

**“PROPUESTA DE UNA NUEVA
ESTRUCTURA DE LA RED DE
ACCESO GPON DE LA EMPRESA
ETAPA EP PARA LA PROVISIÓN DE
NUEVOS SERVICIOS DE
TELECOMUNICACIONES PARA
USUARIOS DE TIPO RESIDENCIAL Y
COMERCIAL”.**

“PROPUESTA DE UNA NUEVA ESTRUCTURA DE LA RED DE ACCESO GPON DE LA EMPRESA ETAPA EP PARA LA PROVISIÓN DE NUEVOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES PARA USUARIOS DE TIPO RESIDENCIAL Y COMERCIAL”

JUAN CARLOS LEÓN GUEVARA

Ingeniero Electrónico
Egresado de la Maestría en Gestión de Telecomunicaciones
Tecnólogo Electrónico Industrial
Universidad Politécnica Salesiana

PAÚL AURELIO ZARI MUÑOZ

Ingeniero Electrónico
Egresado de la Maestría en Gestión de Telecomunicaciones
Universidad Politécnica Salesiana

Dirigido por:

JUAN PABLO BERMEO MOYANO

Master en Telemática
Magíster en Administración de Empresas
Diplomado Superior en Gerencia de Marketing
Diplomado Superior en Pedagogías Innovadoras
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones
Docente de la Universidad Politécnica Salesiana



Cuenca – Ecuador

JUAN CARLOS LEÓN GUEVARA & PAÚL AURELIO ZARI MUÑOZ

“Propuesta de una nueva estructura de la Red de Acceso GPON de la empresa ETAPA EP para la provisión de nuevos servicios de Telecomunicaciones para usuarios de tipo residencial y comercial”

Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca – Ecuador, 2014.

MAESTRÍA EN GESTIÓN DE TELECOMUNICACIONES

Formato 170 x 240

Páginas: 171.

Breve reseña de los autores e información de contacto:



JUAN CARLOS LEÓN GUEVARA

Egresado de la Maestría Gestión de Telecomunicaciones

Ingeniero Electrónico

Tecnólogo Electrónico Industrial

Departamento de Aseguramiento de Ingresos
de Telecomunicaciones de ETAPA EP

juank_leong@yahoo.com

jcleon@etapa.net.ec



PAÚL AURELIO ZARI MUÑOZ

Egresado de la Maestría Gestión de Telecomunicaciones

Ingeniero Electrónico

Departamento de Red de Acceso de ETAPA EP

pzari5m@gmail.com

pzari@etapa.net.ec

dirigido por:



JUAN PABLO BERMEO MOYANO

Máster en Telemática.

Magíster en Administración de Empresas.

Diplomado Superior en Gerencia de Marketing

Diplomado Superior en Pedagogías Innovadoras

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

Docente de la Universidad Politécnica Salesiana

jpbermeo@hotmail.com

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

© 2014 Universidad Politécnica Salesiana.

CUENCA – ECUADOR – SUDAMÉRICA.

LEÓN GUEVARA JUAN CARLOS & PAÚL AURELIO ZARI MUÑOZ

“Propuesta de una nueva estructura de la Red de Acceso GPON de la empresa ETAPA EP para la provisión de nuevos servicios de Telecomunicaciones para usuarios de tipo residencial y comercial”

Edición y Producción: Printer-Imprenta Digital

Diseño de la Portada: Printer-Imprenta Digital

IMPRESO EN ECUADOR – PRINTED IN ECUADOR.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I	1
1.1 ANTECEDENTES Y GENERALIDADES	1
1.1.1 FIBRA ÓPTICA	1
1.1.2 PRINCIPIO DE TRANSMISIÓN	2
1.1.3 PARÁMETROS DE UNA FIBRA ÓPTICA	3
1.1.3.1 ATENUACIÓN	3
1.1.3.1.1 PÉRDIDAS POR ABSORCIÓN	3
1.1.3.1.2 PÉRDIDAS POR DISPERSIÓN	4
1.1.3.2 DISPERSIÓN CROMÁTICA	5
1.1.3.3 DISPERSIÓN MODAL (por modo de polarización)	6
1.1.4 ESTÁNDARES DE FIBRA ÓPTICA	6
1.1.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FIBRA ÓPTICA	8
1.1.6 REDES DE FIBRA ÓPTICA	8
1.2 CONCEPTOS BÁSICOS DE REDES GPON	10
1.2.1 TERMINACIÓN DE LÍNEA ÓPTICA (OLT)	11
1.2.2 UNIDAD DE RED ÓPTICA (ONU/ONT)	12
1.2.3 MÓDULO DE MULTIPLEXACIÓN POR DIVISIÓN DE LONGITUD DE ONDA (WDM)	13
1.2.4 PRINCIPALES FUNCIONES DE LA CONVERGENCIA DE TRANSMISIÓN DE G-PON (GTC)	15
1.2.4.1 FLUJO DE CONTROL DEL ACCESO AL MEDIO	15
1.2.4.1.1 VISIÓN GENERAL DE LA SUBCAPA DE ENTRAMADO GTC	16
1.2.4.1.2 VISIÓN GENERAL DE LA SUBCAPA DE ADAPTACIÓN GTC Y DE LA INTERFAZ PARA ENTIDADES SUPERIORES	18
1.2.4.2 REGISTRO DE LA ONU	18
1.2.5 EJEMPLOS DE INTERFAZ UNI Y SNI	19
1.2.6 VELOCIDAD BINARIA	19
1.2.7 ALCANCE LÓGICO Y ALCANCE FÍSICO	19
1.2.8 RETARDO MEDIO MÁXIMO DE TRANSFERENCIA DE LA SEÑAL	19
1.2.9 RELACIÓN DE DIVISIÓN	20
1.2.10 PROTECCIÓN EN LA SECCIÓN PON	20

1.2.11 TIPOS CONECTABLES DE OLT Y ONU	21
1.2.12 FLUJOS DE TRÁFICO Y CALIDAD DE SERVICIO (QoS)	21
1.2.12.1 ESPECIFICACIONES DE LA ASIGNACIÓN DINÁMICA DEL ANCHO DE BANDA (DBA)	23
1.2.13 RANGOS DE ATENUACIÓN EN GPO	27
1.2.14 SENSIBILIDAD MÍNIMA	28
1.2.15 PÉRDIDA DEL TRAYECTO ÓPTICO DIFERENCIAL	28
1.2.16 CALIDAD MEDIA DE TRANSMISIÓN	28
1.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LAS REDES DE ACCESO ÓPTICO	28
1.3.1 REDES FTTx	28
1.3.2 REDES PON	30
1.3.2.1 ACCIÓN DOWNSTREAM	32
1.3.2.2 ACCIÓN UPSTREAM	32
1.3.2.3 TECNOLOGÍA BPON (BROADBAND PON)	33
1.3.2.4 TECNOLOGÍA EPON (ETHERNET PON)	33
1.3.2.5 TECNOLOGÍA GPON	34
1.4 ANÁLISIS DEL ESTÁNDAR GPON	35
1.4.1 NORMALIZACIÓN (RECOMENDACIONES ITU-T)	37
1.4.2 PARÁMETROS BÁSICOS DE RENDIMIENTO DE UNA RED GPON	38
1.4.3 PROTOCOLO DE CONTROL MULTIPUNTO MPCP (MULTI - POINT CONTROL PROTOCOL)	39
1.4.3.1 OPERACIÓN BÁSICA DEL MPCP	40
1.4.4 MULTIPLEXACIÓN DE SERVICIOS	42
1.4.5 TIPOS DE T-CONT	42
1.4.6 FORMATO DE ENTRAMADO GPON	43
1.4.6.1 FORMATO DE TRAMA EN DOWNSTREAM	44
1.4.6.2 FORMATO DE TRAMA EN UPSTREAM	46
1.4.7 ASIGNACIÓN DINÁMICA DE ANCHO DE BANDA (DBA)	48
1.4.8 FORWARD ERROR CORRECTION (FEC)	49
1.4.9 SEGURIDAD EN EL ENVÍO DE DATOS	50
1.4.10 CALIDAD DE SERVICIO (QoS)	50
1.4.10.1 CALIDAD DE SERVICIO (QoS) EN LA OLT	50
1.4.10.2 CALIDAD DE SERVICIO (QoS) EN LA ONT	51

1.4.11 PROCESO DE ACTIVACIÓN (SERIAL NUMBER - SN).....	51
1.4.12 PROCESO DE ACTIVACIÓN (RANGING).....	52
1.4.13 OPERACIÓN, ADMINISTRACIÓN Y MANTENIMIENTO (OAM).....	54
1.4.13.1 ARQUITECTURA DE LA ESTRUCTURA DE OAM.....	55
1.4.14 CONSIDERACIONES DE DISEÑO.....	55
1.5 TECNOLOGÍA PARA REDES GPON.....	56
1.5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES Y VENTAJAS DE LA TECNOLOGÍA.....	57
1.5.2 COMPARACIÓN DE GPON CON OTRAS TECNOLOGÍAS.....	58
1.6 SERVICIOS BÁSICOS EN REDES GPON.....	59
1.7 CÁLCULO DEL PRESUPUESTO ÓPTICO.....	60
CAPÍTULO II	65
2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE ACCESO.....	65
2.1.1 RED DE ACCESO DE COBRE.....	65
2.1.2 RED DE ACCESO DE FIBRA ÓPTICA.....	66
2.1.2.1 RED DE ACCESO DE FIBRA ÓPTICA–SOLUCIÓN P2P.....	66
2.1.2.1.1 ARQUITECTURA DE LA RED P2P.....	67
2.1.2.1.2 EQUIPO INSTALADO.....	68
2.1.2.1.3 CAPACIDAD INSTALADA Y COBERTURA.....	69
2.1.2.1.4 CONSIDERACIONES Y OBSERVACIONES GENERALES DE UN ESQUEMA P2P.....	70
2.1.3 RED DE ACCESO MEDIANTE SISTEMAS INALÁMBRICOS.....	70
2.2 ANÁLISIS DE LA RED DE COBRE ACTUAL.....	71
2.2.1 ARQUITECTURA DE LA RED DE COBRE-SERVICIO TELEFÓNICO.....	71
2.2.1.1. CAPACIDAD INSTALADA Y UTILIZADA DE LA RED DE COBRE – SERVICIO TELEFÓNICO.....	72
2.2.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES DE COBRE - SERVICIO TELEFÓNICO.....	73
2.2.1.2.1 BUCLE DE ABONADO DE LA RED DE COBRE – SERVICIO TELEFÓNICO.....	73
2.2.1.2.2 PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE LA RED DE COBRE - SERVICIO TELEFÓNICO.....	74

2.2.1.2.3 DIMENSIONAMIENTO PLANIFICADO DE LA RED DE COBRE - SERVICIO TELEFÓNICO.....	75
2.2.2 ARQUITECTURA DE LA RED DE COBRE DE BANDA ANCHA-SERVICIO INTERNET.....	75
2.2.2.1 RED DE COBRE DE BANDA ANCHA - NODOS.....	75
2.2.2.1.1 BUCLE DE ABONADO Y PARÁMETROS ELÉCTRICOS – NODOS.....	77
2.2.2.1.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE BANDA ANCHA - NODOS.....	78
2.2.2.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE BANDA ANCHA -NODOS.....	78
2.2.2.2 RED DE COBRE DE BANDA ANCHA-ARMARIOS ACTIVOS.....	79
2.2.2.2.1 BUCLE DE ABANDONADO Y PARÁMETROS ELÉCTRICOS- ARMARIOS ACTIVOS.....	80
2.2.2.2.2 DIMENSIONAMIENTO Y CONSIDERACIONES -ARMARIOS ACTIVOS.....	81
2.3 ANÁLISIS Y CONSTITUCIÓN DE LA RED ACTUAL GPON.....	82
2.3.1 ARQUITECTURA DE LA RED DE ACCESO GPON.....	83
2.3.2 TECNOLOGÍA UTILIZADA EN LA RED DE ACCESO GPON.....	84
2.3.2.1 NIVELES DE SPLITTING.....	84
2.3.2.2 LONGITUD MÁXIMA Y PRESUPUESTO DEL ENLACE.....	85
2.3.2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE ACCESO GPON DE ETAPA EP.....	86
2.3.2.4 CONSTITUCIÓN DE LA RED DE ACCESO GPON DE ETAPA EP.....	87
2.4 ANÁLISIS DE LAS ZONAS DE COBERTURA.....	89
2.4.1 ANÁLISIS DE LA ZONA DE COBERTURA - SERVICIO DE TELEFONÍA.....	89
2.4.2 ANÁLISIS DE LA ZONA DE COBERTURA - SERVICIO DE NTERNET.....	90
2.4.2.1 ANÁLISIS DE LA ZONA DE COBERTURA – RED DE COBRE.....	90
2.4.2.2 ANÁLISIS DE LA ZONA DE COBERTURA – RED DE FIBRA.....	91
2.4.2.2.1 ANÁLISIS DE LA ZONA DE COBERTURA - P2P EN FIBRA.....	91
2.4.2.2.2 ANÁLISIS DE LA ZONA DE COBERTURA -RED DE ACCESO GPON.....	93
2.4.2.2.2.1 CONSIDERACIONES Y OBSERVACIONES.....	95
2.5 DENSIDAD DE USUARIOS Y CARACTERÍSTICAS DE TRÁFICO EN LA RED.....	96
2.5.1 DENSIDAD DE USUARIOS – TECNOLOGÍA xDSL.....	98
2.5.2 DENSIDAD DE USUARIOS – P2P EN FIBRA Y GPON.....	100
2.5.3 CARACTERÍSTICAS DE TRÁFICO – TECNOLOGÍA xDSL.....	102
2.5.4 CARACTERÍSTICAS DE TRÁFICO – TECNOLOGÍA P2P EN FIBRA.....	107
2.5.5 CARACTERÍSTICAS DE TRÁFICO – GPON.....	109

CAPÍTULO III	113
3.1 ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE ANCHO DE BANDA EN LA CIUDAD DE CUENCA	113
3.1.1. ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE ANCHO DE BANDA	113
3.1.2 CRECIMIENTO DE LA VELOCIDAD POR CLIENTE	116
3.1.3. CONSIDERACIONES GENERALES DE LA IMPLICACIÓN DEL CRECIMIENTO DE ANCHO DE BANDA EN LA RED GPON	118
3.2 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA	120
3.2.1 ANÁLISIS DEMANDA A CUBRIR EN EL DESPLIEGUE DE LA RED GPON	120
3.2.2 UBICACIÓN DE LA DEMANDA A CUBRIR EN EL DESPLIEGUE DE LA RED GPON	121
3.3 ANÁLISIS DE UBICACIÓN Y TIPO DE SPLITTING	124
3.3.1. ANÁLISIS DE LA UBICACIÓN DE LAS CABECERAS DE RED	124
3.3.2. ANÁLISIS DEL TIPO DE SPLITTING	126
3.3.2.1 RED DE ALIMENTACIÓN	126
3.3.2.2 RED DE DISTRIBUCIÓN	126
3.4 PROYECCIÓN DEL DESPLIEGUE DE LA RED GPON	127
3.4.1. CABECERA DE RED – OLT	127
3.4.1.1 REPARTIDOR ÓPTICO	128
3.4.2. RED DE ALIMENTACIÓN	129
3.4.2.1 MANGA DE ALIMENTACIÓN	129
3.4.2.2 ZONAS DE COBERTURA Y DEMANDA DE LAS MANGAS DE ALIMENTACIÓN	130
3.4.3. RED DE DISTRIBUCIÓN	133
3.4.4. RUTAS Y CABLES	134
3.4.4.1 RUTAS Y CAPACIDAD DE LA RED DE ALIMENTACIÓN	134
3.4.4.2 RUTAS Y CAPACIDAD DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN	136
3.4.5. PRESUPUESTO ÓPTICO	137
3.5 MODELO DE DESPLIEGUE	140
3.5.1. MODELO DE DESPLIEGUE DE LA RED DE ALIMENTACIÓN	140
3.5.2. MODELO DE DESPLIEGUE DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN	144
3.5.3. ANÁLISIS ECONÓMICO PARA EL DESPLIEGUE DE LA RED GPON	147

3.5.3.1 INVERSIÓN PARA EL DESPLIEGUE DE LA RED GPON - CAPEX.....	148
3.5.3.2 COSTOS DE OPERACIÓN PARA EL DESPLIEGUE DE LA RED GPON – OPEX.....	150
3.5.3.3 ESTIMACIÓN DE INGRESOS PARA EL DESPLIEGUE DE LA RED GPON.....	152
3.5.3.4 ANÁLISIS FINANCIERO PARA EL DESPLIEGUE DE LA RED GPON.....	152
3.6 NORMATIVAS Y ORDENANZAS.....	154
3.6.1. RESPECTO A LA COMPETITIVIDAD DE LA SENATEL.....	155
3.6.2 RESPECTO A LA COMPETITIVIDAD DEL ILUSTRE MUNICIPIO DE CUENCA.....	156
3.6.3 IMPLICACIONES A LA PROPUESTA DE DESPLIEGUE DE LA RED GPON.....	157
3.6.4 DESPLIEGUE DE LA RED GPON EN EDIFICIOS Y SOLUCIONES HABITACIONALES.....	157
3.7 POLÍTICAS DE AMPLIACIÓN DE LA RED GPON.....	158
3.7.1 POLÍTICAS DE AMPLIACIÓN DE LA RED DE ALIMENTACIÓN.....	158
3.7.2 POLÍTICAS DE AMPLIACIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN.....	159
3.8 POLÍTICAS DE DESPLAZAMIENTO Y RETIRO DE LA RED DE COBRE.....	159
3.8.1 ANÁLISIS DE LA DEMANDA EN FUNCIÓN DE LOS SERVICIOS.....	159
3.8.1.1 ANCHO DE BANDA – SERVICIO DE VOZ SOBRE IP	160
3.8.1.2 ANCHO DE BANDA – ACCESO A INTERNET.....	161
3.8.1.3 ANCHO DE BANDA – IPTV.....	162
3.8.2 POLÍTICAS GENERALES PARA EL DESPLAZAMIENTO Y RETIRO DEL COBRE...	162
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	165
CONCLUSIONES.....	165
RECOMENDACIONES.....	167
BIBLIOGRAFÍA	169
LINKCOGRAFÍA.....	170

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

1. Figura 1.1: Estructura básica de una fibra óptica acompañada de una fotografía de un cable real.....	1
2. Figura 1.2: Reflexión y refracción de un haz de luz al incidir sobre la superficie de separación de dos medios de dieléctricos.....	2
3. Figura 1.3: Atenuación en una fibra óptica.....	4
4. Figura 1.4: Dispersión cromática.....	5
5. Figura 1.5: Dispersión por polarización de modo.....	6
6. Figura 1.6: Clasificación de fibra óptica según su propagación.....	7
7. Figura 1.7: Elementos de una red óptica.....	9
8. Figura 1.8: Configuración de Referencia para GPON.....	10
9. Figura 1.9: Diagrama de Bloques Funcionales de una OLT.....	11
10. Figura 1.10: Diagrama de Bloques Funcionales de una ONU.....	13
11. Figura 1.11: Diagrama Esquemático de Aislamiento WDM.....	14
12. Figura 1.12: Concepto de control de acceso al medio con un solo T-CONT.....	15
13. Figura 1.13: Estructura de trama convencional de GEM.....	16
14. Figura 1.14: Diagramas de Bloques de Multiplexación ATM y GEM.....	18
15. Figura 1.15: Comparación entre los asignamientos de ancho de banda, Estático y Dinámico.....	23
16. Figura 1.16: Topologías de Red FTTx.....	29
17. Figura 1.17: Ejemplo de Topologías de Red FTTx.....	30
18. Figura 1.18: Topologías Básica de una Red PON.....	31
19. Figura 1.19: Funcionamiento de una Red PON.....	31
20. Figura 1.20: Downstream en una Red PON.....	32
21. Figura 1.21: Upstream en una Red PON.....	32
22. Figura 1.22: Esquema de BPON.....	33
23. Figura 1.23: Esquema EPON.....	34
24. Figura 1.24: Esquema GPON.....	35
25. Figura 1.25: Mapa Normas ITU-T G.984.X.....	38
26. Figura 1.26: Administración de las ONUs.....	40
27. Figura 1.27: Mensaje de “Report”.....	41
28. Figura 1.28: Mensaje de “Grant”.....	41
29. Figura 1.29: Multiplexación de servicios en redes GPON.....	42
30. Figura 1.30: Tipos de T-CONT.....	43
31. Figura 1.31: Formato de Tramas GPON.....	43
32. Figura 1.32: Formato de Tramas GPON – Downstream.....	45
33. Figura 1.33: Formato de Tramas GPON – Upstream.....	47
34. Figura 1.34: Comparación de esquemas de asignación de Ancho de Banda.....	49
35. Figura 1.35: Flujo de comunicación en la aplicación de FEC.....	49
36. Figura 1.36: Esquema de Seguridad para el envío de datos.....	50
37. Figura 1.37: Calidad de Servicio (QoS) en la OLT.....	50

38. Figura 1.38: Calidad de Servicio (QoS) en la ONT.....	51
39. Figura 1.39: Proceso de Adquisición del Serial Number.....	52
40. Figura 1.40: Proceso de Ranging.	53
41. Figura 1.41: Proceso de Operación, Administración y Mantenimiento (OAM)...	54
42. Figura 1.42: Arquitectura de la Estructura de OAM.....	55
43. Figura 1.43: Sistema PON que emplea 2 longitudes de onda.....	56
44. Figura 1.44: Sistema PON que emplea 3 longitudes de onda.....	57
45. Figura 1.45: Ejemplo1 de cálculo de un Sistema PON.....	62
46. Figura 1.46: Puntos críticos a revisar en reparaciones.....	64

CAPÍTULO II

47. Figura 2.1: Arquitectura de red de acceso de fibra – Solución P2P.....	67
48. Figura 2.2: Arquitectura de red de acceso de fibra – Solución P2P.....	68
49. Figura 2.3: Arquitectura de red de acceso de cobre – Servicio Telefónico	71
50. Figura 2.4: Arquitectura de red de acceso de cobre – Acometidas en Edificios...	72
51. Figura 2.5: Arquitectura de red de acceso de banda ancha – Nodos.....	76
52. Figura 2.6: Arquitectura de red de acceso de banda ancha directa – Central.....	76
53. Figura 2.7: Arquitectura de red de acceso con armario activos o nodos externos.....	79
54. Figura 2.8: Esquema de infraestructura en estado de desocupación.....	82
55. Figura 2.9: Arquitectura de la red GPON de ETAPA EP actual.....	84
56. Figura 2.10: Arquitectura de la red GPON de ETAPA EP actual y niveles de splitting.....	85
57. Figura 2.11: Conectores de terminación en campo por fusión.....	87
58. Figura 2.12: Cobertura P2P en fibra.....	92
59. Figura 2.13: Cobertura GPON por cabeceras de red.....	94
60. Figura 2.14: Cobertura por cajas de distribución.....	94
61. Figura 2.15: Cobertura de cajas de distribución de la Cabecera Centro.....	95
62. Figura 2.16: Densidad de clientes de telefonía por parroquias.....	96
63. Figura 2.17: Minutos consumidos por los servicios de telecomunicaciones.....	97
64. Figura 2.18: Índice de penetración por hogares y población.....	98
65. Figura 2.19: Mapa de densidad de clientes por zona.....	99
66. Figura 2.20: Mapa de densidad de puertos utilizados por los racks de convertidores.....	101
67. Figura 2.21: Mapa de densidad de servicios soluciones P2P.....	102
68. Figura 2.22: Mapa de densidad de clientes red GPON.....	102
69. Figura 2.23: Densidad de tráfico en los DSLAM de las 3 centrales.....	106
70. Figura 2.24: Densidad de tráfico característica en nodos de banda ancha y armarios activos.....	107
71. Figura 2.25: Densidad de Tráfico de los Puertos de la OLT de la Cabecera de Red Centro.....	112

CAPÍTULO III

72. Figura 3.1: Análisis Anual del Crecimiento del Ancho de Banda consumido por los usuarios de ETAP EP.....	116
73. Figura 3.2: Proyección de la Demanda Considerando un crecimiento promedio anual del 6,1%.....	118
74. Figura 3.3: Mapa de Densidad de Clientes de Internet y Red de Datos Digital de ETAPA EP.....	122
75. Figura 3.4: Mapa de Densidad de la Demanda Insatisfecha de los servicios de Internet en la Ciudad de Cuenca.....	123
76. Figura 3.5: Densidad de Clientes por Zona de Cobertura de la Demanda a Cubrir.....	125
77. Figura 3.6: Arquitectura de Red GPON Propuesta para el despliegue.....	126
78. Figura 3.7: Repartidor Óptico en Centrales de Telecomunicaciones de ANTEL Montevideo - Uruguay.....	128
79. Figura 3.8: Manga de Acceso para Redes de Fibra Óptica.....	130
80. Figura 3.9: Proyección de las Zonas de Cobertura de las Mangas de Alimentación.....	131
81. Figura 3.10: Proyección de las Zonas de Cobertura de las Mangas de Alimentación de la Cabecera de Red Centro.....	132
82. Figura 3.11: Punto de Distribución de red GPON en Montevideo - Uruguay...	133
83. Figura 3.12: Ruta de Despliegue de la Red de Alimentación GPON.....	134
84. Figura 3.13: Arquitectura Propuesta para el Despliegue de la Red GPON.....	138
85. Figura 3.14: Esquema de Red Propuesta para el Despliegue.....	144
86. Figura 3.15: Zonas de Cobertura de las 4 Zonas para el Modelo de Despliegue de la Red de Alimentación.....	141
87. Figura 3.16: Red Primaria Considerada para el Modelo de Despliegue de la Red de Alimentación.....	142
88. Figura 3.17: Modelo de Despliegue de la Red de Alimentación.....	143
89. Figura 3.18: Zona de Cobertura para el Modelo de Despliegue de la Red de Distribución.....	144
90. Figura 3.19: Red Secundaria de Cobre Considera para el Modelo de despliegue de la Red de Distribución.....	145
91. Figura 3.20: Modelo de Despliegue de la Red de Distribución.....	146
92. Figura 3.21: Detalle del Modelo de Despliegue de la Red de Distribución.....	147
93. Figura 3.22: Arquitectura básica para Soluciones FTTH o FTTB en Edificios..	158

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

Tabla 1.1: Compatibilidad de OLTs y ONUs.....	21
Tabla 1.2: Resumen del Ancho de Banda Asignable.....	26
Tabla 1.3: Relación entre la QoS de ATC y los tipos de T-CONT.....	27
Tabla 1.4: Comparación de tecnologías de red de acceso.....	58
Tabla 1.5: Servicios disponibles en redes GPON.....	59
Tabla 1.6: Parámetros de la interfaz óptica a 2.488 Mbit/s en sentido descendente...61	
Tabla 1.7: Rangos de Atenuación para GPON.....	62

CAPÍTULO II

Tabla 2.1: Capacidad instalada en equipos en las centrales y nodos al 2 de septiembre de 2013.....	69
Tabla 2.2: Capacidad instalada de la red de acceso en cobre al 2 de septiembre de 2013.....	73
Tabla 2.3: Bucle de abonado promedio al 7 de agosto de 2013.....	74
Tabla 2.4: Parámetros eléctricos característicos.....	74
Tabla 2.5: Bucle de abonado promedio de la red de banda ancha.....	77
Tabla 2.6: Parámetros eléctricos característicos.....	78
Tabla 2.7: Bucle de abonado promedio de la red de acceso de los armarios activos..80	
Tabla 2.8: Parámetros eléctricos característicos.....	80
Tabla 2.9: Parámetros ópticos de atenuación característicos.....	86
Tabla 2.10: Capacidad de Red de Acceso GPON.....	97
Tabla 2.11: Disponibilidad de accesos para clientes GPON ETAPA EP.....	88
Tabla 2.12: Presupuesto óptico de la red GPON.....	88
Tabla 2.13: Presupuesto óptico medido y calculado.....	89
Tabla 2.14: Cantidad Promedio de Clientes en función de los armarios de distribución.....	91
Tabla 2.15: Distancia de la acometida de fibra óptica desde la caja de distribución...93	
Tabla 2.16: Minutos consumidos por los servicios de telecomunicaciones.....	97
Tabla 2.17: Índices de Penetración de Banda Ancha.....	98
Tabla 2.18: Puertos ADSL de ETAPA EP.....	99
Tabla 2.19: Usuarios de Internet por Central (Datos Agosto 2013).....	103
Tabla 2.20: Estimación de Ancho de Banda de Usuarios de Internet por Velocidad contratada (Datos Agosto 2013).....	104
Tabla 2.21: Estimación de Ancho de Banda de Usuarios de Internet por Velocidad contratada- P2P (Datos Agosto 2013).....	108
Tabla 2.22: Estimación de Ancho de Banda de Usuarios de Red de Datos Digital por Velocidad contratada- P2P (Datos Agosto 2013).....	109

Tabla 2.23: Estimación de Ancho de Banda de Usuarios sobre la red GPON.....	110
Tabla 2. 24: Estimación de Ancho de Banda de Usuarios sobre la red GPON.....	111

CAPÍTULO III

Tabla 3.1: Distribución del Número de Conexiones Activas de Internet de ETAPA EP para el período Agosto 2012.....	114
Tabla 3.2: Distribución del Ancho de Banda requerido para cada uno de los planes de Internet de ETAPA EP para el período Agosto 2012.....	114
Tabla 3.3: Distribución del Número de Conexiones Activas de Internet de ETAPA EP para el período Agosto 2013.....	115
Tabla 3.4: Distribución del Ancho de Banda requerido para cada uno de los planes de Internet de ETAPA EP para el período Agosto 2012.....	115
Tabla 3.5: Variación Anual del Número de Clientes de Internet y del Ancho de Banda consumido en ETAPA EP. (Agosto 2012 – Agosto 2013).....	116
Tabla 3.6: Crecimiento promedio anual de demanda de velocidad. (Agosto 2012 – Agosto 2013).....	117
Tabla 3.7: Demanda a Cubrir por Cabeceras de la Red GPON.....	125
Tabla 3.8: Proyección de Puertos OLT por Cabera de Red.....	130
Tabla 3.9: Número de Mangas de Alimentación por Cabecera de Red.....	131
Tabla 3.10: Demanda a Cubrir de las Mangas de Alimentación.....	132
Tabla 3.11: Hilos de Fibra Óptica Requeridos por Manga de Alimentación.....	135
Tabla 3.12: Porcentaje de Afección en la Red de Acuerdo al Número de Mangas de Alimentación por Ruta.....	136
Tabla 3.13: Distancia Promedio de Ubicación de los elementos de Distribución de la Red GPON.....	138
Tabla 3.14: Presupuesto Óptico de la Red GPON Propuesta.....	139
Tabla 3.15: Cantidad de Tarjetas PON Requeridas para el Despliegue de Red GPON.....	148
Tabla 3.16: Materiales Requeridos para el Despliegue de la Red de Alimentación..	149
Tabla 3.17: Materiales Requeridos para el Despliegue de la Red de Distribución...	149
Tabla 3.18: Inversión de Equipamiento para el Despliegue de Red GPON.....	150
Tabla 3.19: Costos Operativos Mensuales para el Despliegue de Red GPON.....	151
Tabla 3.20: Costos Operativos para el Despliegue de Red GPON.....	151
Tabla 3.21: Ingresos Mensuales iniciales para el Despliegue de Red GPON.....	152
Tabla 3.22: Indicadores Económicos para la Propuesta de Despliegue de Red GPON.....	153
Tabla 3.23: Flujo de Fondos para la Propuesta de Despliegue de Red GPON.....	154
Tabla 3.24: Distribución del Ancho de Banda Promedio para cada uno de los planes de Internet de ETAPA EP para el período Agosto 2012.....	161

DEDICATORIA

A mi Esposa María Eugenia y a mis hijos Pamela y Paúl, que siempre me brindan su apoyo y comprensión, son ustedes la razón y motivación colmando mi vida de bendiciones, todo lo que he conseguido ha sido por ustedes, los amo.

A mi Madre, quien durante todo este tiempo ha sido mi estrella que ha guiado y apoyado en mi desarrollo social y profesional y; con su ejemplo y sacrificio ha enseñado a sus hijos la felicidad y alegría en este duro camino de la vida.

A mi Padre, hermanas y familiares, que comparten mis alegrías y tristezas.

Paúl.

DEDICATORIA

A mi Padre del Cielo, por siempre estar a mi lado, escuchar mi corazón y enseñarme que ningún título vale más que ser su hijo, para ti Dios mío sea siempre la honra y la gloria.

A mi muy amada esposa María Bernarda, para ti, que eres la persona más importante de mi vida, gracias por tu amor, por tu apoyo constante, por tu comprensión y por luchar a mi lado buscando siempre superarnos y ser felices.

A mi madre Olga, que nunca permitió que me rindiera bajo ninguna circunstancia de mi vida, siempre has sido y serás mi mayor ejemplo de sacrificio, trabajo y dedicación; a tu amor y a tu paciencia debo todo lo que soy.

A mi padre Carlos, que siempre estuvo presente en mi corazón, gracias por tus palabras de guía, por tu apoyo, por tu amor, por tu cariño y por tu bendición.

A mis hermanos, Miguel Ángel, Olga Priscila y María Gabriela, quienes siempre me impulsaron a ser mejor, por su aliento y apoyo incondicional, les amo mucho, son muy importantes en mi vida, gracias porque son un ejemplo de amor y superación constante.

A mis sobrinos María Ángel y Miguel Mateo, para los pequeños cachorros de la familia, que siempre ponen la alegría en la casa, recuerden que su tío los ama y que se por fe que serán personas de bien.

Va para todos ustedes, que nunca dejaron de confiar en mí y supieron exigirme a ser mejor todos los días, a todos les digo...

¡Adelante Siempre!

Juan Carlos.

PREFACIO

Las tecnologías de la información y comunicación se constituyen como la principal vía de acceso al intercambio del conocimiento, la búsqueda de documentación y la interacción entre los diferentes sectores de la actividad humana, tanto en el campo industrial, académico y de entretenimiento, ofreciendo así una información y conocimiento globalizados, fruto de una revolución informática, la cual ha sido clave en el desarrollo actual de la sociedad en todos sus campos.

Para la industria de las Telecomunicaciones, específicamente las operadoras tradicionales de telefonía fija, éstas han mantenido un vertiginoso desarrollo tanto en planta interna como externa, con la finalidad de proporcionar a sus usuarios más y mejores servicios, que les permita competir con el desarrollado mercado móvil. Para esto, las operadoras deberán contar con una red de acceso convergente, que permita la prestación de nuevos y mejores servicios acorde al desarrollo de las TICs, esto es, satisfaciendo los nuevos requerimientos de ancho de banda, exigidos por la demanda de usuarios actuales y futuros.

En este sentido, el presente trabajo presenta el análisis de la red de acceso actual de la operadora ETAPA EP y una propuesta para el adecuado despliegue de la red GPON, la cual estará orientada a ser la red de acceso en la cual converjan a más de la telefonía fija, servicios como el acceso a internet, redes de datos de alta velocidad, servicios de Televisión IP, etc.; esto una vez que la antigua red de acceso de cobre ha llegado a su límite.

