión reduce el crecimiento de los efectos no lineales que son particularmente perjudiciales en los sistemas.

Este tipo de fibras pueden ser utilizadas para los dos sistemas de multiplexación por división de longitud de onda CWDM y DWDM. Se resumen sus características en la tabla 1.8.

Attribute	*Detail*	*G.656*
Mode Field Diameter	Wavelength	1550 nm
	Range of nominal Values	7.0 - 11 μm
	Tolerance	± 0.7 μm
Cladding Diameter	Nominal	125 μm
	Tolerance	± 1 μm
Core concentricity error	Maximum	0.8 μm
Cladding non-circularity	Maximum	2.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1450 nm
Macrobend Loss	Radius	30 mm
	Number of turns	100
	Maximum at 1625 nm.	0.5 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient Wavelength range: 1530-1565 nm	$D_{\min}(\lambda)$ 1460 – 1550 nm	$\frac{2.60}{90}*(\lambda - 1460) + 1.00$
	$D_{\min}(\lambda)$ 1550 – 1625 nm	$\frac{0.98}{75}*(\lambda - 1550) + 3.60$
	$D_{\max}(\lambda)$ 1460 – 1550 nm	$\frac{4.68}{90}*(\lambda - 1460) + 4.60$
	$D_{\max}(\lambda)$ 1550 – 1625 nm	$\frac{4.72}{75}*(\lambda - 1550) + 9.28$
Uncabled fibre PMD coefficient	Maximum	Debe soportar el requerimiento De PMD_Q cableado
Cable Attributes		
Attenuation coefficient	Maximum at 1460 nm.	0.4 dB/km
	Maximum at 1550 nm.	0.35 dB/km
	Maximum at 1625 nm.	0.4 dB/km
PMD coefficient	M	20 cables
	Q	0.01%
	Maximum PMD_Q	0.20 ps/√km

TABLA 1.8 Estándares G.656. [34]

1.2.6.7 G.657 Características de una fibra y un cable monomodo, insensible a las pérdidas por flexión para redes de acceso

La importancia de este tipo de fibras recae en la insensibilidad que las mismas presentan a las curvaturas, con lo cual se logra que las instalaciones en interiores, en donde las curvaturas son muy críticas, sean mucho más eficientes y se logre

que los sistemas ópticos tengan un buen rendimiento. Reduciendo las pérdidas que se pueden presentar por rebasar los radios de curvatura permitidos para las fibras ópticas convencionales. Este estándar describe dos subcategorías, mismas que se subdividen, tal como se observa en la tabla 1.9 teniendo así lo siguiente:

- *G.657.A*
  - *G.657.A1*
  - *G.657.A2*
- *G.657.B*
  - *G.657.B2*
  - *G.657.B3*

Attribute	*Detail*	*G.657.A*					*G.657.B*					
Mode Field Diameter	Wavelength	1310 nm					1310 nm					
	Range of nominal Values	8.6 – 9.5 µm					6.3 – 9.5 µm					
	Tolerance	± 0.4 µm					± 0.4 µm					
Cladding Diameter	Nominal	125 µm					125 µm					
	Tolerance	± 0.7 µm					± 0.7 µm					
Core concentricity error	Maximum	0.5 µm					0.5 µm					
Cladding non-circularity	Maximum	1.0%					1.0%					
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260 nm					1260 nm					
Unabled fibre macrobending Loss		**ITU-T G.657.A1**		**ITU-T G.657.A2**			**ITU-T G.657.B2**			**ITU-T G.657.B3**		
	Radius (mm)	15	10	15	10	7.5	15	10	7.5	10	7.5	5
	Number of turns	10	1	10	1	1	10	1	1	1	1	1
	Maximum at 1550 nm.	0.25 dB	0.75 dB	0.03 dB	0.1 dB	0.5 dB	0.03 dB	0.1 dB	0.5 dB	0.03 dB	0.08 dB	0.15 dB
	Maximum at 1625 nm.	1.0 dB	1.5 dB	0.1 dB	0.2 dB	1.0 dB	0.1 dB	0.2 dB	1.0 dB	0.1 dB	0.25 dB	0.45 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa					0.69 GPa					
Chromatic dispersion coefficient	λ_{0min}	1300 nm					TBD					
	λ_{0max}	1324 nm										
	S_{0max}	0.092 ps/nm^2 × km										
Cable Attributes												
Attenuation coefficient	Maximum from 1310 to 1625 nm.	0.4 dB/km					0.5 dB/km					
	Maximum at 1383 nm ± 3 nm.	0.4 dB/km										
	Maximum at 1550 nm	0.3 dB/km					0.3 dB/km					
	Maximum at 1625 nm	-					0.4 dB/km					
PMD coefficient	M	20 cables					TBD					
	Q	0.01%										
	Maximum PMD_Q	0.20 ps/√km										

TABLA 1.9 Estándares G.657. [35]

La subcategoría G.657.A, es adecuada para trabajar en las bandas O, E, S, C y L, en el rango de alrededor de 1260 a 1625 nm. Esta subcategoría posee los atributos recomendados y los valores necesarios para soportar la instalación en redes de acceso optimizadas con respecto a las pérdidas por macro curvaturas. Son totalmente compatibles con las fibras de la recomendación G.652.

Por su parte la subcategoría G.657.B, disminuye los valores de pérdidas para las macro curvaturas, alcanzando menores radios de curvatura permitiendo su uso al final de las redes de acceso con distancias menores a 1000 m. Además los rangos de valores recomendados pueden estar fuera de los que se tienen en la recomendación G.652 por lo que no necesariamente es compatible con la misma.

1.2.7 CABLES DE FIBRA ÓPTICA

Debido a que las fibras ópticas no presentan las características necesarias para su instalación, se ha visto la necesidad de agregar elementos adicionales a los hilos de fibra como podrían ser: miembro central, cubiertas, fibras protectoras de aramida, materiales hidrófugos, recubrimientos externos, entre otros; los mismos que deben tener características específicas para la instalación.

1.2.7.1 Cable de Estructura Ajustada (*Tight Buffer*)

Estos cables presentan una particularidad, ya que cada una de las fibras ópticas junto con su recubrimiento primario, son envueltas por un recubrimiento secundario de alrededor de 900 µm que le da un soporte adicional, obsérvese la figura 1.20. Este tipo de fibras pueden ser conectorizadas directamente evitando así la utilización de cajas para empalme.

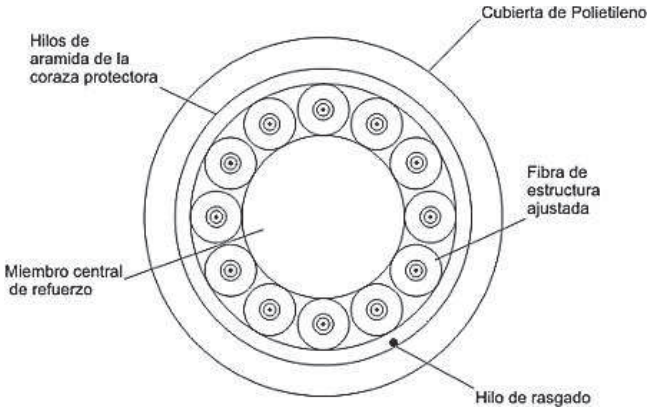


FIGURA 1.20 Cable de Estructura Ajustada. [36]

Este tipo de cable es utilizado más frecuentemente para instalaciones en interiores, ya que presentan la posibilidad de alcanzar radios de curvatura menores, lo cual ayuda en la instalación. Además debido al soporte adicional de la segunda cubierta, estos cables pueden utilizarse también en instalaciones verticales.

1.2.7.2 Cable de Estructura Holgada (*Loose Tube*)

La característica principal de este tipo de cables es que disponen de una serie de tubos que rodean a un miembro central de refuerzo, dichos tubos contienen a las fibras las mismas que descansan holgadamente dentro de éstos. Los tubos y las fibras están recubiertos con materiales hidrófugos para impedir que se presenten efectos dañinos por excesiva humedad. Obsérvese la figura 1.21.

Utilizados para instalaciones interiores o exteriores pero no en instalaciones verticales ya que la estructura holgada y los geles de protección pueden hacer que existan fuerzas externas de tensión que sumadas a la gravedad dañen a las fibras ópticas.

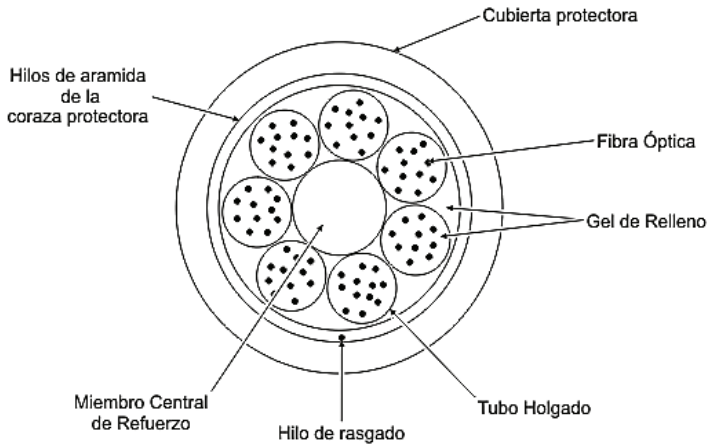


FIGURA 1.21 Cable de Estructura Holgada. [36]

Existe un sinnúmero de variantes que se pueden encontrar además de las que se presentaron, pero únicamente se citarán algunas características principales de cada una de ellas, entre los cables más comúnmente utilizados se tienen:

1.2.7.3 Cable para tendido aéreo

1.2.7.3.1 Cable Figura 8

Los cables figura ocho, llevan su nombre debido a la forma del cable, ya que el mismo como parte de su estructura posee un cable de guía generalmente de

acero adherido que funciona como elemento de sujeción o suspensión como se aprecia en la figura 1.22.

Este tipo de cable es óptimo para tendido aéreo ya que posee una excelente resistencia mecánica y ayuda en la sujeción a los postes.

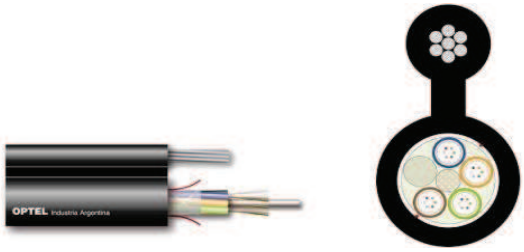


FIGURA 1.22 Cable figura ocho. [37]

1.2.7.3.2 Cable ADSS (All Dielectric Self Supporting)

Un cable ADSS como su nombre lo indica tiene la posibilidad de soportarse a sí mismo, esta característica la logra gracias a un miembro central de refuerzo que provee al cable de la sustentación y seguridad requeridas. Obsérvese la figura 1.23.

Este tipo de cables llevan dentro de su estructura varios elementos protectores, ya que debido a su naturaleza y a los herrajes utilizados para su tendido, el cable puede sufrir maltratos o excesivos estiramientos, lo cual podría malograrlo.

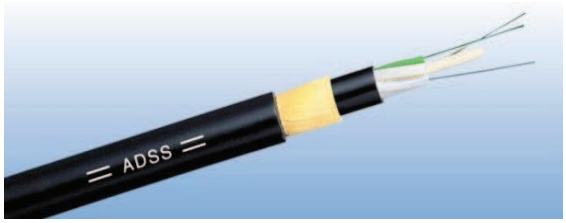


FIGURA 1.23 Cable ADSS. [38]

1.2.7.3.3 Cable OPGW (Optical Ground Wire)

Este tipo de cable en realidad está diseñado para cumplir con dos funciones, ya que por su estructura, es utilizado tanto para transmitir alto voltaje como para transmitir información en sistemas ópticos.

Este cable está construido de forma tal que en su interior cuenta con un tubo de aluminio dentro del cual se depositan los tubos *buffer* con las fibras, y sobre el tubo de aluminio se construye un cable para transportar alto voltaje, alcanzado así distancias de hasta 10 Km. Obsérvese la figura 1.24.

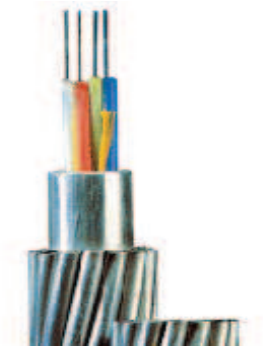


FIGURA 1.24 Cable OPGW. [39]

1.2.7.4 Cables para tendido subterráneo

1.2.7.4.1 Cable con Armadura (Cable Armado)

Este tipo de cables, por su parte poseen materiales extras para soportar otro tipo de condiciones, como por ejemplo aplastamientos, humedad, ataques de roedores, etc.

Es por estas razones que los mismos varían dependiendo de su aplicación, algunos cuentan con revestimientos de cintas de acero lisas, hilos de acero o incluso cintas corrugadas de acero, como se muestra en la figura 1.25, lo cual les provee de una gran resistencia. Otros además cuentan con gel antihumedad para evitar problemas con la misma y algunas pueden poseer elementos adicionales.

FIGURA 1.25 Cable con armadura. [40]

1.3 ELEMENTOS DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA [3] [9]

1.3.1 *SPLITTERS* / ACOPLADORES

Los *Splitters* (Divisores) o *Couplers* (Acopladores), son elementos característicos de una red pasiva como por ejemplo redes FTTH (*Fiber To The Home*), PON (*Pasive Optical Network*) y P2P (*Peer-to-Peer*) que no requieren tener equipos electrónicos activos dentro del bucle local del subscriptor; por el contrario de las tecnologías tales como DSL (*Digital Subscriber Line*), HFC (*Hybrid Fibre Coaxial*), etc.

Los *splitters*, en sentido *Downstream*, se consideran como divisores ya que dividen una señal entrante en dos o más señales salientes. El más comúnmente utilizado es el divisor en T, en el cual se tiene una única entrada y dos salidas, la potencia de la señal de entrada se divide a la mitad en cada una de sus señales resultantes (-3dB). Obsérvese la figura 1.26.

En sentido opuesto, *Upstream*, los *splitters* son considerados como acopladores ya que realizan la función inversa misma que consiste en combinar la señal de las N salidas y enviarlas a una o más entradas.

FIGURA 1.26 *Splitter* 1:2. [41]

1.3.1.1 Tipos de *splitters*/acopladores ópticos

1.3.1.1.1 Splitter/Acoplador en T

Su función primordial es la de transmitir la señal que recibe por una fibra a otras dos fibras de salida sin necesidad de alguna alimentación externa, tienen pérdidas características alrededor de los 3 dB.

1.3.1.1.2 Splitter/Acoplador en Estrella

Este tipo de acopladores poseen varios puertos de entrada y varios puertos de salida, teniendo en cada uno de los puertos de salida potencias equivalentes o iguales.

Las pérdidas en este tipo de acopladores varían logarítmicamente con relación al número de salidas que se tenga, es así que valores característicos de pérdidas para acopladores de tres salidas pueden ser de alrededor de 15 dB y para acopladores con 40 salidas podrían ser de 30 dB.

1.3.1.1.3 Splitter/Acoplador TAP

Este dispositivo puede presentar uno o varios puertos de entrada y varios puertos de salida, pero su principal característica es que las potencias de cada una de sus salidas no son iguales, es decir que son dispositivos con salidas asimétricas.

1.3.1.2 Pérdidas en *Splitters*

1.3.1.2.1 Pérdidas de Inserción (Insertion Loss, IL)

Las pérdidas de inserción constituyen la disminución de potencia de la señal del puerto de salida con respecto a la potencia de entrada. Se produce cuando se inserta un dispositivo en el camino de la señal o medio de transmisión, normalmente estas pérdidas se utilizan para el cálculo de la atenuación y son expresadas en decibelios (dB).

En los *splitters*, este tipo de pérdidas vienen indicadas en cada uno de los dispositivos ya que pueden variar al momento de la fabricación.

1.3.1.2.2 Pérdidas de Retorno (Optical Return Loss, ORL)

Este tipo de pérdidas se deben a discontinuidades en el índice de refracción, especialmente en las interfaces entre el núcleo de la fibra y el aire en el extremo de conectorización de la misma.

Una parte de la luz es reflejada de vuelta hacia el origen, en ocasiones a este tipo de pérdidas se las conoce también como *Fresnel Reflection Loss (FRL).*

1.3.1.3 Tecnologías de división en *Splitters*

Según el principio de división de la fibra óptica se puede clasificar a los *splitters* en:

- FBT *Splitter* (*Fused Biconical Taper*)

  Ésta es la tecnología tradicional que se utiliza para soldar varias fibras juntas desde un solo extremo. La potencia de la señal ingresa por un solo hilo, y ésta se divide en el lugar donde los hilos se fusionan, como se muestra en la figura 1.27.

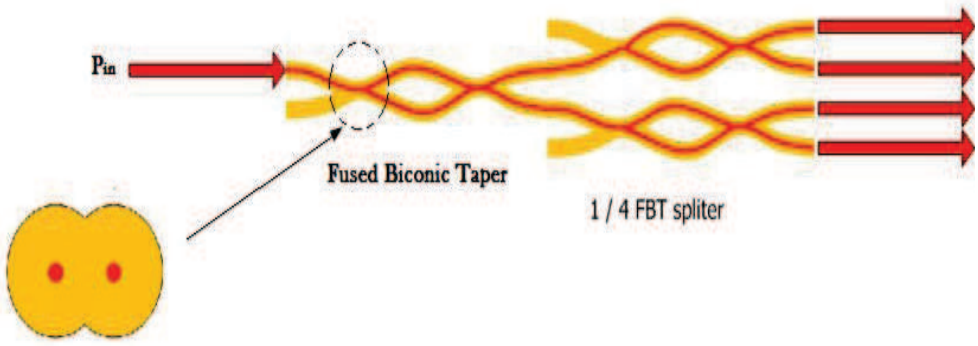


FIGURA 1.27 *Splitter* FBT. [42]

- PLC *Splitter* (*Planar Lighwave Component*)

  La guía de onda plana es un elemento micro-óptico, se obtiene a través del uso de la fotolitografía[14], misma que forma guías de onda ópticas en el medio o sustrato del semiconductor; para conseguir la función de ramificación como se observa en la figura 1.28.

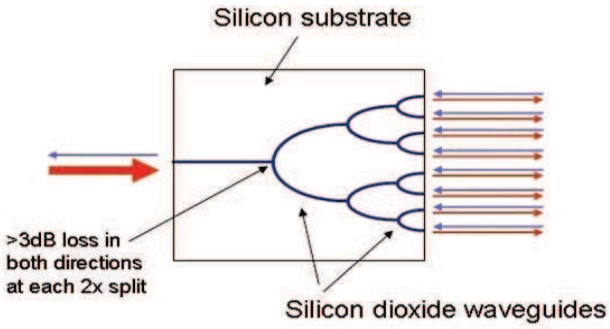


FIGURA 1.28 *Splitter* PLC. [43]

Las diferencias entre PLC y FBT son algunas, como por ejemplo la relación de división, para PLC puede ser de 1 a 64 mientras que para FBT puede llegar únicamente de 1 a 4. Asimismo en la uniformidad de la luz, en PLC la luz es dividida uniformemente, mientras que en FBT la uniformidad no es muy precisa; por último, los *splitters* PLC son compactos físicamente mientras que los *splitters* FBT poseen un gran tamaño.

1.3.2 CONECTORES Y EMPALMES

1.3.2.1 Conectores

Existen muchos conectores para fibra óptica actualmente en el mercado y las formas de su utilización también han ido variando con el tiempo así como las formas de su implementación. Se empezó realizando los conectores de forma manual, donde la fibra era introducida al interior de una férula, sobresaliendo de la misma una distancia considerable, era adherida a ésta con pegamento y luego se procedía a pulir el extremo sobresaliente hasta conseguir que se tenga el área transversal lo más limpia y regular posible. Sin embargo, a pesar de todos los esfuerzos este tipo de conectores presentan grandes pérdidas por lo tanto se crearon otras técnicas para poder tener fibras con conectores. Es así que surgieron los denominados *pigtails*[15], los mismos que son conectores elaborados

[14] La fotolitografía es una técnica de dibujo que utiliza luz, es capaz de producir patrones ligeramente por debajo de los 100 nm, usando longitudes de onda muy cortas, alrededor de los 193 nm.
[15] Un *pigtail* es un trozo pequeño de fibra óptica que posee en uno de sus extremos un conector.

en fábrica que eliminan el problema del pulido de la superficie y que poseen un tramo de fibra junto con ellos, para así poder ser fusionados al resto de la fibra óptica. Obsérvese la figura 1.29.

FIGURA 1.29 (a) Partes de un conector **(b)** *Pigtails* [44]

Entre los conectores más comúnmente utilizados y que se muestran en la figura 1.30, se pueden encontrar los siguientes:

a) SC (*Straight Connection*)
b) LC (*Lucent Connector*)
c) ST (*Straight Tip*)
d) FC (*Fiber Connector*)
e) MTRJ (*Mechanical Transfer Registered Jack*)
f) SMA

FIGURA 1.30 Tipos de conectores. [45]

Además del tipo de conector también es importante identificar el tipo de pulido que presenta la férula, teniendo así los siguientes:

a) PC (*Physical Contact*)
b) UPC (*Ultra Physical Contact*)
c) APC (*Angled Physical Contact*)

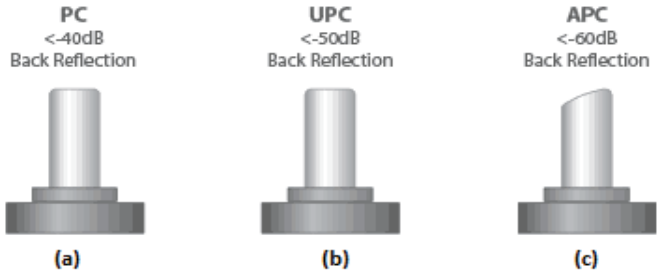


FIGURA 1.31 (a) Pulido PC **(b)** Pulido UPC **(c)** Pulido APC. [46]

La diferencia principal entre los tipos de pulido, como se muestra en la figura 1.31, es la pérdida de retorno que cada uno de estos pulidos puede llegar a tener, considerando que mientras mayor sea la misma, el conector que posea la férula con ese pulido tendrá un mejor rendimiento pues disminuye la potencia reflejada.

1.3.2.2 Empalmes

Los empalmes surgieron ante las siguientes necesidades: incrementar el alcance de una red de fibra, sustentar el problema de ruptura de los hilos de fibra óptica y beneficiarse de una técnica de conectorización eficiente mediante el uso de *pigtails*, entre las más representativas. Se pueden citar dos técnicas de empalme que son:

1.3.2.2.1 Empalme Mecánico

Un empalme mecánico consiste en la unión de dos fibras con elementos mecánicos para poder conseguir el mayor grado de alineamiento posible y manteniéndolas así mediante el uso de pegamentos o sistemas de presión. Este tipo de empalmes son considerados temporales ya que se pueden deshacer fácilmente.

1.3.2.2.2 Empalme por Fusión

Los empalmes por fusión son empalmes permanentes ya que mediante ellos se consigue que los dos extremos de las fibras a empalmar queden adheridos permanentemente haciendo ver así a la fibra como una sola.

Para realizar empalmes por fusión se requieren de máquinas que son relativamente costosas, pero los beneficios son mayores ya que se tiene menores pérdidas y es mucho más estable.

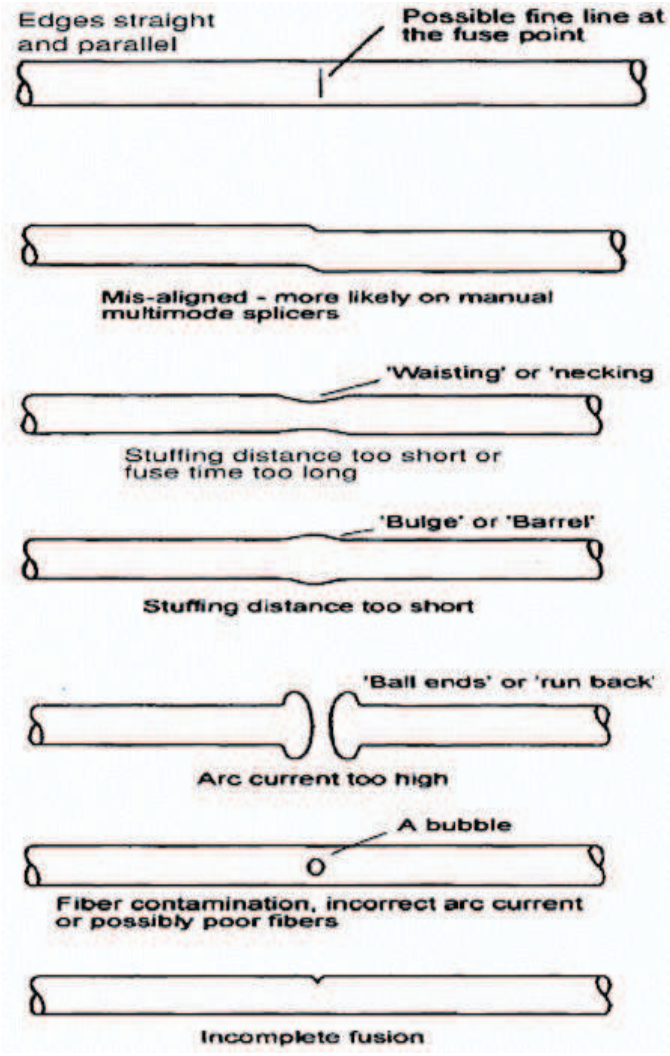


FIGURA 1.32 Posibles resultados de la fusión. [6]

Una máquina empalmadora automática realiza una alineación de los núcleos de dos fibras enfrentadas a través de servo motores hasta que dichos núcleos queden perfectamente alineados, para luego producir un arco eléctrico generado por dos electrodos, teniendo así el proceso de fusión.

En la figura 1.32 se muestran algunas de las posibilidades que se pueden dar luego de haber realizado un empalme por fusión. Éstas pueden ser la falta de material, el excesivo material, empalmes incompletos o empalmes excesivos; por eso siempre será necesaria una buena calibración de las máquinas para que el empalme sea lo más perfecto posible y así evitar pérdidas de señal en la fibra.

1.3.3 FUENTES DE LUZ

Las fuentes de luz son otro elemento de suma importancia para las redes de fibra óptica, y son las encargadas de generar la intensidad de luz adecuada y con la longitud de onda acorde a una de las ventanas de transmisión.

Las fuentes de luz deben cumplir con ciertas características para que puedan ser utilizadas en los sistemas ópticos. Entre las principales características se considera que: deben ser lo más estables, deben emitir longitudes de onda adecuadas para las transmisiones, su potencia de salida debe ser la apropiada, ni muy elevada (produce efectos no lineales[16]), ni muy baja (la atenuación podría limitar la distancia), deben poseer anchuras espectrales adecuadas para evitar problemas de dispersión cromática, entre otras características adicionales.

Dentro de las principales fuentes de luz que actualmente se utilizan se encuentran: los LED (*Light-Emitting Diode*) y los LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*).

1.3.3.1 LED

Es un diodo semiconductor que tiene la capacidad de emitir luz, su funcionamiento es relativamente simple, al polarizar directamente la juntura se logra que electrones que se encuentran en la banda de conducción salten a la banda de valencia, liberando energía en este salto. Esta energía se manifiesta con la forma de un fotón, este fotón o luz radiada es considerada espontánea ya que no se tiene control sobre la fase, amplitud o dirección del mismo.

1.3.3.2 LASER

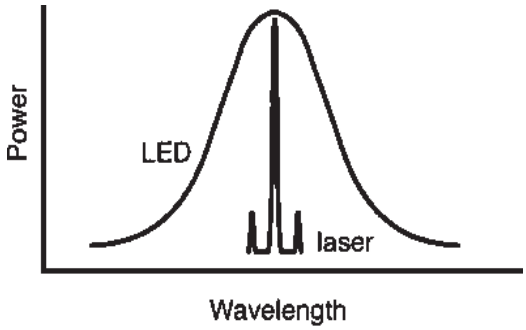


FIGURA 1.33 Anchura espectral LED vs. Láser. [47]

[16] Las interacciones no lineales se producen entre las portadoras ópticas que transportan la información y el medio de transmisión. Entre los fenómenos no lineales más conocidos destacan: dispersiones estimuladas de Raman y Brillouin y mezcla de cuatro longitudes de ondas.

El láser por su parte genera luz pero de manera estimulada, con lo cual se logra que su emisión sea más coherente, por lo tanto su anchura espectral es menor como se muestra en la figura 1.33; además su potencia de salida es mayor y la luz que irradia es mucho más direccional.

1.3.4 DETECTORES DE LUZ

Al igual que las fuentes de luz, los detectores de luz realizan otro papel de suma importancia para los sistemas ópticos ya que son los encargados de transformar la intensidad de luz recibida en una corriente eléctrica, operación inversa a una fuente, para así poder trabajar con los sistemas electrónicos actuales.

Los detectores de luz típicamente utilizados son los fotodetectores o fotodiodos, entre los cuales los más conocidos son los diodos PIN (*P-Intrinsic-N*) y los APD (*Avalanche Photo Diode*).

1.3.4.1 Diodo PIN (*P-Intrinsic-N*)

Los detectores PIN están constituidos por dos capas semiconductoras (P y N) y una capa en el medio de ellas de un material intrínseco o ligeramente dopado. Este material intrínseco es el encargado de generar la fotocorriente ya que escasea de portadores y al absorber la luz que ingresa por una ventana, atrapa los fotones de ésta, quienes traspasan su energía a los electrones de la banda de valencia del mismo; estos electrones saltan a la banda de conducción, generando así la corriente que fluye por el diodo. La cantidad de corriente generada es proporcional a la cantidad de luz que recibe. En ocasiones este tipo de detectores son combinados con amplificadores del tipo FET, para así poder aumentar la corriente generada[17].

1.3.4.2 Diodo APD (*Avalanche Photo Diode*)

Los detectores APD son capaces de producir una mayor cantidad de electrones ya que este tipo de detectores aprovechan el *fenómeno de avalancha*[18], con el cual se logra tener una amplificación al mismo tiempo que se está realizando la conversión fotoeléctrica.

---

[17] Cuando la corriente eléctrica generada es demasiado pequeña este tipo de diodo es combinado con amplificadores FET (*Field-Effect Transistor*) en el mismo componente, formando así el llamado fotodetector PINFET.

[18] El fenómeno de avalancha se produce cuando existen electrones libres acelerados mediante un campo eléctrico, su energía cinética es muy elevada, y al chocar con el enlace covalente convierten al electrón ligado en libre, multiplicándose así el número de electrones libres.

La principal diferencia entre los diodos PIN y los diodos APD es que estos últimos son mucho más sensibles y requieren menos pre amplificación, pero sus desventajas ante los diodos PIN son que tienen tiempos de respuesta más largos y poseen mayor ruido debido al fenómeno de avalancha.

1.4 TECNOLOGÍAS XPON [2] [4] [7] [8] [9] [10] [11] [51]

En la actualidad existen varias tecnologías que proveen al usuario una gama de servicios que van mejorando progresivamente. La selección de la misma depende de la velocidad que puede brindar, la distancia permitida desde la oficina central hacia el usuario, la calidad del servicio que provea, la disponibilidad, los servicios que soporte, la seguridad, entre otras exigencias que van surgiendo a diario.

Las soluciones tecnológicas de fibra óptica, redes AON (*Active Optical Networks*) y PON (*Passive Optical Networks*), son cada vez más utilizadas por tener la capacidad de ofrecer servicios *Triple Play* siendo la base para las redes de acceso de fibra óptica FTTx (*Fiber To The x*).

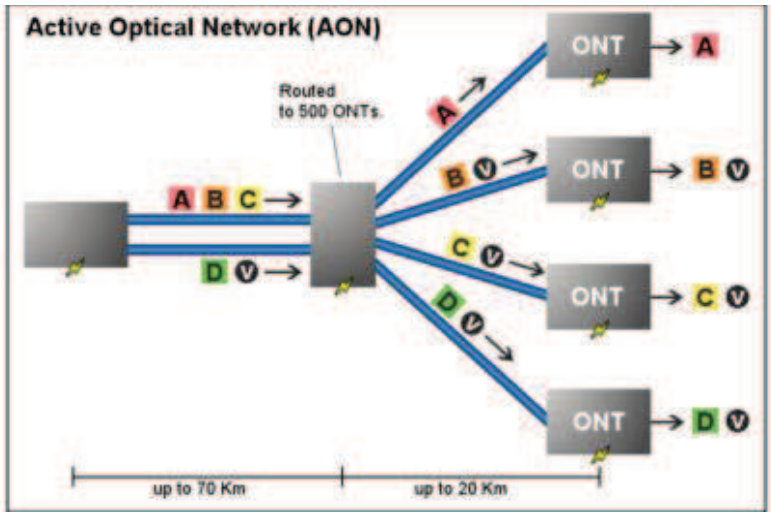


FIGURA 1.34 Distribución de la información en una red AON. [48]

Una AON utiliza equipos eléctricamente activos para distribuir la información lo cual la hace más costosa que la PON. Es una red punto a punto donde cada usuario tiene su propia fibra óptica terminada en un ONT/ONU[19], a partir de la

[19] Llámese ONU (*Optical Network Unit*) término empleado por la IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) u ONT (*Optical Network Terminal*) término empleado por la ITU (*International Telecommunication Union -Telecommunication Standardization Sector*), que se refieren al mismo elemento, se encuentra ubicado del lado del abonado al finalizar la red pasiva. Elemento activo de la red que transforma la señal óptica en señal eléctrica. Ciertas ocasiones se hace una única diferenciación, se denomina ONU cuando de éste se ramificará la red hacia más abonados y ONT cuando termina en un único abonado.

última referencia se utilizará el término ONT como equipo de usuario final, y que se origina del *Access Node* siendo éste un *switch*, un *router* o un MSAN[20], tal como se muestra en la figura 1.34. Las velocidades de las redes AON son mucho mejores que las redes PON sin embargo estas últimas se encuentran evolucionando utilizando TDMA y WDM que las hacen más competitivas.

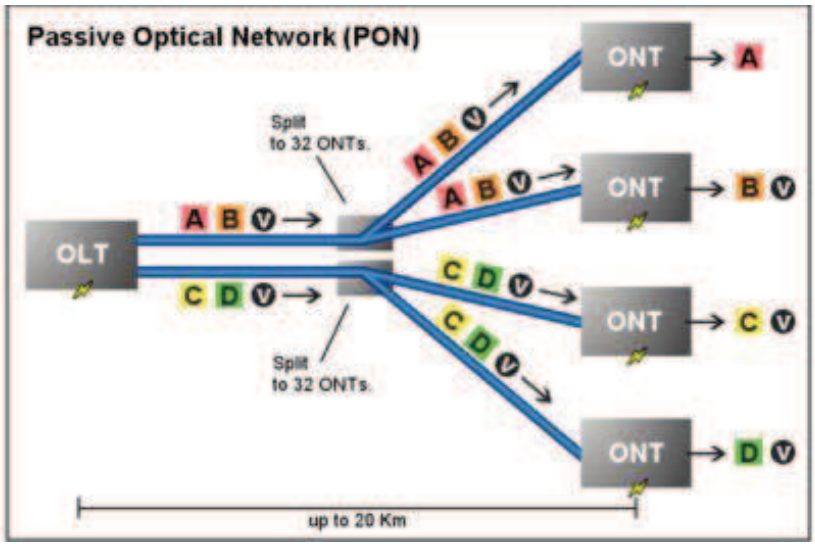


FIGURA 1.35 Distribución de la información en una red PON. [48]

PON, es una Red Óptica Pasiva que comprende únicamente elementos ópticos pasivos entre el servidor y el cliente, sin necesidad de alimentación externa en ningún punto intermedio de la red, para distribuir la señal, es transparente al envío de datos. Comprende *splitters*, fibra óptica y empalmes como se muestra en la figura 1.35. La distancia máxima de una red PON es de 20 Km limitada por las potencias máxima y mínima de los equipos terminales. Es una única fibra óptica que se ramifica por medio del *splitter* hacia todos los usuarios, haciendo de ésta una red de acceso económica. Utiliza multiplexación por división de longitud de onda WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) bidireccional permitiendo que la transmisión en sentido ascendente y descendente no se interfieran al compartir la fibra óptica ocupando diferentes longitudes de onda.

WDM no divide la potencia entre los canales multiplexados y existen tres diferentes tipos, dependiendo de las longitudes de onda utilizadas:

[20] MSAN (*Multi Service Access Node*): es un nodo de acceso multiservicio con interfaces de hilos metálicos, fibra óptica o radio.

- WDM *Coarse* o CWDM (ITU-T G.694.2) utiliza longitudes de onda entre 1270 nm y 1610 nm, mantiene una separación entre longitudes de onda de 20 nm, con ello consigue multiplexar hasta 18 señales.
- WDM Convencional (ITU-T G.692) utiliza longitudes de onda entre 1310 nm y 1550 nm debido a las mínimas pérdidas en estas longitudes de onda, los canales estarán separados una distancia en el rango de 0,8 nm a 1,6 nm.
- WDM Densa o DWDM igualmente utiliza longitudes de onda entre 1310 nm y 1550 nm; sin embargo, los canales están separados una distancia de 0,4 nm, 0,2 nm y 0,1 nm, multiplexando hasta 320 longitudes de onda.

Una red PON en el **canal descendente** es una red punto multipunto, se origina en la oficina central con la OLT[21] quien envía la señal hasta un divisor óptico, *splitter*, el cual distribuye y encamina toda la información a cada uno de los ONTs de la red, refiérase a la figura 1.36. Todos los suscriptores de la red PON reciben la misma señal óptica.

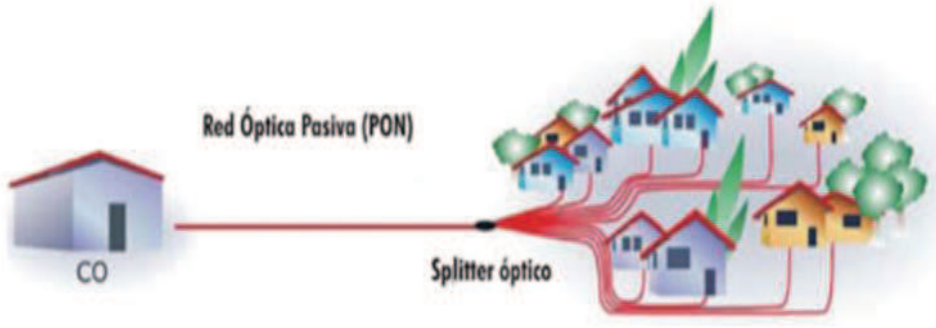


FIGURA 1.36 Infraestructura de una red PON. [49]

La OLT envía las señales encriptadas como un *broadcast* a todos los ONTs, éstos son capaces de procesar únicamente la información que le es permitida por la OLT, desencriptándola según el algoritmo utilizado.

Una red PON en un **canal ascendente** es una red punto a punto, donde múltiples ONTs transmiten hacia una única OLT en la oficina central. El ancho de banda es multiplexado en intervalos de tiempo, manejados y sincronizados en su totalidad

[21] OLT (*Optical Line Termination*) elemento activo de la red que se encuentra ubicado en el nodo central enlazando a la red externa con la red GPON, de la OLT parte la red pasiva hacia el usuario final transmitiéndole diferentes servicios.

por la OLT. Cada ONT tiene su propia ranura de tiempo para transmitir su información evitando así la colisión entre ellos, esta técnica se denomina TDMA (*Time Division Multiple Access*).

FIGURA 1.37 Mensaje PLOAM. [50]

La OLT envía un mensaje PLOAM (*Physical Layer Operation, Administration and Maintenance*) a cada ONT, como se observa en la figura 1.37, el mismo que al recibirlo envía un mensaje de respuesta. Se calcula el tiempo de propagación entre los dos elementos activos, estos tiempos son diferentes ya que cada ONT se encuentra a determinada distancia de la OLT provocando colisiones y errores en la línea.

Para solucionar este inconveniente se emplea el proceso de *Ranging* donde se calibran las distancias hacia cada ONT. La OLT calcula y da un tiempo de retardo a cada ONT para que lo utilice al momento de transmitir en el canal ascendente, haciendo parecer que todos los ONTs están a la misma distancia virtual de la OLT, refiérase a la figura 1.38.

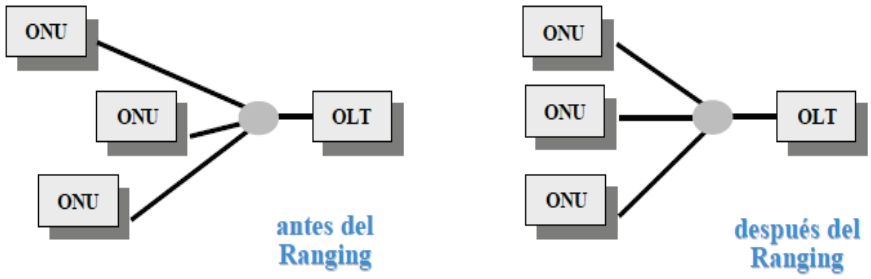


FIGURA 1.38 Proceso de *Ranging*. [51]

Las redes PON tienen la característica DBA (*Dynamic Bandwidth Allocation*), que les permite ofrecer sobresuscripción, controlando el ancho de banda desocupado y proveyéndolo a otros usuarios cuando lo requieran, ampliando la capacidad para los mismos, ésta es aplicada debido a las siguientes consideraciones:

- ❖ No todos los usuarios se encuentran conectados al mismo tiempo.
- ❖ No todos los usuarios que se encuentran conectados en el mismo momento, están utilizando aplicaciones que demanden todo su ancho de banda.
- ❖ El tráfico generado por el servicio de Internet en su mayoría es en ráfagas, es decir no es un tráfico constante.
- ❖ No todas las aplicaciones tienen los mismos niveles de consumo de capacidad, por citar un ejemplo, son diferentes los requerimientos entre un correo electrónico y una video conferencia.

1.4.1 ESTÁNDARES xPON

1.4.1.1 Recomendación ITU-T G.983

APON ATMPON (*Asynchoronous Transfer Mode Passive Optical Network*), nace en la década de los noventa siendo el primer estándar PON, está basado en la tecnología de conmutación ATM. APON es la tecnología que ofrece mayores características OAM (*Operation, Administration and Maintenance*), no transmite en *broadcast*, las ventanas que utiliza son: para *downstream* tercera ventana 1550 nm y para *upstream* segunda ventada 1310 nm. Opera de forma simétrica a una velocidad de 155 Mbps y de forma asimétrica para *downstream* a una velocidad de 622 Mbps y para *upstream* a una velocidad de 155 Mbps. Una APON puede utilizar *splitters* cuya relación de división sea de hasta 1 a 32, obsérvese la figura 1.39.

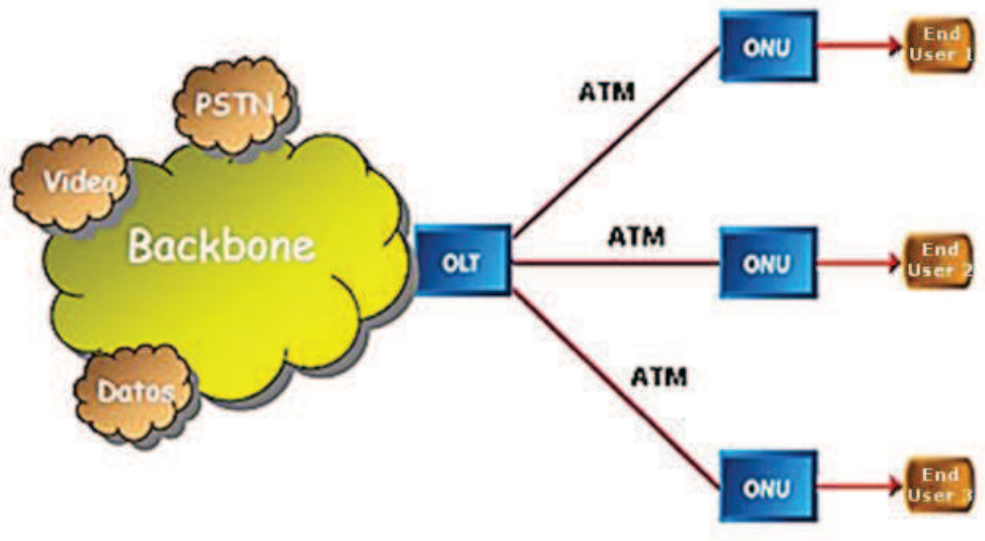


FIGURA 1.39 Arquitectura de una red APON. [52]

BPON (*Broadband Passive Optical Network*), estándar mejorado de APON, desarrollado en el año 2000 es el primer estándar de uso masivo. Ofrece transmisión por medio de celdas ATM, transmite *broadcast* de TV analógica, implementa WDM para el incremento del ancho de banda. La velocidad de transmisión para *downstream* es de 155, 622 o 1244 Mbps con cifrado simétrico AES[22] y para *upstream* es de 155 o 622 Mbps con un alcance de hasta 20 Km.

1.4.1.2 IEEE 802.3 ah

EPON (*Ethernet Passive Optical Network*), transporta tráfico únicamente Ethernet por medio de sus tramas con velocidad de transmisión ascendente y descendente de 1250 Mbps (simétrico) sin ningún algoritmo de encripción. Utiliza un solo hilo de fibra óptica, tiene un alcance entre el emisor y el receptor de máximo 20 Km, utiliza la tercera ventana 1550 nm para video RF, para voz y datos la quinta ventana 1490 nm. Utiliza codificación de línea 8B/10B que sobrecarga a la tecnología, tiene mecanismo de corrección de errores FEC[23], disminuye la complejidad y costo de los equipos. Ofrece calidad de servicio para servicios *Triple Play*, tienen gran aceptación en Asia.

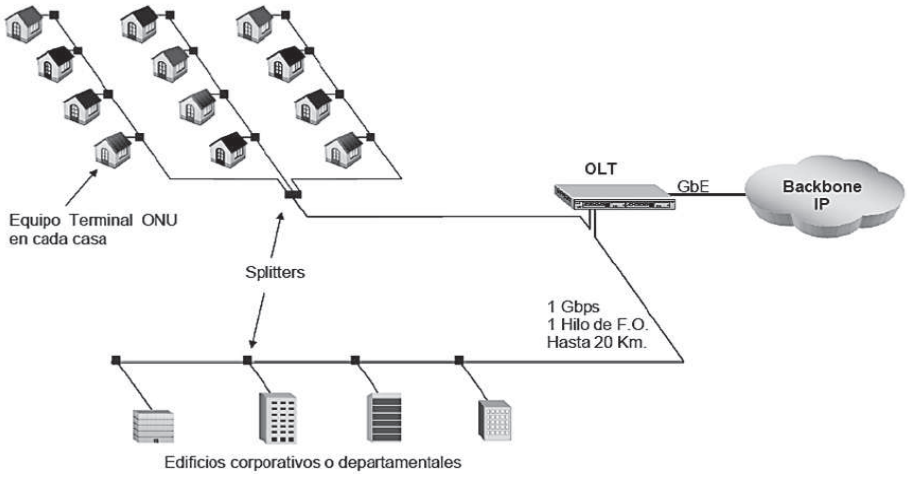


FIGURA 1.40 Infraestructura GEPON. [53]

1.4.1.3 Recomendación ITU-T G.984

GPON (*Gigabit Passive Optical Network*), es la mejora de BPON donde la velocidad de transmisión para *downstream* es de 1244 o 2488 Mbps con cifrado

[22] AES (*Advanced Encryption Standard*) algoritmo de cifrado simétrico en bloque, opera sobre bloques de datos de 128 bits con llaves de 128, 192 y 256 bits.
[23] FEC (*Forward Error Correction*) es una técnica para control de errores, donde se los detecta y corrige en el lado del receptor, no requiere retransmisión de la secuencia de bits gracias a que éstos son transmitidos conjuntamente con bits de control.

simétrico AES, por lo que cada ONT solo podrá tener acceso y procesar el tráfico dirigido hacia él, y para *upstream* es de 155, 622, 1244 o 2488 Mbps con un alcance de hasta 20 Km aunque en el estándar se definen distancias de 60 Km. Los divisores ópticos pasivos tienen una relación de división de hasta 1 a 64, ofrece mayor ancho de banda hacia los usuarios finales y es más eficiente que las tecnologías PON antes descritas. Se encuentran extendidas en Europa y EEUU, posee menor sobrecarga de codificación de línea con NRZ (+ *scrambling*[24]). Las longitudes de onda utilizadas para los diferentes servicios ofrecidos se muestran en la tabla 1.10.

Tráfico	*Downstream*	*Upstream*
Datos y voz	1490 nm	1310 nm
Broadcast de video	1550 nm	

TABLA 1.10 Servicios con sus respectivas longitudes de Onda. [54]

1.4.1.3.1 Estructura de una red GPON

Refiérase a la figura 1.41, de derecha a izquierda se observa a la OLT, punto de referencia donde se fija el interfaz de nodo de servicio (SIN) y por donde ingresarán los servicios para ser transmitidos a la red óptica GPON. La OLT se interconecta por medio de la ODN (*Optical Distribution Network*), que contempla a los *splitters* y demás elementos pasivos, a los equipos finales ONTs donde se establece el interfaz de usuario de red (UNI). La interfaz de referencia (IF_{PON}) está entre los puntos de referencia S/R y R/S, soporta todos los protocolos necesarios para una correcta comunicación entre la OLT y el ONT; y en general todo esto constituye una red GPON.

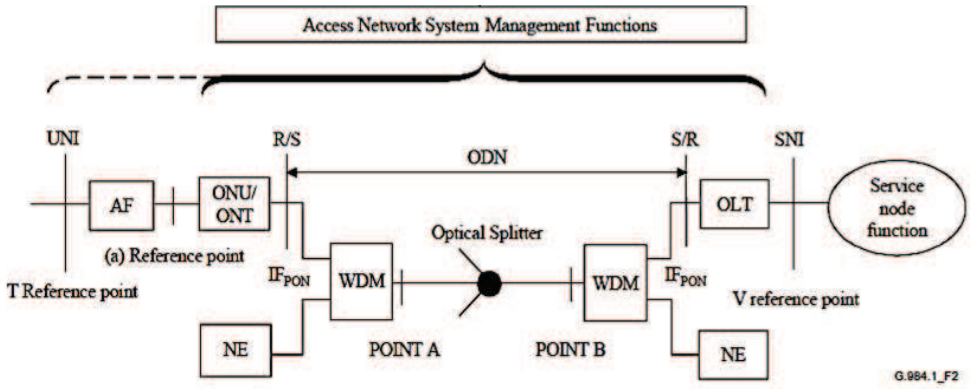


FIGURA 1.41 Infraestructura de una red GPON. [55]

[24] *Scrambling*: Técnica utilizada para destruir secuencias largas de 1s o 0s, creando una secuencia pseudoaleatoria a partir de la secuencia original.

Donde:

ONU *Optical Network Unit*

ONT *Optical Network Terminal*

ODN *Optical Distribution Network*

OLT *Optical Line Termination*

WDM *Wavelength Division Multiplex Module*

NE *Network Element,* utilizado para las diferentes longitudes de onda.

AF *Adaptation Function,* ciertas veces incluido en el ONT/ONU.

SNI *Service Node Interface*

UNI *User Network Interface*

S Punto de conexión óptica justo después de la OLT en *downstream* y después del ONT/ONU en *upstream*.

R Punto de conexión óptica justo antes del ONT/ONU en *downstream* y antes de la OLT en *upstream*.

1.4.1.3.2 Recomendaciones de la ITU-T para la tecnología GPON

Las recomendaciones para la tecnología GPON se resumen en la figura 1.42.

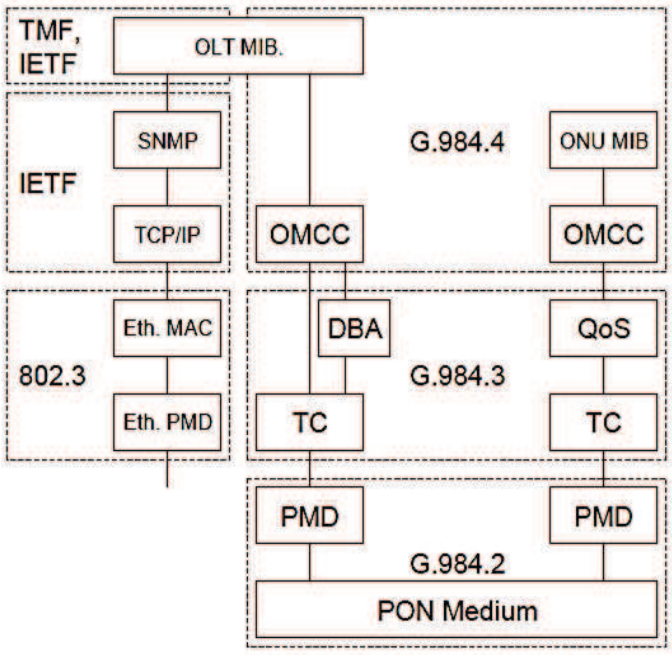


FIGURA 1.42 Funciones comunes de una red GPON. [55]

- **Recomendación G.984.1** Características Generales
- **Recomendación G.984.2** Especificaciones de la Capa PMD (*Physical Media Dependent*)
- **Recomendación G.984.3** Especificaciones de la capa TC (*Transmission Convergence*)

Esta recomendación es muy importante ya que además de otros factores precisa el mecanismo de encapsulamiento de las redes ópticas pasivas GPON (G.984), de donde se define el protocolo de transporte síncrono, GEM (*GPON Encapsulation Method*), basado en tramas periódicas de 125 ms, mismo que es una evolución del estándar GFP (*Generic Framing Procedure*[25]) (ITU-T G.7041). Gracias a este encapsulamiento GPON es compatible con diferentes tecnologías como son: TDM, SONET, SDH, Ethernet 10/100 Base T, ATM, entre otras; permitiendo la reutilización de sus equipos que se encuentran funcionando en ese momento.

En el canal descendente la OLT es quien multiplexa las tramas GEM en el medio de transmisión usando GEM Port-ID y las envía a los ONTs existentes, los cuales utilizan este identificador, Port-ID, para diferenciar las que le pertenecen.

En el canal ascendente se utiliza T-CONT (*Transmission Container)*, donde el tráfico proveniente del ONT es identificado por un Alloc-ID. Obsérvese la figura 1.43.

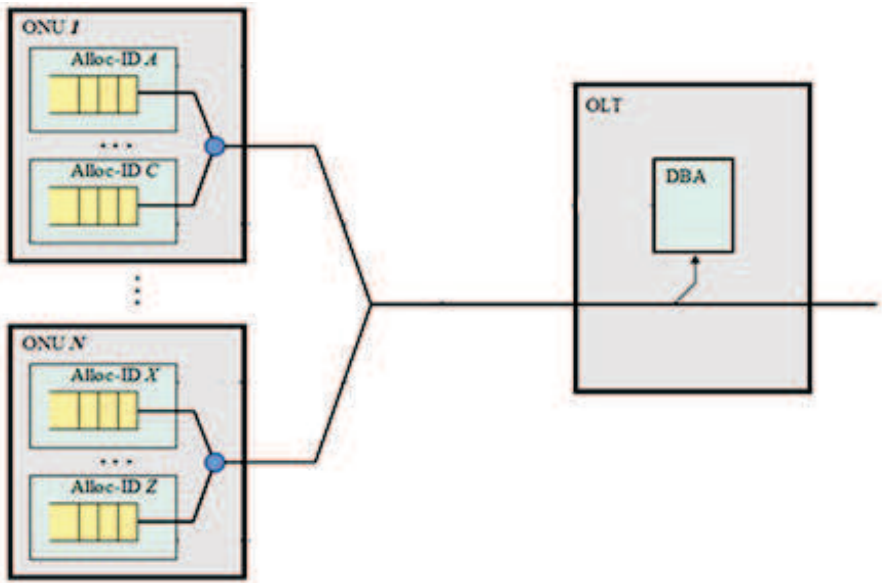


FIGURA 1.43 Identificador Alloc-ID. [56]

Existen cinco tipos de T-CONTs que tienen diferentes formas de asignar el ancho de banda según los servicios, como se observa en la tabla 1.11.

[25] GFP (*Generic Framing Procedure*) es un mecanismo genérico de entramado que adapta las señales de los clientes de una capa superior sobre redes de transporte como SDH, PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*) y OTN (*Optical Transport Network)*.

T-CONT		Asignación de Ancho de Banda	Servicios	Sensible a los retardos
Tipo 1	**Tipo 5** Es la mezcla de todos	Fijo	Voz y Video	Si
Tipo 2		Garantizado	Video o Datos de alta prioridad	No
Tipo 3		Garantizado	Video o Datos de alta prioridad	No
Tipo 4		Mejor Esfuerzo	Servicios de Baja Prioridad, Internet	No

TABLA 1.11 Tipos de T-CONT. [56]

- **Recomendación G.984.4** Especificación de las interfaces de administración y control del ONT.

  En esta recomendación se define la OMCI (ONT *Management and Configuration Interface*), MIB (*Management Information Base*), OMCC (ONT *Management Communication Channel*).

La seguridad en la red GPON parte de la necesidad de ofrecer confidencialidad, misma que está en riesgo por el hecho de que en el canal descendente la OLT envía su información como un *broadcast* hacia todos los ONTs conectados a la misma, por lo que se puede producir un ataque de espionaje donde alguien coloque un ONT y obtenga todo el tráfico de la red. Ante esto GPON utiliza el algoritmo de encripción AES, únicamente el *payload* de las tramas GEM es encriptado, su cabecera no.

Como ya se describió anteriormente la OLT y el ONT tienen configurado un Port-ID donde se ha establecido una key o llave, almacenada en un registro denominado *active_key_registers*, este registro es el que el algoritmo de cifrado utiliza para que únicamente el ONT propietario de esas tramas las retenga y las lea.

GPON ofrece una potente función OAM, extremo a extremo, desde la OLT hasta el ONT, donde existen mensajes PLOAM, antes descritos, mismos que envían la clave en dos piezas, debido a que es limitado en longitud, indicando en el campo de fragmentación la parte de la clave que se está enviando, ambas partes se transmiten tres veces por redundancia. En la tabla 1.12 se presenta un resumen de las tecnologías PON descritas, comparándolas en sus características más importantes.

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

TABLA 1.12 Comparación de las tecnologías PON. [57]

1.4.2 VENTAJAS DE UNA RED PON

- Una red PON al constituirse con el medio de transmisión fibra óptica es inmune a las interferencias electromagnéticas, mejorando así las características de los servicios.
- Las redes GPON mediante la topología árbol-rama, donde se tiene un canal principal que llega al punto de derivación distribuyéndose a cada uno de los usuarios, permite minimizar el tendido de fibra utilizada hasta el abonado.
- Con el estándar GPON se obtiene velocidades de transmisión de 40 Mbps o más para cada suscriptor, velocidad que se incrementará con el transcurso de los años.
- Además las redes GPON son las indicadas para todo tipo de servicio, sea éste sensible o no a los retardos, permitiendo manejarlos según sus requerimientos sin desaprovechar los recursos de la red.

- El alcance de las redes PON es de 20 Km desde la oficina central al usuario, superando a tecnologías que en la actualidad son fuertes en el mercado como ADSL cuya máxima distancia es de 5.5 Km.[58]
- Para las redes PON se puede ver inmerso un gasto considerable en el tendido de fibra. Sin embargo, por ser una red pasiva remplazando los elementos activos, el mantenimiento y la variedad de servicios que se pueden obtener compensan tal inversión.

1.5 TECNOLOGÍAS FTTx [5] [9] [51]

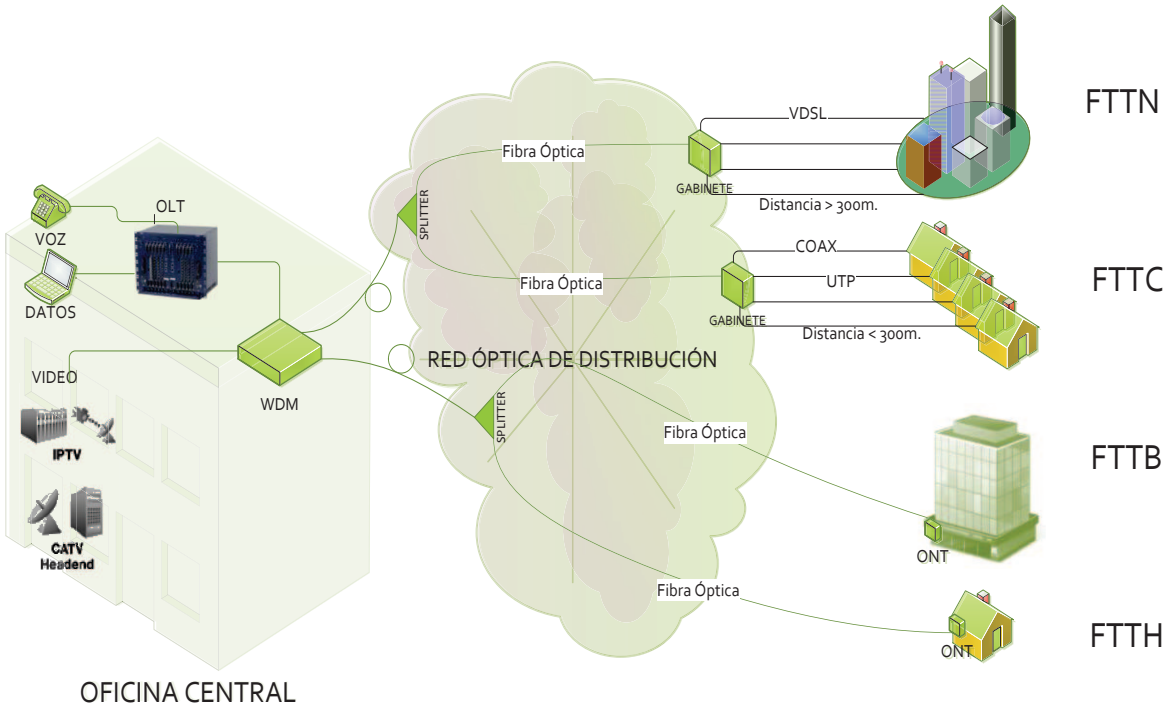


FIGURA 1.44 Tecnologías FTTx.