PRÓLOGO

Este trabajo tiene como objetivo el presentar una propuesta de una nueva estructura de la red de acceso GPON de la operadora ETAPA EP, sobre la cual se realizará la prestación de los servicios de telecomunicaciones para usuarios finales tanto de sectores residenciales como de comerciales.

Para esto en el Primer Capítulo se ha realizado una revisión y análisis de las principales características acerca de las transmisiones ópticas, de las tecnologías de acceso X-PON, poniendo especial atención a la GPON, sus ventajas y desventajas como red de acceso, característica de funcionamiento, normativa y servicios ofertados.

En el Segundo Capítulo se encuentra el análisis actual de la red de acceso de cobre y de fibra óptica de ETAPA EP, sus principales características, la arquitectura de red, las zonas de cobertura, la densidad de usuarios y las características de tráfico ON NET.

En el Tercer Capítulo se presenta la propuesta de despliegue como tal, en él, se encuentra desarrollado un modelo de análisis de la propuesta, así como la definición de las zonas de demanda potencial a cubrir con esta red, las políticas generales del desplazamiento de la red de cobre y el análisis económico que implica el despliegue de la red GPON.

Finalmente se determinan las ventajas y respectivas consecuencias, para el caso que la Empresa desee mantener la red de acceso de cobre, como la infraestructura de acceso para la prestación de los servicios a los clientes finales de ETAPA EP.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, gracias te damos Señor Dios, por permitirnos la oportunidad de culminar con éxito este trabajo, el cual esperamos sea para cumplir tu voluntad y tenga el propósito para el cual tú lo permitiste, para TI sea la honra y la gloria.

Expresamos también nuestro agradecimiento a la Empresa Pública de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca "ETAPA EP", en especial a los funcionarios de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Servicio de Internet, quienes desinteresadamente nos brindaron sus conocimientos y colaboración para el desarrollo de esta tesis.

A nuestro Director, el Ing. Juan Pablo Bermeo Moyano, quien nos brindó su conocimiento y amistad, por su orientación, confianza y paciencia durante el desarrollo y culminación de esta tesis.

A nuestras esposas, padres, familiares y amigos que siempre nos brindaron su apoyo incondicional, motivándonos para llevar con éxito el cumplimiento de este proyecto.

A todos ellos nuestro sincero GRACIAS!!!

CAPITULO I:

**FUNDAMENTOS DE REDES
GPON.**

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE REDES GPON.

1.1 Antecedentes y Generalidades.

1.1.1 Fibra Óptica.¹

La fibra óptica como medio de transporte es una guía de onda dieléctrica que permite la propagación de una señal luminosa a través de múltiples reflexiones que se dan en su interior, permitiendo el transporte de grandes cantidades de información.

Las partes principales de una fibra óptica son: el centro ó núcleo (core), el revestimiento (cladding) y el recubrimiento primario (coating).

- El Centro ó núcleo (core): dependiendo del tipo de fibra óptica, éste se fabrica de dióxido de silicio (SiO_2) ó dióxido de germanio (GeO_2). El diámetro con el que se fabrican depende del modo de transmisión y puede ser: monomodo ($\phi = 8$ a $10 \mu\text{m}$) ó multimodo ($\phi = 50$ a $62,5 \mu\text{m}$).

- El Revestimiento (cladding): generalmente está construido de dióxido de silicio (SiO_2) y su diámetro es de aproximadamente $125 \mu\text{m}$.

- El recubrimiento (coating): está fabricado de material acrílico y su diámetro es de aproximadamente $245 \mu\text{m}$.

La diferencia entre el cladding y el coating radica principalmente en el dopado que se le realiza a cada material, pudiendo éste ser ce boro ó germanio, de ésta manera se pueden variar los índices de refracción hasta llegar a las mejores condiciones de propagación de la luz. A continuación se presenta una ilustración de las partes descritas:

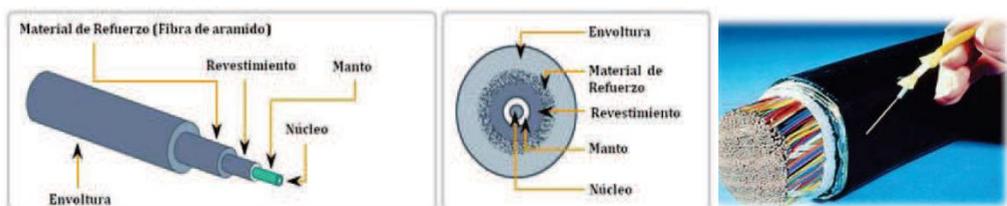


Figura1.1 Estructura básica de una fibra óptica acompañada de una fotografía de un cable real.

Fuente: www.conocimientosrfapplications.blogspot.com/2010/06/medios-de-transmision-fibra-optica.html

¹ http://www.dei.uc.edu.py/tai98/Fibras_Opticas.htm

El tipo de luz incidente ó emitido desde una fuente óptica puede ser originado desde diodos LED (Ligth Emitting Diode) ó diodos de inyección láser ILD (Injection Laser Diode).

1.1.2 Principio de Transmisión.^{2,3}

La fibra óptica transmite información mediante pulsos ó haces de luz, la cual viaja a través de ella, mediante un principio que se lo conoce como “Principio de reflexión interna total” y se da debido a que el índice de refracción del revestimiento (cladding) n_2 es menor que el del núcleo (core), n_1 , lo que permite que la luz quede atrapada dentro del núcleo y así pueda propagarse a través de toda su longitud. A continuación se presenta la ecuación y gráfico que domina la relación entre el ángulo incidente y el ángulo transmitido (refractado):

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\text{sen}(\theta_2)}{\text{sen}(\theta_1)} \quad [\text{Ley de Snell}] \quad [\text{Ecuación 1.1}]$$

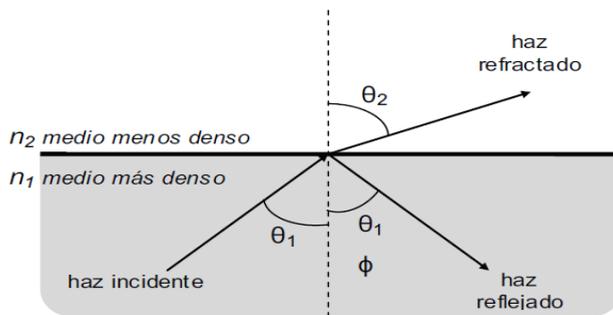


Figura 1.2 Reflexión y refracción de un haz de luz al incidir sobre la superficie de separación de dos medios de dieléctricos.

Fuente: Autores.

Como se puede apreciar en la figura 1.2, cuando un rayo de luz incide en el plano de separación de dos medios que tienen diferente índice de refracción ocurren dos fenómenos:

-El haz reflejado: es aquel que sufre una desviación (θ_1) hacia el medio del que procede.

-El haz refractado: el rayo incidente experimenta una variación en su trayectoria original (θ_2), atravesando de un medio a otro.

² JIMENEZ, María Soledad MSc. (2006). “Teoría de Comunicaciones”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

³ TOMASI, Wayne, (2003). “Sistemas de Comunicaciones Electrónicas”, Cuarta Edición.

Por lo que todo rayo de luz que incida con un ángulo θ_i y que éste sea mayor a un ángulo crítico θ_c se podrá asegurar que toda la luz regresará al material más denso (el núcleo) y nada se escapará al material menos denso (revestimiento), por lo que podrá propagarse largas distancias con valores mínimos de pérdidas.

1.1.3 Parámetros de una fibra óptica.^{2,4}

En la recomendación G.650 de la UIT-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones), se describen las principales definiciones y métodos de prueba de los parámetros más importantes de las fibras ópticas, siendo éstos la atenuación, la dispersión cromática y la dispersión por modo de polarización.

1.1.3.1 Atenuación (α).

Se manifiesta con la pérdida de potencia de la señal óptica conforme aumenta la distancia, siendo los principales factores la longitud de onda de la luz incidente y el material del núcleo los que intervienen en este tipo de pérdidas.

La unidad en la que se expresa la atenuación es el [dB/Km] y se define como la relación entre la potencia de salida sobre la potencia de entrada de la señal luminosa.

Debido a factores propios de la fibra óptica que intervienen en la atenuación se pueden destacar dos principales: las pérdidas por absorción y las pérdidas por dispersión.

1.1.3.1.1 Pérdidas por absorción.

Se producen debido a las impurezas de los materiales con los que se fabrica la fibra, provocando en algunos puntos de la fibra se absorba la luz y en lugar de transmitirla se la transforme en calor. La absorción puede deberse a los rayos ultravioletas, a los rayos infrarrojos y a la presencia de iones hidroxilo (OH⁻).

En los dos primeros casos se producen por la interacción de las partículas de energía electromagnética presente en la luz que viaja a través del núcleo de la fibra y la tercera se debe a la presencia de partículas de vapor de agua en el material de la fibra debido a su fabricación.

Esta absorción produce tres importantes picos de pérdidas que se sitúan en tres ventanas de longitud de onda: cerca de los 900nm, 1200nm y 1400nm siendo el más

² JIMENEZ, María Soledad MSc. (2006). “Teoría de Comunicaciones”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

⁴ LEON, Milton, ALVARRACIN, Arturo, (2004). “Análisis de la red de fibra óptica de Etapa: Elaboración de un manual para certificación interna”, Cuenca, Ecuador.

fuerte el tercero, el cual llega valores de atenuación de 0,04 [dB/Km]. Esta situación se puede observar en la siguiente figura.

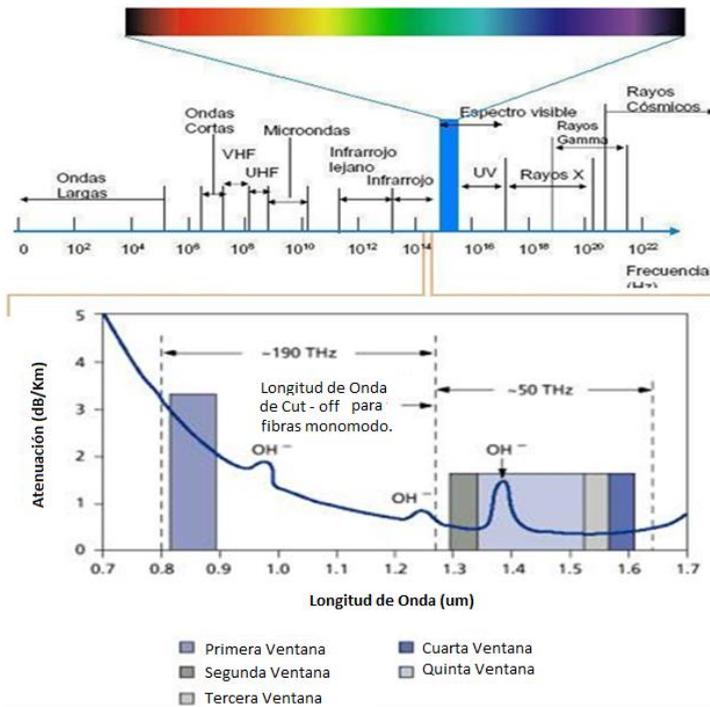


Figura 1.3 Atenuación en una fibra óptica.

Fuente: http://200.27.247.163/planta/menu/fibra_archivos/image002.jpg

1.1.3.1.2 Pérdidas por dispersión.

Conocidas también como pérdidas por dispersión Rayleigh y Mie, son ocasionadas por pequeñas irregularidades sub.-microscópicas que se forman durante el proceso de fabricación. Cuando los rayos de luz que se están propagando por una fibra chocan contra las impurezas éstos se difractan, causando que la luz se disperse en muchas direcciones, provocando que una porción de la luz se escape por la cubierta, y es precisamente a estos rayos que se los conoce como dispersión Rayleigh.

1.1.3.2 Dispersión Cromática.

Este parámetro describe las diferencias en la velocidad de la señal que dependen de la distribución de la potencia óptica sobre el núcleo y el revestimiento de la fibra óptica. En los puntos en que la dispersión cromática es alta, los pulsos ópticos tienden a expandirse en el tiempo y provocar interferencia, lo cual se puede provocar inaceptables velocidades de bit. Esto provoca que los rayos de luz que se propagan en una fibra, no lleguen al extremo de destino al mismo tiempo, lo cual provoca una señal distorsionada.

Este parámetro tiene dos componentes: la dispersión inherente al material y la dispersión originada por la estructura de la guía de onda. El primer componente es el principal causante de la dispersión y consiste en que el índice de refracción del material (i.e. silicio) depende de la frecuencia, por lo que las componentes de distinta frecuencia viajan a velocidades diferentes por el material, por lo que éste es un parámetro que no podrá ser manipulado; sin embargo, es posible desplazar la dispersión modificando la dispersión de guía de onda, ya que depende de la longitud de onda y de las dimensiones de la guía.

En la figura 1.4, se puede apreciar que para una longitud de onda de aproximadamente 1310 nm, empleando una fibra monomodo estándar SMF (Standard Single Mode Fiber) se tiene casi cero de dispersión, sin embargo al emplear este mismo tipo de fibra en la ventana de 1500nm, la dispersión crece a aproximadamente 18 ps/nm – Km, por lo que en función de la ventana en la que se trabaje se deberá escoger el tipo de fibra, sea esta la descrita, DSF (Dispersión Shifted Fiber), ó NZDF (NonZero Dispersión Fiber).

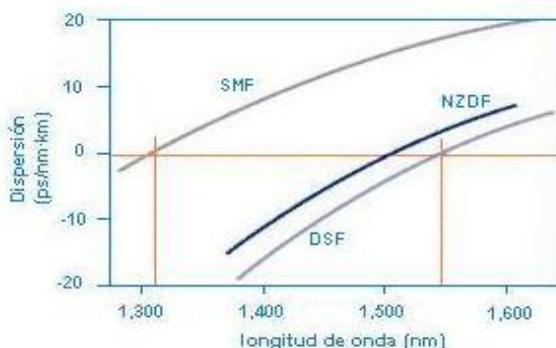


Figura 1.4 Dispersión cromática.

Fuente: http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema1/imagenes_temal_5/image011.jpg

1.1.3.3 Dispersión Modal (por modo de polarización).

La polarización es la propiedad de la luz que está relacionada con la dirección de sus vibraciones. En la figura 1.5 se puede apreciar los dos modos principales de una fibra asimétrica que es uniforme a lo largo de su longitud. El modo en el eje x es arbitrariamente etiquetado como un modo lento, mientras que el eje y, es etiquetado como modo rápido. La diferencia en los tiempos de arribo en los modos de dispersión por polarización (PMD) es medida en picos segundos.

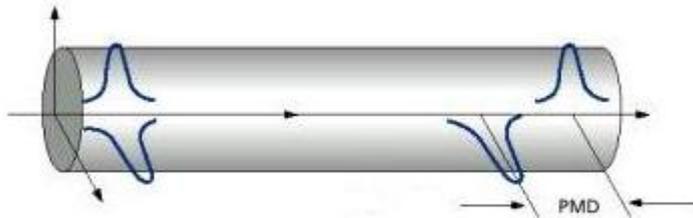


Figura 1.5 *Dispersión por polarización de modo.*

Fuente: http://nemesiis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema1/imagenes_tema1_5/image010.jpg

1.1.4 Estándares de Fibra Óptica.

Otra característica importante son los modos en la fibra óptica, y hace referencia a los trayectos por los que puede viajar el rayo de luz dentro de la fibra. Según este tipo existen dos tipos de fibra:

- Fibra Monomodo: La principal característica es la propagación de un solo modo de luz a través del núcleo. Las principales ventajas son la transmisión de una mayor cantidad de datos a una mayor distancia, sin embargo es más costosa.
- Fibra Multimodo: Este tipo de fibra tiene un radio del núcleo mucho mayor que la fibra monomodo lo cual permitirá la circulación de varios rayos de luz. El índice de refracción del núcleo comparado con el del revestimiento define el tipo de fibra, siendo los principales el de índice graduado y el de índice escalonado.

De acuerdo a la ITU-T, se manejan los estándares descritos en las recomendaciones G.651, G.652, G.653, G.654 y G.655, y hacen referencia a las características de las fibras monomodo y Multimodo, siendo entre ellas las siguientes:

- G.651: Características de un cable de fibra óptica Multimodo de índice gradual, en el cual las características de los cables dependerán de la longitud de onda a la que se trabaje, por ejemplo para la ventana de los 850 nm se

tendrán atenuaciones entre 2,5 y 4 dB/Km, mientras que para la ventana de los 1310 nm se tendrá atenuaciones en entre 0,5 y 0,8 dB/Km, el diámetro del núcleo es de 50 μm .

- G.652: Características de las fibras y cables de fibra óptica monomodo, cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en los 1310 nm, siendo esta ventana la óptima para su uso, tiene una atenuación característica de 0,4 dB/Km y un diámetro de núcleo que oscila entre 8,6 – 9,5 μm .
- G.653: Características de las fibras y cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada, cuya longitud de onda de dispersión nula está situada en los 1550 nm, tiene una atenuación característica de 0,35 dB/Km y un diámetro de núcleo que oscila entre 7,8 – 8,5 μm .
- G.654: Características de las fibras y cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado, está optimizada para trabajar en la región de los 1500 – 1600 nm y tiene bajas pérdidas en la banda de los 1550 nm, tienen diámetros de núcleo más grande que oscila entre 9,5 – 10,5 μm .
- G.655: La fibra de dispersión desplazada no nula (NZDSF), está optimizada para longitudes de onda de 1550 nm, el efecto práctico es el de tener una pequeña cantidad pero finita de dispersión cromática en 1550 nm.

Se tienen también los estándares G.656, G.657 los cuales tienen aplicaciones y características específicas que podrán ser escogidas dependiendo de la aplicación que se vaya a realizar.

A manera de resumen se puede apreciar la siguiente clasificación de la fibra óptica según su propagación.

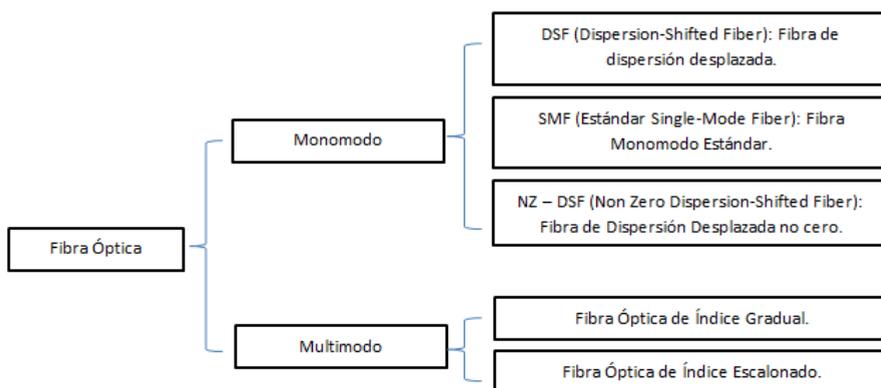


Figura 1.6 Clasificación de fibra óptica según su propagación.

Fuente: Autores.

1.1.5 Ventajas y desventajas de la Fibra Óptica.

Ventajas:

- Ancho de banda muy elevado (GHz y THz).
- Baja atenuación – larga distancia.
- Inmunidad electromagnética.
- Tamaño reducido.
- Bajo peso.
- Seguridad de la información ya que no es posible acceder a los datos transmitidos.
- Aislamiento eléctrico.
- Rentabilidad.
- No hay riesgo de chispas o explosiones.
- El silicio con el que pueden ser fabricadas, es abundante en la naturaleza.
- Escalabilidad y vida útil.

Desventajas:

- Tecnología compleja: fabricación, instalación, montaje.
- Costos elevados, sea en los equipos terminales como en la instalación, mantenimiento y reparación.
- Fragilidad de la fibra.
- Resistencia al cambio, debido al uso difundido de materiales tradicionales como el cobre.
- Conversión electro/óptica.

1.1.6 Redes de Fibra Óptica.^{2,5}

Este tipo de redes hacen su aparición para suplir las limitaciones que las redes construidas con medios de transmisiones tradicionales como el par trenzado de cobre y el cable coaxial en lo que respecta a ancho de banda.

Las redes pasivas ópticas PON (Passive Optical Network), no poseen elementos activos entre la central y el usuario, entendiéndose como elemento activo a regeneradores o amplificadores que requieran de energía eléctrica, éstas emplean elementos ópticos pasivos durante toda la ruta de transmisión. Al realizar el cambio de elementos pasivos por elementos activos se tiene las redes activas ópticas AON

² JIMENEZ, María Soledad MSc. (2006). “Teoría de Comunicaciones”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

⁵ QUISHPE, Alejandra, VINUEZA, Nubia. (2010). “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 (Fiber to the x)”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

(Active Optical Network), donde se incrementa de manera significativa el costo de mantenimiento de la red pero se incrementa su alcance.

Los principales elementos de una red óptica se presentan en la siguiente figura:

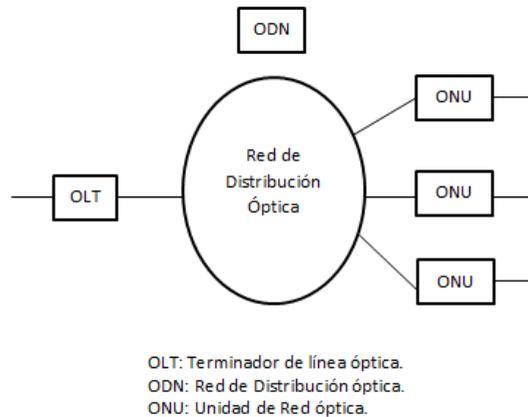


Figura 1.7 Elementos de una red óptica.

Fuente: Autores.

- Terminador de Línea Óptica (OLT, Optical Line Terminal): Encargada de la administración y autenticación de los abonados. Generalmente está ubicado en el interior de la central de control, o sea en el punto donde se encuentra la presencia del operador de la red. El OLT es un elemento activo, desde el cual parten las redes de fibra óptica hacia los usuarios finales, tienen una gran capacidad para la prestación de servicios de sus usuarios

Una de las principales funciones de un OLT es el de actuar como un enrutador, esto debido a que coloca el tráfico que proviene del usuario hacia la red de asignación.

-Red de Distribución de Fibra Óptica (ODN, Optical Distribution Network): Constituye la planta externa que parte de la central hacia los nodos primarios.

-Terminador de Red Óptica (ONT, Optical Network Terminator): Sirve de interfaz entre la red de acceso y la red interna de abonado.

-Unidad de Red Óptica (ONU, Optical Network Unit): Es el equipo terminal ubicado en el domicilio del usuario final.

1.2 Conceptos básicos de Redes GPON. ¹⁴

La configuración de referencia para redes GPON se la puede analizar de la recomendación ITU-T G.984.1, misma que se describe un breve resumen a continuación:

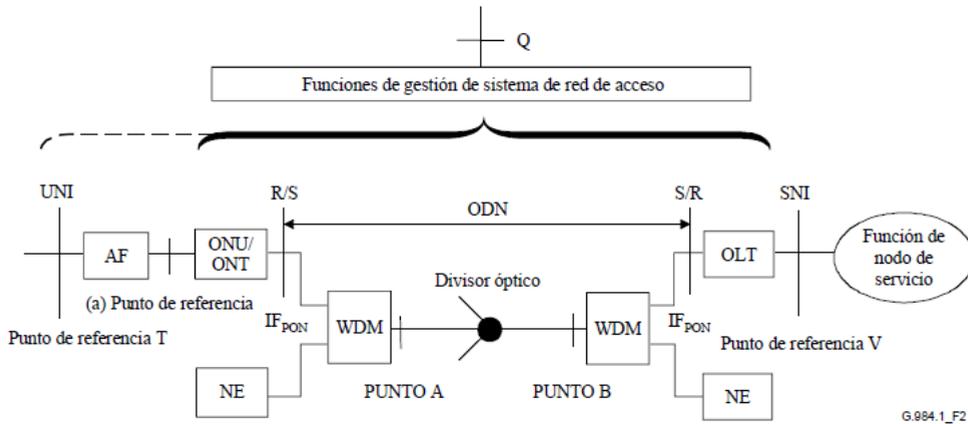


Figura 1.8 Configuración de Referencia para GPON.

Fuente: Recomendación ITU-T G.984.1.

Dónde:

ONU: Unidad de red óptica.

ONT: Terminación de red óptica.

ODN: Red de distribución óptica.

OLT: Terminación de línea óptica.

WDM: Módulo de multiplexación por división de longitud de onda. (Esta función no es necesaria si no se emplea WDM).

NE: Elemento de red que utiliza las distintas longitudes de onda de la OLT y de la ONU.

AF: Función de adaptación (algunas veces incluida en la ONU).

SNI: Interfaz de nodo de servicio.

UNI: Interfaz usuario-red.

S: Punto en la fibra óptica justo después del punto de conexión óptico OLT (sentido descendente) / ONU, (sentido ascendente); o sea, conector óptico o empalme óptico.

R: Punto en la fibra óptica justo después del punto de conexión óptico ONU (sentido ascendente) / OLT (sentido descendente); o sea, conector óptico o empalme óptico.

¹⁴ Recomendaciones ITU-T G.98x.

(a) Punto de Referencia: Si la ONU incluye la AF, esto no es necesario.

Punto A/B: Si no se utiliza WDM, estos puntos no son necesarios.

Función del Nodo de Servicio: Ver ITU-T G.902.

Se puede decir que un sistema G-PON consta de tres partes principales: OLT, ONU y ODN.

1.2.1 Terminación de Línea Óptica (OLT).

La OLT está conectada a la red conmutada mediante interfaces normalizados, tanto en términos de velocidad binaria, balance de potencia, fluctuación de fase, etc. La OLT consta de 3 partes principales:

- Función de interfaz de puerto de servicio.
- Función de conexión cruzada.
- Interfaz de red de distribución óptica.

Un diagrama de bloques es el siguiente:

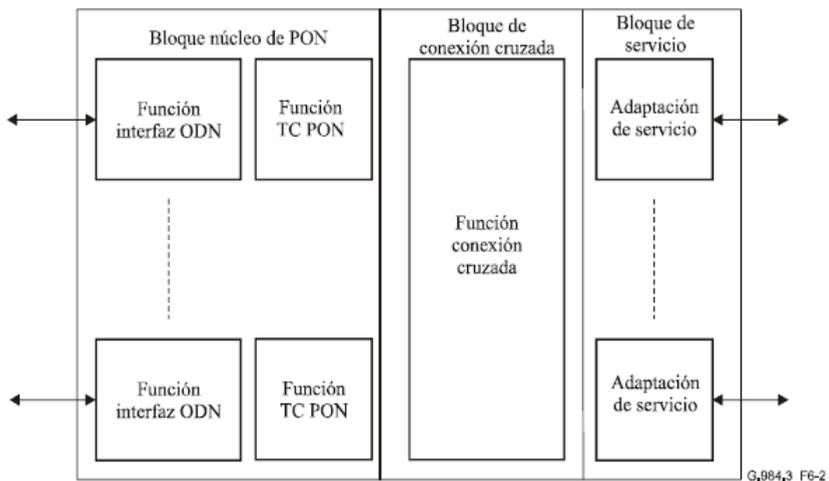


Figura 1.9 Diagrama de Bloques Funcionales de una OLT.

Fuente: Recomendación ITU-T G.984.3.

Bloque Núcleo del PON:

A su vez consta de 2 partes, la Función Interfaz ODN y la función TC PON.

La primera establece las condiciones físicas del interfaz óptico (tanto ascendente como descendente), siendo entre otros la velocidad binaria nominal, la longitud de onda de trabajo, el código de línea, sensibilidad, potencia, etc.

La segunda, incluye el entramado, el control de acceso al medio, OAM, la alineación de las PDU (Protocol Data Unit), y la gestión de la ONU. Cada TC PON selecciona un modelo de entre ATM, GEM y Dual.

Bloque de Conexión cruzada:

Proporciona un trayecto de comunicación entre el núcleo del PON y el bloque de Servicio. Las tecnologías para la conexión dependerán de los servicios y de la arquitectura interna de la OLT, ya que depende del modo seleccionado, siendo GEM, ATM ó dual.

Bloque de Servicio:

Se encarga de la proporcionar una traducción entre las interfaces de servicio y los de la trama TC de la sección PON. Como se pudo apreciar, la OLT provee el interfaz entre el sistema xPON y el proveedor de servicios (datos, video y telefonía). Los interfaces WAN de la OLT generalmente tienen relación con los siguientes equipos:

- Gateways de voz, el cual transporta tráfico de voz TDM a la PSTN.
- Routers IP y switches ATM, los cuales pueden ser una opción para el tráfico de datos desde/hacia la red.
- Dispositivos de red para servicios de video, etc.

Resumiendo las principales características y funciones del OLT son:

- Proveer una interfaz de multiservicios al core de la WAN.
- Proveer una interfaz Gigabit Ethernet a la PON.
- Switching y routing en capa 2 y capa 3.
- Proveer una calidad de servicio (QoS) determinada.
- Manejar tráfico.

1.2.2 Unidad de Red Óptica (ONU/ONT).

La ONU tiene bloques funcionales muy similares a la OLT, con la diferencia que para el manejo del tráfico en lugar del bloque de conexión cruzada se especifica la función MUX y DEMUX de servicio.

Por lo tanto se puede decir que la ONU provee de un interfaz entre los usuarios de los servicios (voz, datos, video) y la red PON; recibiendo este tráfico en un formato óptico y convertirlos en formato de usuario dependiendo el tipo de servicio que requiera, el cual puede ser Ethernet, IP multicast, POTS, E1, etc.

Las ONUs proveen funcionalidades de capa 2 y capa 3, los cuales permiten el ruteo del tráfico interno en la ONU. El diseño y costos de la ONU es un factor clave para el desarrollo de la tecnología PON utilizada. Un diagrama de bloques se muestra a continuación:

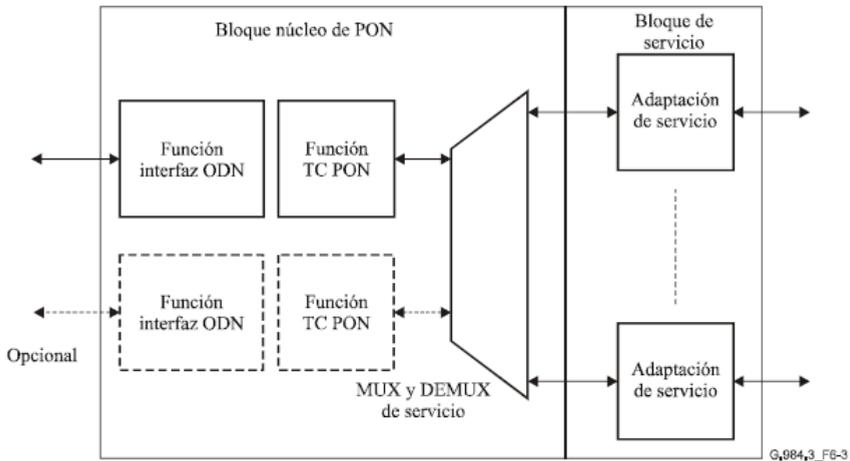


Figura 1.10 Diagrama de Bloques Funcionales de una ONU.

Fuente: Recomendación ITU-T G.984.3.

1.2.3 Módulo de multiplexación por división de Longitud de Onda (WDM).

Cuando se toma en cuenta esta técnica, se la emplea en la transmisión bidireccional, tanto para cuando se emplea un esquema GPON de una sola fibra, como para la transmisión unidireccional en un esquema de dos fibras. En el sentido descendente (downstream), el intervalo de longitudes de onda de trabajo para el esquema de una sola fibra será en el rango de 1480 a 1500 nm, mientras que para el esquema de dos fibras será en el rango de 1260 a 1360 nm.

En el sentido ascendente (upstream), el intervalo de longitudes de onda de trabajo será en el rango de 1260 a 1360 nm, tanto para un esquema de una como de dos fibras.

Esta técnica se emplea también para la prestación de servicios adicionales, figurando entre los principales los servicios de señal de video, tal y como lo describe la sección 1.5 y la figura 1.43.

Cuando se emplea esta técnica tanto para las acciones de transmisión (subida y bajada) así como para la provisión de servicios, se debe tener en cuenta que no exista

interferencia entre las señales, ya que esto provocará la degradación mutua de ambas, por lo que se vuelve necesario un aislamiento entre las bandas, el cual dependerá principalmente del nivel de potencia óptica y del esquema de modulación.

El "aislamiento", se define por lo general, como la diferencia de pérdidas entre dos longitudes de onda medidas en el mismo puerto. El aislamiento requerido para un filtro WDM, por ejemplo WF1 y WF2, deberá estimarse considerando las reflexiones del equipo y/o la ODN.

En la siguiente figura se puede apreciar de manera esquemática el aislamiento que debe ser considerado. Estas consideraciones deben ser tomadas en cuenta por los fabricantes de los equipos.

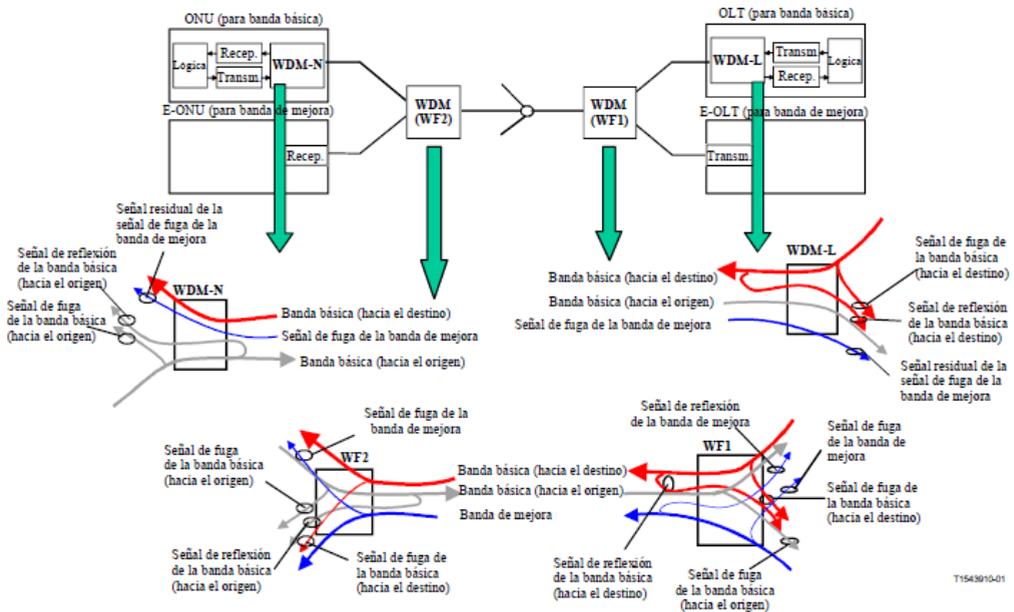


Figura 1.11 Diagrama Esquemático de Aislamiento WDM.

Fuente: Recomendación ITU-T G.983.3.

Para mayor ilustración en los Apéndice II y III de la Recomendación ITU G.983.3 existen descripciones de este tipo de filtros y de aplicaciones, los cuales se encuentran fuera del alcance de la presente tesis.

1.2.4 Principales funciones de la convergencia de transmisión de G-PON (GTC).¹⁴

Existen 2 principales funciones importantes en el esquema GPON:

- Flujo de Control del Acceso al Medio.
- Registro de la ONU.