Las siglas FTTx, representan en general un conjunto de tecnologías de banda ancha, donde es utilizada la fibra óptica en diferentes secciones y distancias, que comprenden el bucle local de abonado de un sistema de telecomunicaciones (red de acceso).

Las tecnologías FTTx han tenido un amplio desarrollo en los últimos años debido al constante crecimiento en la demanda de servicios y distancias que se deben cubrir. Como se indicó en secciones anteriores solo se pueden alcanzar con la utilización de fibra óptica. Unos de los principales detonantes para que estas tecnologías estén actualmente en auge son los denominados servicios *Triple Play*

(Voz, Datos y Video). Además que con este tipo de tecnologías se ofrece una capacidad de crecimiento a futuro bastante amplia, ya que con la combinación de otras tecnologías como lo son WDM y GPON se pretende que este tipo de redes sigan desarrollándose en el futuro.

Las tecnologías FTTx se han diferenciado según las configuraciones que se pueden presentar teniendo entre las más utilizadas las que se observan en la figura 1.44 y se describen a continuación:

a) FTTN *Fiber-To-The-Node*

Es una plataforma conocida también como *Fiber To The Neighborhood*, ya que con este tipo de tecnología se puede llegar a servir a algunos miles de subscriptores. La característica de FTTN es que la fibra óptica llegue hasta un gabinete de telecomunicaciones desde el cual se distribuye a los clientes a través de cable coaxial o cable UTP, en un radio no mayor de 1500 m.

b) FTTC *Fiber-To-The-Curb / Fiber-To-The-Cabinet*

Es una plataforma de telecomunicaciones basada en fibra óptica con la cual se puede servir a unas centenas de subscriptores. El cable de fibra óptica llega a un armario de distribución que está situado a no más de un radio de 300 m y desde éste es distribuido a los subscriptores ya sea por cable coaxial, cable UTP o redes *wireless.*

c) FTTB *Fiber-To-The-Building or Fiber-To-The-Basement*

Este término es únicamente aplicable a lugares que están compuestos por más de una residencia o lugar de trabajo, es decir edificios constituidos por oficinas o viviendas.

Ilustrado en la figura 1.45, en FTTB la fibra óptica alcanza hasta el edificio, cuarto de equipos del mismo o cuarto de máquinas, pero sin llegar a alcanzar el lugar mismo donde el subscriptor se encuentra ubicado, con lo cual se puede servir a unas decenas de subscriptores a la vez.

La distribución interna del servicio se la realiza de acuerdo a la infraestructura que éste posea ya sea mediante cable UTP, redes *wireless*, cable coaxial o líneas eléctricas.

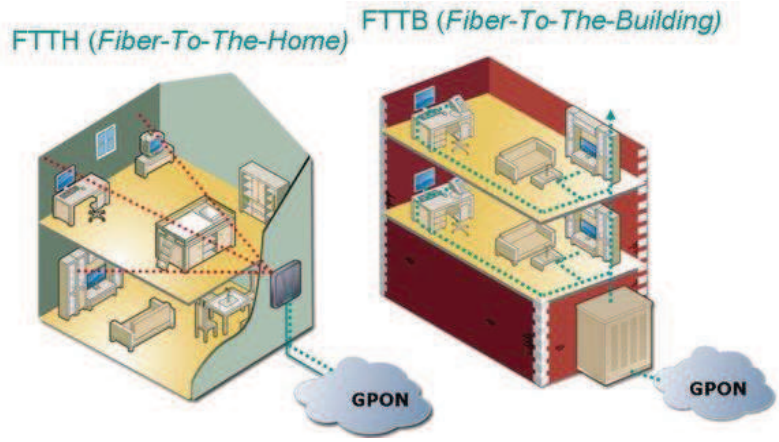


FIGURA 1.45 Distribución hacia el usuario FTTH y FTTB. [59]

d) FTTH *Fiber-To-The-Home*

Al igual que FTTB, FTTH procura alcanzar el punto más cercano al subscriptor logrando así llegar al lugar de vivienda o trabajo del mismo. Con FTTH se ha conseguido tener un enlace que se extiende desde la oficina central del proveedor de servicios hasta el lugar de la vivienda, obsérvese la figura 1.45.

FTTH es una tecnología capaz de servir a un único subscriptor por fibra óptica, con lo cual se logra que dicho cliente pueda disponer de un canal con un mejor ancho de banda y por ende con una mayor velocidad.

Al interior del lugar de vivienda la distribución del servicio se la puede realizar mediante cable UTP, cable coaxial, redes *wireless*, entre otras.

FTTH ha logrado expandirse mucho en los últimos años, es así que para el año 2011 se tenían alrededor de 74 millones de accesos implementados con esta tecnología[26], distribuidos como se observa en la tabla 1.13 y figura 1.46.

Lugar	Millones de Accesos
Asia	54.3
EEUU/Canadá	9.7
Rusia y Vecinos	5.7
Europa	4.5
TOTAL	74.2

TABLA 1.13 Distribución mundial de FTTH. [60]

[26] Ya en el año 2011, el 12,5% de los accesos de banda ancha fija en el mundo eran FTTH/B.

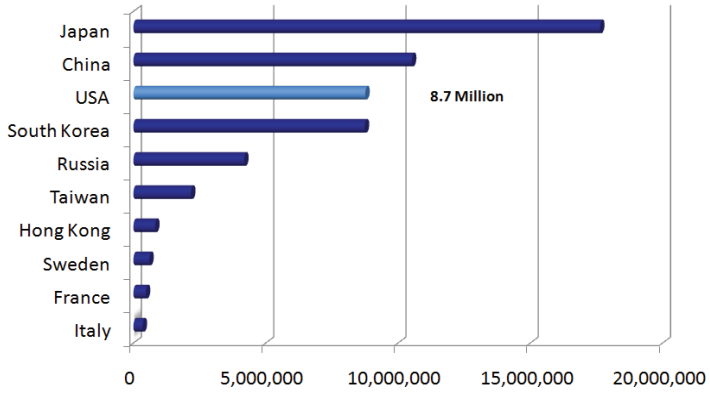


FIGURA 1.46 Países que han acogido FTTH. [61]

e) FTTD *Fiber-To-The-Desk*

En este tipo de tecnología se alcanza el punto de comunicaciones que se encuentra cerca al escritorio de trabajo con la utilización de fibra óptica. La desventaja de FTTD es el cableado interno así como las interfaces de los equipos, ya sean éstos PCs, teléfonos o televisores.

1.6 SERVICIOS *TRIPLE PLAY* [10] [11]

Triple Play comprende los servicio de voz, datos y video, como se observa en la figura 1.47, pero no por separado u ofrecidos por diferentes proveedores, sino funcionando sobre una única infraestructura de transmisión de datos respetando los requerimientos de calidad para cada uno de ellos. Se requiere actualmente de una red convergente por medio de la cual se puedan transmitir los tres servicios en uno, éstos en su conjunto se los denomina servicios *Triple Play*.

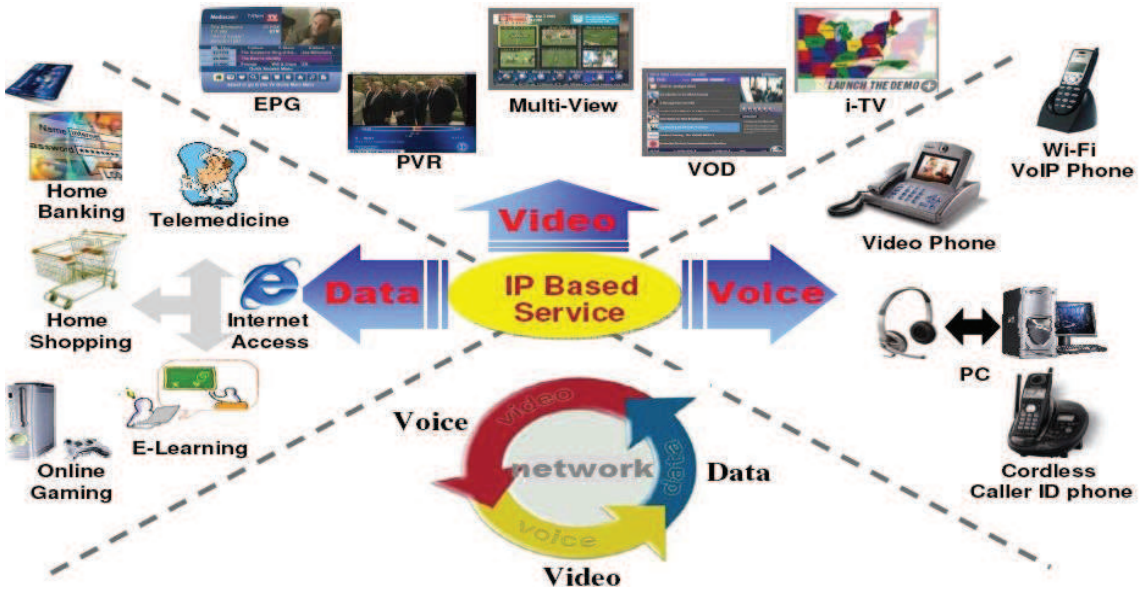


FIGURA 1.47 Convergencia de servicios. [62]

1.6.1 REQUERIMIENTOS DE LOS SERVICIOS

En la tabla 1.14 se describen los requerimientos de los servicios que comprenden el *Triple Play*:

Servicios *TRIPLE PLAY*	Capacidad		Latencia	Pérdida de Paquetes	Prioridad
DATOS Internet	Elevado	1/10 Mbps	Robusto	Aceptable	NO
VOZ Telefonía	Reducido	64 Kbps	Sensible menor a 400ms	NO es aceptable	SI
VIDEO Televisión	Elevado	TV SD[27] MPEG 2 -- 2/4 Mbps MPEG 4 -- 1/2 Mbps	Sensible	NO es aceptable	SI
		TV HD[28] MPEG 2 -- 16/20 Mbps MPEG 4 -- 6/9 Mbps			
CAPACIDAD TOTAL *TRIPLE PLAY*		20 Mbps aprox			

TABLA 1.14 Requerimientos de los servicios *Triple Play*. [63]

Como se puede observar son diferentes los requerimientos para el servicio de voz, datos y video por lo que se necesita priorizarlos utilizando Calidad de Servicio QoS[29].

El contrato que especifica los parámetros de calidad de servicio, a los que se compromete a ofrecer un proveedor, se denomina SLA (*Service Level Agreement*), si no existe acuerdo alguno el proveedor estará ofreciendo un servicio de Mejor Esfuerzo.

1.6.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PAQUETE *TRIPLE PLAY*

Las grandes ventajas de los servicios *Triple Play* se enlistan a continuación:

- Al ser una única infraestructura su implementación es de menor costo a comparación de tres infraestructuras diferentes para cada servicio.

[27] SDTV (*Standard-Definition Television*): Precede a HDTV por lo que es un formato de baja resolución y su imagen se presenta en líneas alternas, la proporción entre el ancho y altura de la imagen es de 4:3.
[28] HDTV (*High Definition Television*): Formato de alta definición digital, la resolución del contenido en HDTV es mayor al doble de la resolución de SDTV, su imagen se presenta en líneas que salen al mismo tiempo, la proporción entre el ancho y altura de la imagen es de 16:9.
[29] Según la ITU E.800 describe a la calidad de servicio como “El Efecto Global de las prestaciones de servicio que determinan el grado de satisfacción de un usuario al utilizar dicho servicio”; según la IETF RFC (*Request for Comments*) 2386 QoS es “Conjunto de requisitos del servicio que debe cumplir la red en el transporte de un flujo”. [64]

- Por la misma razón es mucho más sencillo y más eficiente, para el proveedor, la administración de la infraestructura y por ende la resolución de problemas técnicos.
- Se aprovecha al máximo la red al transmitir los servicios actualmente más demandados.
- En cuanto al cliente es más fácil manejar una única factura, por los servicios *Triple Play* adquiridos, emitida por un solo proveedor.
- La fidelización[30] de los clientes hacia un único proveedor.
- En el mercado de las telecomunicaciones se tendrán precios más competitivos donde se oferten paquetes de servicios conforme a las exigencias del usuario.

Las desventajas que afronta este paquete de servicios son:

- Si se tienen defectos técnicos debido a terrorismo, catástrofes naturales, accidentes u otros en la única infraestructura que transporta los servicios *Triple Play*, se interrumpirán los mismos dejando inoperable a la red. Para ello se debe dimensionar adecuadamente la red incluyendo calidad de servicio, valerse de un *backup* que lo respalde ante daños que a diario suceden.
- Para poder hacer que servicios con diferentes necesidades en cuanto a velocidades, retardos, entre otros puedan coexistir dentro de una misma infraestructura de red, se requiere priorizar la administración de QoS, lo que implica tener un amplio conocimiento de su manejo e implementación.

[30] La fidelización es el fenómeno por el que un público determinado permanece fiel a la compra de un producto o servicio de una forma continua o periódica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPÍTULO I

- **Textos**

[1] CARLSON, A. Bruce. CRILLY, Paul. RUTLEDGE, Janet. *Sistemas de Comunicación*. Editorial MCGRAW-HILL. México.

[2] MSc. JIMÉNEZ, María Soledad. *Comunicación Digital*. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

[3] GREEN, Paul. *Fiber to the Home.* Editorial John Wiley & Sons. Canadá.

[4] LIN, Chinlon. *Broadband, Optical Access Networks and Fiber to the Home,* Editorial John Wiley & Sons. Inglaterra.

[5] FTTH Council Europe. *FTTH Handbook.* Cuarta edición. 2011.

[6] MSc. JIMÉNEZ, María Soledad. *Comunicaciones Ópticas*. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

- **Proyectos de Titulación**

[7] RIVERA, Cheryl. “Multiplexión por División de Longitud de Onda”. Universidad Francisco Marroquin, Guatemala, 2002.

[8] LABEAGA, Héctor. ‘’Estudio de la viabilidad técnico-económico para la implantación de una red Triple Play en el municipio de Castelldefels”. Universidad Politécnica de Cataluña, España, 2007.

[9] MARCHUKOV, Yaroslav. “Desarrollo de una aplicación gráfica para el diseño de infraestructuras FTTH”. Universidad Politécnica de Valencia, España, 2011.

[10] AYALA, Yolanda. “Diseño y Simulación de una red de acceso EPON para servicios Triple Play para el sector de “La Mariscal”. Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2011.

[11] QUISHPE, Alejandra. VINUEZA, Nuvia. “Estudio de factibilidad de una red de acceso para servicios Triple Play en el sector central de la ciudad de Ibarra, mediante la combinación de las tecnologías FTTx”. Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2010.

- **Páginas Web**

[12]http://www.videovigilancia.com.mx/ventaonline/cable-coaxial-rg-59u-95-malla-de-cobre (*consultada a septiembre de 2012*)

[13] http://esp.hyperlinesystems.com/catalog/cable/utp-c5e-p.shtml (*consultada a septiembre de 2012*)

[14]http://www.scientificsatellite.net/detalle/fibra-optica-adss-mono-modo-power-guide-tth-6-fibras.html (*consultada a septiembre de 2012*)

[15] http://www.monografias.com/trabajos12/reina/reina.shtml (*consultada a septiembre de 2012*)

[16] http://www.academiatesto.com.ar/cms/espectro-electromagnetico (*consultada a septiembre de 2012*)

[17] http://www.slideshare.net/isangi987/fibra-13103192 (*consultada a septiembre de 2012*)

[18]http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/modules/ps5455/white_paper_c11-463661.html (*consultada a septiembre de 2012*)

[19]http://www.popsci.com/science/article/2012-01/video-new-quantum-dot-tech-could-boost-current-optical-fiber-band-tenfold (*consultada a septiembre de 2012*)

[20] http://in-novaredcorsaje.blogspot.com/2009/06/fibras-opticas.html (*consultada a septiembre de 2012*)

[21]http://ec.kalipedia.com/ecologia/tema/propagacion-luz.html?x=20070924klpcnafyq_373.Kes&ap=4 (*consultada a septiembre de 2012*)

[22] http://www.yio.com.ar/fibras-opticas/ (*consultada a septiembre de 2012*)

[23] http://www.fiberoptics4sale.com/wordpress/basic-optics-for-optical-fiber/ (*consultada a septiembre de 2012*)

[24] http://www.scielo.cl/pdf/ingeniare/v15n3/art14.pdf (*consultada a septiembre de 2012*)

[25] http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/atmos/blusky.html (*consultada a septiembre de 2012*)

[26] http://www.siemon.com/la/white_papers/08-03-03-light-it-up.asp (*consultada a septiembre de 2012*)

[27] http://www.itu.int/md/T05-TSB-CIR-0240/es (*consultada a septiembre de 2012*)

[28] http://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-200911-I/es (*consultada a septiembre de 2012*)

[29]http://www.invocom.et.put.poznan.pl/~invocom/C/P1-9/swiatlowody_pl/p1-1_3_4.htm (*consultada a septiembre de 2012*)

[30] http://www.itu.int/rec/T-REC-G.653 (*consultada a septiembre de 2012*)

[31] http://www.thorlabs.com/NewGroupPage9.cfm?objectgroup_id=5719 (*consultada a septiembre de 2012*)

[32] http://www.itu.int/rec/T-REC-G.654-201007-I/es (*consultada a septiembre de 2012*)

[33] http://www.itu.int/rec/T-REC-G.655-200911-I/es (*consultada a septiembre de 2012*)

[34] http://www.itu.int/rec/T-REC-G.656/es (*consultada a septiembre de 2012*)

[35] http://www.itu.int/rec/T-REC-G.657/es (*consultada a septiembre de 2012*)

[36] http://www.textoscientificos.com/redes/fibraoptica/tiposfibra (*consultada a septiembre de 2012*)

[37]http://www.guiadelaindustria.com/producto/cables-para-telecominicacion-nexans-indelquin/56011 (*consultada a septiembre de 2012*)

[38] http://www.gkzhan.com/st1324/product_27650.html (*consultada a septiembre de 2012*)

[39] http://www.ecn.es/conddes/araweld.php (*consultada a septiembre de 2012*)

[40]http://fullcables.com/84-cable-fibra-optica-monomodo-exterior-armado-12-fibras.html (*consultada a septiembre de 2012*)

[41]http://es.made-in-china.com/co_flyin-optronics/product_1x2-Coupler_hohssshug.html (*consultada a septiembre de 2012*)

[42] http://oakkar7.wordpress.com/2010/01/14/pon-splitter-basic/ (*consultada a septiembre de 2012*)

[43] http://www.sznetcom.net/en/newsview.asp?id=10 (*consultada a septiembre de 2012*)

[44]http://www.dipolnet.com/single-mode_pigtail_ultimode_pg-51s_1_x_sc_9-125__L3551.htm (*consultada a septiembre de 2012*)

[45]http://www.asianproducts.com/company/index.php?op=autoplay&cno=A11629729628208825&item_id=P11632372363666311 (*consultada a septiembre de 2012*)

[46]http://marismas-emtt.blogspot.com/2011/11/que-en-los-proximos-meses-vamos-manejar.html (*consultada a septiembre de 2012*)

[47] http://thefoa.org/tech/ref/appln/transceiver.html (*consultada a septiembre de 2012*)

[48] http://en.wikipedia.org/wiki/File:PON_vs_AON.png (*consultada a septiembre de 2012*)

[49]http://www.telnet-ri.es/soluciones/acceso-gpon-y-redes-ftth/pon-passive-optical-networks/ (*consultada a septiembre de 2012*)

[50]http://www.cicomra.org.ar/cicomra2/expocomm/TUTORIAL%209%20Lattanzi%20y%20Graf-%20IEEE.pdf (*consultada a septiembre de 2012*)

[51]http://www.gatv.ssr.upm.es/stelradio/STEL/adjuntos/apuntes/4_sistemas_acceso_opticos_xpon.pdf (*consultada a septiembre de 2012*)

[52]http://www.todotecnologia.net/wp-content/uploads/2010/06/Definicion_caracteristicas_PON_APOn_BPON_GEPON_GPON_EPON.pdf (*consultada a septiembre de 2012*)

[53] http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2638/4/T-ESPE-029828-1.pdf (*consultada a septiembre de 2012*)

[54] http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.5-200709-I/en (*consultada a septiembre de 2012*)

[55] http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1-200803-I/en (*consultada a septiembre de 2012*)

[56] http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.3-200803-I/en (*consultada a septiembre de 2012*)

[57] http://www.ramonmillan.com/documentos/gpon.pdf (*consultada a septiembre de 2012*)

[58]http://whatis.techtarget.com/reference/Fast-Guide-to-DSL-Digital-Subscriber-Line (*consultada a septiembre de 2012*)

[59] http://www.ramonmillan.com/tutoriales/fttbvdsl2.php (*consultada a septiembre de 2012*)

[60]http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=ftth%20asia%2054.3%20russia%205.7&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCgQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.huawei.com%2Filink%2Fbr%2Fdownload%2FHW_193139&ei=d_WFUJaLJI-y8AT5jYCQCQ&usg=AFQjCNHBWpS0kSMbulCXAU2HG6b8mSi7Gw (*consultada a septiembre de 2012*)

[61] http://www.emb.cl/channelnews/articulo.mvc?xid=2334 (*consultada a septiembre de 2012*)

[62]http://www.panoramaaudiovisual.com/es/2010/09/07/tangotec-ofrece-distribucion-de-triple-play-bajo-cualquier-red-ya-existente/ (*consultada a septiembre de 2012*)

[63] http://www.slideshare.net/leandrofiuba/servicio-triple-play-1684001 (*consultada a septiembre de 2012*)

[64] http://www.ietf.org/rfc.html (*consultada a septiembre de 2012*)

[65] http://www.adminso.es/index.php/3.1_Arquitectura_IntServ_y_Protocolo_RSVP (*consultada a septiembre de 2012*)

[66] http://www.hep.ucl.ac.uk/~ytl/qos/diffserv_01.html (*consultada a septiembre de 2012*)

CAPÍTULO II
DISEÑO DE LA RED DE ACCESO

En este capítulo se realiza el diseño de la red de acceso para el centro de la ciudad de Ambato. Mediante encuestas se determina la población inicial y requerimientos de los usuarios, con lo cual se procede a seleccionar las mejores tecnologías y características de los elementos que comprenden la red. Finalmente se verifica con un análisis de balance de potencias que la red opere dentro de los límites establecidos.

2.1 DELIMITACIÓN DEL SECTOR CENTRO EN AMBATO [74]

El cantón Ambato capital de la provincia de Tungurahua, está ubicado en la región sierra del Ecuador. Su población según el censo 2010 del INEC es de 329856 habitantes, concentra a la parroquia Ambato, única parroquia donde existe población urbana que es el mercado potencial del proyecto. Todos estos datos se muestran en la tabla y figura 2.1.

Provincia	Cantón	Parroquia	Urbano	Rural	Total
TUNGURAHUA	AMBATO	Ambatillo	-	5243	5243
		Ambato	165185	13353	178538
		Atahualpa (Chisalata)	-	10261	10261
		Augusto N. Martínez	-	8191	8191
		Constantino Fernández	-	2534	2534
		Cunchibamba	-	4475	4475
		Huachi Grande	-	10614	10614
		Izamba	-	14563	14563
		Juan Benigno Vela	-	7456	7456
		Montalvo	-	3912	3912
		Pasa	-	6499	6499
		Picaihua	-	8283	8283
		Pilaguin (Pilahuin)	-	12128	12128
		Quisapincha (Quizapincha)	-	13001	13001
		San Bartolomé de Pinllo	-	9094	9094
		San Fernando	-	2491	2491
		Santa Rosa	-	21003	21003
		Totoras	-	6898	6898
		Unamuncho	-	4672	4672
		TOTAL	***165185***	***164671***	***329856***

TABLA 2.1 Población Urbana y Rural del cantón Ambato. [74]

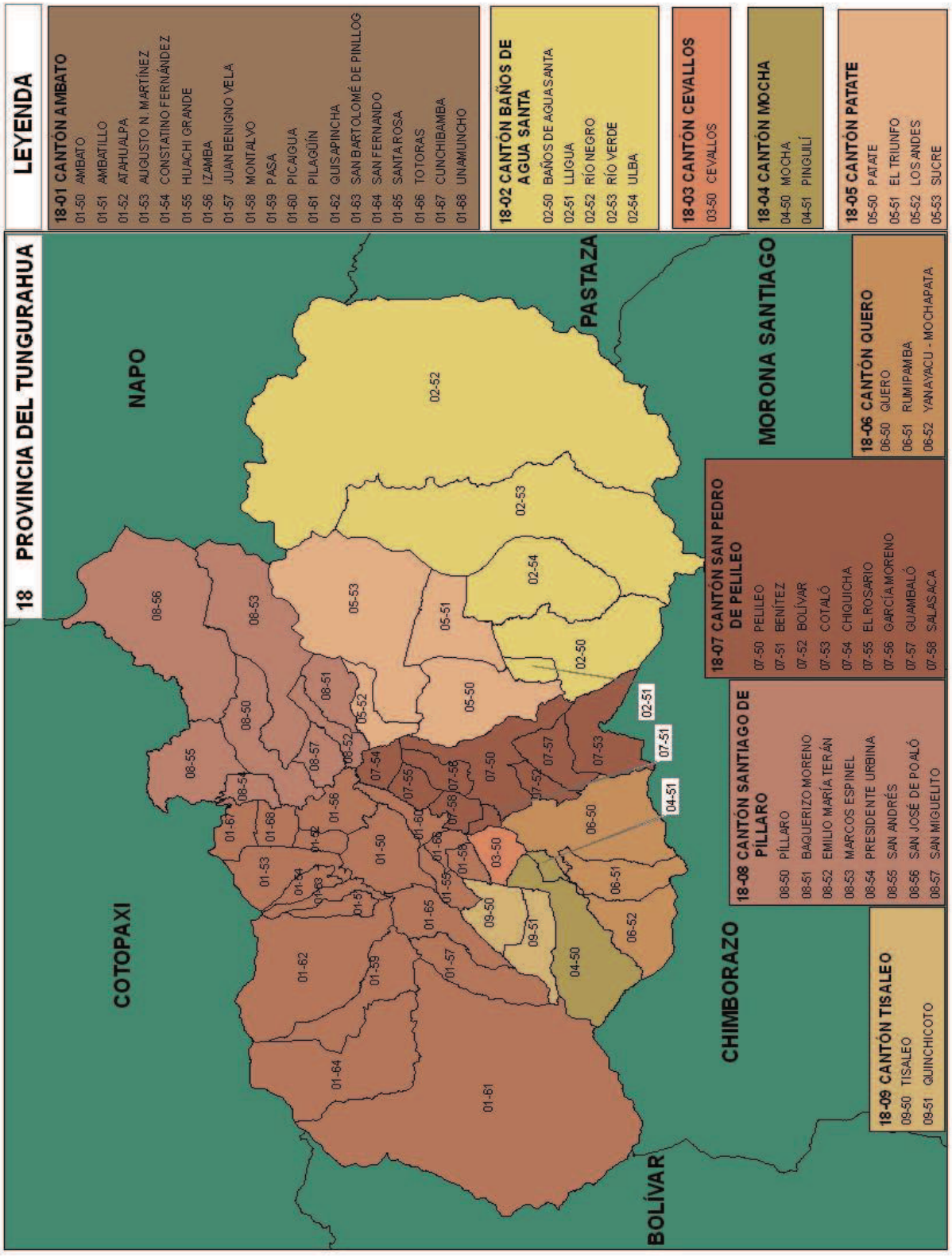


FIGURA 2.1 Distribución cantonal y parroquial de la Provincia de Tungurahua. [74]

Dentro de la parroquia Ambato se localiza el sector céntrico de la ciudad, en la figura 2.2 se lo limita, y corresponde a un área de 2,17 km^2 donde se procederá a diseñar la red de acceso para dos sectores que se diferencian a continuación:

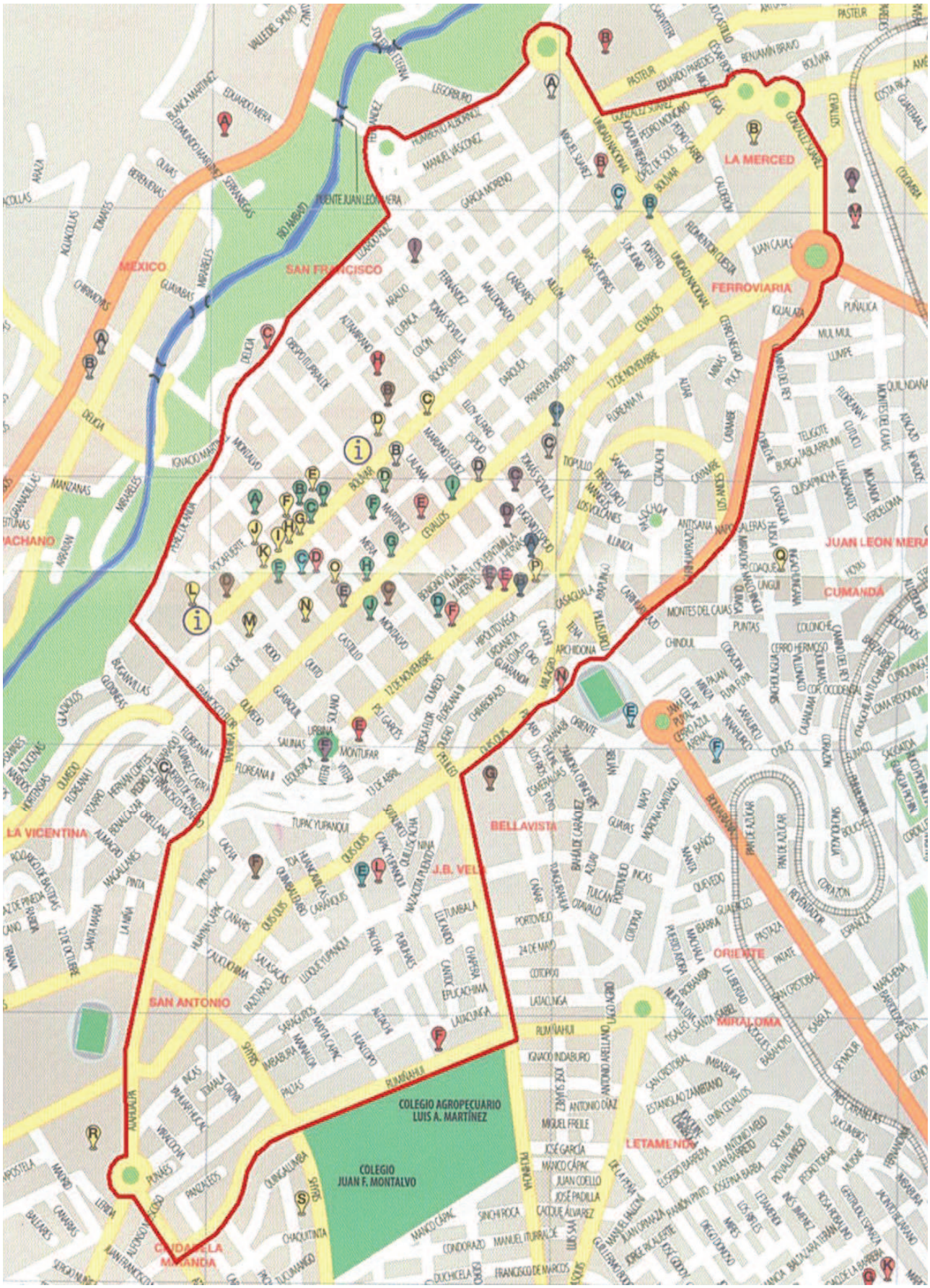


FIGURA 2.2 Delimitación del área para el diseño de la red de acceso.

PUNTOS DE INTERÉS	
Comercios Importantes	• Ambacar • American Trading Corporation • B&v Briones y Villagrán • Emagrovet • Galabusiness • Importadora Lartizco
Centros De Salud	• Clínica del Niño y la Familia • Clínica Santa Cecilia • Clínica Ambato • Clínica San Luis • Clínica Veterinaria Mundo Animal • Clínica Tungurahua • Clínica Metropolitana • Creamedical • PRODONTOMED S.A
Bancos Y Entidades Financieras	• Unibanco • Banco del Austro • Banco Bolivariano • Banco de Machala • Banco Solidario • Cooperativa de Ahorro y Crédito Mushuc Runa • Cooperativa de Ahorro y Crédito Chibuleo • Cooperativa de Ahorro y Crédito CACPET • Cooperativa de Ahorro y Crédito Cámara de Comercio • Cooperativa de Ahorro y Crédito El Sagrario • Cooperativa de Ahorro y Crédito San Francisco • Cooperativa de Ahorro y Crédito Oscus • Cooperativa de Ahorro y Crédito Kullki Wasi
Hoteles	• Hotel Ambato • Hotel Emperador • Gran Hotel • Hotel Nurnberg • Hotel Cevallos • Hotel Sahra Inn • Hotel Tungurahua
Restaurantes	• San Nicolás • Gelatería La Fornance • Parrilladas Ali's (sucursal) • La Buena Mesa
Entidades Educativas	• Colegio Bolívar • Colegio Juan Francisco Montalvo • Colegio Natalia Vaca • Escuela Santa Marianita de Jesús • Universidad Tecnológica Indoamérica

TABLA 2.2 Principales establecimientos del centro de la ciudad de Ambato.

- **Sector Residencial:** En la parroquia Ambato la densidad poblacional es de 3912,82 habitantes/km^2 [75], con el área de 2,17 km^2, fijada anteriormente, se obtienen 8491 habitantes que corresponderán a la población residencial del proyecto.
- **Sector Corporativo:** El centro de la ciudad de Ambato es de gran movimiento comercial ya que posee entidades financieras y educativas, hoteles, restaurantes y comercios en general. Según el catastro de actividades en esta zona se pueden identificar alrededor de 247 entidades, algunas de ellas mencionadas en la tabla 2.2, y que corresponden a la población corporativa.

2.2 TAMAÑO DE LA MUESTRA [69] [71] [74]

2.2.1 SECTOR RESIDENCIAL

La población residencial a considerar es de 8491 habitantes, como se estipuló anteriormente. Con el fin de obtener el número de hogares situados en el área de diseño se requiere el promedio de habitantes por hogar que es de 3,6 [76]; por lo tanto se trabaja con 2359 hogares, población finita con la cual se determina el tamaño de la muestra aplicando la siguiente fórmula [77]:

$$n = \frac{N * {Z_\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N-1) + {Z_\alpha}^2 * p * q}$$

Dónde: **N**: Es el total de hogares que son 2359.

El nivel de confianza $(1-\alpha)$ se lo puede establecer desde el 90% hasta el 99%, mientras mayor sea este valor, mayor será el tamaño de la muestra (n). Por los recursos económicos disponibles y observando que se obtendrá un tamaño de la muestra razonable, se considera el valor de 95% como nivel de confianza, con lo cual, según la tabla de distribución normal Z, se tiene: $\boldsymbol{Z\alpha} = 1{,}96$.

d: Es la precisión, parámetro que equivale al error máximo que influirá en la realidad de los resultados, si este valor es pequeño, mayor será el tamaño de la muestra. Considerando el tiempo y dinero a invertir, se establece el valor del 5% de error máximo, un

valor alto que; sin embargo, se equilibra con el nivel de confianza escogido, para obtener un tamaño de muestra óptimo.

p: Probabilidad de éxito, es la proporción de habitantes que poseen un atributo. Esta variable se puede obtener de datos históricos, que para este proyecto se considera el porcentaje de hogares que disponen del servicio de Internet en el cantón Ambato y que es del 13,11% [75].

q: Proporción de hogares que no tienen servicio de Internet, es decir (1-p).

n: Tamaño de la muestra.

Entonces:

$$n = \frac{2359 * 1{,}96^2 * 0{,}131 * 0{,}869}{0{,}05^2 * (2359 - 1) + 1{,}96^2 * 0{,}131 * 0{,}869}$$

$$n = 165{,}42$$

Se realizará para el sector residencial un total de 165 encuestas, el modelo del cuestionario se muestra en el Anexo 1.

2.2.2 SECTOR CORPORATIVO

La población corporativa considerada para el diseño consta de un total de 247 entidades, ubicadas en el casco central de la ciudad de Ambato, entonces se determina el tamaño de la muestra aplicando la siguiente fórmula [77]:

$$n = \frac{N * {Z_\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + {Z_\alpha}^2 * p * q}$$

Dónde: **N**: Es el total de corporaciones que son 247.

El nivel de confianza $(1 - \alpha)$ será igualmente del 95% y según la tabla de distribución normal Z se tiene que: $\boldsymbol{Z\alpha} = 1{,}96$.

d: Precisión, se considera el valor del 5% de error máximo.

p: Probabilidad de éxito, es la proporción de corporaciones que poseen un atributo. Se considera el porcentaje de corporaciones que

disponen del servicio de Internet en el cantón Ambato y que según el INEC censo 2010 es del 10,69% [78].

q: Proporción de corporaciones que no tienen servicio de Internet, es decir (1-p).

n: Tamaño de la muestra.

Entonces:

$$n = \frac{247 * 1{,}96^2 * 0{,}107 * 0{,}893}{0{,}05^2 * (247 - 1) + 1{,}96^2 * 0{,}107 * 0{,}893}$$

$$n = 92{,}32$$

Se realiza para el sector corporativo un total de 92 encuestas, el modelo del cuestionario se muestra en el Anexo 2.

Las encuestas a realizarse, en los dos sectores, pretenden determinar el grado de aceptación del proyecto, los servicios que poseen y los que desearían tener posteriormente los hogares y entidades, el valor que estarían dispuestos a pagar por el paquete *Triple Play*, además de estimar la hora pico para el correcto dimensionamiento de la red.

2.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

2.3.1 SECTOR RESIDENCIAL

2.3.1.1 Características de los servicios que actualmente poseen los hogares

Con los resultados de las encuestas, realizadas a 165 hogares, se distinguen los paquetes que disponen los mismos, independientemente si uno o varios servicios son o no administrados por un mismo proveedor, y que se consideran en el próximo capítulo, siendo éstos los siguientes:

- Paquete A: Telefonía
- Paquete B: Internet
- Paquete C: TV suscrita
- Paquete D: Telefonía + Internet
- Paquete E: Telefonía + TV suscrita
- Paquete F: Internet + TV suscrita
- Paquete G: Telefonía + Internet + TV suscrita

Cada posible combinación de servicios es designada con una letra, con la finalidad de llevar una apropiada identificación, en adelante únicamente se utilizará dicha letra cuando se refiera a algún paquete.

En la figura 2.3 se aprecian los porcentajes de cada paquete y en la tabla 2.3 se exponen las características de cada uno de ellos. El servicio telefónico es proporcionado en su totalidad por la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT), la mayoría de los hogares pagan una tarifa entre 10 a 20 dólares mensuales. El servicio de Internet lo provee el Grupo TVCable, Speedy y la CNT, siendo esta última la que cubre la mayor parte del mercado, Speedy es un ISP que revende el Internet proporcionado por la CNT, gran parte de los hogares disponen de 1 Mbps de capacidad de Internet. En cuanto al servicio de TV suscrita los proveedores del mismo son: Grupo TV Cable, CNT y Directv, los hogares gozan de entre 50 a 100 canales.

Características		PAQUETES DE SERVICIOS						
		A	B	C	D	E	F	G
Usuarios		24	6	8	56	8	2	61
%		14,55	3,64	4,85	33,94	4,85	1,21	36,97
Costo mensual de telefonía $	*10-20*	16			26	7		21
	20-30	8			20	1		27
	30 o más				10			13
Capacidad	*128 Kbps - 256 Kbps*		1		3			5
	256 Kbps - 512 Kbps				8			17
	512 Kbps – 1 Mbps		4		20		1	14
	1 Mbps – 2 Mbps				19		1	17
	2 Mbps – 4 Mbps				5			3
	Mayor a 4 Mbps		1		1			5
Número de Canales	*menos de 50*			4		4	1	17
	50 - 100			3		4	1	32
	100 - 150			1				7
	150 o más							5

TABLA 2.3 Clientes residenciales que poseen los diferentes paquetes de servicios.

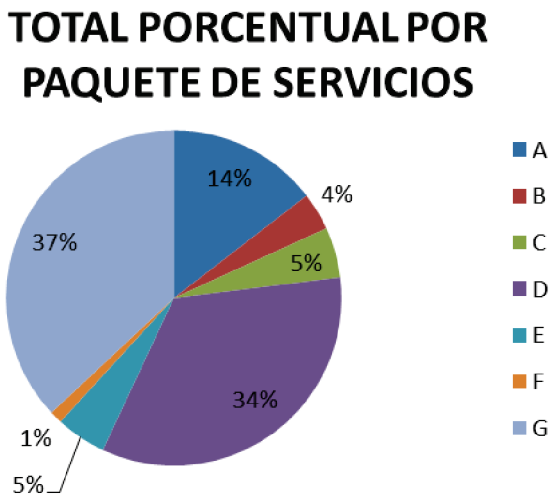


FIGURA 2.3 Relación porcentual de los diferentes paquetes de servicios, sector residencial.

2.3.1.2 Horarios de mayor utilización de los diferentes servicios

Con los resultados mostrados en la tabla 2.4 se pretende determinar el horario con mayor tráfico debido al uso simultáneo de los diferentes servicios por parte de los usuarios. Este dato es necesario para realizar un correcto dimensionamiento de la red optando por la mejor tecnología que abastezca los requerimientos de capacidad para cada usuario.

HORARIOS	PAQUETE DE SERVICIOS		
	Telefonía	Internet	TV Suscrita
Mañana 10:00 a 12:00	50	26	17
Tarde 16:00 a 18:00	80	71	32
Noche 21:00 a 23:00	72	91	59

TABLA 2.4 Horarios de utilización de los servicios, sector residencial.

FIGURA 2.4 Representación de los horarios de utilización del servicio telefónico, sector residencial.

De todos los hogares que disponen del servicio de telefonía, como se observa en la figura 2.4, la tarde es el horario donde más se utiliza este servicio; sin embargo, cabe considerar que en la noche también existe un alto grado de uso del servicio.

De los 125 hogares que disponen del servicio de Internet, dentro de su paquete, se observa que en la noche está el horario con mayor tráfico, refiérase a la figura 2.5. Este dato se utiliza para obtener el porcentaje de simultaneidad del servicio de Internet, el cual servirá para el cálculo de la capacidad requerida por los potenciales usuarios residenciales, y se determina de la siguiente forma:

$$Ps = \frac{91}{125}\ x\ 100\%$$

$$Ps = 72{,}8\ \%$$

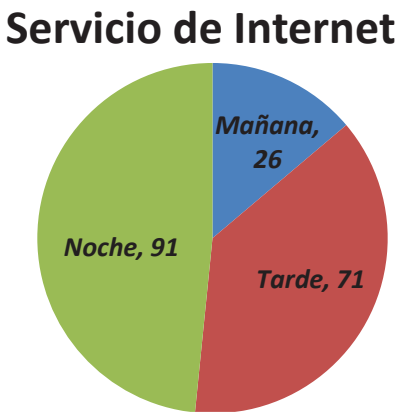


FIGURA 2.5 Representación de los horarios de utilización del Internet, sector residencial.

De todos los hogares que disponen del servicio de TV suscrita, como se observa en la figura 2.6, la noche es el horario donde más utilizan este servicio.

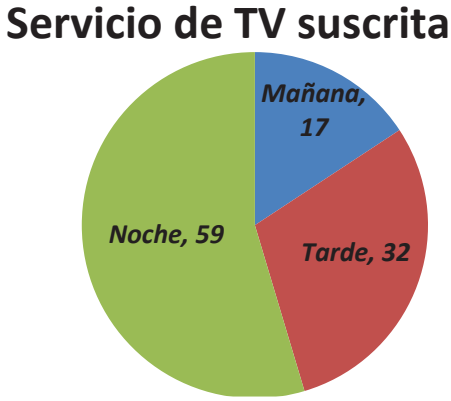


FIGURA 2.6 Representación de los horarios de utilización de TV suscrita, sector residencial.

Con estos resultados, en general, se determina que en la noche confluirá todo el tráfico de la mayoría de usuarios.

2.3.1.3 Servicios contratados con un mismo proveedor

La siguiente pregunta se la realizó con el fin de considerar si los usuarios han experimentado las ventajas de tener servicios de telecomunicaciones con el mismo proveedor. La CNT provee mayoritariamente a los clientes del paquete D sobre una tecnología ADSL[31], y minoritariamente de los paquetes E y G. El servicio de TV suscrita llega a los suscriptores mediante tecnología satelital.

Tal como se muestra en la tabla 2.5, los paquetes simples, es decir los constituidos por un único servicio, obviamente no han contratado varios servicios con el mismo proveedor, obsérvese también la figura 2.8. En cuanto al resto de paquetes, que incluyen dos o más servicios, en su mayoría si lo han hecho y son usuarios que requieren y están en condiciones de adquirir los servicios respectivos, obsérvese la figura 2.7.

	PAQUETES DE SERVICIOS						
	A	B	C	D	E	F	G
Si	0	0	0	40	1	1	36
No	24	6	8	16	7	1	25

TABLA 2.5 Clientes residenciales que utilizan dos o más servicios de telecomunicaciones de un mismo proveedor.

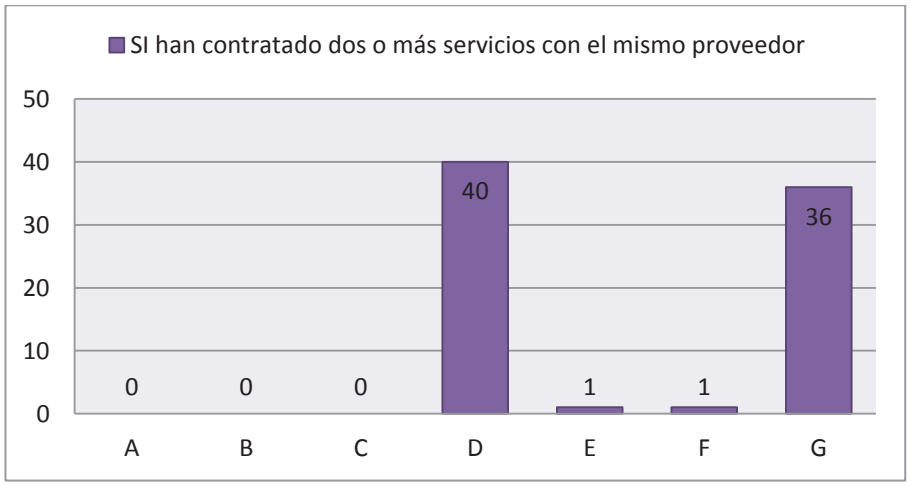


FIGURA 2.7 Hogares que utilizan dos o más servicios de telecomunicaciones con un mismo proveedor.

[31] ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*): Tecnología que utiliza la línea telefónica fija para proporcionar una conexión a Internet aprovechando el ancho de banda que las redes telefónicas no utilizan, tiene un alcance de 5 km, la tasa de bits para *upstream* es de 1 Mbps y para *downstream* es de 8 Mbps.

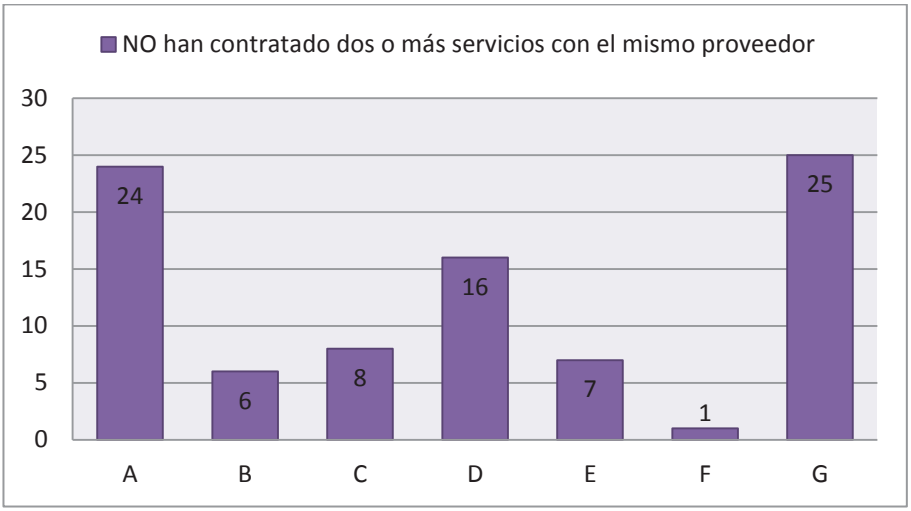


FIGURA 2.8 Hogares que no utilizan dos o más servicios de telecomunicaciones con un mismo proveedor.

2.3.1.4 Grado de satisfacción con los servicios que actualmente utilizan

En la tabla 2.6 se muestra el grado de satisfacción global de los clientes con los diferentes servicios, durante el tiempo que los han contratado, utilizando una medición directa. La mayoría de usuarios lo están; sin embargo, el servicio de Internet presenta el mayor número de quejas, aun cuando los usuarios disponen de 1 Mbps como mínimo, la infraestructura ADSL montada y la compartición de 8 a 1, disminuye el rendimiento de este servicio, haciendo que el cliente se sienta insatisfecho con el mismo.

Grado de satisfacción	PAQUETE DE SERVICIOS						
	A	B	C	D	E	F	G
Satisfecho	24	5	7	38	7	2	45
Insatisfecho	0	1	1	18	1	0	16
Razones de Insatisfacción	**Servicio Telefónico:** Interferencia y no se escucha bien. **Servicio de Internet:** Interrupción del servicio y es lento. **Servicio de TV suscrita:** Se corta el servicio o es poco claro y es considerable el tiempo de reparación.						

TABLA 2.6 Grado de satisfacción de los clientes residenciales con sus servicios.

En la figura 2.9 se indica el número de clientes satisfechos con su paquete de servicios; en la figura 2.10 por su parte se indican los clientes insatisfechos con su paquete contratado.

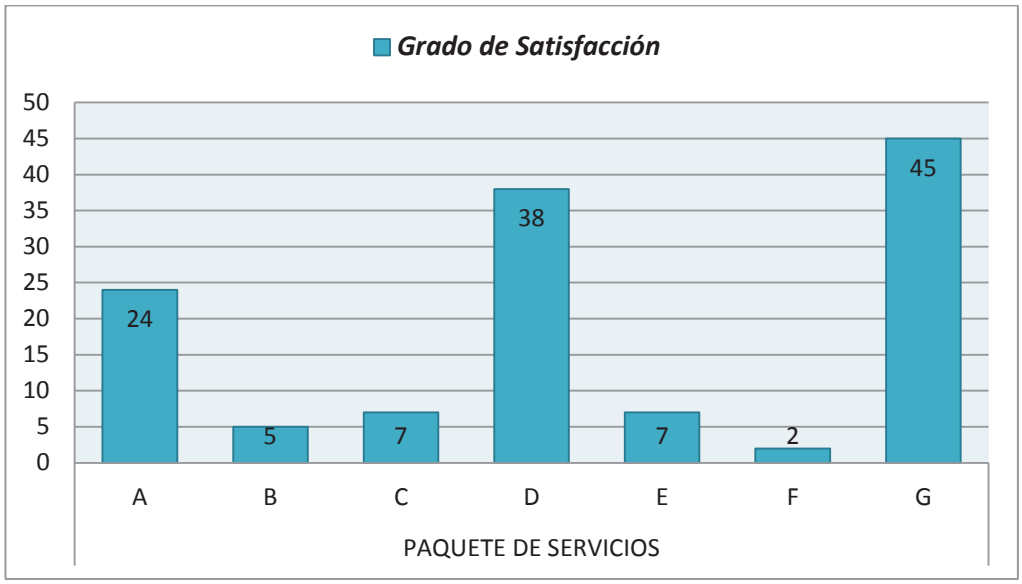


FIGURA 2.9 Representación de la satisfacción con los diferentes servicios, sector residencial.

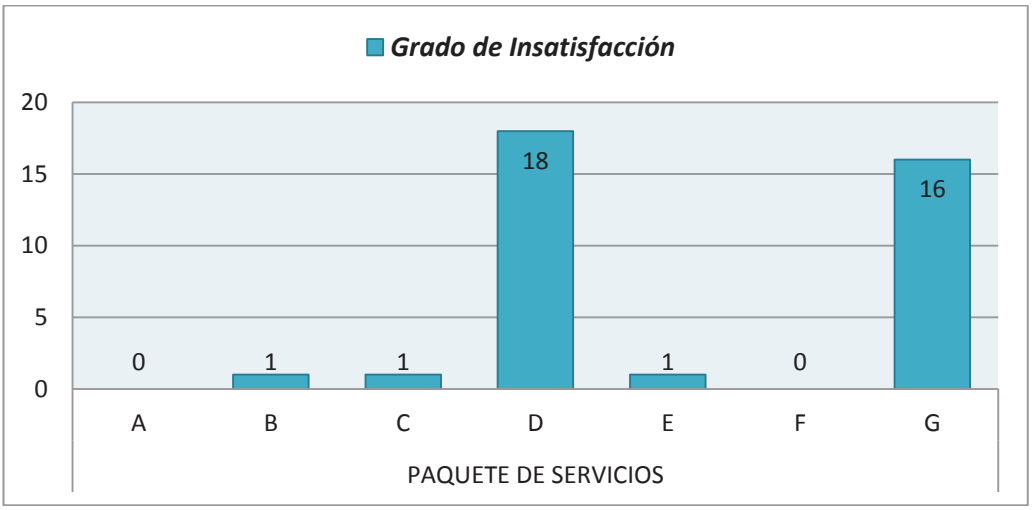


FIGURA 2.10 Representación de la insatisfacción con los diferentes servicios, sector residencial.

2.3.1.5 Grado de acogida del proyecto

Proporcionar los tres servicios de telecomunicaciones a los hogares, montados sobre una misma infraestructura tiene una gran acogida, con alrededor de un 90%, tal como se indica en la figura 2.11.

Acogida del servicio *Triple Play*	PAQUETES DE SERVICIOS						
	A	B	C	D	E	F	G
Si	20	5	7	51	8	2	57
No	4	1	1	5	0	0	4

TABLA 2.7 Acogida del servicio *Triple Play* por parte del sector residencial.

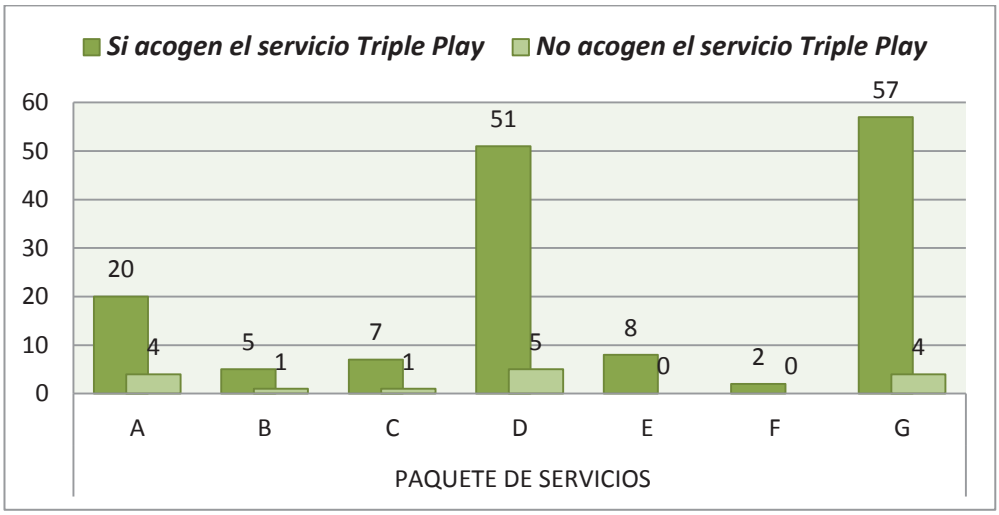


FIGURA 2.11 Porcentaje de acogida del servicio *Triple Play*, sector residencial.

Las personas que no estuvieron de acuerdo en que un solo proveedor les brinde el servicio *Triple Play* sobre una misma infraestructura, consideran el impacto negativo de cada servicio frente a los niños y adolescentes; y al ofrecer el paquete *Triple Play* el impacto sería mayor. Sin embargo, los servicios pueden ser regulados para restringir páginas y canales que afecten a la sensibilidad de los usuarios.

2.3.1.6 Valores dispuestos a pagar por el servicio *Triple Play*

Los precios que se presentan a continuación son estimativos y están establecidos alrededor de la suma de las tarifas de cada servicio que conforma el *Triple Play*, considerando las características básicas ofertadas actualmente para un hogar. En el capítulo siguiente se evaluará el precio final del paquete según la inversión que se realice, donde se considerarán estos resultados para analizar si está acorde a las posibilidades de los usuarios. Como se observa en la figura 2.12 los hogares fijan un precio dependiendo del paquete que poseen, tomando en cuenta el beneficio de tener los tres servicios y el valor individual que actualmente se cancela por cada uno de ellos.

Precio en $ por el servicio *Triple Play*	PAQUETE DE SERVICIOS						
	A	B	C	D	E	F	G
25 – 35	13	3	1	20	3	1	17
35 - 45	5	3	5	24	4	1	31
45 – 55	2	0	1	11	1	0	13

TABLA 2.8 Precio en dólares que estiman pagar los clientes residenciales para contratar un servicio *Triple Play*.

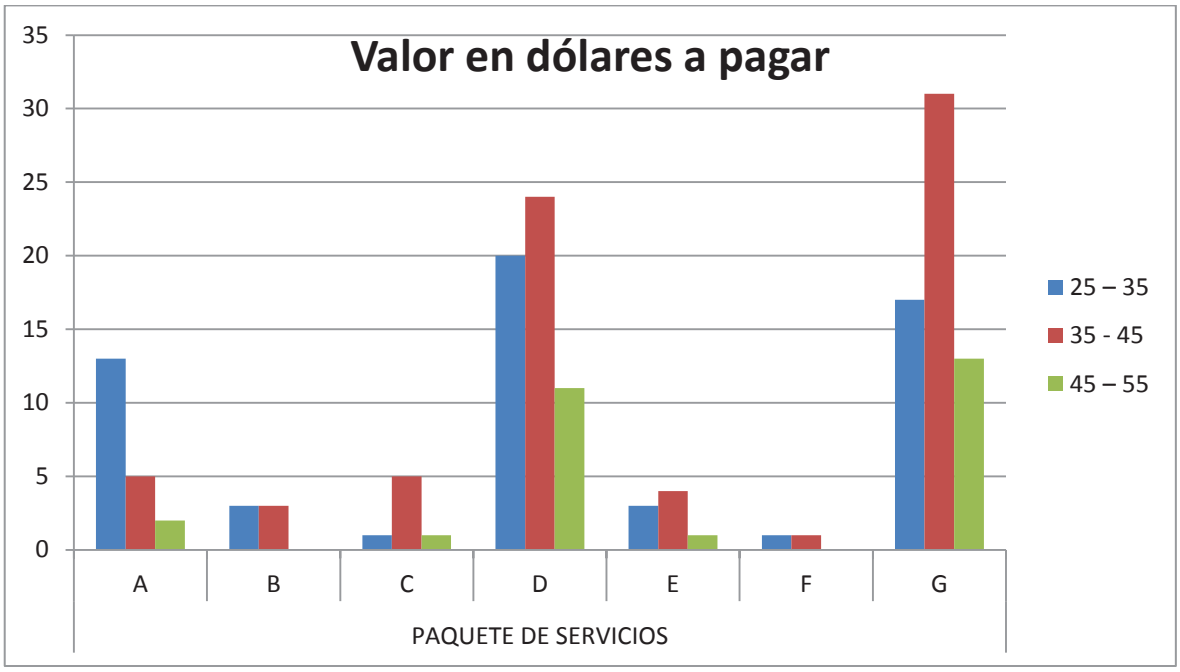


FIGURA 2.12 Representación de los precios en dólares que estiman pagar los clientes residenciales para contratar el paquete *Triple Play*.

2.3.2 SECTOR CORPORATIVO

2.3.2.1 Características de los servicios que actualmente poseen los centros corporativos

Con los resultados de las encuestas, realizadas a 92 centros corporativos, se distinguen los paquetes más importantes que actualmente utilizan las entidades y que porcentualmente se observan en la figura 2.13, los cuales son:

- Paquete A: Telefonía
- Paquete B: Internet
- Paquete D: Telefonía + Internet
- Paquete E: Telefonía + TV suscrita
- Paquete G: Telefonía + Internet + TV suscrita

En la tabla 2.9 se diferencia a cada paquete con sus características. Teniendo así que el servicio telefónico es proporcionado en su totalidad por la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT), el mayor número de corporaciones pagan por el servicio entre 45 a 60 dólares. El servicio de Internet lo provee la CNT y TELCONET, este último no es muy conocido en el mercado, un gran número de entidades poseen una velocidad menor a 2 Mbps seguida de una velocidad de 2 a 4 Mbps. En cuanto al servicio de TV suscrita los proveedores

son: Grupo TV Cable, CNT y Directv, en su mayoría las entidades gozan de alrededor de 50 canales.

Características		PAQUETES DE SERVICIOS				
		A	B	D	E	G
Usuarios		2	4	39	3	44
%		2,17	4,35	42,39	3,26	47,83
Costo mensual de telefonía $	*35-45*	2		16	2	4
	45-60			15	1	24
	60 o más			8		16
Capacidad	*Menor a 2 Mbps*		1	24		22
	2 Mbps – 4 Mbps		3	15		17
	4 Mbps – 8 Mbps					4
	8 Mbps o más					1
Número de Canales	*Menos de 50*				1	23
	50 - 100				2	19
	100 - 150					1
	150 o más					1

TABLA 2.9 Clientes corporativos que poseen los diferentes paquetes de servicios.

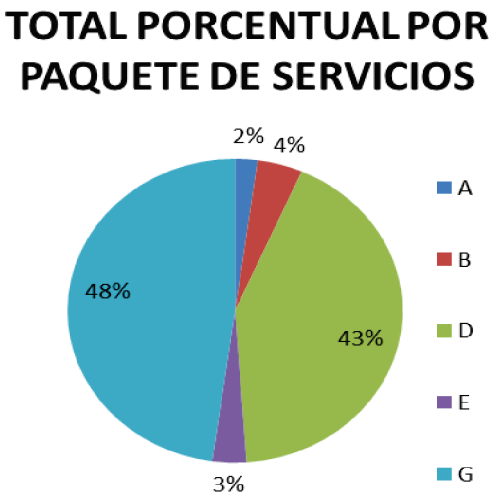


FIGURA 2.13 Relación porcentual de los diferentes paquetes de servicios, sector corporativo.

2.3.2.2 Horarios de mayor utilización de los diferentes servicios

En la tabla 2.10 se observan los servicios y horarios en los que confluye la mayor cantidad de tráfico, en las figuras subsiguientes se diferencia a cada servicio por separado.

HORARIOS	PAQUETE DE SERVICIOS		
	Telefonía	Internet	TV Suscrita
Mañana 09:00 a 12:00	63	68	32
Tarde 14:00 a 18:00	57	73	41
Noche 19:00 a 20:00	32	49	40

TABLA 2.10 Horarios de utilización de los diferentes servicios, sector corporativo.

En la figura 2.14 se observa que en la mañana y tarde confluye la mayor parte del tráfico de los usuarios del servicio telefónico.

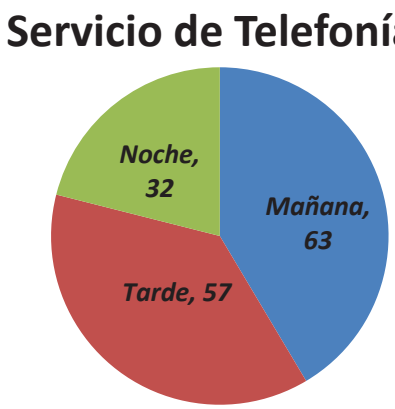


FIGURA 2.14 Representación de los horarios de utilización del servicio telefónico, sector corporativo.

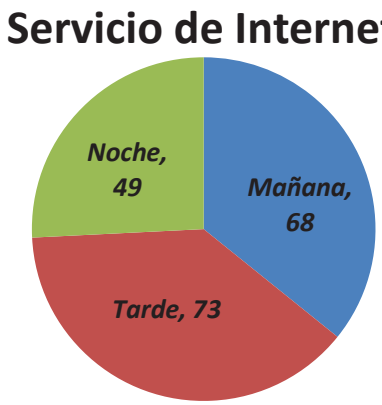


FIGURA 2.15 Representación de los horarios de utilización del Internet, sector corporativo.

De igual forma que en el sector residencial, se necesita calcular el porcentaje de simultaneidad de uso del servicio de Internet, de las 87 corporaciones que disponen de este servicio, la tarde es el horario con mayor tráfico, tal como se aprecia en la figura 2.15.

$$Ps = \frac{73}{87}\ x\ 100\%$$

$$Ps = 83{,}9\%$$

Tal como se observa en la figura 2.16 en la tarde los usuarios utilizan más el servicio de TV suscrita.

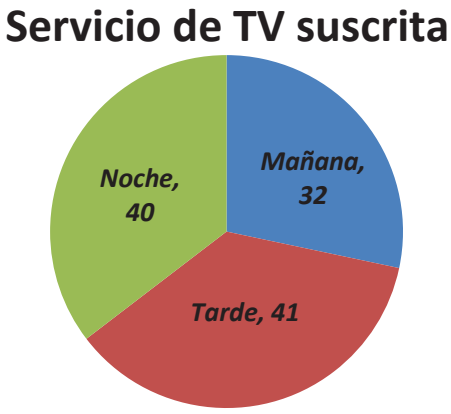


FIGURA 2.16 Representación de los horarios de utilización de TV suscrita, sector corporativo.

Evaluando los resultados, en la tarde existe gran cantidad de tráfico originado por la mayoría de corporaciones, conjuntamente con los datos arrojados por el sector residencial. Esto obliga a seleccionar una tecnología de red robusta en cuanto a la capacidad que soportará.

2.3.2.3 Servicios contratados con un mismo proveedor

La CNT, en este sector, provee mayoritariamente a los clientes de los paquetes D y G, tal como se observa en la tabla 2.11 y figura 2.17, mismos que han experimentado la ventaja de manejar una sola factura con su proveedor. Sin embargo, el que los servicios del paquete G se transmitan en diferentes tecnologías, implica un mayor costo que es asumido por el cliente.

	PAQUETES DE SERVICIOS				
	A	B	D	E	G
Si	0	0	35	0	36
No	2	4	4	3	8

TABLA 2.11 Clientes corporativos que utilizan dos o más servicios de telecomunicaciones de un mismo proveedor.

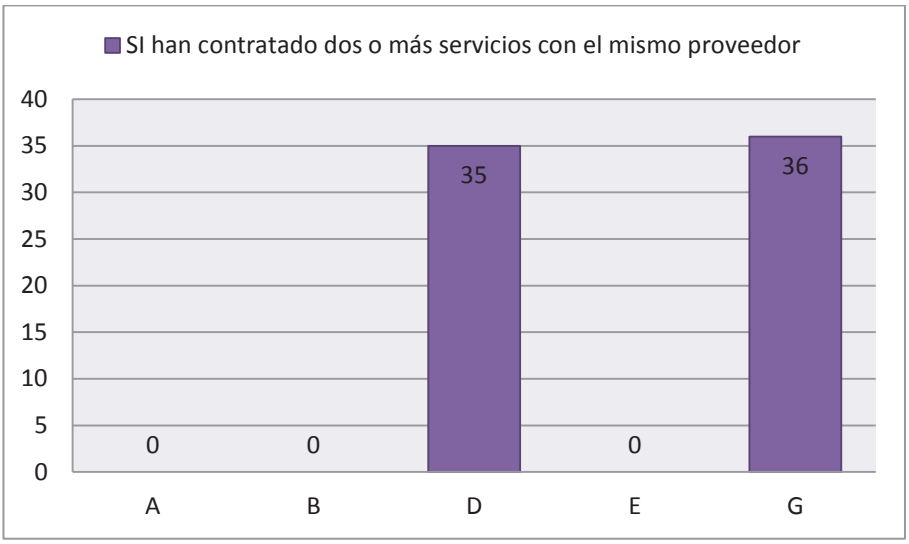


FIGURA 2.17 Clientes corporativos que utilizan dos o más servicios de telecomunicaciones con un mismo proveedor.

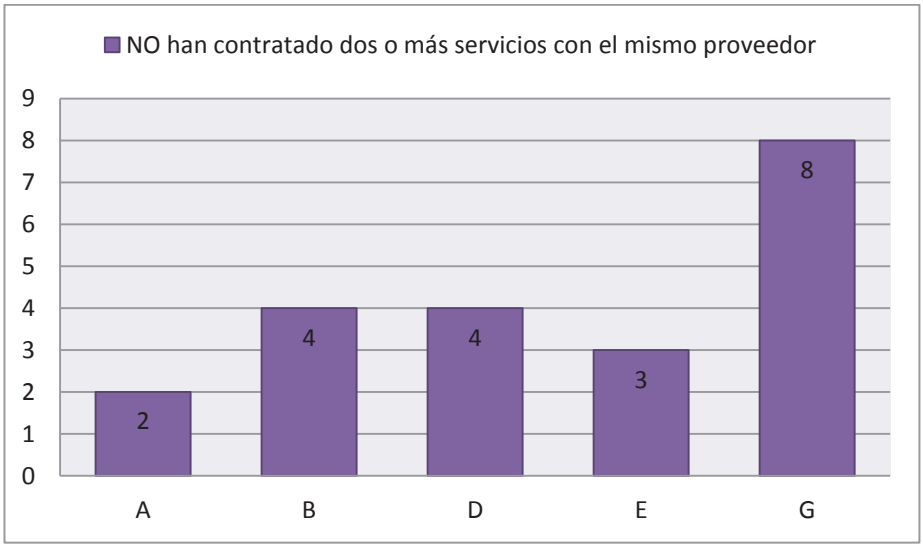


FIGURA 2.18 Clientes corporativos que no utilizan dos o más servicios de telecomunicaciones de un mismo proveedor.

La figura 2.18 indica los clientes corporativos que son abonados de diferentes proveedores, los cuales representan un bajo porcentaje.

2.3.2.4 Grado de satisfacción con los servicios que actualmente utilizan

Los datos de la tabla 2.12 determinan la conformidad e inconformidad de los clientes con los diferentes servicios que han contratado, tal como se observa en la figura 2.19, la mayoría de usuarios están satisfechos con los mismos. Sin embargo, es relevante indicar, igualmente que en el sector residencial y debido a razones ya expuestas, que el servicio de Internet marca el grado de insatisfacción de los usuarios con el paquete contratado.

Grado de satisfacción	PAQUETE DE SERVICIOS				
	A	B	D	E	G
Satisfecho	2	4	24	1	22
Insatisfecho	0	0	15	2	22
Razones de Insatisfacción	**Servicio Telefónico:** Interferencia y no se escucha bien. **Servicio de Internet:** Interrupción del servicio y es lento. **Servicio de TV suscrita:** Se corta el servicio o es poco claro y es considerable el tiempo de reparación.				

TABLA 2.12 Grado de satisfacción de los clientes corporativos con sus servicios.

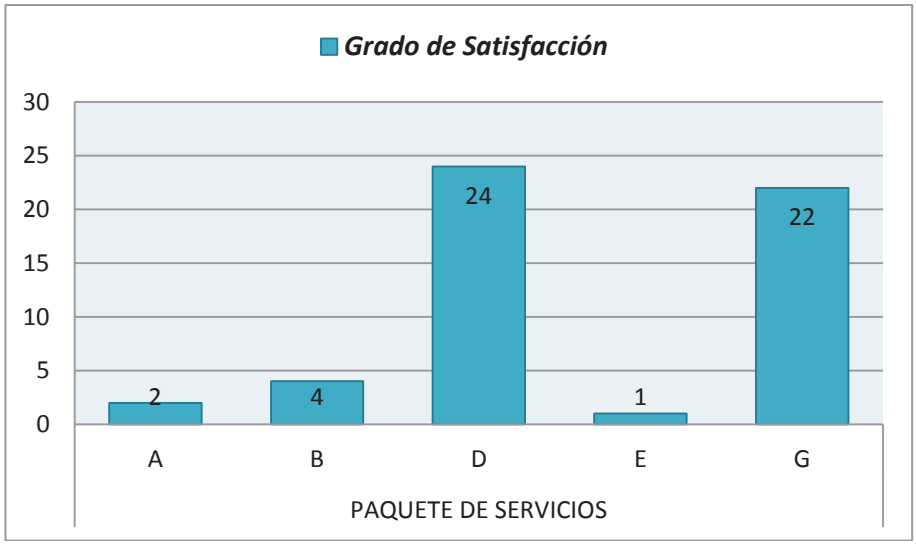


FIGURA 2.19 Representación de la satisfacción con los diferentes servicios, sector corporativo.

En la figura 2.20 se indica el número de clientes corporativos que se encuentran insatisfechos con los servicios que actualmente poseen.

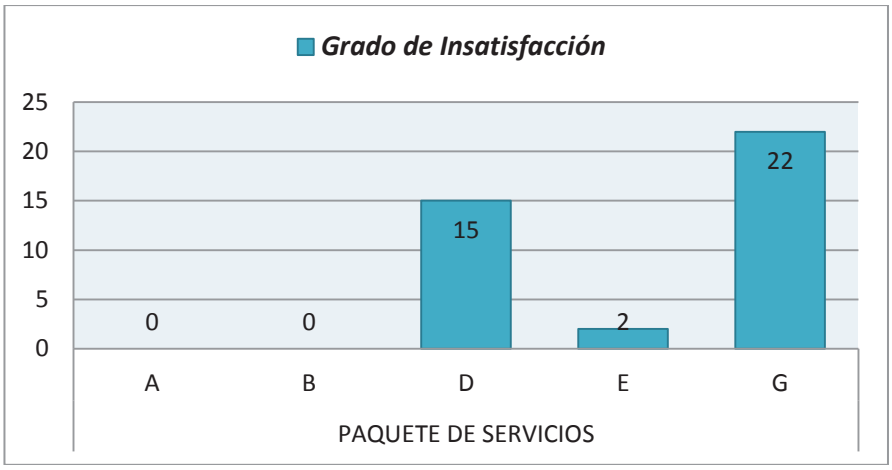


FIGURA 2.20 Representación de la insatisfacción con los diferentes servicios, sector corporativo.

2.3.2.5 Grado de acogida del proyecto

En la tabla 2.13 se observa si el cliente corporativo está o no de acuerdo en contratar el paquete *Triple Play*. Comparando los resultados, indicados en la figura 2.21, las entidades acogen de sobremanera el proyecto; existe también un bajo porcentaje de entidades que debido al espacio físico, a los servicios que prestan, etc. no consideran necesario contratar este paquete. Sin embargo, el proyecto en sí estará dispuesto a ofrecer el servicio *Triple Play* al momento que las entidades requieran y se encuentren listas para aprovechar el mismo.

Acogida del servicio *Triple Play*	SERVICIO				
	A	B	D	E	G
Si	2	1	33	3	42
No	0	3	6	0	2

TABLA 2.13 Acogida del servicio *Triple Play* por parte del sector corporativo.

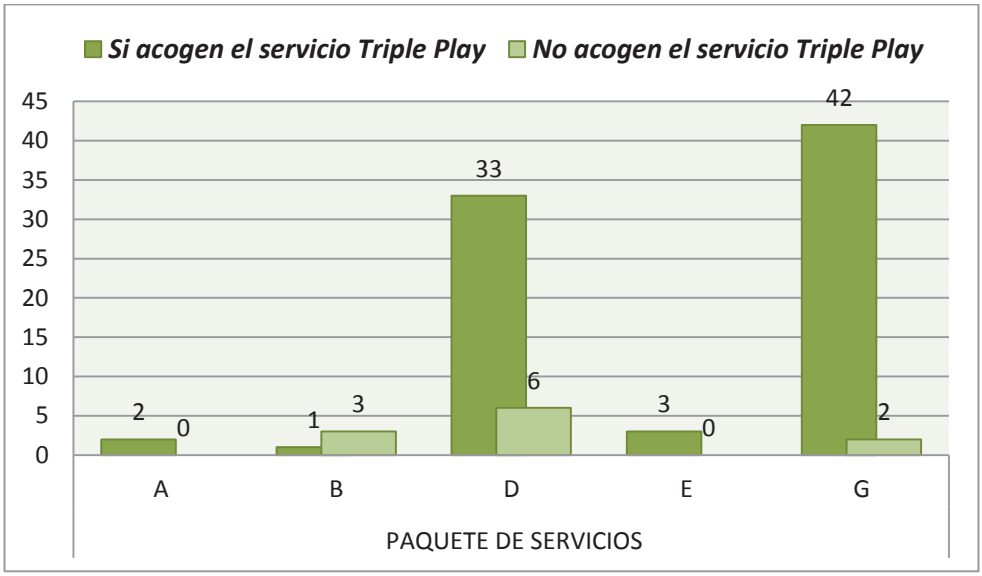


FIGURA 2.21 Representación de la acogida del servicio *Triple Play*, sector corporativo.

2.3.2.6 Valores dispuestos a pagar por el servicio *Triple Play*

Los precios que se presentan a continuación son estimativos y tal como se explicó anteriormente están establecidos alrededor de la suma de las tarifas de cada servicio que conforma el *Triple Play*, considerando las características básicas ofertadas actualmente para una corporación. Según los resultados de la tabla 2.14 y como se observa en la figura 2.22, el costo determinado para el servicio *Triple Play* es de entre $85 a $100, partiendo de este valor se establecerá en el

capítulo siguiente un paquete con excelentes características a un costo asequible resultado de la inversión a ser realizada.

Precio en $	PAQUETE DE SERVICIOS				
	A	B	D	E	G
70 – 85	1	1	19	1	11
85 - 100	1	3	15	2	21
100 - 150	0	0	5	0	12

TABLA 2.14 Precio en dólares que estiman pagar los clientes corporativos para contratar un servicio *Triple Play*.

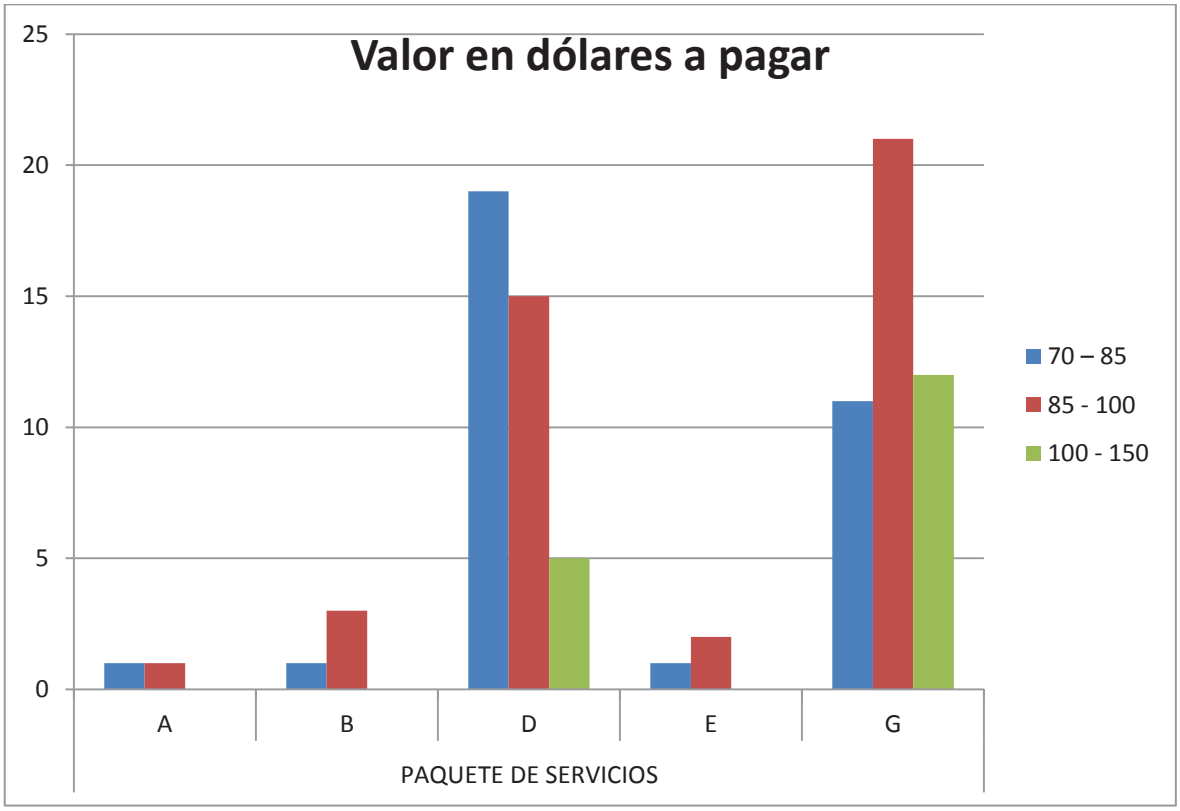


FIGURA 2.22 Representación de los precios en dólares que estiman pagar los clientes corporativos para contratar el paquete *Triple Play*.

2.4 DIMENSIONAMIENTO Y PROYECCIÓN DE LA DEMANDA [74]

2.4.1 ANÁLISIS HISTÓRICO DE LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES

En la tabla 2.15 se tabulan los datos porcentuales históricos, de hogares en Tungurahua urbano, que han tenido acceso a Internet y tenencia de línea telefónica, desde el año 2006 hasta el año 2011, datos proporcionados por el

INEC[76]. Existen otros datos históricos como los proporcionados por la SUPERTEL, pero verificándolos, son algo diferentes a los proporcionados por el INEC, debido a que trabajan sobre la base de una población supuesta, misma que no concuerda con los datos presentados en este proyecto, por lo que se considera a los datos del INEC como más representativos.

Año	PORCENTAJES HISTÓRICOS	
	Servicio Internet (%)	Servicio Telefónico (%)
2006	-	53,56
2007	-	63,12
2008	6,51	63,79
2009	11,46	60,17
2010	15,34	63,21
2011	21,78	64,48

TABLA 2.15 Porcentajes históricos de hogares en Tungurahua urbano que tuvieron los servicios.

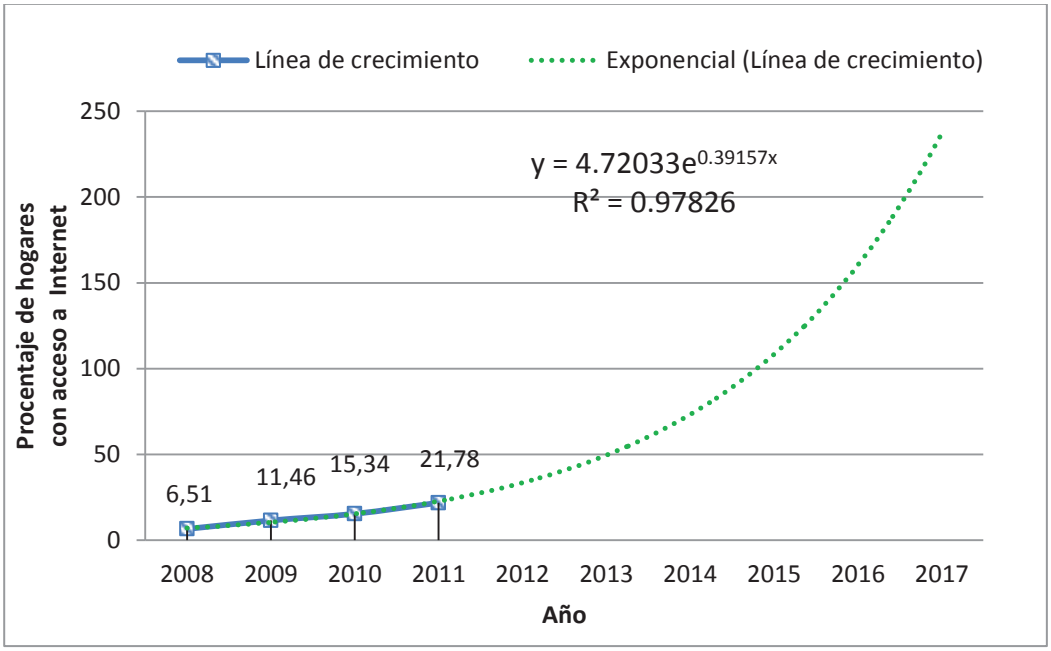


FIGURA 2.23 Proyección del crecimiento anual de hogares que poseen servicio de Internet.

Con los datos de la tabla 2.15 se obtiene la línea de tendencia del crecimiento del servicio de Internet mostrada en la figura 2.23 y del servicio telefónico mostrada en la figura 2.24.

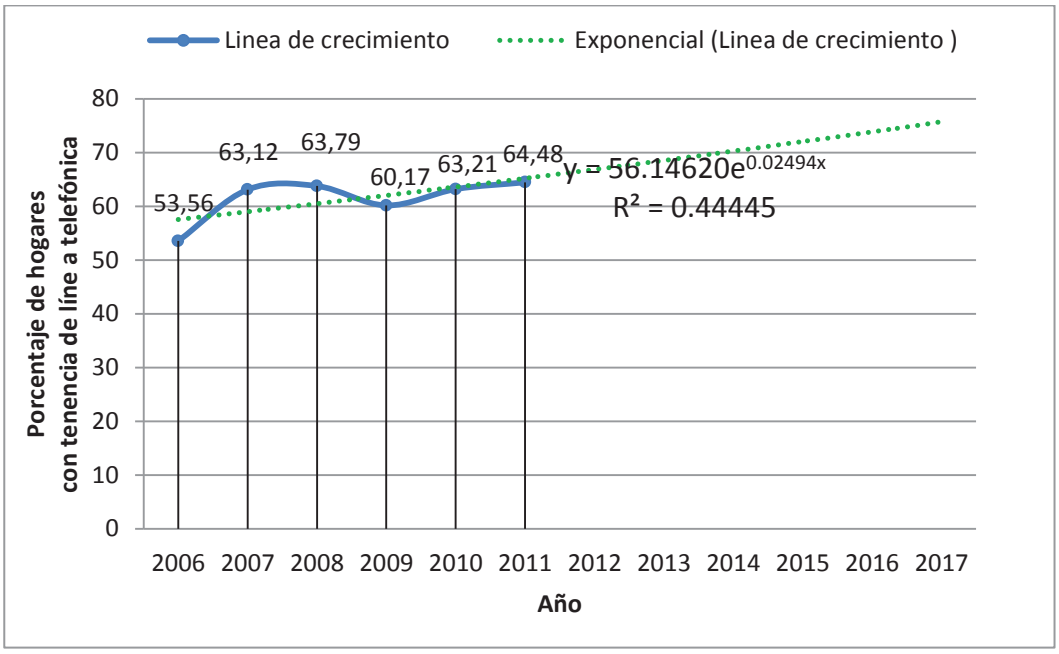


FIGURA 2.24 Porcentaje de crecimiento anual de hogares con tenencia de línea telefónica.

Con las líneas de tendencia obtenidas y a través de las ecuaciones que describen las mismas, se obtiene los porcentajes de la población que a futuro dispondrán de los servicios, datos mostrados en la tabla 2.16:

Año	PORCENTAJES A FUTURO	
	Servicio Internet (%)	Servicio Telefónico (%)
2012	33,44	63,60
2013	49,46	65,21
2014	73,17	66,86
2015	108,24	68,54
2016	160,12	70,28
2017	236,87	72,05

TABLA 2.16 Porcentajes de hogares que tendrían los servicios.

Con los datos de la tabla 2.16 se establece el crecimiento porcentual año a año, el cual empieza en el 2012 donde no se prevé ningún crecimiento ya que es el año donde se va a tender la red, realizar pruebas de funcionamiento, marketing, establecer permisos de funcionamiento, etc., obsérvese la tabla 2.17.

Año	CRECIMIENTO PORCENTUAL ANUAL	
	Servicio Internet (%)	Servicio Telefónico (%)
2012	0,00	0,00
2013	4,37	2,48
2014	12,05	2,52
2015	23,42	2,56
2016	40,23	2,60
2017	65,09	2,64

TABLA 2.17 Crecimiento porcentual anual de la tenencia de los servicios.

Esta última tabla se utilizará en la siguiente sección para proyectar la demanda tanto en el sector residencial como en el corporativo, según el paquete de servicios que se establezcan, hasta cinco años siguientes al 2012. Además servirá para dimensionar la proyección del servicio de TV suscrita ya que no se tienen datos históricos del mismo.

2.4.2 PROYECCIÓN DE LA DEMANDA

2.4.2.1 Proyección de la demanda sector residencial

En la sección 2.2.1 para el sector residencial se fijó 2359 hogares, población residencial con la cual se arranca para establecer los clientes iniciales según los resultados de las encuestas.

DESCRIPCIÓN	PAQUETE						
	A	B	C	D	E	F	G
%	14,55%	3,64%	4,85%	33,94%	4,85%	1,21%	36,97%
HOGARES POR PAQUETE	343,23	85,86	114,41	800,64	114,41	28,54	872,12

TABLA 2.18 Hogares por paquete de un total de 2359.

Con la tabla 2.18, se distingue a la población residencial por paquete, utilizando los porcentajes de la tabla 2.3. A continuación se diferencia a los potenciales clientes iniciales de cada uno de estos grupos de servicios, valiéndose de los resultados de las encuestas que son utilizadas en el siguiente orden, obsérvese la tabla 2.19.

PAQUETE		A	B	C	D	E	F	G
POBLACIÓN TOTAL POR PAQUETE	%	14,55%	3,64%	4,85%	33,94%	4,85%	1,21%	36,97%
	Hogares	343,23	85,86	114,41	800,64	114,41	28,54	872,12
Población total interesada en que un solo proveedor le brinde *Triple Play* actualmente o a futuro	%	83,33%	83,33%	87,5%	91,07%	100%	100%	93,44%
	Hogares	286,03	71,55	100,11	729,15	114,41	28,54	814,93
Población total en condiciones de adquirir el paquete *Triple Play* ya que ha contratado dos o más servicios con una única empresa	%	0%	0%	0%	71,42%	12,5%	50%	59%
	Hogares	0	0	0	520,82	14,30	14,27	480,94
Población total que va a adquirir el paquete *Triple Play* ya que está insatisfecha con los servicios que ha contratado	%	0%	0%	0%	67,87%	12,5%	0%	26,22%
	Hogares	0	0	0	353,41	1,78	0	126,15
CLIENTES INICIALES POR PAQUETE	**Hogares**	**0**	**0**	**0**	**353**	**2**	**0**	**126**

TABLA 2.19 Clientes residenciales iniciales por paquete.

Con la tabla 2.19 se empieza a proyectar los clientes residenciales por paquete hacia cinco años como se observa en la tabla 2.20, para lo cual se emplea el análisis histórico de los servicios de telecomunicaciones, sección 2.4.1 refiriéndose a la tabla 2.17.

Año	DESCRIPCIÓN	PAQUETE		
		D	E	G
2012	**Clientes Iniciales por Paquete**	353	2	126
2013		368,43	2,05	131,51
2014		412,82	2,10	147,36
2015		509,50	2,15	181,86
2016		714,48	2,21	255,03
2017	**Clientes Finales**	**1180**	**2**	**421**

TABLA 2.20 Proyección de los clientes residenciales hacia cinco años.

2.4.2.2 Proyección de la demanda sector corporativo

Para el sector corporativo se estableció 247 entidades, según la sección 2.2.2, este dato establece la población por paquete de servicios según los porcentajes tabulados en la tabla 2.9, obsérvese la tabla 2.21.

DESCRIPCIÓN	PAQUETE				
	A	B	D	E	G
%	2,17	4,35	42,39	3,26	47,83
CORPORACIONES POR PAQUETE	5,36	10,74	104,70	8,05	118,14

TABLA 2.21 Corporaciones por paquete de un total de 247.

En la tabla 2.22 se empieza a diferenciar a los potenciales clientes iniciales de cada uno de los paquetes, tal como se lo realizó en el sector residencial:

PAQUETE		A	B	D	E	G
POBLACIÓN TOTAL POR PAQUETE	%	2,17	4,35	42,39	3,26	47,83
	Corporaciones	5,36	10,74	104,70	8,05	118,14
Población total interesada en que un solo proveedor le brinde *Triple Play* actualmente o a futuro	%	100%	25%	84,61%	100%	95,45%
	Corporaciones	5,36	2,7	88,60	8,05	112,77
Población total en condiciones de adquirir el paquete *Triple Play* ya que ha contratado dos o más servicios con una única empresa	%	0%	0%	89,74%	0%	81,81%
	Corporaciones	0	0	79,50	0	92,27
Población total que va a adquirir el paquete *Triple Play* ya que está insatisfecha con los servicios que ha contratado	%	0%	0%	38,46%	66,67%	50%
	Corporaciones	0	0	30,58	0	46,13
CLIENTES INICIALES POR PAQUETE	**Corporaciones**	**0**	**0**	**31**	**0**	**46**

TABLA 2.22 Clientes corporativos iniciales por paquete.

En la tabla 2.23, se proyecta los clientes corporativos por paquete hacia cinco años utilizando la tabla 2.17:

Año	DESCRIPCIÓN	PAQUETE	
		D	G
2012	**Clientes Iniciales por Paquete**	31	46
2013		31,92	48,15
2014		35,76	53,95
2015		44,14	66,58
2016		61,89	93,37
2017	**Clientes Finales**	**102**	**154**

TABLA 2.23 Proyección de los clientes corporativos hacia cinco años.

Como se puede observar los paquetes que se ofertarán en el siguiente capítulo, tanto para el sector residencial como para el sector corporativo, son: PAQUETE D: Telefonía + Internet y el PAQUETE G: Telefonía + Internet + TV. Según los datos de las tablas 2.20 y 2.23 son los paquetes más representativos y tendrán gran crecimiento a futuro.

2.5 DIMENSIONAMIENTO DE LA CAPACIDAD REQUERIDA POR EL SERVICIO *TRIPLE PLAY* [11] [72]

A continuación se analiza la capacidad necesaria para que los tres servicios, tanto para el sector residencial como corporativo, operen correctamente; valiéndose y ampliando la información de la tabla 1.14 se detalla cada servicio y la capacidad que requieren.

Para la televisión suscrita se establece la máxima capacidad requerida, considerando el algoritmo de compresión MPEG4. En cuanto a la telefonía digital se define la capacidad en 64 Kbps. Para el servicio de Internet se establece el valor promedio de velocidad que poseen los hogares y corporaciones entrevistados; además se coloca para el sector residencial la capacidad de 2 Mbps para el Tráfico P2P [79] y para las corporaciones 2 Mbps para Video Conferencias [80], servicios que son inherentes a las redes hoy por hoy, todos estos datos se encuentran resumidos en las tablas 2.24 y 2.25.

Sector Residencial

Servicio		CAPACIDAD	
		Capacidad *Dowstream*	Capacidad total *Dowstream*
Televisión	SDTV	2 Mbps	11 Mbps
	HDTV	9 Mbps	
Telefonía	Digital	64 Kbps	64 Kbps
Datos	Internet	1 Mbps	3 Mbps
	Tráfico P2P	2 Mbps	
	TOTAL		14,06 Mbps

TABLA 2.24 Servicio con su respectiva capacidad para el sector residencial.

Sector Corporativo

Servicio		CAPACIDAD	
		Capacidad *Downstream*	Capacidad total *Dowstream*
Televisión	SDTV	2 Mbps	11 Mbps
	HDTV	9 Mbps	
Telefonía	Digital	64 Kbps	64 Kbps
Datos	Internet	4 Mbps	6 Mbps
	Video Conferencias	2 Mbps	
	TOTAL		17,06 Mbps

TABLA 2.25 Servicio con su respectiva capacidad para el sector corporativo.

Como se expuso en las tablas 2.24 y 2.25, la tecnología de red debe estar en la capacidad de ofrecer 17 Mbps por usuario, como mínimo. Para calcular la capacidad en Mbps de Internet a contratar, se considera únicamente la capacidad total *downstream* de Datos ya que son los servicios que requieren salir de la red proyectada, entonces se tiene:

- ***Sector Residencial:*** Requerimiento Capacidad *Downstream*: 3 Mbps
- ***Sector Corporativo:*** Requerimiento Capacidad *Downstream*: 6 Mbps

Retomando nuevamente las características de una red PON vistas en la sección 1.4, para un correcto dimensionamiento de la capacidad se recurre a la sobresuscripción (*overbooking*). La funcionalidad DBA (*Dynamic Bandwidth Allocation*) en las redes PON, permite a los operadores tener una apropiada sobresuscripción ya que brinda un alto nivel de calidad de servicio y ofrece mayor capacidad a los usuarios cuando la red se encuentre ociosa.

El proveedor masivo del servicio de Internet ofrece una sobresuscripción de 8:1 para clientes residenciales [81] y de 2:1 para clientes corporativos [82], teniendo entonces que la conexión que las personas contratan en realidad es dividida entre ocho y dos usuarios respectivamente.

La sobresuscripción es una funcionalidad que beneficia al ISP, le permite realizar un uso más eficiente de la capacidad que administra y a disminuir la cantidad de Mbps, lo que implica reducir costos de contratación de dicha capacidad. Citando un ejemplo si un proveedor con 1000 usuarios ofertará una velocidad de conexión

de 2 Mbps para cada uno, la mínima velocidad de Internet que debería tener este ISP sería de 2 Gbps o más. Pero si se aplica el criterio de sobresuscripción esto variaría de la siguiente manera; para el mismo ejemplo, si se propone una sobresuscripción de 8:1, la mínima velocidad que debería tener el ISP sería 1000*2Mbps*$\frac{1}{8}$, representando una conexión de tan solo un octavo de la velocidad calculada anteriormente, es decir 250 Mbps.

Para el proyecto se pretende utilizar este criterio, con una sobresuscripción de 2:1 para el sector corporativo y de 4:1 para el sector residencial, valores establecidos con el fin de ofrecer mejores capacidades al cliente representado una ventaja sobre la competencia, aprovechando los beneficios de DBA.

Según los datos de las tablas 2.20 y 2.23, donde se determinaron los clientes proyectados en cinco años, se procede a calcular en las tablas 2.26 y 2.27 la capacidad en cada año requerida por sector, aplicando los porcentajes de simultaneidad de utilización del servicio de Internet (P_S), calculados en la sección 2.3.1.2 y 2.3.2.2.

Sector Residencial

Año	*CAPACIDAD*
2012	$C_{DwR} = \frac{479 \times 3\ Mbps \times 0{,}728}{4}$ $C_{DwR} = 261{,}53\ Mbps$
2013	$C_{DwR} = \frac{500 \times 3\ Mbps \times 0{,}728}{4}$ $C_{DwR} = 273\ Mbps$
2014	$C_{DwR} = \frac{560 \times 3\ Mbps \times 0{,}728}{4}$ $C_{DwR} = 305{,}76\ Mbps$
2015	$C_{DwR} = \frac{692 \times 3\ Mbps \times 0{,}728}{4}$ $C_{DwR} = 377{,}83\ Mbps$
2016	$C_{DwR} = \frac{969 \times 3\ Mbps \times 0{,}728}{4}$ $C_{DwR} = 529{,}07\ Mbps$
2017	$C_{DwR} = \frac{1601 \times 3\ Mbps \times 0{,}728}{4}$ $C_{DwR} = 874{,}15\ Mbps$

TABLA 2.26 Cálculo año a año de la capacidad requerida, sector residencial.

Sector Corporativo

Año	CAPACIDAD
2012	$C_{DwC} = \frac{77 \times 6\ Mbps \times 0{,}839}{2}$ $C_{DwC} = 193{,}81\ Mbps$
2013	$C_{DwC} = \frac{80 \times 6\ Mbps \times 0{,}839}{2}$ $C_{DwC} = 201{,}36\ Mbps$
2014	$C_{DwC} = \frac{90 \times 6\ Mbps \times 0{,}839}{2}$ $C_{DwC} = 226{,}53\ Mbps$
2015	$C_{DwC} = \frac{111 \times 6\ Mbps \times 0{,}839}{2}$ $C_{DwC} = 279{,}39\ Mbps$
2016	$C_{DwC} = \frac{155 \times 6\ Mbps \times 0{,}839}{2}$ $C_{DwC} = 390{,}14\ Mbps$
2017	$C_{DwC} = \frac{256 \times 6\ Mbps \times 0{,}839}{2}$ $C_{DwC} = 644{,}35\ Mbps$

TABLA 2.27 Cálculo año a año de la capacidad requerida, sector corporativo.

Para el correcto funcionamiento de los servicios y cubriendo a todos los clientes se debe contratar al ISP idóneo que pueda proporcionar hasta 1,5 Gbps de capacidad para el año 2017.

$$C_{DwT} = C_{DwR} + C_{DwC}$$

$$C_{DwT} = 1{,}5\ Gbps$$

2.6 DISEÑO DE LA RED [8] [9] [72] [67] [73] [68] [83] [84] [85] [86]

2.6.1 SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA PON

Para la selección de la tecnología PON se procede a comparar las tres tecnologías más representativas, considerando los siguientes requerimientos para el diseño de red propuesto:

- Debido a la cantidad de usuarios iniciales y el área donde se ubican, se requiere una relación de división alta, con lo cual se puede cubrir a toda la demanda inicial con suficiente holgura para el crecimiento en cinco años de la población.

CARACTERÍSTICA	BPON	GPON	EPON
Relación de división máxima	1:32	1:64	1:32

TABLA 2.28 Relación de división máxima de las tecnologías PON. [87] [70]

Como se aprecia en la tabla 2.28, la tecnología GPON es la que mayor número de usuarios, por puerto de red, soporta. Cabe señalar que es la clase de red GPON la que limita el nivel de división a establecerse en el diseño, debido a los rangos de pérdidas instituidos para cada una; sin embargo, se podrá cubrir a la gran demanda con una relación de división de 1 a 32 o superior.

- Al realizar un estudio de la capacidad requerida para el servicio *Triple Play* y demás aplicaciones que los usuarios tanto residenciales como corporativos deseen utilizar, se estableció que la capacidad para *downstream* es de 14 Mbps para el sector residencial y 17 Mbps para el corporativo. La tecnología PON a escoger debe permitir el tránsito de dichas capacidades por usuario. Además las aplicaciones actuales demandan de un modo de transmisión asimétrico; sin embargo, en el futuro se podría necesitar que éste sea simétrico debido a las aplicaciones en tiempo real como videoconferencias, juegos en línea, etc.

CARACTERÍSTICA	BPON	GPON	EPON
Capacidad (Mbps)	*Down:* 1244, 622, 155 *Up:* 622, 155	*Down:* 2488, 1244 *Up:* 2488, 622, 155	*Down:* 1250 *Up:* 1250
Capacidad de escalabilidad en Mbps	✓	✓	✗
Simétrico	✓	✓	✓
Asimétrico	✓	✓	✗

TABLA 2.29 Capacidades de las diferentes tecnologías PON. [87] [70]

GPON ofrece una mayor capacidad que sus predecesoras, estableciendo velocidades para *Upstream* de 1244 Mbps y para *Downstream* de 2488 Mbps, según la tabla 2.29. Considerando que se divide en máximo 64 abonados, se tiene por cada uno de éstos 19,4 Mbps en *upstream* y 38,8 Mbps en *downstream.* Cantidades suficientes que satisfacen los requerimientos de capacidad de los sectores residencial y corporativo,

ahora y a futuro. Mientras la capacidad demandada por el usuario aumenta, EPON irá progresivamente agotando sus recursos. GPON es más flexible y escalable ya que se puede configurar las diferentes tasas de velocidades que éste ofrece, dependiendo de los requerimientos de los usuarios y demanda de servicios, además puede migrar de un modo de transmisión simétrico a un asimétrico sin mayor complejidad, estos mecanismos no pueden ser realizados en las redes EPON.

- Los servicios que comprenden el paquete *Triple Play* requieren de una elevada eficiencia de la tecnología PON. Además, como toda información, requiere confidencialidad para seguridad del cliente tanto residencial como corporativo.

CARACTERÍSTICA	BPON	GPON	EPON
Eficiencia	83% *downstream* 80% *upstream*	93% *downstream* 94% *upstream*	61% *downstream* 73% *upstream*
Codificación de línea	NRZ (+ scrambling)	NRZ (+ scrambling)	8B/10B
Seguridad en el canal *downstream*	Churning o AES	AES	No definida

TABLA 2.30 Características de eficiencia y seguridad. [87] [70]

Los equipos activos de EPON son mucho más económicos y no es tan compleja su administración ya que utiliza el protocolo IP para datos, voz y video. Sin embargo, la tecnología EPON comprende en sus tramas extensos encabezados, además la codificación de línea 8B/10B tiene gran sobrecarga, estos factores provocan su baja eficiencia ante las otras tecnologías. Por su parte GPON permite transportar con mayor eficiencia los servicios que el resto de tecnologías PON, obsérvese la tabla 2.30. GPON utiliza el algoritmo de cifrado simétrico AES ofreciendo confidencialidad a la información de los usuarios en el canal descendente, los datos van encriptados y únicamente el ONT destino de la información será capaz de interpretarlos.

- Se estima que la distancia de la fibra óptica desde la OLT hasta el ONT más lejano no sobrepasa los 6 Km, por lo que la tecnología PON debe cubrir a todos los usuarios en su totalidad.

CARACTERÍSTICA	BPON	GPON	EPON
Alcance máximo (Km)	20	20	10 a 20

TABLA 2.31 Alcance de las diferentes tecnologías PON. [87] [70]

Según el requerimiento, se observa en la tabla 2.31, que cualquiera de las tecnologías PON cubren los 6 Km y más; lo cual permite que la red sin ningún problema alcance en la práctica hasta los 18 km.

Para la elección final se expone la tecnología NG-PON, como se observa en la tabla 2.32 es exorbitante la capacidad en Mbps que ofrece esta tecnología. Así también el alcance, según los requerimientos de la red ya explicados no se necesita de estas características actualmente. Sin embargo, cabe destacar que al seleccionar la tecnología GPON, a futuro se puede migrar a XG-PON sin mayor complejidad manteniendo la red pasiva. Por este análisis, se establece a la tecnología GPON como la más idónea para la red en el centro de la ciudad de Ambato.

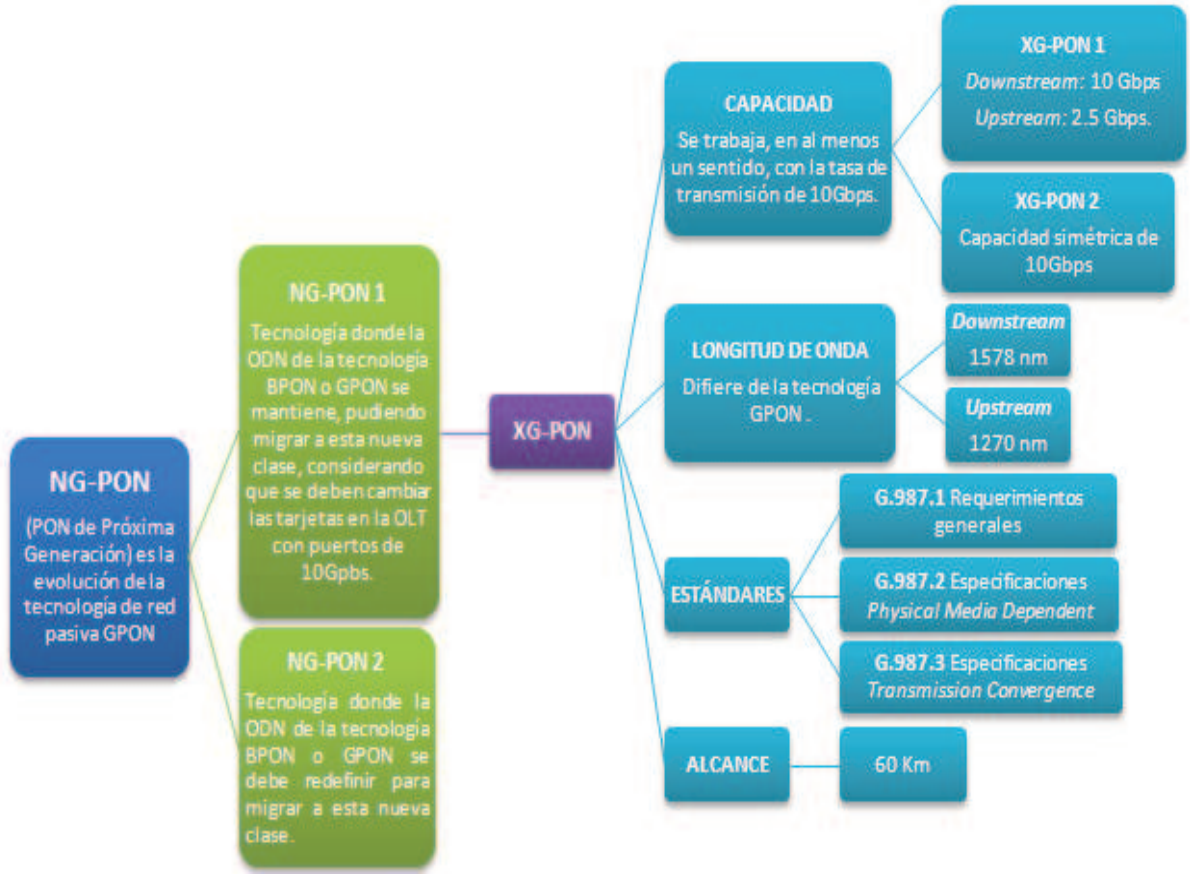


TABLA 2.32 Tecnología NG-PON. [86]

Una vez que se ha elegido la tecnología GPON para el desarrollo del proyecto, es necesario identificar que dentro de esta tecnología también se cuenta con determinadas clases. Las cuales contribuirán en un correcto Presupuesto de Potencia Óptica (*Optical Power Budget)*, con lo cual se procederá a la elección de equipos así como para la verificación de cantidades, ubicación y características de todos y cada uno de los elementos de la red.

Las diferentes clases de GPON, con sus respectivos rangos de atenuación permitidos así como los límites para la sensibilidad de recepción y potencia máxima de transmisión, se encuentran especificadas en la recomendación ITU-T G.984.2, además de sus enmiendas, obsérvese la tabla 2.33.

Clase GPON	Recomendación
Clase A	G.984.2 / G.982
Clase B	G.984.2 / G.982
Clase C	G.984.2 / G.982
Clase B+	G.984.2 enmienda 1
Clase C+	G.984.2 enmienda 2

TABLA 2.33 Clases de Redes GPON. [88]

Una vez que han sido mencionadas las clases, es importante identificar las diferencias que cada una de ellas pueden soportar, por concepto de pérdidas en el trayecto óptico, teniendo así la tabla 2.34.

	Clase A	Clase B	Clase C	Clase B+	Clase C+
Pérdidas mínimas	5 dB	10 dB	15 dB	13 dB	17 dB
Pérdidas máximas	20 dB	25 dB	30 dB	28 dB	32 dB

TABLA 2.34 Pérdidas establecidas por clase.

Actualmente la clase más comúnmente utilizada es la clase B+ debido a que posee mejoras con relación a sus predecesoras, y es la que ofrece mayor variedad en cuanto a equipos activos y elementos pasivos. Esta clase contempla una distancia máxima de 20 Km y en cuanto a la relación de división, puede llegar a soportar hasta 32 usuarios por puerto, cubriendo perfectamente los requerimientos antes mencionados. Es por esto, además de los costos que

implica utilizar otra clase superior, que se utilizará la clase B+ para todos los requerimientos que se tengan de aquí en adelante.

Ya definida una clase para la GPON, se identifica, en las tablas 2.35 y 2.36, algunos parámetros más que serán de utilidad para el dimensionamiento y cálculos de pérdidas en la ODN.

Elemento	Atenuación
Fibra Óptica @ 1310 nm (Km)	-0.4 dB/km
Fibra Óptica @ 1550 nm (Km)	-0.3 dB/km
Empalme por fusión	-0.1 dB
Empalme Mecánico	-0.5 dB
Pérdidas de inserción (conector)	-0.3 ~ -0.5 dB

FEC	Margen de guarda
+2 dB	-3 dB

TABLA 2.35 Parámetros para la clase B+.

Parámetros GPON B+	ONT	OLT
Potencia media inyectada MÍNIMA	0.5 dBm	1.5 dBm
Potencia media inyectada MÁXIMA	5 dBm	5 dBm
Sensibilidad Mínima	-27 dBm	-28 dBm
Sobrecarga Mínima [32]	-8 dBm	-8 dBm
Degradación en sentido Descendente	0.5 dBm	0.5 dBm

TABLA 2.36 Parámetros de equipo activo clase B+.

2.6.2 SELECCIÓN DEL PROVEEDOR DE SERVICIOS

Las encuestas realizadas a los dos sectores dieron a conocer el ISP que mayoritariamente cubre los servicios de telecomunicaciones en toda la ciudad de Ambato, la Corporación Nacional de Telecomunicaciones. La cual tiene como proyecto la instalación de una nueva infraestructura de red de telecomunicaciones en el centro y sur de la ciudad, planteando la instalación de la misma en un par de años. Consideran que la actual red de cobre montada no soporta el crecimiento que ha tenido la población y menos las exigencias de nuevos servicios y calidad de los mismos, resultados corroborados en las encuestas, por lo cual proyectan una red GPON. Actualmente se encuentran realizando un levantamiento y actualización de la información de la canalización de los ductos en los sectores centro y sur de la ciudad.

[32] Sobrecarga mínima: La sobrecarga del receptor es el valor máximo aceptable de la potencia media recibida en el punto R para una BER de 10^{-10}.

PERMISIONARIO	TOTAL ABONADOS	CONEXIÓN INTERNACIONAL (Mbps)
CNT	509147	43520,00
SURATEL	147654	13768,08
TELCONET	5878	5644,12
ECUADORTELECOM	110034	8043,00
LEVEL 3	1037	2441,41
PUNTONET S.A.	29094	1677,00
CONECEL	755	27832,03
ETAPA EP	49018	3515,63
OTROS	50734	9652,06

TABLA 2.37 Número de abonados y capacidad en Mbps de los proveedores del servicio de Internet. [89]

Según los datos de la tabla 2.37, la CNT tiene la mayor participación de mercado del servicio de Internet a través de acceso fijo, esto se debe a que su conexión internacional es sumamente alta, los datos corresponden a estadísticas del CONATEL Marzo 2013 y son necesarios para comparar y observar las limitaciones de los proveedores de Internet a considerar. Obsérvese la tabla 2.38.

Características	PROVEEDORES		
	CNT	TELCONET	LEVEL 3
Capacidad en Mbps	43520	5644	2441
Costo del Mbps	Bajo	Alto	Alto
Abonados en Tungurahua	Muchos	Pocos	Nada

TABLA 2.38 Limitaciones de proveedores del servicio de Internet más representativos.

Por lo tanto se concluye que la CNT es el ISP más idóneo, el cual proveerá de la capacidad de 1.5 Gbps, calculada en la sección 2.5, para cubrir los requerimientos de los actuales y futuros clientes.

2.6.3 SELECCIÓN DEL TENDIDO DE CABLE DE FIBRA ÓPTICA

2.6.3.1 Tendido de fibra aéreo

El tendido aéreo de fibra óptica utiliza los postes ubicados en las aceras de la ciudad, obsérvese las figuras 2.25 y 2.26, donde los cables de fibra se aseguran en cada uno de ellos mediante herrajes; para utilizarlos se debe arrendar dichos postes a la Empresa Eléctrica de Ambato EEASA. El tendido aéreo es más económico debido a los bajos costos de mantenimiento e instalación.

FIGURA 2.25 Tendido aéreo de fibra óptica, intersección calle Abdón Calderón y Primera Imprenta.

FIGURA 2.26 Manga de fibra óptica en el tendido aéreo.

En el centro de la ciudad de Ambato, por disposición del Ilustre Municipio de Ambato y de la EEASA, se procede a retirar los postes por criterios de estética y contaminación visual. El tendido de la red de fibra óptica de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones se despliega de modo aéreo en ciertas cuadras donde existen postes, y de modo subterráneo donde poseen infraestructura de ductos de telecomunicaciones. Sin embargo, es extensa el área de tendido donde se sujetan los cables en las paredes de las viviendas, como se muestra en la figura 2.27, exponiendo totalmente a la fibra a algún corte, robo y deterioro de la infraestructura, además de la contaminación visual y continuas quejas de los habitantes del sector. Por esta razón no se puede realizar el tendido de la red vía aérea.

FIGURA 2.27 Manga de fibra óptica empotrada en las paredes de los hogares del centro de la ciudad de Ambato.

2.6.3.2 Tendido de fibra subterráneo

En cuanto al tendido de fibra óptica subterráneo requiere de ductos de telecomunicaciones, la única infraestructura de ductería, en la ciudad de Ambato pertenece a la CNT y no existe convenio alguno que permita arrendarla a una empresa privada.

El tendido de la red de fibra óptica subterránea es la única alternativa para el diseño propuesto, por lo tanto se debería instalar una infraestructura de ductos propia de telecomunicaciones. Sin embargo, el extenso tiempo que tomaría ejecutar la obra incurriría en pérdidas para el proyecto planteado y el precio unitario que corresponde al costo por metro de ducto es extremadamente alto, ya que se debe considerar: planchas de hormigón para las aceras, ductos, excavadoras, tractores, camiones de carga, maquinaria, excesiva mano de obra, permisos municipales respectivos, etc. obsérvese las figuras 2.28 y 2.29. Por lo tanto se apunta a la técnica ahora denominada microzanjado.

FIGURA 2.28 Instalación de ductos para soterramiento de cables, ciudad de Quito.

FIGURA 2.29 Ductería subterránea de telecomunicaciones.

2.6.3.3 Técnica de Microzanjado

El microzanjado basado en el estándar UIT-T L.49, consiste en realizar una zanja o canal, de 1.5 a 5 cm de ancho x 15 a 30 cm de profundidad, en las aceras peatonales o calles de tránsito vehicular, como se muestra en la figura 2.30, para la posterior instalación subterránea de cables.

FIGURA 2.30 Microzanja realizada en el asfalto. [90]

La implementación de microzanjado para el tendido de fibra óptica se ha realizado para la Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros de Quito

(EPMTPQ), refiérase al ANEXO 4 donde se describen los pasos de su implementación. Cada vez más se la está implementando debido a las grandes ventajas que a continuación se describen:

Ventajas de la Técnica del Microzanjado

- Para la ejecución del microzanjado se emplea poca maquinaria que no es de gran volumen.
- Se requiere menos cantidad de obreros.
- Mayor velocidad del despliegue de la red, por lo que el tiempo de ejecución es mínimo.
- Los cables no están expuestos como están en el tendido aéreo, librándolos de reubicación de los postes, derrumbe por accidente, cortes provocados, etc.
- Suprime la contaminación visual provocada por el tendido aéreo de cables.
- Ausencia de ruido, escombros y polvo.
- El precio unitario de ejecución del microzanjado es bajo en comparación a la infraestructura subterránea de ductos.
- Es mínima la interrupción al tránsito vehicular y peatonal provocando menos molestias a los vecinos en general.
- Restitución rápida de la acera o avenida.
- Facilidad para obtener los permisos municipales pertinentes.

Desventajas de la Técnica del Microzanjado

- La desventaja de esta técnica es que si es escasa la profundidad del canal, los cables de fibra óptica pueden ser cortados o malogrados por obras ajenas que constantemente se ejecutan en la ciudad. Además por inclemencias del clima y/o paso vehicular pueden quedar expuestos por deterioro de la capa de asfalto, concreto, etc. que lo cubren.
- Además el canal queda inutilizado para posterior crecimiento de la red, debido a que no se podrá colocar un nuevo cable que abastezca a más usuarios a menos que se abra la ranura o se la realice nuevamente.

2.6.3.4 Comparación y selección del tendido de cable de fibra óptica

Según la introducción de cada una de las técnicas de tendido de cable de fibra óptica, se procede a la selección distinguiéndolas y comparándolas entre sus características más representativas en la tabla 2.39.

Características	TÉCNICA DE TENDIDO DE CABLE		
	Aéreo	Subterráneo	Microzanjado
Costo de instalación	Muy Bajo	Muy Alto	Bajo
Permite el crecimiento de la red	Si	Si	No
Seguridad que ofrece al Cable	Muy Baja	Muy Alta	Alta
Tiempo de instalación	Mucho	Excesivo	Mínimo
Molestias a la ciudadanía.	Baja	Alta	Nula

TABLA 2.39 Comparación entre las diferentes técnicas de tendido de cable.