1.2.4.1 Flujo de Control del Acceso al Medio.

El sistema de convergencia de transmisión de la GPON, proporciona el control de acceso al medio para el tráfico ascendente. Respecto a las tramas descendentes, éstas indican cuales son las posiciones permitidas para tráfico ascendente.

El concepto de control de acceso al medio de este sistema se puede ilustrar en la siguiente figura:

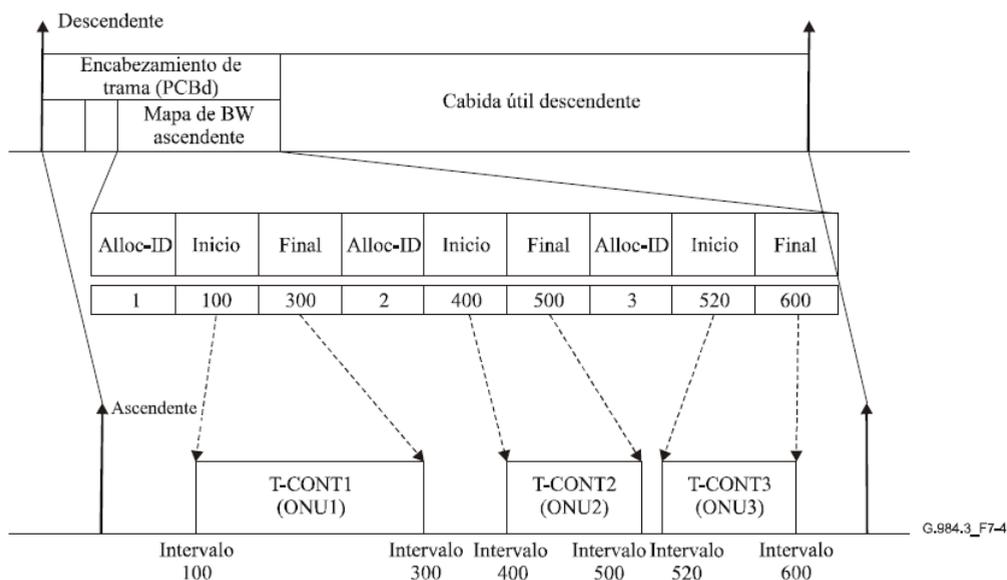


Figura 1.12 Concepto de control de acceso al medio con un solo T-CONT.

Fuente: Recomendación ITU-T G.984.3.

¹⁴ Recomendaciones ITU-T G.98x.

La OLT envía punteros en el PCBd (Bloque de control físico descendente), los cuales indican el instante en el que la ONU puede comenzar y terminar su transmisión ascendente. De esta manera tan sólo en un momento determinado, únicamente una sola ONU puede acceder al medio.

Los punteros son expresados en unidades de bytes, lo que permite a la OLT controlar el medio con una granularidad de ancho de banda estática efectiva de 64Kbps. Sin embargo se puede fijar los valores de los punteros con una granularidad mayor y así conseguir un control fino de anchura de banda mediante programación dinámica. Este control de acceso al medio se realiza en cada T-CONT.

1.2.4.1.1 Visión general de la subcapa de entramado GTC.^{6,14}

Antes de realizar ésta revisión se debe tener claro el concepto de GEM (GPON Encapsulation Method). En la siguiente figura se muestra la estructura de trama convencional GEM que soporta servicios TDM y Ethernet.



Figura 1.13 Estructura de trama convencional de GEM.

Fuente: Recomendación ITU-T G.984.3.

De acuerdo a la figura anterior se puede deducir los siguientes campos:

- PLI (Payload Length Identifier): Identificador de longitud de carga útil, (16 bits), permite encontrar el siguiente encabezamiento en el flujo de datos y así conseguir la alineación.
- Port ID: Identificador de puerto. Proporciona los identificadores de tráfico en la PON para así poder discriminar el tipo de tráficos existentes y de esta manera proveer multiplexación en el mismo. (12 bits).

⁶ <http://www.freepatentesonline.com/EP1467590.html>

¹⁴ Recomendaciones ITU-T G.98x

- PTI: Se utiliza para indicar el tipo de contenido del fragmento de cabida útil y su tratamiento más adecuado. La codificación de este campo de 3 bits es similar a la utilizada en el encabezamiento ATM y su codificación es la siguiente:

000 Fragmento de datos de usuario, no ha habido congestión, no es final de trama.

001 Fragmento de datos de usuario, no ha habido congestión, es final de trama.

010 Fragmento de datos de usuario, ha habido congestión, no es final de trama.

011 Fragmento de datos de usuario, ha habido congestión, es final de trama.

100 OAM GEM.

101 Reservado.

110 Reservado.

111 Reservado.

- HEC (Header Error Control): Control de errores en la cabecera. Es un campo para realizar detección y corrección de errores. (16 bits).

Ahora referente a la capa de entramado GTC, existen 3 funciones principales:

Multiplexación y demultiplexación:

Las porciones PLOAM, ATM y GEM se multiplexan en una trama TC descendente según la información de cabecera de trama. Cada porción se extrae del flujo ascendente de acuerdo con el indicador del encabezamiento, según lo indica la figura 1.13.

Creación y decodificación del encabezamiento:

La cabecera de la trama TC se crea y configura en una trama descendente. Se decodifica el encabezamiento de la trama ascendente, además se lleva a cabo OAM integrada.

Función de encaminamiento interno en función del Alloc-ID:

El encaminamiento basado en el Alloc-ID se realiza para los datos hacia/desde los adaptadores de TC de ATM y de GEM.

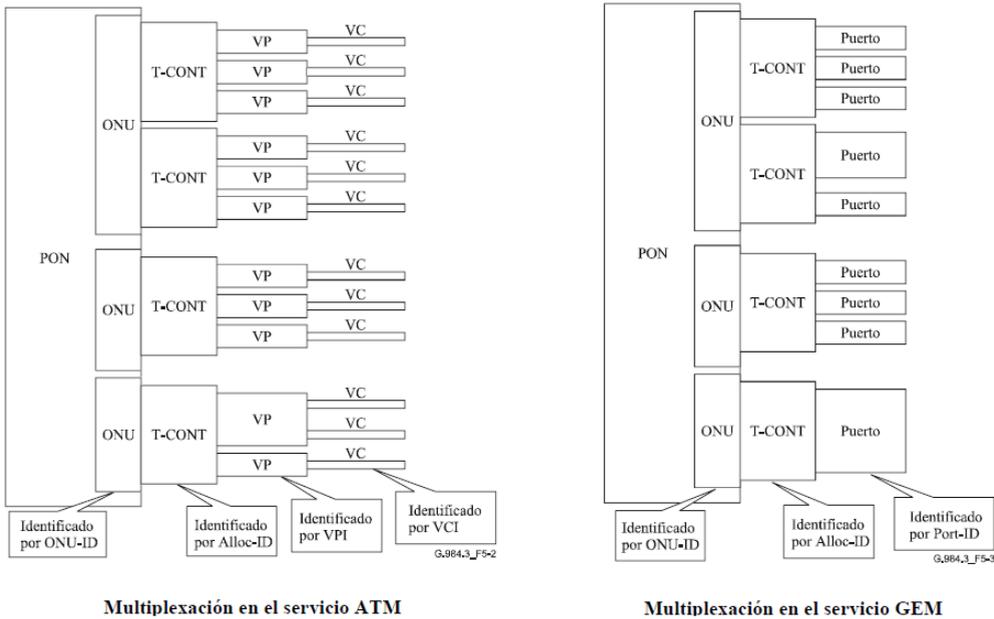


Figura 1.14 Diagramas de Bloques de Multiplexación ATM y GEM.
Fuente: Recomendación ITU-T G.984.3.

1.2.4.1.2 Visión general de la subcapa de adaptación GTC y de la interfaz para entidades superiores.

La subcapa de adaptación proporciona 3 adaptadores de TC: el adaptador TC ATM, el adaptador TC GEM y el adaptador OMCI. Los 2 primeros adaptadores delimitan las PDU ATM y GEM a partir de cada partición en la subcapa de entramado GTC haciendo que cada PDU corresponda con cada una de las particiones.

1.2.4.2 Registro de la ONU.

Se lo realiza mediante el procedimiento de auto detección. Existen 2 métodos para el registro de la ONU. En el método A, el número de serie de la ONU se registra en la OLT mediante el sistema de gestión. En el método B, el sistema de gestión no registra en la OLT el número de serie de la ONU.

1.2.5 Ejemplos de Interfaz UNI y SNI:

Con respecto a los interfaces UNI, éstos se encuentran normados e incluyen descripciones de la capa física a emplear, siendo los principales los servicios: Ethernet, RDSI, ATM, E1, T1, etc. con interfaces 10-100-1000 Base-T, STM1-4, PDH, etc.

Al igual que en los interfaces UNI, el interfaz SIN se encuentra normado e incluye una capa física a emplear, siendo los principales servicios: Ethernet, POTS, RDSI, ATM, E1, T1, etc. con interfaces 1000-Base-X, V5.2, PDH, etc.

1.2.6 Velocidad Binaria.

GPON prevé velocidades de transmisión mayores o iguales a 1,2Gbps, sin embargo en esquemas FTTH o FTTC que emplean tecnologías xDSL (Digital Subscriber Line) asimétrica, posiblemente no se necesite alta velocidad ascendente. GPON identifica 7 combinaciones que son:

155 Mbps sentido ascendente / 1,2 Gbps sentido descendente
622 Mbps sentido ascendente / 1,2 Gbps sentido descendente
1,2 Gbps sentido ascendente / 1,2 Gbps sentido descendente
155 Mbps sentido ascendente / 2,4 Gbps sentido descendente
622 Mbps sentido ascendente / 2,4 Gbps sentido descendente
1,2 Gbps sentido ascendente / 2,4 Gbps sentido descendente
2,4 Gbps sentido ascendente / 2,4 Gbps sentido descendente

1.2.7 Alcance Lógico y Alcance Físico.

El alcance lógico hace referencia a la distancia máxima entre ONU/ONT y OLT salvo el límite de la capa física. En GPON el alcance lógico máximo es de 60Km.

El alcance físico es la distancia máxima entre la ONU/ONT y la OLT, para GPON se tienen 2 opciones: 10Km y 20Km.

1.2.8 Retardo medio máximo de transferencia de la señal.

Para el estándar GPON, se permiten servicios que requieran un valor medio máximo de retardo de transferencia de la señal de 1,5ms.

1.2.9 Relación de División.

En una red GPON, cuanto más grande sea la relación de división, más atrayente será para los operadores, sin embargo implica un divisor óptico más grande, esto inevitablemente repercutirá en que la potencia del transmisor sea mayor, caso contrario no podría llegar a su destino.

Actualmente las redes GPON tienen un nivel de "splitteo" de hasta un 1:64 pudiendo llegar para configuraciones futuras de hasta 1:128.

1.2.10 Protección en la Sección PON.

Si se toma en consideración la gestión de la red de acceso, se considera que una protección mejora la fiabilidad de los servicios, sin embargo la implementación de la misma estará en función del presupuesto económico disponible.

De manera similar a los sistemas de protección empleadas en SDH (Synchronous Digital Hierarchy), existen 2 tipos posibles de conmutación:

- Conmutación automática: Se activa cuando se detecta una pérdida o una avería en la señal, sea por degradación (BER, Bit Error Ratio > Umbral determinado) o por pérdida de trama.
- Conmutación Forzada: Debido a trabajos de mantenimiento, sustitución de fibra, etc.

Es la función OAM la encargada de realizar esta conmutación, por lo que en su trama tiene información respecto a protección.

Las configuraciones físicas se les denominan GPON dúplex y entre sus principales variaciones se tienen:

- Sistemas de fibras dúplex: se duplican las fibras entre el divisor óptico "splitter" y la OLT, o sea existen 2 rutas.
- Sistemas dúplex únicamente en la OLT: se duplican las OLTs y las fibras que comunican éstas últimas con el divisor óptico. El divisor óptico tiene 2 salidas. En caso de fallo, solo se puede recuperar el extremo de la OLT.
- Sistemas dúplex completo.
- Sistemas dúplex parcial.

1.2.11 Tipos conectables de OLT y ONU. ¹⁴

Existen varios tipos, tales como ATM, GEM y de modo dual, por lo que a continuación se presenta una tabla que indica cuáles tipos tienen compatibilidad para trabajar.

		OLT		
		GEM	Dual	ATM
ONU	GEM	X	X	N/A
	Dual	X	X	X
	ATM	N/A	X	X

Tabla 1.1 *Compatibilidad de OLTs y ONUs.*
Fuente: Recomendación ITU-T G.984.3.

1.2.12 Flujos de tráfico y calidad de servicio (QoS).

Existen relaciones entre la GTC y los flujos de tráfico de usuario. Las características de QoS en una PON están controladas mediante la GTC.

Relaciones entre la GTC y los datos de usuario.

1. Servicio ATM.

El sistema GTC toma en cuenta la gestión del tráfico de los T-CONT identificándose cada T-CONT mediante un Alloc-ID. Cada uno de los T-CONT puede incluir uno o más trayectos virtuales, y cada VP (virtual path) puede incluir uno o más VC (virtual container).

La OLT supervisa la cabida de tráfico en cada T-CONT y realiza los ajustes necesarios de las atribuciones de la anchura de banda para distribuir adecuadamente los recursos de la PON.

El sistema GTC no observa ni mantiene las relaciones de QoS de los respectivos VP ó VC ya que son los clientes ATM situados a ambos lados de la PON los que deben hacerlo.

¹⁴ Recomendaciones ITU-T G.98x.

2. Servicio GEM.

El sistema GTC toma en cuenta la gestión del tráfico de los T-CONT, identificándose cada T-CONT mediante un Alloc-ID. Cada uno de los T-CONT puede incluir uno o más Port-ID de GEM.

La OLT supervisa la cabida de tráfico en cada T-CONT y realiza los ajustes necesarios de las atribuciones de ancho de banda para distribuir adecuadamente los recursos de la PON. El sistema GTC no observa ni mantiene las relaciones de QoS de los respectivos Port-ID, ya que son los clientes GEM situados a ambos lados de la PON los que deben hacerlo.

Conceptos para atribución de recursos.

Los recursos se asignan a cada enlace lógico de forma dinámica o estática. Para el caso de una asignación dinámica la OLT investiga el estado de congestión examinando los informes de DBA de la ONU y/o supervisando el tráfico entrante. Para el caso de una distribución estática, la OLT asigna un ancho de banda de conformidad con los recursos provisionados.

Garantía de QoS.

Las funcionalidades DBA proporcionan varios tipos de calidad de servicio. La capa TC de G-PON especifica 5 tipos de T-CONT. De acuerdo con los requisitos de QoS cada tipo de T-CONT puede transportar VCC o VPC conformados por diversos descriptores de tráfico.

En caso de GEM, “Célula ATM” se sustituye por “Bloque de longitud fija”. Las conexiones GEM identificadas por el puerto pueden ser conformadas mediante determinados descriptores de tráfico.

Para finalizar, se puede indicar que en lo que respecta al problema de QoS, los proveedores pueden afrontar este problema desde varios frentes, siendo uno de ellos el diferenciar servicios tipo 802.1p (estándar que proporciona priorización de tráfico y filtrado multicast dinámico. Proporciona un mecanismo de QoS a nivel de MAC – Media Access Control), el cual prioriza el tráfico por niveles de servicio. Otra técnica es la Reserva de Ancho de Banda, el cual garantiza una latencia para que el tráfico de voz no tenga que lidiar con el tráfico de datos.

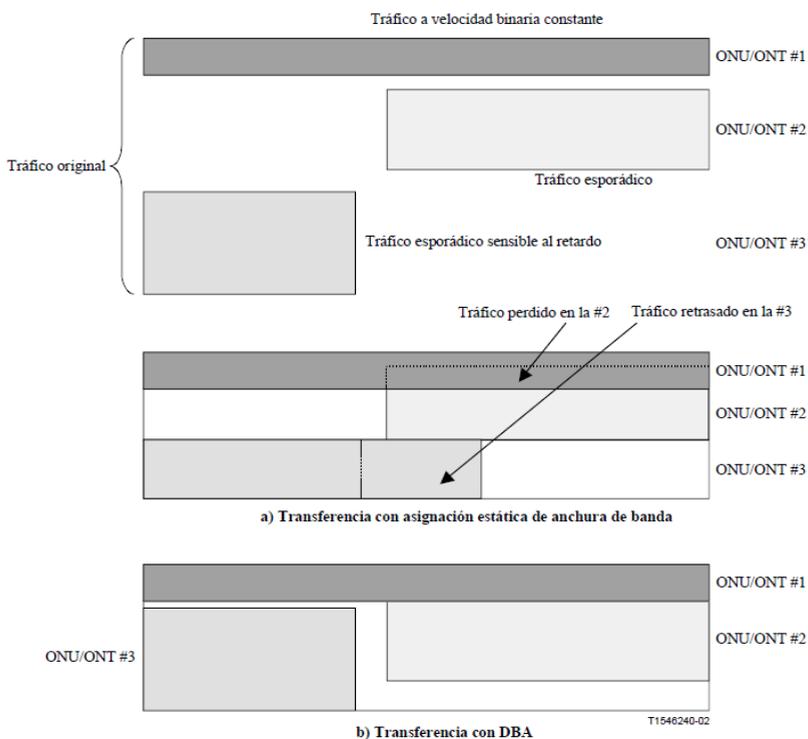
1.2.12.1 Especificaciones de la asignación dinámica del ancho de banda (DBA).¹⁴

El ancho de banda asignado puede ser de 4 tipos:

- Prioridad 1. (Máxima prioridad): Ancho de banda fijo.
- Prioridad 2: Ancho de banda asegurado.
- Prioridad 3: Ancho de banda no asegurado.
- Prioridad 4: Ancho de banda residual (También puede fijarse la anchura de banda máxima en ciertos casos).

La asignación dinámica de ancho de banda (DBA) permite aprovechar mejor este recurso de la PON. Las ventajas de orden práctico son:

- Se puede incorporar más abonados en la PON gracias a este tipo de asignación.
- Los clientes pueden disfrutar de servicios mejorados.



Comparación entre el mecanismo actual y la DBA

Figura 1.15 Comparación entre los asignamientos de ancho de banda, Estático y Dinámico.

Fuente: Recomendación ITU-T G.983.4.

¹⁴ Recomendaciones ITU-T G.98x.

En el gráfico anterior se realiza una comparativa entre un mecanismo estático y DBA, donde se representan tres ONU/OLT etiquetadas como N° 1, N° 2 y N° 3. La ONU/OLT N° 1 requiere que la velocidad binaria del tráfico sea constante, sin embargo la ONU/OLT N° 2 están sometidas a tráfico esporádico mientras la ONU/OLT N° 3 sufrirá un retardo.

Se puede apreciar también que si se emplea una distribución estática (parte a), se perdería el tráfico procedente de la ONU/OLT N° 2 y que el tráfico de la ONU/OLT N° 3 tendría un retardo; mientras que empleando una distribución dinámica (parte b), caben los tres tipos de tráfico.

Requisitos para la DBA.

Las funcionalidades de DBA deben realizarse en cada T-CONT y tienen las siguientes partes:

- Detección del estado de congestión por la OLT y/o la ONU.
- Informe del estado de congestión a la OLT.
- Actualización del ancho de banda asignado por la OLT de conformidad con los parámetros provisionados.
- La OLT genera concesiones de conformidad con el ancho de banda actualizado y los tipos de T-CONT.
- Aspectos relativos a la gestión para las operaciones de DBA.

Tipos de T-CONT y parámetros Operacionales.

Un T-CONT son esencialmente “tuberías” que transportan VP o VC ATM y como se mencionó anteriormente existen 5 tipos, y cada uno se caracteriza por parámetros operacionales (Rec. ITU-T G.983.4), los cuales pueden resumirse a continuación:

- ATM: El número de células.
- GEM: EL número de bloques de longitud fija.

T-CONT de tipo 1:

Emplea únicamente ancho de banda fijo el cual será asignado con una velocidad fija, independientemente de si las células se envían o no. Este tipo de T-CONT puede aceptar cualquier QoS. Las OLT con DBA aceptan tráfico en tiempo real como aplicación de este tipo de T-CONT. Puede ser empleado para servicios existentes tales como DS1, E1, etc.

T-CONT de tipo 2:

Se caracteriza por emplear únicamente un ancho de banda asegurado, lo que se puede entender como ancho de banda promedio fijo en un intervalo de tiempo específico. Es decir, aunque el T-CONT de tipo 1 garantice el retardo de transferencia, la variación del retardo y la velocidad de transmisión; el T-CONT de tipo 2 únicamente garantiza la velocidad de transmisión media y está únicamente soportado en las OLT con DBA.

Este T-CONT acepta todas las clases de servicio excepto los de la clase de T-CONT 1, o sea los servicios que se efectúan en tiempo real.

T-CONT de tipo 3:

Este tipo de T-CONT tiene un ancho de banda asegurado y un ancho de banda no asegurado. Se debe asignar a este tipo de T-CONT un ancho de banda equivalente al ancho de banda asegurado únicamente cuando tenga celdas a una velocidad mayor o igual al ancho de banda asegurado o sea:

- Ancho de banda asegurado: Suministrado.
- Ancho de banda no asegurado: Dinámica.
- Ancho de banda máximo: Suministrado.

Este T-CONT acepta la transmisión a velocidad binaria variable con clases de QoS excepto los de clase 1.

T-CONT de tipo 4:

Este tipo de T-CONT únicamente tiene un ancho de banda residual y no un ancho de banda garantizado. Este tipo de “tubería” empleará únicamente ancho de banda que no haya sido asignado como ancho de banda fijo, ancho de banda asegurado o ancho de banda no asegurado a otros T-CONT de la PON.

El ancho de banda residual se asigna a cada uno de los T-CONT de tipo 4 de manera equitativa, o sea:

- Ancho de banda residual: Asignación dinámica.
- Ancho de banda máxima: Suministrada.

Los mecanismos de transferencia de celdas del T-CONT y las políticas de suministro para garantizar la QoS al nivel de ATM dependen de la implementación de la ONU/ONT.

T-CONT de tipo 5:

Este tipo de T-CONT es el superconjunto de todos los tipos de “tuberías”, por lo que se puede aceptar cualquier QoS descrito (en la tabla grande) y puede simplificarse a uno o varios de los demás tipos de T-CONT, o sea:

- Ancho de banda fija: Suministrado.
- Ancho de banda asegurado: Suministrado.
- Ancho de banda no asegurado: Asignación dinámica.
- Ancho de banda residual: Asignación dinámica.
- Ancho de banda máxima: Suministrado.

Los mecanismos de asignación dependen de la implementación.

Este tipo de “tuberías” pueden soportar cualquier tipo de aplicación, incluidas las de tiempo real o de recurso garantizado. Puede aplicarse a cualquier QoS.

En la tabla 1.2 se relaciona los diversos tipos de ancho de banda y el tipo de T-CONT mientras que en la tabla 1.3 los tipos de QoS.

	Sensible al retardo	Tipo de Asignación	Tipos de T – CONT				
			1	2	3	4	5
Fija	Si	Proporcionada	X				X
Asegurada	No	Proporcionada		X	X		X
No asegurada	No	Dinámica			X		X
Residual	No	Dinámica				X	X

Nota: En los tipos 3,4 y 5, el ancho de banda asignable tiene el límite superior especificado por el Ancho de banda máxima que debe suministrarse para estos tipos.

Tabla 1.2 Resumen del Ancho de Banda Asignable.

Fuente: Recomendación ITU-T G.983.4.

QoS de ATC de la UIT	Categoría de servicio del foro ATM	Tipos de T – CONT				
		1	2	3	4	5
DBR [1]	CBR	X				X
DBR [2]	VBR.1-nrt (SCR=PCR)	X	X	X		X
DBR [U]	UBR.1	X	X	X	X	X
SBR1 [1]	VBR.1-rt	X				X
SBR1 [2]	VBR.1-rnt	X	X	X		X
SBR1 [U]	UBR.1	X	X	X	X	X
SBR2 [3]	VBR.2-nrt	X	X	X		X
SBR2 [U]	UBR.1	X	X	X	X	X
SBR3 [3]	VBR.3-nrt	X	X	X		X
SBR3 [U]	UBR.2	X	X	X	X	X
ABT/DT [1], ABT/IT [1]	-	X				X
ABT/DT [2], ABT/IT [2]	-	X	X	X		X
ABT/DT [U], ABT/IT [U]	-	X	X	X	X	X
ABR [3]	ABR	X	X	X		X
ABR [U]	ABR	X	X	X	X	X
GFR	GFR	X	X	X		X

Tabla 1.3 Relación entre la QoS de ATC y los tipos de T-CONT.

Fuente: Recomendación ITU-T G.983.4.

1.2.13 Rangos de Atenuación en GPON.

Para las especificaciones de atenuación se consideran los casos más desfavorables, esto incluyen las pérdidas en los empalmes, conectores, atenuadores ópticos y todo desperfecto que pueda ser atribuible al cable de fibra.

Para esto se especifican 3 rangos de atenuación que son:

- Clase A: 5-20 dB.
- Clase B: 10-25 dB.
- Clase C: 15-30 dB.

1.2.14 Sensibilidad Mínima.

Es el valor mínimo aceptable de la potencia media recibida para obtener una BER de 10^{-10} .

1.2.15 Pérdida del Trayecto Óptico Diferencial.

Está definida como la diferencia de pérdida de trayecto óptico entre la pérdida de trayecto óptico mas alta y la mas baja para un misma ODN. El máximo valor debe ser de 15dB.

1.2.16 Calidad Media de Transmisión.

La calidad media de transmisión debe tener una tasa muy baja de errores de bit, esto es menor a 10^{-9} a través de todo el sistema PON. Un objetivo de tasa de error requerido para componentes locales debe ser mejor que 10^{-10} .

1.3 Descripción General de las redes de acceso óptico.

Se denomina “Red de Acceso”, a la infraestructura final de las redes de telecomunicaciones que se encargan de unir el/los equipos de la central del proveedor del servicio con el usuario final.

Es considerada como la sección de la red de telecomunicaciones encargada de interconectar los equipos de los clientes con los equipos de terminales de la red del operador prestador del servicio. Los principales elementos que conforman una red de acceso son: el medio físico de transmisión (par de cobre, cable coaxial, fibra óptica, aire), equipos de telecomunicaciones (acceso DSL, Acceso óptico y antenas) y los empalmes ó dispositivos de interconexión (tales como son empalmes tanto para par trenzado como para fibra óptica, cajas de distribución, etc.)

1.3.1 Redes FTTx.^{7,8}

La red de acceso local puede ser activa o pasiva, y puede tener una arquitectura punto a punto como punto a multipunto. En la siguiente figura se presenta las diferentes arquitecturas disponibles las cuales pueden ser resumidas como “fibra hasta alguna parte...”, esta descripción puede ser revisada en la recomendación ITU – T G.984.1.

⁷ CORTEZ, Francisco, LAIN José. (2012). “FTTx: El futuro de la banda ancha”, TELNET, España.

⁸ LATTANZI, Miguel, GRAF, Agustín. (2008). “Redes FTTx Conceptos y Aplicaciones”, IEEE Argentina

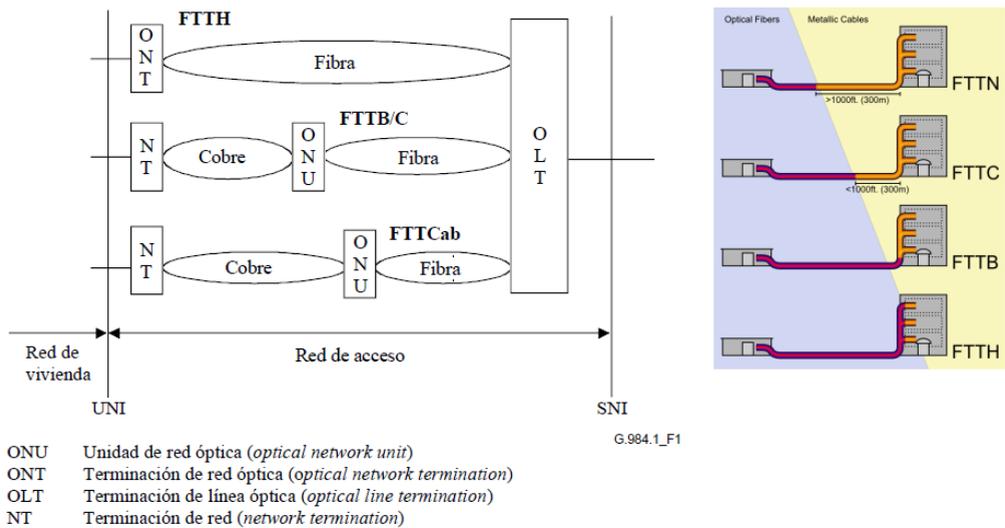


Figura 1.16 Topologías de Red FTTx.

Fuente: Recomendación ITU-T G.984.1 y

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/9e/FTTx.svg/220px-FTTx.svg.png>

Las diferencias entre las diversas topologías FTTx radican en los servicios que pueden prestarse, para lo cual se tiene el siguiente resumen.

FTTN (Fiber To The Node): Servicios de 30 Mbps, cobertura de 200 – 500 hogares por fibra, se emplean redes de fibra y de cobre, ambas outdoor.

FTTC (Fiber To The Curb): Servicios de 50 Mbps, cobertura de 10 – 100 hogares por fibra, se emplean redes de fibra y de cobre, ambas outdoor. Puede ser empleada para interconectar edificios.

FTTB (Fiber To The Building): Servicios de 100 Mbps, cobertura de 32 hogares por fibra, se emplean redes de fibra outdoor y de cobre indoor.

En esta configuración la OLT es ubicada en las centrales telefónicas (Oficina Central) mientras que los splitters son ubicados en el cuarto de telecomunicaciones de cada piso del edificio según el número de suscriptores.

FTTH (Fiber To The Home): Servicios de 100 Mbps o superiores, cobertura de 32 hogares por fibra, se emplean redes de fibra en todo el trayecto que comunica a los usuarios en enlaces dedicados. Se puede proveer de mayor ancho de banda por usuario, sin embargo como principal desventaja es que se requieren cables de fibra con un mayor número de hilos.

A continuación se presenta un ejemplo de las topologías FTTx:

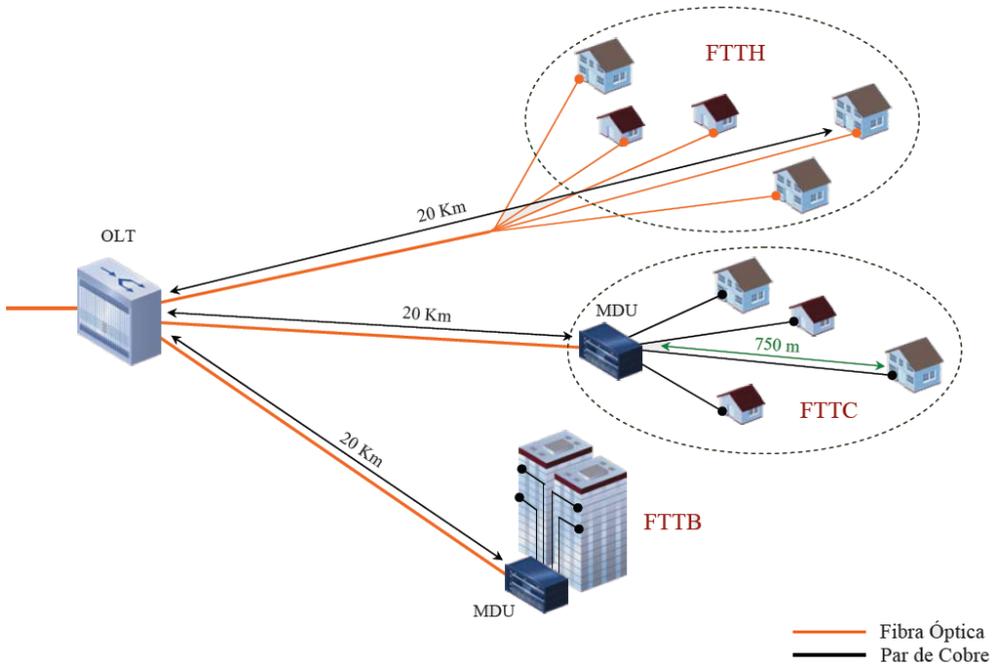


Figura 1.17 Ejemplo de Topologías de Red FTTx.

Fuente: Redes FTTX “Conceptos y Aplicaciones”, Tutorial 9, Lattanzi y Graf – IEEE.pdf

1.3.2 Redes PON ^{9,10,11}

PON es una tecnología punto-multipunto en la cual todas las transmisiones se realizan entre la OLT y la ONU. La ONU está ubicada en el domicilio del usuario empleando un esquema tipo FTTH.

Existen varios tipos de topologías para el acceso a red, algunas de ellas incluyen en anillo (no muy usadas), árbol, bus, etc. Cada una de las derivaciones se realizan colocando en cascada divisores ópticos con relación 1:2 ó 1: N, en la siguiente figura se puede apreciar la topología básica.

⁹ <http://www.dslreports.com/faq/1289>

¹⁰ <http://www.birds-eye.net/definition/acronym/?id=1158794635>

¹¹ <https://www.silabs.com/APPLICATIONS/COMMUNICATIONS TELECOM/ Pages/ONU.aspx>

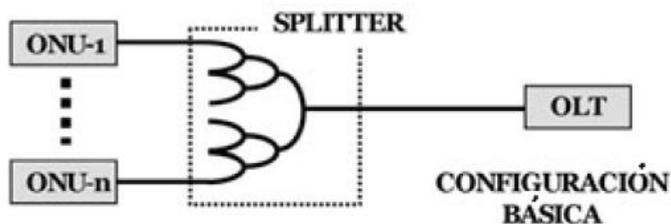


Figura 1.18 *Topologías Básica de una Red PON.*
Fuente: <http://www.bird-eye.net/definition/acronym/?id=1158794635>

El equipo OLT gestiona el total del ancho de banda que se distribuye a los usuarios mediante Multiplexación TDM a las ONUs. Para los canales descendente y ascendente una PON emplea configuraciones Punto – Multipunto y Punto – Punto respectivamente.