No cabe duda que el tendido aéreo es el más económico y de fácil instalación, que pese a sus desventajas sigue sobresaliendo en el mercado. Sin embargo, al no existir postes en la gran parte del centro de la ciudad de Ambato y a todas las ventajas antes descritas del microzanjado, se recurre a esta técnica de excelente procedimiento, que hoy por hoy es muy requerida e implementada en el Ecuador y paso a paso seguirá evolucionando. Es preciso indicar que en el diseño de la red se considerará holgura suficiente para el crecimiento a futuro de la misma.

2.6.4 DESCRIPCIÓN DE LA TOPOLOGÍA DE LA RED GPON

2.6.4.1 Topología Lógica de red

La topología lógica de la red es aquella que la información sigue dentro de la red de comunicación.

2.6.4.1.1 Topología Lógica del Sector Residencial y Corporativo

Como se conoce la tecnología GPON utiliza WDM, los canales *upstream* y *downstream* están separados por diferentes longitudes de onda, a continuación se diferencia la topología lógica por canal:

Canal Downstream: Se transmite un *broadcast* en un solo sentido, *downstream*, desde la OLT hacia todos los clientes destino o no de la información, obsérvese la figura 2.31, constituyendo una red lógica punto multipunto, tal como se mencionó en el capítulo anterior.

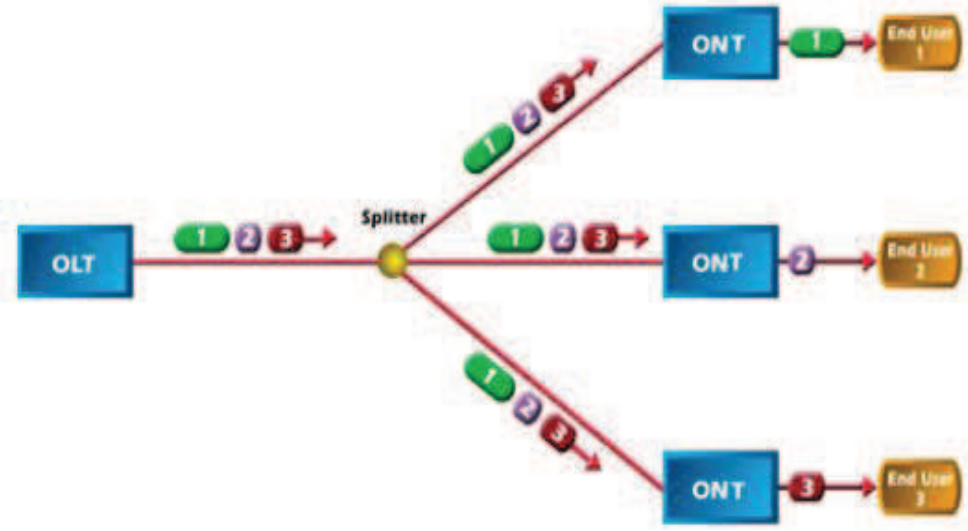


FIGURA 2.31 Diagrama de la topología lógica *downstream, broadcast*. [91]

Canal Upstream: Corresponde a una topología lógica punto a punto, donde la comunicación se realiza desde el cliente hasta la OLT, utilizando TDMA cada ONT tiene su ranura de tiempo que la ocupa para transmitir siempre y cuando tenga datos que enviar, obsérvese la figura 2.32.

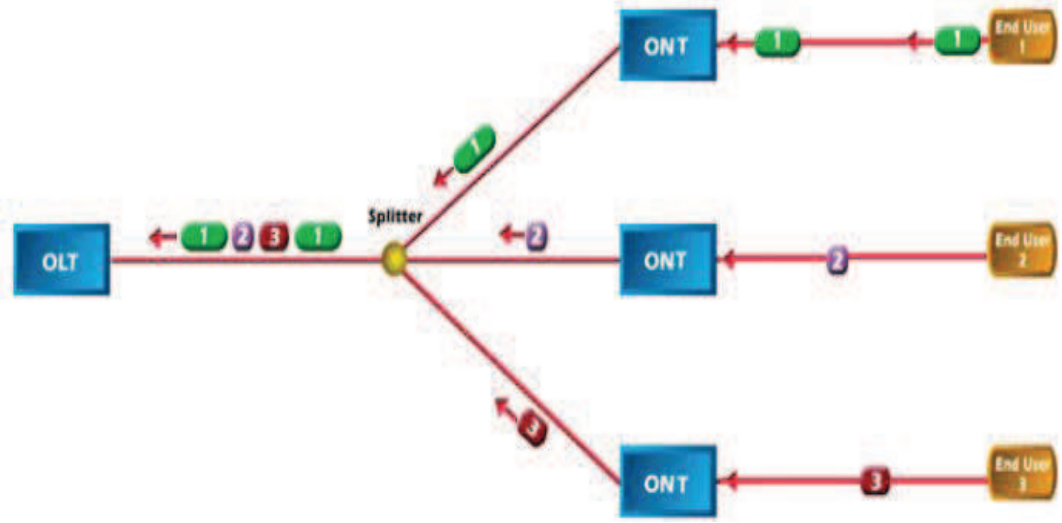


FIGURA 2.32 Diagrama de la topología lógica *upstream*, TDMA.

2.6.4.2 Topología Física de red

La topología física describe la forma en la que se interconectan todos los elementos de la red, como la OLT, ONTs y *splitters*, a través de la fibra óptica.

2.6.4.2.1 Topología Física del Sector Residencial y Corporativo

La topología física de una red GPON es una topología en árbol, obsérvese la figura 2.33, constituyendo una red jerárquica donde se tiene un dispositivo central,

denominado OLT, que se conecta por medio de los divisores ópticos al resto de dispositivos finales, ONTs. Es simple de administrar, permite que la infraestructura de la red no sea compleja y es de bajo costo. Cabe considerar que en caso de falla o ausencia de la OLT, dispositivo clave, se verá afectada toda la red.

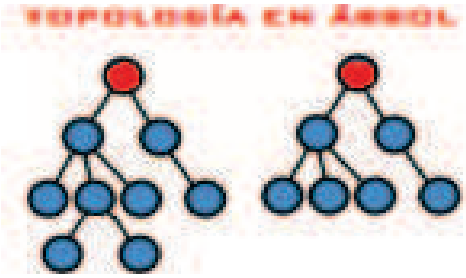


FIGURA 2.33 Distribución de los dispositivos acoplados al punto de conexión central en la topología en árbol.

En la figura 2.34 se observa la estructura de la red GPON, se empieza en la OLT y se llega hasta el usuario mediante dos niveles de división, que dependiendo de la distribución de los clientes en el plano parcelario se seleccionará la relación de división de los *splitters*. Cada puerto GPON dará servicio a 32 usuarios debido a la clase de GPON seleccionada anteriormente, por lo que si hubiera una rotura u otro defecto en el hilo de fibra que une a la OLT con el *splitter* principal, resultarán afectados hasta 32 usuarios en la red, los cuales quedarán sin ningún servicio. Por esta razón se extenderán dos hilos de fibra desde la OLT hasta el divisor óptico de primer nivel, los dos hilos provendrán de distintos cables de fibra que recorrerán rutas diferentes.

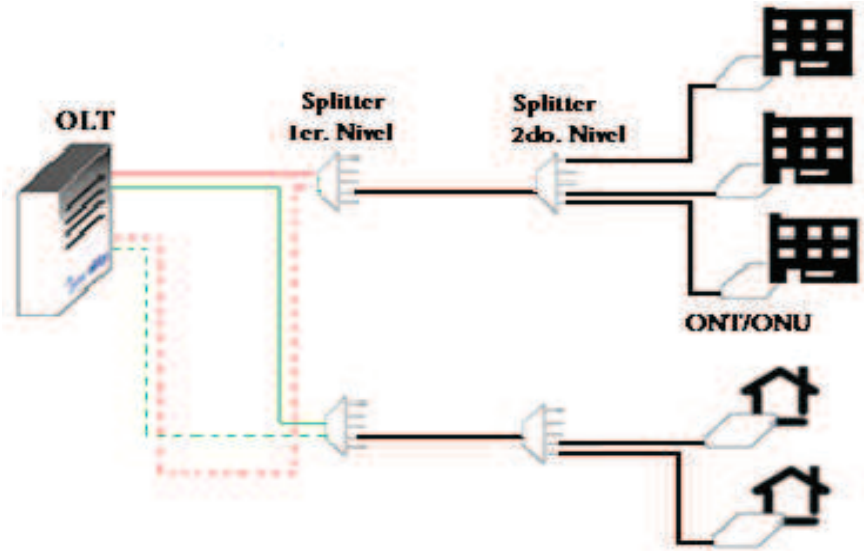


FIGURA 2.34 Diagrama de la topología física.

Se ofrece esa seguridad al cliente mediante la robustez de doble hilo observando qué hogares y corporaciones se encuentran distribuidos indistintamente en el centro de la ciudad y es apremiante la disponibilidad de todos los servicios contratados, ante cualquier falla empieza a funcionar el otro enlace brindando mejores tiempos de respuesta.

2.6.5 TRAZADO DE LA RED

2.6.5.1 División por sectores de la red

El sector determinado para construir la red GPON se lo ha dividido en siete zonas debido a que son limitadas por las avenidas más importantes de la ciudad, obsérvese la figura 2.35. Las zonas son de similar área y su extensión es ideal para la instalación de un adecuado número de *splitters* que facilite la apropiada administración zonal, además la población se distribuirá igualitariamente en cada zona permitiendo realizar un diseño uniforme donde se ubiquen los *splitters* a una distancia adecuada del usuario.

Tomando los datos arrojados por la proyección de la demanda para el período 2013-2017, anteriormente calculados, en cada zona se distribuyen equitativamente hogares y corporaciones importantes para la ciudad de Ambato. Entonces únicamente la zona 1 comprende 40 clientes corporativos potenciales y 229 hogares, las demás zonas tienen 36 clientes corporativos potenciales y 229 hogares. Se va a utilizar dos niveles de división para cubrirlos, por lo tanto se colocan nueve *splitters* primarios de 2 a 4, que como ya se indicó dos hilos se tenderán desde la OLT hasta los mismos ofreciéndoles un enlace redundante, y 36 *splitters* secundarios de 1 a 8.

Al utilizar cables de 24 hilos, cuyo costo por metro es más económico que un cable de 48 hilos, éste recorrería únicamente dos zonas, el diseño se resumiría en 7 rutas incrementando la cantidad de km de cable y por ende aumentando el costo del microzanjado en una cantidad significativa. Por lo tanto se emplea cables de 48 hilos para las rutas, lo que implica un gran ahorro y además se obtienen suficientes hilos obscuros que funcionarán como respaldo y futura reubicación de *splitters* o instalación de los mismos según el crecimiento de la demanda. A continuación se describe a cada zona y todas ellas en conjunto se observan en el Anexo 3.

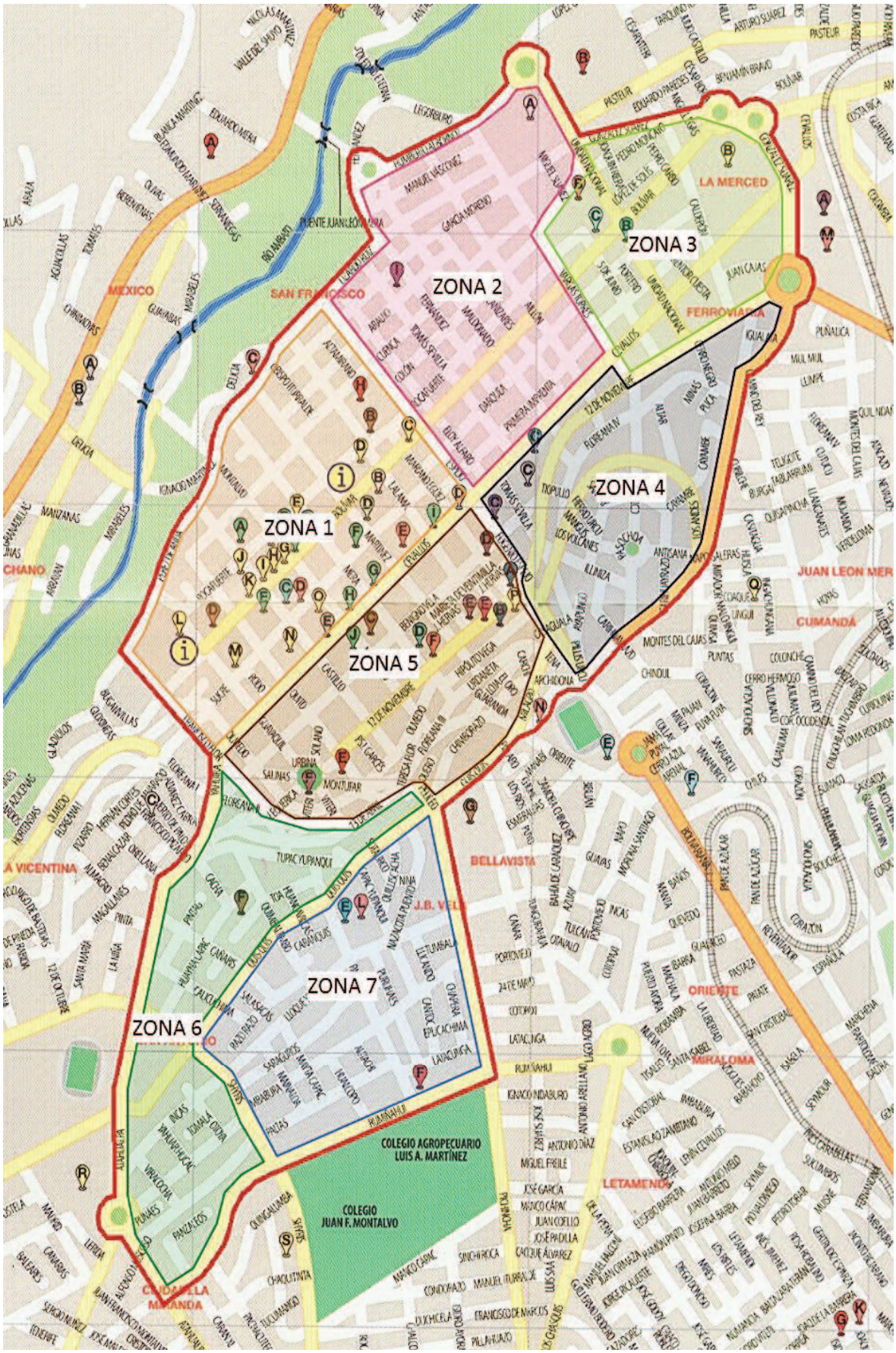


FIGURA 2.35 Área centro segmentada en siete zonas.

2.6.5.1.1 Zona 1

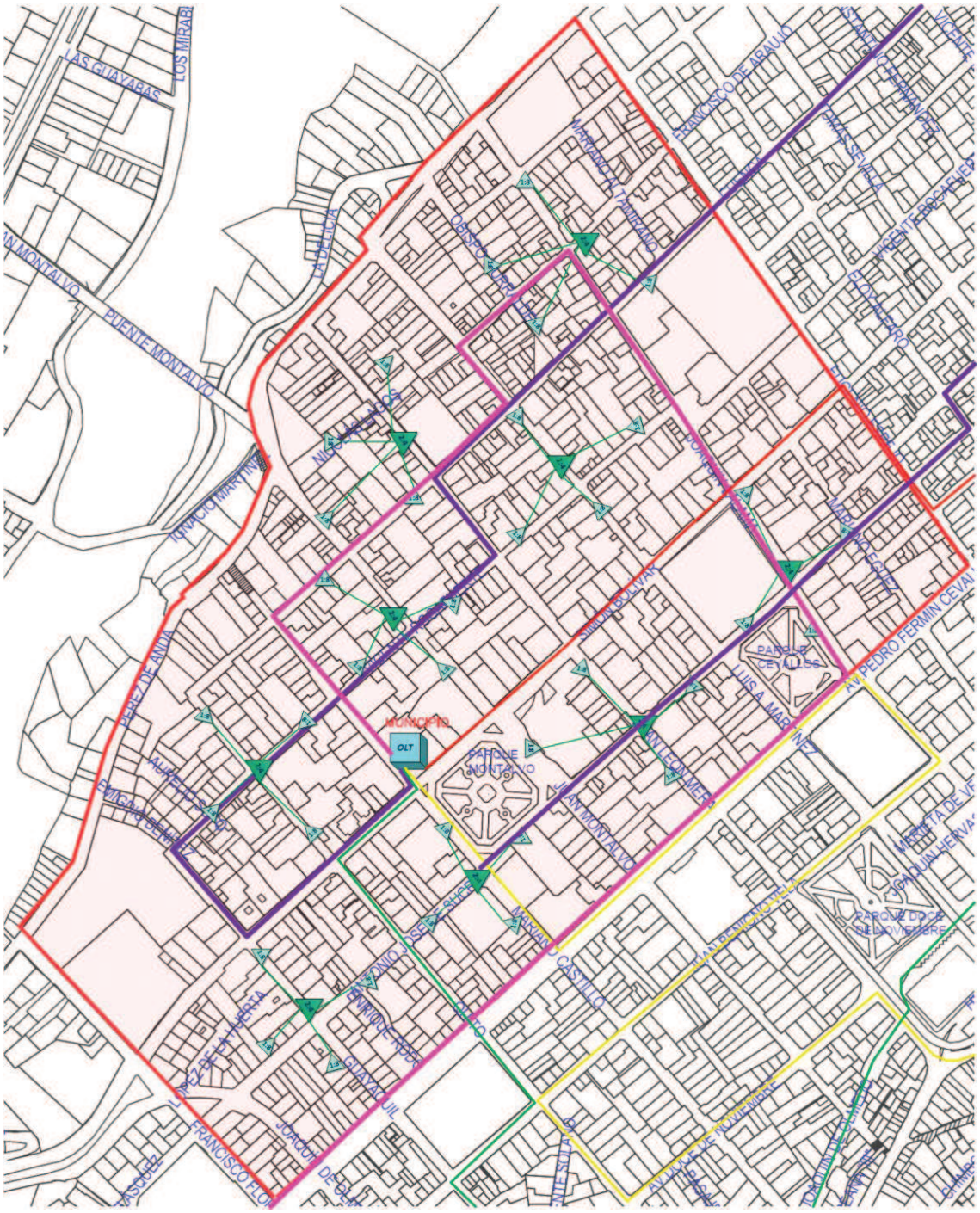


FIGURA 2.36 Zona 1, distribución de rutas y *splitters*.

La Zona 1 es la zona donde se va a situar la OLT, las calles que la limitan son: Eugenio Espejo, Francisco Flor, Pedro Fermín Cevallos y Pérez de Anda, en la figura 2.36 se observa la ruta principal de esta zona coloreada en morado, la ruta de respaldo coloreada en fucsia y la distribución de los divisores ópticos de primer y segundo nivel.

2.6.5.1.2 Zona 2

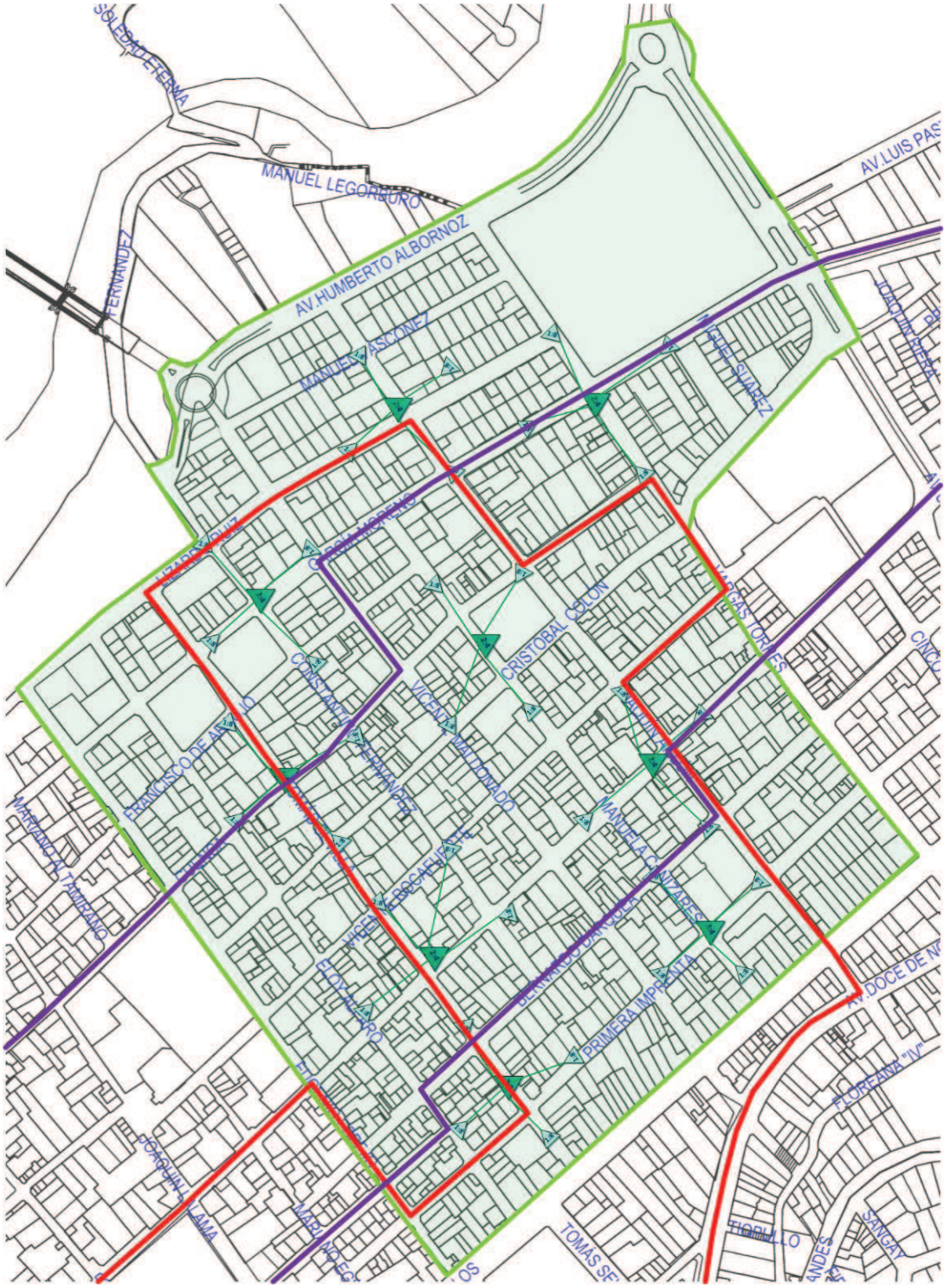


FIGURA 2.37 Zona 2, distribución de rutas y *splitters*.

Las calles que la limitan son: Vargas Torres, Unidad Nacional, Eugenio Espejo, Pedro Fermín Cevallos, Humberto Albornoz y Lizardo Ruiz, en la figura 2.37 se observa la ruta principal de esta zona coloreada en tomate, la ruta de respaldo

coloreada en morado y la distribución de los divisores ópticos de primer y segundo nivel.

2.6.5.1.3 Zona 3

Las calles que la limitan son: González Suárez, Vargas Torres y 12 de Noviembre, en la figura 2.38 se observa la ruta principal de esta zona coloreada en morado, la ruta de respaldo coloreada en verde y la distribución de los divisores ópticos de primer y segundo nivel.

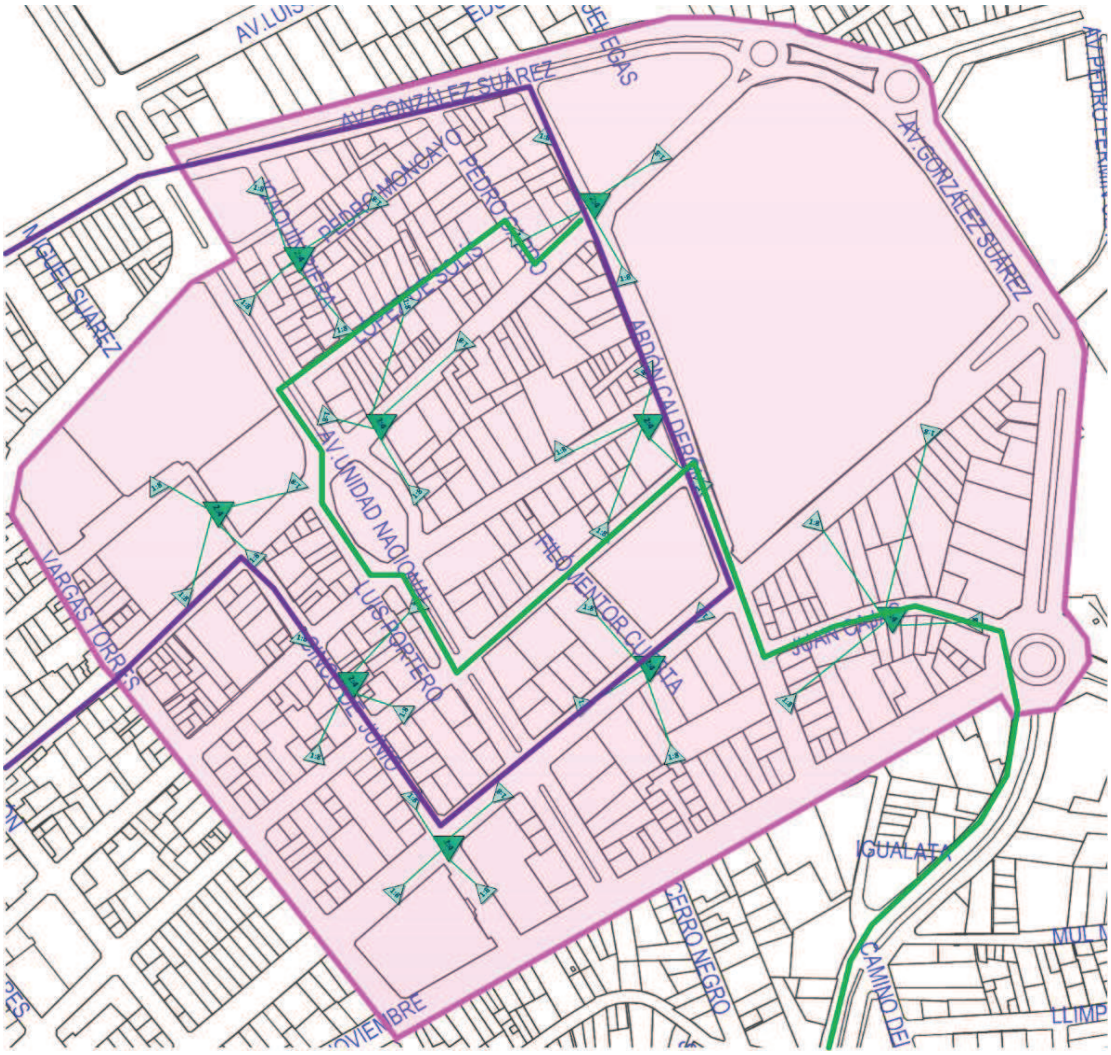


FIGURA 2.38 Zona 3, distribución de rutas y *splitters*.

2.6.5.1.4 Zona 4

Las calles que la limitan son: Eugenio Espejo, avenida Del Rey, Pedro Fermín Cevallos y 12 de Noviembre, en la figura 2.39 se observa la ruta principal de esta zona coloreada en verde, la ruta de respaldo coloreada en tomate y la distribución de los divisores ópticos de primer y segundo nivel.

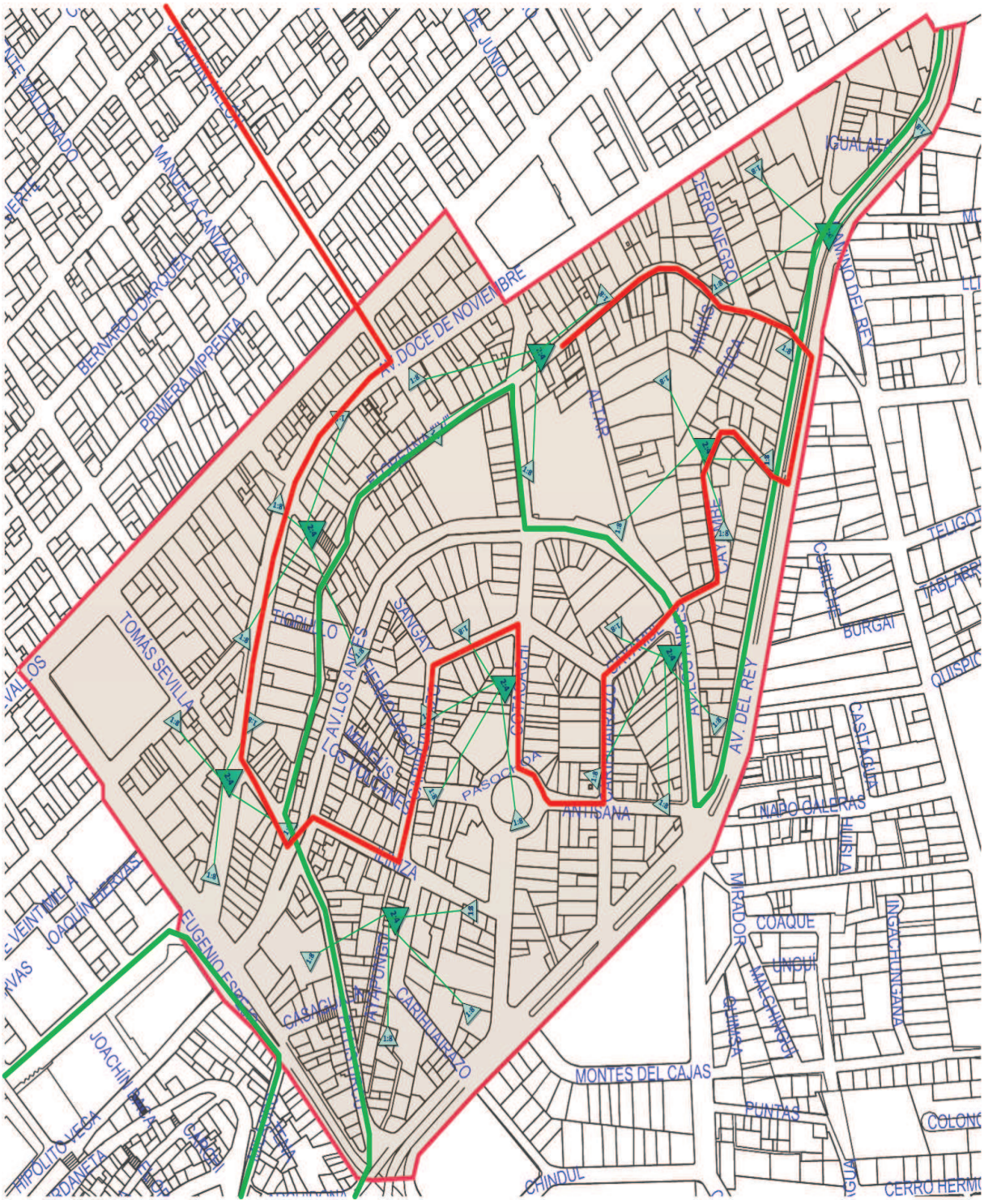


FIGURA 2.39 Zona 4, distribución de rutas y *splitters*.

2.6.5.1.5 Zona 5

Las calles que la limitan son: Eugenio Espejo, Francisco Flor, 13 de Abril, Quis Quis y Pedro Fermín Cevallos, en la figura 2.40 se observa la ruta principal de esta zona coloreada en verde, la ruta de respaldo coloreada en amarillo y la distribución de los divisores ópticos de primer y segundo nivel.

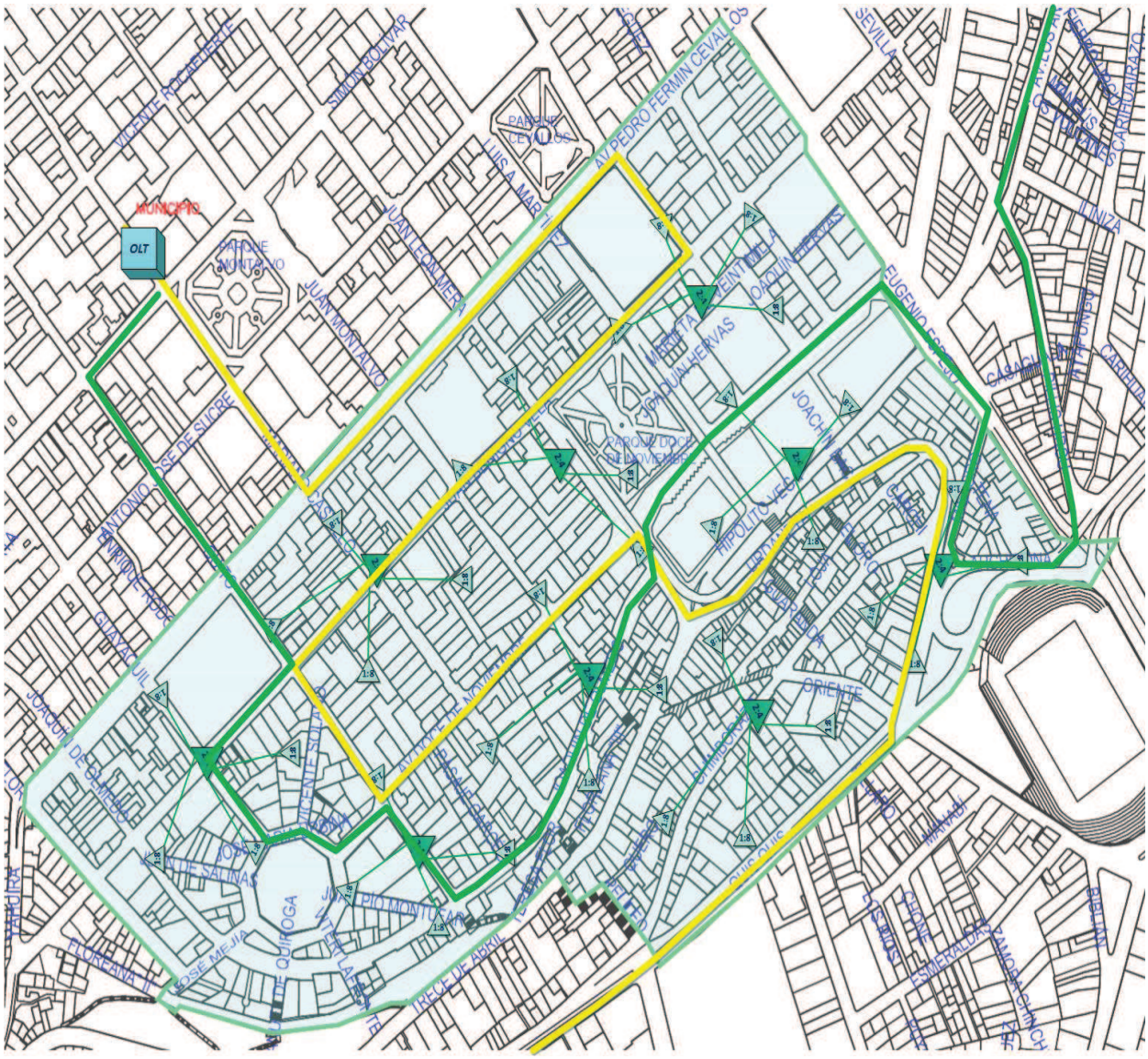


FIGURA 2.40 Zona 5, distribución de rutas y *splitters*.

2.6.5.1.6 Zona 6

Las calles que limitan esta zona son: Francisco Flor, 13 de Abril, Rumiñahui, Quis Quis, Shyris y Atahualpa, posee una ruta principal, misma que está coloreada en fucsia; la ruta de respaldo está coloreada en amarillo y los *splitters* de primer y segundo nivel están distribuidos como se indica en la figura 2.41.

2.6.5.1.7 Zona 7

La Zona 7 es la última zona, las calles que la limitan son: Quis Quis, Rumiñahui, Pichincha y Shyris, en la figura 2.42 se observa la ruta principal de esta zona coloreada en amarillo, la ruta de respaldo coloreada en fucsia y la distribución de los divisores ópticos de primer y segundo nivel.

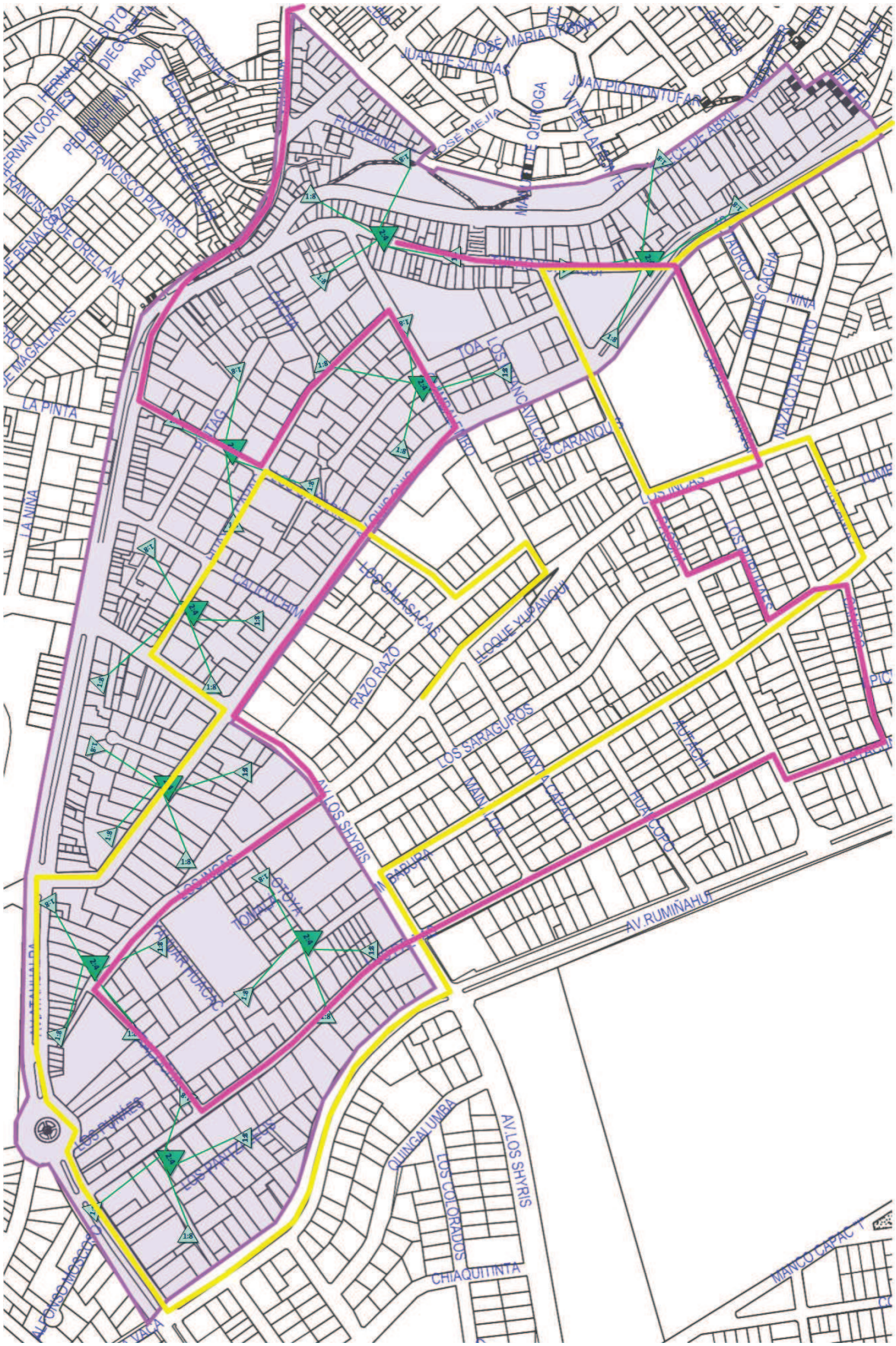


FIGURA 2.41 Zona 6, distribución de rutas y *splitters*.

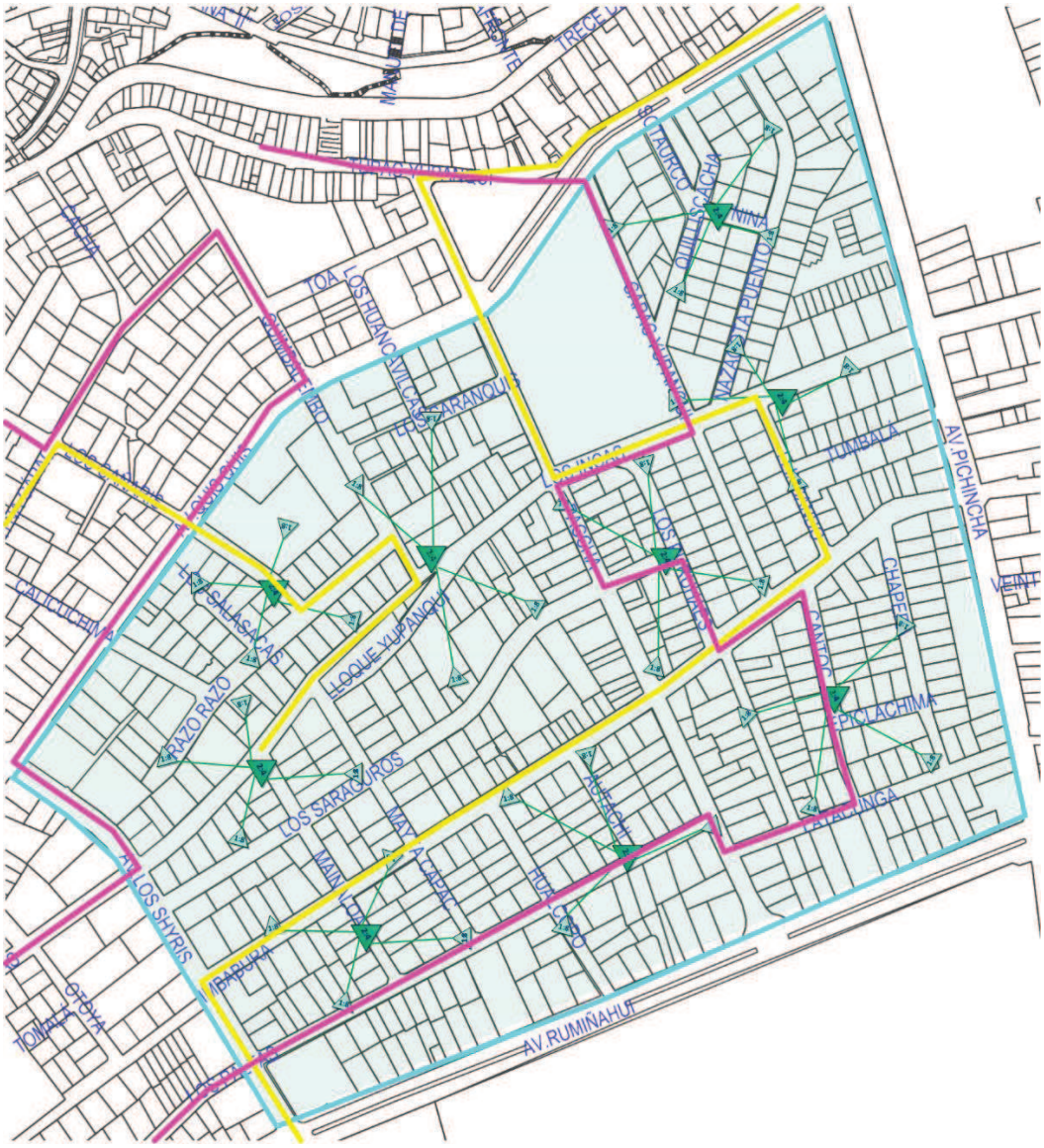


FIGURA 2.42 Zona 7, distribución de rutas y *splitters*.

2.6.5.2 Rutas para el tendido del cable de fibra

- La Ruta indicada con línea morada está constituida por un cable de 48 hilos, es la ruta principal de la zona 1 y zona 3 donde se sangra al cable de fibra en 18 hilos, además constituye la ruta de respaldo de la zona 2 donde se sangra al cable de fibra en 9 hilos más, por lo tanto de los 48 hilos del cable se utilizarán 27.
- La Ruta indicada con línea tomate está constituida por un cable de 24 hilos, es la ruta principal de la zona 2 donde se sangra al cable de fibra en 9 hilos, además constituye la ruta de respaldo de la zona 4 donde se sangra al cable de fibra en 9 hilos más, por lo tanto de los 24 hilos del cable se utilizarán 18.

- La Ruta indicada con línea verde está constituida por un cable de 48 hilos, es la ruta principal de la zona 5 y zona 4 donde se sangra al cable de fibra en 18 hilos, además constituye la ruta de respaldo de la zona 3 donde se sangra al cable de fibra en 9 hilos más, por lo tanto de los 48 hilos del cable se utilizarán 27.
- La Ruta indicada con línea amarilla está constituida por un cable de 48 hilos, es la ruta principal de la zona 7 donde se sangra al cable de fibra en 9 hilos, es la ruta de respaldo de la zona 5 y zona 6 donde se sangra al cable de fibra en 18 hilos más, por lo tanto de los 48 hilos del cable se utilizarán 27.
- Por último un cable de 48 hilos constituye la Ruta indicada con línea fucsia, es la ruta principal de la zona 6 donde se sangra al cable de fibra en 9 hilos, además constituye la ruta de respaldo de la zona 1 y zona 7 donde se sangra al cable de fibra en 18 hilos más, por lo tanto de los 48 hilos del cable se utilizarán 27.

Suponiendo el hecho de no colocar redundancia, proponiendo un rápido diseño en el área centro, se tenderían únicamente tres rutas, la primera ruta cubriría las zonas 1, 2 y 3, la segunda ruta las zonas 4 y 5, y la tercera ruta las zonas 6 y 7; se lograría reducir la cantidad de metros de cable de fibra óptica por ende la mano de obra del microzanjado, esto se refleja en los costos los cuales se reducirían notablemente.

En esta situación, según las desventajas antes descritas del microzanjado, si se llegara a romper el cable de fibra óptica, en el peor escenario, que sigue la ruta 1 cerca a la OLT, alrededor de 687 abonados residenciales y 112 corporativos se quedarían sin servicios. Luego de una indagación de los hechos, obtención de material, empalmes y mano de obra de microzanjado se necesitará aproximadamente de 48 horas, tiempo que perjudicaría el grado de disponibilidad de los servicios que se haya ofertado a los usuarios mismos que optarían por cambiarse de proveedor especialmente los corporativos. Con esta realidad y al costo de reparación que se asumiría por los daños, sería equivocado descartar la redundancia de doble hilo para este diseño.

2.6.6 CRITERIOS DE DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS DE RED PASIVOS Y ACTIVOS

2.6.6.1 Criterios de Diseño

Uno de los criterios más importantes a considerar para el diseño de una red GPON es la ubicación y distribución de los *splitters*, ya que son una parte muy importante dentro de la misma. Es por esto que se debe considerar si es necesaria la utilización de uno o dos niveles de *splitters*, y cuan cerca o lejos éstos se ubicarán de la Oficina Central, teniendo así lo siguiente:

- Con un solo nivel se facilita la administración y las pruebas de campo.
- Con dos niveles de *splitters*, se reduce el costo debido al menor tendido de cable de fibra.

En cuanto a la ubicación de los *splitters*, se debe tomar en cuenta algunos puntos, siendo éstos los siguientes:

- Si el *splitter* se encuentra muy cercano a la Oficina Central, se incurriría en mayores costos para el tendido de la fibra pero se facilitaría el mantenimiento de los mismos y optimizaría el uso de los puertos PON.
- Si el *splitter* se encuentra en un punto medio entre el abonado y la CO, en un gabinete *outdoor*, esto reduciría los costos pero dificultaría un poco el mantenimiento; y por último
- Si se coloca el *splitter* lo más cercano al usuario, esto reduciría al máximo el costo de tendido de cables pero dificultaría el mantenimiento *on-site* y hace un poco menos eficiente el uso de los puertos PON.

Una vez identificadas las posibilidades existentes en cuanto a la ubicación de los *splitters*, y como se mostró en el trazado propuesto para la red, se eligió dos niveles de *splitters* en una combinación, en cuanto a ubicación, de un punto intermedio con el punto más cercano al usuario, con la finalidad de poder abaratar los costos y aun así poder tener una adecuada administración de la red.

2.6.6.2 Características de los Elementos Activos y Pasivos

En esta sección se pretende realizar un resumen general de las características que deberán poseer cada uno de los elementos que compondrán la red. Empezando por la OLT, pasando por la fibra óptica y *splitters* hasta llegar a los

ONTs de cada abonado, identificando cuales serían las especificaciones que deberán cumplir cada uno de estos elementos para satisfacer los requerimientos del proyecto.

2.6.6.2.1 Equipos activos

A. Características de la OLT

La OLT es el equipo que se considera principal para la red, sin desmerecer a los demás elementos que también son una parte importante dentro de la misma, por esta razón debe poseer características específicas para poder cubrir todas las necesidades del proyecto, mencionadas a continuación:

- Debe ser un equipo tipo chasis con la capacidad de colocar o remover tarjetas, así como fuentes de poder redundantes y la adecuada ventilación. Ver figura 2.43.
- Debe poseer niveles en potencia de transmisión, y sensibilidad de recepción, acordes a los valores referenciales en la clase B+, refiérase a la tabla 2.36.
- Debe poseer una cantidad de puertos suficientes, es decir que si se considera el trazado realizado anteriormente, en donde todas las zonas poseen 9 *splitters* primarios con una relación de división de 2:4, la OLT debería por lo menos contar con esta cantidad de puertos:

$$\#_{puertos\ GPON} = \left(\frac{2\ puertos}{splitter} * \frac{9\ splitters}{zona} * \frac{7\ zonas}{1}\right)$$

$$\#_{puertos\ GPON} = 126\ puertos\ GPON$$

- Debe ser capaz de soportar varios tipos de interfaces, ya sea para enlaces de *Uplink* con otras redes como Gigabit Ethernet, GEPON, MPLS, etc.; además de las interfaces de control y administración.
- Debe tener soporte de varios tipos de protocolos para poder controlar: seguridad, calidad de servicio, encapsulamiento, etc.; debido a que será necesario implementar algunos de ellos para ofrecer un buen servicio, seguro y de la mejor calidad.

FIGURA 2.43 OLT GPON y tarjetas desmontables. [92] [93]

B. Características de los ONTs

El ONT es el equipo que debe poseer la capacidad de diferenciar las longitudes de onda que serán transmitidas por la OLT para así poder distinguir a cada uno de los servicios que se transmitirán, entre otras características se señalan las siguientes:

- Debe ser un equipo para *indoor*, el mismo que pueda ser fácil de instalar y no conlleve una gran demanda de espacio físico en el lugar de su instalación, como se puede observar en la figura 2.44.
- Debe poseer las especificaciones en cuanto a potencia de transmisión, y sensibilidad de recepción, acordes a las de la clase B+, refiérase a la tabla 2.36.
- Debe contar con interfaces acordes a los servicios, es decir por lo menos debe tener las siguientes interfaces:
  - Puerto GPON para la llegada de los servicios.
  - Puerto Ethernet para poder conectarse a los computadores, teléfonos y televisores IP.
  - Puerto POST (*Plain Old Telephone Service*) para poder trabajar con los teléfonos analógicos existentes en la actualidad.
  - Puerto Coaxial RF para poder recibir la señal de TV-RF si se trabaja con este tipo de servicio.

- Debe contar con la capacidad de ofrecer seguridad y calidad de servicio, para lo cual se necesita que trabajen con estándares como AES, 802.1q (VLAN), DBA, también implementación de ACLs y políticas de restricción, etc.

FIGURA 2.44 ONT y posibles puertos de conexión. [94]

En síntesis tanto la OLT como el ONT deben cumplir con algunas especificaciones básicas resumidas en la tabla 2.40.

REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA EQUIPO ACTIVO		
	ONT	OLT
Puertos	Mínimo 1 puerto GPON	Mínimo 126 puertos GPON
	Al menos 2 Puertos Ethernet 10/100	Puertos de *Uplink* IP/MPLS, ATM, GEPON, etc.
	Por lo menos un puerto POST y un puerto Video-RF	Puertos de administración y configuración.
Sensibilidad mínima	-13 dBm a -27 dBm	-13 dBm a -28 dBm
Potencia de transmisión máxima	+0.5 dBm a +5 dBm	+1.5 dBm a +5 dBm
Estándares y protocolos	QoS 802.1p (priorización de tráfico) 802.1q (VLAN) 802.11 (opcional)	QoS 802.1p (priorización de tráfico) 802.1q (VLAN) 802.1ad (multiple VLAN)
Administración	CLI, GUI, SNMP, SSH, Telnet	CLI, GUI, SNMP, SSH, Telnet
Longitud de onda	1310 nm. (*Upstream*)	1310 nm. (*Upstream*)
	1490 nm. (*Downstream*)	1490 nm. (*Downstream*)
	1550 nm. (Video)	1550 nm. (Video)
Extras	110 - 120 VAC @ 60 Hz.	*Hot Swap* de tarjetas

TABLA 2.40 Resumen de requerimientos para OLT y ONT.

2.6.6.2.2 Elementos Pasivos

A. Características de la fibra óptica

Respecto al cable de fibra óptica y a la fibra óptica en sí, se debe asegurar que se utilicen las opciones adecuadas para cada sector de la red. Teniendo presente lo mencionado en la sección 1.2.6 y también en la sección 1.2.7; de entre las posibilidades, se debe optar por las que cumplan con algunas características generales para el correcto desempeño en este proyecto.

En lo que se refiere a la ODN, se considera que es la red que se extenderá desde la oficina central hasta la caja de acometida, por lo cual se van a considerar las siguientes necesidades:

- El cable de fibra debe soportar el tendido subterráneo, pudiendo éste ser a través de ducto PVC o directamente enterrado.
- Debe poseer la adecuada protección para el tipo de tendido, es así que deberá ser un cable armado con el apropiado número de cubiertas protectoras.
- El cable de fibra debe contener todas las medidas de seguridad citadas en los estándares como UL (*Underwriters Laboratory*), NEC (*National Electric Code*) y MSHA (*Mining, Saftey & Health Administration*).
- En cuanto a la fibra, de entre todos los estándares que se han considerado se destacan dos que podrían ser de utilidad para el proyecto, éstos son G.652 y G.655 ya que por las características descritas en las secciones 1.2.6.2 y 1.2.6.5 respectivamente, ofrecen la sustentación necesaria para el funcionamiento de la red.

  Realizando un análisis del ancho de banda que estos dos estándares de fibra óptica pueden ofrecer, se obtiene de la siguiente fórmula empírica [6]:

$$AB = \frac{0{,}5}{\tau}$$

  Donde:

  AB: Ancho de banda en [Hz]

  τ: Dispersión Cromática [s]

$$\tau = D * L * A$$

Donde:

D: Coeficiente de dispersión cromática $[\frac{ps}{km * nm}]$

L: Longitud de la fibra óptica [Km]

A: Anchura espectral de la fuente [nm]

En la tabla 2.41 se muestran valores típicos para estos parámetros, los cuales son utilizados para realizar éste análisis y verificar lo antes descrito.

λ: 1550 nm	G.655	G.652
D $[\frac{ps}{km * nm}]$	8 [33]	17 [34]
L $[km]$	20 [35]	20
A $[nm]$	0.2 [95]	0.2
τ $[s]$	$8\left[\frac{ps}{km * nm}\right] * 20\ [km] * 0{,}2\ [nm]$	$17\left[\frac{ps}{km * nm}\right] * 20[\ km] * 0{,}2\ [nm]$
AB $[Hz]$	15,625 x 10^9	7,352 x 10^9

TABLA 2.41 Parámetros y cálculo del ancho de banda.

Resultando que el ancho de banda que los dos estándares pueden ofrecer cubre sobre medida los requerimientos de la red GPON. Además como el ancho de banda es inversamente proporcional a la distancia, si las distancias son menores, como es el caso de este proyecto donde la distancia hacia el usuario más lejano no sobrepasa los 6 Km, el mismo aumentará.

Las fibras G.655, como ya se explicó, son fibras optimizadas para trabajar en la tercera ventana disminuyendo los problemas que se presentan por los efectos no lineales cuando se trabaja a grandes distancias y a grandes velocidades. Obsérvese la tabla 2.42. Es por esta razón que este tipo de fibras no definen parámetros de aplicación para la segunda ventana (1310 nm), por lo tanto es imposible su

[33] Estándar ITU-T G.655 sección I.6 Ejemplos de Implementación.
[34] Estándar ITU-T G.652 sección I.5 Tablas de valores típicos.
[35] Longitud máxima definida en el estándar ITU-T G.984 GPON, que representa el caso más crítico.

utilización para una red GPON ya que el tráfico de *upstream* utiliza esta ventana.

PROPIEDADES ÓPTICAS		G.652.B	G.652.C&D	G.655 & G.656
Diámetro Campo Modal (µm)	1310 nm	9.2 ± 0.4	9.2 ± 0.4	----
	1550 nm	10.3 ± 0.5	10.3 ± 0.5	9.2 ± 0.5
Coeficiente Atenuación (dB/Km)	1310 nm	≤ 0.35	≤ 0.35	≤ 0.40
	1383 nm	----	≤ 0.35	---
	1550 nm	≤ 0.24	≤ 0.24	≤ 0.25
	1525 – 1575 nm	---	---	≤ 0.30
Dispersión Cromática (ps/nm.Km)	1285 – 1330 nm	≤ 3	≤ 3	-
	1550 nm	≤ 18	≤ 18	-
	1530 – 1565 nm	-	-	5.5 - 10
	1565 – 1625 nm	-	-	7.5 – 13.8
Longitud Onda Cero Dispersión (nm)		1300 - 1322	1300 - 1322	≤ 1440
Pendiente Dispersion Cero (ps / nm² Km)		≤ 0.092	≤ 0.092	---
Índice Refracción	1310 nm	1.467	1.467	1.4690
	1550 nm	1.468	1.468	1.4692
Longitud Onda Corte (nm)	Cableado	≤ 1260	≤ 1260	≤ 1260
PMD (ps / (ps/√Km) Valor Enlace	1550 nm	< 0.1	< 0.1	< 0.1 40

Propiedades ópticas, geométricas y mecánicas conforme a UIT-T G.652, G.655, G.656, CEI 60793-2-50, ISO/IEC 11801, EN 50173, Telcordia GR-20-CORE y ANSI/ICEA S-87-640.

TABLA 2.42 Resumen de diferencias entre estándares. [96]

Por lo tanto se utilizará la fibra óptica G.652 ya que es capaz de trabajar con las longitudes de onda utilizadas por las redes GPON. De entre las subcategorías del estándar mencionadas en la sección 1.2.6.2, y observando la tabla 2.43, donde se destacan algunas de sus diferencias, se concluye que la clase G.652.D es la más versátil ya que al ser una fibra del tipo LWP (*Low Water Peak*), permite trabajar con longitudes de onda en un rango extendido. No así la subcategoría A y B que no pueden usar la quinta ventana. G.652.D posee el menor coeficiente de modo de polarización que la subcategoría C, lo que la hace capaz de soportar mayores velocidades, ayudando en el futuro a migrar la red a sistemas con mejores tasas de transmisión, sin necesidad de realizar cambios en la ODN.

	Maximum Macrobend Loss at 1625 nm (dB)	Maximum Attenuation Coefficient (dB/km)			Maximum Cabled PMD_Q (ps/√km)
		1310 nm	1383 ± 3 nm	1550 nm	
ITU-T G.652.A	N/A	0.5	N/A	0.4	0.5
ITU-T G.652.B	0.5	0.4	N/A	0.35	0.2
ITU-T G.652.C	0.5	0.4	(see note)	0.3	0.5
ITU-T G.652.D	0.5		(see note)	0.3	0.2
IEC B1.1	0.5	0.4	N/A	0.3	0.5
IEC B1.3	0.5	0.4	0.4	0.3	0.5
Note: Attenuation in the 1383 nm range must be less than or equal to the value at 1310 nm after hydrogen aging.					

TABLA 2.43 Coeficiente de atenuación para estándares G.652. [97]

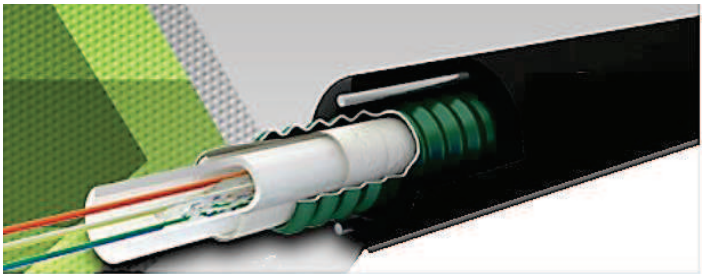


FIGURA 2.45 Cable de fibra G.652.D.

Para las instalaciones que se realizarán en los lugares de abonado, se deben cumplir las siguientes características:

- Debe ser un cable lo suficientemente flexible.
- Debe soportar la instalación *indoor* como *outdoor*.
- Deberá cumplir con estándares y medidas de seguridad de las entidades pertinentes como son los estándares UL, NEC, etc.
- En cuanto a la fibra misma, el único tipo de fibra que puede ser utilizado para estas aplicaciones es la que cumple con el estándar G.657 ya que sus radios de curvatura permiten instalarlo en esquinas y secciones muy difíciles dentro de las viviendas o locales comerciales, como se observa en la figura 2.46. Esta característica permite ingresar al lugar del abonado a diferencia de otras. Además permite realizar grapado a la fachada, ingresar por lugares estrechos o lugares con radios de curvatura pequeños.