Para optimizar las transmisiones tanto ascendentes como descendentes y evitar que se interfieran entre sí, se emplea multiplexación por división de longitud de onda, la cual, divide cada una de las componentes que permiten la transmisión de cada servicio. En la siguiente figura se puede apreciar este esquema:

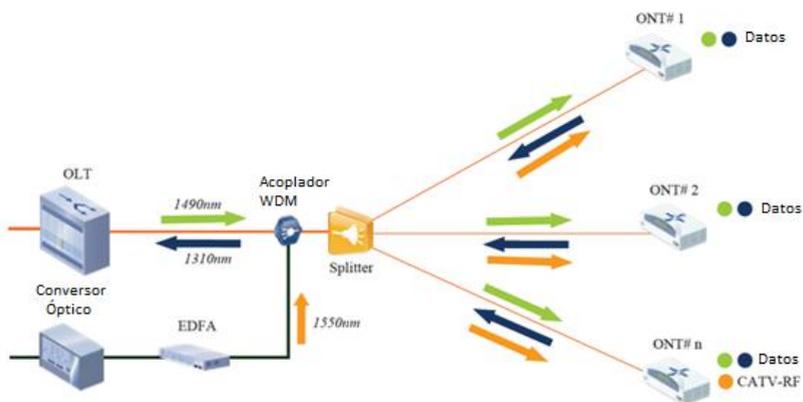


Figura 1.19 *Funcionamiento de una Red PON.*
Fuente: Redes FTTX “Conceptos y Aplicaciones”, Tutorial 9, Lattanzi y Graf – IEEE.pdf

1.3.2.1 Acción Downstream.

La OLT envía el tráfico utilizando un esquema broadcast, siendo la red óptica totalmente transparente al envío de datos. Cada ONT verifica su dirección en el encabezado de cada una de las tramas. Debido a que cada una de las ONTs recibe el total de la información transmitida, es necesario que ésta se encuentre encriptada. La OLT determina y notifica a cada una de las ONTs los correspondientes time slots asignados por los cuales se realizará envío de datos, estas acciones se las puede visualizar en la siguiente figura:

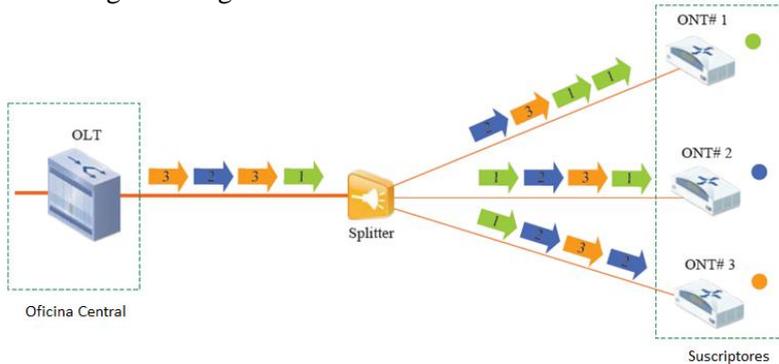


Figura 1.20 Downstream en una Red PON.

Fuente: Redes FTTX “Conceptos y Aplicaciones”, Tutorial 9, Lattanzi y Graf – IEEE.pdf

1.3.2.2 Acción Upstream.

En este caso la ONT toma el tráfico del puerto del usuario y lo mapea en tramas GEM (GPON-Encapsulation Method). Los datos son transmitidos por medio de los time slots asignados por el OLT a cada una de las ONTs en un esquema de transmisión TDMA. Para este tipo de transmisión se requiere de un preciso sincronismo el cual permita evitar colisiones en las transmisiones; el mapeo del ancho de banda de cada ONT se realiza a través de DBA. El esquema es el siguiente:

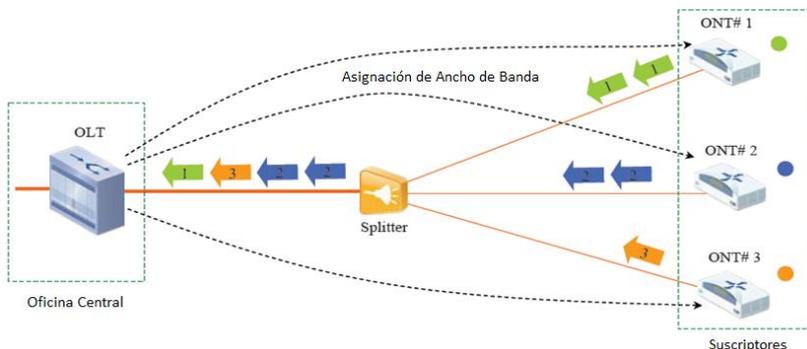


Figura 1.21 Upstream en una Red PON.

Fuente: Redes FTTX “Conceptos y Aplicaciones”, Tutorial 9, Lattanzi y Graf – IEEE.pdf

1.3.2.3 Tecnología BPON (Broadband PON).

- Estándar ITU-T G.983.3
- Tasa de Transmisión en Downstream: 155/622/1244 Mbps.
- Tasa de Transmisión en Upstream: 155/622 Mbps.
- Factor de Splitting 1:32.
- Emplea un esquema de transporte ATM.
- Permite transporte de señales CATV-RF.
- Provee protección de los puertos PON.
- Para downstream emplea un sistema de seguridad AES.
- No existe corrección de errores por FEC.
- Es la tecnología más desplegada, y está considerada como el primer estándar con uso masivo. Soporta distancias de hasta 20 Km.
- Costo elevado y limitaciones técnicas.

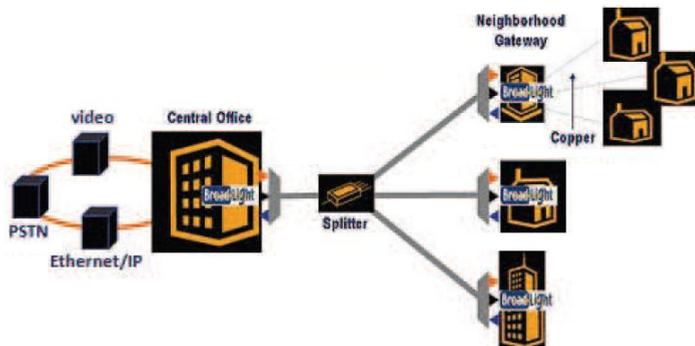


Figura 1.22 Esquema de BPON.

Fuente: Teledata Networks, Ethernet en la Primera Milla.pdf

1.3.2.4 Tecnología EPON (Ethernet PON).

- Estándar IEEE 802.3ah
- Primer borrador hecho en el 2000.
- Tasa de Transmisión en Downstream: 1.2 Gbps.
- Tasa de Transmisión en Upstream: 1.2 Gbps.
- Splitting Factor de 1:16 y 1:32.
- Emplea un esquema de transporte mediante el uso de tramas Ethernet.
- No permite el transporte de señales CATV-RF.
- No existe un sistema de protección de los puertos PON.
- No existe un sistema de seguridad para el Downstream.
- Existen sistemas de detección y corrección de errores por FEC.
- Es la tecnología con mayor despliegue en los últimos años pero que ha sufrido un gran estancamiento.
- Alcance de hasta 20Km.

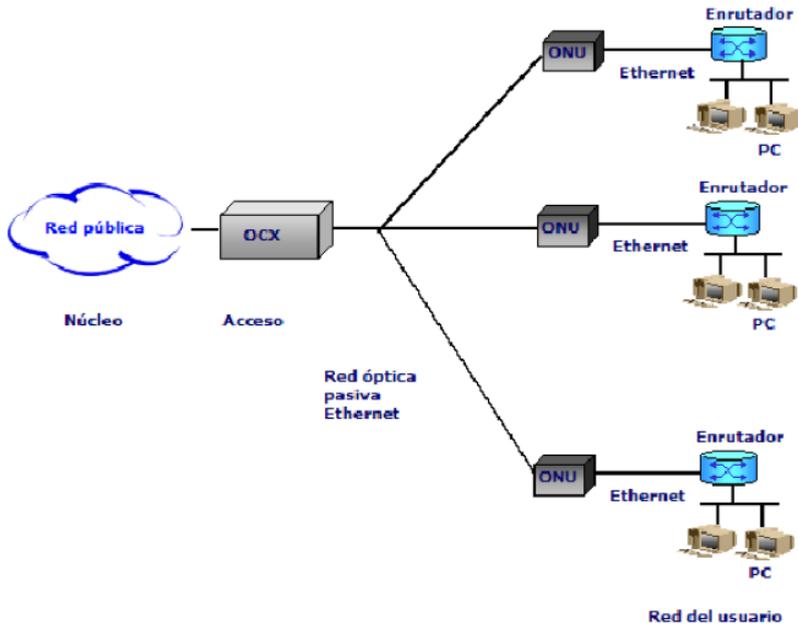


Figura 1.23 Esquema EPON.

Fuente: Teledata Networks, Ethernet en la Primera Milla.pdf

1.3.2.5 Tecnología GPON.

- Estándar ITU-T G.984.x.
- Primer borrador hecho en el 2002.
- Tasa de Transmisión en Downstream: 1.2 Gbps / 2.4 Gbps.
- Tasa de Transmisión en Upstream: 1.2 Gbps / 2.4 Gbps.
- Factor de Splitting de 1:64 y de 1:128 (en desarrollo).
- Eficiencia del 93% para todos los tipos de tráfico de los diferentes servicios.
- Emplea un esquema de transporte a través de tramas GEM.
- Permite transportar señales de CATV-RF.
- Provee protección a los puertos PON.
- Para downstream emplea un mecanismo de seguridad AES.
- Proporciona sistemas de detección y corrección de errores por FEC.
- Es la tecnología mas reciente y es la que más terreno ha ganado en lo que respecta a redes de acceso por fibra óptica.

Tanto para EPON como para GPON que transportan fast Ethernet sobre redes ópticas pasivas que emplean arquitecturas punto multipunto, se pueden ofertar servicios tales como FTTP (Fiber To The Premises – fibra hacia las instalaciones o nodos externos) y FTTH. Esta arquitectura puede reemplazar fácilmente a tecnologías DSL.

1.4 Análisis del Estándar GPON.¹⁴

En términos generales consiste de un conjunto de recomendaciones G.984.x de la UIT-T en donde se describen las técnicas para compartir un medio común (en este caso la fibra) por varios usuarios, encapsular la información y gestionar los elementos de red. Un esquema básico de este tipo de red se presenta en la siguiente figura:

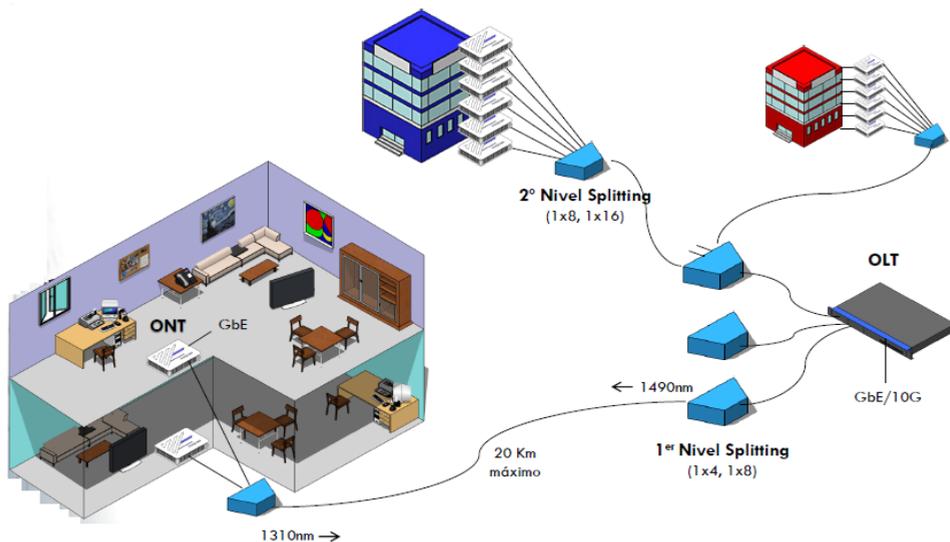


Figura 1.24 Esquema GPON.

Fuente: <http://www.ccapitalia.net/img/teleco-gpon-conceptos-generales.jpg>

Esta tecnología ofrece mayor ancho de banda, una mejor eficiencia de transporte para los servicios IP y cuenta con una especificación completa para ofrecer todo tipo de servicios, además ofrece mejoras sobre tecnologías anteriores como APON y BPON, que ofrecían velocidades menores y estaban basadas en ATM que tenían problemas de costos y complejidad.

La convergencia en GPON de la voz, datos y video sobre la misma infraestructura IP, significa para los operadores más ingresos, menos complejidad, más flexibilidad y capacidad para acomodar tanto servicios actuales como futuros, de esta manera se podrá captar una mayor cantidad de usuarios manteniendo los actuales.

¹⁴ Recomendaciones ITU-T G.98x

Esta tecnología de red de acceso tiene como característica una estructura de trama escalable, la cual va de 622 Mbps hasta 2,488 Gbps, así como soporte de tasas de bit asimétricas. La velocidad común utilizada por los actuales proveedores de equipos GPON es de 2,488 Gbps en canal descendente (downstream) y de 1,244 Gbps en canal ascendente (upstream), con ciertas configuraciones se puede proporcionar hasta 100Mbps por abonado.

El método de encapsulación que emplea GPON es GEM (GPON Encapsulation Method, ver numeral 1.2.4.1.1) el cual permite soportar cualquier tipo de servicio (sea Ethernet, TDM ó ATM), en un protocolo de transporte síncrono basado en tramas periódicas de 125 us. La pila de protocolos empleados se establecería el siguiente orden: Ethernet sobre GEM y éste sobre TDM/TDMA.

Por estas razones GPON no solo ofrece mayor ancho de banda que sus tecnologías predecesoras, sino que también es mucho más eficiente, permitiendo a los operadores de telecomunicaciones continuar ofreciendo los servicios tradicionales sin que exista la necesidad de cambiar los terminales instalados en las dependencias de los clientes.

GPON también implementa capacidades de OAM (Operation Administration and Maintenance, ver numeral 1.4.13) avanzadas, ofreciendo una potente gestión del servicio extremo a extremo como:

- Descubrimiento de nuevos usuarios.
- Monitorización de tasas de error, alarmas, eventos, etc.

Otra de las características clave de GPON es su capacidad de sobre suscripción, lo que permite a los operadores proporcionar a sus abonados más tráfico cuando lo necesiten y que cuando no haya otros clientes en la misma PON se les asigne el ancho de banda disponible. Esta funcionalidad es conocida como asignación dinámica del ancho de banda DBA (Dynamic Bandwidth Allocation, ver numerales 1.2.11.1 y 1.4.7).

Arquitectura de la red GPON.

Como se muestra en la figura 1.23, la red GPON está compuesta de un equipo OLT ubicado en la oficina central y de las ONTs que están ubicadas en las dependencias de los abonados, esto para el caso que se trate de un esquema FTTH. La OLT cuenta con varios puertos GPON, cada uno soportando hasta 64 ONTs, aunque dependiendo del operador, existen sistemas que pueden alojar hasta 7.168 ONTs.

El tráfico de downstream (el cual va desde las OLT hasta las ONTs.) es transmitido en una longitud de onda de 1490 nm (generalmente empleada para tráfico de datos Internet, VoIP, IPTV, etc.), para luego pasar a través de un divisor pasivo

(denominado splitter) el cual a su vez divide la señal de entrada en varias salidas, pudiendo de ésta manera distribuir el tráfico entre todas las ONTs.

Puede existir una serie de divisores pasivos 1: n (donde $n = 2, 4, 8, 16, 32$ ó 64) en distintos lugares hasta alcanzar a todos los abonados, en una arquitectura punto – multipunto (o topología de árbol). Respecto al tráfico Upstream (el cual va desde las ONTs hasta la OLT), éste es transmitido en una longitud de onda de 1310 nm, esto con el objeto de evitar colisiones.

Para el tráfico downstream, se realiza un broadcast óptico, esto es que el mensaje de procesamiento llegara a todas las ONTs, pero únicamente una sola ONT será capaz de procesar el tráfico que le corresponde (o para el cual tenga acceso el operador), gracias a las técnicas de seguridad AES (Advanced Encryption Standard).

Para el tráfico upstream, los protocolos que se basan en un esquema TDMA (Time Division Multiple Access) aseguran la transmisión sin colisiones; además a través del uso de WDM (Wavelength Division Multiplexing) se puede asignar una tercera longitud de onda, que puede ser de 1550 nm, y en ocasiones se la emplea para realizar el broadcast de video RF (broadcast analógico y digital, HDTV y video bajo demanda).

1.4.1 Normalización (Recomendaciones ITU-T).

Se tienen principalmente las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU-T, las cuales se pueden resumirse de la siguiente manera:

- Serie G.984.x GPON
 - G.984.2: Nivel Físico.
 - G.984.3: Transmisión.
 - G.984.4: OMCI.
 - G.984.5: Ampliación de bandas WDM.
 - G.984.6 y G.984.7: GPON de largo alcance.

- Serie G.987.x XG-PON
 - G.987.2: Nivel Físico.
 - G.987.3: Transmisión.
 - G.987.4: Extensión de alcance.

- Serie G.988 OMCI aplicable a XG-PON.

Sin embargo, debido a la gran popularidad de éste estándar, se tienen también reportes técnicos, los mismos que son de gran utilidad en el análisis y diseño de este tipo de

redes, siendo uno de ellos el Broadband Forum, en el que se pueden encontrar los siguientes reportes:

- TR-069: Gestión en banda de equipo de usuario (CPE).
- TR-156: Modelo de referencia de etiquetado y agregación de tráfico.
- TR-167: Arquitectura servicios para nodos de acceso Ethernet con interfaz GPON.
- TR-247: Test de conformidad de ONT.
- TR-255: Interoperabilidad GPON.

A manera de resumen se tiene el siguiente esquema con las recomendaciones básicas asociadas al estándar:

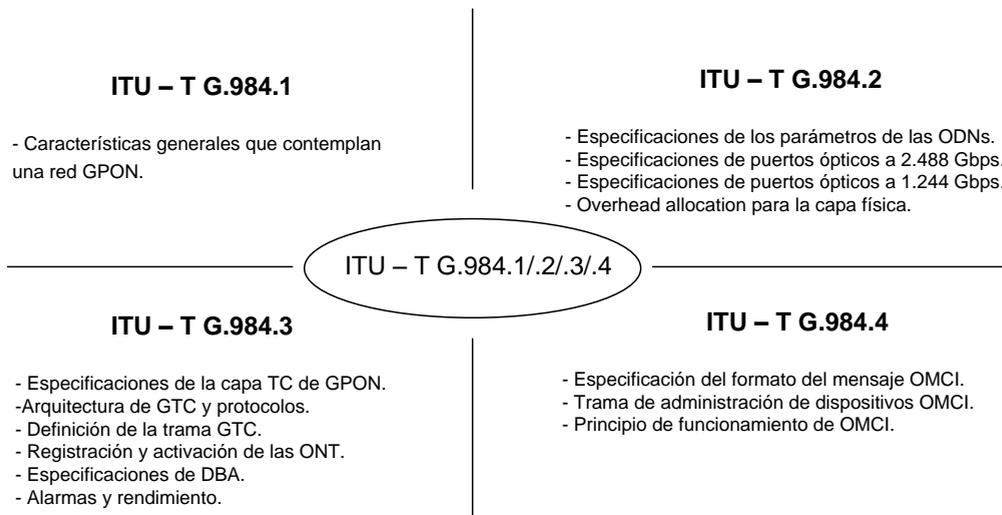


Figura 1.25 Mapa Normas ITU-T G.984.X.
Fuente: Autores.

1.4.2 Parámetros Básicos de Rendimiento de una Red GPON. ¹⁴

En términos generales se tienen los siguientes parámetros:

- Velocidades de Transmisión:
 - 0.15552 Gbps UP; 1.24416 Gbps DOWN.
 - 0.62208 Gbps UP; 1.24416 Gbps DOWN.
 - 1.24416 Gbps UP; 1.24416 Gbps DOWN.
 - 0.15552 Gbps UP; 2.48832 Gbps DOWN.

¹⁴ Recomendaciones ITU-T G.98x

- 0.62208 Gbps UP; 2.48832 Gbps DOWN.
- 1.24416 Gbps UP; 2.48832 Gbps DOWN.
- 2.48832 Gbps UP; 2.48832 Gbps DOWN.

Estas velocidades pueden ser medidas con un reloj Stratum-1 (precisión de 1×10^{-11}), para velocidades mas bajas con relojes Stratum 3 y 4 (precisión $4,6 \times 10^{-6}$ y $3,2 \times 10^{-5}$ respectivamente).

- Código de Línea: NRZ (non return to zero) para ambos sentidos.
- Longitud de Onda de Trabajo: 1480-1500nm (sentido descendente, con una sola fibra) y de 1260-1360nm (sentido descendente, con dos fibras) /1260-1360nm.
- Alcance Lógico: 60Km.
- Alcance Físico: 20Km.
- Máxima Distancia Diferencial de Fibra: 20Km.
- Split ratio : 1 :64 / 1 :128

1.4.3 Protocolo de Control Multipunto MPCP (Multi-Point Control Protocol).^{15,16}

Para el control de acceso a la red en una topología Punto-Multipunto, xPON usa el protocolo de control multipunto. El protocolo de control de acceso al medio (MAC) de la señal Ethernet original, no podrá operar de manera adecuada en el sentido upstream, así que se emplea MPCP, desarrollado por el grupo IEEE 802.3ah.

El protocolo MPCP proporciona:

- Autodescubrimiento (registro y ranging): éstas son operaciones propias para las ONUs recientemente conectadas y descubiertas.
- Una estructura de señalización completa: posee un plan de control para la coordinación de la transmisión de datos en sentido upstream.

Además todos los algoritmos de DBA (Dynamic bandwidth Allocation), están contruidos en la parte superior de las capas MPCP y se emplean mensajes de señalización que se denominan: Grant/Gate y Report.

Con estos mensajes, el algoritmo MPCP realiza una administración entre las ONUs (figura siguiente) que se encuentran adheridas a la red PON; para lo cual cada una de las ONU está provista de un conjunto de paquetes predefinidos para obtener priorización y políticas de paquetes de datos.

¹⁵ Tutorial EPONs (2007). Revolution in Access Network, Siemens Communications.

¹⁶ Multi-Point Control Protocol (MPCP), Common Framework.PDF.

El mensaje de Report, es enviado por la ONU para reportar un requerimiento del ancho de banda o un para informar un estado de encolamiento (ver numeral 1.4.6).

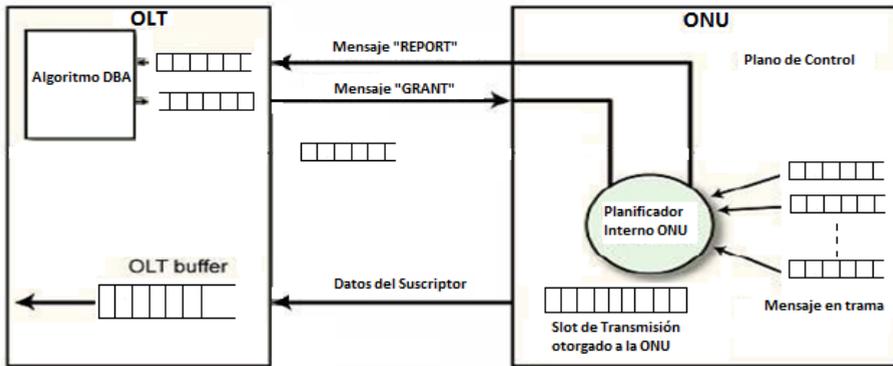


Figura 1.26 Administración de las ONUs.

Fuente: Tutorial EPONs – Revolution in Access Network de Siemens Communications

Como máximo se permiten 8 reportes encolados por cada ONU en un mensaje Report. El MPCP ofrece recursos de optimización de red, la cual es negociada mediante parámetros ópticos; además se reduce el mal desempeño de la red y se completaría el ancho de banda bajo demanda.

1.4.3.1 Operación Básica del MPCP. ¹⁶

- a. La ONU envía un mensaje “Report” al OLT.
- b. El OLT recibe el mensaje “Report”.
- c. El algoritmo DBA estima el tamaño del time spot para la ONU en sentido upstream.
- d. El organizador del OLT procederá a estimar un tiempo de transmisión para la ONU.
- e. El mensaje de “Grant” está definido para la ONU.
- f. El mensaje de “Grant” tendrá un tiempo definido, y estará dado con el valor del reloj del OLT.
- g. El mensaje de “Grant” será transmitido hacia la ONU.
- h. El mensaje de “Grant” se lo envía en modalidad broadcast.
- i. La ONU recibe el mensaje “Grant”.
- j. El reloj local actualiza a la ONU con el valor de sincronización proporcionado dentro del mensaje de “Grant”.
- k. La ONU transmite en su time spot.

¹⁶Multi-Point Control Protocol (MPCP), Common Framework.PDF.

- l. Una vez establecido el tiempo de transmisión, la ONU crea una trama de upstream y adiciona un nuevo mensaje de "Report".
- m. La ONU envía una trama de datos en el enlace upstream.

Los mensajes de "Report" (Figura 1.27) y de "Grant" (Figura 1.28) son empleados para asignar requerimientos de ancho de banda, así como también para ser mecanismos para la compensación del retardo.

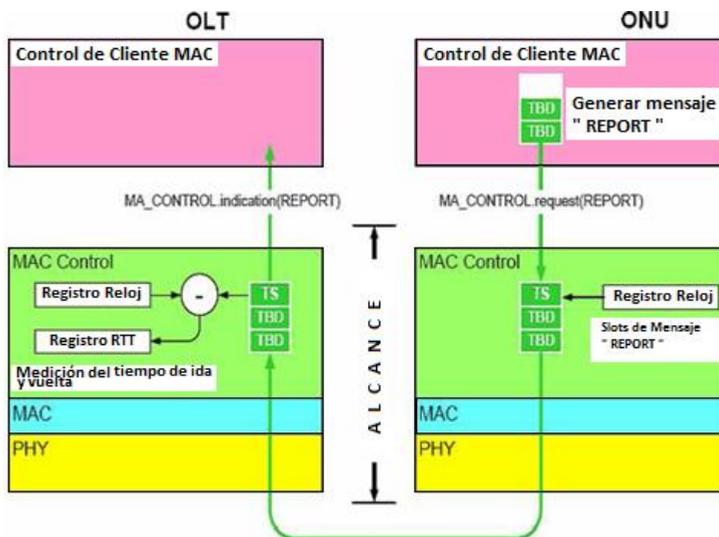


Figura 1.27 Mensaje de "Report".

Fuente: Tutorial EPONs – Revolution in Access Network de Siemens Communications

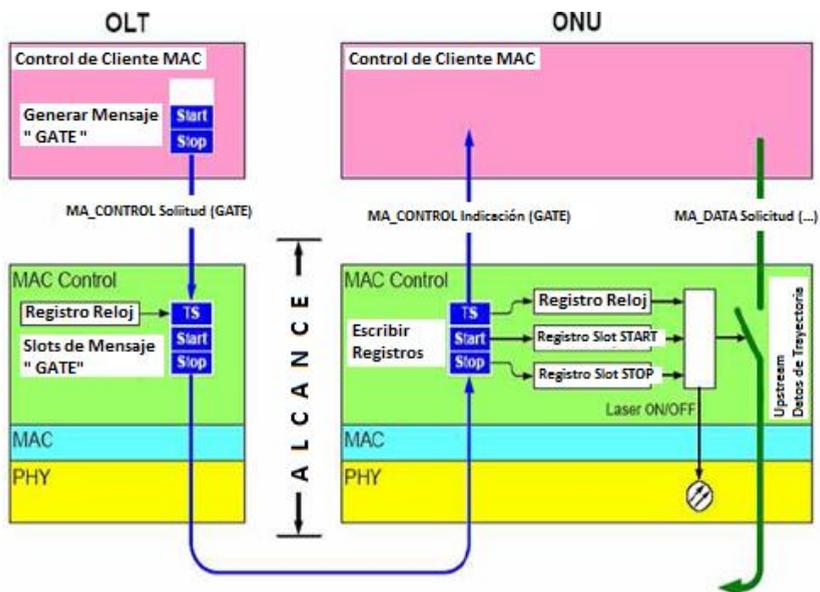


Figura 1.28 Mensaje de "Grant".

Fuente: Tutorial EPONs – Revolution in Access Network de Siemens Communications

1.4.4 Multiplexación de servicios.

El esquema básico es el siguiente:

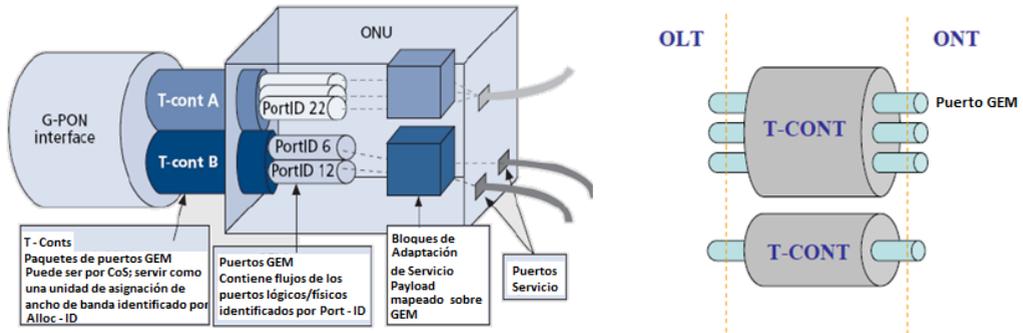


Figura 1.29 Multiplexación de servicios en redes GPON.

Fuente: IEEE Communications Magazine March 2007, Vol 45 No. 3 “An Introduction to PON Technologies”

- GEM Port: Unidad mínima de transporte de servicios.
- T-CONT (Transmission Container): Se emplea para la transmisión de datos en la trama upstream. También permite realizar asignación dinámica de ancho de banda. Se asignan a la ONT y se identifican por el Alloc-ID.
- GPON Interface: Interface GPON hacia la OLT.
- ONT Port: Puerto físico de la ONT (se pueden establecer servicios como Ethernet, de POTS, E1s, etc.)

1.4.5 Tipos de T-CONT.

- T-CONT Type 1: Provee un ancho de banda fijo, y se usa principalmente para servicios tipo “delay-sensitive”, como por ejemplo los servicios de video y voz.
- T-CONT Type 2 y 3: Provee un ancho de banda garantizado, esto es especialmente empleado para servicios de datos que requieran de alta prioridad, pudiendo ser transferencias bancarias, etc.
- T-CONT Type 4: Provee un ancho de banda “best effort”, y es utilizado principalmente para la provisión de servicios de datos de baja prioridad como por ejemplo el servicio de internet.

- T-CONT Type 5: Este contenedor es una amalgama (mezcla) de todos los tipos de T-CONT, por lo tanto, es capaz de proveer todos los anchos de banda descritos, transportando todo tipo de tráfico.

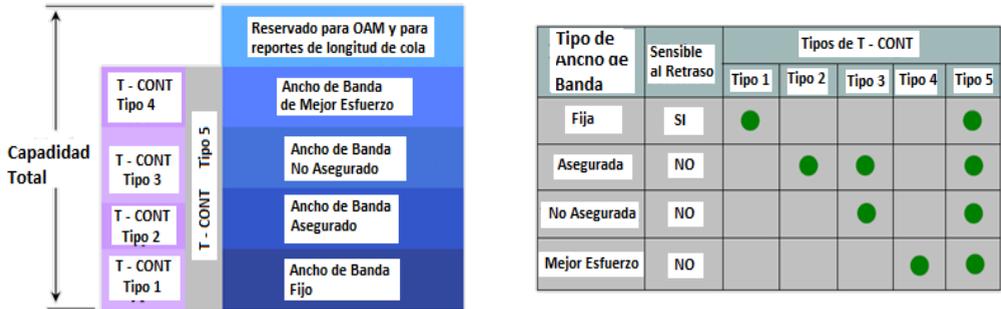


Figura 1.30 Tipos de T-CONT.

Fuente: Redes FTTX “Conceptos y Aplicaciones”, Tutorial 9, Lattanzi y Graf – IEEE.pdf

1.4.6 Formato de Entramado GPON.

La trama general se la puede describir de la siguiente manera:

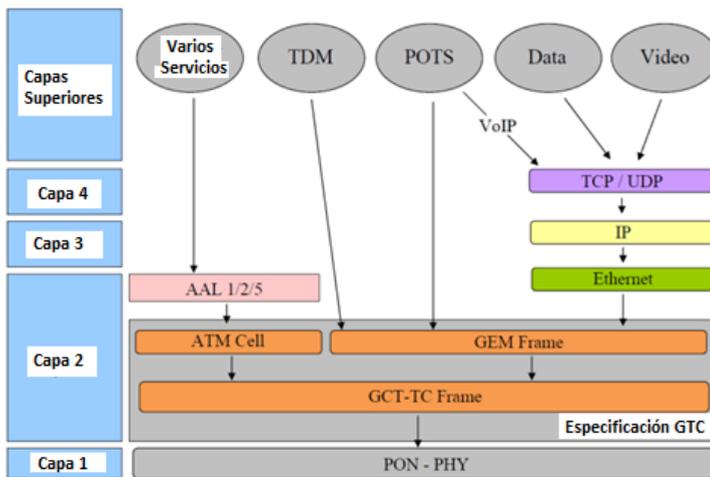


Figura 1.31 Formato de Tramas GPON

Fuente: Redes FTTX “Conceptos y Aplicaciones”, Tutorial 9, Lattanzi y Graf – IEEE.pdf

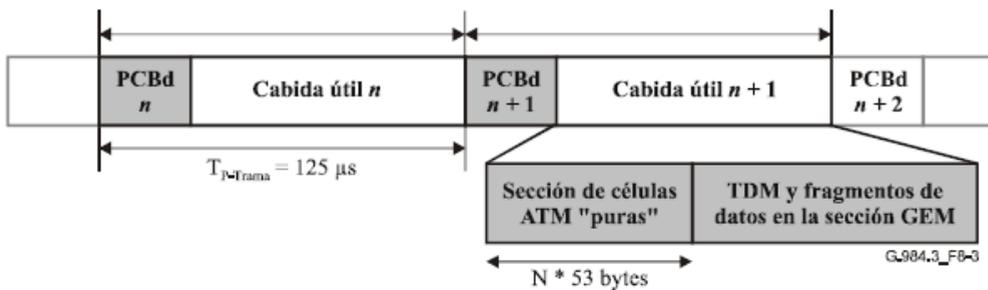
En donde se puede apreciar que tiene un modelo de capas similar al modelo OSI, siendo las principales:

- Capa 1: Referente a la capa física del estándar GPON.
- Capa 2: Respecto a la capa de entramado GTC, en donde se realizan las funciones de: multiplexación / demultiplexación, la creación y decodificación del encabezamiento y el encaminamiento interno en función del Alloc-ID.
- Capa 3: Respecto a la capa de Red, en este caso IP.
- Capa 4: Respecto al protocolo y encapsulamiento TCP / UDP.
- Capas superiores: Respecto a la aplicación (tipo de servicio a ser transportado)

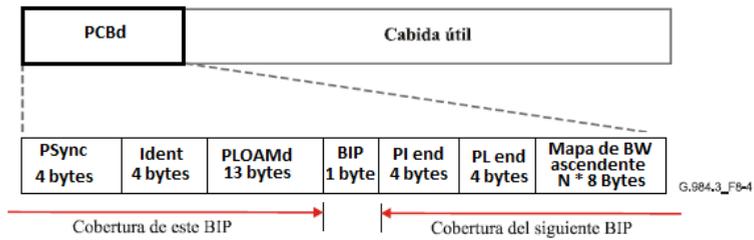
1.4.6.1 Formato de Trama en Downstream.

En la siguiente figura se muestra la estructura de trama descendente. La trama es de 125 μ s tanto para las velocidades binarias descendentes de 1,24 Gbps como de 2,48 Gbps; por lo tanto, la trama tiene una longitud de 19.440 bytes en el sistema de 1,24 Gbps, y de 38.880 bytes en un sistema de 2,48 Gbps. La gama de valores de longitud del bloque de control físico descendente PCBd (Physical Control Block downstream) es la misma para ambas velocidades y es función del número de estructuras de atribución por cada trama.

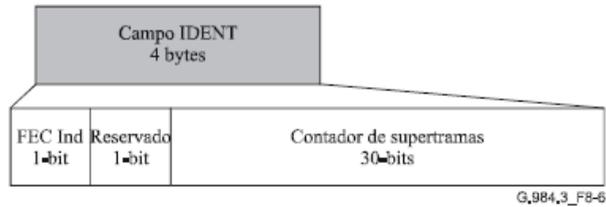
La trama descendente se aleatoriza utilizando un polinomio de aleatorización con sincronismo de trama. El polinomio utilizado es x^7+x^6+1 . Dicho patrón de datos se suma módulo dos a los datos descendentes. Los bits del registro de desplazamiento utilizado para calcular este polinomio se ponen todos a uno cuando se recibe el primer bit después del campo Psync del PCBd, continuando su funcionamiento hasta el último bit de la trama descendente.



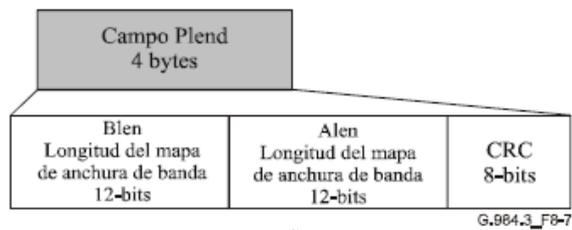
a)



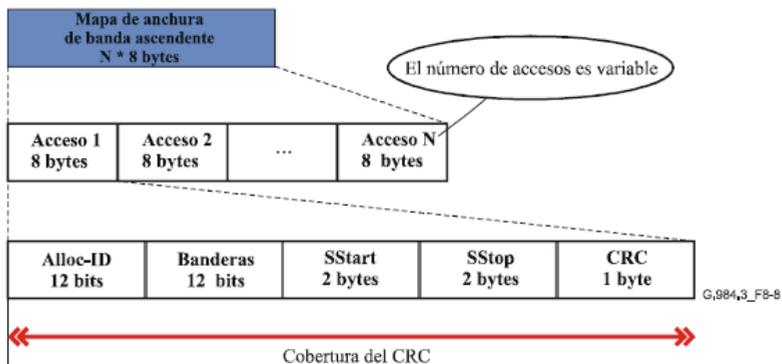
b)



c)



d)



e)

Figura 1.32 Formato de Tramas GPON – Downstream.

- a) Estructura Total. b) Bloque de control físico descendente (PCBd).
c) Campo IDENT. d) Campo PLEND. e) Mapa de ancho de banda ascendente.

Fuente: Recomendación ITU-T G.984.3.

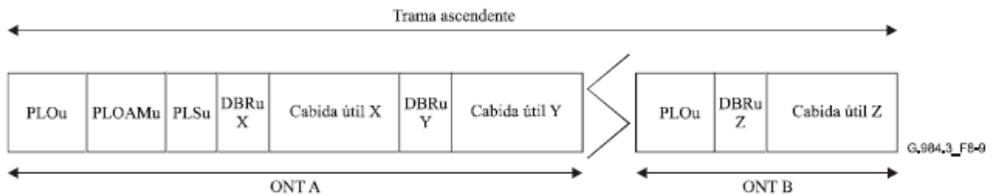
La OLT realiza una transmisión en difusión del PCBd, de forma que cada ONU recibe el PCBd completo. Las ONU actúan consecuentemente con la información relevante de dicho campo, cuyo detalle es:

- Campo PSync: Campo de sincronización física, sirve para identificar el inicio de trama y no es aleatorio, su codificación es 0xB6AB31E0.
- Campo Ident: Identifica estructuras de trama de mayor tamaño, se trata de un contador de super tramas y es empleado por el sistema de criptación de datos del usuario.
- Campo PLOAMd: Contiene el mensaje PLOAM.
- Campo BIP: Contiene la paridad de entrelazado de bits BIP (Bit interleaved parity), con su cálculo el receptor puede determinar el número de errores.
- Campo Plend: Campo de longitud de la cabida útil descendente PLEND (payload length downstream), especifica la longitud del mapa de ancho de banda y la partición ATM. Es enviado dos veces para tener robustez ante errores.
- Campos BWMap: El mapa de ancho de banda (BW Map), es un vector que contiene estructuras para N accesos de 8 bytes cada una. Cada posición representa un ancho de banda asignado a un T-CONT en particular.
 - Campo Alloc-ID: Contiene el número de 12 bits que identifica el T-CONT al que se concede tiempo en sentido ascendente de la PON.
 - Campo Banderas: Contiene indicaciones de cómo usar cada atribución.
 - Campo de Hora de Inicio: Inicia la atribución.
 - Campo de Hora de Parada: Se detiene la atribución.
 - Campo de CRC: La estructura está protegida con un CRC-8, o sea $g(x) = x^8 + x^2 + x + 1$.

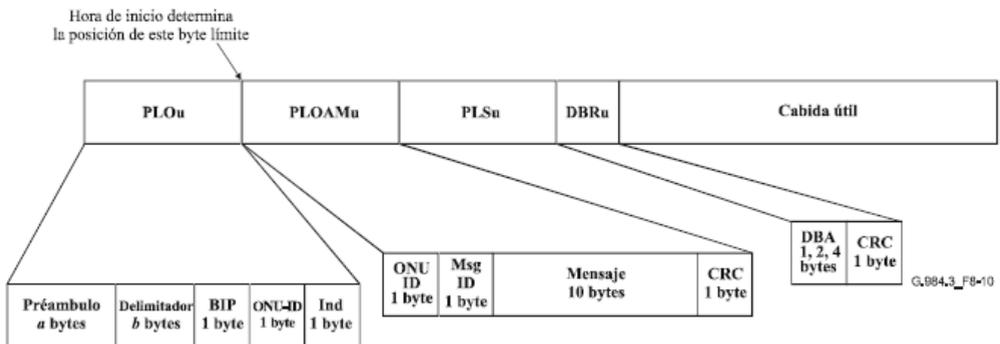
1.4.6.2 Formato de Trama en Upstream.

En la siguiente figura se puede apreciar la estructura de la trama ascendente, o sea la transmitida por las ONUs hacia el OLT, la cual usa un esquema TDM para evitar colisiones entre el tráfico de cada ONU.

La longitud de la trama también es de 125 us para todas las velocidades binarias. Cada trama contiene un conjunto de transmisiones procedentes de una o varias ONUs. El BWmap determina la configuración adoptada para dichas transmisiones.



a)



b)

Figura 1.33 Formato de Tramas GPON – Upstream.

a) Estructura Total. b) Descripción detallada de las taras ascendentes.

Fuente: Recomendación ITU-T G.984.3.

De acuerdo con el control ejercido por la OLT durante cada periodo de atribución, la ONU puede transmitir uno de los cuatro tipos de taras de PON y datos de usuario, siendo estos tipos los siguientes:

- Tara de capa física ascendente (PLOu, *physical layer overhead*): Los datos de la PLOu incluyen la tara de la capa física (prámbulo y delimitador), y tres campos de datos relativos a la ONU en su conjunto. Estos datos se transmiten al comienzo de cualquier transmisión de ráfaga de una ONU. Se debe tener en cuenta que para mantener la conectividad con la ONU, la OLT debe intentar atribuir una transmisión ascendente a cada ONU con un intervalo mínimo entre ellas.

La duración de dicho intervalo está determinada por parámetros de servicio de la ONU. El BIP es similar al campo de la trama downstream, el campo ONU

–ID permite identificar la ONU “activa” y el campo IND proporciona a la OLT información del estado de la ONU en tiempo real

- Operaciones de gestión y administración de capa física ascendente (PLOAMu, *physical layer operations, administration and management upstream*).
- Secuencia de nivelación de potencia ascendente (PLSu, *power levelling sequence upstream*): El campo PLSu tiene 120 bytes y se utiliza para que la ONU realice medidas de control de potencia. Esta función sirve para ajustar los niveles de potencia de la ONU a fin de reducir el margen dinámico óptico recibido en la OLT.
- Informe de anchura de banda dinámica ascendente (DBRu, *dynamic bandwidth report upstream*): La estructura de DBRu contiene información vinculada con la entidad T-CONT, no con la ONU.

1.4.7 Asignación Dinámica de Ancho de Banda (DBA).¹⁴

La realización de esta tarea se la describe con más detalle en el numeral 1.2.12.1 sin embargo los principales requisitos para realizar DBA son:

Las funcionalidades de DBA deben realizarse en cada T-CONT y tienen las siguientes partes:

- Detección del estado de congestión por la OLT y/o la ONU.
- Informe del estado de congestión a la OLT.
- Actualización del ancho de banda asignado por la OLT de conformidad con los parámetros provisionados.
- La OLT genera concesiones de conformidad con el ancho de banda actualizado y los tipos de T-CONT.
- Aspectos relativos a la gestión para las operaciones de DBA.

En la figura 1.34 se compara un proceso de asignación estática de ancho de banda (SBA) con uno de asignación dinámica (DBA). Para el primer caso las ONTs reportan a la OLT el estado de las colas de tráfico en una trama de upstream, mientras que en el segundo caso, el OLT verifica los patrones de tráfico de cada ONT.

¹⁴ Recomendaciones ITU-T G.98x

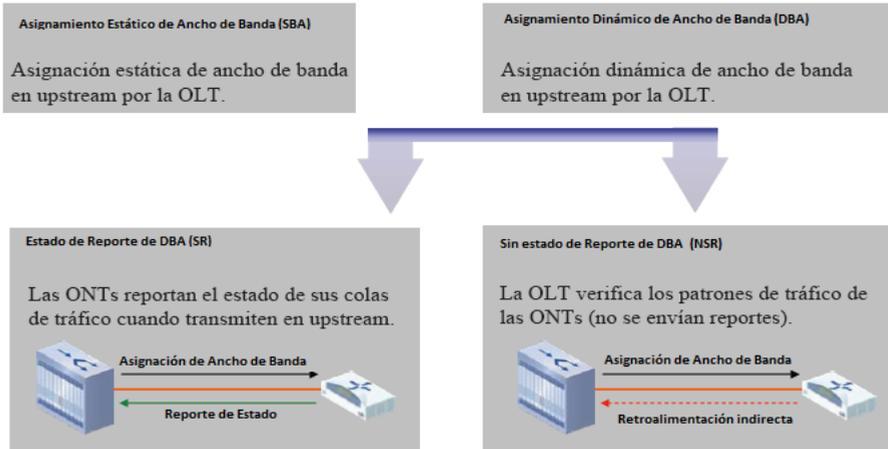


Figura 1.34 Comparación de esquemas de asignación de Ancho de Banda.

Fuente: Redes FTTX “Conceptos y Aplicaciones”, Tutorial 9, Lattanzi y Graf – IEEE.pdf

1.4.8 Forward Error Correction (FEC).

- FEC es un sistema empleado por GPON para mejorar la calidad de la transmisión.
- Emplea el código Reed – Solomon (RS).
- Es negociado individualmente para cada una de las ONTs.
- Es capaz de mejorar el presupuesto (“Budget”) óptico en 3 dB.
- Usa aproximadamente el 7% del ancho de banda total.

En la siguiente figura se puede apreciar el flujo de comunicación que se establece al momento de emplear este sistema:

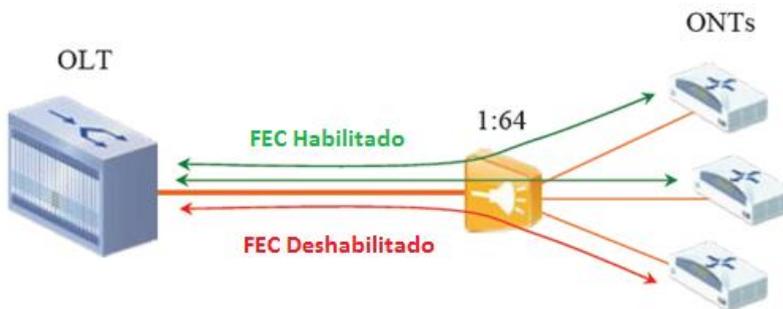


Figura 1.35 Flujo de comunicación en la aplicación de FEC.

Fuente: Redes FTTX “Conceptos y Aplicaciones”, Tutorial 9, Lattanzi y Graf – IEEE.pdf

1.4.9 Seguridad en el Envío de Datos.

- Se emplea únicamente para el sentido downstream.
- Emplea un algoritmo de encriptación tipo AES.
- Se generan llaves individuales para cada comunicación ONT-OLT.
- Emplea el modo de operación “Counter-Mode” el cual permite incrementar la robustez en cada una de las comunicaciones.

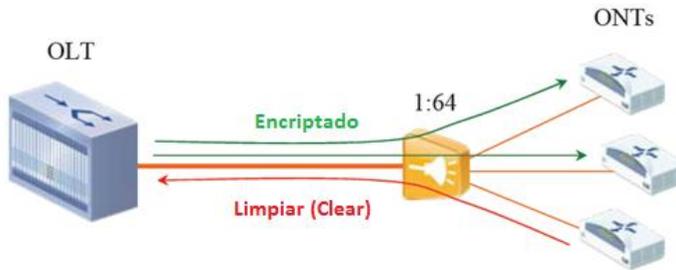


Figura 1.36 Esquema de Seguridad para el envío de datos.

Fuente: Redes FTTX “Conceptos y Aplicaciones”, Tutorial 9, Lattanzi y Graf – IEEE.pdf

1.4.10 Calidad de Servicio (QoS).

1.4.10.1 Calidad de Servicio (QoS) en la OLT.

- Clasificación de tráfico basado en VLAN/802.1p.
- Existe un “Calendarizado” Scheduling de los servicios, los cuales están basados en la combinación de prioridades por algoritmos de estricta prioridad SP (Strict Priority) y de redondeo ponderado WRR (Weighted Round Robin).
- Al emplear un algoritmo DBA, se mejora el uso del ancho de banda en sentido upstream.
- El Control de acceso al medio está basado en ACLs, tanto para capa 2 como superiores.

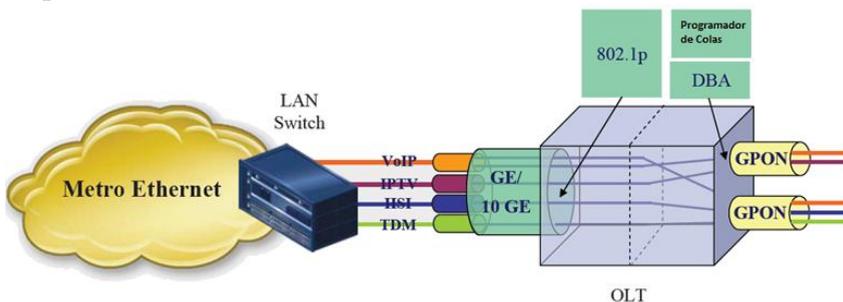


Figura 1.37 Calidad de Servicio (QoS) en la OLT.

Fuente: Redes FTTX “Conceptos y Aplicaciones”, Tutorial 9, Lattanzi y Graf – IEEE.pdf

1.4.10.2 Calidad de Servicio (QoS) en la ONT.

- Clasificación de tráfico basado en VLAN/802.1p.
- Existe un “Calendarizado” Scheduling de los servicios basados en la combinación de algoritmos de estricta prioridad (SP) y de redondeo ponderado (WRR).
- La transmisión de los servicios se basa en el mapeo en diferentes tipos de T-CONS, lo que repercutirá en una mejora del uso de los enlaces.

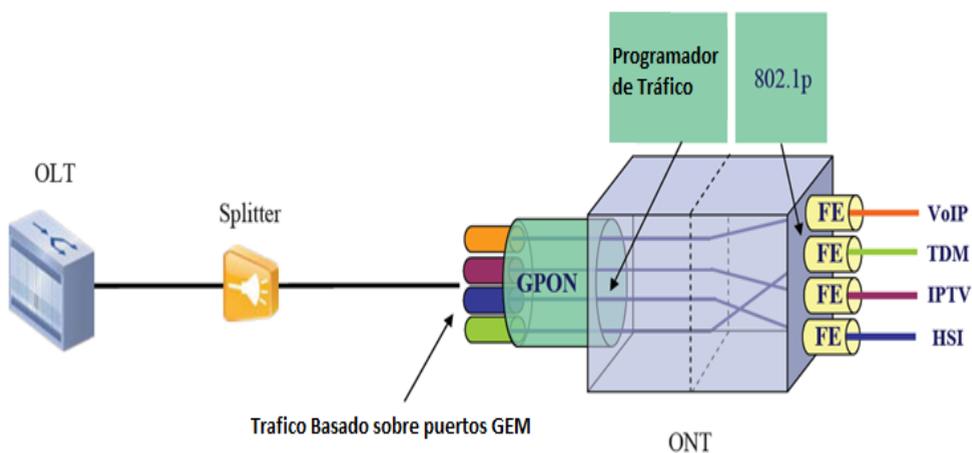


Figura 1.38 Calidad de Servicio (QoS) en la ONT.

Fuente: Redes FTTX “Conceptos y Aplicaciones”, Tutorial 9, Lattanzi y Graf – IEEE.pdf

1.4.11 Proceso de Activación (Serial Number - SN).¹⁴

- En primera instancia la OLT detendrá a todas las ONTs ya registradas.
- Luego enviará un mensaje del tipo “Request” a las ONT que estén en el proceso de SN.
- Cada ONT responderá a esta petición informando su propio SN.
- A continuación se produce la asignación de un ID único para cada ONT.
- Este último paso puede ser realizado en forma automática o en forma manual.

¹⁴ Recomendaciones ITU-T G.98x

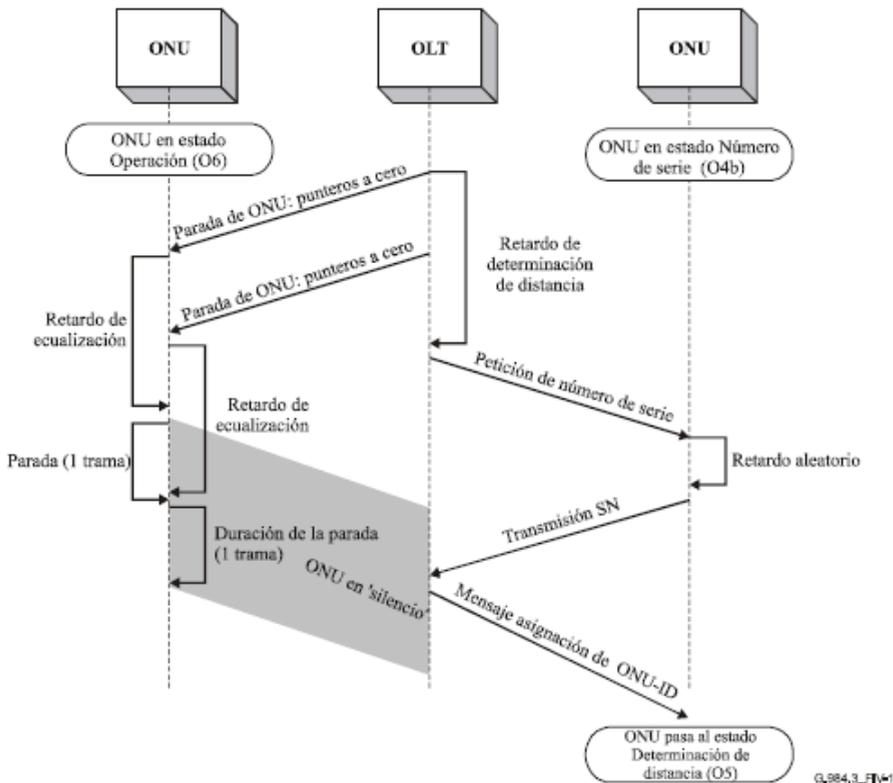


Figura 1.39 Proceso de Adquisición del Serial Number.

Fuente: Recomendación ITU-T G.984.3.

1.4.12 Proceso de Activación (Ranging).¹⁴

En términos generales se puede decir que el proceso de ranging es empleado para evitar colisiones de los datos debido a que éste se encarga de medir o calcular un retardo (delay) específico para cada una de las ONU.

En la figura 1.40, se puede apreciar este proceso siendo como principales acciones las siguientes:

- El Ranging se encarga de medir el tiempo de propagación (round-trip delay) para cada ONT.
- La OLT envía un mensaje de ranging a cada ONT ("Ploam").
- La ONT de manera inmediata envía un mensaje de respuesta a la OLT.
- La OLT calcula el tiempo de propagación entre la ONT – OLT y envía una adaptación del delay a la ONT.

¹⁴ Recomendaciones ITU-T G.98x

Existen 2 tipos de ranging:

- Ranging Áspero (coarse ranging): empleado como secuencia inicial.
- Ranging Fino (ranging fine): usado como retardo.

El ranging se basa en los mensajes “Grant/Gate” y “Report” (referirse al numeral 1.4.3).

1.4.13 Operación, Administración y Mantenimiento (OAM).

Existen básicamente dos esquemas de OAM descritos a continuación:

- PLOAM (Physical Layer OAM).
 - Gestión de alertas y alarmas.
 - Se encarga del aseguramiento del Ancho de Banda.
 - Soporta DBA.
 - Existe Encriptación.
- OMCI (Optical Management & Control Interface).
 - Existe un Control desde la OLT para cada una de las ONTs.
 - Se puede realizar Configuración Remota.
 - Monitoreo de rendimiento.
 - Notificaciones y Alarmas.

A manera gráfica se lo puede representar:

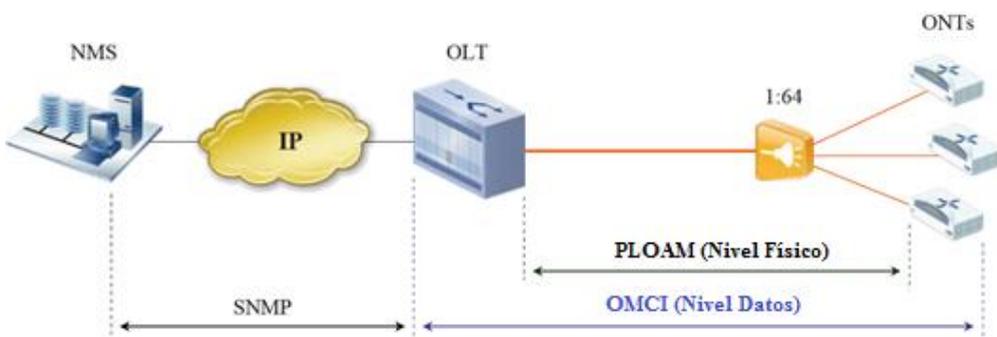


Figura 1.41 Proceso de Operación, Administración y Mantenimiento (OAM).
Fuente: Redes FTTH “Conceptos y Aplicaciones”, Tutorial 9, Lattanzi y Graf – IEEE.pdf

1.4.13.1 Arquitectura de la estructura de OAM.

La información obtenida del Management por SNMP (Simple Network Management Protocol) hacia la OLT.

A través de OMCI, la OLT realiza las consultas a cada ONT.

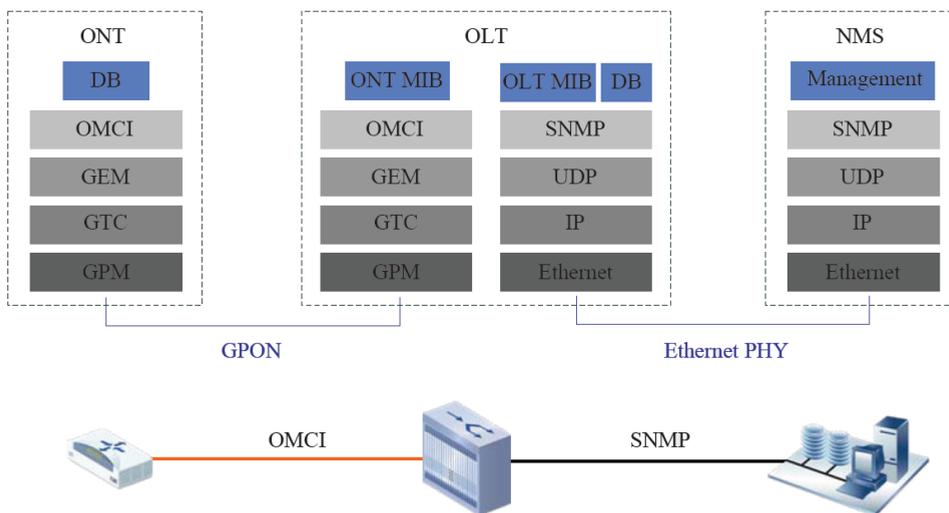


Figura 1.42 Arquitectura de la Estructura de OAM.

Fuente: Redes FTTX “Conceptos y Aplicaciones”, Tutorial 9, Lattanzi y Graf – IEEE.pdf

El desarrollo de sistemas de OAM (Operación, Administración y Mantenimiento) son de gran prioridad en este tipo de redes, ya que siempre se requerirá que éstos faciliten al operador la gestión centralizada de los equipos de usuario (ONT/ONUs), sin la intervención directa de éstos, para lo cual se deberán:

- Establecer un punto de demarcación entre la red del operador y la red del cliente.
- Permitir la gestión remota de las ONTs, sea para tareas de descarga de actualizaciones, parámetros de funcionamiento, monitoreo de estado, etc.
- Facilitar la configuración y gestión de servicios de usuario, tales como: ancho de banda, video multicast, servicios de voz, etc.

1.4.14 Consideraciones de Diseño.

Se debería toma en cuenta un objetivo de diseño de la sección óptica con una tasa de error (BER, *bit error ratio*) superior a $1 \cdot 10^{-10}$ para el caso extremo de condiciones de atenuación y dispersión del trayecto óptico.

Como tipo de fibra se tiene como primera opción la descrita en la recomendación ITU-T G.652, la cual hace referencia a la fibra monomodo la cual tiene una atenuación de 0,4 dB/Km para una longitud de onda de 1310 nm.

El método de transmisión emplea técnicas de multiplexación por división de onda WDM (Wavelength Division Multiplexing) en una sola fibra o empleando dos fibras de manera unidireccional.

1.5 Tecnología para redes GPON.^{12,13}

En este punto se hará referencia a los sistemas de transmisión que podrán ser implementados, los cuales generalmente emplean arquitecturas con 2 ó 3 longitudes de onda, siendo el primero empleado para la transmisión de voz, datos y video IP; mientras que el segundo se lo suele emplear para la transmisión de señales de RF, servicios de TV ó sistemas DWDM.

En la siguiente figura se presenta un esquema que emplea 2 longitudes de onda, en la que la primera (1510 nm) está empleada para transportar voz, video y datos en el sentido downstream; mientras que la segunda (1310 nm), se la emplea para transportar voz, datos y video bajo demanda en el sentido upstream. En esta configuración la red PON tiene una distancia efectiva de 20Km con un Splitter de 1:32.

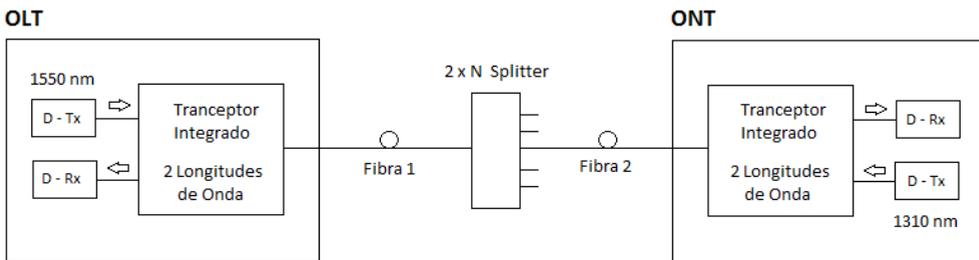


Figura 1.43 Sistema PON que emplea 2 longitudes de onda.

Fuente: www.iec.org/online/tutoriales/epon/topic06.html

En la siguiente figura se presenta un sistema PON que emplea 3 longitudes de onda, las 2 primeras (1510 nm y 1310 nm) son empleadas para downstream y upstream respectivamente mientras que una tercera (1550nm) se usa para transmitir señales de video en el sentido downstream, pudiendo este estar codificado en cualquier formato i.e. MPEG y es transmitido en modulación QAM (Quadrature Amplitude Modulation). En esta configuración la red PON tiene una distancia efectiva de 18Km con un Splitter de 1:32.

¹² <https://www.iec.org/online/tutoriales/epon/topic05.html>

¹³ <https://library.thinkquest.org/C003776/espanol/book/>

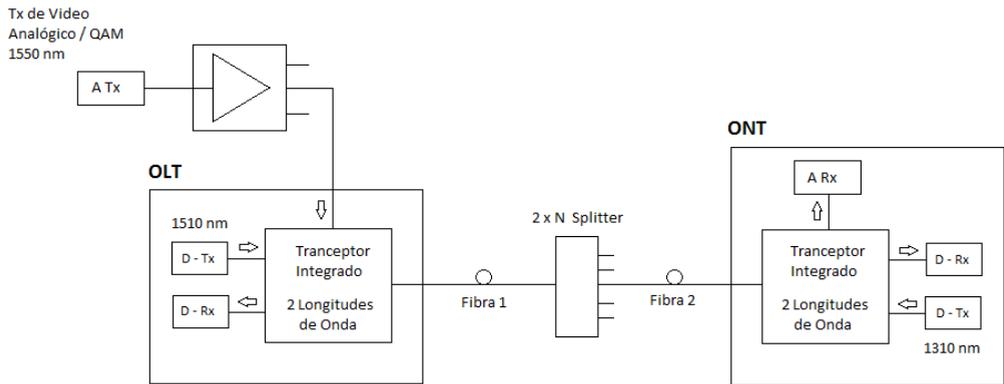


Figura 1.44 Sistema PON que emplea 3 longitudes de onda.

Fuente: www.iec.org/online/tutorials/epon/topic06.html

1.5.1 Características Generales y ventajas de la Tecnología.

- GPON ofrece amplio soporte de servicios incluyendo voz (TDM, SONET, SDH), Ethernet, ATM, Frame Relay, líneas arrendadas, extensiones wireless etc, mediante el uso de un método de encapsulación conocido como GEM (GPON Encapsulation Method).
- GPON maneja una gama de velocidades de transmisión, siendo la mas utilizada la de 1.2Gbps de subida / 2.4Gbps de bajada.
- En GPON el retardo máximo de la señal de transferencia es de 1,5ms.
- Los rangos de los splitters que se utilizan para dividir las señales en GPON son dados por las distintas capas, por ejemplo en la capa física se emplean splitters de hasta 1:64 y en la capa de transmisión de hasta 1:128.
- Con respecto a las protecciones, GPON mejora la confiabilidad de la red de acceso de acceso utilizando SDH (Jerarquía Digital Síncrona) esto en referencia a los cambios de protección automáticos y cambios de protección forzosos, sin embargo son opcionales, ya que su implementación incrementará el costo del sistema.
- Emplea mecanismos de seguridad que cumplen los siguientes requisitos:
 - Prevenir que otro usuario se haga pasar por un determinado ONU que no sea el que efectivamente corresponde.
 - Prevenir que otros usuarios decodifiquen los datos en el Downstream.
- **Economía:** Las tecnologías xPON reduce el CAPEX en fibra óptica (1 FO para muchos usuarios) y OLT (1 puerto en la OLT para muchos usuarios), además es posible reemplazar el par de cobre y el cable coaxial.

- **Calidad del Servicio:** GPON dispone de un modelo de calidad del servicio QoS (Quality of Service) que garantiza el ancho de banda necesario para cada usuario ó servicio.
- **Seguridad:** La información transportada a través de la FO, se encuentra cifrada en código AES.
- **Operación y mantenimiento:** GPON cuenta con un modelo de gestión que facilita al operador la administración remota de los equipos de usuario. Reducción de OPEX.
- **Escalabilidad:** GPON actualmente cuenta con velocidades de 2,5 Gbps para 64 usuarios, pudiendo evolucionar a los estándares XG-PON y WDM PON empleando la misma estructura.

1.5.2 Comparación de GPON con otras Tecnologías.

En la siguiente tabla se resume las principales características de las tecnologías de acceso comparadas con GPON, siendo ésta ampliamente superior a las velocidades obtenidas mediante servicios xDSL, además de que su despliegue es totalmente con fibra óptica eliminando de esta manera interferencias electromagnéticas.

Tecnología	Medio de Transmisión	Velocidad de Canal Ascendente	Velocidad de Canal Descendente	Máximo Alcance Físico.	Inmunidad a EMI
GPON	Fibra óptica	2 Gbps	2 Gbps	20 Km	Si
ADSL	Cobre	1 Mbps	8 Mbps	5,5 Km	No
ASDL2	Cobre	1 Mbps	12 Mbps	5,5 Km	No
ASDL2+	Cobre	1,2 Mbps	24 Mbps	5,5 Km	No
Cable Modem	Cobre	2,5 Mbps	27 Mbps	100 Km	No

Tecnología	Costos de Instalación	Seguridad de la Red	QoS	Popularidad	Servicios Triple Play
GPON	Alto	Alta	Si	Baja	Si
ADSL	Bajo	No Aplica	No siempre	Media	No
ASDL2	Bajo	No Aplica	No siempre	Alta	No
ASDL2+	Bajo	No Aplica	No siempre	Alta	Si
Cable Modem	Medio	Media	No siempre	Media	Si

Tabla 1.4 Comparación de tecnologías de red de acceso.

Fuente: Autores.

1.6 Servicios Básicos en redes GPON.¹⁴

Debido a la capacidad de ancho de banda de las redes GPON, es importante que ésta sea capaz de soportar todos los servicios existentes y además de los nuevos servicios que estarán en desarrollo. Los servicios a prestar dependerán de los títulos habilitantes que la empresa posea, así como del mercado que tenga cada operador, sin embargo, en términos generales dependerá de la infraestructura existente, la distribución de las casas en las zonas a considerar y de la proporción clientes/empresas existente.

En la siguiente tabla se puede encontrar un resumen de los diferentes servicios de GPON en las redes de última generación.

Categoría de Servicio	Servicio	Observación
Servicios de Datos	Ethernet *	Estandarizado en IEE 802.3.
		Cumple con IEEE 802.1D.
PSTN	POTS	El tiempo de retardo en la transferencia de la señal principal debe ser 1.5 ms.
		Sincronización con el reloj de red. ***
	ISDN (BRI)	La velocidad de portadora es de 144 Kbps.
		El retardo de transferencia debe ser de 1.5 ms.
		Sincronización con el reloj de red. ***
	ISDN (PRI)	La velocidad de portadora es de 1.54 Mbps y 2.048 Mbps.
El retardo de transferencia debe ser de 1.5 ms.		
Sincronización con el reloj de red. **		
Líneas Privadas	T1	La velocidad de portadora es de 1.54 Mbps.
		Retraso de transmisión menor a 1.5 ms.
	E1	La velocidad de portadora es de 2.048 Mbps.
		Retraso de transmisión menor a 1.5 ms.
	DS3	La velocidad de portadora es de 44.736 Mbps.
E3	La velocidad de portadora es de 34.368 Mbps.	
Video	Video Digital	Enfocado en video sobre IP con QoS.

* Los servicios Ethernet son principalmente la transmisión de datos como IP, incluyendo VoIP.