Dentro de sus subcategorías y considerando lo citado en la tabla 1.9 de la sección 1.2.6.7 se utilizará la G.657.A. Aun cuando no presenta las mejores características en cuanto a radios de curvatura y pérdidas, es la de mejor compatibilidad con la fibra G.652.D y por esta razón se asegura un buen funcionamiento del sistema.

FIGURA 2.46 Instalaciones de fibras G.657. [98]

B. Características de los Splitters

Como se indicó en la sección 1.3.1, los *splitters* son una parte muy importante en las redes GPON ya que principalmente ayuda a la distribución de la información hacia los usuarios y la integración de la misma hacia la OLT sin necesidad de tener equipos activos. Por lo tanto reduce significativamente los costos en la implementación de la red.

Entre las características principales para los *splitters* se debe considerar:

- Adecuada relación de división para poder cubrir cada sector en las zonas de la red diseñada.
- Atenuación, como se explicó en la sección 1.3.1.2 las pérdidas se deben básicamente a pérdidas de inserción, mismas que deben estar acorde a la clase B+ de red GPON que se está diseñando para evitar sobrepasar los niveles máximos de atenuación.
- Encapsulamiento adecuado para soportar cualquier condición dependiendo del lugar de su instalación.
- Deben ser *splitters* no conectorizados, ya que si bien es cierto no son muy versátiles para su instalación, ayudarán a reducir las pérdidas debido a

conectores y se tendrán únicamente pérdidas generadas por las fusiones realizadas. Obsérvese la figura 2.47.

- Deben ser *splitters* simétricos ya que éstos están distribuidos uniformemente por toda el área y la distancia no influye demasiado en el *Optical Power Budget,* por lo tanto las pérdidas deben ser lo más estables posible.
- Deben contar con la tecnología adecuada, ya que refiriéndose a la sección 1.3.1.3, los *splitters* con tecnología FBT pueden alcanzar relaciones de división muy bajas y no presentan mayores ventajas en cuanto a uniformidad de luz, por lo que los *splitters* a utilizar en la red GPON diseñada deberán ser de tecnología PLC.

FIGURA 2.47 *Splitters* de varios tipos y relaciones de división. [99]

2.6.7 TECNOLOGÍA FTTx

Como se indicó anteriormente existen muchas variantes para este tipo de tecnologías. A continuación se procede a identificar, en base a los requerimientos de la red planteada, cuál o cuáles de ellas son las que proveerán las mejores ventajas para la aplicación al proyecto en concreto.

Si bien tecnologías como FTTN y FTTC ofrecen la capacidad para dar servicio a una gran cantidad de suscriptores, además de abaratar los costos, las mismas pierden el fondo de lo que se quiere lograr con una red xPON. Debido a que estas dos tecnologías en su última milla, realizan la transmisión a través de pares de cobre, lo cual como se mencionó anteriormente limita la calidad de los servicios, ya que tecnologías como xDSL u otras son muy dependientes de la distancia a la que se encuentre el nodo del suscriptor.

Por esta razón y debido a que el proyecto se centra en brindar los servicios *Triple Play*, mismos que requieren de un gran ancho de banda, tanto FTTN como FTTC, son descartadas como una posible opción para el proyecto. Quedando aún dos posibles tecnologías que son FTTB y FTTH.

FTTB y FTTH son muy similares. Su diferencia principalmente radica en el lugar donde se encuentre el suscriptor, es decir que cualquiera de las dos posibilidades son igual de valederas. Por ejemplo si un abonado dispone de su propia vivienda, en la cual reside una única familia se podría pensar en la aplicación de FTTH, pero si por el contrario el suscriptor reside en un edificio de departamentos en el que cada piso es una vivienda diferente se podría pensar en una tecnología como FTTB o la misma FTTH.

En este caso para poder diferenciar entre cuál de las dos se puede utilizar, básicamente dependerá de cómo ha sido construido el edificio y si éste dispone de un sistema de cableado estructurado o no, por lo tanto para la implementación del proyecto se ha decidido aplicar las dos variantes antes mencionadas. FTTB se utilizará para los clientes corporativos debido a cómo se encuentran establecidos los mismos; y FTTH para los clientes residenciales que en su mayoría disponen de viviendas de una o dos plantas exclusivamente.

En la figura 2.48 se observa la llegada de la fibra óptica al abonado, tanto en la tecnología FTTB como en FTTH.

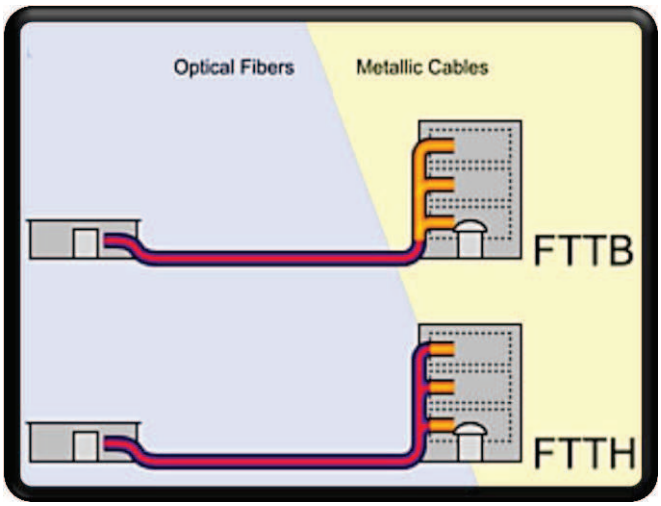


FIGURA 2.48 Diferenciación entre FTTB y FTTH. [100]

2.7 PRESUPUESTO DE PÉRDIDAS DE POTENCIA

Como se explicó en la sección 2.6.1, la clase B+ ofrece ciertos parámetros mínimos que se debe cumplir para el correcto funcionamiento de la red, es por esto que una parte importante a considerar es el Balance de Potencias o también llamado *Optical Power Budget*.

Al tener una red donde las pérdidas fueran demasiado elevadas, se consideraría elevar la potencia de transmisión, una solución rápida mas no la adecuada ya que sobrecargaría a los ONTs y exigiría más a la OLT, pudiendo inclusive llegar a dañar a los equipos. A continuación se procede a dimensionar la totalidad de las pérdidas que se presentarán en la ODN, para así verificar que la potencia de transmisión tanto de la OLT como de los ONTs sean las adecuadas, además de sus niveles de sensibilidad, garantizando así una óptima transmisión.

Con la siguiente fórmula se procede a calcular las pérdidas totales ($\alpha_{totales}$), además de fijar un margen de guarda.

$$\alpha_{totales} = \alpha_{Sp\,1} + \alpha_{Sp\,2} + (\alpha_{fibra} * distancia) + (\alpha_{emp} * \#_{emp}) + (\alpha_{con} * \#_{con}) + margen\ de\ guarda$$

Donde:

$\alpha_{Totales}$: Pérdidas totales que se contabilizan a lo largo del enlace entre los equipos, considerando el usuario más cercano así como el más lejano respectivamente, y son las siguientes:

- **$\alpha_{Sp\ 1}$:** Pérdida de inserción del *splitter* de nivel 1.
- **$\alpha_{Sp\ 2}$:** Pérdida de inserción del *splitter* de nivel 2.
- **α_{fibra}:** Pérdidas debido al cable de fibra utilizado, según las tablas 1.3 y 1.9 para las fibras G.652.D y G.657.A respectivamente, además de la tabla 2.35 para las redes GPON clase B+. Se tiene los valores de pérdidas mostrados en la tabla 2.44.

G.652.D		G.657.A	
Longitud de Onda	Atenuación	Longitud de Onda	Atenuación
$\boldsymbol{\lambda = 1310\ nm}$	$-0.4\ {}^{dB}/_{Km}$	$\boldsymbol{\lambda = 1310\ nm}$	$-0.4\ {}^{dB}/_{Km}$
$\boldsymbol{\lambda = 1550\ nm}$	$-0.3\ {}^{dB}/_{Km}$	$\boldsymbol{\lambda = 1550\ nm}$	$-0.3\ {}^{dB}/_{Km}$

TABLA 2.44 Atenuación de cada longitud de onda dependiendo el estándar.

- α_{emp}: Pérdidas por empalmes, el empalme por fusión tiene una pérdida de $-0.1\ dB$ y el empalme mecánico tiene una pérdida de $-0.5\ dB$, como se señaló con anterioridad en la tabla 2.35. Se considera el valor de pérdida por empalmes por fusión, ya que es la técnica más segura que actualmente se utiliza.
- α_{con}: Pérdidas debido a conectores ubicados en los *patch cords* y *pigtails* utilizados en la ODN, se establece el valor de $-0.5\ dB$, según la tabla 2.35.

Margen de guarda: Es un parámetro que se resta a la potencia de transmisión, además de las pérdidas totales del enlace, para cubrir aquellas pérdidas que en el futuro podrían ocurrir como nuevos empalmes, nuevos clientes, curvaturas, entre otros sucesos, permitiendo tener una holgura suficiente en el diseño de la red. Este margen será de $-3\ dB$ [36], valor establecido luego de consultar varias referencias y con el cual se cubre todas estas posibilidades.

Para las pérdidas de inserción de los *splitters*, aun cuando en la sección 1.3.1.2.1 se explica que éstas vienen indicadas en el elemento específicamente, se utiliza valores genéricos obtenidos de estándares como el ITU-T G.671, fijados en la tabla 2.45.

Insertion loss requirements

N	X	For normal reach				For extended reach			
		WR1		WR2		WR1		WR2	
		Min. IL (dB) (Note 10)	Max. IL (dB)	Min. IL (dB) (Note 10)	Max. IL (dB)	Min. IL (dB) (Note 10)	Max. IL (dB)	Min. IL (dB) (Note 10)	Max. IL (dB)
1	2	2.8	3.9	2.7	4.0	2.8	3.8	2.8	3.9
1	4	5.4	7.4	5.3	7.6	5.6	7.1	5.4	7.3
1	8	8.2	10.6	7.9	10.9	8.2	10.5	7.9	10.8
1	16	10.8	14.1	10.5	14.5	10.8	13.7	10.5	14.1
1	32	13.3	17.5	12.8	18.1	13.6	17.1	13.0	17.7
1	64	16.1	20.9	15.5	21.5	16.2	20.3	15.6	20.9
2	2	2.6	4.2	2.5	4.3	2.6	4.1	2.6	4.2
2	4	5.1	7.7	4.9	7.9	5.2	7.5	5.0	7.7
2	8	7.6	11.2	7.3	11.5	7.7	10.9	7.4	11.2
2	16	10.1	14.7	9.7	15.1	10.2	14.3	9.8	14.7
2	32	12.7	18.2	12.2	18.7	12.8	17.7	12.3	18.2
2	64	15.2	21.7	14.6	22.3	15.3	21.1	14.7	21.7

Branching component should comply with the insertion loss requirements for both WR1 and WR2.

TABLA 2.45 Pérdidas de inserción para elementos de ramificación (*splitters*). [101]

[36] Parámetro obtenido del libro *Broadband Optical Access Networks*, Leonid G. Kazovsky,Ning Cheng,Wei-Tao Shaw,David Gutierrez,Shing-Wa Wong, WILEY, 2011, página 111.

Donde:

N: representa el número de entradas del *splitter*

X: representa el número de salidas del *splitter*

WR1 (*Wavelenght Range* 1): representa longitudes de onda entre:

1260 nm. a 1360 nm. para la ventana de 1310 nm.

1480 nm. a 1625 nm. para la ventana de 1550 nm.

WR2 (*Wavelenght Range* 2): representa longitudes de onda entre:

1260 nm. a 1360 nm. para la ventana de 1310 nm.

1480 nm. a 1660 nm. para la ventana de 1550 nm.

Para una operación dentro de rangos normales con un alcance normal de GPON (*normal reach*), hasta los 20 Km como se indicó en la sección 1.4.1.3, y considerando además que no es necesaria la utilización de rangos extendidos de cobertura (*extended reach*) como se especifica en las recomendaciones G.984.6 y G.984.2 Enmienda 2 con alcances de hasta 40 Km; se tiene que:

- *Splitter* 1:8

$$\alpha = -10.6\ dB$$

- *Splitter* 2:4

$$\alpha = -7.7\ dB$$

A continuación se procede a calcular el presupuesto de potencia de los usuarios más lejano y más cercano. Cabe mencionar también que toda red se diseña para el peor de los casos, es por esto que se considera los valores en dB adecuados de pérdidas para cada caso y así dimensionar mejor los equipos tanto el transmisor como el receptor.

2.7.1 PRESUPUESTO DE POTENCIA DEL USUARIO MÁS CERCANO

El usuario más cercano al nodo, donde se ubica la OLT, se encuentra a aproximadamente 275 m. Es un cliente derivado del segundo *splitter* 1:8 ubicado sobre las calles Aurelio Soto y Vicente Rocafuerte, ruta indicada con línea fucsia.

A continuación se procede a calcular las pérdidas totales del enlace entre la OLT y el ONT del cliente, refiérase a la figura 2.49.

Para este usuario es necesario asegurar que la potencia de transmisión no sobrepase la sensibilidad máxima, ya que una potencia superior podría quemar el ONT, es por esto que se considerarán los valores de pérdidas de cada elemento como los menores.

- Pérdidas por conectores:

$$\alpha_{con} = 6 \times -0{,}5\ dB$$

$$\alpha_{con} = -3\ dB$$

- Pérdidas debido al cable de fibra utilizado:

  Distancia (km): 235 m (fibra G.652.D)

$$\alpha_{pf} = 0{,}235\ km \times -0{,}3\ \frac{dB}{km}$$

$$\alpha_{pf1} = -0{,}070\ dB$$

  Distancia (km): 40 m (fibra G.657.A)

$$\alpha_{pf} = 0{,}04\ km \times -0{,}3\ \frac{dB}{km}$$

$$\alpha_{pf2} = -0{,}012\ dB$$

- Pérdidas por empalmes:

$$\alpha_{emp} = 6 \times -0{,}1\ dB$$

$$\alpha_{emp} = -0{,}6\ dB$$

- Pérdidas por los *splitters*:

$$\alpha_{Sp\,1} = 1 \times -10{,}6\ dB$$

$$\alpha_{Sp\,2} = 1 \times -7{,}7\ dB$$

$$\alpha_{totales} = \alpha_{con} + \alpha_{pf1} + \alpha_{pf2} + \alpha_{emp} + \alpha_{Sp\,1} + \alpha_{Sp\,2}$$

$$\alpha_{totales} = -3\ dB - 0{,}070\ dB - 0{,}012 dB - 0{,}6\ dB - 10{,}6\ dB - 7{,}7\ dB$$

$$\alpha_{totales} = -21{,}98\ dB$$

Entonces considerando la potencia máxima que puede entregar la OLT, se procede a verificar que la potencia que recibe el ONT no es demasiado alta como para dañarlo:

$$P_{Tx-max.} - \alpha_{totales} - margen\ seguridad \leq Sensibilidad_{Rx-max}$$

$$P_{Tx-max} - 21{,}98\ dB - 3\ dB \leq Sensibilidad_{Rx-max}$$

$$+5\ dBm - 24{,}98\ dB \leq -13\ dBm$$

$$-19{,}98\ dBm \leq -13\ dBm \quad \checkmark$$

2.7.2 PRESUPUESTO DE POTENCIA DEL USUARIO MÁS LEJANO

El usuario más lejano al nodo donde se ubica la OLT, se encuentra a 5636,20 m. Es un cliente derivado del *splitter* 1:8 ubicado en las calles Los Saraguros y Mayta Cápac, ruta indicada con línea amarilla. A continuación se procede a calcular las pérdidas totales del enlace entre la OLT y el ONT del cliente, ver la figura 2.50.

Para este usuario es necesario asegurar que la potencia de transmisión no supere el umbral mínimo de recepción, ya que una potencia demasiado pequeña no podrá ser interpretada por el ONT, es por esto que se considerarán los valores de pérdidas de cada elemento como los mayores.

- Pérdidas por conectores:

$$\alpha_{con} = 6 \times -0{,}5\ dB$$

$$\alpha_{con} = -3\ dB$$

- Pérdidas debido al cable de fibra utilizado:

  Distancia (km): 5565 m (fibra G.652.D)

$$\alpha_{pf} = 5{,}565\ km \times -0{,}4\ \frac{dB}{km}$$

$$\alpha_{pf1} = -2{,}226\ dB$$

  Distancia (km): 71 m (fibra G.657.A)

$$\alpha_{pf} = 0{,}071\ km \times -0{,}4\ \frac{dB}{km}$$

$$\alpha_{pf2} = -0{,}0284\ dB$$

- Pérdidas por empalmes:

$$\alpha_{emp} = 6 \times -0{,}1\ dB$$

$$\alpha_{emp} = -0{,}6\ dB$$

- Pérdidas por los *splitters*:

$$\alpha_{Sp\,1} = 1 \times -10{,}6\ dB$$

$$\alpha_{Sp\,2} = 1 \times -7{,}7\ dB$$

$$\alpha_{totales} = \alpha_{con} + \alpha_{pf1} + \alpha_{pf2} + \alpha_{emp} + \alpha_{Sp\,1} + \alpha_{Sp\,2}$$

$$\alpha_{totales} = -3\ dB - 2{,}226\ dB - 0{,}0284 dB - 0{,}6\ dB - 10{,}6\ dB - 7{,}7\ dB$$

$$\alpha_{totales} = -24{,}15\ dB$$

Por lo tanto:

$$P_{Tx-min} - \alpha_{totales} - margen\ seguridad \geq Sensibilidad_{Rx-min}$$

$$P_{Tx-min} - 24{,}15\ dB - 3\ dB \geq Sensibilidad_{Rx-min}$$

$$+1{,}5\ dBm - 27{,}15\ dB \geq -27 dBm$$

$$-25{,}65\ dBm \geq -27 dBm \quad \checkmark$$

Por lo tanto al realizar un análisis de los resultados obtenidos del presupuesto de pérdidas de potencia, se observa que en el peor de los casos para el usuario más lejano, se tiene una pérdida total de -25.65 dB, lo cual indica que al momento de elegir los equipos y demás elementos del proyecto, se deberá tener en consideración este valor, ya que los cálculos son teóricos.

Tanto la OLT como el ONT deben ser capaces de percibir y generar la suficiente intensidad lumínica para que considerando las pérdidas calculadas se llegue a tener una transmisión satisfactoria y sin problemas de fallos en el enlace ofreciendo calidad para los servicios.

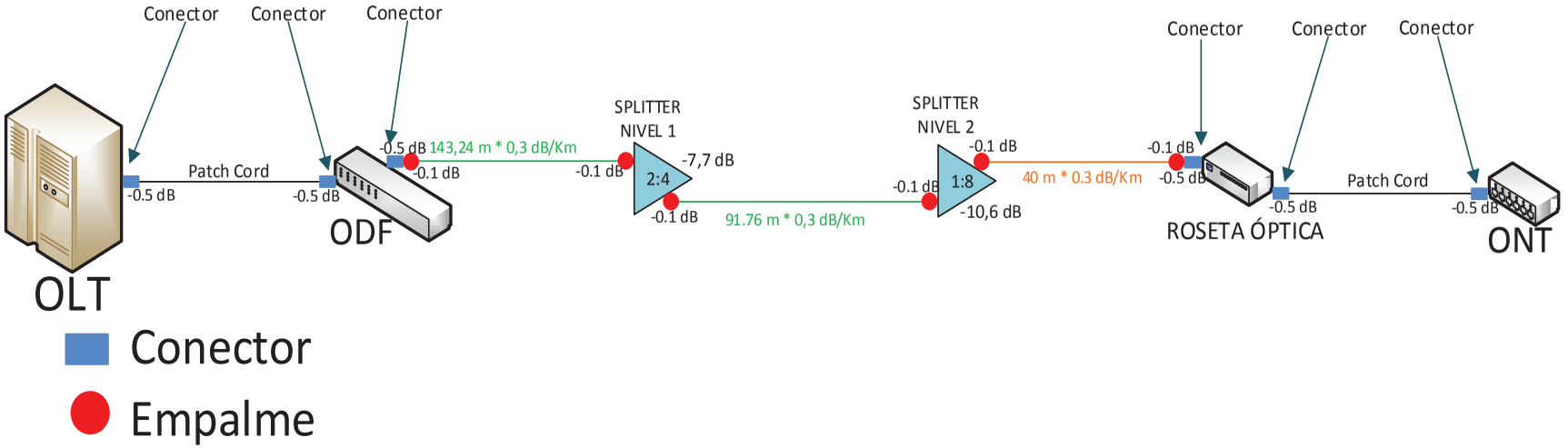


FIGURA 2.49 Balance de pérdidas totales del cliente más cercano.

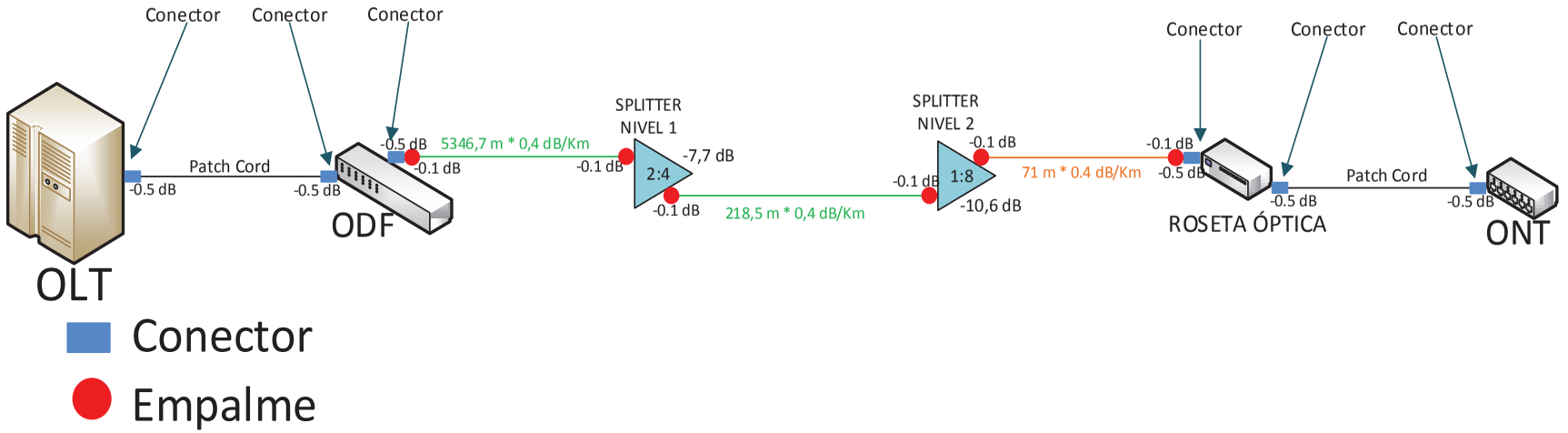


FIGURA 2.50 Balance de pérdidas totales del cliente más lejano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPÍTULO II

- **Textos**

[67] Ing. HIDALGO, Pablo & Ing. VINUEZA, Mónica. *Redes de Área Local.* Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

[68] Ing. SAAVEDRA, Jaime. *Servicios especializados de asesoría técnica para proyectos de despliegue de redes de acceso FTTH de la CNT EP.* CNT Ep. 2012

[69] VIVANCO, Manuel. *Muestreo Estadístico Diseño y Aplicaciones.* Editorial Universitaria, primera edición. Santiago de Chile, Chile.

[70] LÓPEZ, Mauricio. MOSCHIM, Edison. RUDGE, Felipe. *Estudio Comparativo de redes GPON y EPON.* Laboratorio de Tecnología Fotónica, Universidad Estadual de Campinas UNICAMP. Brasil.

- **Proyectos de Titulación**

[71] RIVERA, Luis. ZAPATA, Cristian. “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”. Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2012.

[72] SUÁREZ, Karina. “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, Quito, 2012.

- **Entrevistas**

[73] Entrevista Sr Luis Márquez, Gerente de Constructora Colven, República Dominicana.

- **Páginas Web**

[74] http://www.inec.gob.ec/nuevo_inec/ (*consultada a enero de 2013*)

[75] http://issuu.com/hdavalos/docs/datos_tungurahua (*consultada a enero de 2013*)

[76] http://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-censal-cantonal/ (*consultada a enero de 2013*)

[77] http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_02_BAS02.pdf (*consultada a enero de 2013*)

[78]http://redatam.inec.gob.ec/cgibin/RpWebEngine.exe/PortalAction?&MODE=MAIN&BASE=CENEC&MAIN=WebServerMain.inl (*consultada a enero de 2013*)

[79]http://www.h3c.com/portal/products___solutions/technology/qos/technology_white_paper/200810/617700_57_0.htm (*consultada a enero de 2013*)

[80] http://virtual.uaeh.edu.mx/riv/videoconferencia.php (*consultada a enero de 2013*)

[81] http://anitacastillov.wordpress.com/fast-boy/ (*consultada a enero de 2013*)

[82]http://www.cnt.gob.ec/cntwebregistro/04_cntglobal/productos_detalle.php?txtCodiSegm=2&txtCodiLine=4&txtCodiProd=71&txtCodiTipoMovi=0 (*consultada a enero de 2013*)

[83]http://www.telnet-ri.es/soluciones/acceso-gpon-y-redes-ftth/la-solucion-gpon-doctor-a-la-interoperabilidad-gpon/ (*consultada a enero de 2013*)

[84] http://www.cika.com/newsletter/archives/pp1.pdf (*consultada a enero de 2013*)

[85] http://www.furukawa.com.br/es/ (*consultada a enero de 2013*)

[86] http://www.itu.int/rec/T-REC-G.987-201206-I/es (*consultada a enero de 2013*)

[87] http://www.ramonmillan.com/tutoriales/gpon.php (*consultada a enero de 2013*)

[88] http://www.ccapitalia.net/descarga/docs/2012-gpon-introduccion-conceptos.pdf (*consultada a enero de 2013*)

[89]http://conatel.gob.ec/site_conatel/index.php?option=com_content&view=article&id=766&Itemid=584 (*consultada a enero de 2013*)

[90] http://www.samarais.com/es/ofertas/por_sector/telecom.html?idMachine=7 (*consultada a enero de 2013*)

[91]http://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2008_2/rafael_ribeiro/E-PON.html (*consultada a enero de 2013*)

[92]http://product.madeinchina.com/wholesale-product-image/Promotion-of-Huawei-MA5680T-GPON-OLT_13479656.shtml (*consultada a enero de 2013*)

[93]http://es.madeinchina.com/wholesale-product-image/8-ports-GPON-board-for-Huawei-MA5680T-or-MA5683T_13508458.shtml (*consultada a enero de 2013*)

[94] http://wiki.bandaancha.st/Archivo:Zhone_ZNID_GPON_2427.jpg (*consultada a enero de 2013*)

[95]http://ocw.uc3m.es/tecnologia-electronica/dispositivos-y-medios-de-transmision-opticos/material-de-clase-1/modulo-1-emisores-opticos-tipos-y-parametros-caracteristicos (*consultada a enero de 2013*)

[96] http://www.slideshare.net/fapablaza/redes-de-teleco-eie-551-cap3 (*consultada a enero de 2013*)

[97] http://www.corning.com/docs/opticalfiber/WP3718.pdf (*consultada a enero de 2013*)

[98]http://portal.furukawa.com.br/arquivos/c/cab/cablesparafttxredesdeacceso/1925_webRedesdeAccesoV5ESP.pdf (*consultada a enero de 2013*)

[99]http://spanish.opticalfiberpatchcord.com/china-high_perforance_1_2_1_4_1_8_1_32_plc_optical_fiber_splitter_1260_1650_nm-282192.html (*consultada a enero de 2013*)

[100] http://fibernettech.blogspot.com/2010/01/ftth-fiber-to-home.html (*consultada a enero de 2013*)

[101] http://www.itu.int/rec/T-REC-G.671-201202-I/es (*consultada a enero de 2013*)

CAPÍTULO III
ANÁLISIS ECONÓMICO DEL PROYECTO

En este capítulo se procede a realizar el cálculo de toda la inversión, detallando costos y gastos que se van a efectuar, para que entre en correcto funcionamiento la red GPON diseñada. Luego se procede a armar los paquetes de servicios tanto para el sector residencial como para el corporativo, calcular los ingresos y el tiempo de recuperación del capital invertido. Finalmente utilizando diferentes factores económicos se concluirá si el proyecto es viable o no.

3.1 INVERSIÓN DEL PROYECTO[11] [72] [102] [103] [104] [105] [106] [107] [108] [109] [110]

La inversión constituye el capital destinado a la construcción de la red GPON y a demás factores necesarios para promocionarla, mantenerla y hacerla funcionar de forma legal.

3.1.1 INVERSIONES FIJAS

3.1.1.1 Costo de la red

En el capítulo anterior se detallaron las características de los elementos pasivos y activos idóneos para la red propuesta, a continuación se los describe en diferentes marcas, distinguiendo sus características.

3.1.1.1.1 Optical Line Termination

En la tabla 3.1 se diferencian las características de dos marcas de OLTs, que cumplen con los requisitos planteados en la sección 2.6.6.2.1. Se escoge así a la OLT SmartAX MA5600T de marca Huawei, ya que posee mayor cantidad de puertos GPON en un único chasis, utilizando la totalidad de sus tarjetas se cubre los 126 puertos requeridos por el diseño de la red, lo cual brinda una ventaja en cuanto al crecimiento futuro. Además su velocidad de *backplane* es mayor y cuenta con mejores características en cuanto a opciones de energía y respaldo. Es mucho más económico[37] y a pesar de ser una empresa relativamente nueva en el mercado, en el Ecuador ofrece las mejores opciones en cuanto a soporte y respaldo.

[37] Debido a la imposibilidad de conseguir el precio de la OLT, éste es obtenido del Proyecto de Titulación de SUÁREZ, Karina. "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, Quito, 2012.

CARACTERÍSTICAS	OLT	
	Alcatel Lucent 7342 ISAM FTTU - P –OLT	**Huawei SmartAX MA5600T**
Tasas de transmisión	*Downstream*: 2,488 Gbps *Upstream*: 1,244 Gbps	*Downstream*: 2,488 Gbps *Upstream*: 1,244 Gbps
Longitud de onda	*Downstream:* 1490 nm *Upstream:* using 1310 nm RF video: 1550 nm	*Downstream:* 1490 nm *Upstream:* using 1310 nm RF video: 1550 nm
Velocidad de backplane	*500 Gbps*	*3,2 Tbps*
Clase	B+ o C+	B+ o C+
Método de encapsulamiento	GEM	GEM
Total de abonados	3584	16000
Relación de división	1 a 64	1 a 128
N_o de tarjetas	14	16
N_o puertos GPON por tarjeta	4	8 módulos SPF
Dimensiones axpxl	438mm×282mm×621mm	530mm×275.8mm×447.2mm
Alimentación	Alimentación local (-48 V) a través de alimentación redundante	-48 V o -60 V DC a través de alimentación de energía redundante. Soporta tanto el modo de fuente de alimentación DC / AC, y es compatible con la protección de energía dual.
Precio en dólares	$44000	$30800

TABLA 3.1 Comparación entre la OLT Alcatel y Huawei. [72] [111] [112]

3.1.1.1.2 Optical Network Terminal

En base a las características de dos ONTs, especificadas en la tabla 3.2, se procede a seleccionar el equipo final del abonado. Las dos marcas de ONTs cubren los requerimientos para el diseño propuesto. Sin embargo, se constituye el

ONT Huawei HG8242 como el más idóneo por ser de igual marca que la OLT, requisito que debe cumplir para un correcto funcionamiento por criterios de compatibilidad, además de ser más económico[38] y por el soporte y respaldo que ofrece la marca.

CARACTERÍSTICAS	ONT	
	Alcatel – Lucent I-221E-A INDOOR-ONT	**Huawei HG8242 GPON Terminal**
Tasas de transmisión	*Downstream*: 2,488 Gbps *Upstream*: 1,244 Gbps	*Downstream*: 2,488 Gbps *Upstream*: 1,244 Gbps
Longitud de onda	*Downstream:* 1490 nm *Upstream:* using 1310 nm RF video: 1550 nm	*Downstream:* 1490 nm *Upstream:* using 1310 nm RF video: 1550 nm
Puerto GPON	1 Puerto SC/APC	1 Puerto SC/APC
Puertos de Servicios	2 Puertos RJ11 2 Puertos RJ45 1 Puerto coaxial	2 Puertos RJ11 4 Puertos RJ45 1 Puerto CATV
Clase	B+	B+
Relación de división	1 a 64	1 a 64
Precio en dólares	$290,40	$220

TABLA 3.2 Comparación entre ONT Alcatel y Huawei. [72] [113] [114]

3.1.1.1.3 Splitters

Los *splitters*, tanto de primer nivel como de segundo nivel, se distinguen en las tablas 3.3 y 3.4, cumplen con las características descritas en la sección 2.6.6.2.2; se realiza una comparación entre las dos siguientes marcas:

[38] Debido a la imposibilidad de conseguir el precio de la OLT, éste es obtenido del Proyecto de Titulación de SUÁREZ, Karina. "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, Quito, 2012.

CARACTERÍSTICAS	SPLITTER 2:4	
Marca	Corning Plus (2x4 PLC, operation wavelength 1260-1650nm)	Furukawa 35500119 *splitter* óptico PLC 2X4 G.657A NC/NC 2M/2M
División de potencia	Simétrico	Simétrico
Precio	$23	$ 201
Conectorizado	No	No

TABLA 3.3 Costo de los *splitters* de primer nivel.

CARACTERÍSTICAS	SPLITTER 1:8	
Marca	Corning Plus (1x8 PLC, operation wavelength 1260-1650nm)	Furukawa 35500099 splitter óptico PLC 1X8 G.657A NC/NC 2M/2M
División potencia	Simétrico	Simétrico
Precio	$13	$ 87,34
Conectorizado	No	No

TABLA 3.4 Costo de los *splitters* de segundo nivel.

Las cotizaciones de proveedores de las marcas Corning Plus y Furukawa, se muestran en los Anexos 5 y 6 respectivamente. Las dos marcas cumplen con el nivel de división requerido, no son conectorizados, son simétricos y de tecnología PLC. Sin embargo, con la marca Furukawa se debe hacer un pedido formal anticipado, con el respectivo adelanto económico, para que se proceda a fabricar los *splitters* de 2:4. Por lo tanto se establece que los *splitters* de primer y segundo nivel sean de marca Corning Plus, productos directamente importados de la fábrica en China, debido a que cumplen con los requerimientos para el diseño de la red, a su bajo costo y fácil gestión en la adquisición.

3.1.1.1.4 Fibra Óptica

Para el cable de fibra óptica se compara entre las marcas Corning Plus, Furukawa y Siemon, la cotización de esta última se presenta en el Anexo 7. Las cuales son armadas para el respectivo tendido subterráneo, además cumple con el estándar G.652.D. Se ha escogido la marca Corning Plus, debido a que cumple con las características requeridas y a que es de menor precio. El cable de fibra óptica G.652.D de 48 hilos recorrerá las cuatro rutas trazadas entre el puerto GPON en la OLT hasta el *splitter* de primer nivel, el costo y marcas se lo observa en la tabla 3.5.

CARACTERÍSTICAS	Fibra Óptica SM		
Marca	Corning Plus (SM G.652.D) armada 48 hilos	Furukawa Cable de Fibra 48 hilos G.652 D SingleMode armada	SIEMON FO Ducto Armada 48 hilos SM G.652D
Precio del metro	$1,61	$4,18	$2,40

TABLA 3.5 Diferentes marcas de cable de fibra óptica G652.D de 48 hilos.

Un cable de fibra óptica G-652.D de 24 hilos será el que cubra la ruta color tomate, obsérvese la tabla 3.6.

CARACTERÍSTICAS	Fibra Óptica SM	
Marca	Corning Plus (SM G.652 D) armada 24 hilos	Furukawa Cable de Fibra 24 hilos G.652 D SingleMode armada
Precio del metro	$1,00	$2,72

TABLA 3.6 Diferentes marcas de cable de fibra óptica G652.D de 24 hilos.

El trayecto comprendido entre el *splitter* de primer nivel y el de segundo nivel se lo realizará con un cable de fibra óptica G-652.D de 6 hilos marca Corning Plus, obsérvese la tabla 3.7.

CARACTERÍSTICAS	Fibra Óptica SM		
Marca	Corning Plus (SM G.652 D) armada 6 hilos	Furukawa Cable de Fibra 6 hilos G.652 D SM armada	SIEMON FO ducto armada 6 hilos SM G.652D
Precio del metro	$0,41	$1,67	$1,06

TABLA 3.7 Costo del cable de fibra óptica de 6 hilos.

Por último en el recorrido entre el *splitter* de segundo nivel y el usuario final se instala el cable de fibra óptica G-657 A, cable drop 2 hilos marca Corning Plus; la cual cumple con el estándar, es flexible, es *indoor* y *outdoor* y su precio es menor.

CARACTERÍSTICAS	Fibra Óptica SM	
Marca	Corning Plus (SM G-657 A) 2 hilos tipo Drop	Furukawa Cable de Fibra G.657 2 hilos
Precio del metro	$0,21	$0,95

TABLA 3.8 Costo cable de fibra óptica G-657 A.

En la tabla 3.9 se presenta el costo total de la red. La red pasiva será tendida en el año 2012, además de ser instalada la OLT; los ONTs se adquirirán según la proyección de la demanda. Todos los elementos pasivos como son el cable de fibra óptica, *splitters*, *pigtails*, *patch cords*, son de marca Corning Plus; está considerado el IVA 12%. El costo de instalación incluye: el armado de los ODFs (*Optical Distribution Fiber),* adecuación de los gabinetes y racks, las fusiones y pruebas de fibra óptica comprendidas desde la oficina central hasta el usuario final, refiérase al Anexo 8.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Equipos activos			
OLT	1	$30800	$30800,00
ONT	1857	$220	$408540,00
SUBTOTAL ACTIVO			$439340,00
Elementos pasivos			
Splitter 2:4 simétricos	63	$23	$1449,00
Splitter 1:8 simétricos	252	$13	$3276,00
Cable de fibra 48 hilos G.652 D	18.635,13	$1,61	$30002,56
Cable de fibra 24 hilos G.652 D	3.804,28	$1	$3804,28
Cable de fibra 6 hilos G.652 D	12600	$0,41	$5166,00
ODF Rack Mount de 24p SC	9	$73	$657,00
Patch Cords LC-LC SM 3mtrs	126	$4,73	$595,98
Patch Cords SC-SC SM 3mtrs	1857	$1,86	$3454,02
Pigtails LC SM 1,5mtrs	216	$1,18	$254,88
Pigtails SC SM 1,5mtrs	1857	$1,08	$2005,56
Placas adaptadoras LC 12 puertos	18	$7,75	$139,50
Adaptadores SC simples	1857	$0,37	$687,09
Cable de fibra G.657 tipo Drop 2H	100800	$0,21	$21168,00
Roseta óptica	1857	$4,23	$7855,11
Armario central	1	$1088,37	$1088,37
Armario nivel 1	63	$95	$5985,00
Armario nivel 2	252	$95	$23940,00
SUBTOTAL PASIVO			$111528,35
Subtotal activo + pasivo			$550868,35
IVA 12%			$66104,20
Costo de Instalación			$38776
TOTAL RED			**$655748,55**

TABLA 3.9 Costo total de la red.

3.1.1.2 Costo del microzanjado

La técnica de microzanjado está cotizada en la tabla 3.10 según los datos proporcionados por el Ing. Luis Márquez presidente de la Constructora Colven; incluye la excavación de la zanja de 0,20 x 0,025 m, suministro y colocación del tubo PVC de 1'', colocación del cable de fibra óptica, suministro y aplicación del asfalto y mano de obra de la terminación de la zanja.

DESCRIPCIÓN	Metros de la red	P. Unitario	P. Total
Costo del Microzanjado	35039	$ 8	$ 280.312,00
IVA 12%			$ 33.637,44
TOTAL			$ 313.949,44

TABLA 3.10 Cotización técnica de microzanjado. [115]

3.1.1.3 Gasto por muebles de oficina

Se estima, en la tabla 3.11, la inversión para los elementos de oficina que compondrán el área de trabajo donde se administrará la red en general, éstos fueron cotizados por MM Muebles para oficinas y médicos.

Descripción	Precio en Dólares
Sillones y sillas	$2540,40
Estaciones de trabajo	$3360,80
SUBTOTAL	$5901,20
IVA 12%	$708,14
TOTAL	6609,34

TABLA 3.11 Cotización de muebles de oficina. [116]

3.1.1.4 Gastos por equipos de cómputo

Para el mantenimiento de la red, en cuanto a la administración y crecimiento a futuro de la misma, se requiere disponer para la oficina equipos de cómputo cotizados en la tabla 3.12, según los datos proporcionados por la Sra. Tania Vallejo asesora de ventas de MEGAMICRO mayorista.

Elementos	Cantidad	Precio unitario	Precio en Dólares
Laptop	16	678,68	10858,88
PC	5	478	2390,00
Teléfono	16	10	160,00
Impresora	3	198	594,00
SUBTOTAL			14002,88
IVA 12%			1680,35
TOTAL			15683,23

TABLA 3.12 Cotización de equipos de cómputo. [117]

3.1.1.5 Depreciación de Activos Fijos

La depreciación es un porcentaje del valor de los activos tangibles que comprenden la red, indica la desvalorización de los mismos en el transcurso de los años. En la tabla 3.13, se observa los elementos tangibles que no son objeto de comercialización con su respectivo porcentaje de depreciación, calculado para el año 2017, según la ley del régimen tributario [118]. El valor de la depreciación aumenta conforme pasan los años debido al crecimiento de la demanda y la adquisición de los ONTs para los mismos.

AÑO 2017	Costo TOTAL	Porcentajes de Depreciación	Valor depreciado por año
Equipo activo OLT	30800,00	10% anual	3080,00
Equipo activo ONT	408540,00	10% anual	40854,00
Red pasiva	111528,35	10% anual	11152,83
Inmuebles	5901,20	5% anual	295,06
Equipos de cómputo	14002,88	33% anual	4620,95
TOTAL			**60002,85**

TABLA 3.13 Depreciación de activos fijos para el año 2017.

3.1.2 INVERSIONES NOMINALES

3.1.2.1 Gastos por configuración de los equipos activos

Este gasto corresponde a la configuración de los equipos activos de la red GPON, los cuales son: la OLT y los ONTs, la configuración de los mismos es un rubro muy grande e importante que el proveedor fija. Sin embargo, actualmente en el Ecuador, Huawei promociona a las redes GPON y a sus equipos activos, por lo que capacita a sus clientes en cuanto a la configuración de los mismos. Debido a esta ventaja se considera únicamente el porcentaje del 5% del precio total de los elementos activos para: instalarlos, configurarlos, cubrir logística y difusión del conocimiento en el personal. De tal forma que la red quede totalmente operable al conectarlos a la parte pasiva GPON, en la tabla 3.14 se describe el costo de este procedimiento.

El costo de configuración de los ONTs se referirá a cada año según el crecimiento de la demanda.

Elementos	Cantidad	Precio unitario	Precio Total ($)
Huawei SmartAX MA5600T	1	$1540	$1540
Huawei HG8240 GPON Terminal	1857	$11	$20427
TOTAL			**$21967**

TABLA 3.14 Total gasto de configuración de equipos activos.

3.1.2.2 Amortización de Activos Nominales

La amortización, al igual que la depreciación, es una degradación pero de los activos intangibles que implican un beneficio económico para el proyecto. En esta situación se establece al rubro del Gasto de Configuración de los Equipos, que como se indicó anteriormente variará según el crecimiento de la demanda. En la tabla 3.15 se refleja el porcentaje de amortización para el año 2017.

AÑO 2017	Porcentaje de Amortización	Costo TOTAL	Valor amortizado
Gasto de configuración de equipos	5% anual	$21967,00	$1098,35

TABLA 3.15 Amortización de activos nominales.

3.1.3 GASTOS EN GENERAL

3.1.3.1 Gastos por constitución de la empresa

En el Ecuador se pueden conformar diferentes tipos de compañía, entre ellas la Compañía de Nombre Colectivo, la Compañía en Comandita Simple, la Compañía de Responsabilidad Limitada, la Compañía Anónima, la Compañía de Economía Mixta, la Compañía en Comandita Simple Dividida por Acciones y la Extranjera. Para el presente proyecto se constituirá una Compañía de Responsabilidad Limitada debido a que las características que la establecen están apegadas a las ambiciones de los socios y a la naturaleza del proyecto, y éstas son: [119]

- La Compañía Limitada es siempre mercantil y por ende puede realizar toda clase de actos de comercio permitidos por la ley, excepto bancos, seguros, capitalización y ahorro;

- Se contrae por tres o más personas hasta un máximo de 15, cada uno de ellos se los denomina socios, quienes realizan aportaciones individuales respondiendo por las obligaciones sociales hasta ese monto;
- Las decisiones que se deben tomar no está en función del capital invertido por cada socios, gana la decisión que tenga la mayoría de votos sin importar si un socio aporto más o menos;
- La aprobación del nombre o razón social de la empresa se realiza en la Superintendencia de Compañías, el trámite es gratuito. Una vez realizada esta diligencia se procede a abrir una cuenta de integración de capital en cualquier banco, se deposita $400 dólares americanos y el 50% del capital que se completará en el transcurso de un año.

Se realiza la escritura pública de la constitución de la empresa en una notaría, con la misma se obtiene la patente municipal. Se inscribe en el Registro Mercantil las escrituras y con todos estos documentos, además de otros requisitos elementales de la empresa, se obtiene el RUC (Registro Único del Contribuyente) el cual no tiene costo. Con todos estos papeles se constituye totalmente la empresa ante la Superintendencia de Compañías cancelando la totalidad descrita en la tabla 3.16.

	Precio USD
Constitución de la Empresa en la Superintendencia de Compañías	$ 400

TABLA 3.16 Gastos por constitución de la empresa. [120]

3.1.3.2 Gastos de los permisos de funcionamiento

En cuanto a los permisos de funcionamiento el CONATEL, Consejo Nacional de Telecomunicaciones, establece los siguientes requisitos y pagos para la prestación de los servicios de telecomunicaciones que componen el *Triple Play*:

- **Telefonía Fija Local**: “Resuelven determinar como valor de concesión del servicio de telefonía fija local el 0.5% de los ingresos brutos provenientes de la prestación de los servicios de telefonía fija local y los servicios telefónicos suplementarios. El título habilitante para la prestación del servicio de telefonía fija local tendrá una duración de 15 años y podrá ser renovado de conformidad con el Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada.” [121]

- **Operación de Redes Privadas**[39]**: "**Resuelve determinar como valor de permiso para la prestación de servicios de valor agregado el valor de USD 500 dólares de los Estados Unidos de América. El plazo de duración de un permiso para la operación de Redes Privadas será de 5 años, prorrogables por igual período, a solicitud escrita del interesado, presentada con tres meses de anticipación al vencimiento del plazo original, siempre y cuando haya cumplido con los términos y condiciones del título habilitante." [121]

- **Servicios Portadores: "**Servicios portadores son los servicios de telecomunicaciones que proporcionan la capacidad necesaria para la transmisión de signos, señales, datos, imágenes y sonidos entre puntos de terminación definidos de red. Para concesiones regionales que se realicen dentro del período de cinco años contados a partir de la vigencia de la presente resolución, se establecen por cada provincia, para la provincia de Tungurahua es $ 11.000,00." [121]

  "Garantía de Fiel Cumplimientos del Contrato: El valor por concepto de dicha garantía para la prestación de Servicios Portadores Regionales, se aplicará por provincia, para la provincia de Tungurahua es $ 3.000,00." [121]

- **Servicios de valor agregado (Servicios de Audio Texto y/o Acceso a Internet): "**Resuelve determinar como valor de permiso para la prestación de servicios de valor agregado el valor de USD 500 dólares de los Estados Unidos de América. El título habilitante para la prestación de servicios de valor agregado tendrá una duración de 10 años, prorrogables por igual período de tiempo, a solicitud escrita del interesado, presentada con tres meses de anticipación al vencimiento del plazo original, siempre y cuando el prestador haya cumplido con los términos y condiciones del título habilitante." [121]

- **Servicio Audio y Video por Suscripción:** La tarifa de concesión para los sistemas de audio y video por suscripción tendrán un valor a pagar de un mil dólares ($1000). El título habilitante tendrá una duración de 10 años, prorrogables por igual período de tiempo. Los beneficiarios además

[39] **Redes Privadas:** Son aquellas utilizadas por personas naturales o jurídicas en su exclusivo beneficio, con el propósito de conectar distintas instalaciones de su propiedad o bajo su control. Por lo cual se servirá demostrar que las instalaciones a implementarse son de su propiedad o están bajo su control.

deberán cubrir en forma mensual el equivalente al dos por ciento (2%) del valor recibido por facturación bruta o notas de venta emitidas por tales ingresos, calculado sobre la base de las declaraciones mensuales del Impuesto a los Consumos Especiales (ICE) presentado cada mes al Servicio de Rentas Internas (SRI). [122]

En resumen se detalla en la tabla 3.17 todos los valores pertinentes a la concesión de servicios por parte del CONATEL.

Servicio	Duración de la concesión	Características de la concesión	Valor de la concesión USD
TELEFONÍA FIJA LOCAL	15 años	Se cancelará anualmente 0.5% de los ingresos brutos provenientes de la prestación de los servicios de telefonía fija local y los servicios telefónicos suplementarios en el año.	$300 aprox
OPERACIÓN DE REDES PRIVADAS	5 años	Único valor a cancelar.	$500
SERVICIOS PORTADORES	5 años	Único valor establecido para la provincia de Tungurahua. No se incluye la garantía ya que es reembolsable.	$11000
SERVICIOS DE VALOR AGREGADO	10 años	Único valor a cancelar.	$500
SERVICIO AUDIO Y VIDEO POR SUSCRIPCIÓN	10 años	Único valor a cancelar.	$1000
		Se cancelará anualmente el equivalente al dos por ciento (2%) del valor recibido por facturación bruta o notas de venta emitidas por tales ingresos en el año.	$450 aprox
TOTAL USD		**Único pago**	**$13000**
TOTAL USD		**Pago anual**	**$750**

TABLA 3.17 Gastos totales para obtener los permisos de funcionamiento. [105]

En cuanto a la ejecución del Microzanjado, la Dirección de Obras Públicas Municipales de Ambato es la encargada de extender el permiso pertinente para ejecutar el microzanjado sobre veredas y calles de la ciudad. Para lo cual estudian longitud y recorrido de las rutas, dimensión del canal, materiales

involucrados, entre otros, con el fin de valorizar el costo de reposición que implica una garantía adjudicada al municipio, la cual será devuelta si se ha sellado correctamente los canales según la dirección de fiscalización. Este valor no se lo incluye ya que es reembolsable.

3.1.3.3 Costos de mantenimiento de la red

Son todos los gastos destinados a las diferentes actividades que se realizan para que la red se mantenga en correcto funcionamiento, esté disponible y ofrezca confiabilidad al proveedor para ofertar su producto de forma segura. El mantenimiento de la red es tan importante como la red misma y debe ejecutarse de tal forma que luego del mantenimiento se realice un análisis que resulte en mejoras que contengan criterio y efectividad.

Existen dos tipos de mantenimiento los cuales son:

- Mantenimiento Preventivo, como su nombre lo indica es planificado, se lo ejecuta en la red pasiva y en los elementos de red activos.
- Mantenimiento Correctivo se lo debe ejecutar de forma esporádica debido a una falla en la red.

Para el mantenimiento de la red se establece una inversión del 10% del costo total de la red como se muestra en la tabla 3.18. Este valor correrá a partir del año 2, debido a que se cuenta con garantías de 1 año por parte de los proveedores del equipo activo y elementos pasivos de la red, y será dividido para los cuatro años siguientes siendo un monto anual de $16393,71, el cual cubre el mantenimiento preventivo, a ser realizado cada cuatro meses por los técnicos de instalación y reparación, y al mantenimiento correctivo debido a alguna situación emergente en la red.

Este porcentaje es aceptable ya que se ha venido considerando muchas garantías en el diseño y en cuanto al mantenimiento correctivo va a tener el apoyo del equipo de soporte técnico de la compañía.

	COSTO TOTAL
Costo de mantenimiento	**$65574,86**

TABLA 3.18 Costo del mantenimiento de la red para cuatro años.

3.1.3.4 Gastos de sueldos del personal

En la figura 3.1 se muestra el organigrama detallando el número de personas que conforman los diferentes departamentos, se los establece de acuerdo a la magnitud de la red.

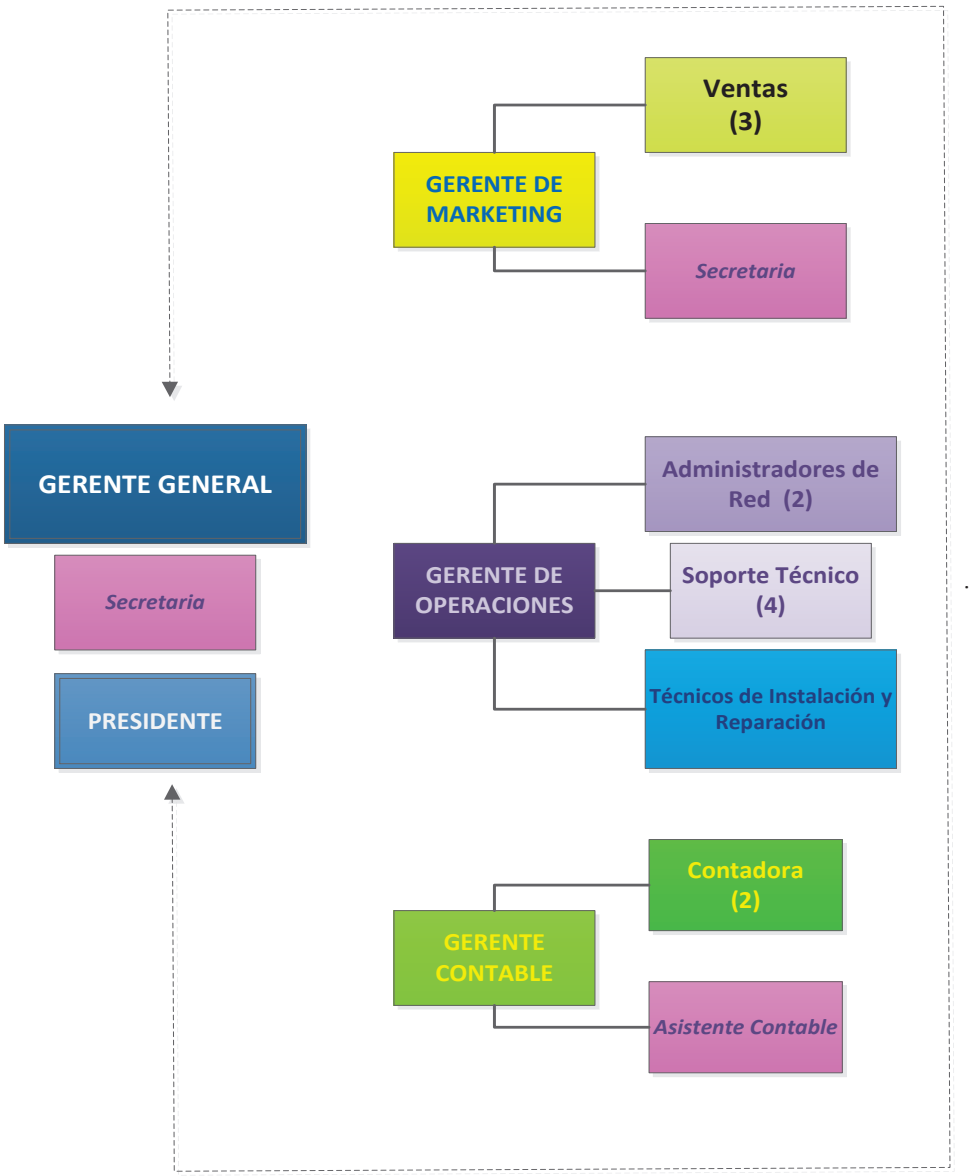


FIGURA 3.1 Conformación del personal.

Al ser trabajadores del sector privado, bajo relación de dependencia, el aporte personal de cada uno de ellos al Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social IESS es del 9,35% de su salario mensual, el aporte patronal es del 11.15% de la remuneración mensual del trabajador. Además se deben calcular los beneficios económicos extras, que por ley les corresponde, como son el décimo tercer

sueldo o bono navideño, que viene a ser la doceava parte de la remuneración total percibida en un año; y el décimo cuarto sueldo o bono escolar, proporcional a los días totales laborados en el año multiplicados por el salario básico unificado, este resultado se divide para los 365 días del año. En la tabla 3.19 se resume el total requerido para cancelar los sueldos y extras estipulados por la ley. [123]

Como se aprecia en la tabla 3.19 para cada año se cuenta con $124105,20 dólares para los sueldos del personal de planta. En cuanto a los técnicos de instalación y reparación que realizan las instalaciones posteriores y mantenimiento personalizado no perciben los beneficios económicos extras requeridos ya que laboran bajo factura, las retribuciones por su trabajo están contempladas en la sección 3.1.3.3.

CARGO	PAGOS MENSUALES AL PERSONAL						
	Salario mensual parcial	Décimo Tercero	Décimo Cuarto	Aportación patronal al IESS	**Sueldo mensual total por empleado**	Vacantes	**Sueldo mensual por cargo**
Gerente General	$906,50	$83,33	$17,42	$111,50	$1118,75	1	$1118,75
Presidente	$815,85	$75,00	$17,42	$100,35	$1008,62	1	$1008,62
Secretaria	$290,08	$26,67	$17,42	$35,68	$369,85	2	$739,69
Ventas	$290,08	$26,67	$17,42	$35,68	$369,85	4	$1479,39
Contadora	$407,93	$37,50	$17,42	$50,18	$513,02	3	$1539,06
Asistente Contable	$290,08	$26,67	$17,42	$35,68	$369,85	1	$369,85
Administradores de Red	$543,90	$50,00	$17,42	$66,90	$678,22	3	$2034,66
Soporte Técnico	$407,93	$37,50	$17,42	$50,18	$513,02	4	$2052,08
TOTAL mensual:							$10342,10
TOTAL anual:							**$124105,20**

TABLA 3.19 Sueldos estipulados por empleado, con beneficios de ley.

3.1.3.5 Costo de cargos de interconexión

Los cargos de interconexión conforman un valor que es cubierto por el cliente que origina la llamada y desea comunicarse con otro de una red diferente a la suya,

debido a la utilización de infraestructura ajena. El costo por minuto establecido por el CONATEL es de $0,0162 dólares americanos [124].

Se fija en cada paquete, tanto para el sector residencial como corporativo, una porción de minutos destinados a la comunicación con otras operadoras, y se evalúa su costo con este cargo de interconexión implantado.

3.1.3.6 Gastos de Publicidad

La publicidad se realiza por medio de una página web, mantenimiento de la misma, visitas a los hogares y empresas, capacitaciones, panfletos, volantes, entre otros. El gasto generado se observa en la tabla 3.20 siendo este cotizado por el Ing. en Diseño y Publicidad Giovanny Cevallos.

	Costo en dólares
Gasto anual para publicidad	$3000
IVA 12%	$360
TOTAL	**$3360**

TABLA 3.20 Gastos de publicidad.

3.1.3.7 Costo de la capacidad en Mbps contratada

Como se estableció en la sección 2.5 la capacidad a contratar a la CNT será de 1.5 Gbps, esta capacidad se determinó para el año 2017. En la tabla 3.21 se presenta el precio mensual de Mbps cotizado por el Ing. Juan Carlos Cruz Gerente de Ventas Corporativas de la CNT. Con la cantidad de Mbps requeridos para los años anteriores se calculará el respectivo costo mensual.

Descripción	Costo del Mbps
Costo de 1 Mbps	$35,71
IVA 12%	$4,29
TOTAL	**$40**

TABLA 3.21 Costo de la capacidad para el servicio de Internet, año 2017.

3.1.3.8 Gastos para la compañía

En la tabla 3.22 se establece un capital mensual aproximado, para el pago de servicios básicos de las instalaciones a ocupar para la administración de la red.

SERVICIOS		Gasto Mensual
Arriendo de Oficina		$ 400
Servicios Básicos	Agua potable	$ 35
	Energía Eléctrica	$ 60
Telefonía		$ 150
Limpieza		$ 250
TOTAL mensual		**$ 895**

TABLA 3.22 Gastos varios de servicios básicos.