** Referirse ITU-T G.810, ITU-T G.813.

Tabla 1.5 Servicios disponibles en redes GPON.

Fuente: Recomendación ITU-T G.984.1.

¹⁴ Recomendaciones ITU-T G.98x

1.7 Cálculo del Presupuesto Óptico.¹⁴

Este punto hace referencia a la importancia que se debe de tener para el diseño básico de un enlace óptico tomando como puntos a resolver los siguientes interrogantes:

- ¿Cuál va a ser el rango dinámico?
- ¿Cuál va a ser el FEC?
- ¿Cuál es el grado de división óptica?
- ¿De cuánto serán las pérdidas de inserción?
- ¿Cuál es el número de empalmes que se proyectan y de qué tipo?
- ¿Cuál es la longitud del tendido de fibra?

Antes de dar respuesta, se deben de tomar en cuenta algunas consideraciones:

- No se deberá escatimar en el uso de los recursos en el desarrollo de la red pasiva.
- Deberán implementarse metodologías de instalación y certificación.
- Se deberá prever los posibles cambios en el comportamiento de los materiales ópticos con el paso del tiempo.
- Se deberá emplear el material adecuado para la construcción de la red.

Para el cálculo del balance óptico se tendrá que cumplir con la siguiente inecuación:

$$P_{RX} \leq P_{TX} - \alpha_{TOTAL} \quad [\text{Ecuación 1.2}]$$

Donde,

P_{RX} : Potencia máxima de sensibilidad de recepción del equipo.

P_{TX} : Potencia máxima del transmisor óptico.

α_{TOTAL} : Valor total de pérdidas.

¹⁴ Recomendaciones ITU-T G.98x

En la recomendación ITU-T G.984.2, se especifica los valores máximos y mínimos de sensibilidad de recepción, los cuales pueden resumirse en la siguiente tabla:

Elementos	Unidad	Fibra Única			Fibra Doble		
Transmisor OLT (Interfaz Óptica)							
Velocidad Binaria Nominal	Mbit/s	2.488,32			2.488,32		
Longitud de Onda de Trabajo	nm	1.480 – 1.500			1.260 – 1.360		
Código de Línea		NRZ pseudoaleatorizado			NRZ pseudoaleatorizado		
Mínima ORL de ODN	dB	Mayor a 32			Mayor a 32		
Clase de ODN		A	B	C	A	B	C
Potencia media inyectada MIN	dBm	0	+5	+3	0	+5	+3
Potencia media inyectada MAX	dBm	+4	+9	+7	+4	+9	+7
Tolerancia a la potencia luminosa incidente en el TX	dB	Mayor a - 15			Mayor a - 15		
Receptor ONU (Interfaz Óptica)							
Máxima reflectancia del equipo, medida a la longitud de onda del Rx	dB	Menor que -20			Menor que -20		
Tasa de errores en los bits		Menor que 10 a la -10			Menor que 10 a la -10		
Clase de ODN		A	B	C	A	B	C
Sensibilidad Mínima	dBm	-21	-21	-28	-21	-21	-28
Sobrecarga Mínima	dBm	-1	-1	-8	-1	-1	-8
Tolerancia a la potencia óptica reflejada	dB	Menor que 10			Menor que 10		

Tabla 1.6 Parámetros de la interfaz óptica a 2.488 Mbit/s en sentido descendente.

Fuente: Recomendación ITU-T G. 984.2.

Se puede también obtener la certificación del nivel óptico de la red, mediante un GPON Tester, el cual es un equipo que va colocado del lado de la ONT y permite establecer cuál es la pérdida del enlace, la distancia hacia la OLT, la Potencia de recepción, la potencia de reflexión, etc. De acuerdo a la normalización, los rangos de atenuación para el estándar GPON y XG-PON son:

Clase	Rango de Atenuación Óptica	Recomendación ITU-T
GPON Clase A	5 - 20 dB	G.984.2 (2003)
GPON Clase B	10 - 25 dB	G.984.2 (2003)
GPON Clase C	15 - 30 dB	G.984.2 (2003)
GPON Clase B+	13 - 28 dB	G.984.2 Amendment 1 (2006)
GPON Clase C+	17 - 32 dB	G.984.2 Amendment 2 (2008)
XG-PON N1	14 - 29 dB	G.987.2 (2010)
XG-PON N2	16 - 31 dB	G.987.2 (2010)
XG-PON E1	18 - 33 dB	G.987.2 (2010)
XG-PON E2	20 - 35 dB	G.987.2 (2010)

Tabla.1.7 Rangos de Atenuación para GPON.

Fuente: Recomendaciones ITU-T G.98x.

Ejemplo 1:

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo de atenuación y de distancia, el cual considera los conectores, los empalmes y los niveles de splitteo.

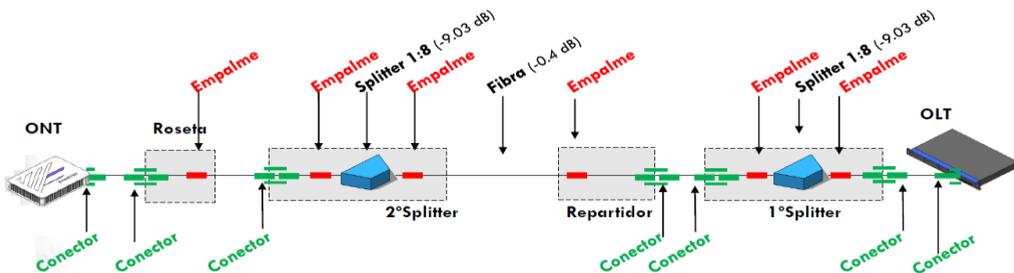


Figura 1.45 Ejemplo1 de cálculo de un Sistema PON.

Fuente: Redes FTTX “Conceptos y Aplicaciones”, Tutorial 9, Lattanzi y Graf – IEEE.pdf

Para lo cual, el valor de la atenuación total está dada por:

$$Atenuación\ Total = \sum_{i=1}^n At.\ Splitter_i + m * \sum_{j=1}^m At.\ Empalmes_j + p * \sum_{k=1}^p At.\ Conectores_k + \alpha L \quad [Ecuación\ 1.3]$$

Dónde:

m = Número de empalmes.

p = Número de conectores.

α = Atenuación característica según tipo de fibra [dB / Km].

L = Longitud del enlace [Km].

Toda unidad en dB y en kilómetros la distancia.

Para calcular la distancia máxima (1:64) se tiene la siguiente fórmula:

Distancia Máxima =

$$\frac{(Pot.Mínima-Sensibilidad+FEC) - \sum_{i=1}^n At.Splitter_i - m * \sum_{j=1}^m At.Empalme_j - p * \sum_{k=1}^p At.Conector_k}{\alpha}$$

[Ecuación 1.4]

Ejemplo 2:

Aplicando los datos de la tabla 1.6, se puede proceder a realizar otro cálculo, considerando una Potencia máxima de Transmisión de 5dBm y una sensibilidad de -28 dBm:

- Usuario más lejano:
 - Ventana de 1310 nm:

$$\begin{aligned} P_{RX} &\leq P_{TX} - \alpha_{TOTAL} \\ -28 \text{ dBm} &\leq 5 \text{ dBm} - 30,18 \text{ dB} \\ -28 \text{ dBm} &\leq -25,18 \text{ dBm} \quad \text{Cumple.} \end{aligned}$$

- Ventana de 1550 nm:

$$\begin{aligned} P_{RX} &\leq P_{TX} - \alpha_{TOTAL} \\ -28 \text{ dBm} &\leq 5 \text{ dBm} - 29,41 \text{ dB} \\ -28 \text{ dBm} &\leq -24,41 \text{ dBm} \quad \text{Cumple.} \end{aligned}$$

- Usuario más cercano:
 - Ventana de 1310 nm:

$$\begin{aligned} P_{RX} &\leq P_{TX} - \alpha_{TOTAL} \\ -28 \text{ dBm} &\leq 5 \text{ dBm} - 27,68 \text{ dB} \\ -28 \text{ dBm} &\leq -22,68 \text{ dBm} \quad \text{Cumple.} \end{aligned}$$

- Ventana de 1550 nm:

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

$$-28 \text{ dBm} \leq 5 \text{ dBm} - 27,54 \text{ dB}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq -22,54 \text{ dBm} \text{ Cumple.}$$

Como se puede apreciar, en ninguno de los casos se sobrepasa los valores que se establecen en la inecuación, ni los valores de sensibilidad del equipo, los cuales están acordes a la recomendación ITU-T G.984.2.

Los datos reales vendrán dados por los datasheets de los equipos a instalar.

Otro punto a considerar, son las reflexiones que pueden darse en la señal transmitida/enviada debido a que parte de la potencia ascendente (desde el origen) se pierde por este efecto, por lo tanto hay que medirlo para tomar los correctivos, ya que no es suficiente medir la potencia en el domicilio del cliente, por lo tanto es importante determinar este valor así como la distancia a la que se produjo este evento, para proceder de inmediato con su reparación.

El siguiente esquema describe los puntos críticos a tomar en cuenta para posibles reparaciones, las que generalmente se deben a empalmes mecánicos de baja calidad, conectores sucios ó dañados, u empalmes mal instalados.

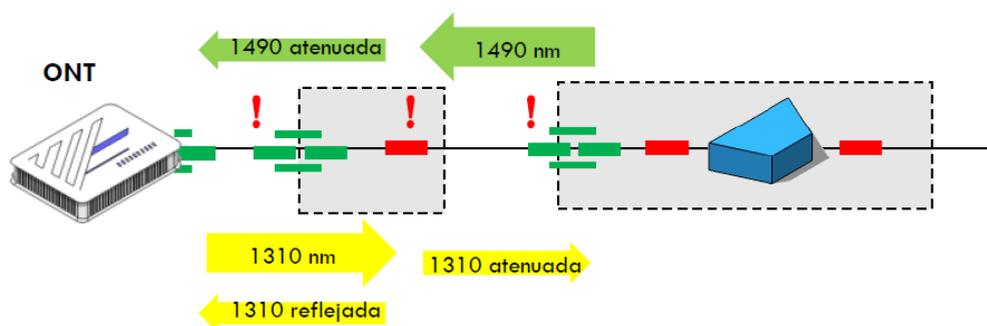


Figura 1.46 Puntos críticos a revisar en reparaciones.

Fuente: Redes FTTX “Conceptos y Aplicaciones”, Tutorial 9, Lattanzi y Graf – IEEE.pdf

CAPÍTULO II:

ANÁLISIS DE LA ACTUAL RED DE ACCESO GPON DE ETAPA EP.

CAPÍTULO II: ANÁLISIS DE LA ACTUAL RED DE ACCESO GPON DE ETAPA EP.

2.1 Características de la Red de Acceso.

El continuo y dinámico avance del sector de las telecomunicaciones ha llevado a las operadoras a realizar reestructuraciones e innovaciones tecnológicas a diferentes elementos de esa compleja red de telecomunicaciones a fin de tener una convergencia entre el tradicional servicio de telefonía fija con los nuevos servicios de acceso a internet, televisión IP, redes de datos de alta velocidad, seguridad de datos, etc.; y en función del crecimiento del ancho de banda que demandan los diferentes sectores de la sociedad.

Dentro de la red de telecomunicaciones existe un tramo o sección denominada *red de acceso*, y es sobre ésta que se soportan todos los servicios. De este modo la red de acceso es un elemento de alta importancia y riesgo dentro de las prestaciones de servicio de una operadora.

A la red de acceso también se le conoce como planta externa o última milla, durante el desarrollo de este documento se manejará como red de acceso.

ETAPA EP siempre se ha mantenido a la vanguardia de los avances dentro del sector de las telecomunicaciones, brindando nuevos servicios y manteniendo los servicios tradicionales, con la calidad exigida por la sociedad del Cantón Cuenca y por el ente regulador a nivel nacional.

Actualmente ETAPA EP cuenta con una red de acceso sobre la cual se soportan los servicios de telecomunicaciones ofertados mediante redes en cobre, fibra óptica y sistemas inalámbricos; de acuerdo a diferentes sectores geográficos o económicos del Cantón Cuenca, nicho de mercado de la Empresa.

2.1.1 Red de Acceso de Cobre. ²³

ETAPA EP cuenta en su mayoría con una red de acceso de cobre sobre la cual brinda servicios de telefonía, acceso a internet y redes de datos, en los sectores urbanos y rurales.

²³ LEON, W Couch II. (Febrero 2012). “Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos”, 7ma Edición, Editorial Prentice Hall, México.

Esta red de acceso de cobre fue diseñada y construida para soportar sobre ella los servicios de telefonía fija, sin embargo con el desarrollo de la sector las telecomunicaciones se realizaron reestructuraciones con la finalidad brindar sobre esta red servicios de acceso a internet mediante tecnología XDSL.

En la sección 2.2, se realizará un análisis más profundo de la red de acceso de cobre, su estructura, características y estado de la misma.

2.1.2 Red de Acceso de Fibra Óptica. ^{17,18}

El despliegue de la red de acceso mediante fibra óptica de ETAPA EP, se dio desde el año 2007 aproximadamente, debido al aumento de la demanda de ancho de banda, sobre todo del sector corporativo e industrial de la ciudad de Cuenca, el cual no podría ser cubierto con la antigua red de acceso de cobre; esto generó la necesidad de atender este sector de mercado inicialmente mediante soluciones de configuración punto a punto P2P, lo cual provocó un crecimiento desorganizado de este tipo de enlaces a través de toda la ciudad.

En años anteriores al 2007 se atendía requerimientos especiales utilizando recursos de la red de transmisión (tales como E1s, E2s etc.), situación que restaba seguridades a esta red, generando un riesgo a la calidad y continuidad de servicios de telecomunicaciones a un determinado nodo o central remota.

Debido al continuo crecimiento de los enlaces P2P, se generaron altos costos en la instalación, operación y mantenimiento; lo cual obligó a contar con una planificada red de acceso en fibra óptica con una solución punto multipunto P2MP.

ETAPA EP en el año 2012 realizó el estudio para la implementación de una red de acceso GPON como solución P2MP, para atención de clientes que demandan gran ancho de banda.

2.1.2.1 Red de Acceso de Fibra Óptica – Solución P2P.

La red de acceso en fibra óptica de ETAPA EP, al momento cuenta con una cantidad aproximada de 462 clientes, los cuales pertenecen al sector corporativo e industrial, y se encuentran distribuidos en diferentes zonas geográficas de la ciudad.

¹⁷ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

¹⁸ ETAPA EP, CAICEDO T. Jhonny / ZARI M. Paúl. (Enero-2013). “Manual para la Instalación y Reparación de Acometidas de Fibra Óptica Red GPON”, Cuenca, Ecuador.

Esta red no ha sido planificada para atacar un determinado sector geográfico o una determinada cobertura de un sector de mercado específico. El crecimiento de la red, se ha dado en base a los requerimientos del área de ventas, que basados en una inspección previa, realizaron un análisis del sector para determinar si existen potenciales clientes, para así definirla capacidad del cable multifibra a instalar.

Debido a las situaciones descritas, no se cuenta con un sistema de información que registre y controle la capacidad de la red, lo que genera problemas e incrementos en costos de operación y mantenimiento.

2.1.2.1.1 Arquitectura de la red P2P.

La arquitectura de la red de ETAPA EP se da en un esquema estrella, la configuración es la de un enlace punto a punto entre la central o nodo remoto hasta el cliente del servicio sobre fibra.

La red de acceso en fibra óptica es la parte pasiva de la red y está conformada por los elementos de la misma, desde el elemento organizador de fibra (ODF) que se encuentra en el nodo o central, hasta la caja de acceso de fibra, que se encuentra en el extremo del cliente. En la siguiente figura se presenta esta descripción.

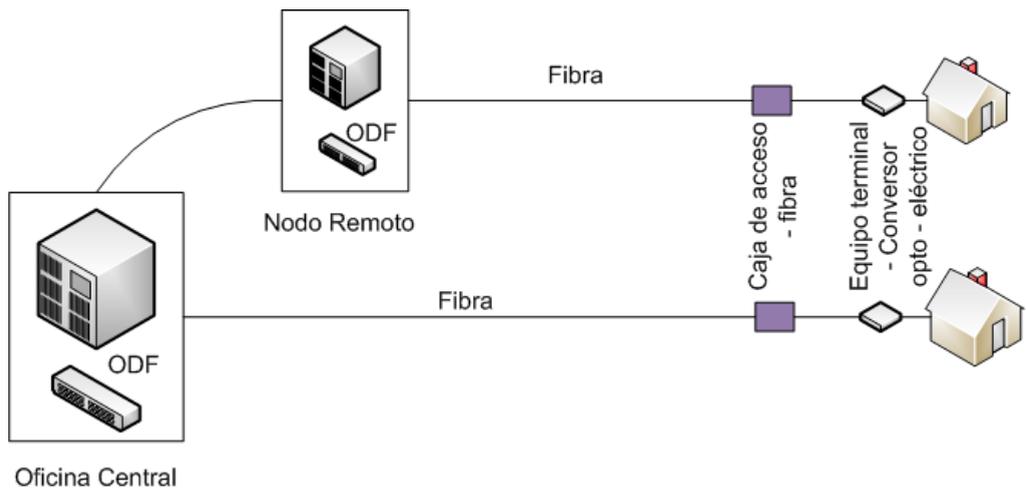


Figura 2.1 Arquitectura de red de acceso de fibra – Solución P2P

Fuente: Autores.

Esta arquitectura de red de acceso es usada en zonas rurales de baja demanda de servicios, en los cuales se encuentra equipado con un número limitado de puertos ópticos – eléctricos en las centrales o nodos remotos.

Para zonas urbanas de alta densidad de demanda, se utilizan cables multifibras, eliminando la gran cantidad de fibras que ingresan a la central o nodo. En la figura 2.2 se ilustra la arquitectura de la red de acceso para los casos de uso de cables multifibras.

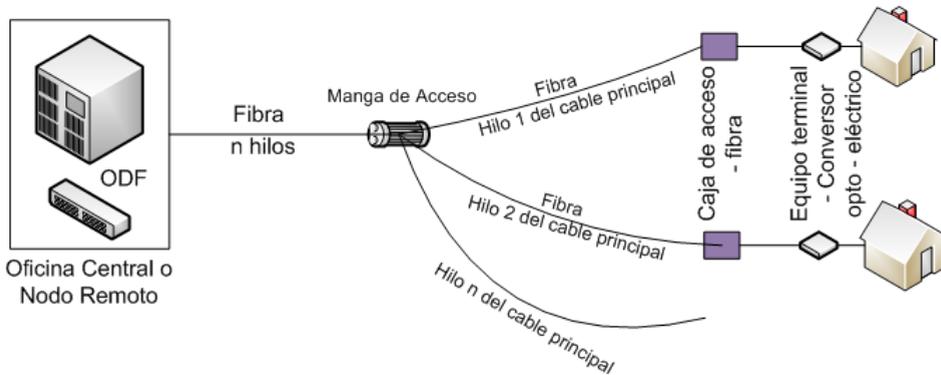


Figura 2.2 *Arquitectura de red de acceso de fibra – Solución P2P*

Fuente: Autores.

Para cualquiera de estas arquitecturas, es necesario contar con un puerto óptico en la central o nodo para cada cliente.

2.1.2.1.2 Equipo instalado.

Para los servicios de internet y de red de datos de alta velocidad en fibra mediante una solución P2P, ETAPA EP cuenta con equipos Switch – Conversor Gigabit Ethernet de la marca CTC UNION modelo FRM220-1000EAS.

El equipo cuenta con 4 puertos de switch de capa 2 del modelo OSI que permite trabajar con redes virtuales sobre el mismo canal, (VLAN). Cuenta con el módulo de control y mantenimiento vía IP. Este equipo permite monitoreo remoto, sin embargo no permite la gestión, por lo que ante cualquier anomalía es necesario movilizar personal técnico de planta externa para el correspondiente mantenimiento en sitio.

Este equipamiento permite brindar los servicios sobre fibra hasta una distancia de 50 Km con un cable de fibra óptica monomodo y de hasta 2 Km con un cable de fibra óptica multimodo, con tasas de transferencia de 10 Mbps, 100 Mbps y 1000 Mbps o hasta un umbral de sensibilidad de -30 dB.

Al momento los equipos están instalados en centrales y nodos remotos de acuerdo a las necesidades requeridas en diferentes sectores, acorde a lo indicado anteriormente.

2.1.2.1.3 Capacidad Instalada y Cobertura. ¹⁷

La capacidad instalada en equipos en las centrales y nodos remotos se encuentra descrita en la siguiente tabla.

CENTRAL Y/O NODO	PUERTOS INSTALADOS	PUERTOS UTILIZADOS	PUERTOS DISPONIBLES	% DISPONIBILIDAD
Arenal	20	14	6	30 %
Bodega	20	13	7	35 %
Capulispamba	10	7	3	30 %
Cebollar	20	1	19	95%
Centro	80	56	24	30 %
Corte de Justicia	20	4	16	80 %
Ejido	30	20	10	33 %
Gonzales Suarez	10	4	6	60 %
Iguazu	14	10	4	29 %
Laguna	20	15	5	25 %
Narancay	12	9	3	25 %
Patamarca	13	8	5	38 %
Parque Industrial	9	6	3	33 %
Ricaurte	8	4	4	50 %
Tanques de Agua	20	1	19	95 %
Tomebamba	10	8	2	20 %
Totoracocha	20	17	3	15 %
U P S	19	15	4	21 %

Tabla 2.1 Capacidad instalada en equipos en las centrales y nodos al 2 de septiembre de 2013.

Fuente: ETAPA EP.

Como se mencionó anteriormente, el principal inconveniente que se tiene para un correcto despliegue de la red de acceso empleada para estos enlaces, es que ésta no se encuentra documentada y que debido a los requerimientos de Ventas, las soluciones han sido puntuales, es decir se ha instalado un cable de fibra exclusivo para un determinado cliente desde la central y/o nodo hasta su localización, de modo que la capacidad instalada en planta externa es ejecutada de acuerdo a una venta efectiva realizada.

La cobertura se centra principalmente en sectores como el Centro Histórico, Parque Industrial, Corte Superior de Justicia, Remigio Crespo, Central Totoracocha y el sector del distribuidor de tráfico de la Ordoñez Lazo y Américas en donde se cuenta con varios cables de fibra óptica monomodo de 12 y 24 hilos desde la central o nodo, hacia una manga de acceso ubicada en el sector de alta densidad de clientes descrita.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

2.1.2.1.4 Consideraciones y Observaciones Generales de un esquema P2P.

Este tipo de solución ha sido un gran aporte e innovación tecnológica en un momento determinado, sin embargo cuenta con algunas deficiencias en función del crecimiento de usuarios y clientes, a continuación se describen algunas consideraciones para las cuales este tipo de solución ya no sería aplicable:

- a) Su alto costo de implementación, debido a la necesidad de contar con un puerto óptico exclusivo en la central o nodo para cada uno de los clientes, es así que para n clientes se requieren de n puertos ópticos disponibles en la central.
- b) Los costos en red de acceso son representativos a nivel de operación y mantenimiento, pues el costo en cable de fibra no es representativo.
- c) La longitud de las acometidas de fibra hacia los clientes supera los 1500 m en la mayoría de los casos, por lo que complica las labores de mantenimiento, aumentando los costos de operación de la Empresa.
- d) De acuerdo a los equipos instalados, se cuenta solamente con el monitoreo de los equipos remotos y no con la gestión, por lo que ante una eventualidad negativa es necesario gestionar la salida de técnicos de red de acceso para que realicen las revisiones que correspondan.
- e) De acuerdo a la capacidad instalada versus la capacidad utilizada indicada en la tabla 2.1, la situación es crítica pues no se cuenta con puertos para mantenimiento.
- f) La solución P2P en fibra es aceptable para un número pequeño de clientes FTTH, pero con el crecimiento de clientes, la solución empieza a ser ineficiente y es necesario buscar soluciones de tipo P2MP.

2.1.3 Red de Acceso mediante Sistemas Inalámbricos. ¹⁷

Los sistemas inalámbricos con los que cuenta ETAPA EP han sido planificados para cubrir principalmente las zonas rurales del Cantón Cuenca en las cuales no se cuenta con red de acceso de cobre o fibra P2P.

Para el servicio de telefónica fija, se emplea la tecnología CDMA a una frecuencia central de 450 MHz, mientras que para el acceso a internet en las zonas rurales se emplea la tecnología EVDO, a una tasa máxima de 350 Kbps.

Las zonas de cobertura con tecnología CDMA y EVDO son las parroquias rurales de Molleturo, Paccha y Baños.

Como un proyecto social de ETAPA EP, se estableció que en los centros parroquiales rurales se encuentren instalados equipos WiFi.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

Actualmente ETAPA EP cuenta también con una red WIMAX para brindar el servicio de internet a algunos de los sectores de la ciudad de Cuenca, tanto para zonas rurales como para zonas urbanas, siendo las más destacadas las zonas en parques y universidades.

2.2 Análisis de la Red de Cobre Actual.

ETAPA EP cuenta con red de acceso en cobre que cubre la totalidad de la ciudad de Cuenca, tiene presencia de red en todas las parroquias urbanas y rurales, exceptuando las parroquias rurales en los límites del Cantón en las cuales son atendidas con sistemas inalámbricos.

Esta red de acceso tuvo como su principal objetivo el sustentar el servicio de telefonía fija; situación que con el desarrollo de las tecnologías de la información y el comercio electrónico ha obligado que ETAPA EP, al igual que otras operadoras de telefonía fija a nivel mundial, realicen el correspondiente tratamiento a su red de acceso para acoplar los nuevos servicios al par trenzado de cobre ya instalado.

Actualmente la red de acceso cuenta con la capacidad de brindar servicios de internet y telefonía mediante el uso principalmente de tecnología ADSL, y en otros sectores incluso se puede brindar servicios con tecnología VDSL y HDSL.

2.2.1 Arquitectura de la Red de Cobre – Servicio telefónico.

Está compuesta por el segmento primario, que es la conexión de los bloques de conexión de lado del MDF al armario de distribución; el segmento secundario, que es la conexión entre los bloques de distribución de red secundaria y la de red primaria ubicadas en el armario de distribución y el segmento de tercera línea o de acometida del cliente.

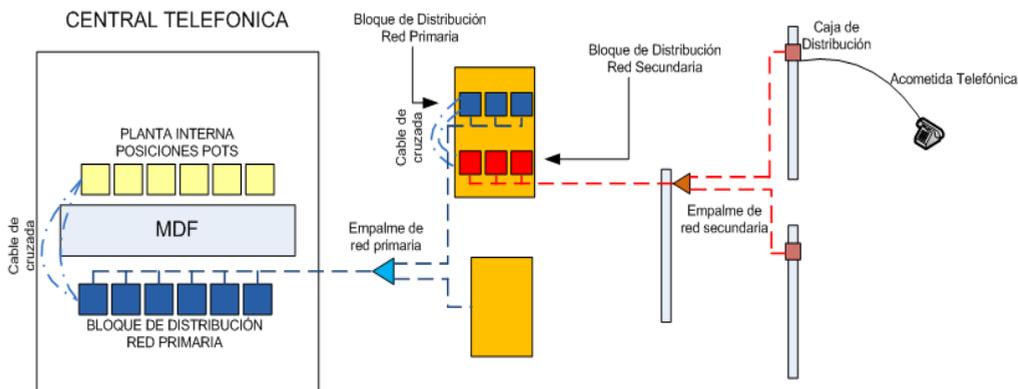


Figura 2.3 Arquitectura de red de acceso de cobre – Servicio Telefónico

Fuente: Autores.

Para el caso de edificios, se realiza una acometida de red secundaria hasta la Caja de Distribución Principal (CDP) que se encuentra ubicada dentro del edificio; siendo el propietario del edificio el responsable del cableado interno.

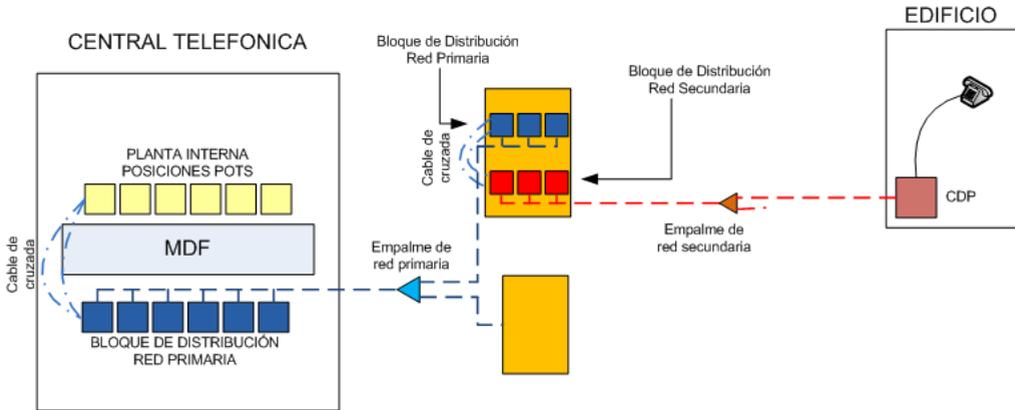


Figura 2.4 *Arquitectura de red de acceso de cobre – Acometidas en Edificios*
Fuente: Autores.

Para la instalación de las acometidas de red secundaria y la CDP en los edificios, ETAPA EP otorga el respectivo permiso de construcción en función de un estudio realizado por un profesional de libre ejercicio.

2.2.1.1 Capacidad Instalada y utilizada de la Red de Cobre – Servicio Telefónico.¹⁷

ETAPA EP cuenta con una capacidad instalada de red de cobre que cubre el total de la ciudad de Cuenca, con excepción de las parroquias rurales ubicada en los límites del Cantón indicados en la sección 2.1.3.

La capacidad instalada y utilizada actual de la red primaria y secundaria se describe en la tabla 2.2, y se puede apreciar que a la fecha existen un total de 625 armarios de distribución, servidos de 3 centrales y 55 concentradores y nodos remotos; y que existe un aproximado ponderado de 63% de pares libres, lo que considerando cada una de las zonas de cobertura y el número de clientes promedio, esto cubriría la demanda para los siguientes 10 años; por lo que no sería necesario el realizar una ampliación en el tiempo inmediato.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

Capacidad Instalada (Pares)		Capacidad Utilizada (Pares)		% de pares libres	
Red Primaria	Red Secundaria	Red Primaria	Red Secundaria	Red Primaria	Red Secundaria
227.671	247.228	142.631	139.612	63 %	56 %

Tabla 2.2 Capacidad instalada de la red de acceso en cobre al 2 de septiembre de 2013.
Fuente: ETAPA EP.

Cabe indicar que el porcentaje de pares libres, no necesariamente especifica una red disponible para ser utilizados, pues gran parte de este porcentaje de pares libres se encuentra en zonas consolidadas en donde la demanda ya ha sido satisfecha.

2.2.1.2 Características de la Red de Cobre – Servicio Telefónico.

Para la revisión de las características de la red de acceso hemos considerado analizarla por las zonas de cobertura, siendo éstas; urbana, centro histórico y rural.

En todos los casos, se emplean cables multipares de variada capacidad con un diámetro de hilo de cobre que oscila entre 0,4 y 0,5 mm, los cuales van a través de canalización subterránea o mediante tendido aéreo a través de postes o adosados en pared, siguiendo las debidas normativas técnicas y las ordenanzas municipales, esto principalmente para el área del centro histórico de la ciudad.

2.2.1.2.1 Bucle de abonado de la Red de Cobre – Servicio Telefónico. ¹⁷

El bucle de abonado de la red de acceso consta de la longitud de la red primaria, secundaria y línea de abonado; para el análisis se realizó un muestreo en varios distritos ubicados en diferentes zonas de la ciudad, determinando el bucle de abonado promedio.

Para el bucle de abonado en la línea de acometida se ha considerado 300 metros para el sector rural, toda vez que esta es la longitud máxima permitida y para los sectores urbanos y centro histórico, se considera una longitud promedio de 150 metros.

Con estas consideraciones, en la siguiente tabla se describe el bucle de abonado promedio por tipo de zona.

¹⁷ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

Zona	Segmento Primario (m)	Segmento Secundario (m)	Acometida (m)	Bucle de Abonado Promedio (m)
Urbana	2.394,50	433,42	150,00	2.977,92
Rural	2.598,54	1.747,54	300,00	4.646,08
Centro Histórico	798,00	309,00	150,00	1.257,00

Tabla 2.3 Bucle de abonado promedio al 7 de agosto de 2013.

Fuente: ETAPA EP.

2.2.1.2.2 Parámetros Eléctricos de la Red de Cobre – Servicio Telefónico.^{19,23}

El departamento de Red de Acceso de ETAPA EP, ejecuta trabajos diarios referidos a mantenimiento correctivo y preventivo, así como la construcción y ampliación de nuevos segmentos de red primaria y secundaria, trabajos en los cuales se controla que los parámetros eléctricos de la red, los cuales están descritos en la tabla 2.4, permitan establecer un bucle de abonado acorde a los datos presentados en la tabla 2.3

Parámetros Eléctricos	*Valor Característico
Resistencia de Bucle	$\leq 1800 \Omega$
Desequilibrio Resistivo	$\geq 2\%$
Resistencia de Pantalla	$\leq 5 \Omega/\text{Km}$
Resistencia de Aislamiento	$\geq 5 \text{ G}\Omega/\text{Km}$ a 500 V CC
Capacitancia Mutua	$52 \pm 2 \text{ nF}/\text{Km}$
Desequilibrio Capacitivo	$\leq 2 \text{ nF}/\text{Km}$
Ruido	$\leq -48 \text{ dBm}$

Tabla 2.4 Parámetros eléctricos característicos.

*Los valores corresponden a cables multipares de 0,4 mm de diámetro.

Fuente: ETAPA EP.

Los parámetros indicados en la tabla 2.4 son los que generalmente se verifican y se controlan en las labores que se realizan por administración directa y por contratista.

¹⁹ ETAPA EP, ASTUDILLO P. Edgar. (Diciembre-2005). "Normas Técnicas para la Construcción y Fiscalización de Redes Primarias, Secundarias y Líneas de Abonados de una Red de Acceso para Servicios de Telecomunicaciones", Volumen II, Cuenca, Ecuador.

²³ LEON, W Couch II. (Febrero 2012). "Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos", 7ma Edición, Editorial Prentice Hall, México

2.2.1.2.3 Dimensionamiento Planificado de la Red de Cobre – Servicio Telefónico.¹⁹

Para el dimensionamiento de la red primaria y secundaria fue realizado en función de un estudio de demanda, el cual tomó en cuenta planes de expansión registrados en el Municipio de Cuenca y un censo de demanda telefónica del sector; así como un factor de crecimiento de la zona con proyección a 10 años; sin embargo, existen sectores que han tenido un explosivo crecimiento poblacional debido a soluciones habitacionales de alta concentración, lo cual ha obligado a realizar reestructuraciones en la red, donde la arquitectura de ésta no cambia, y se ha llegado a tener un índice de penetración telefónica en la ciudad del 28,49%.

2.2.2 Arquitectura de la Red de Cobre de Banda Ancha– Servicio Internet.

Con el despliegue de las tecnologías de la información y crecimiento del internet como herramientas en la vida cotidiana de los usuarios, ETAPA EP al igual que otros operadores tradicionales de telefonía, emprendieron proyectos para la provisión del servicio de acceso a internet sobre la red de acceso de telefonía existente mediante tecnologías XDSL.

2.2.2.1 Red de Cobre de Banda Ancha – Nodos.^{17,19}

En el 2005 la Empresa emprende el proyecto de brindar el servicio de internet banda ancha sobre la red de acceso de cobre utilizada en telefonía mediante la tecnología ADSL. Para la implementación de esta tecnología es necesario contar con un bucle de abonado de máximo 2 km, por lo que para cumplir con este propósito, como solución inmediata se realizó la implementación de nodos con DSLAM y la construcción de una red de cobre hacia estos nodos, para ello se implementó un mini-armario de banda ancha junto al armario de distribución de telefonía, de este modo, la combinación de la señal de telefonía y la de datos se realiza en el mini armario de banda ancha con splitters.

Esta solución fue realizada en la zona urbana para cuyos armarios de distribución tengan una zona de cobertura con bucles de abonado superiores a los 2 km, quedando como bucle de abonado solamente el segmento de red secundaria, la acometida y un pequeño bucle de la red de banda ancha, según lo descrito en la figura 2.5.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

¹⁹ ETAPA EP, ASTUDILLO P. Edgar. (Diciembre-2005). “Normas Técnicas para la Construcción y Fiscalización de Redes Primarias, Secundarias y Líneas de Abonados de una Red de Acceso para Servicios de Telecomunicaciones”, Volumen II, Cuenca, Ecuador.

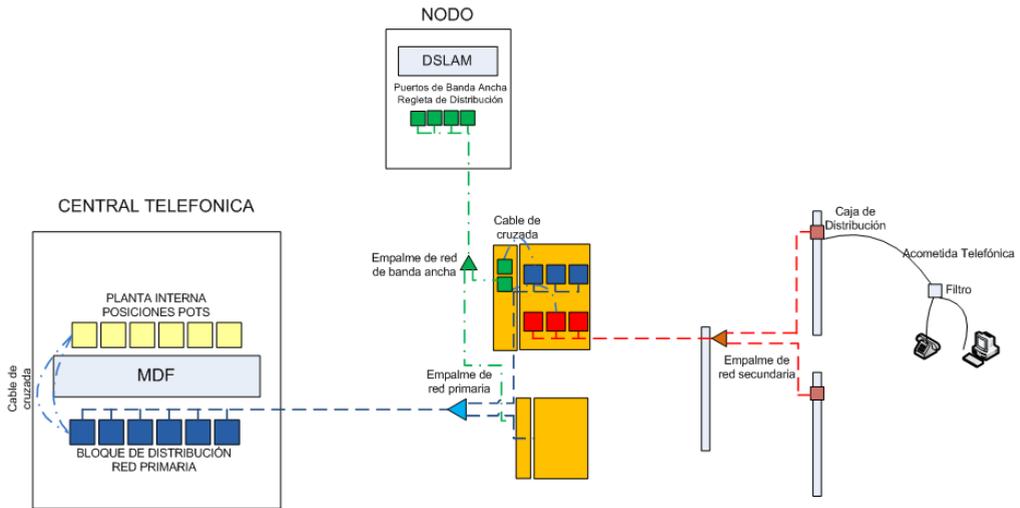


Figura 2.5 Arquitectura de red de acceso de banda ancha – Nodos.

Fuente: Autores.

En la figura 2.6 se muestra la implementación del servicio de acceso a internet para los armarios de distribución cuya distancia era menor a los 2 km, en centrales y concentradores se realizó la implementación de los DSLAM, de modo que la combinación de señales de telefonía y datos se la realizaba en la central y concentrador.

En el lado del usuario se coloca filtros para separar el servicio de telefonía del servicio de banda ancha.

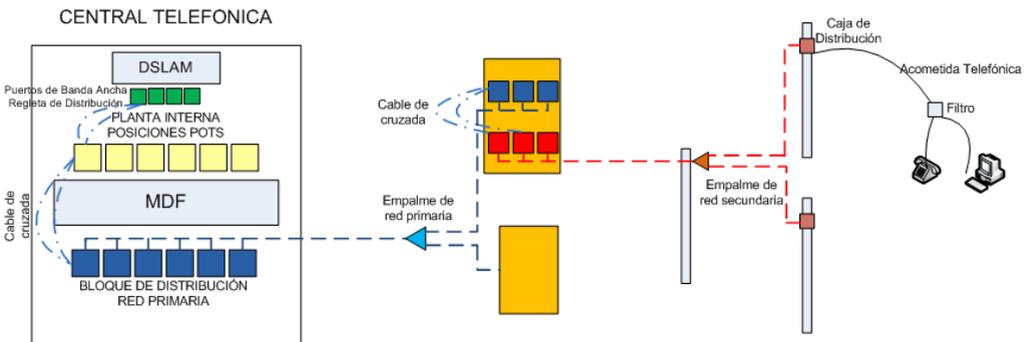


Figura 2.6 Arquitectura de red de acceso de banda ancha directa – Central.

Fuente: Autores.

2.2.2.1.1 Bucle de Abonado y Parámetros Eléctricos – Nodos.^{17, 19}

En función de que para la tecnología ADSL se recomienda en la práctica que el bucle de abonado tenga una longitud inferior a los 2 km para un rendimiento óptimo. Sin embargo no se logró dicho objetivo en todos los distritos, ya que en algunos casos la longitud del bucle de abonado superó la distancia descrita.

En la tabla 2.5 se visualiza la distancia de bucle de abonado promedio obtenida de la red de banda ancha. Se puede observar que para el caso del sector del centro histórico, el bucle de abonado utilizado es el mismo del bucle de abonado de telefonía, toda vez que el mismo era menor al máximo proyectado.

Zona	Segmento Red Banda Ancha (m)	Segmento Secundario (m)	Acometida (m)	Bucle de Abonado Promedio (m)
Urbana	1.923	433,42	150,00	2.506,42
Rural	500*	1.747,54	300,00	2.547,54
Centro Histórico	798,00*	309,00	150,00	1.257,00

Tabla 2.5 Bucle de abonado promedio de la red de banda ancha.

*Zonas rurales y centro histórico el segmento de banda ancha corresponde a la red primaria de longitud máxima indicada.

Fuente: ETAPA EP.

La red de banda ancha desde los nodos a los mini-armarios debe cumplir con los parámetros descritos en la tabla 2.6, además de los parámetros de la tabla 2.4 con excepción de la resistencia de bucle.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

¹⁹ ETAPA EP, ASTUDILLO P. Edgar. (Diciembre-2005). “Normas Técnicas para la Construcción y Fiscalización de Redes Primarias, Secundarias y Líneas de Abonados de una Red de Acceso para Servicios de Telecomunicaciones”, Volumen II, Cuenca, Ecuador.

Parámetros Eléctricos	*Valor Característico
Distancia de bucle	≤ 2000 m
Resistencia de Bucle	$\leq 900 \Omega$
Ruido	$\leq - 48$ dBm
Puesta a tierra –central	$\leq 4 \Omega$
Puesta a tierra –armarios	$\leq 10 \Omega$
Puesta a tierra –empalmes	$\leq 15 \Omega$
Puesta a tierra –caja	$\leq 20 \Omega$
Puesta a tierra –abonado	$\leq 25 \Omega$

Tabla 2.6 *Parámetros eléctricos característicos.*

*Los valores corresponden a cables multipares de 0,4 mm de diámetro.

Fuente: ETAPA EP.

Con las zonas que están fuera de estos valores, no fue posible atender, debido a los altos costos para la implementación de nuevos nodos.

2.2.2.1.2 Dimensionamiento de la Red de Banda Ancha – Nodos.

La implementación de la red de acceso de banda ancha requirió la instalación de 12 nodos y el montaje e instalación de equipos DSLAM en las 3 centrales principales de ETAPA EP, las cuales están denominadas como Centro, Ejido y Totoracocha, la red fue dimensionada con 50 pares en cada mini-armario, con un promedio de 600 pares por nodo.

Cabe resaltar que este dimensionamiento de la red fue realizado al inicio de la prestación de servicio de acceso a internet por parte de ETAPA EP, por lo que la capacidad inicial fue para abarcar 7.200 clientes.

2.2.2.1.3 Características de la Red de Banda Ancha – Nodos.

Durante la fase de construcción de la red de banda ancha, fue esencial controlar los parámetros eléctricos descritos en las tablas 2.4 y 2.6, sobre todo los valores de resistencia de la puesta a tierra, para evitar la inducción de corriente y campos electromagnéticos.

Además se elaboraron planes de mantenimiento preventivo y correctivo en la red de acceso de cobre verificando los parámetros eléctricos de la red y sustitución de cables multipares sin pantalla.

2.2.2.2 Red de Cobre de Banda Ancha – Armarios Activos. ¹⁷

A partir del año 2010 dentro del plan empresarial de ETAPA EP, se estableció como objetivo estratégico la masificación del internet, en función del plan de ventas y de los requerimientos del Gobierno Nacional incrementar significativamente el índice de penetración de internet, tal que desde el año 2009 el índice Nacional era del 3.37% a junio del 2013 llegó a 29,96% [20]; en el caso de ETAPA EP se desarrolló un proyecto para la implementación de armarios activos o nodos externos para conseguir éste objetivo.

Los armarios activos son una solución más efectiva que la implementación de los nodos internos, ya que demandan menos tiempo de puesta en marcha y a un menor costo; debido a que los nodos internos requerían el egreso de capital para la adquisición de terrenos, la ejecución de la obra civil y la construcción de la red de acceso.

Entre otras ventajas, se tiene también que con los armarios activos se reduce el bucle de abonado hasta un máximo de 1 Km, haciendo más robusta la prestación del servicio de banda ancha y red de datos.

Los armarios activos están provistos de equipos con tecnología NGN (New Generation Network) y ADSL para los puertos POTS y de Banda ancha respectivamente, por lo que una vez puestos en operación, para que un cliente pueda tener acceso al servicio y que se encuentra en la zona de cobertura de un armario activo, se requerirá que su número telefónico sea NGN o una tecnología compatible con la misma.

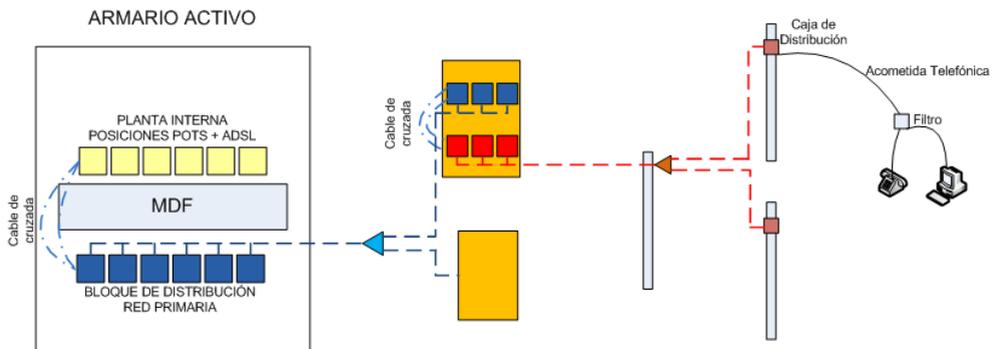


Figura 2.7 Arquitectura de red de acceso con armario activos o nodos externos.

Fuente: Autores.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

En la figura 2.7 se muestra un diagrama de la estructura de la red de acceso mediante un armario activo, como se puede observar esta arquitectura es exactamente igual a la de la telefonía tradicional.

2.2.2.2.1 Bucle de Abonado y Parámetros Eléctricos – Armarios Activos.¹⁷

El bucle de abonado se estableció como máximo de 1 km, cabe señalar que no se instalaron armarios activos en la zona del centro histórico por restricciones en las Ordenanzas Municipales y que en esta zona el bucle de abonado se encontraba en 1,2 km aproximadamente.

Zona	Segmento Red Banda Ancha (m)	Segmento Secundario (m)	Acometida (m)	Bucle de Abonado Promedio (m)
Urbana	41.280,50	433,42	150,00	583,42
Urbano Marginal	654,00	986,54	200,00	1.840,54
Rural	418,66	1.747,00	150,00	2.315,66

Tabla 2.7 Bucle de abonado promedio de la red de acceso de los armarios activos.
Fuente: ETAPA EP.

El requerimiento de los parámetros eléctricos de la red de acceso son los mismos descritos en las tablas 2.4 y 2.6, con la excepción del valor de distancia de bucle y su resistencia.

Parámetros Eléctricos	*Valor Característico
Distancia de bucle	≤ 1000 m
Resistencia de Bucle	$\leq 400 \Omega$

Tabla 2.8 Parámetros eléctricos característicos.

*Los valores corresponden a cables multipares de 0,4 mm de diámetro.

Fuente: ETAPA EP.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

2.2.2.2.2 Dimensionamiento y Consideraciones – Armarios Activos. ¹⁷

La implementación de los armarios activos se realizó con las siguientes consideraciones:

- La instalación de los armarios activos se los realizó en las extremidades de la red primaria.
- Utilización del mismo segmento de red primaria.
- Distancia de bucle de abonado máxima de 1 km.
- La capacidad máxima de puertos en los armarios activos es de 500 y 900 puertos, por lo que un armario activo podía absorber solamente 2 o 3 armarios de distribución.
- Permitir la instalación de puertos VDSL y HDSL.
- Requerían cambiar los números telefónicos con tecnología TDM a números telefónicos con tecnología NGN.

La principal desventaja de esta solución, es el costo por la subutilización de infraestructura que pasa a un estado de des-uso, puesto que una vez que el armario activo entra en operación un segmento considerable de red primaria y puertos POTS de tecnología TDM quedan en un estado de des-uso.

Además de la desventaja indicada en el párrafo anterior, el cambio de números telefónicos a los abonados, generó malestar en los clientes el cual fue reflejado en los índices de satisfacción del cliente durante el periodo de puesta en operación de los armarios activos.

En la figura 2.8 se muestra un esquema simplificado de los elementos en des-uso generados por este proyecto, actualmente aún se realizan la instalación de estos armarios.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

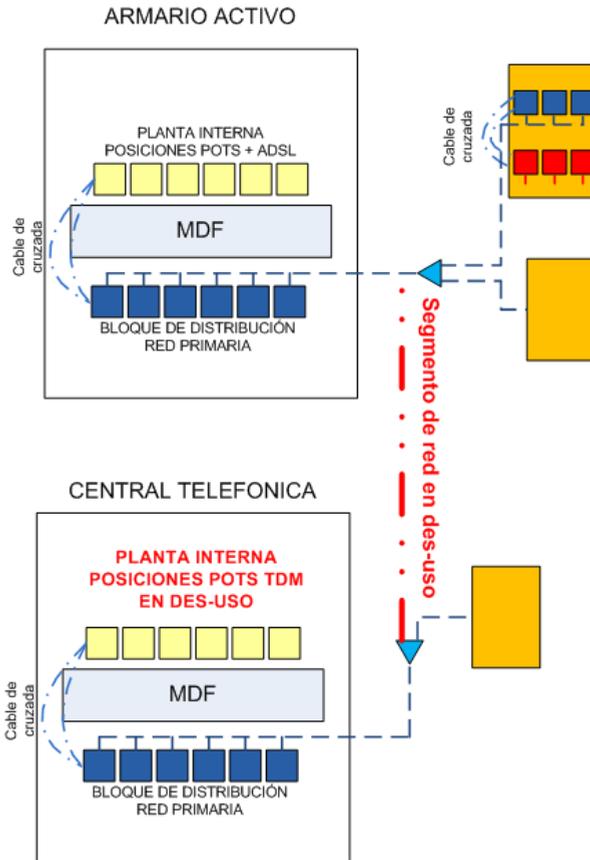


Figura 2.8 Esquema de infraestructura en estado de desocupación.
Fuente: Autores.

La red de banda ancha de los nodos internos fue reestructurada con el fin de que cumpla con el requerimiento de bucle de abonado, pasando segmentos de red de banda ancha a un estado de des-uso.

Además en algunos de los nodos internos se equiparon con puertos POTS NGN para cubrir un determinado sector, siempre dentro de un bucle de abonado máximo de 1 km.

2.3 Análisis y Constitución de la Red Actual GPON.

ETAPA EP emprendió estudios para la aplicación de la red GPON en el año 2010, implementándola a finales del año 2012 y en el primer trimestre del año 2013, entra en

operación con la atención principalmente con los requerimientos del Consejo de Seguridad Ciudadana con enlaces de datos para las cámaras de seguridad del proyecto del ECU-911 en la ciudad de Cuenca.

Al momento ETAPA EP cuenta con una red de acceso con tecnología GPON permitiendo ofrecer servicios FTTx con una topología P2MP. Mediante el sistema FTTx puede ofrecer conectividad de enlaces a través de fibra óptica a edificios, condominios, clientes corporativos y residenciales.

2.3.1 Arquitectura de la Red de Acceso GPON. ^{14,18}

La red de acceso GPON tiene una topología estrella, la OLT se encuentra instalada en la central o nodo de telecomunicaciones, denominada cabecera GPON; así mismo se encuentra instalado el repartidor óptico en donde se encuentra ubicados los puertos de la OLT.

La red de acceso está compuesta por 3 segmentos;

La red de alimentación, que es la conexión entre el repartidor óptico y el armario de distribución óptico (el cual se encuentra instalado en el interior del nodo). Al momento se utilizan patchs cord para la conexión entre el distribuidor óptico y el armario de distribución óptico.

Los elementos de la red de distribución son cables de fibra óptica multihilos, mangas de acceso de red de distribución, ODF's y el armario de distribución óptico

La red de distribución, es la conexión del armario de distribución óptico con cajas de distribución óptica ubicadas en postes, adosadas y subterráneas. Los elementos que conforman esta red son ODF's de esta red ubicados en el armario, mangas de acceso y cajas de distribución.

La acometida de cliente, es el tramo de red desde la caja de distribución a la ONT ubicada en el interior de las instalaciones del cliente.

¹⁴ Recomendaciones ITU-T G.98x.

¹⁸ ETAPA EP, CAICEDO T. Jhonny / ZARI M. Paúl. (Enero-2013). "Manual para la Instalación y Reparación de Acometidas de Fibra Óptica Red GPON", Cuenca, Ecuador

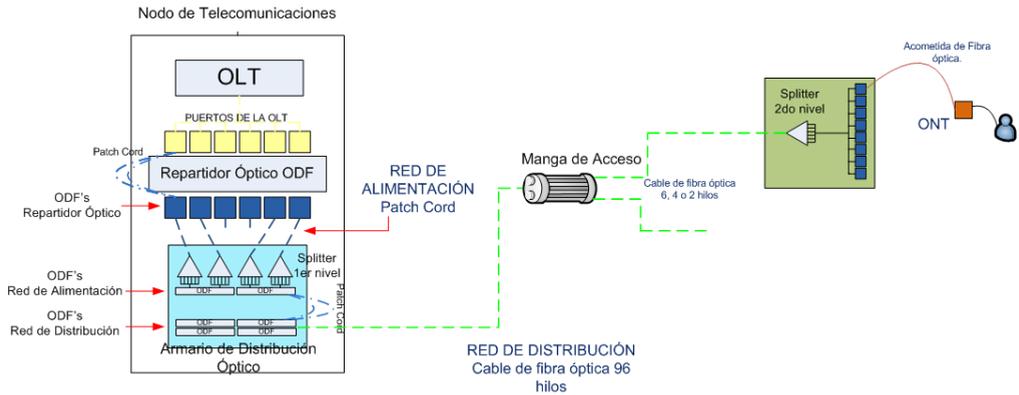


Figura 2.9 Arquitectura de la red GPON de ETAPA EP actual.

Fuente: Autores.

El splitter de primer nivel de la red, se encuentra en el armario de distribución; el segundo nivel de splitting, está ubicado en las cajas de distribución. Tanto en las cajas como el armario de distribución, la conexión entre red de alimentación - red de distribución y entre red de distribución – red de acometida, está realizada mediante patchs cord.

2.3.2 Tecnología utilizada en la Red de Acceso GPON. ^{14,18}

La tecnología utilizada en la red de acceso GPON de ETAPA EP esta implementada acorde a los estándares ITU – T G.984.1/2/3/4 para redes PON de gigabits, la clase de la red es B+ que tiene un umbral de atenuación de -13 a -28 dB, tal como se describió en el capítulo 1.

Los elementos ópticos de la ODN cumplen con las características solicitadas en el estándar ITU–T G.984.2 y se encuentran acorde las necesidades operativas y de infraestructura de ETAPA EP.

2.3.2.1 Niveles de Splitting. ¹⁸

Los dos niveles de splitting se encuentran definidos de la siguiente manera:

- El primer nivel de splitting se encuentra ubicado en la red de alimentación, específicamente en el armario de distribución óptica y tiene una relación 1:8.

¹⁴ Recomendaciones ITU-T G.98x.

¹⁸ ETAPA EP, CAICEDO T. Jhonny / ZARI M. Paúl. (Enero-2013). “Manual para la Instalación y Reparación de Acometidas de Fibra Óptica Red GPON”, Cuenca, Ecuador.

- El segundo nivel de splitting se encuentra ubicado en la red de distribución, específicamente en la caja de distribución y su relación es 1:8
- La relación total de la ODN es de 1:64.

La estructura de la red GPON de ETAPA EP es flexible, permitiendo realizar labores de mantenimiento preventivo y correctivo toda vez que en el repartidor óptico, armario y caja de distribución la conexión es mediante patchs cord con conectores SC-APC.

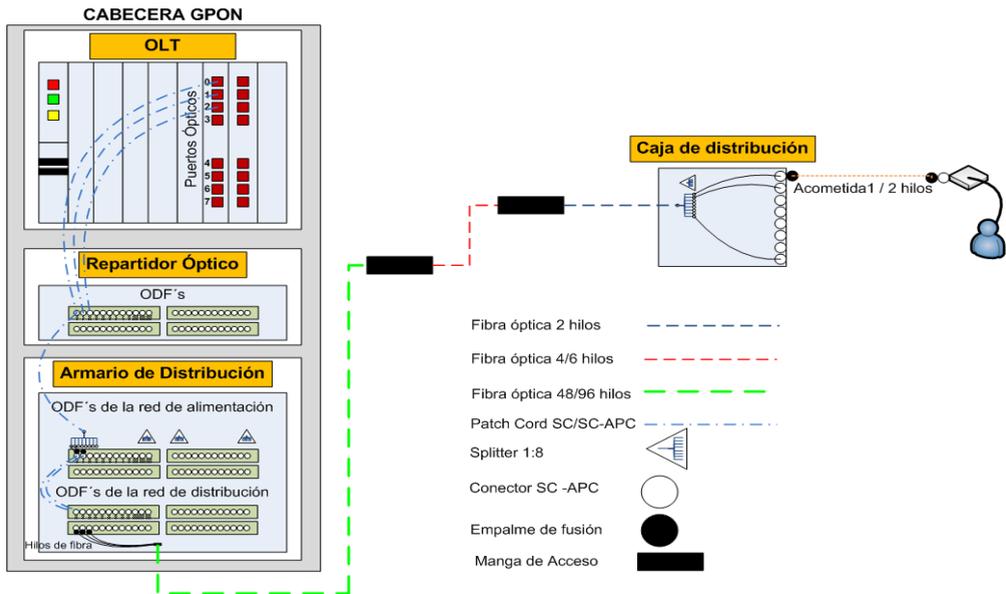


Figura 2.10 Arquitectura de la red GPON de ETAPA EP actual y niveles de splitting.
Fuente: Autores.

2.3.2.2 Longitud Máxima y Presupuesto del Enlace. ^{14, 18}

La longitud máxima de acuerdo al estándar de la ITU-T G.984 define 20 km como la distancia máxima de la red física, desde la OLT hasta la ONT; sin embargo esta distancia depende de los elementos de la ODN que adicionan atenuación a la red, de modo que la sumatoria total de atenuación estén dentro del umbral de atenuación de -13 a -28 dB para una red clase B+.

¹⁴ Recomendaciones ITU-T G.98x.

¹⁸ ETAPA EP, CAICEDO T. Jhonny / ZARI M. Paúl. (Enero-2013). "Manual para la Instalación y Reparación de Acometidas de Fibra Óptica Red GPON", Cuenca, Ecuador.

El presupuesto del enlace es la sumatoria de todas las atenuaciones de los elementos de la red, tales como empalmes de fusión, conectores, splitter de los dos niveles y la atenuación de los cables de fibra. Los valores característicos de atenuación de los elementos se muestran en la siguiente tabla.

ELEMENTO	UNIDAD	ATENUACION
Conector	dB	0,35
Empalme de Fusión	dB	0,1
Empalme Mecánico	dB	0,2
Fibra óptica G652D	dB/km	0,35
Fibra óptica G657	dB/km	0,4
Splitter 1/2	dB	3,2
Splitter 1/4	dB	7,3
Splitter 1/8	dB	10,5
Splitter 1/16	dB	13,7
Splitter 1/32	dB	16,9

Tabla 2.9 *Parámetros ópticos de atenuación característicos.*

Fuente: Autores.

En la sección 2.3.2.4 se define el presupuesto de los accesos de conectividad para la red GPON.

2.3.2.3 Características de la Red de Acceso GPON de ETAPA EP.¹⁸

ETAPA EP cuenta con una definición de características de red que influyen directamente en el presupuesto óptico, éstas incluyen:

- Conectorización para la conexión de los niveles de splitting.
- Mantener un margen de seguridad de 2dB por encima del umbral.
- La relación de splitting total es de 1:64 por medio de 2 niveles de 1:8.
- La acometida de cliente realizada mediante la conexión de conectores SC/APC por fusión por alineamiento de cladding, directamente al cable de acometida.

Para la red de alimentación se utilizan patch cord y ODF's de 12 puertos con conectores SC/APC. En la red de distribución el cable de fibra óptica está bajo el estándar G652.D y cajas de distribución de 10 accesos para cable de acometida, splitter preconectorizado con conectores SC/APC.

¹⁸ ETAPA EP, CAICEDO T. Jhonny / ZARI M. Paúl. (Enero-2013). "Manual para la Instalación y Reparación de Acometidas de Fibra Óptica Red GPON", Cuenca, Ecuador.



Figura 2.11 Conectores de terminación en campo por fusión.
Fuente: http://www.cossio.net/alumnos/curso2011_2012/

Y en la red del cliente se utiliza cable de acometida de fibra óptica que está bajo el estándar G657.A con conectores de fusión en la extremidad del cable.

2.3.2.4 Constitución de la Red de Acceso GPON de ETAPA EP. ^{17,18}

La red GPON de ETAPA EP está constituida por 6 cabeceras GPON ubicadas en las centrales Centro, Ejido y Totoracocha y en los nodos remotos de Ricaurte, Narancay y La Laguna. En la tabla 2.9 se indica la capacidad de la red de acceso instalada por cada cabecera de red.

Cabecera de Red	Puertos de OLT	Red de Alimentación*	Red de Distribución	Cajas de Distribución Activas
Centro	8	8 patch cord	96 + 48 hilos	19
Ejido	16	16 patch cord	96 + 96 + 96 hilos	32
Totoracocha	8	8 patch cord	96 + 96 hilos	26
Ricaurte	8	8 patch cord	96 hilos	12
Narancay	8	8 patch cord	96 hilos	8
La Laguna	8	8 patch cord	96 + 48 hilos	22

Tabla 2.10 Capacidad de Red de Acceso GPON.

*La red de alimentación utiliza patch cord.

Fuente: ETAPA EP.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

¹⁸ ETAPA EP, CAICEDO T. Jhonny / ZARI M. Paúl. (Enero-2013). “Manual para la Instalación y Reparación de Acometidas de Fibra Óptica Red GPON”, Cuenca, Ecuador.

En función de la capacidad instalada, la red dispone de la siguiente disponibilidad de accesos para clientes, misma que se indica en la tabla 2.10.

Cabecera de Red	Disponibilidad Activa	Disponibilidad – Reserva	Disponibilidad Total
Centro	152	9.064	9.216
Ejido	256	18.176	18.432
Totoracocho	208	12.080	12.288
Ricaurte	96	6.048	6.144
Narancay	64	6.080	6.144
La Laguna	176	9.040	9.216
TOTALES	952	60.488	61.440

Tabla 2.11 Disponibilidad de accesos para clientes GPON ETAPA EP.
Fuente: ETAPA EP.

Como se puede ver la disponibilidad activa promedio es del 1,5 %, teniendo demasiados recursos en reserva.

Si bien ETAPA EP definió un margen de seguridad de 2dB, éste hace referencia al total desde la OLT hasta la ONT, sin embargo no se estableció márgenes de seguridad entre la red de alimentación y la red de distribución.

La red de distribución cuenta con una definición de presupuesto óptico hasta la caja de distribución indicada en la tabla 2.11, calculado en base a los planos de construcción de la red GPON, considerando la cámara más cercana y lejana a la cabecera GPON.

Cabecera		Centro				Ejido				Totoracocho			
ELEMENTO	UNIDAD	minima		maxima		minima		maxima		minima		maxima	
		Cantidad	Atenuación	Cantidad	Atenuación	Cantidad	Atenuación	Cantidad	Atenuación	Cantidad	Atenuación	Cantidad	Atenuación
Conector	dB	0,35	5,00	1,75	5,00	1,75	5,00	1,75	5,00	1,75	5,00	1,75	5,00
Empalme de Fusión	dB	0,10	4,00	0,40	9,00	0,90	5,00	0,50	6,00	0,60	6,00	0,60	10,00
Fibra óptica G652D	dB/km	0,35	0,24	0,08	2,05	0,72	0,68	0,24	2,60	0,91	0,77	0,27	3,26
Splitter 1/8	dB	10,50	2,00	21,00	2,00	21,00	2,00	21,00	2,00	21,00	2,00	21,00	2,00
Cabecera		Ricaurte				Narancay				La Laguna			
ELEMENTO	UNIDAD	minima		maxima		minima		maxima		minima		maxima	
		Cantidad	Atenuación	Cantidad	Atenuación	Cantidad	Atenuación	Cantidad	Atenuación	Cantidad	Atenuación	Cantidad	Atenuación
Conector	dB	0,35	5,00	1,75	5,00	1,75	5,00	1,75	5,00	1,75	5,00	1,75	5,00
Empalme de Fusión	dB	0,10	6,00	0,60	8,00	0,80	4,00	0,40	8,00	0,80	5,00	0,50	6,00
Fibra óptica G652D	dB/km	0,35	1,43	0,50	3,19	1,12	0,19	0,07	2,73	0,95	0,26	0,09	2,23
Splitter 1/8	dB	10,50	2,00	21,00	2,00	21,00	2,00	21,00	2,00	21,00	2,00	21,00	2,00

Tabla 2.12 Presupuesto óptico de la red GPON.
Fuente: ETAPA EP.

Cabecera	Mínima (dB)		Máxima (dB)	
	Atenuación Medida	Atenuación Calculada	Atenuación Medida	Atenuación calculada
Centro	23,95	23,23	26,78	24,37
Ejido	23,99	23,49	25,27	24,26
Totoracochoa	23,48	23,62	23,23	24,89
Ricaurte	23,51	23,85	25,92	24,67
Narancay	22,55	23,22	24,67	24,50
La Laguna	20,32	23,34	24,98	24,13

Tabla 2.13 Presupuesto óptico medido y calculado.

Fuente: ETAPA EP.

2.4 Análisis de las Zonas de Cobertura.

ETAPA EP es desde su creación una Empresa Municipal que tuvo como área cobertura el Cantón Cuenca. Desde el año 2011, el Ministerio de Telecomunicaciones extendió una concesión para que ETAPA EP proceda con la prestación de los servicios de telefonía fija y de valor agregado en todo el territorio nacional; sin embargo hasta el momento no se cuenta con la ejecución de proyectos de expansión de red o de prestación de servicios fuera de este cantón, por lo que la presente propuesta se limitará a las condiciones actuales de operación.

2.4.1 Análisis de la Zona de Cobertura – Servicio de Telefonía.

Para la prestación del servicio telefónico dentro del Cantón Cuenca, ETAPA EP cuenta con una red de acceso de cobre y con sistemas inalámbricos con tecnología CDMA; empleando el primero principalmente para las zonas urbanas y el segundo para los sectores rurales.

La red de acceso de cobre cuenta con un total de 625 armarios de distribución en todo el Cantón Cuenca, mientras que los sistemas inalámbricos están presentes en las parroquias de Sinincay, El Valle, Molleturo, Ricaurte Cumbe, Victoria del Portete y Santa Ana, en donde se cuenta ya con 50.000 clientes.

Actualmente ETAPA EP cuenta aproximadamente con 140.000 clientes del servicio telefónico sobre la red de cobre, obteniendo un índice de penetración del servicio telefónico del 28,49%.

En la tabla 2.2 se especifica el porcentaje de red primaria y secundaria en estado libre o reserva, sin embargo existen sectores de crecimiento poblacional a través de soluciones habitacionales multifamiliares de una alta concentración que ha saturado las redes de acceso primarias y secundarias presentes en la zona.

El alto porcentaje de red de acceso en cobre libre se debe también, a la operación de proyectos de banda ancha, esencialmente el de armarios activos que libera un alto porcentaje de red primaria.

Se puede decir que la red de acceso en cobre actualmente satisface la demanda, considerando un porcentaje menor al 5% de órdenes no realizadas por falta de red; mismas que tienen soluciones puntuales de ampliación en tiempos no mayores a 21 días.

2.4.2 Análisis de la Zona de Cobertura – Servicio de Internet.

La zona de cobertura para la prestación de servicios de acceso a internet al igual que el servicio de telefonía es el Cantón Cuenca; y puede ser prestado mediante la red de acceso en cobre, fibra y mediante sistemas inalámbricos.

Al momento se cuenta con un índice de penetración en base a los hogares del 41,50 %.

En las zonas rurales se presta el servicio de acceso a internet con la tecnología EVDO y actualmente se cuenta con sectores que se presta el servicio a través de WiMax, la descripción y análisis de las zonas de cobertura de los sistemas inalámbricos no serán profundizadas toda vez que las mismas no son de relevancia en el presente estudio.

2.4.2.1 Análisis de la Zona de Cobertura – Red de Cobre. ^{17,19}

Para este análisis se ha considerado la zona de cobertura total de la red de cobre con capacidad de soportar los servicios de acceso a internet, es decir se realizó un análisis conjunto de las soluciones mediante nodos internos y la implementación de armarios activos descritos en las secciones 2.2.2.1 y 2.2.2.2, respectivamente.

Inicialmente, con la implementación de nodos internos la zona de cobertura estaba atada a una distancia máxima de 4 km de bucle de abonado, lo que generaba varias zonas sin cobertura, sobre todo con las zonas rurales.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

¹⁹ ETAPA EP, ASTUDILLO P. Edgar. (Diciembre-2005). “Normas Técnicas para la Construcción y Fiscalización de Redes Primarias, Secundarias y Líneas de Abonados de una Red de Acceso para Servicios de Telecomunicaciones”, Volumen II, Cuenca, Ecuador.

Con la puesta en operación de los armarios activos la zona de cobertura para la prestación internet fue en su totalidad en la ciudad, salvando ciertos sectores rurales-marginales, sin embargo estas zonas son cubiertas por los sistemas inalámbricos.