3.2 RÉDITOS DEL PROYECTO

3.2.1 PAQUETES A OFERTAR

3.2.1.1 Sector Residencial

Evaluando la proyección de la demanda para el sector residencial, detallada en el segundo capítulo, se ofertarán los siguientes paquetes con las siguientes características:

3.2.1.1.1 Paquete D

El Paquete D comprende los servicios de Telefonía y de Internet. Según los resultados arrojados por las encuestas, para este paquete, el mayor número de hogares pagan por el servicio telefónico entre 10 a 20 dólares, tabulado en la tabla 2.3. Considerando que la pensión básica del servicio telefónico residencial, por parte de la CNT, es de $6,20 dólares americanos, los usuarios invierten $13,80 como máximo para este servicio lo que equivale a 690 minutos mensuales, esto debido a que el costo por minuto es de $0,02 dólares según la Tarifa País [125]. Por lo tanto este paquete incluye 750 minutos mensuales, de los cuales se ofertarán 250 minutos para otras operadoras cuyo costo será de $0,04 dólares el minuto y 500 minutos dentro de la red cuyo costo será de $0,02 dólares el minuto.

En cuanto a la capacidad de Internet se define 3 Mbps como ya se estipuló en el anterior capítulo, evaluando el costo del Mbps ofertado por la CNT según la tabla 3.21 y considerando la compartición definida en 1:4, se estipula un aproximado de $10 el Mbps por cliente residencial, con estos detalles se observa el costo del paquete en la tabla 3.23.

SERVICIO	CARACTERÍSTICAS
Telefonía	750 minutos
Internet	3 Mbps
COSTO DEL PAQUETE ($)	**53**

TABLA 3.23 Costo del paquete D, sector residencial.

Éste y los siguientes costos de los paquetes permiten cubrir la inversión, administración y mantenimiento de la red, además de los cargos de interconexión, rubro a pagar al ISP y el rédito para la compañía. El costo de la instalación de los paquetes residenciales, tanto el D como el G, será de $50.

3.2.1.1.2 Paquete G

El Paquete G constituye el paquete *Triple Play*. De igual forma según lo tabulado para este paquete, el mayor número de hogares pagan por el servicio telefónico entre 20 y 30 dólares. Realizando similar procedimiento que el paquete anterior, se ofertarán 1200 minutos mensuales, divididos en 400 minutos a otras operadoras y el restante dentro de la red. La capacidad de Internet es de 3 Mbps.

El cliente disfrutará de 100 canales con el servicio de televisión suscrita, ya que según la tabla 2.3 los clientes que disponen de este servicio gozan de entre 50 a 100 canales. El costo del *Triple Play* residencial se observa en la figura 3.24.

SERVICIO	CARACTERÍSTICAS
Telefonía	1200 minutos
Internet	3 Mbps
TV suscrita	100 canales
COSTO DEL PAQUETE ($)	**85**

TABLA 3.24 Costo del paquete G, sector residencial.

3.2.1.2 Sector Corporativo

Según la proyección de la demanda para el sector corporativo, se ofertarán los siguientes paquetes detallados en sus características a continuación:

3.2.1.2.1 Paquete D

Observando los resultados arrojados por las encuestas, para este paquete, el mayor número de corporaciones pagan por el servicio telefónico entre 35 a 45 dólares, tabulado en la tabla 2.9, considerando que la pensión básica es de $12,00 dólares, las corporaciones invierten $33 como máximo para obtener este

servicio. Por lo tanto utilizan alrededor de 750 minutos mensuales, ya que el costo por minuto corporativo es de $0,056 dólares según la Tarifa País; los minutos se dividen de la siguiente forma: 500 minutos para la red interna cuyo costo será de $0,04 dólares el minuto y 250 minutos para otras redes cuyo costo será de $0,02 dólares el minuto.

En cuanto a la capacidad de Internet se estableció 6 Mbps para este sector, considerando la compartición y costo por Mbps proporcionado por el proveedor, el costo aproximado por Mbps es de $40. El costo total del paquete se observa en la tabla 3.25, la instalación de los paquetes en el sector corporativo tiene un costo de $100.

SERVICIO	CARACTERÍSTICAS
Telefonía	750 minutos
Internet	6 Mbps
COSTO DEL PAQUETE ($)	**125**

TABLA 3.25 Costo del paquete D, sector corporativo.

3.2.1.2.2 Paquete G

Para este paquete, el mayor número de corporaciones pagan por el servicio telefónico entre 45 a 60 dólares, con el mismo razonamiento y datos anteriores, se ofertará 1200 minutos mensuales, distribuidos en 400 minutos con otras operadoras y 800 minutos dentro de la red. La capacidad de Internet es de 6 Mbps y finalmente el cliente obtendrá 100 canales correspondientes a la televisión suscrita, el costo del paquete se detalla en la tabla 3.26.

SERVICIO	CARACTERÍSTICAS
Telefonía	1200 minutos
Internet	6 Mbps
TV suscrita	100 canales
COSTO DEL PAQUETE ($)	**155**

TABLA 3.26 Costo del paquete G sector corporativo.

3.2.2 INGRESOS ANUALES

En las tablas 3.27 a la 3.32 se muestran los ingresos anuales de los paquetes contratados por los sectores residencial y corporativo, se utiliza las tabla 2.20 y 2.23 para calcular el ingreso anual según vaya creciendo la población de la red.

AÑO 2012	SECTOR RESIDENCIAL		SECTOR CORPORATIVO	
PAQUETE	Paquete D	Paquete G	Paquete D	Paquete G
USUARIOS	353	126	31	46
PRECIO MENSUAL DEL PAQUETE	$53,00	$85,00	$125,00	$155,00
INGRESO MENSUAL POR PAQUETE	$18709,00	$10710,00	$3875,00	$7130,00
PRECIO DE INSTALACIÓN	$17650,00	$6300,00	$3100,00	$4600,00
TOTAL INGRESO AÑO 2012	**$112498,00**			

TABLA 3.27 Ingreso del año 2012.

AÑO 2013	SECTOR RESIDENCIAL		SECTOR CORPORATIVO	
PAQUETE	Paquete D	Paquete G	Paquete D	Paquete G
USUARIOS	368	132	32	48
PRECIO MENSUAL DEL PAQUETE	$53,00	$85,00	$125,00	$155,00
INGRESO MENSUAL POR PAQUETE	$19504,00	$11220,00	$4000,00	$7440,00
PRECIO DE INSTALACIÓN	$750,00	$300,00	$100,00	$200,00
TOTAL INGRESO AÑO 2013	**$507318,00**			

TABLA 3.28 Ingreso del año 2013.

AÑO 2014	SECTOR RESIDENCIAL		SECTOR CORPORATIVO	
PAQUETE	Paquete D	Paquete G	Paquete D	Paquete G
USUARIOS	413	147	36	54
PRECIO MENSUAL DEL PAQUETE	$53,00	$85,00	$125,00	$155,00
INGRESO MENSUAL POR PAQUETE	$21889,00	$12495,00	$4500,00	$8370,00
PRECIO DE INSTALACIÓN	$2250,00	$750,00	$400,00	$600,00
TOTAL INGRESO AÑO 2014	**$571048,00**			

TABLA 3.29 Ingreso del año 2014.

AÑO 2015	SECTOR RESIDENCIAL		SECTOR CORPORATIVO	
PAQUETE	Paquete D	Paquete G	Paquete D	Paquete G
USUARIOS	510	182	44	67
PRECIO MENSUAL DEL PAQUETE	$53,00	$85,00	$125,00	$155,00
INGRESO MENSUAL POR PAQUETE	$27030,00	$15470,00	$5500,00	$10385,00
PRECIO DE INSTALACIÓN	$4850,00	$1750,00	$800,00	$1300,00
TOTAL INGRESO AÑO 2015	**$709320,00**			

TABLA 3.30 Ingreso del año 2015.

AÑO 2016	SECTOR RESIDENCIAL		SECTOR CORPORATIVO	
PAQUETE	Paquete D	Paquete G	Paquete D	Paquete G
USUARIOS	714	255	62	93
PRECIO MENSUAL DEL PAQUETE	$53,00	$85,00	$125,00	$155,00
INGRESO MENSUAL POR PAQUETE	$37842,00	$21675,00	$7750,00	$14415,00
PRECIO DE INSTALACIÓN	$10200,00	$3650,00	$1800,00	$2600,00
TOTAL INGRESO AÑO 2016	**$998434,00**			

TABLA 3.31 Ingreso del año 2016.

AÑO 2017	SECTOR RESIDENCIAL		SECTOR CORPORATIVO	
PAQUETE	Paquete D	Paquete G	Paquete D	Paquete G
USUARIOS	1180	421	102	154
PRECIO MENSUAL DEL PAQUETE	$53,00	$85,00	$125,00	$155,00
INGRESO MENSUAL POR PAQUETE	$62540,00	$35785,00	$12750,00	$23870,00
PRECIO DE INSTALACIÓN	$23300,00	$8300,00	$4000,00	$6100,00
TOTAL INGRESO AÑO 2017	**$1661040,00**			

TABLA 3.32 Ingreso del año 2017.

3.3 FUENTES DE FINANCIAMIENTO

En la sección 3.1.3.1 se establece a la Compañía de Responsabilidad Limitada, la cual está conformada por tres personas quienes realizan aportaciones individuales y responden por las obligaciones sociales hasta el monto que hayan aportado. Este valor unificado representa el capital inicial con el cual iniciará el proyecto, en la tabla 3.33 se muestra el capital invertido por cada socio.

	INVERSIÓN
SOCIO A	$50000
SOCIO B	$50000
SOCIO C	$50000
TOTAL	**$150000**

TABLA 3.33 Monto invertido por los socios.

Se realizará un préstamo a una entidad bancaria, para cubrir todos los gastos y costos que el monto total de la inversión de los socios no logró cubrir. El número de cuotas mensuales será de 60, el cual empezará a cancelarse desde el año

2013, las tasas de interés se otorgan dependiendo del monto del crédito y el nivel de endeudamiento de una empresa en una institución financiera. Para este caso corresponde una tasa del segmento empresarial del 9,74%[40], refiérase al Anexo 9 donde se halla la tabla de amortización del préstamo.

3.4 FLUJO DE CAJA [11] [107] [126] [127]

El flujo de caja o *cash flow* es una herramienta muy útil para la determinación de la dinámica del negocio dentro de una empresa. Considera el resultado de la diferencia entre todos los egresos (salidas) y todos los ingresos (entradas) en un período de tiempo determinado para comprobar la rentabilidad a futuro de un proyecto.

Para el presente proyecto el flujo de caja comprende el detalle de ingresos basado en el ingreso total por año de las tablas de la 3.27 a la 3.32, y el detalle de los egresos donde se suman todos los gastos involucrados en la constitución de la compañía y diseño de la red GPON, como se muestra en la tabla 3.34. Mediante el balance entre ingresos y egresos se podrá determinar si el proyecto realizado es viable y se establecerá el período de recuperación de la inversión mediante las reglas de decisión.

3.5 REGLAS DE DECISIÓN [72] [128]

Los indicadores económicos tienen como objetivo determinar si un proyecto es viable o no, además de dar a conocer a los socios si es adecuado realizar una inversión para un determinado proyecto. A continuación se los describe y calcula para realizar una posterior evaluación económica.

3.5.1 TASA MÍNIMA ACEPTABLE DE RENDIMIENTO (TMAR)

La TMAR es la tasa referencial que indica a un socio si se obtendrán beneficios de un proyecto, ya que al realizar una inversión toda persona necesita asegurarse que su capital va a generar utilidades.

Se procede a calcularla de la siguiente forma: [129]

$$\boldsymbol{TMAR} = Inflación\ anual + Premio\ al\ Riesgo$$

[40] Dato proporcionado por una institución financiera de calificación AAA- en el Ecuador.

FLUJO DE CAJA						
DETALLE DE INGRESOS	**AÑO 0**	**AÑO 1**	**AÑO 2**	**AÑO 3**	**AÑO 4**	**AÑO 5**
Venta de Paquetes + Instalación	112498,00	507318,00	571048,00	709320,00	998434,00	1661040,00
IVA 12%	13634,76	61486,94	69211,02	85969,58	121010,20	201318,05
Monto invertido por los socios	150000,00					
Préstamo	484632,64					
total ingresos	760765,40	568804,94	640259,02	795289,58	1119444,20	1862358,05
DETALLE DE EGRESOS	**AÑO 0**	**AÑO 1**	**AÑO 2**	**AÑO 3**	**AÑO 4**	**AÑO 5**
Amortización del préstamo	0,00	122821,46	122821,46	122821,46	122821,46	122821,46
Red activa	171494,40	5913,60	17001,60	37699,20	79587,20	180364,80
Red pasiva	163687,75					
Instalación						
Microzanjado	313949,44					
Muebles de oficina	6609,34					
Equipos de cómputo y software	15683,23					
Costitución de la empresa	400,00					
Permisos de Funcionamiento fijo	13000,00					
Publicidad	3360,00					
Permisos de Funcionamiento anual	750	750	750	750	750	750
Configuración de equipos	7656,00	264,00	770,00	1683,00	3531,00	8063,00
Mantenimiento de la red	0,00	0,00	16393,71	16393,71	16393,71	16393,71
Sueldo del Personal	20684,20	124105,20	124105,20	124105,20	124105,20	124105,20
Cargos de interconexión	5273,60	33024,00	36988,80	45715,20	63974,40	105696,00
ISP	36427,44	227692,80	255499,20	315465,12	441220,32	728879,04
Servicios básicos para la compañia	1790,00	10740,00	10740,00	10740,00	10740,00	10740,00
Depreciación de Activos Fijos	0,00	31908,85	33448,85	36814,85	43876,85	60002,85
Amortización de Activos Nominales	0,00	396,00	434,50	518,65	695,20	1098,35
total egresos	760765,40	557615,91	618953,32	712706,39	907695,34	1358914,41
FLUJO DE CAJA	**0,00**	**11189,04**	**21305,70**	**82583,19**	**211748,86**	**503443,64**

TABLA 3.34 Flujo de Caja.

El valor de la inflación anual es el aumento de los precios de los productos en el mercado, lo que genera la disminución del poder adquisitivo de la moneda. Por otro lado el premio al riesgo es la ganancia que un socio percibe por su inversión, los datos son obtenidos del Banco Central del Ecuador [130] para el año 2013, con los mismos se calcula la TMAR:

$$\boldsymbol{TMAR} = 2{,}04\% + 5{,}02\%$$

$$\boldsymbol{TMAR} = 7{,}06\%$$

Con la TMAR igual a 7,06% se procede a calcular las siguientes reglas de decisión, teniendo a este porcentaje como base referencial para decidirse por una inversión al concluir si el proyecto desarrollado es viable

3.5.2 VALOR ACTUAL NETO (VAN)

El VAN obtiene valores al presente de flujos de caja futuros, con lo cual se podrá identificar si un proyecto de inversión es o no viable, de la siguiente manera:

- El VAN positivo indica que el proyecto será rentable,
- Si el VAN es igual a 0, es indiferente la ejecución o no del proyecto,
- Si el VAN es negativo, el proyecto no es viable, por lo cual no se lo deberá ejecutar.

La fórmula para calcular el VAN es: [131]

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^{m} \frac{F_n}{(1+i)^n}$$

Dónde:

I_0 : Inversión Inicial

F_n : Flujos netos

M: número de períodos considerados

i : TMAR

Por lo tanto:

$$VAN = -150000 + \frac{11189{,}04}{(1+0{,}07)^1} + \frac{21305{,}70}{(1+0{,}07)^2} + \frac{82583{,}19}{(1+0{,}07)^3} + \frac{211748{,}86}{(1+0{,}07)^4} + \frac{503443{,}64}{(1+0{,}07)^5}$$

$$VAN = 466969{,}30$$

Como muestra el resultado, el VAN es positivo mayor que cero, por lo tanto el proyecto es rentable y asegura la inversión de los socios, ya que producirá ganancias más allá de recuperar la inversión realizada.

3.5.3 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

La TIR iguala el ingreso inicial con la sumatoria de los egresos en un período de tiempo, esto quiere decir que con la TIR se anula el VAN; cuando es utilizada como un medidor de rentabilidad, se asumen los siguientes parámetros:

- El TIR > TMAR indica que el proyecto será rentable,
- Si la TIR es igual al TMAR, es indiferente la ejecución o no del proyecto,
- Si la TIR es < al TMAR, el proyecto no es viable, por lo cual no se lo deberá ejecutar.

La fórmula para calcular la TIR es: [132]

$$-I_0 + \sum_{n=1}^{m} \frac{F_n}{(1+r)^n} = 0$$

Dónde:

I_0 : Inversión Inicial.
F_n : Flujos netos para el período n.
M: número de períodos totales.
r : Tasa interna de retorno.

Por lo tanto:

$$VAN = 0 = -150000 + \frac{11189{,}04}{(1+TIR)^1} + \frac{21305{,}70}{(1+TIR)^2} + \frac{82583{,}19}{(1+TIR)^3} + \frac{211748{,}86}{(1+TIR)^4} + \frac{503443{,}64}{(1+TIR)^5}$$

$$TIR = 0{,}4988$$

Como muestra el resultado, la TIR es igual a 0,4988, valor mayor al TMAR cuyo valor calculado fue de 0,0706, por lo tanto es recomendable realizar la inversión en este proyecto.

3.5.4 PERÍODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN (PRI)

Como su nombre lo indica el PRI, denota el período que tomará el proyecto para recuperar la inversión inicial, con lo cual mientras menor sea este período, se

puede decir que el proyecto es más viable. El PRI se calcula mediante la suma de los flujos de caja anuales, hasta que esta suma llegue a igualar a la inversión inicial.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
PRI	0,00	11189,04	32494,74	115077,93	326826,79	830270,43

TABLA 3.35 Valores del Período de Recuperación de la Inversión.

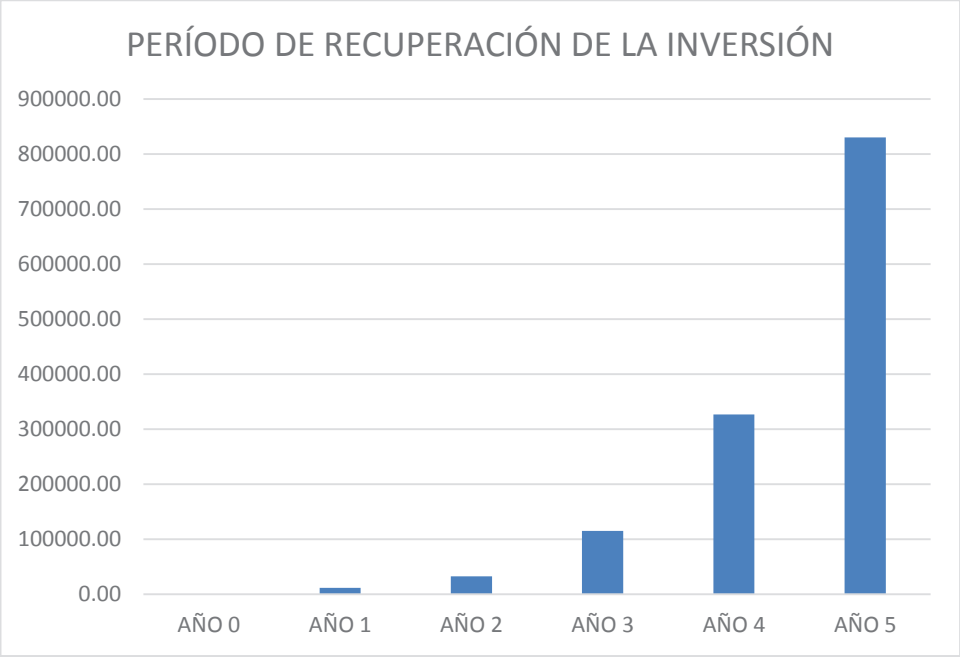


FIGURA 3.2 Período de recuperación de la inversión.

Los datos que se muestran en la tabla 3.35, mismos que generan la figura 3.2, indican que desde el año 2013 se empieza a recuperar la inversión realizada en este proyecto. Sin embargo, cabe considerar que cada uno de los tres socios realizó un aporte de $50000, dicho capital se lo recuperará en el año 2015, a partir de éste se tendrán magnificas utilidades.

Con los resultados obtenidos de las reglas de decisión, al obtener el VAN positivo y la TIR mayor a la TMAR se concluye que el proyecto a realizarse es rentable. Asegurando a cada socio que obtendrá utilidades a partir del año tres donde recupera completamente su inversión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPÍTULO III

- **Entrevistas**

[102] Entrevista, Ing. MSc. José Luis Torres, Gerente General MACROnet Cía. Ltda.

[103] Entrevista, Ing. Mireya Saá, Gerente General ReadyNet Cía. Ltda.

[104] Entrevista, Ing. Héctor Garófalo, Proyectista de Redes de Acceso, CNT EP.

[105] Entrevista, Ing. María Luisa Perugachi, Jefe de División, Dirección General de Gestión de los Servicios de Telecomunicaciones, SUPERTEL.

[106] Entrevista, Ing. Guido Guerra, Constructora Pileggi.

- **Páginas Web**

[107]http://www.supertel.gob.ec/pdf/INSTRUCTIVO_FORMULARIOS_SAV_doc__18-01-2011_VF-1.pdf (*consultada a junio de 2013*)

[108]http://www.slideshare.net/americanlawecuador/reglamento-a-ley-de-rgimen-tributario-al-27-feb2012 (*consultada a junio de 2013*)

[109]http://www.supercias.gob.ec/visorPDF.php?url=bd_supercias/descargas/ss/LEY_DE_COMPANIAS.pdf (*consultada a junio de 2013*)

[110]http://www.slideshare.net/vanessarosero/pasos-para-la-constitucin-de-una-empresa (*consultada a junio de 2013*)

[111]http://docs.dsl.net.pk/Alcatel-Lucent/GPON/Training/3FL_00457_WB_ED02_P06_7342_FTTU_AN.pdf (*consultada a junio de 2013*)

[112]http://enterprise.huawei.com/en/products/network/access-network/olt/en_ma5600t.htm (*consultada a junio de 2013*)

[113]http://www.fairwayselectronics.co.za/fairftp/ALCATELL%20LUCENT%20COMMISSIONING/1st%20day/03_ALU-GPEC%20-%20ONT_Portfolio.pdf (*consultada a junio de 2013*)

[114]http://enterprise.huawei.com/nla/products/network/access-network/pon-one/hw-144292.htm (*consultada a junio de 2013*)

[115] http://www.constructoracolven.com/ (*consultada a junio de 2013*)

[116] http://www.mueblesmm.com/ (*consultada a junio de 2013*)

[117] http://www.megamicro-ec.com/ (*consultada a junio de 2013*)

[118] http://www.icontable.com/ (*consultada a junio de 2013*)

[119]http://www.slideshare.net/ale19883/semejanzas-y-diferencias-entre-las-compaas-de-responsabilidad (*consultada a junio de 2013*)

[120] http://www.lacamaradequito.com/ (*consultada a junio de 2013*)

[121]http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/index.php?option=com_content&view=category&id=757&Itemid=600 (*consultada a junio de 2013*)

[122]http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/index.php?option=com_content&view=article&catid=254%3Areglamentos&id=603%3Areglamentos-del-sector-de-radio-y-television&Itemid=260 (*consultada a junio de 2013*)

[123] http://www.relacioneslaborales.gob.ec/ (*consultada a junio de 2013*)

[124]http://www.conatel.gob.ec/site_conatel/?option=com_content&view=article&catid=277:estadisticas-telefonia-fija&id=663:tarifas-e-interconexion-de-telefonia-fija (*consultada a junio de 2013*)

[125] http://www.cnt.gob.ec/index.php/tarifa-pais (*consultada a junio de 2013*)

[126] http://www.crecenegocios.com/como-elaborar-un-flujo-de-caja/ (*consultada a junio de 2013*)

[127]http://www.elblogsalmon.com/conceptos-de-economia/el-flujo-de-caja-y-su-importancia-en-la-toma-de-decisiones (*consultada a junio de 2013*)

[128]http://es.scribd.com/doc/48255087/ANALISIS-ECONOMICO-VAN-TIR-PRI-CB-EQUILIBRIO (*consultada a junio de 2013*)

[129] http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/2535/capitulo15.pdf (*consultada a junio de 2013*)

[130] http://www.bce.fin.ec/resumen_ticker.php?ticker_value=inflacion (*consultada a junio de 2013*)

[131] http://www.slideshare.net/scontulloa/valor-actual-neto (*consultada a junio de 2013*)

[132] http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/2535/capitulo15.pdf (*consultada a junio de 2013*)

CAPÍTULO IV
SIMULACIÓN Y RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE *SOFTWARE* EXISTENTE EN EL MERCADO [133]

En la actualidad existe una gran variedad de programas que llevan a cabo diferentes tipos de simulaciones, inclusive si únicamente se realiza un análisis de los programas que permiten simular redes de datos, no se puede enumerar a todos ellos, es por esto que se va a mencionar a los simuladores de red que dentro de sus características podrían simular una red GPON. Entonces se clasificará a los mismos dependiendo si tienen licencias de uso libre o licencias pagadas.

4.1.1 *SOFTWARE* COMERCIAL

4.1.1.1 OpNet Modeler

En la figura 4.1 se muestra la interfaz de inicio del *software* OPNET Modeler, misma que se muestra mientras este *software* carga su interfaz.

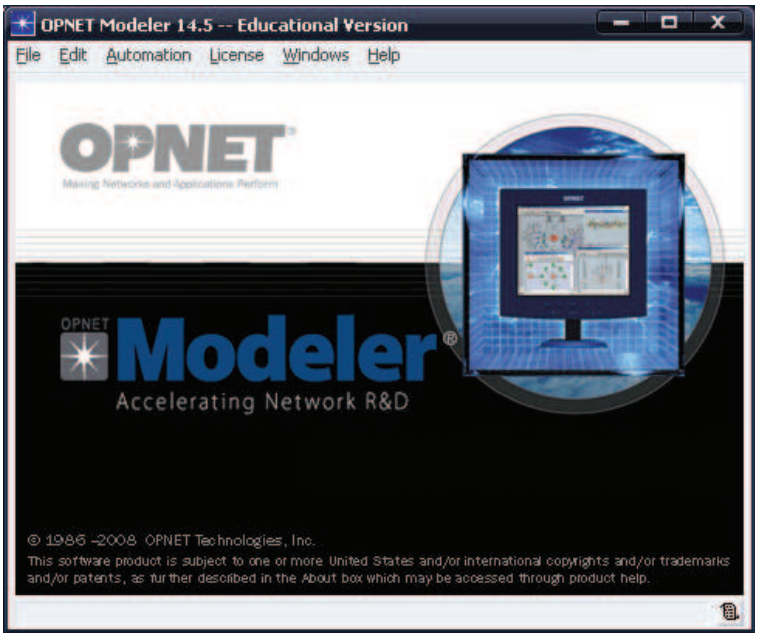


FIGURA 4.1 OpNet Modeler.

OPNET (*OPtimized Network Engineering Tool*) es una empresa que se ha centrado en la elaboración de *software* que facilite el entendimiento de las redes actuales.

Dentro de la línea de productos de OPNET se puede encontrar una versión académica denominada *IT Guru Academic Edition*, la misma que puede ser de utilidad, pero debido a que es una versión gratuita también presenta varias limitaciones como no poder modificar los paquetes que se transmiten, además de un número restringido de nodos, ésta entre otras razones hacen que este *software* no sea de gran utilidad.

A más de esta versión académica, OPNET presenta su versión comercial denominada OPNET Modeler, la misma que cuenta con mayores funcionalidades, y que entre sus características principales presenta las siguientes:

- Posee varias librerías predeterminadas.
- Su interfaz es muy sencilla e intuitiva.
- Posee la capacidad de acceder al código fuente, lo cual ayuda a entender el funcionamiento del programa.

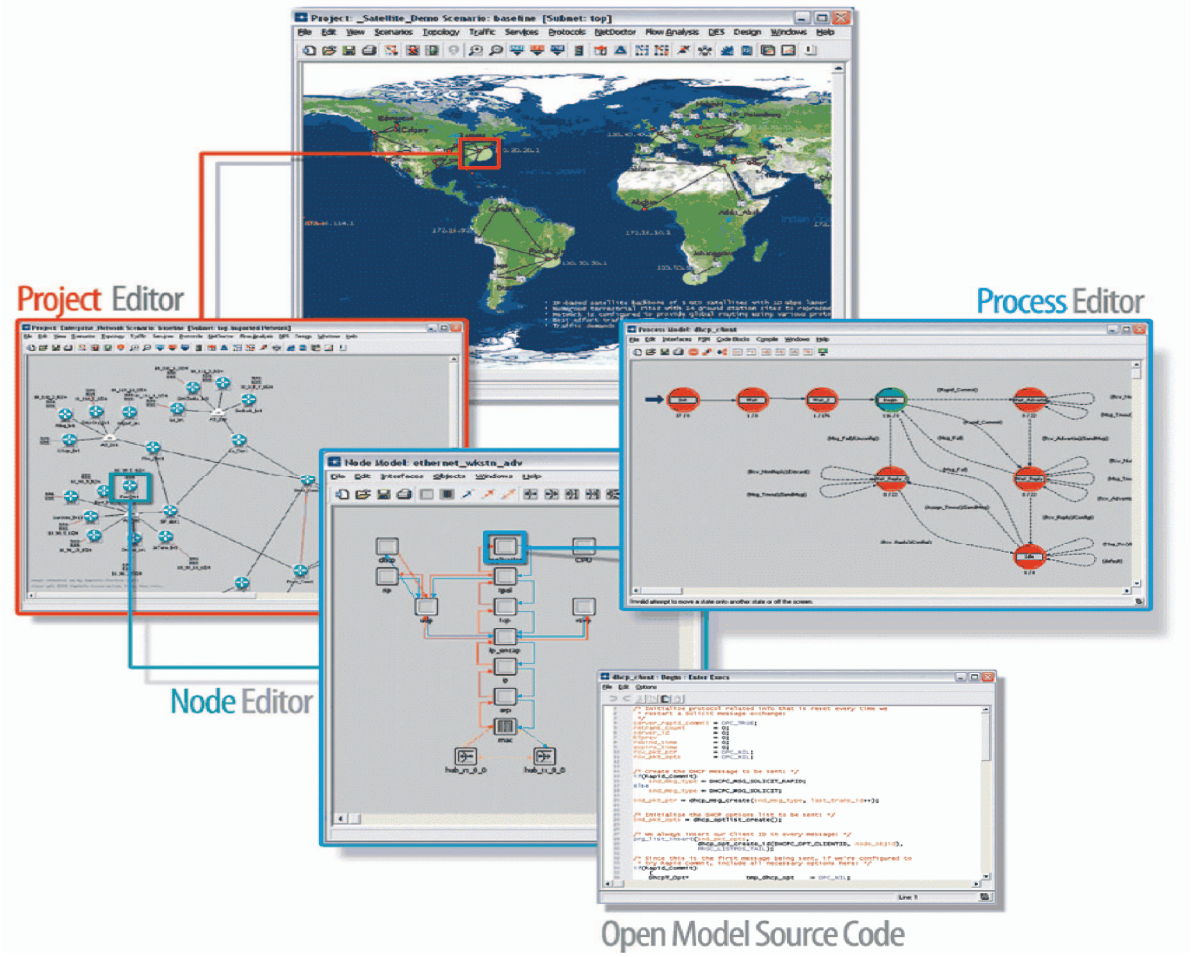


FIGURA 4.2 Diferentes editores de OpNet Modeler. [137]

- Está constituido por una variedad de editores los mismos que se ordenan de forma jerárquica; los principales son:

  - *Project Editor*
  - *Node Editor*
  - *Process Editor*
  - *Link Model Editor*
  - *Packet Format Editor*
  - *Estatistics Editor.*

  Algunos de estos editores son identificados en la figura 4.2, junto con su disposición jerárquica.

- Permite simular redes y evaluar a las mismas bajo diversas condiciones, como son: pérdidas de paquetes, flujos de datos variables, caídas de enlaces, etc.

4.1.1.2 OptSim

En la figura 4.3 se observa la interfaz del programa, durante el proceso de carga del mismo.

FIGURA 4.3 OptSim.

OptSim es un *software* desarrollado por RSOFT Desing Group, Inc., el mismo que se ha enfocado en la simulación y evaluación de los sistemas ópticos, ya que

cuenta con una gran biblioteca que permite al usuario trabajar como si se encontrara en un ambiente de laboratorio, lo cual facilita el entendimiento y desarrollo de proyectos dentro de las redes ópticas.

OptSim posee una interfaz gráfica muy amigable e intuitiva, la misma que ayuda en el desarrollo y puesta en marcha de proyectos de gran magnitud, además que el motor de simulación tiene un gran balance entre tiempo y exactitud. Entre las principales características de OptSim se mencionan las siguientes:

- Es muy versátil, se puede simular una gran cantidad de sistemas como:
  - Sistemas DWDM/CWDM
  - Sistemas FTTx/GPON
  - Sistemas CATV
  - Redes completamente ópticas (*ALL Optical Networks*)
  - LAN ópticas, etc.
- Posee interfaces con otras herramientas como MATLAB (*MATrix LABoratory*), BeamPROP, GratingMODE y LaserMOD, además de la capacidad de interactuar con elementos de laboratorio.
- Posee una gran biblioteca de elementos como son:
  - Generadores de señal
  - Láser
  - LED
  - Moduladores
  - Amplificadores
  - Fibras
  - Receptores, etc.
- Se lo puede utilizar para una gran variedad de análisis como por ejemplo balance de potencias, evaluación de sensibilidad de sistemas, optimización de ganancia en amplificadores RAMAN, entre otros.

La figura 4.4 muestra la interfaz que presenta el *software* OptSim, mediante un ejemplo de simulación de una red BPON-FTTx.

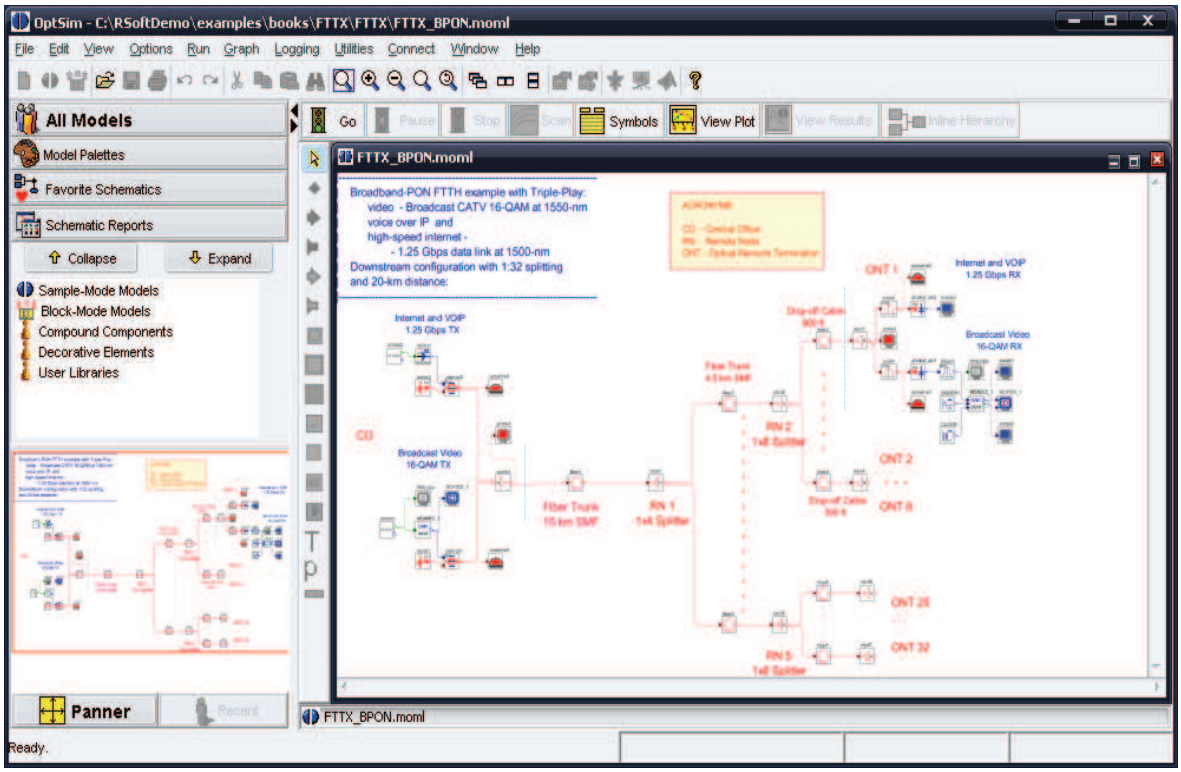


FIGURA 4.4 Simulación red BPON en OptSim.

4.1.1.3 OptiSystem

OptiSystem, es un *software* desarrollado por la compañía Optiwave, el mismo que permite probar y simular un diseño de un sistema de fibra óptica bajo ciertas características.

La figura 4.5 muestra la presentación junto con los derechos de autor que este *software* permite visualizar mientras carga la interfaz de usuario.

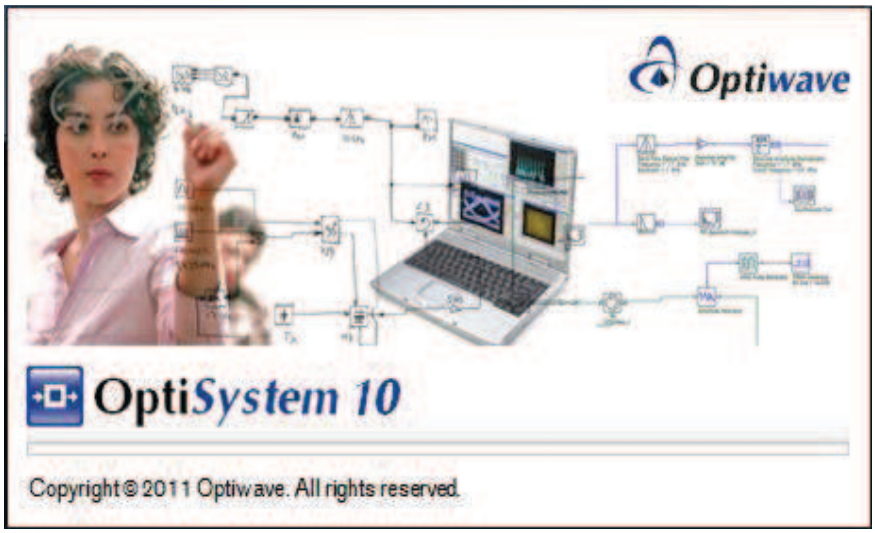


FIGURA 4.5 OptiSystem.

OptiSystem posee una interfaz gráfica muy similar a la de MATLAB (Simulink), la cual permite la simulación de varios tipos de sistemas, además de poseer una gran biblioteca de componentes con más de 300 tipos, mismos que pueden ser personalizables según el diseño requerido; cuenta también con herramientas de post-procesamiento y herramientas de visualización muy sofisticadas para hacer aún más interactivo al *software*.

Las principales características de este *software* se citan a continuación:

- ❖ Capacidad de diseño y simulación de redes ópticas de nueva generación.
- ❖ Capacidad de simulación de fenómenos como:
  - Mezcla de 4 longitudes de onda
  - Modulación cruzada de fase.
  - Modulación de auto-fase, etc.

La figura 4.6 muestra un ejemplo aplicativo de OptiSystem, mediante la simulación de una red XGPON.

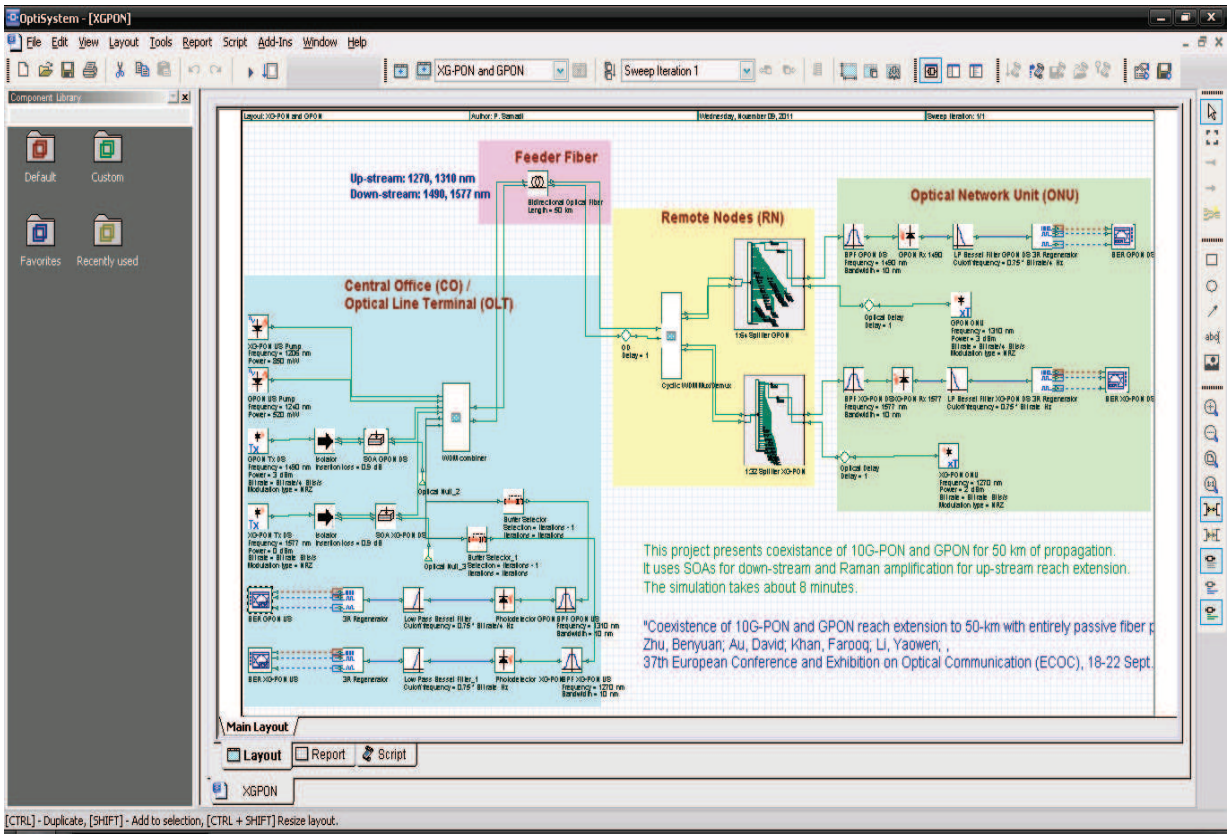


FIGURA 4.6 Simulación red XGPON en OptiSystem.

- ❖ Posee herramientas de análisis como:
    - Diagramas del Ojo
    - BER
    - Diagramas de constelación
    - Q-Factor
    - Potencia de Señal
    - Ganancia, etc.

4.1.1.4 VPI *Transmission Maker*

VPI *Transmission Maker*, es un *software* desarrollado por VPI *photonics*, que es una división de VPIsystems. Este *software* provee una interfaz gráfica muy avanzada, además de un sistema de simulación muy robusto, que permite desarrollar simulaciones bidireccionales, topologías en anillo e inclusive topologías en malla.

Posee una variedad de plantillas que llegan a ser casi 300, las mismas que se encuentran en constante actualización proporcionando soporte para casi todos los tipos de sistemas que se pudieran encontrar. Entre las principales aplicaciones de este *software* se pueden citar las siguientes:

- ❖ Diseño de sistemas de alta capacidad WDM.
- ❖ Desarrollo de soluciones de alto rendimiento a 100GbE, con detección coherente y procesamiento digital.
- ❖ Evaluación de formatos de modulación como: CSRZ (*Carrier-Suppressed Return-to-Zero*), mQAM (*M-ary Quadrature Amplitude Modulation*), PSBT (*Phase Shaped Binary Transmission*), CSRZ - DPSK (*Carrier Suppressed Return to Zero - Differential Phase Shift Keying*), RZ - DQPSK (*Return to Zero - Differential Quadrature Phase Shift Keying*).
- ❖ Selección de tecnologías (CWDM, PON, ROADM (*Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer*), RSOA (*Reflective Semiconductor Optical Amplifier*)) y topologías de redes de agregación y distribución.
- ❖ Evaluar esquemas de microonda y RF- sobre fibra óptica.
- ❖ Experimentar velocidades de hasta varios Tbps en sistemas que utilizan las bandas C, L y S.

La figura 4.7, permite visualizar algunos de los elementos que se pueden encontrar en este *software*, mediante el ejemplo de una red PON.

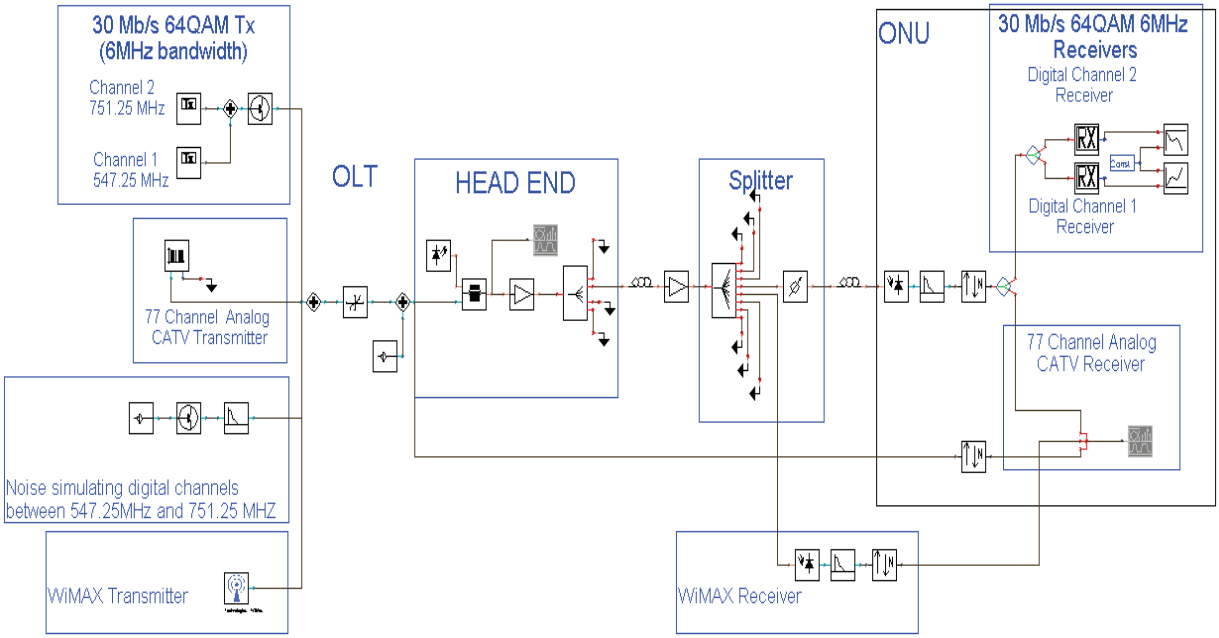


FIGURA 4.7 Simulación red PON en VPI. [138]

4.1.2 *SOFTWARE* LIBRE

4.1.2.1 *Optical* WDM *Network Simulator* (OWns)

OWns, es una herramienta de licenciamiento libre que es considerado como una extensión del *software Network Simulator NS*, la misma que se enfoca en la elaboración y análisis de redes ópticas que puedan utilizar WDM.

OWns basa su funcionamiento únicamente en una arquitectura de dos capas, capa física y capa lógica; la capa física se encarga de los nodos ópticos y los enlaces de varias longitudes de onda; y la capa lógica por su parte se encarga del módulo de enrutamiento y la asignación de las longitudes de onda.

Al ser considerado una extensión de NS, esta herramienta no posee una interfaz gráfica sino que por el contrario toda la base de su simulación debe ser desarrollada en código para posteriormente visualizarla, obsérvese la figura 4.8. En el siguiente ejemplo se puede ver como se procedería para realizar una simulación con este *software*.

```
1 # Define Simulation Variables
2 set val(result file)          "demo.res"     ;# result file
3 set val(wvlen routing)        WDMStatic      ;# wvlen routing protocol
4 set val(wvlen assign)         FirstFit       ;# wvlen assignment protocol
```

```
set val(shortest path num)    1              ;# number of the shortest path
set val(node num)             25             ;# total nodes number in network
set val(conn prob)            0.11           ;# nodes connection prob.
set val(topo seed)            98765          ;# seed to generate random topology
set val(link bw)              16Mb           ;# bandwidth of link
set val(link wvlen num)       16             ;# wavelengths number on each link
set val(wvlen conv factor)    0.5            ;# wvlen conversion factor, between 0 and 1
set val(wvlen conv dist)      4              ;# wvlen conversion distance, <= wvlen num
set val(wvlen conv time)      0.024          ;# wvlen conversion time (relative time)
set val(traf density)         0.6            ;# generated traffic density in networks
set val(traf arrival rate)    0.5            ;# mean of each session arrival rate
set val(traf holding time)    1.0            ;# mean of each session holdingtime
set val(traf pkt size)        1000           ;# session-traffic packet size
set val(traf pkt rate)        1Mb            ;# session-traffic packet arrival rate
set val(traf type)            Exponential    ;# session-traffic type in network
set val(traf exp burst time) 0.7             ;# expoo traffic average burst time
set val(traf exp idle time)  0.1             ;# expoo traffic average idle time
set val(traf max req)         1000           ;# max traffic requests number
set val(traf start time)      0.0            ;# session-traffic starting time
set val(traf stop time)       0.0            ;# session-traffic stoping time
......


# Create a simulator object
set ns [new Simulator]

# Wvlen routing protocol and assigning mechanism
$ns wrouting-proto $val(wvlen routing)
$ns wassign-proto $val(wvlen assign)

# Generate the topology creation script
topology -outfile $val(topofile) -nodes $val(node num)
-connection prob $val(conn prob) -seed $val(topo seed)
# Generate the traffic creation script
traffic $val(traf type) $val(node num) $val(traf num) $val(traffile)
......

# Create random topology
create-topology ns WDMNode SessionTrafficRcvr $val(link bw) $val(link wvlen num)
$val(wvlen conv factor) $val(wvlen conv dist) $val(wvlen conv time)
$val(wvlen alloc path2) $val(util sample interval) $val(traf max req)
# Create random traffics
create-traffic ns traffic WDMNode SessionTrafficRcvr $val(node num) $val(traf num)
$val(traf pkt size) $val(traf pkt rate) $val(traf arrival rate) $val(traf holding time)
$val(traf exp burst time) $val(traf exp idle time)

# Schedule session traffics
for {set i 0 } {$i < $val(traf num) } {incr i } {
$ns schedule-sessiontraffic $traffic($i) $val(traf start time) $val(traf stop time)
}
# Schedule ns stop
if {$val(traf stop time) > 0 } {
$ns at [expr $val(traf stop time) + 1.0] "finish"
}

# before ns runs, prepare wassignlogic
$ns pre-run-wassignlogic
$ns run
```

La figura 4.8 muestra la animación que se muestra luego de poner en marcha el código tomado como ejemplo, en la misma se puede visualizar los nodos y los enlaces entre los mismos.

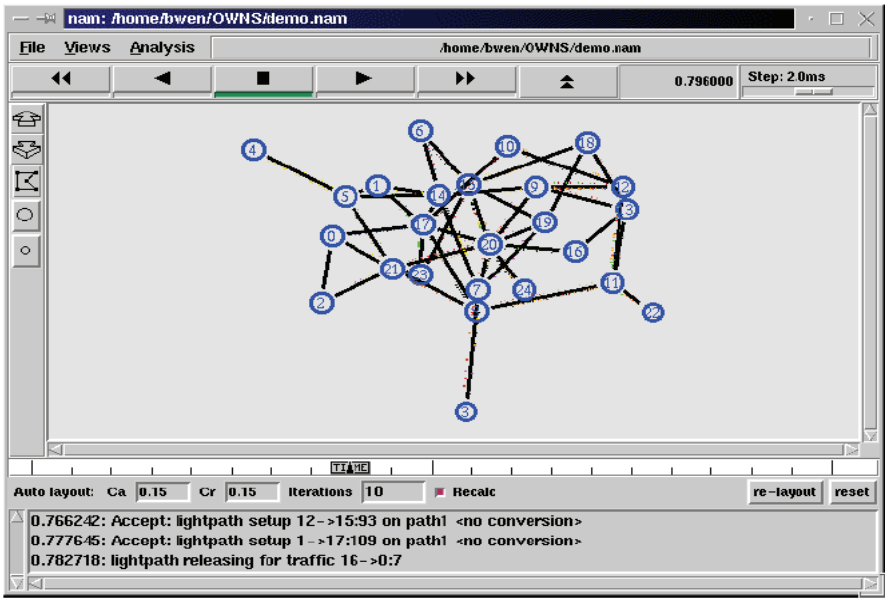


FIGURA 4.8 Simulación red en OWns. [139]

4.1.3 ANÁLISIS COMPARATIVO Y ELECCIÓN DEL *SOFTWARE* DE SIMULACIÓN

Luego de haber hecho una breve descripción de los principales paquetes de *software*, que pueden ser de utilidad para el desarrollo de este proyecto, mediante un análisis comparativo, según la tabla 4.1, se pretende elegir el adecuado para la posterior simulación de la red diseñada.

	Interfaz	Requerimientos de Hardware	Componentes (cantidad de elementos)	Integración con otras herramientas (MATLAB)	Tipo de licencia	Nivel para obtener el *software*
OpNet Modeler	GUI	medio	alto	si	pagada	difícil
OptSim	GUI	bajo	alto	si	pagada	difícil
OptiSystem	GUI	medio	alto	si	pagada	moderada
VPI Transmission Maker	GUI	No definido[41]	alto	no	pagada	difícil
Owns	CLI + GUI	bajo	bajo	no	libre	fácil

TABLA 4.1 Comparación entre *software* de simulación.

Como se puede apreciar los simuladores que presentan mejores características son los de licencia pagada, y según las características ya descritas, OptSim, no por mucho es superior en rendimiento. Sin embargo, es complicado el obtener su licencia de evaluación, por lo que se lo ha descartado.

[41] Debido a que la mayoría de *software* son de licencia pagada, es muy difícil encontrar información acerca de los mismos.

El problema con los *software* libres es que están atados a la plataforma Linux y no poseen elementos específicos para redes ópticas, tampoco cuentan con interfaz gráfica para el desarrollo de red sino que presentan una animación como parte del resultado del sistema programado. El *software* VPI Transmission Maker también presenta características interesantes, mismas que no se las ha podido poner a prueba debido a la imposibilidad de obtener información sobre el mismo además de la marcada dificultad al momento de solicitar su licencia de evaluación.

En conclusión se elige el simulador OPTISYSTEM ya que presta las facilidades suficientes para el desarrollo del tipo de redes como la que se ha propuesto en el presente proyecto, además de poseer una gran integración con la mayoría de GPUs (*Graphics Processing Unit*) existentes en el mercado, lo cual ayuda a que la simulación de la fibra óptica no se transforme en una sobrecarga computacional. Finalmente cabe resaltar que OptiSystem ofrece integración con otros paquetes de la misma línea y desarrollados para Optiwave, los mismos que proporcionan elementos extras para análisis más profundos y detallados de los sistemas a ser simulados, estos paquetes pueden ser OptiSpace, Optiperformer, OptiFDTD, etc.

4.2 INTRODUCCIÓN AL FUNCIONAMIENTO DE OPTISYSTEM[134]

Una vez elegido el *software* con el que se va a ejecutar la simulación, se procede a realizar una introducción sobre el mismo para extender lo descrito en la sección anterior.

4.2.1 LICENCIAS Y REQUERIMIENTOS DE OPTISYSTEM

Los requisitos mínimos del sistema para que esta herramienta pueda ser utilizada se muestran en la tabla 4.2.

Como se mencionó OptiSystem es una suite de *software* que posee grandes beneficios, no es una herramienta que se pueda conseguir de forma libre ya que es licenciada. Posee licencias de evaluación válidas por un período de 7 días, luego del vencimiento de esta licencia, se puede solicitar una extensión de 30 días máximo, sin que sea necesario realizar ningún pago a Optiwave. Finalizado el tiempo de evaluación se debe realizar la compra del *software* que está valorado en alrededor de USD 45000 para poder seguir utilizándolo.

Operating System	Processors	Disk Space	RAM
32-bit Optiwave™ Products			
Windows™XP (Service Pack 2 or higher) Windows Vista™ (SP 1) Windows 7™	Intel® Pentium III processor (or higher) AMD Equivalent	350 MB	512 MB (2 GB recommended)
64-bit Optiwave™ Products			
Windows™ XP x64 (Service Pack 1 or higher) Windows Vista™ x64 (Service Pack 1 or higher) Windows 7™ x64	Intel or AMD processors including: Intel Dual Core, Core 2, Intel Xeon, AMD64 multi-core, i7, Intel Core 2 Quad (i.e. currently manufactured processors)	350 MB	1024 MB (4 GB+ recommended)

TABLA 4.2 Requerimientos Mínimos del Sistema. [140]

4.2.2 ENTORNO GRÁFICO

Para poder acceder al entorno gráfico de usuario (GUI), se ingresa al menú de inicio de Windows y se lo busca dentro de los programas que se hayan instalado, o directamente desde el escritorio mediante su acceso directo. La interfaz gráfica que presenta se observa en la figura 4.9.

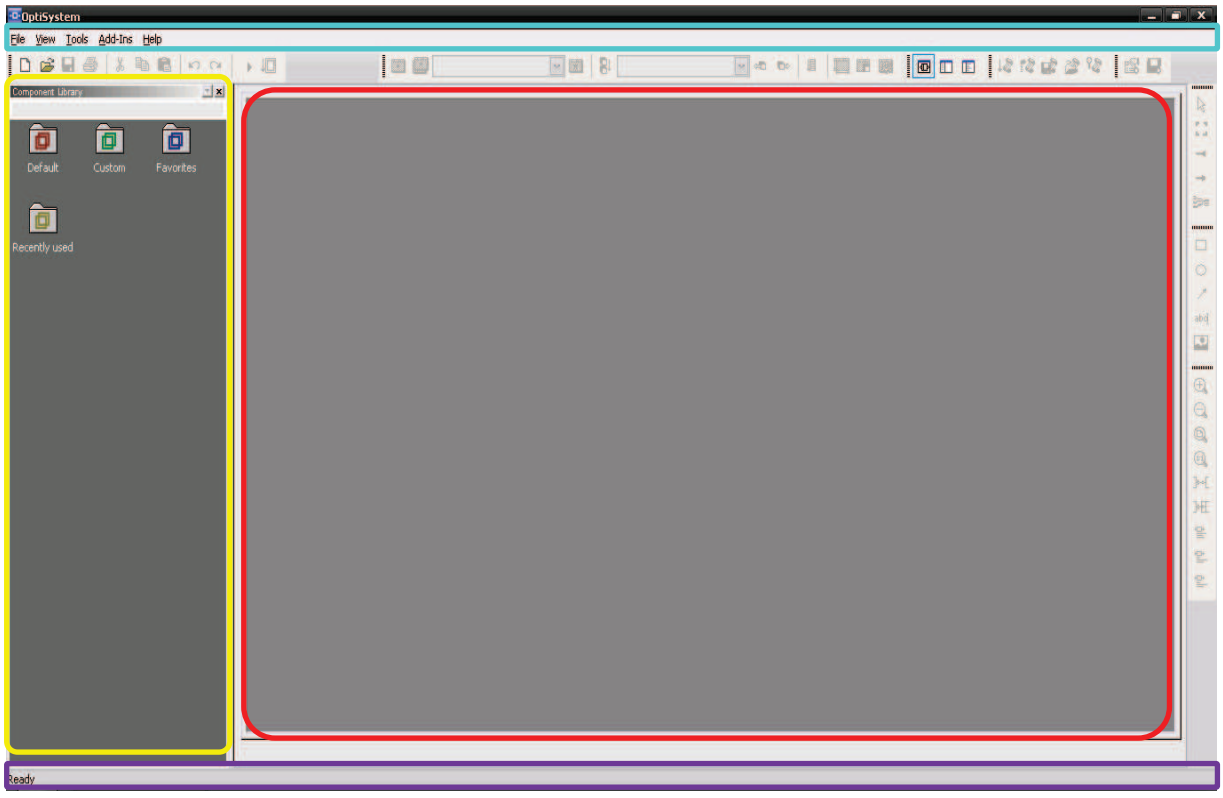


FIGURA 4.9 Entorno GUI OptiSystem.

Dentro de la ventana principal de OptiSystem se identifican 4 secciones principales, las mismas que son:

1. La ventana principal del proyecto
2. La Barra de estado
3. La Barra de menú
4. Los cargadores, que pueden contener a su vez:
    - ❖ Librería de componentes
    - ❖ Navegador de Proyectos
    - ❖ Descripción

Para abrir un nuevo proyecto, luego de haber iniciado el *software*, se cuenta con dos posibilidades; la primera a través de la barra de menú, clic en ***File***, clic sobre ***New (Ctrl + N)*** e inmediatamente aparece el nuevo proyecto. La segunda opción es presionar directamente sobre el icono de ***New***. Refiérase a la figura 4.10.

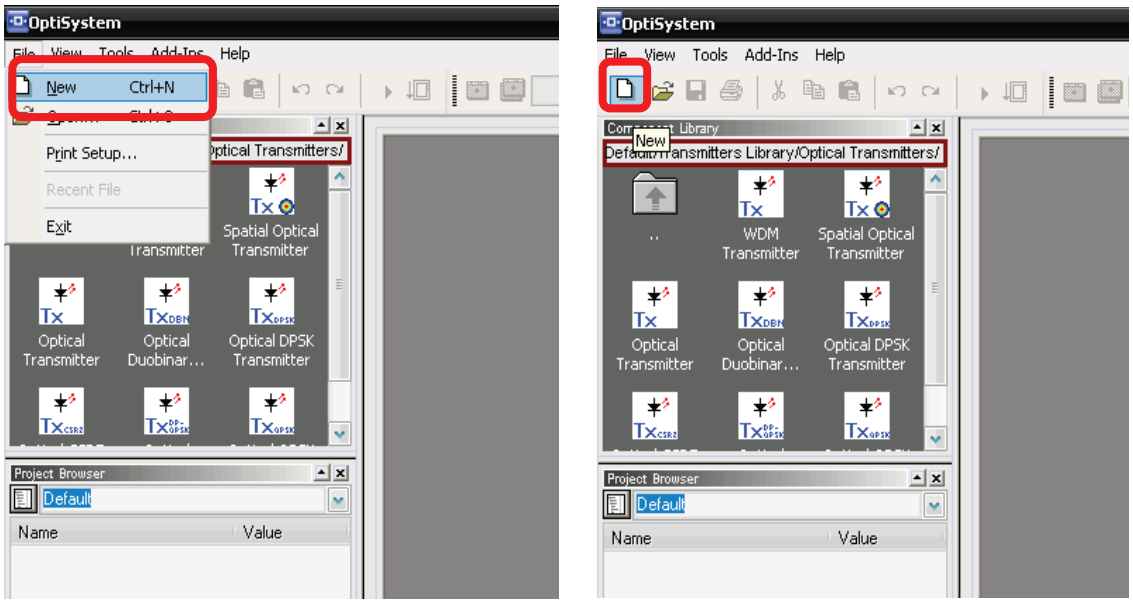


FIGURA 4.10 Creación de un nuevo proyecto.

Una vez abierto un nuevo proyecto, se acude a la librería de componentes para buscar los necesarios para la simulación, los mismos que pueden ser llevados al proyecto mediante *"Drag & Drop"* para hacer más eficiente la construcción del diseño. En la figura 4.11 se observa cómo se han insertado 4 componentes dentro de la ventana del proyecto, los mismos que han sido insertados mediante el ya mencionado *"Drag & Drop"*.

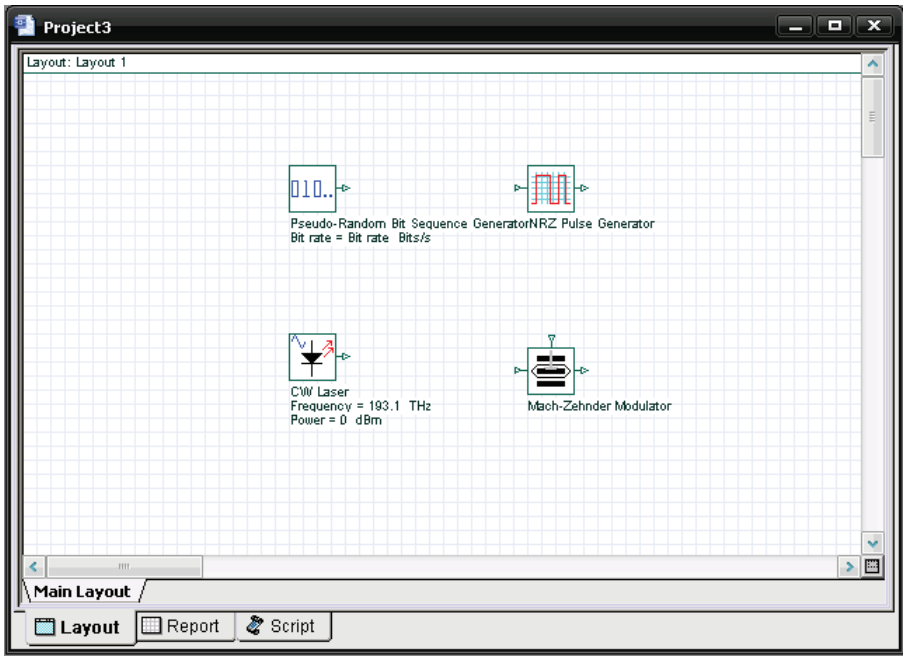


FIGURA 4.11 Inserción de componentes.

Con los elementos seleccionados, se recurre a las herramientas de ayuda de OptiSystem para realizar la conexión entre los mismos, las opciones de conexión se presentan a continuación:

- ***Autoconnect on Drop***: Cuando se arrastra el componente desde la librería, éste automáticamente conecta el puerto de entrada con el puerto de salida del componente más cercano. Obsérvese la figura 4.12.

FIGURA 4.12 *Autoconnect on Drop*.

- ***Autoconnect on Move***: Cuando se mueve los componentes dentro de la ventana del proyecto, éstos se conectan automáticamente en forma similar a lo anterior. Obsérvese la figura 4.13.

FIGURA 4.13 *Autoconnect on Move*.

- ***Personalizada***: Conexión en la que uno decide qué puerto de qué componente se conecta a qué puerto del otro componente.

Una vez conectados los componentes, se debe agregar también elementos para la visualización, los mismos que se encuentran en *"**Visualizer Library**"*. En la figura 4.14 se aprecia la inserción al proyecto de algunos elementos de visualización como son los osciloscopios, visualizadores de espectro, etc.

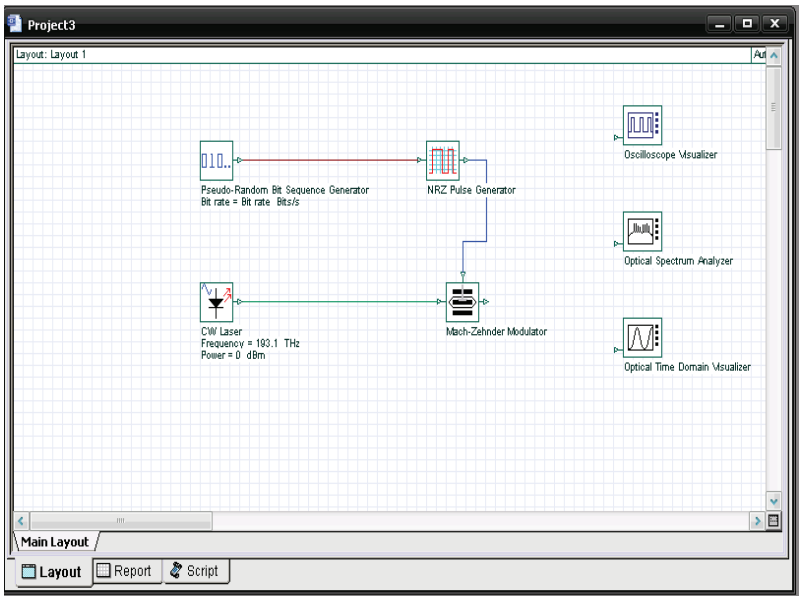


FIGURA 4.14 Inserción de elementos de visualización.

Luego de tener todo lo necesario, se configura los parámetros de los componentes de acuerdo a lo que la simulación requiera, para lo cual se da doble clic sobre el componente (en este caso CW *Laser*), obsérvese la figura 4.15, para acceder al cuadro de diálogo con las opciones de configuración.

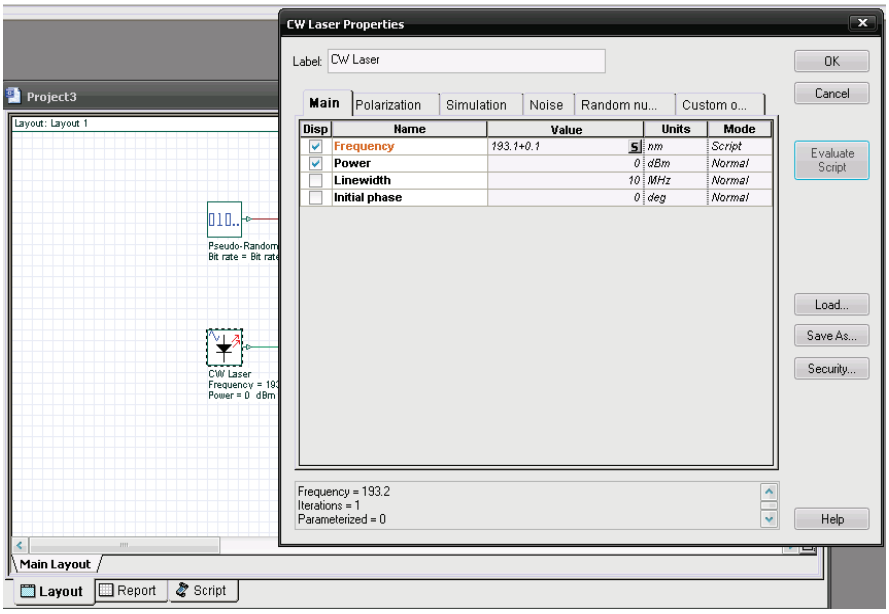


FIGURA 4.15 Configuración *CW Laser Properties*.

Cuando todo esté listo se procede a correr la simulación, para lo cual existen dos posibilidades, una a través del ícono de la barra de tareas ***Calculate***. La segunda opción es a través del menú ***File*** e ingresando en la opción ***Calculate***. Estas dos opciones se las observa en la figura 4.16.

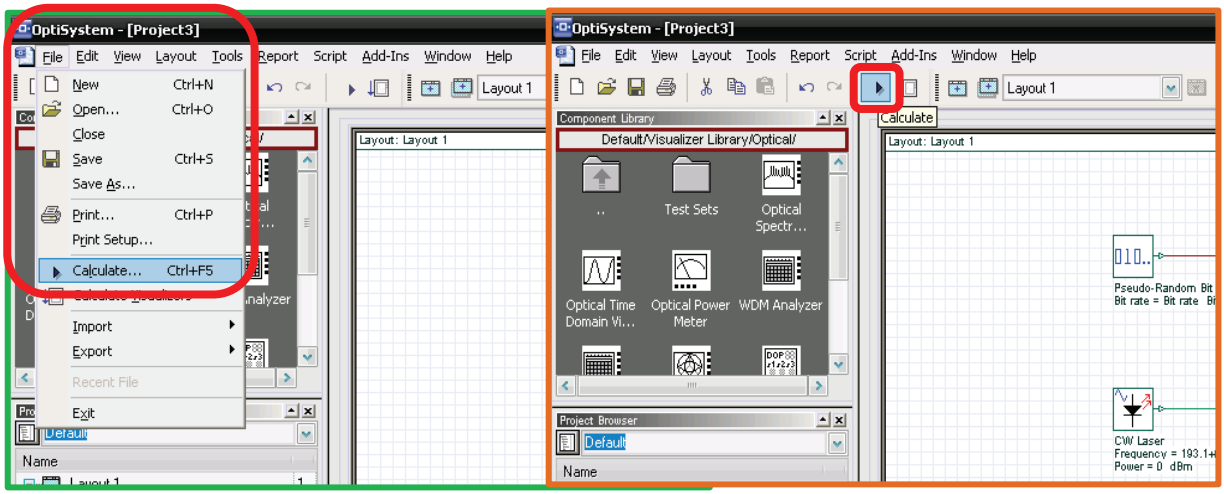


FIGURA 4.16 Formas de calcular la simulación.

Al dar clic sobre cualquiera de las dos opciones inmediatamente aparecerá un cuadro de dialogo, que se presenta algunas opciones de optimización, pero para iniciar la simulación se debe dar clic sobre el botón de *play,* como se muestra en la figura 4.17. Este cuadro muestra además el proceso de simulación de cada elemento y si existen advertencias o errores en algún elemento dentro del proyecto.

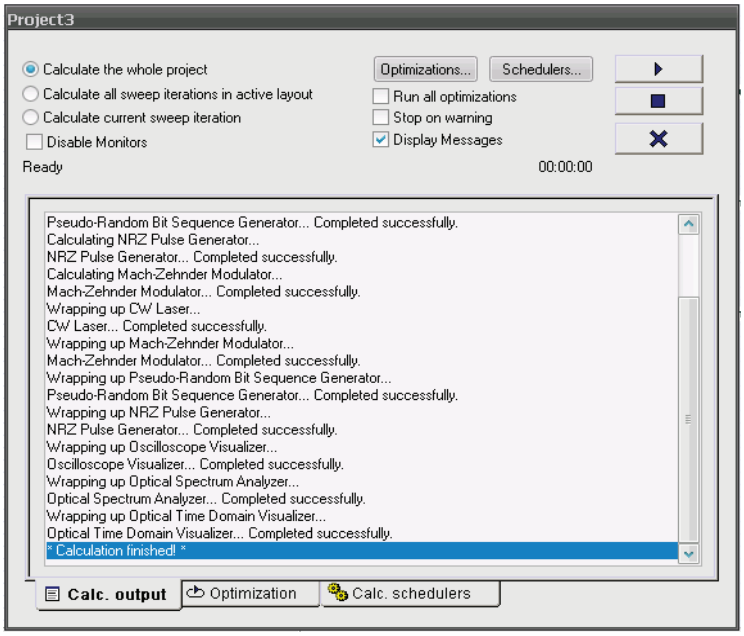


FIGURA 4.17 Puesta en marcha de la simulación.

Finalmente se observan los resultados de la simulación mediante los visualizadores conectados anteriormente, como se presenta en la figura 4.18. Para acceder a los mismos basta con dar doble clic sobre sus íconos.

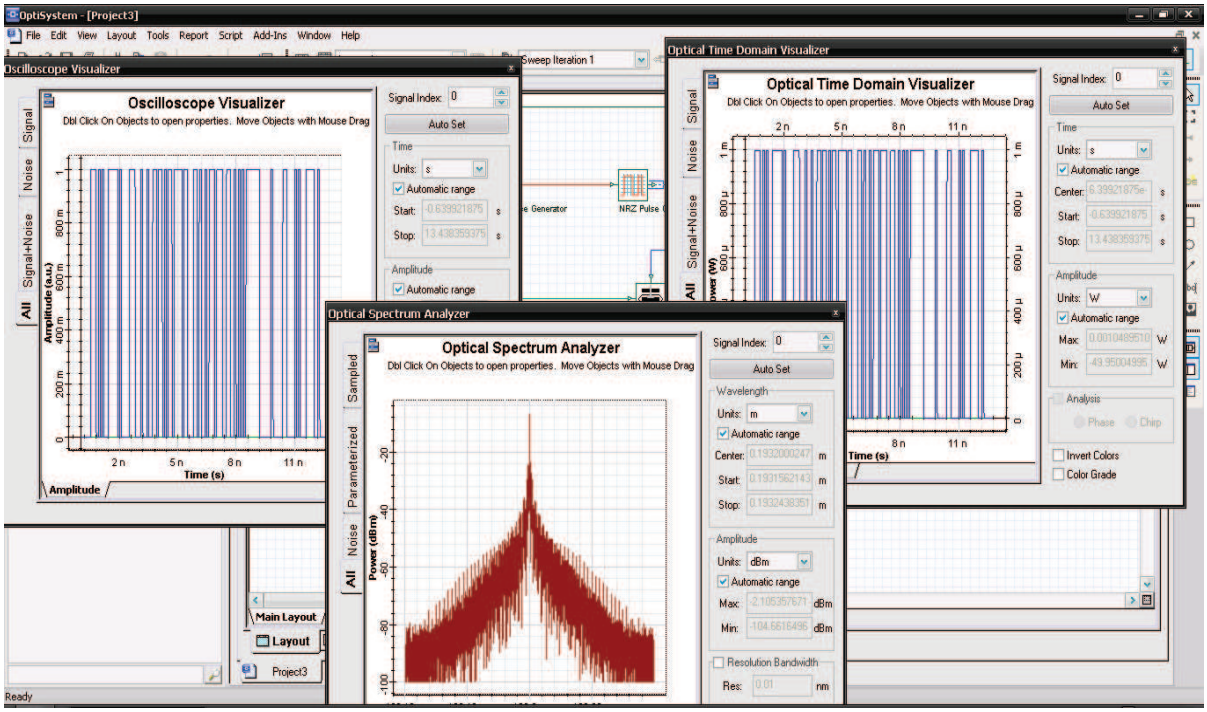


FIGURA 4.18 Visualizadores ópticos.

En dichos visualizadores se pueden realizar todos los análisis requeridos que serán de utilidad para corroborar y entender mejor los parámetros de diseño.

4.2.3 HERRAMIENTAS DE INTEGRACIÓN CON OTROS PROGRAMAS

OptiSystem posee la librería MATLAB, la que permite la co-simulación con este *software*, MATLAB es una herramienta de procesamiento matemático muy potente que en base a matrices, representación de datos y funciones, y a la implementación de algoritmos, lleva a cabo el procesamiento de datos requeridos.

Al acceder a las propiedades del componente se puede modificar la naturaleza de la señal, pudiendo ser ésta eléctrica u óptica; además se puede escoger el dominio en el que se trabaja teniendo así tiempo o frecuencia. También se puede elegir el número de entradas o salidas, entre otras posibilidades.

4.3 SIMULACIÓN DE LA RED

Con el fin de corroborar los resultados que se obtuvieron del presupuesto de pérdidas de potencia elaborado en la sección 2.7 se procede a simular una parte

de la zona 1, donde se encuentra el usuario más cercano; y de la zona 7, donde se encuentra el usuario más lejano.

4.3.1 ESTRUCTURACIÓN DEL ARCHIVO DE SIMULACIÓN

El archivo de simulación comprende en una forma macro, a la OLT, la ODN y los ONTs.

La OLT está compuesta por subsistemas que comprenden a los transmisores de datos/voz y de video para transmitir la información hacia cada uno de los clientes *Downstream*, a más del receptor que es el encargado de interpretar los datos transmitidos por los ONTs, *Upstream*, tal y como se observa en la figura 4.19.

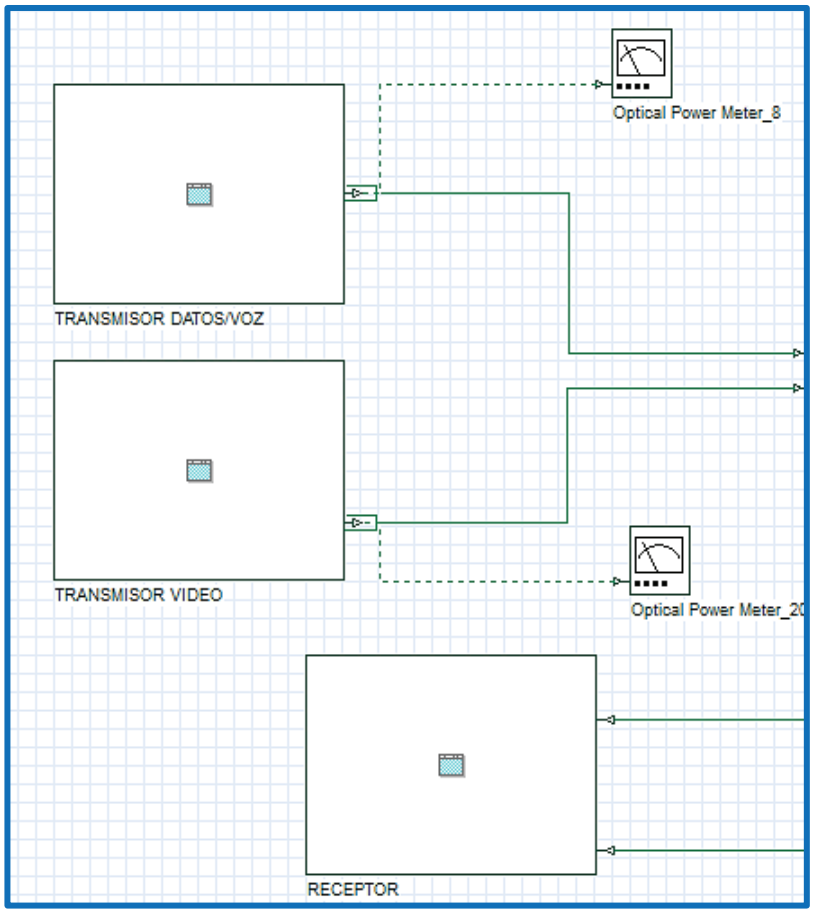


FIGURA 4.19 Bloques que constituyen la OLT.

Los bloques de transmisión de la OLT son diferentes, ya que cada uno de ellos trabaja en forma distinta, es así que observando la figura 4.20, se puede visualizar que para el transmisor de datos/voz, se trabaja con un código de línea NRZ. Mientras que en la figura 4.21, se observa que los datos correspondientes al video RF, son transmitidos mediante una modulación 16-QAM.

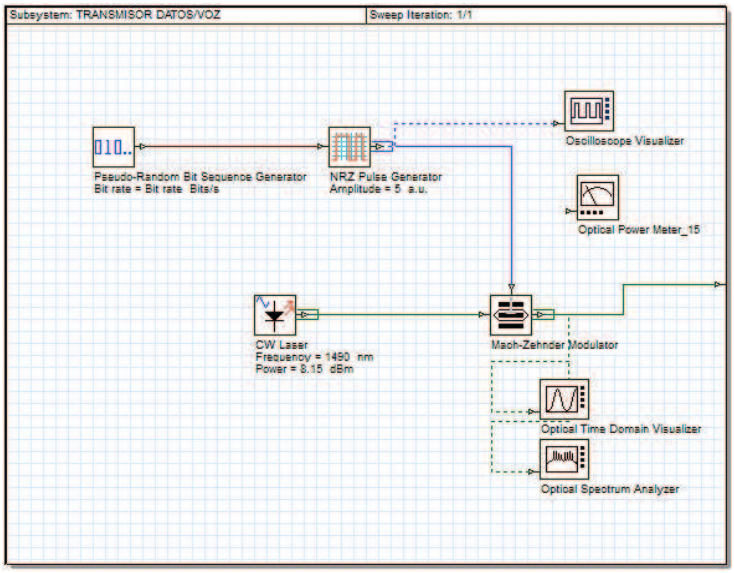


FIGURA 4.20 Bloque de Transmisión de Datos/Voz de la OLT.

Los transmisores tanto de datos/voz como de video, además de los elementos mencionados y mostrados en las figuras respectivas, constan de un modulador externo, el mismo que lleva a cabo la modulación EOM (*Electro Optic Modulation*), que para este caso realiza una modulación en amplitud. Para lograr este tipo de modulación se recurre al principio de funcionamiento del interferómetro de Mach Zehnder, y por esta razón a este elemento se lo conoce como modulador de Mach Zehnder.

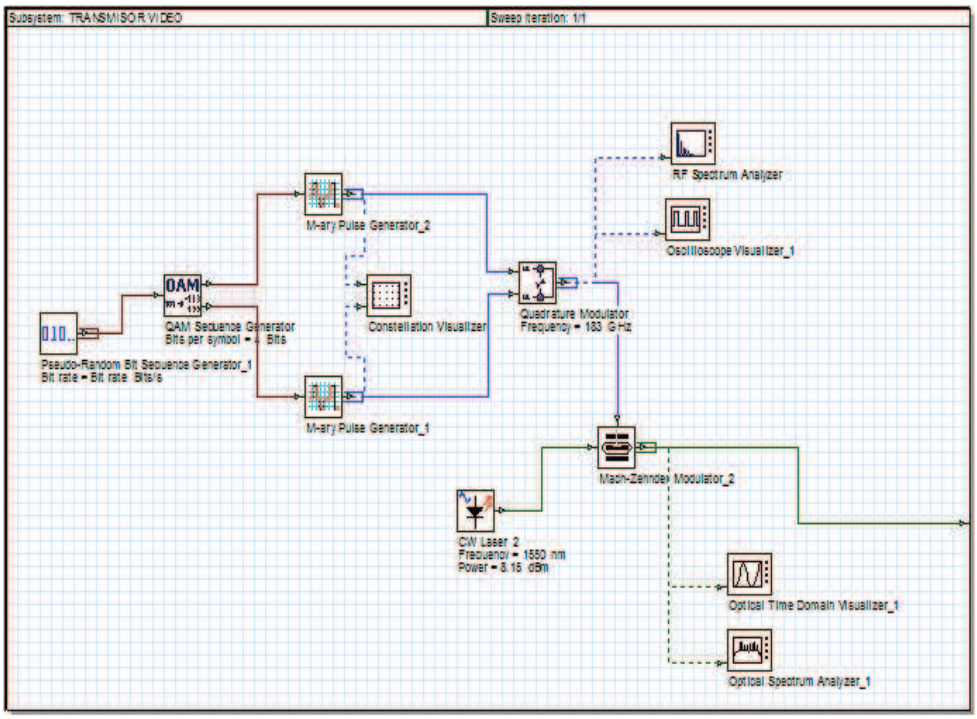


FIGURA 4.21 Bloque de Transmisión de Video de la OLT.

Por su parte el receptor, consta de un fotodiodo, que será el encargado de realizar la conversión óptica-eléctrica. Luego de pasar por el filtro que se lo utiliza para eliminar frecuencias indeseables como ruido introducido por el fotodiodo, se puede tener los datos transmitidos por los ONTs listos para ser interpretados. Estos datos al pasar por el *buffer selector*, son almacenados conforme llegan a la OLT, como se aprecia en la figura 4.22 para así poder visualizar todos los datos recibidos.

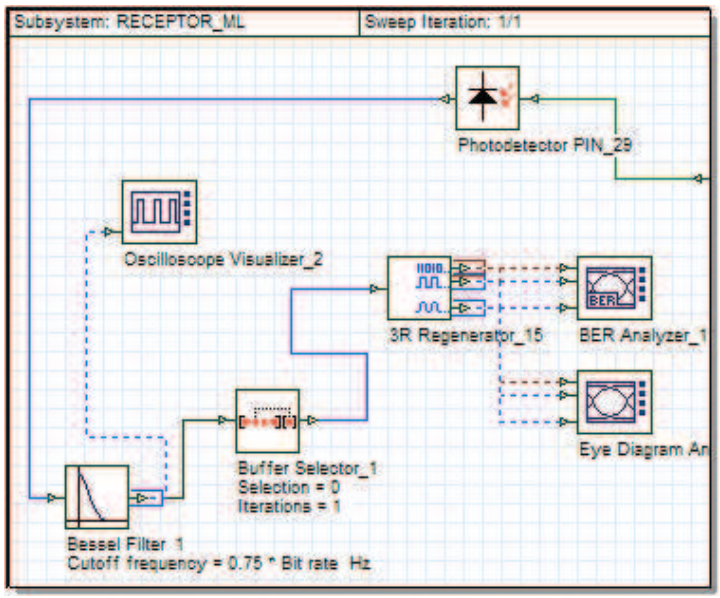


FIGURA 4.22 Bloque de Recepción (conversión electro-óptica).

Parte de la ODN con la cual se ha desarrollado el sistema propuesto se puede apreciar en la figura 4.23, ya que debido al tamaño de la misma, y a que en gran medida la red se torna un poco repetitiva por la gran cantidad de ONTs que la componen, se identifica únicamente sus partes principales como son los *splitters* de primer y segundo nivel, además del combinador WDM y la fibra utilizada para la transmisión.

El resto de elementos que se aprecian son única y exclusivamente utilizados para realizar el análisis del comportamiento del sistema, estos elementos pertenecen a la *Visualizer Library* y son:

- *Optical Power Meter*
- *Optical Spectrum Analyzer*
- *Optical Time Domain Visualizer*

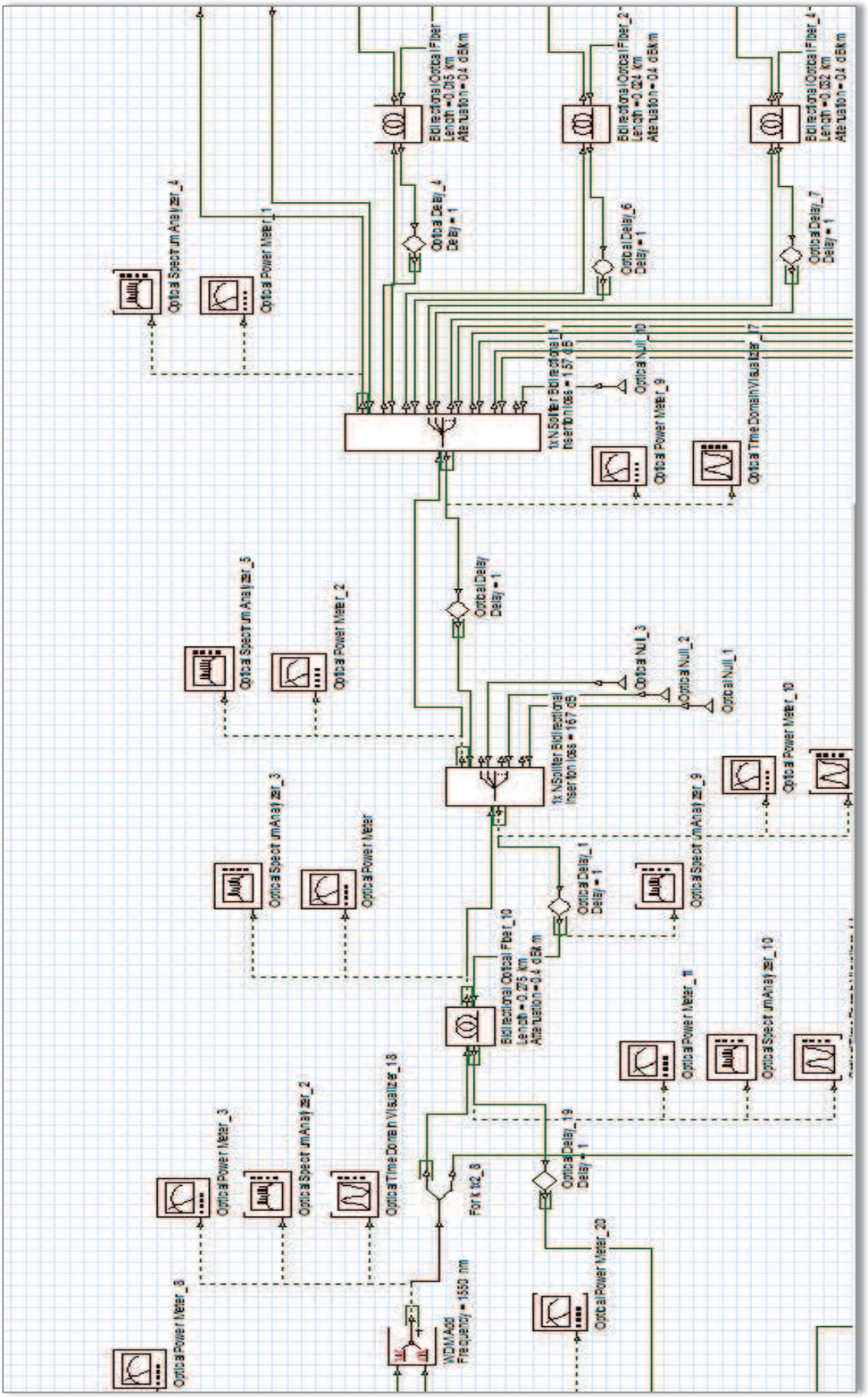


FIGURA 4.23 *Optical Distribution Network* (ODN).

En el cable de fibra y *splitters* se ha configurado las pérdidas descritas en el capítulo 2, como se observa en la figura 4.24 y 4.25 respectivamente.

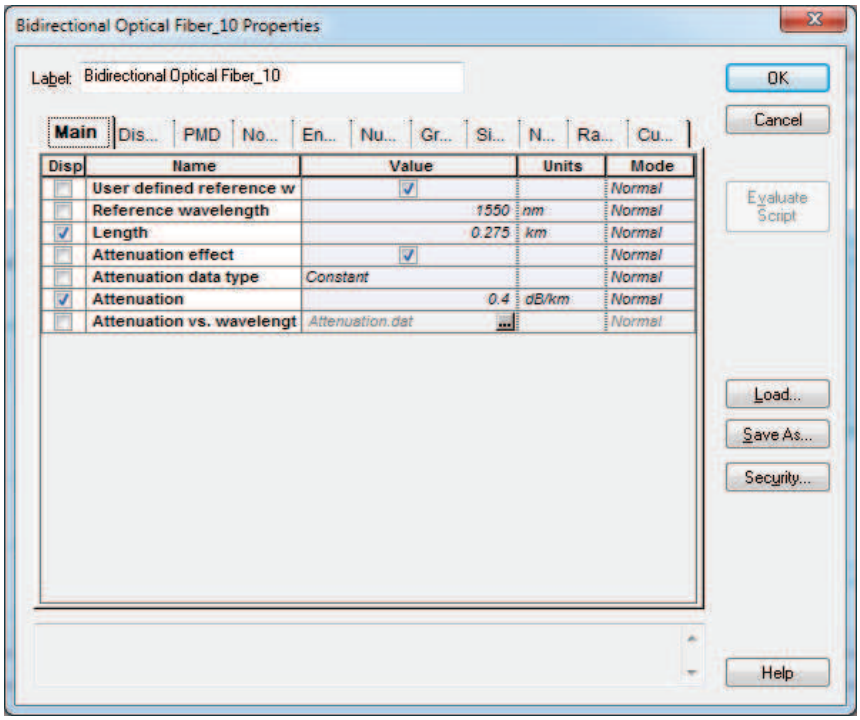


FIGURA 4.24 Parámetros de la fibra óptica.

Para el *splitter* de primer nivel se consideró una relación de división de 2:4, pero dentro del *software* no existen *splitters* con números de puertos de entrada mayores a uno, y debido a que este puerto estará administrativamente deshabilitado, no influirá en el nivel de potencia que ingrese al mismo, por lo cual se trabajó con un *splitter* de relación 1:4.

Las pérdidas de los *splitters*, el *software* las calcula automáticamente en base al número de puertos que se configuren. Es necesario realizar un ajuste a esta pérdida ya que es ideal, el valor teóricamente se obtiene a través de la siguiente fórmula: [141]

$$R_{dB} = 10 * \log_{10}\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right)$$

Para el *splitter* con relación de división de 1:4 esta pérdida sería de -6,02 dB, pero como se señaló en la sección 2.7 la misma debe tener un valor de -7,69dB, por lo que es necesario agregar -1,67dB en el parámetro *Insertion* Loss dentro de las propiedades del *splitter,* obsérvese la figura 4.25, para de esta manera compensar la diferencia existente.

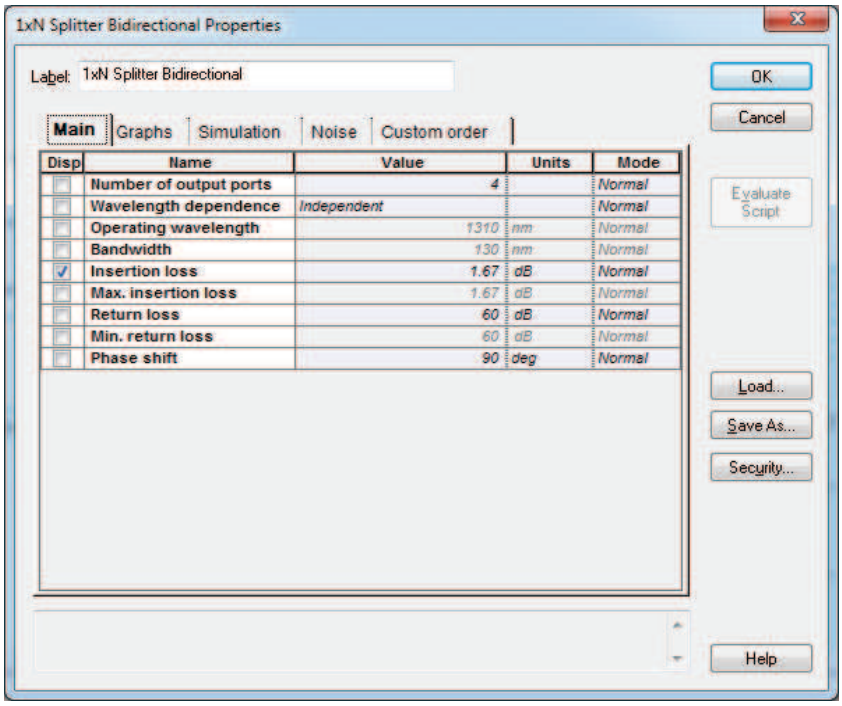


FIGURA 4.25 Parámetros de los *splitters*.

Debido a que se consideraron pérdidas por empalmes, conectores y margen de guarda, dentro del presupuesto de pérdidas de potencia, y éstas no se pueden considerar directamente en la simulación, las mismas son insertadas a través de atenuadores, para poder cumplir con todos los requerimientos de la red. Obsérvese la figura 4.26.

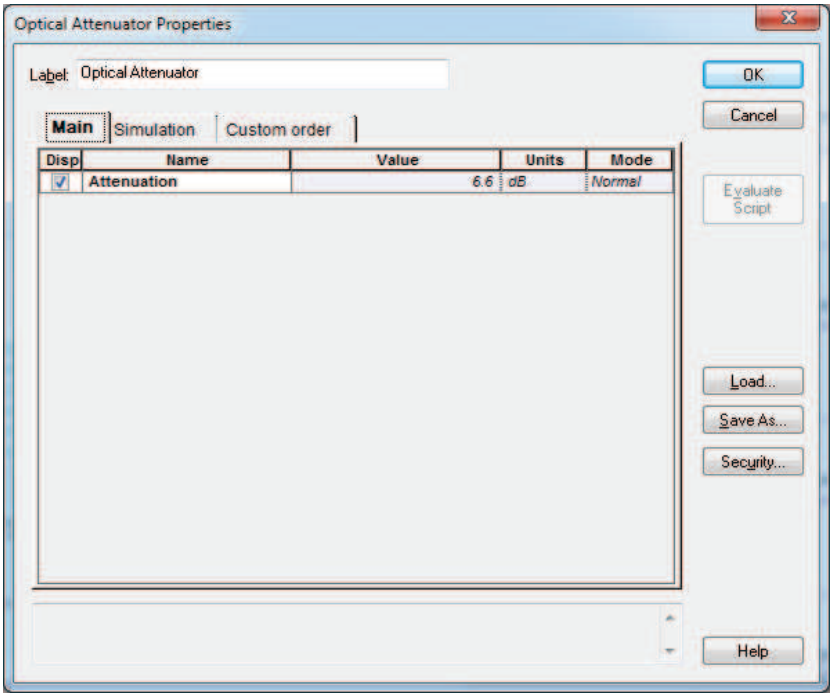


FIGURA 4.26 Pérdidas por empalmes, conectores y margen de guarda.

Finalmente y como se mencionó con anterioridad, la simulación cuenta con un tercer gran bloque que es el de usuario u ONT. Este bloque como ya se había tratado en secciones anteriores es el encargado de interpretar la información que la OLT le envía, decodificarla y convertirla en una señal eléctrica, y para el caso de las señales digitales IP (*Internet Protocol*) es el encargado de enviar la secuencia de *Upstream* para que la transmisión sea *Full Duplex*. El ONT estará compuesto por los bloques que se muestran en la figura 4.27.

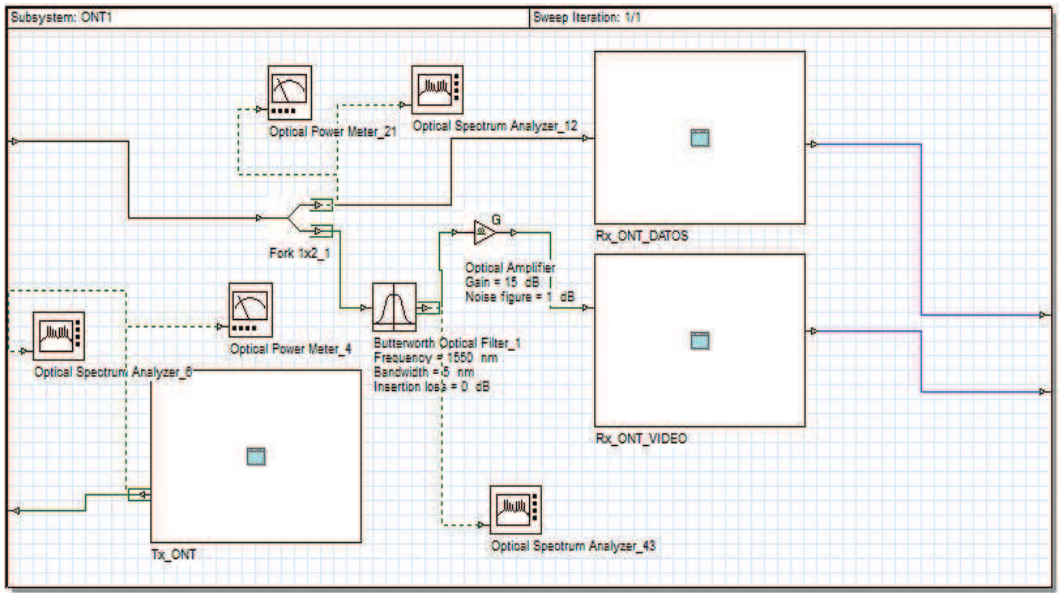


FIGURA 4.27 Bloques componentes del ONT.

Estos bloques realizan los procesos inversos que fueron realizados en la OLT, es así que se cuenta con un receptor para DATOS/VOZ, un receptor para VIDEO, y un transmisor para los datos en *Upstream*.

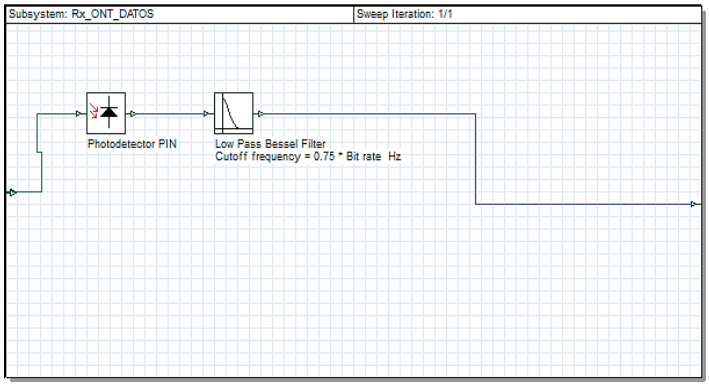


FIGURA 4.28 Composición interna del receptor de DATOS/VOZ.

El receptor de DATOS/VOZ, cuenta en su interior con un fotodiodo, al igual que el receptor de la OLT tiene como función convertir las señales recibidas como luz en

señales eléctricas, también posee el filtro para eliminar frecuencias de ruido generadas por el proceso de conversión, como se observa en la figura 4.28.

Por su parte el receptor de video, a más del fotodiodo se ve en la necesidad de realizar la demodulación de los datos transmitidos, a través de la demodulación de 16-QAM, donde es necesario definir los umbrales para dicha demodulación. Obsérvese la figura 4.29.

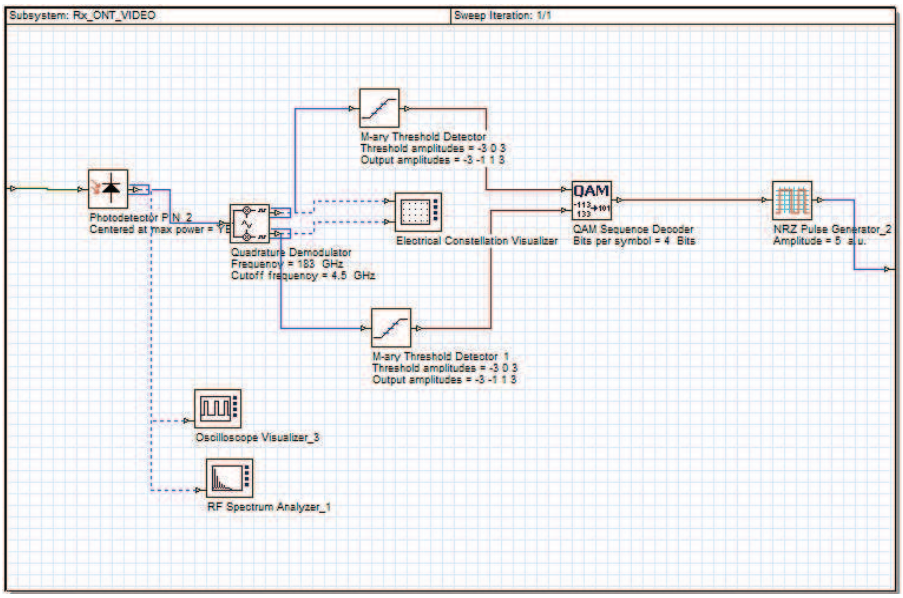


FIGURA 4.29 Composición interna del receptor de VIDEO.

El transmisor de *Upstream*, es exactamente igual al de DATOS/VOZ para *Downstream*, con la diferencia que éste está operando a una longitud de onda diferente y se han agregado selectores dinámicos, obsérvese la figura 4.30. En base a un slot de tiempo definido para cada ONT, y en base a un script en los selectores simulan el proceso de TDMA, descrito en la sección 1.4.

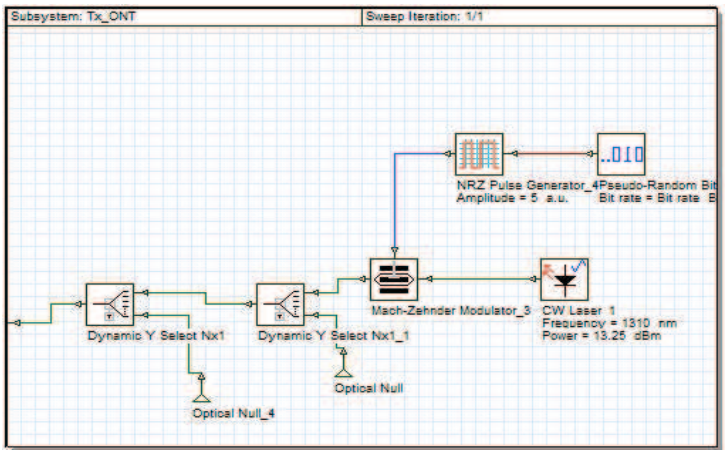


FIGURA 4.30 Composición interna transmisor de *Upstream*.

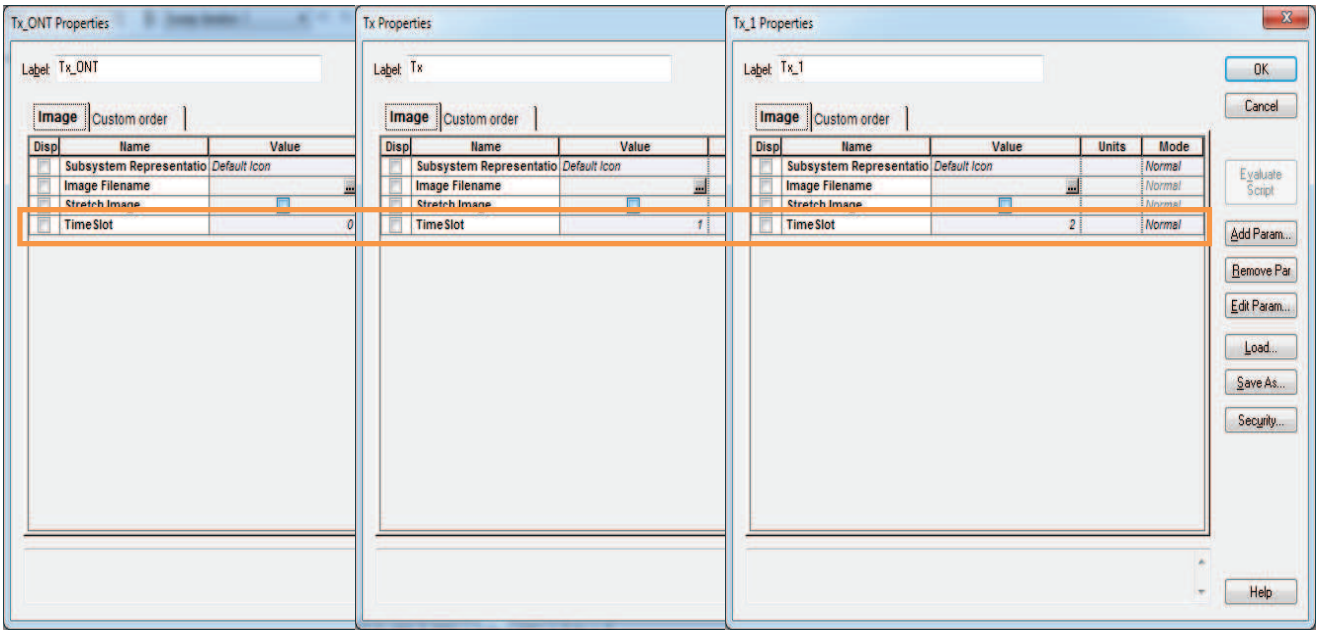


FIGURA 4.31 Configuración del *Time Slot* en los ONTs.

En cada ONT se agrega un parámetro, como se observa en la figura 4.31, mismo que se lo ha denominado como *Time Slot*, y es diferente en cada ONT, este parámetro, es utilizado por los dos selectores para definir un intervalo de tiempo durante el cual el ONT puede transmitir, y como es diferente para cada uno, el intervalo de tiempo también será diferente, tal y como se muestra en las figuras 4.32.

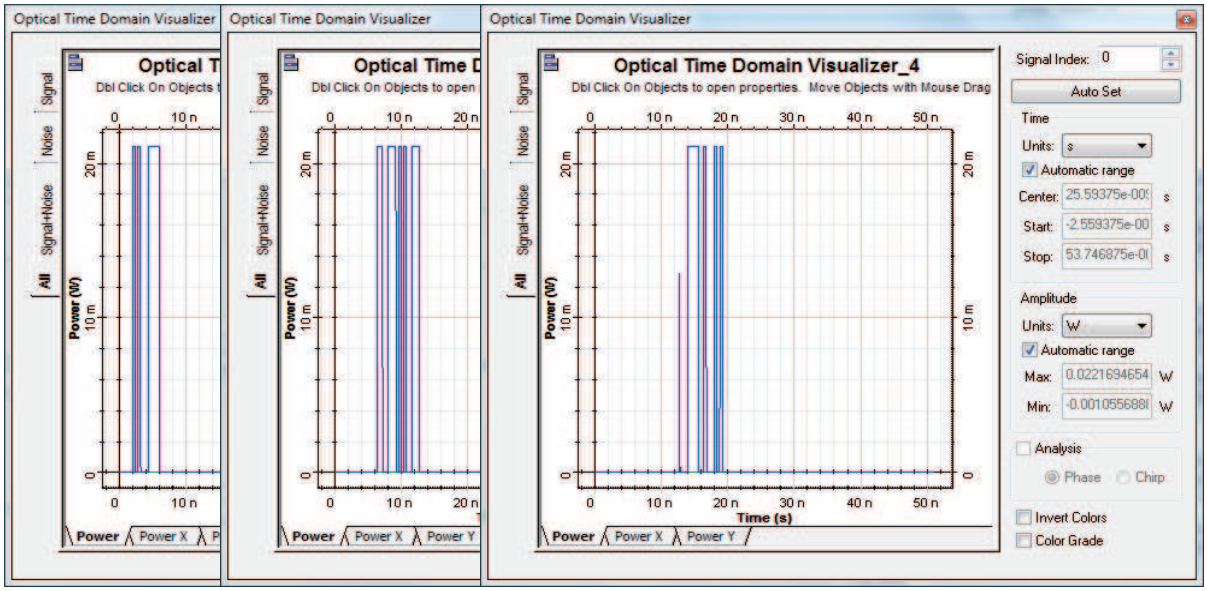


FIGURA 4.32 Vista de la transmisión de tres ONTs a diferente tiempo.

Se utilizan dos selectores por cada ONT para definir un tiempo inicial para transmitir y un tiempo final.

4.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS TEÓRICOS Y SIMULADOS

4.4.1 USUARIO MÁS CERCANO

En la sección 2.7.1 se calculó las pérdidas en la ODN, además se definió que el usuario más cercano se encuentra a 275 m de distancia de la OLT, los requerimientos para el mismo fueron analizados con el fin de asegurar que los niveles de potencia que recibe sean los adecuados, y mediante la simulación se pretende corroborar los datos obtenidos del análisis teórico, teniendo así lo siguiente:

- **Señal Transmitida por la OLT**

  Como se observa en la figura 4.33, la OLT genera una secuencia de bits pseudo-aleatoria, misma que es codificada con un codificador NRZ. Posteriormente se utiliza esta secuencia dentro del interferómetro logrando que la portadora óptica constante en la longitud de onda de 1490 nm, pueda transportar los datos, obsérvese la figura 4.34, donde la portadora óptica ha tomado la forma de la señal eléctrica inicial. Además en la figura 4.35 se muestra el espectro óptico de la misma, con lo cual se corrobora la longitud de onda en la cual va a ser transmitida la señal.

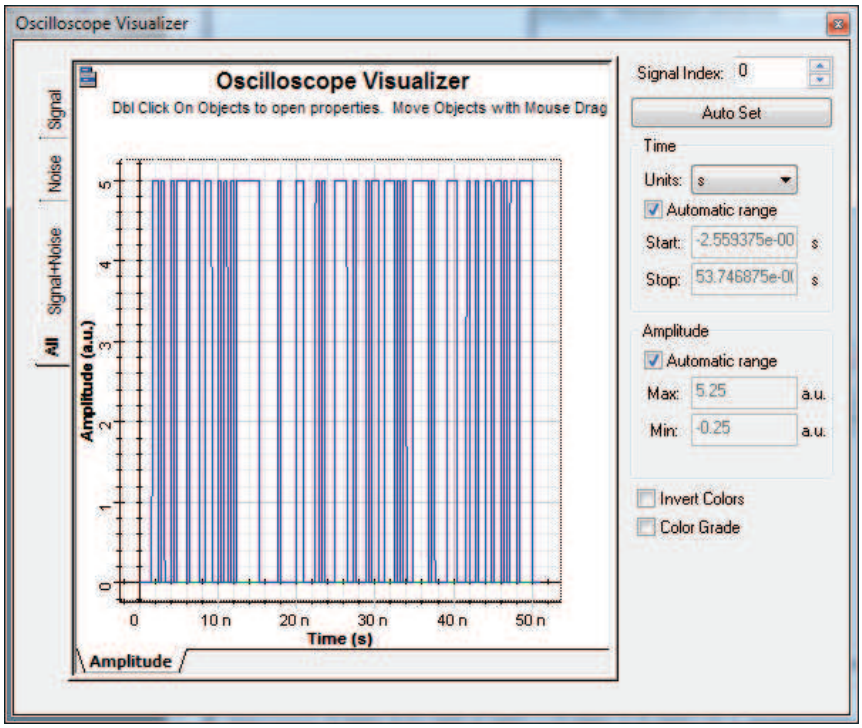


FIGURA 4.33 Señal eléctrica inicial.

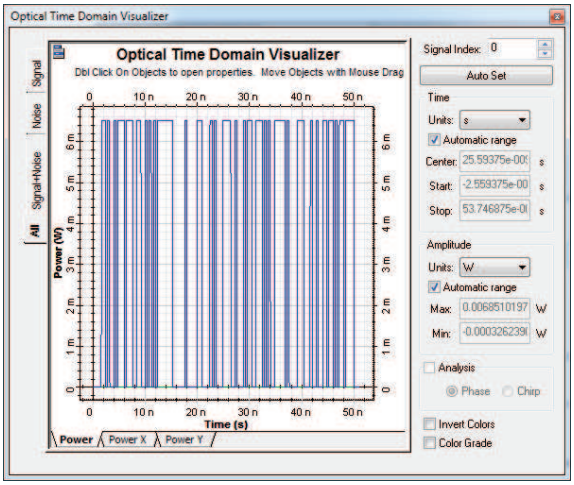


FIGURA 4.34 Señal óptica inicial.

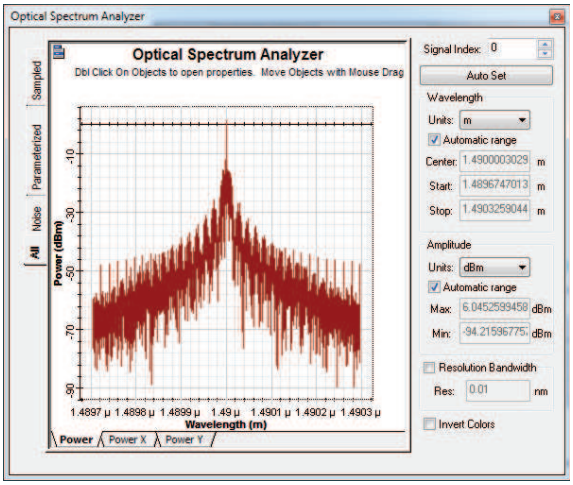


FIGURA 4.35 Espectro de la señal óptica.

Por otra parte y como se indicó anteriormente, la OLT también cuenta con un transmisor de video, el mismo que envía una señal pseudo-aleatoria al igual que el transmisor de datos, misma que es modulada a símbolos de 4 bits, mediante modulación 16-QAM. Obsérvese el diagrama de constelación luego de la modulación en la figura 4.36, y la señal transmitida óptica se muestra en la figura 4.37, con su respectivo espectro en la figura 4.38, donde se verifica la longitud de onda con la que será transmitida.

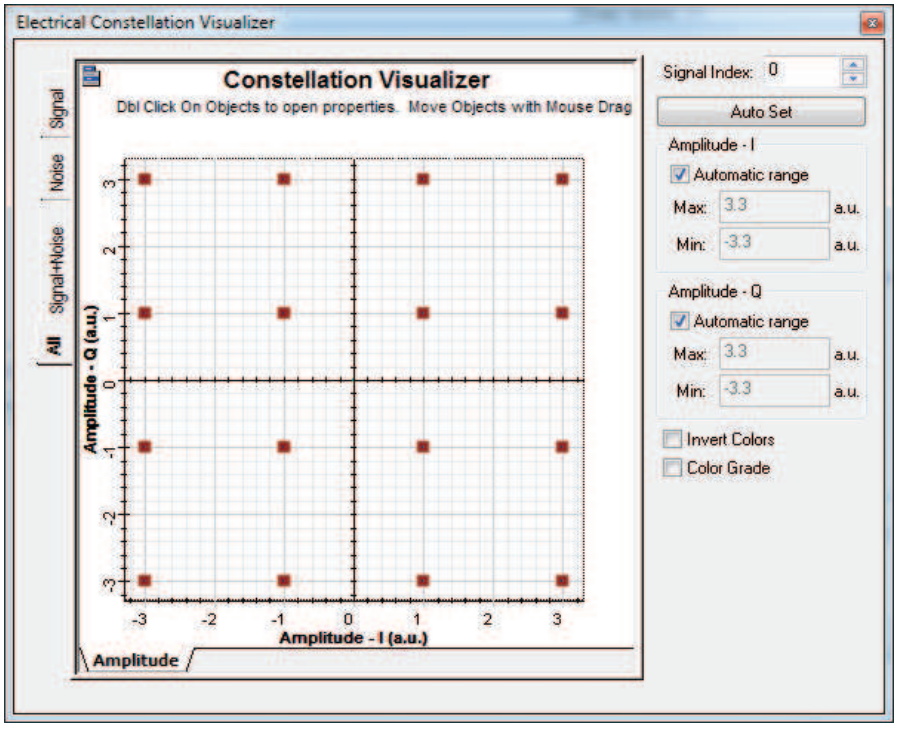


FIGURA 4.36 Diagrama de constelación de la modulación 16-QAM.

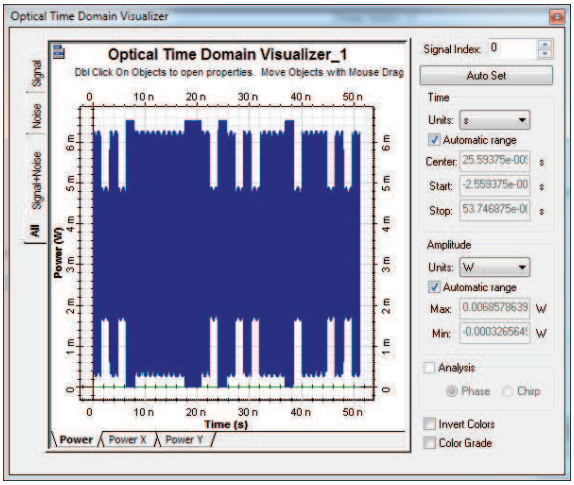


FIGURA 4.37 Señal óptica de 16-QAM.

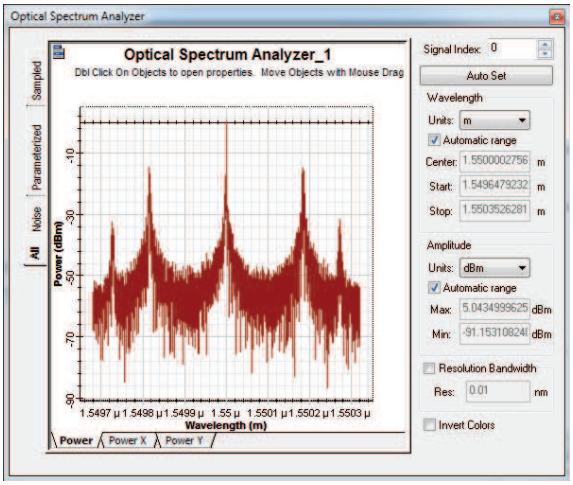


FIGURA 4.38 Espectro de la señal óptica.

❖ **Adecuación de las señales para su transmisión dentro de la ODN**

Una vez que se tiene las dos señales a ser transmitidas en *Downstream*, se procede a realizar una suma de las mismas, pero separándolas en longitud de onda mediante el elemento *WDM Add*, obteniendo el resultado mostrado en la figura 4.39, en la que se aprecia que las señales se han convertido en una sola, pero que posee dos longitudes de onda diferentes como se aprecia en el espectro de esta señal ilustrado en la figura 4.40.

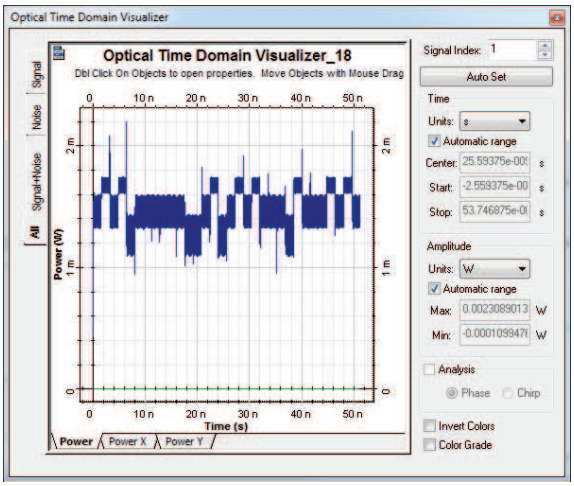


FIGURA 4.39 Señal óptica resultante.

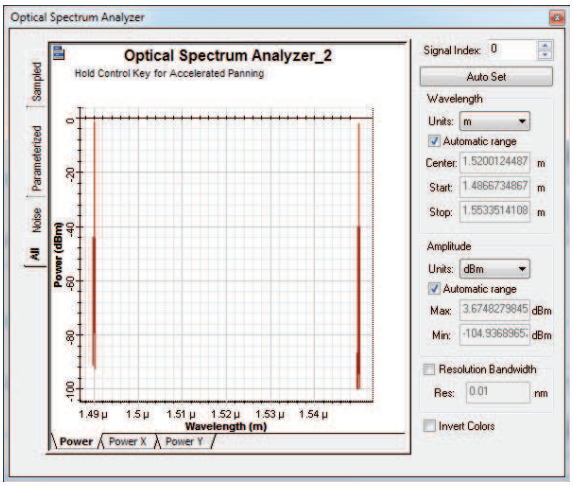


FIGURA 4.40 Espectro de la señal óptica resultante.

La potencia con la que esta señal óptica resultante es transmitida se muestra en la figura 4.41, esta potencia como se observó en la sección 2.7

es la potencia máxima de la OLT, y se utiliza para determinar que la señal al llegar al ONT no será demasiado elevada como para deteriorarlo.

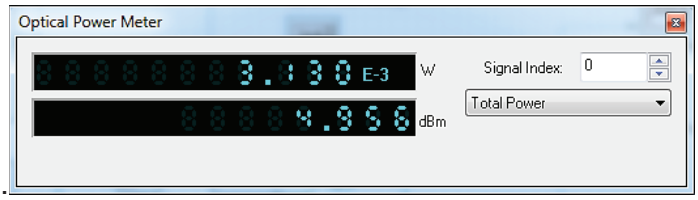


FIGURA 4.41 Potencia de la señal óptica resultante transmitida por la OLT.

❖ **Cambios de niveles de potencia a través de la ODN**

La potencia a la salida de la OLT, es la potencia inicial de la señal a ser transmitida, la misma que luego de todo el trayecto que debe recorrer hasta la llegada al ONT, sufrirá varios niveles de pérdida o atenuación, teniendo así como primer paso la atenuación sufrida por el medio de transmisión de la fibra óptica. Según el diagrama total de red simulada mostrado en el Anexo 10, se obtienen los siguientes resultados:

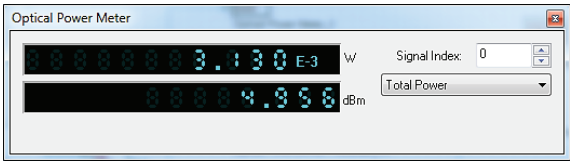


FIGURA 4.42 Potencia medida antes de la fibra óptica.

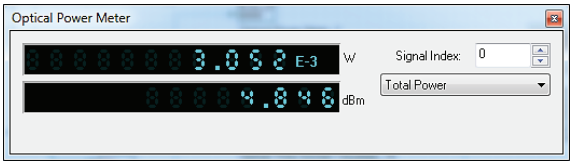


FIGURA 4.43 Potencia medida luego de la fibra óptica.

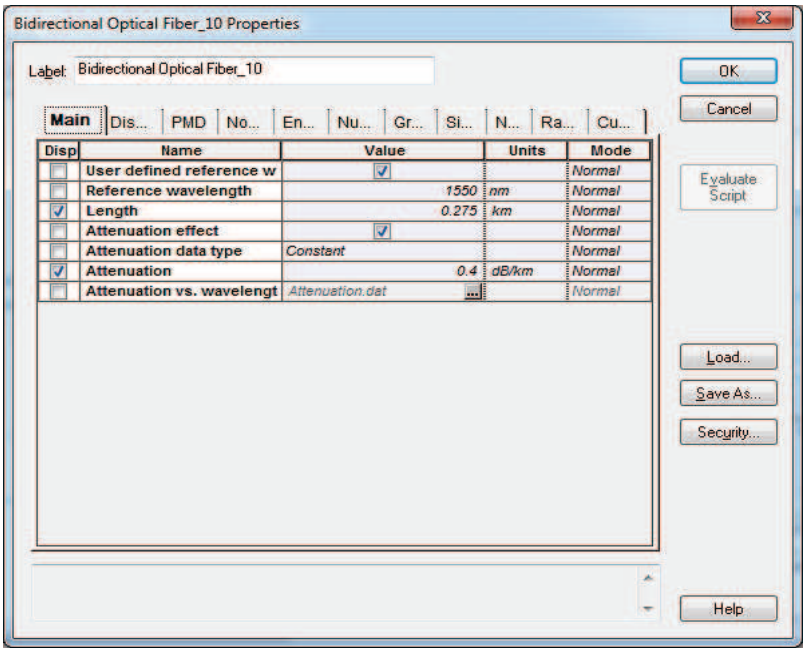


FIGURA 4.44 Parámetros de configuración de la fibra óptica.

Como se puede apreciar en las figuras 4.42 y 4.43, la potencia de la señal sufre un decremento, lo que indica que el elemento que representa la fibra óptica cumple con su función. Se ha configurado a este elemento con los siguientes parámetros: longitud de 275 m y coeficiente de atenuación de -0.4 dB/Km, como se aprecia en la figura 4.44, con lo cual se debería obtener una atenuación total de aproximadamente -0.11 dB ($0.4\ {}^{dB}/_{Km} * 0.275\ Km$), y si se observan los resultados es exactamente la diferencia de los valores de las figuras 4.42 y 4.43.

Una vez que se ha corroborado este valor de atenuación se procede a comprobar la atenuación generada por los *splitters*. Refiriéndose nuevamente al Anexo 10, se observa que el *splitter* de primer nivel posee una relación de 1:4, obteniendo los niveles de potencia mostrados en las figuras 4.45 y 4.46.

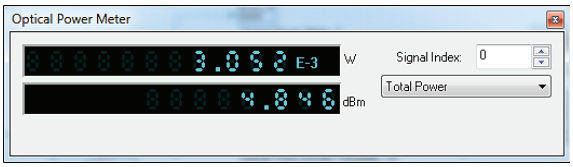


FIGURA 4.45 Potencia medida antes del *splitter* 1er nivel.

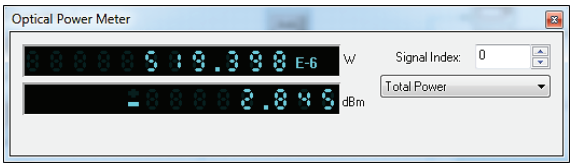


FIGURA 4.46 Potencia medida luego del *splitter* 1er nivel.

Comprobando con los valores obtenidos, que la pérdida de potencia que sufre la señal al pasar por este *splitter* es de -7.69 dB, valor muy aproximado al valor teórico utilizado para el cálculo del presupuesto de pérdidas de potencia.

Procediendo de igual manera con el *splitter* de segundo nivel, se observan los resultados en las figuras 4.47 y 4.48.

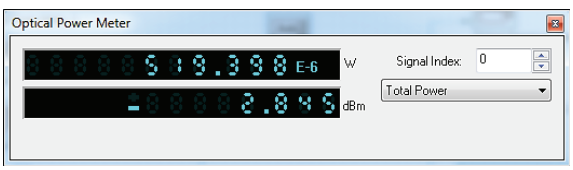


FIGURA 4.47 Potencia medida antes del *splitter* 2do nivel.

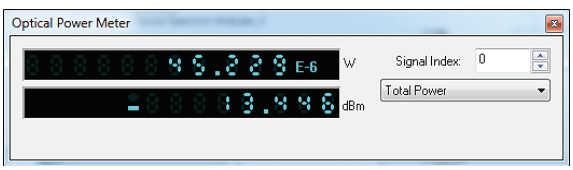


FIGURA 4.48 Potencia medida luego del *splitter* 2do nivel.

De esta manera se comprueba que la atenuación sufrida en el *splitter* de segundo nivel es de -10.60 dB, valor acorde al definido para el cálculo en la sección 2.7.1.

❖ **Recepción de señales por parte del ONT**

Finalmente se establecen los valores de pérdidas por empalmes, conectores y margen de guarda; para lo cual se utilizó la ayuda de atenuadores que representan estos valores, teniendo que la potencia final recibida por el ONT es aún menor, tal y como se muestra en la figura 4.49.

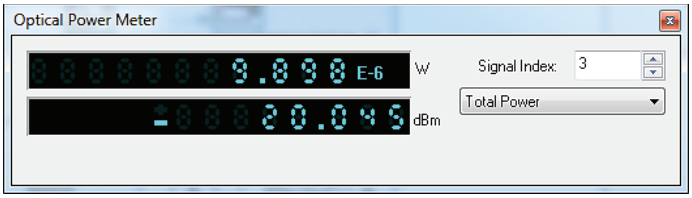


FIGURA 4.49 Potencia recibida en el receptor del ONT.

Se observa que la potencia recibida por el ONT es de -20.045 dBm y comparado con el valor obtenido del cálculo teórico, mismo que fue de -19.98 dBm, se obtiene una mínima diferencia de 0.065 dB, entre los dos valores conseguidos.

Finalmente es necesario verificar cómo se ha recibido la señal en el lado del ONT, para lo cual se hace uso de herramientas como son el cálculo del BER y el diagrama del ojo, tal y como se muestra en las figuras 4.50 y 4.51 respectivamente.

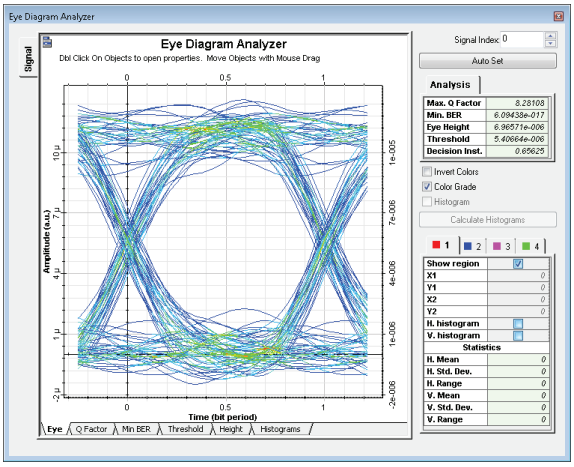


FIGURA 4.50 Diagrama del ojo de la señal recibida por el ONT.

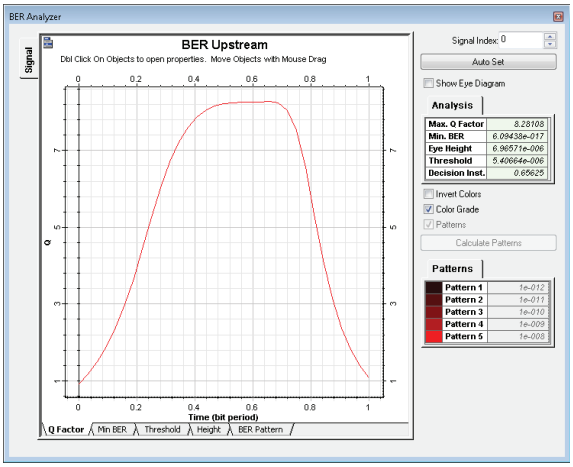


FIGURA 4.51 BER obtenido de la señal recibida por el ONT.

En la figura 4.52 también se aprecia el diagrama de constelación obtenido luego de haber llevado a cabo el proceso de demodulación, verificando así que el canal de transmisión ha atenuado a la señal inicial.

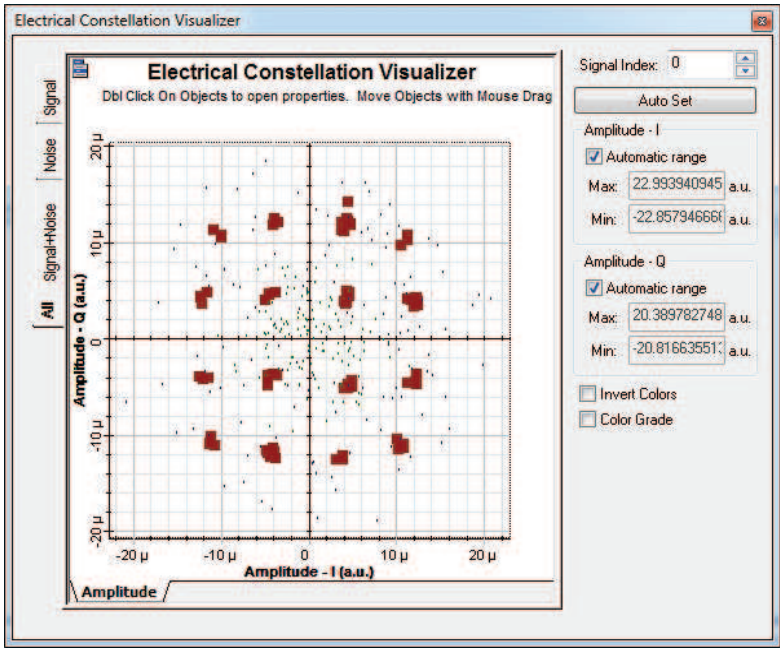


FIGURA 4.52 Diagrama de constelación de la señal recibida por el ONT (video).

❖ **Transmisión del ONT**

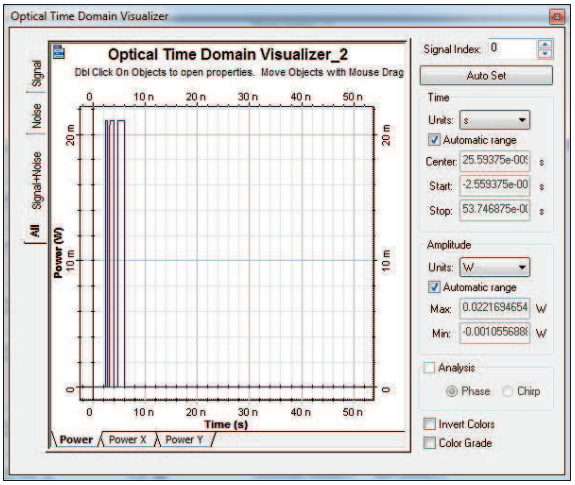


FIGURA 4.53 Señal transmitida por el ONT en el primer slot de tiempo.

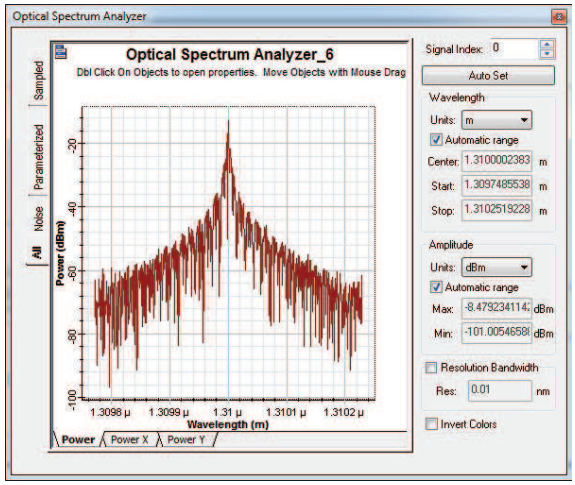


FIGURA 4.54 Espectro de la señal transmitida por el ONT.

De una forma algo similar se procede en el sentido *Upstream*, como se muestra en la figura 4.30. Se transmite una señal pseudo-aleatoria que ingresa al modulador de Mach Zehnder junto con la portadora óptica. Esta portadora está en la longitud de onda de 1310 nm, y se puede verificar en

la figura 4.54 donde se observa el espectro de la señal óptica trasmitida, mostrada en la figura 4.53.

❖ **Recepción por parte de la OLT**

Al igual que en el sentido *Downstream*, la intensidad de la luz se ve reducida en igual medida, como se observa en las figuras 4.55 y 4.56 se tiene la potencia inicial transmitida por el ONT y la potencia final recibida por la OLT respectivamente.

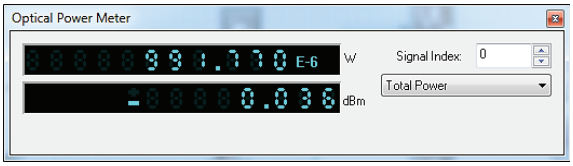


FIGURA 4.55 Potencia de la señal *Upstream* a la salida del ONT.

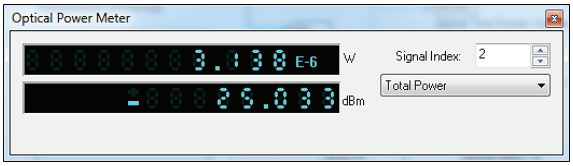


FIGURA 4.56 Potencia medida de la señal recibida por la OLT.

Con lo cual finalmente se comprueba mediante el diagrama del ojo y el BER, que la señal sufre degradación de la potencia al pasar a través del sistema, tal y como se muestra en las figuras 4.57 y 4.58.

En la figura 4.57, también se puede observar el solapamiento de 7 diagramas del ojo, esto se debe a que existen 7 ONTs transmitiendo información y cada uno de ellos lo hace a diferente tiempo, y con ayuda del elemento denominado *Buffer Selector*, se los puede apreciar, caso contrario únicamente se observaría el último en llegar, como se muestra en la figura 4.59.

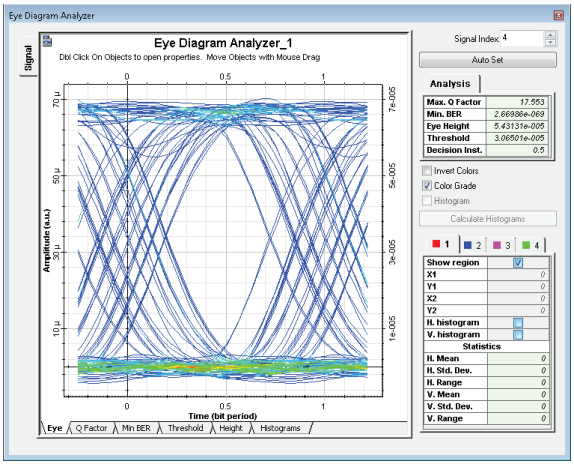


FIGURA 4.57 Diagrama del ojo de todas las señales recibidas por la OLT.

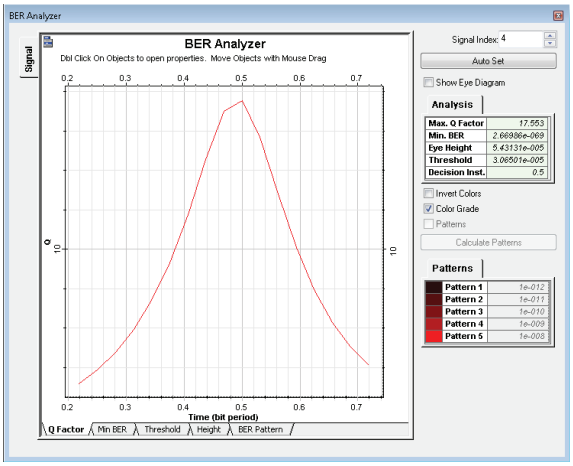


FIGURA 4.58 BER obtenido para las señales recibidas por la OLT.

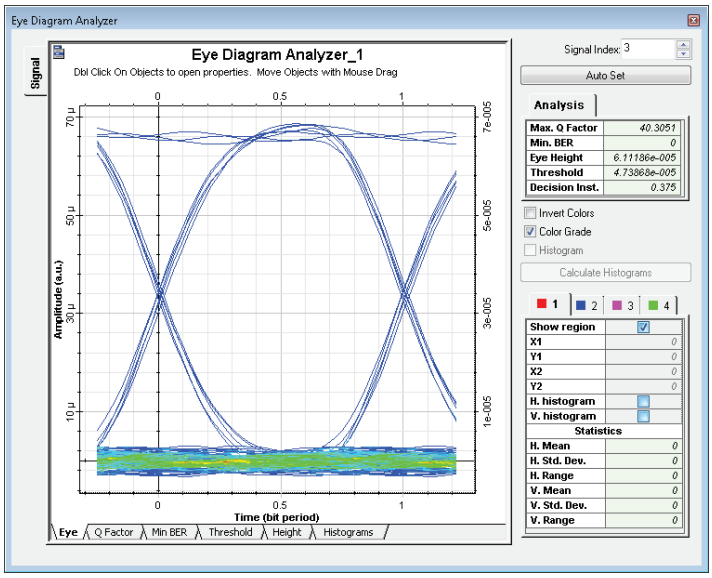


FIGURA 4.59 Diagrama del ojo de la señal transmitida por el último ONT.

4.4.2 USUARIO MÁS LEJANO

Refiriéndose a la sección 2.7.2, el usuario más lejano se encuentra a 5636,20 m de distancia de la OLT, y para el mismo es necesario comprobar tal y como ya se mencionó que la intensidad de potencia lumínica sea lo suficientemente fuerte para que no sea inferior al umbral mínimo de recepción del ONT. Asegurando de esta manera que el ONT sea capaz de interpretar la información y se pueda dar la comunicación tal como se muestra a continuación:

- **Señal Transmitida por la OLT**

  Las señales tanto de DATOS/VOZ como la de VIDEO, vistas en la sección anterior son las mismas con las que se trabajó, ya que si se refiere al Anexo 10, se puede observar que se toma la misma señal para la zona del usuario más lejano, por lo cual las figuras de la 4.33 a la 4.40 son las mismas para el caso de este usuario.

- **Cambios de niveles de potencia a través de la ODN**

  Debido a que se debe asegurar que la potencia recibida por el ONT pueda ser interpretada. Para el caso del usuario más lejano es necesario contemplar el peor de los casos, en el cual la OLT transmite su información con la menor intensidad posible, es así que se ha agregado un atenuador extra antes del ingreso a la ODN para asegurar que esta potencia sea la adecuada, tal y como se muestra en la figura 4.60.

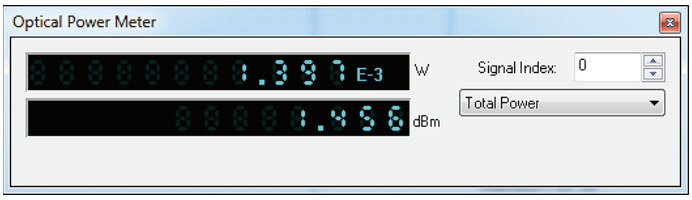


FIGURA 4.60 Potencia inicial transmitida por la OLT.

Procediendo de igual manera que para el caso del usuario más cercano, los resultados de la medición de potencias a través de la ODN se pueden apreciar en las figuras 4.61, 4.62, 4.63, 4.64, 4.65, 4.66, 4.67 y 4.68.

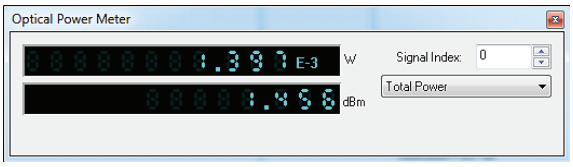


FIGURA 4.61 Potencia medida antes de la fibra óptica inicial.

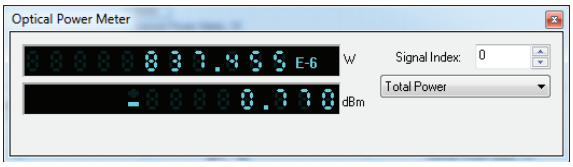


FIGURA 4.62 Potencia medida luego de la fibra óptica inicial.

En las figuras 4.61 y 4.62, se puede observar la atenuación provocada por la fibra óptica, y en las figuras 4.63 y 4.64 se puede observar la atenuación provocada por el *splitter* de primer nivel.

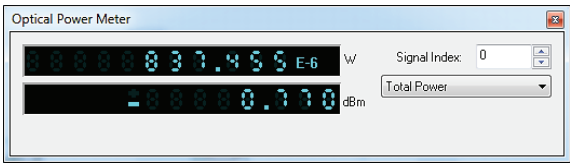


FIGURA 4.63 Potencia medida antes del *splitter* 1er nivel.

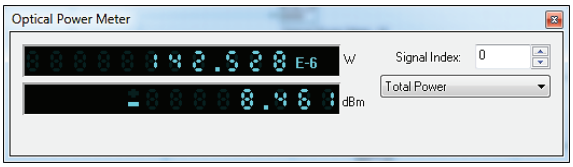


FIGURA 4.64 Potencia medida luego del *splitter* 1er nivel.

Posteriormente se debe considerar la atenuación causada por el *splitter* de segundo nivel, estos datos son apreciables en las figuras 4.65 y 4.66.

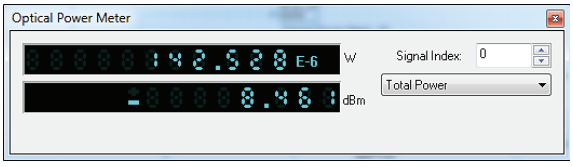


FIGURA 4.65 Potencia medida antes del *splitter* 2do nivel.

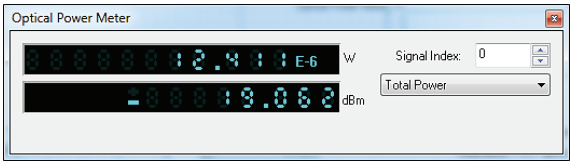


FIGURA 4.66 Potencia medida luego del *splitter* 2do nivel.

Para el caso del usuario más lejano y refiriéndose al Anexo 10, se observa un tramo adicional de fibra óptica ubicada luego del *splitter* de segundo nivel, la atenuación provocada por esta fibra a más del atenuador que

representa a los conectores, fusiones y margen de guarda se pueden observar en las figuras 4.67 y 4.68.

Con lo cual se comprueban todos los valores de atenuación como los de los *splitters* de primer y segundo nivel, que son de -7.691 dB y de -10.601 dB respectivamente.

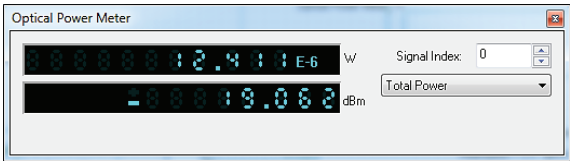


FIGURA 4.67 Potencia medida antes de la fibra óptica de acometida.

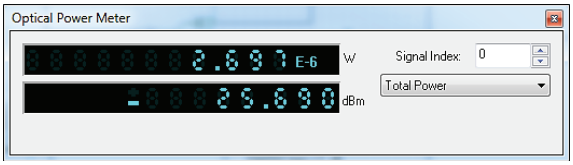


FIGURA 4.68 Potencia medida antes del ingreso al receptor del ONT.

❖ **Recepción de señales por parte del ONT**

Luego de obtener la potencia que recibe el ONT, obsérvese la figura 4.68, se puede apreciar que prácticamente no existe diferencia con la obtenida del cálculo teórico de la sección 2.7.2, la misma que fue de -25.65 dBm.

Se demuestra con esto que el ONT recibirá la potencia adecuada ya que la misma no sobrepasa el umbral establecido, con lo cual se asegura la transmisión entre OLT y ONT.

Además se puede apreciar en las figuras 4.69 y 4.70 que el diagrama del ojo obtenido a la llegada del ONT, así como el BER calculado para el mismo, dan a notar que existe un mayor nivel de pérdidas generadas por el canal, lo cual degrada la transmisión pero no llega a interrumpirla.

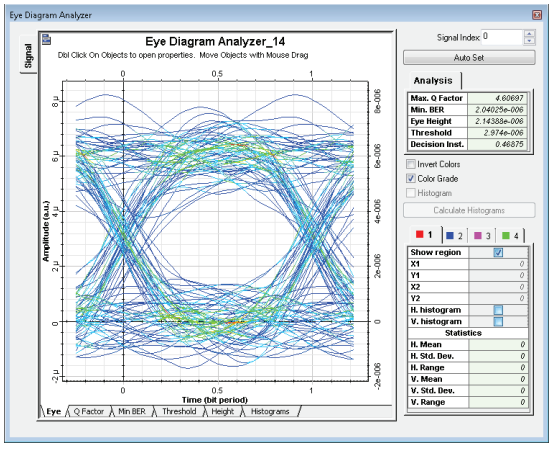


FIGURA 4.69 Diagrama del ojo de la señal recibida por el ONT.

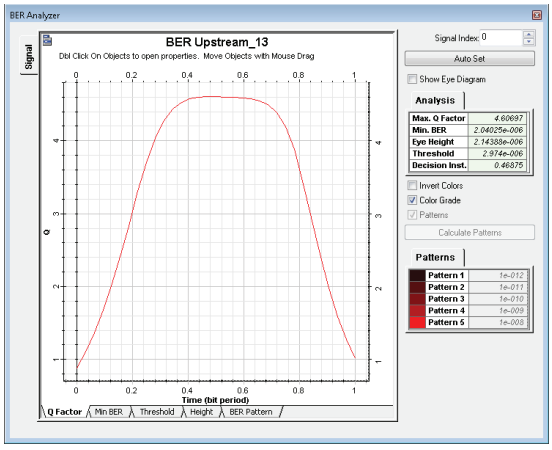


FIGURA 4.70 BER obtenido de la señal recibida por el ONT.

En la figura 4.71 se puede apreciar el diagrama de constelación de la señal de video recibida por el ONT del usuario más lejano, en donde se observa un mayor nivel de pérdida, lo que hace más difícil la demodulación debido a que los umbrales de decisión deben ser más precisos.

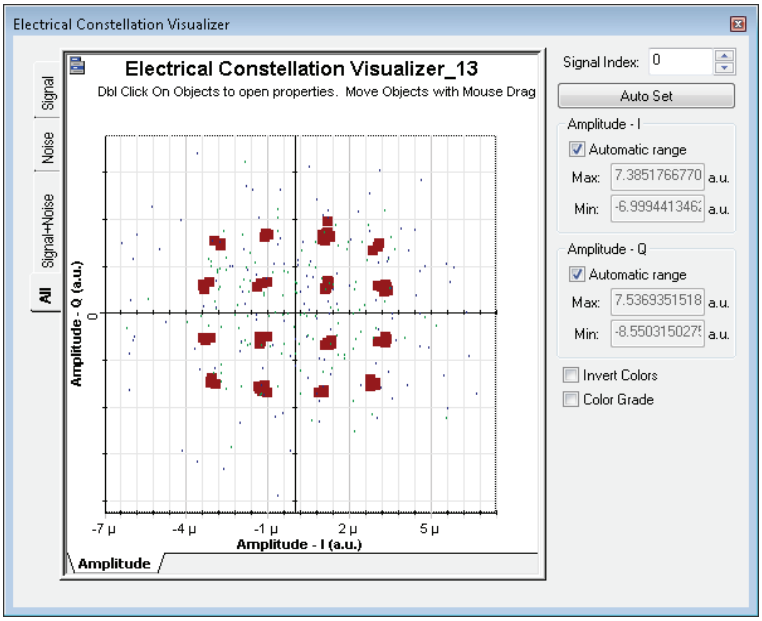


FIGURA 4.71 Diagrama de constelación de la señal recibida por el ONT.

❖ **Transmisión de señal por parte del ONT**

Se envía las señales de *Upstream* en la longitud de onda de 1310 nm, y en un slot de tiempo adecuado para que la misma no se interfiera con el resto de señales de otros ONTs, como se puede verificar en las figuras 4.72 y 4.73.

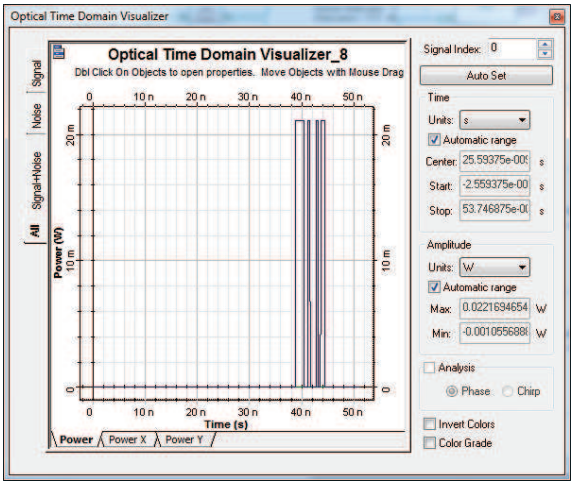


FIGURA 4.72 Señal transmitida por el ONT en su slot de tiempo.

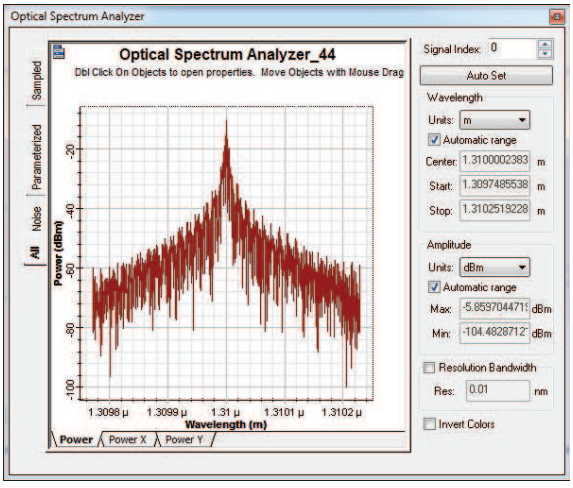


FIGURA 4.73 Espectro de la señal transmitida por el ONT.

❖ **Recepción por parte de la OLT**

De forma similar a la sección anterior, se verifican las potencias tanto de transmisión del ONT como la que recibe el OLT, tal como se muestra en las figuras 4.74 y 4.75 respectivamente.

FIGURA 4.74 Potencia de la señal *Upstream* a la salida del ONT.

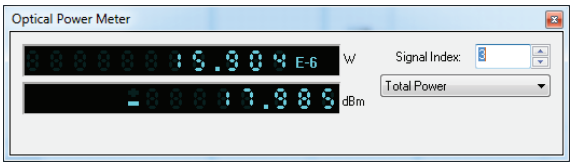


FIGURA 4.75 Potencia medida de la señal recibida por la OLT.

Con lo cual finalmente se comprueba mediante el diagrama del ojo y el BER, que la señal se degrada al pasar a través de la ODN, tal y como se muestra en la figura 4.76 y 4.77. Al igual que el caso anterior en la figura 4.76 se muestra el solapamiento de 7 diagramas del ojo correspondientes a los 7 ONTs que transmiten.

Luego de realizados todos los análisis y mediciones en los lugares pertinentes para poder realizar las comparaciones respectivas, se aprecia que los resultados teóricos son muy similares a los resultados obtenidos con la simulación. Lo que demuestra que la misma fue realizada de la mejor forma posible en base a la red propuesta y a los resultados de interés para la misma, considerando siempre que cualquier valor obtenido en este proceso debía ser cotejado con los obtenidos en los cálculos teóricos.

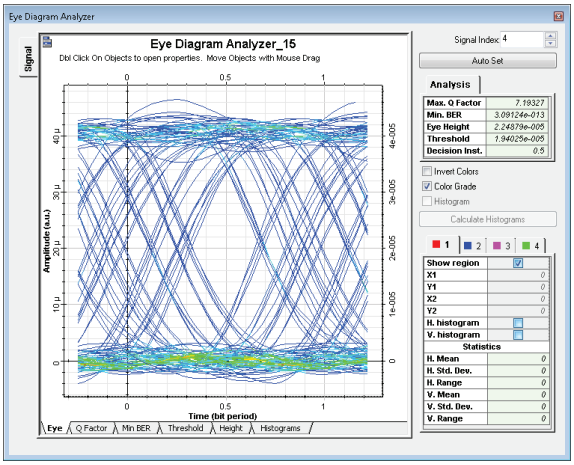


FIGURA 4.76 Diagrama del ojo de todas las señales recibidas por la OLT.

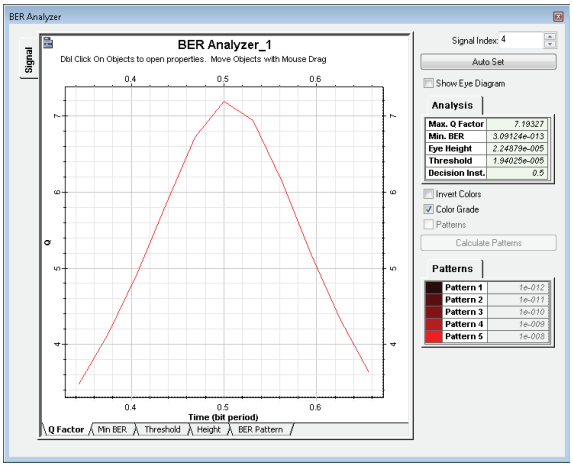


FIGURA 4.77 BER obtenido para las señales recibidas por la OLT.

4.4.3 RESUMEN Y CONCLUSIONES

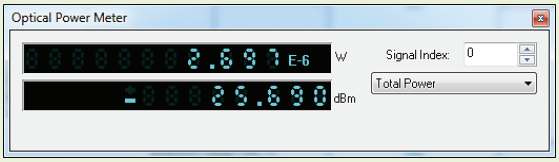
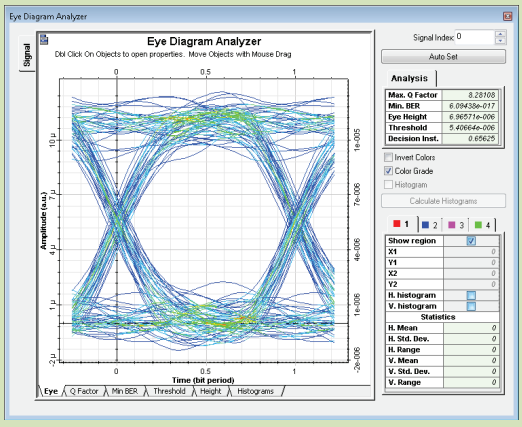
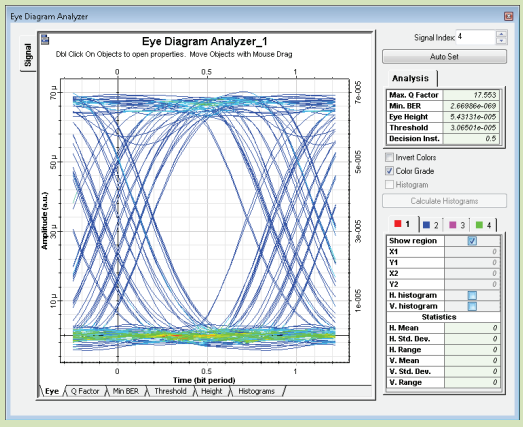
	USUARIO MÁS CERCANO	USUARIO MÁS LEJANO
Ubicación	Ubicado en las calles Aurelio Soto y Vicente Rocafuerte, ZONA 1	Ubicado en las calles Los Saraguros y Mayta Cápac, ZONA 7
Distancia del OLT	275 m	5636,20 m
Potencia de entrada al ONT	$-19{,}98\ dBm$	$-25{,}65\ dBm$
Resultado de simulación		

TABLA 4.3 Resumen Balance de Potencias.

Los resultados arrojados por la simulación realizada con en *software* OptiSystem, se aproximan mucho a los calculados teóricamente, esto permite aseverar que el canal de transmisión funcionará a cabalidad tanto para el caso del usuario más cercano como para el usuario más lejano.

Realizando un resumen de las figuras descritas anteriormente, se puede apreciar en la tabla 4.4, que las señales presentan niveles de atenuación y pérdida diferentes, es por esto que los diagramas de ojo varían y se obtienen diferentes gráficas para cada caso.

Usuario	*Downstream*	*Upstream*
Más Cercano		

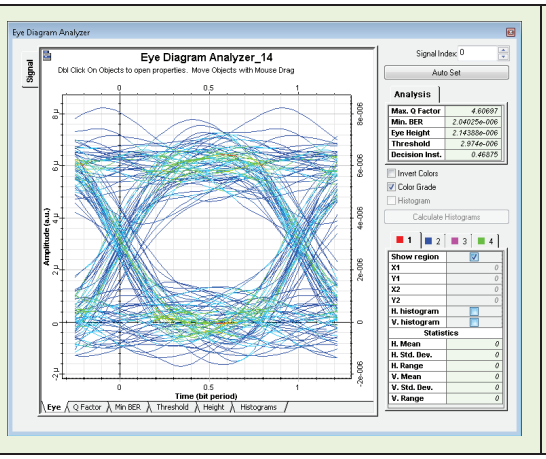
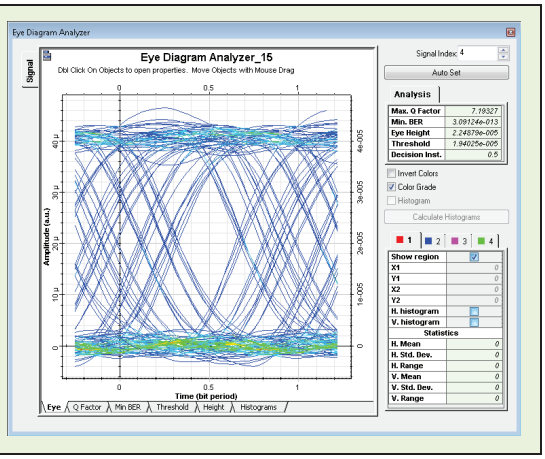
Más Lejano		

TABLA 4.4 Resumen Diagramas.

En conclusión, aun cuando los diagramas muestran niveles de atenuación y errores altos generados por el canal, en especial para el caso del usuario más lejano en *Downstream*, cabe mencionar que los mismos fueron diseñados para el peor caso o el caso crítico. En el cual se ha considerado los peores niveles en cuanto a atenuación, dispersión y demás, es por esto que se puede asegurar que el canal trabajará en muy buenas condiciones ya que con correcciones menores y dejando de lado parámetros como el margen de guarda, el sistema operaría mejor y los diagramas reflejarían resultados más satisfactorios.

En cuanto al BER, y como se aprecia para el caso del usuario más lejano, en el cual es mayor, sería de aproximadamente 2,04 x 10^{-6} lo cual quiere decir que se tendrían 2 bits errados por cada millón de bits transmitidos, lo que indica que el canal no tiene el mejor de los desempeños; sin embargo, esto representa únicamente el 0,0002% de error.

La simulación si bien es cierto es un esquema irreal, para este proyecto se la utiliza con el fin de verificar la funcionalidad del sistema, ya que todos los cálculos pueden ser realizados únicamente de manera teórica, lo cual no asegura necesariamente el correcto funcionamiento del sistema. Esta simulación entonces es desarrollada para corroborar que tanto en sentido *Downstream* como en sentido *Upstream* se puede tener una transmisión satisfactoria.

Si durante el esquema de simulación de un proyecto de estas características se llega a la conclusión de que los resultados obtenidos no son los adecuados para una implementación, se debería regresar a la fase de diseño a reestructurar la

misma, o a realizar las correcciones que sean del caso. Si por el contrario se obtienen resultados como los presentados, se puede tranquilamente seguir con la fase de implementación ya que durante la misma se pueden realizar correcciones de campo y así tener un sistema de mejores prestaciones en la realidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPÍTULO IV

- **Textos**

[133] GONZÁLEZ Andrés. PÉREZ Óscar. OVIEDO Ana. AMAYA Ferney. YEPES Mario. *Simulador de enlaces SCMWDM para redes tipo PON*. Colombia.

[134] OPTIWAVE. *OptiSystem Tutorials*. Ottawa, Ontario, K2E 7X1, Canadá.

[135] OPTIWAVE. *Getting Started*. Ottawa, Ontario, K2E 7X1, Canadá.

- **Proyectos de Titulación**

[136] CARMONA, Paula. MONTES Paola. "Diseño y simulación de una RED ÓPTICA PASIVA (PON) para prestar servicios Triple Play a un conjunto residencial". Universidad Católica Popular Del Risaralda, Pereira, 2009.

- **Páginas Web**

[137]http://labv87.blogspot.com/2012/10/simulador-de-redes-opnet-modeler-145.html (*consultada a septiembre de 2013*)

[138] http://www.vpiphotonics.com/TMOpticalSystems.php (*consultada a septiembre de 2013*)

[139]http://www.ittelkom.ac.id/staf/hbl/Sistem%20Komunikasi%20Optik/OPtiC/juRNAL2/WDM%20nerwork%20simulator.pdf (*consultada a septiembre de 2013*)

[140]http://optiwave.com/products/system-and-amplifier-design/optisystem/system-requirements-for-optisystem/ (*consultada a septiembre de 2013*)

[141] http://www.slideshare.net/tallerutu/decibel-y-capacidad-de-canal (*consultada a septiembre de 2013*)

[142] http://optics.synopsys.com/rsoft/rsoft-product-system-requirements.html (*consultada a septiembre de 2013*)

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este capítulo presenta las conclusiones y recomendaciones resultado del estudio, análisis y diseño del proyecto.

5.1 CONCLUSIONES

- La ciudad de Ambato y principalmente el sector urbano, el cual fue seleccionado como mercado potencial para el proyecto de simulación de la red de fibra óptica, es una ciudad donde los habitantes, según lo demostrado en las encuestas, no explota los beneficios de los servicios de telecomunicaciones. Por lo que sus proveedores no se ven obligados a realizar mejoras en cuanto a infraestructura y características de los servicios de telecomunicaciones. Al implementarse el diseño de red elaborado para el centro de la ciudad de Ambato, se insertará a los usuarios a la globalización, permitiéndoles aprovechar los beneficios de la ciencia y tecnología.

- La fibra óptica *single mode*, como ya se ha indicado, es el medio de transmisión con mayor ancho de banda; sin embargo, éste viene limitado esencialmente por la dispersión de modo de polarización cuyo efecto se observa en sistemas que trabajan a velocidades sobre los 10 Gbps; y la dispersión cromática cuyo coeficiente está especificado para cada estándar de la fibra óptica, según la longitud de onda.

  Por lo que al momento de escoger el estándar de fibra óptica se calculó el ancho de banda, considerando únicamente la dispersión cromática debido a que GPON llega hasta 2,5 Gbps, concluyendo que el estándar G.652 es adecuada para una red GPON cubriendo sobre medida el tráfico de red demandado por la totalidad de los usuarios actuales y futuros.

- Es obligación de un ISP proveer al cliente la cantidad de bps que éste contrató; sin embargo, existe la sobresuscripción la cual beneficia al ISP ya que divide la velocidad ofertada entre dos, cuatro o más usuarios. Esta

división se la realizó en base al análisis de la demanda, estudiando los horarios de utilización del servicio de Internet para establecer una compartición del servicio de forma equitativa, que no perjudique al abonado final y favorezca a la vez al proveedor.

- La tecnología EPON es promocionada en nuestro país por varios proveedores, uno de los cuales es Latinoamericana TCA mediante la marca Furukawa, ya que EPON es muy atractiva principalmente por el bajo costo de los equipos activos en comparación con la tecnología GPON.

  No obstante, se debe observar la evolución de la tecnología en el mundo, que exige hoy por hoy una red que pueda abarcar cada vez mayor número de usuarios manteniendo la infraestructura instalada, además que ofrezca velocidades de forma simétrica y asimétrica según sea el requerimiento del servicio, que sea eficiente e implemente un sistema de cifrado robusto ofreciendo confidencialidad a la información del usuario. Debido a estos requerimientos es imprescindible considerar para una red de tal magnitud a la tecnología GPON que refleja éstas y más ventajas, siendo una excelente inversión.

- Está demostrado que al momento de seleccionar un nivel de división de la red GPON, lo ideal sería escoger el máximo nivel que ésta permite, ya que representa un ahorro de elementos activos y pasivos en la red, infraestructura, mano de obra, etc.; con un solo puerto de la OLT se abarcaría hasta 64 usuarios.

  Sin embargo, al realizar un balance de potencias, las pérdidas calculadas exceden los 28 dB, lo que implica seleccionar una red GPON clase C para la cual los equipos activos son extremadamente caros, difíciles de conseguir y muy poco conocidos en el país, factores suficientes para definir a la red GPON como una de clase B+, que pese a que permite un máximo nivel de división de 1 a 32, y se utiliza el doble de recursos, el equipo activo es mucho más económico, existe mayor conocimiento de mantenimiento y administración de los mismos, lo que asegura la inversión realizada.

- Considerando la clase de red GPON que fue seleccionada para el diseño realizado, clase B+, ésta define parámetros de importancia entre los cuales

están los niveles de potencia requeridos y los niveles de división máximos, en este caso de 32 usuarios por puerto de la OLT; para poder lograr servir a este número de abonados se puede utilizar un único nivel de división con un *splitter* con relación de división de 1 a 32, así como también la utilización de dos niveles de división en combinaciones de 1 a 2 y luego de 1 a 16 o también de 1 a 4 y luego de 1 a 8, siendo este último el de mayor utilidad para este sistema, ofrece un equilibrio entre costo y beneficio, ya que no es necesaria la utilización de gran cantidad de fibra óptica para el tendido.

- En un diseño de red de fibra óptica xPON pueden existir varias propuestas en cuanto a las rutas trazadas que recorre la fibra óptica para cubrir el área de diseño.

  En este proyecto de titulación, para seleccionar la ruta ideal se evaluó qué tipo de tendido es el adecuado según la infraestructura física del centro de la ciudad de Ambato, además de comparar los costos involucrados; se distribuyó los *splitters* con el fin de abarcar la totalidad del área a la que se servirá; la ruta se la trazó de tal forma que cubra a todos los *splitters* optimizando la cantidad de metros del cable de fibra óptica por motivo de costos. Al ser un diseño redundante se evitó el cruce entre rutas para asegurar la robustez del diseño; tener muy en cuenta estos parámetros hacen que un diseño de red sea eficiente, viable y competitivo.

- Los tipos de tendidos de redes ópticas actuales son variados y con la fibra óptica se puede aprovechar de características como la inmunidad al EMI para compartir postes, ductos o incluso cables tanto para transmisión de energía eléctrica como de señales de datos.

  En el presente proyecto, yendo un poco más allá, se analizó las variables inmiscuidas en un tendido de fibra óptica como son el tiempo, el costo e inclusive la competencia. Debido a la contaminación visual, se ha impulsado en el país el soterramiento de cables, una técnica muy costosa y compleja; además si bien es cierto la opción del tendido aéreo es la más económica, ésta es un problema ya que se depende de la empresa dueña de los postes y de la existencia de los mismos.

Por lo que se concluye que la técnica del microzanjado ha facilitado el proceso de tendido de fibra óptica en el Ecuador, no representa un costo tan elevado y no causa mayores inconvenientes en cuanto a tránsito de personas y autos. Se ratifica al microzanjado como la técnica más idónea para éste y futuros proyectos.

- Las redes instaladas hoy por hoy no consideran enlaces redundantes, lamentablemente se deja al azar el porcentaje de disponibilidad de los servicios que se ofrece a los usuarios; los abonados corporativos han empezado a reclamar al ISP un segundo enlace de redundancia debido a la importancia del servicio del Internet en sus negocios. Por esta situación se diseña la red GPON con redundancia, para todos los usuarios tanto residenciales como corporativos, debido a que se oferta el servicio *Triple Play* el cual debe tener un alto porcentaje de disponibilidad de los servicios además de excelentes tiempos de respuesta ante cualquier falla.
- Si bien es cierto el presente proyecto presentó algunas dificultades debido a que en la mayor parte del área centro de Ambato no se dispone de postes, los ductos son propiedad de la CNT y no se arrienda a privados; la competencia existente es desigual, la falta de normativas de las instituciones locales para proyectos de esta magnitud no existen o son poco claras, entre otras; siempre se debe considerar todas las posibilidades y enfocarse sobre el objetivo global del proceso. Es así que mediante la aplicación de técnicas relativamente modernas como el microzanjado, WDM, entre otras, fue posible concretar un diseño de red para el centro de la ciudad de Ambato. Ofreciendo un menor impacto físico durante el tendido de la red y la instalación hacia el abonado, para poder brindar múltiples servicios de calidad y a costos competitivos.
- Pese a que en la actualidad existen elementos ópticos no reconocidos a nivel mundial por su marca; es preciso resaltar que son de calidad y ofrecen las mismas o mejores características en el tratamiento de la luz, que algunas de las marcas con renombre mundial, mismas que son 3 o 4 veces más costosas, y que hoy por hoy han traslado su producción a la China.

Es por esto que se consideró elementos pasivos, herramientas e incluso equipos activos directamente importados de la China, que permitieron reducir el costo del proyecto de esta envergadura; sin que conlleve gastos elevados por importación, aranceles y desaduanización.

- El presupuesto de pérdidas de potencia, es una parte muy importante dentro del análisis del sistema. Debido a que ayuda a definir si los parámetros elegidos, ya sea relación de división, niveles de *splitters*, recorridos de las rutas, alcances de la red, entre otros; serán los adecuados y permitirán que el sistema funcione aun cuando se trabaje sobre la peor condición. Es por esto que para el presupuesto de pérdidas de potencia elaborado se ha considerado los valores críticos.

  Para el usuario más cercano se intenta definir si la potencia que éste recibe no sobrepase el máximo que el mismo puede aceptar, por esto los valores de pérdidas dentro de la ODN deben ser los mínimos y la potencia de transmisión debe ser la máxima.

  Por su parte para el usuario más lejano ocurre todo lo contrario y fue necesario considerar para el mismo que se tendrán los mayores niveles de pérdidas posibles dentro de la ODN y con una potencia de transmisión mínima que pueda entregarse al sistema. Verificando finalmente que bajo estas condiciones y teniendo presente las recomendaciones pertinentes publicadas por los organismos internacionales, se obtuvieron resultados satisfactorios y se asegura que el sistema contará con un adecuado dimensionamiento de sus componentes.

- Un método de verificación de sistemas es mediante la simulación de los mismos, y en este caso es el elegido para poder corroborar los resultados obtenidos luego del diseño de la red GPON.

  Los *software* de simulación en base a sus algoritmos de cálculo y a los parámetros ingresados en diferentes elementos, muestran resultados que permiten evaluar si es apropiado el diseño de red. Por tanto es necesario considerar todos los puntos de interés del diseño para correrlos en la simulación y concluir si se la está dimensionando correctamente.

Es imprescindible considerar que las simulaciones requieren grandes capacidades computacionales, para lo cual se debe tener el hardware adecuado que evite problemas durante la ejecución de las simulaciones.

- El presupuesto de potencia se establece con valores calculados teóricamente, mismos que para ser corroborados y concluir en el buen desempeño de la red diseñada debe simularse en un *software* enfocado a la fibra óptica. Uno de éstos es el *software* Optisystem, actualmente se encuentra en su versión 12.0, se lo escogió en el presente proyecto debido a que cuenta con varias librerías cuyos elementos permiten al usuario armar la red GPON conforme a lo estudiado en la teoría, de una forma coherente y comprensible.

- La simulación de la red diseñada en su contexto general cuenta con todos y cada uno de los elementos requeridos para su funcionamiento. No obstante, se puede desagregar a cada uno de éstos como un subconjunto de varias características adicionales, lo cual haría que la simulación se torne más específica y crítica en su funcionamiento, y el procesamiento computacional requerido para cada elemento se eleve.

  Es por esta razón que se ha definido a todos los elementos de la red con sus parámetros necesarios, buscando el equilibrio entre los resultados y el procesamiento computacional requerido.

- Al realizar el archivo de simulación tal y como se mostró en el cuarto capítulo, no se precisa abarcar a la red en toda su magnitud, ya que para la simulación significaría sobrecarga de procesamiento.

  Es por esta razón que únicamente se ha considerado las zonas en las que se hallan los casos críticos, siendo estos el usuario más cercano y el usuario más lejano. Finalmente dentro de estas zonas se simuló el *splitter* de segundo nivel en donde se hallan estos usuarios, agregando niveles de señal nulos a las entradas de los *splitters* no utilizadas para evitar de esta manera tener inconvenientes con valores no definidos.

  Aun cuando la simulación en sí represente únicamente esta parte de la totalidad de la red, demanda de una cantidad de procesamiento

considerable ya que el tiempo utilizado para obtener los resultados es de aproximadamente 20 a 25 minutos y si se añadieran más elementos este tiempo se incrementaría.

- Para observar los resultados de las señales que recepta la OLT y el ONT, se utilizó el elemento *Eye Diagram Analyzer* en la simulación realizada en el *software* Optisystem. Este elemento muestra el diagrama del ojo donde se aprecia que para el usuario más cercano, señal *Upstream* y *Downstream*, el margen de defensa frente al ruido es amplio, esto se verifica con el valor reportado del BER, en sentido *Downstream*, el cual indica que de cada 10^{17} bits transmitidos, 6 llegarán errados.

  En cuanto al usuario más lejano obviamente disminuye el margen de defensa frente al ruido, observado en el diagrama del ojo en el ONT, donde se constata que de cada 10^{6} bits enviados, 2 llegarán errados. Concluyendo así que no se producirán errores de decisión ya que los valores de BER obtenidos son aceptables para la óptima comunicación entre equipos activos.

5.2 RECOMENDACIONES

- El presente proyecto llegó a los establecimientos comerciales mediante la tecnología FTTB, se recomienda realizar un análisis de mercado directamente con este sector, para realizar un diseño de red con tecnología FTTD, llegando con fibra óptica hasta los usuarios finales que conforman las entidades comerciales.
- Es imprescindible iniciar cualquier proyecto con un conocimiento amplio y detallado de cada una de las posibilidades que se puedan presentar durante el proceso de diseño e implementación del mismo; debido a que los proyectos grandes pueden llevar mucho tiempo de estudio y ejecución, es recomendable tomarse el tiempo necesario para realizar diferentes análisis con la finalidad de que una vez iniciado el mismo no se encuentren problemas que no hayan sido estudiados en fases previas, evitando así retrasos y cambios significativos.

- Es recomendable dimensionar adecuadamente cualquier tipo de red a implementar, debido a que las tecnologías de la información avanzan a un ritmo vertiginoso, lo cual obliga a diseñar redes con la capacidad de poder servir por décadas a los usuarios, sin necesidad de incurrir en gastos exorbitantes en cuanto a expansiones para cubrir la demanda necesaria.
- Las preguntas elaboradas en una encuesta, serán una pieza clave para dimensionar la demanda, verificar el interés que presentan los hogares y corporaciones hacia un producto, establecer requerimientos exigidos por los mismos y demás datos no menos importantes. Por lo que es recomendable proyectarse desde un inicio preguntándose qué se desea realizar y qué datos se necesita, con el fin de elaborar las preguntas correctas que permitan obtener un resultado real y que corrobore toda decisión contemplada en el diseño de red.
- Es imprescindible analizar el mercado potencial de cualquier proyecto, debido a que son proyectos en los cuales se pretende realizar inversiones significativas. Se debe considerar todos los costos inmersos además de los réditos que se pueden obtener en el futuro y de esta manera averiguar el tiempo en el cual el proyecto empezará a generar ganancias. Este análisis económico es muy importante ya que si el proyecto se realiza en su parte técnica de la mejor manera y sin embargo en la parte económica no es viable, no tendría sentido el seguir adelante.
- Se recomienda que durante todo el proceso de diseño técnico de red se piense en la peor condición que el sistema debe soportar, esto con la finalidad de asegurar que aunque existan estas condiciones el servicio y la disponibilidad de la red se encuentren intactas. Por ello es necesario considerar posibilidades como desastres naturales, fallas humanas e incluso la combinación de las mismas.