Actualmente se cuenta aproximadamente con 50.000 clientes de banda ancha distribuidos en los 625 armarios de distribución, en la tabla 2.14 se indica la cantidad promedio de clientes por armario de distribución y el máximo de clientes en un armario de distribución.

% Armarios de distribución con clientes IBA	Promedio Actual Clientes IBA por Armario de distribución	Máximo Actual Clientes IBA por Armario de Distribución
93 %	54	109

Tabla 2.14 Cantidad Promedio de Clientes en función de los armarios de distribución.

Fuente: ETAPA EP.

2.4.2.2 Análisis de la Zona de Cobertura – Red de Fibra.

Como se indicó anteriormente en redes de acceso de fibra se cuenta con soluciones P2P y la red GPON, las mismas que acorde a la tecnología utilizada en cada una, se puede establecer una zona de cobertura. En la siguiente sección se describen estos escenarios.

2.4.2.2.1 Análisis de la Zona de Cobertura – P2P en fibra. ^{17, 18}

En función de los equipos a emplear para la solución P2P se cuenta con un rango de hasta 50 Km con cable de fibra monomodo, sin embargo debido a la complejidad que puede presentarse en la operación y mantenimiento de estos enlaces se estableció, las siguientes consideraciones de diseño:

- La distancia máxima de una acometida de fibra desde el nodo de telecomunicaciones hasta las instalaciones del cliente será de 3 Km.
- Para el caso de nodos de telecomunicaciones que no cuenten con un rack de convertidores, se utilizará la capacidad (hilos) de la red de transporte de ETAPA EP (anillo óptico), considerando la disponibilidad de hilos libres y que la distancia total del enlace sea menor a los 20 Km.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

¹⁸ ETAPA EP, CAICEDO T. Jhonny / ZARI M. Paúl. (Enero-2013). “Manual para la Instalación y Reparación de Acometidas de Fibra Óptica Red GPON”, Cuenca, Ecuador.

- Las instalaciones P2P en fibra están restringidas a zonas en donde no exista cobertura de la red GPON.
- En el caso que un cliente tipo VIP (Instituciones Estatales, Municipales, Hospitales, Corporativo, etc.) lo requiera, las soluciones P2P serán utilizadas para brindar enlaces de respaldo, previo estudio de factibilidad técnica.

Estas consideraciones de diseño y al contar con una red de transporte en fibra hace que la cobertura para este tipo de soluciones sea la totalidad de la Ciudad de Cuenca, en donde la factibilidad para un determinado sector la restringe el hecho de disponer de un puerto óptico. En la figura 2.12 se muestra el mapa de cobertura de la solución P2P en fibra.

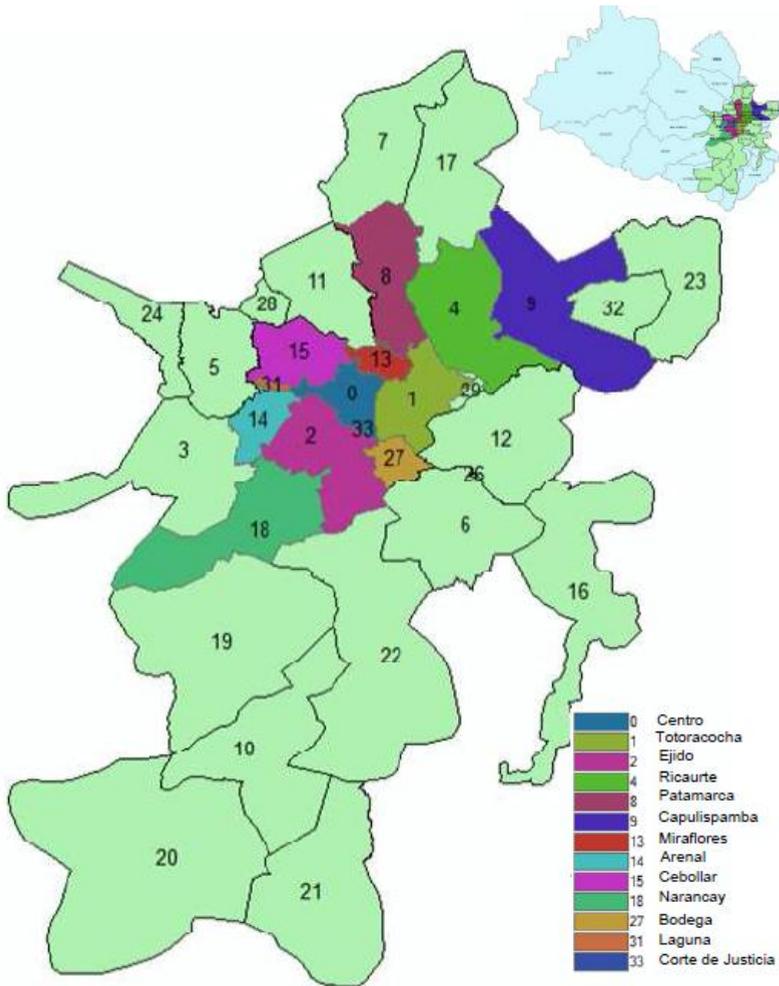


Figura 2.12 Cobertura P2P en fibra.
Fuente: ETAPA EP.

2.4.2.2.2 Análisis de la Zona de Cobertura – Red de Acceso GPON.^{17, 18}

La cobertura de la red GPON desde su implementación tuvo por objetivo inicial la atención del sector corporativo, siendo así, se implementaron una determinada cantidad de cajas de distribución por cada cabecera de red, mismas que se indicaron en la tabla 2.10. Para la instalación de las acometidas de fibra de la red GPON se desarrolló un manual en el cual se especifica el procedimiento para la instalación de una acometida de fibra, así como de la distancia desde la caja hasta las instalaciones del cliente las cuales se muestra en la tabla 2.15.

Distancia de acometida desde la caja (m)	Zona
300	Centro Histórico
500	Urbana
500	Rural

Tabla 2.15 Distancia de la acometida de fibra óptica desde la caja de distribución.
Fuente: ETAPA EP.

Sin embargo, debido al explosivo crecimiento de la demanda de servicios de acceso a internet y red digital de datos a través de fibra óptica de sectores corporativos y a la falta de cobertura en algunas zonas ha llevado a que las distancias indicadas en la tabla 2.15 no sean respetadas, pues actualmente se realizan instalaciones con acometidas de longitud de hasta 1.500 m.

Esta falta de normalización en los procesos de instalación de servicios en la red GPON ha hecho que no se cuente con una zona de cobertura exacta.

En la figura 2.13 se muestra la zona de cobertura de la red GPON por cabeceras, mientras en la figura 2.14, considerando acometidas de hasta 300 metros desde la caja de distribución, se muestra la cobertura por las cajas de distribución. Se puede observar que existen zonas sin cobertura de esta red.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

¹⁸ ETAPA EP, CAICEDO T. Jhonny / ZARI M. Paúl. (Enero-2013). “Manual para la Instalación y Reparación de Acometidas de Fibra Óptica Red GPON”, Cuenca, Ecuador.

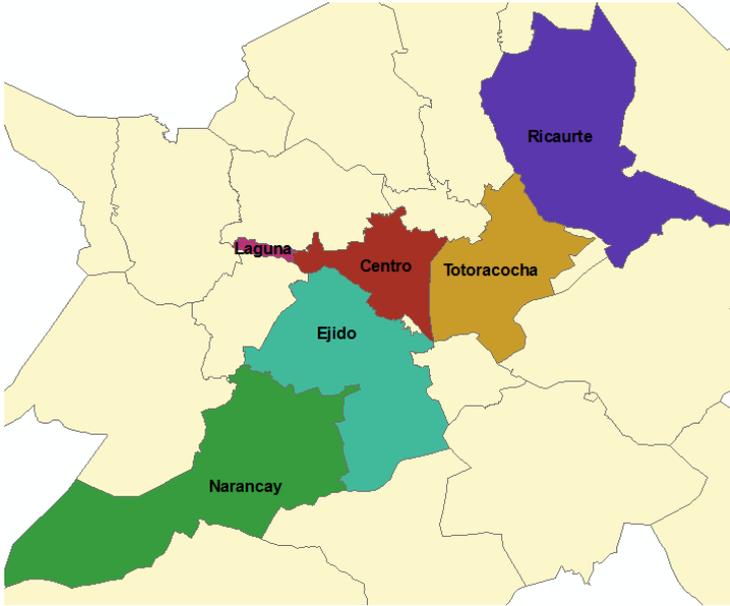


Figura 2.13 Cobertura GPON por cabeceras de red.
Fuente: ETAPA EP

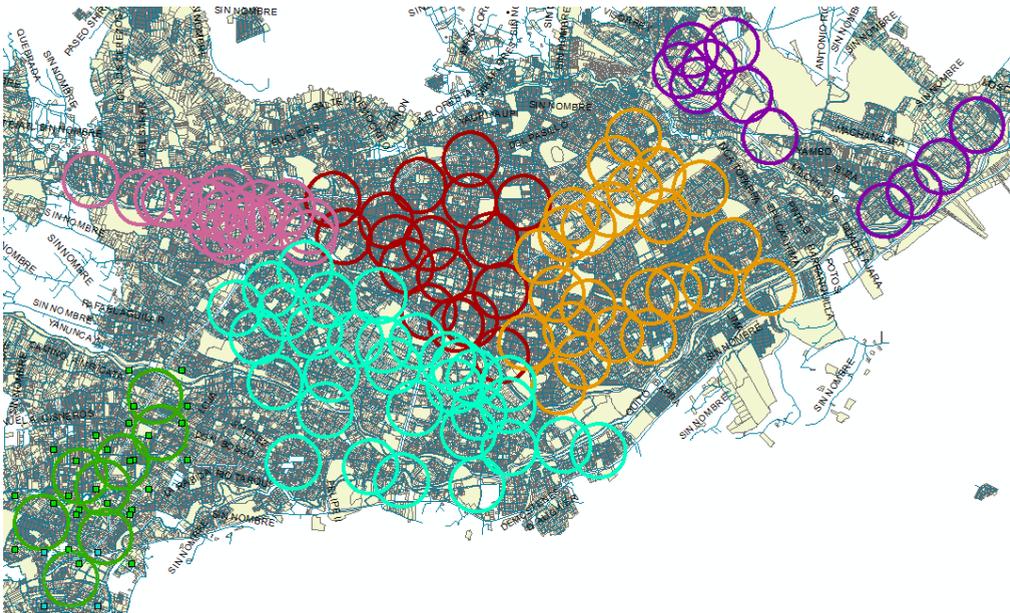


Figura 2.14 Cobertura por cajas de distribución.
Fuente: ETAPA EP.

2.4.2.2.1 Consideraciones y Observaciones.

De acuerdo a las características y constitución de la red GPON descrita en la sección 2.3, y a la zona de cobertura definida en sección 2.4 refleja que la red GPON actual presenta varias ambigüedades y situaciones que no han sido definidas, mismas que son descritas a continuación:

- Considerando una caja de distribución de máximo 8 puertos y una distancia de acometida de 300 metros, la zona de cobertura de una caja de distribución tendría un área de cobertura circular de 600 metros, en zonas donde existen más de 8 potenciales clientes. En la figura 2.15 se indica la cobertura de las cajas de distribución de la cabecera Centro, en donde se puede ver que la cobertura de una caja abarca a más de 8 predios.
- Considerando que se ejecutan acometidas de longitudes de hasta 1.500 metros, los tiempos de implementación en instalaciones y reparaciones son altos.
- Al considerar la atención solamente del sector corporativo y considerando que este sector se encuentra muy disperso, se tiene demasiados recursos subutilizados.

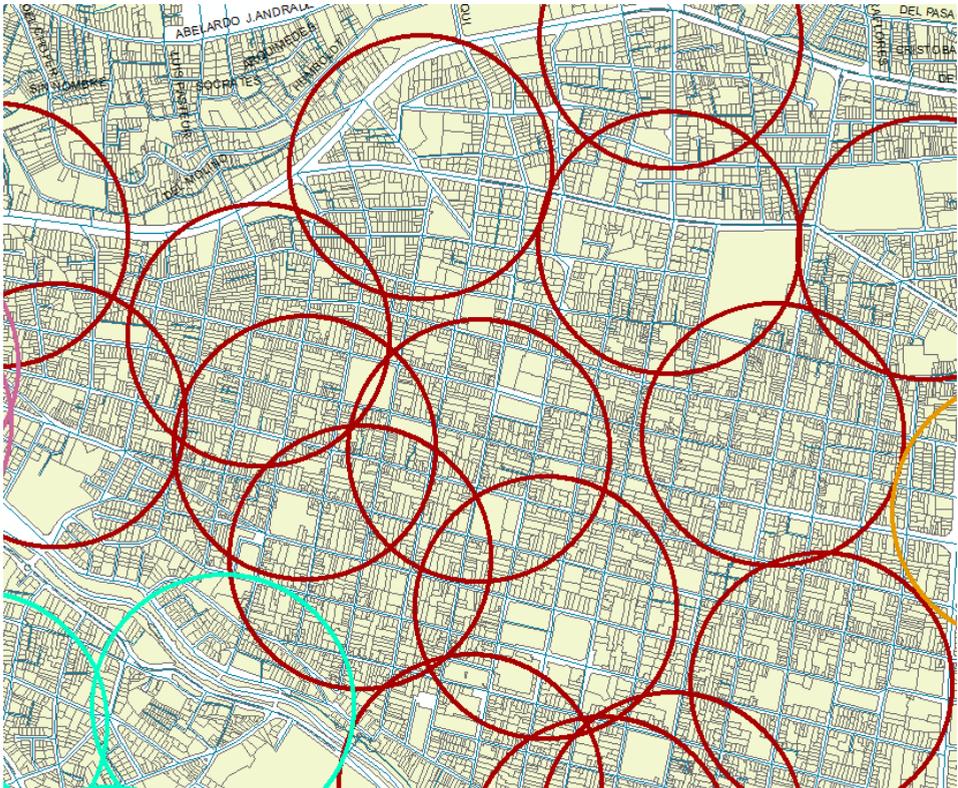


Figura 2.15 Cobertura de cajas de distribución de la Cabecera Centro.
Fuente: ETAPA EP.

2.5 Densidad de Usuarios y características de Tráfico en la Red.¹⁷

ETAPA EP dentro del cantón Cuenca se ha consolidado como el principal operador de telecomunicaciones, a través de la prestación de sus servicios de telefonía, acceso a internet, red digital de datos, líneas dedicadas, etc. y actualmente con la prestación de servicios de Data Center, tales como hosting, clodding, etc.

Dentro del servicio telefónico ETAPA EP cuenta en la actualidad con 150.900 clientes activos, dando un índice de penetración del 28.49 %, tanto con la red de acceso en cobre como los clientes mediante sistemas de acceso inalámbricos.

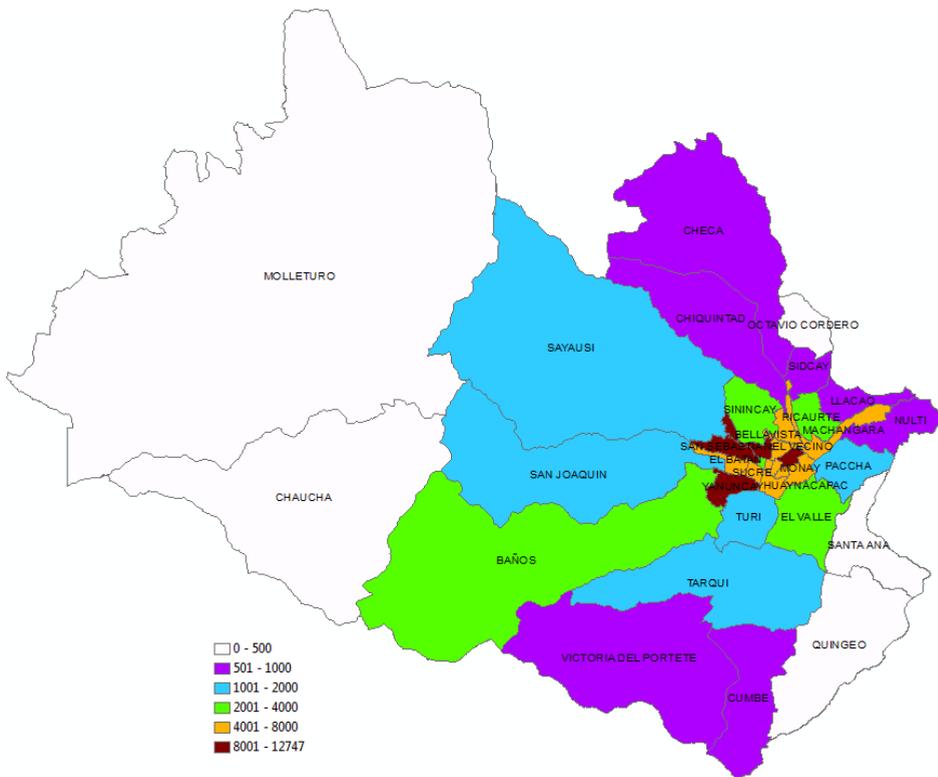


Figura 2.16 Densidad de clientes de telefonía por parroquias.
Fuente: ETAPA EP.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

El tráfico generado por concepto de servicio telefónico lo hemos valorado en función de los minutos consumidos, y se encuentran detallados en la tabla 2.16; la información de las tablas ha sido verificada en función de un periodo del año 2010 a junio del 2013.

PERIODO	TOTAL MINUTOS SALIENTES				
	Tráfico Local	Tráfico Nacional	Tráfico Internacional	Tráfico Celular	TOTAL
2010	390.688.442,43	75.313.870,50	6.865.978,46	24.711.487,73	497.579.779,12
2011	344.689.861,95	73.171.104,48	6.626.156,08	24.448.291,47	448.935.413,98
2012	322.099.948,59	72.281.629,84	5.219.336,68	24.397.620,48	423.998.535,59
jun-13	152.039.330,64	34.856.499,86	2.263.771,73	11.572.032,22	200.731.634,45

Tabla 2.16 Minutos consumidos por los servicios de telecomunicaciones.
Fuente: ETAPA EP.

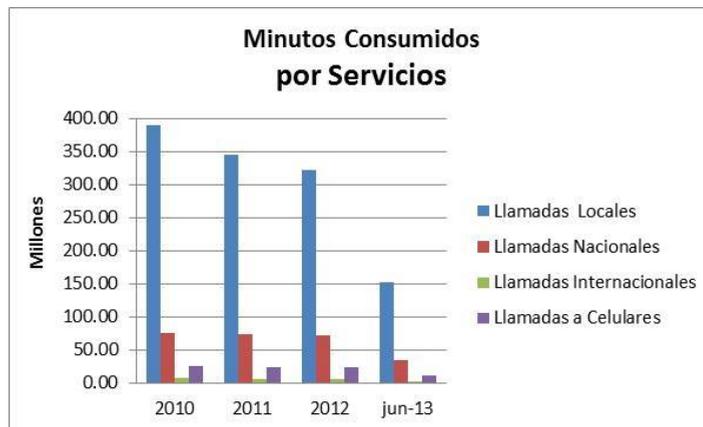


Figura 2.17 Minutos consumidos por los servicios de telecomunicaciones.
Fuente: ETAPA EP.

Considerando que el servicio telefónico no corresponde al punto de análisis de la presente tesis, no es de relevancia la presentación de más características de tráfico.

En actualidad la demanda en crecimiento es los servicios de acceso a internet, teniendo ETAPA EP actualmente 51.000 clientes, entre residenciales y corporativos. Este crecimiento de la demanda también se ve reflejado en la densidad de tráfico de este servicio.

PERIODO	POBLACIÓN	HOGARES	CONEXIONES		CONEXIONES TOTALES EN SERVICIO	PENETRACIÓN EN BASE A LA POBLACIÓN	PENETRACIÓN EN BASE A LOS HOGARES	PENETRACIÓN EN BASE AL NÚMERO DE CONEXIONES
			En Servicio Activas	Activas Suspendidas				
dic-09	494'962	121'912	6'976		6'976	1.41%	5.72%	68.14%
dic-10	505'585	124'528	15'385	858	16'243	3.21%	13.04%	82.40%
dic-11	515'859	136'667	29'979	1'363	31'342	6.08%	22.93%	56.43%
dic-12	524'991	138'991	42'424	3'267	45'691	8.70%	32.87%	36.01%
jun-13	529'583	137'809	47'157	4'184	51'341	9.69%	37.26%	12.51%

Tabla 2.17 Índices de Penetración de Banda Ancha.

Fuente: ETAPA EP.

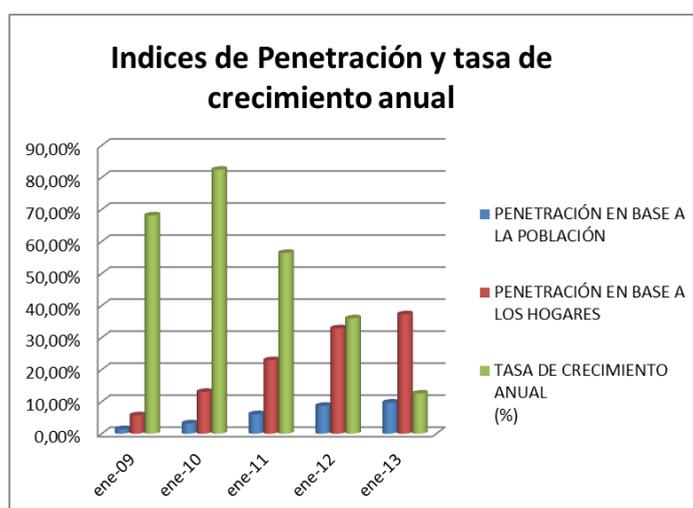


Figura 2.18 Índice de penetración por hogares y población.

Fuente: ETAPA EP.

2.5.1 Densidad de Usuarios – Tecnología xDSL.¹⁷

ETAPA EP cuenta con 76 nodos de telecomunicaciones con tecnología xDSL para la atención de la demanda del servicio de acceso a internet en el Cantón Cuenca, que en su gran mayoría están equipados con ADSL. Existen muy pocos clientes del sector corporativo que utilizan VDSL o GHDSL que han sido incluidos dentro de este análisis y determinación de la densidad de usuarios.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

Cantidad de Nodos	Total de Puertos	Total Clientes	Clientes Promedio por Nodo	% de disponibilidad de puertos ADSL
76	67.552	52.150	686	22,80%

Tabla 2.18 Puertos ADSL de ETAPA EP.
Fuente: ETAPA EP.

Mediante la herramienta de sistema de información geográfica, en la figura 2.19 se muestra el mapa de densidad de clientes de internet por zona de cobertura de los nodos de telecomunicaciones.

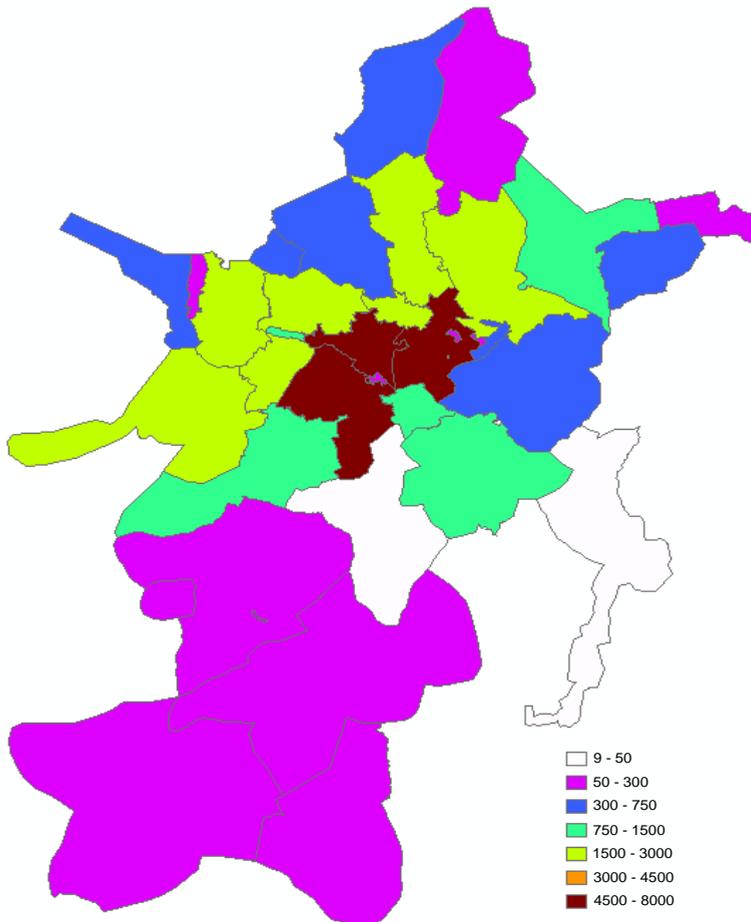


Figura 2.19 Mapa de densidad de clientes por zona.
Fuente: ETAPA EP.

2.5.2 Densidad de Usuarios – P2P en fibra y GPON. ^{17,18}

Las soluciones P2P en fibra y la red GPON que sustentan los servicios de acceso a internet y red digital de datos al sector corporativo, este sector tiene la particularidad de ser dispersos geográficamente.

En la figura 2.20 se indica los puertos utilizados de los racks de conversores, mientras la figura 2.21 indica el mapa de densidad de servicios.

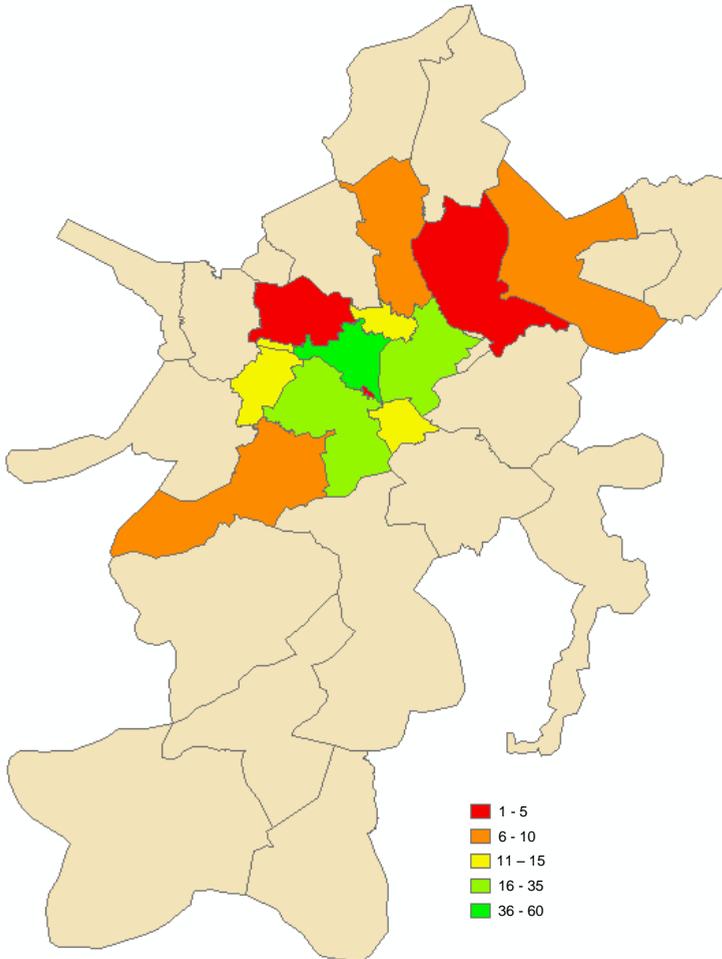


Figura 2.20 Mapa de densidad de puertos utilizados por los racks de conversores.
Fuente: ETAPA EP.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

¹⁸ ETAPA EP, CAICEDO T. Jhonny / ZARI M. Paúl. (Enero-2013). “Manual para la Instalación y Reparación de Acometidas de Fibra Óptica Red GPON”, Cuenca, Ecuador.

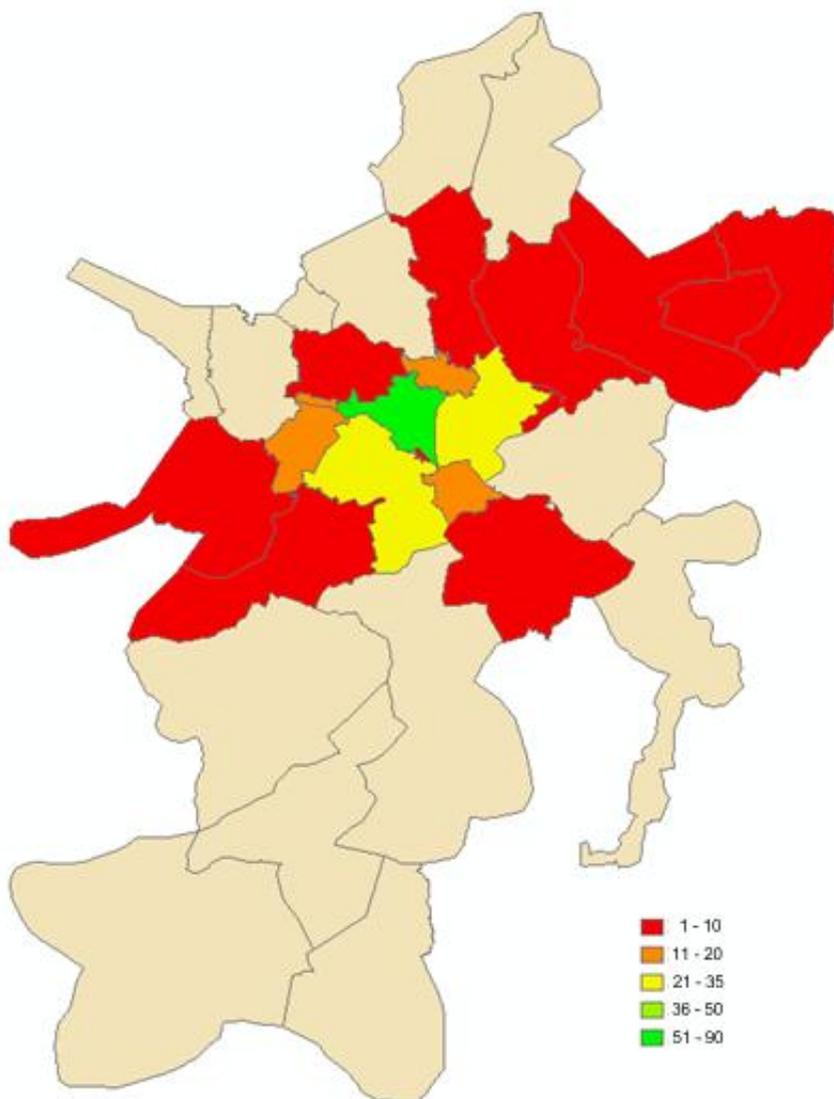


Figura 2.21 *Mapa de densidad de servicios soluciones P2P*
Fuente: ETAPA EP.

La red GPON se encuentra operando desde el segundo trimestre del año 2013 y cuenta con 114 clientes de servicios de acceso a internet y de red de datos digital. En la figura 2.22 se muestra un mapa de densidad de usuarios de acuerdo a la cobertura de las cabeceras GPON.

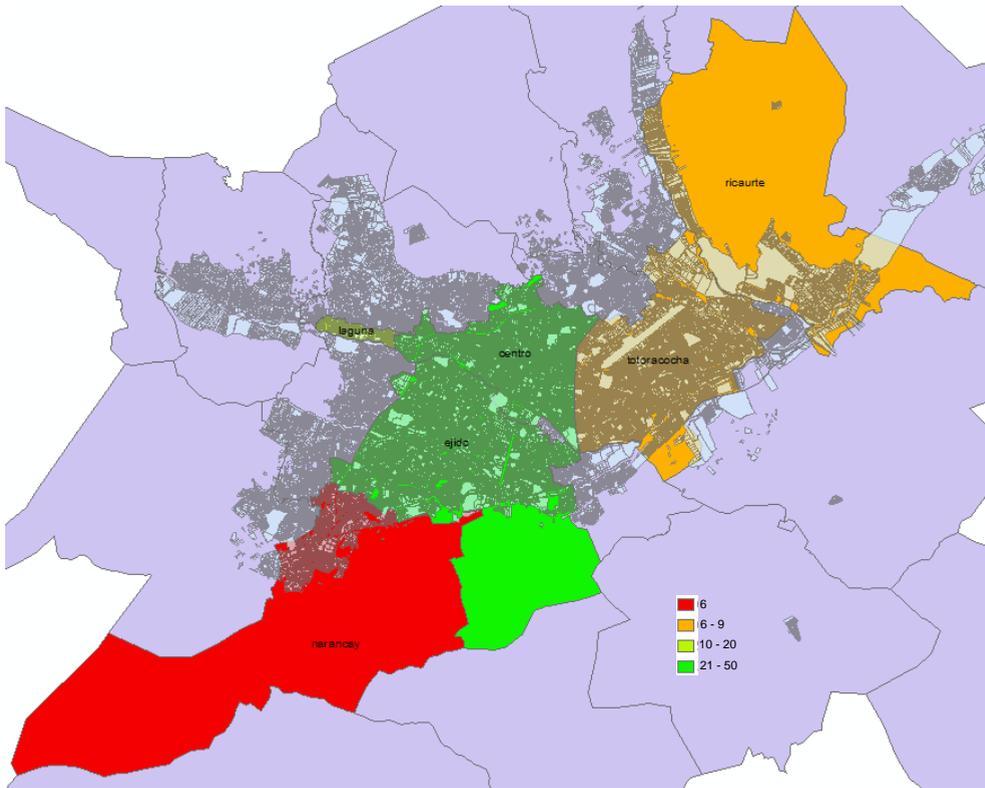


Figura 2.22 Mapa de densidad de clientes red GPON
Fuente: ETAPA EP.

2.5.3 Características de Tráfico – Tecnología xDSL. ¹⁷

A continuación se presentan las tablas 2.19 y 2.20, mediante el cual se observa que el tráfico total requerido para el mes de Agosto del presente bordea los 12 Gbps con un total de clientes que asciende a 46.676.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

Central / Nodo	# Usuarios Activos	Participación %
Centro	7'700	16.50%
Ejido	6'939	14.87%
Totoracocha	6'093	13.05%
El Arenal	2'300	4.93%
Cebollar	2'056	4.40%
Ricaurte	2'055	4.40%
Patamarca	1'624	3.48%
Baños	1'444	3.09%
Miraflores	1'381	2.96%
Narancay	1'380	2.96%
El Valle	1'123	2.41%
Gapal-Bodega	900	1.93%
Sinincay	709	1.52%
La Laguna	675	1.45%
Capulispamba	606	1.30%
Monay	575	1.23%
Cdla. Tomebamba	453	0.97%
Challuabamba	434	0.93%
Sayausí	407	0.87%
La Ramada	394	0.84%
Racar	332	0.71%
Hospital del Río	306	0.66%
Balzay	306	0.66%
San Joaquín	278	0.60%
Misicata	277	0.59%
Facte	269	0.58%
San Martín	262	0.56%
Eucaliptos	255	0.55%
Carlos Crespi	252	0.54%
Coleg. Técnico Ricaurte	248	0.53%
El Salado	233	0.50%
Ochoa León	229	0.49%
Corte Superior	210	0.45%
Sidcay	208	0.45%
Sta. Marianita	207	0.44%
Ucubamba	207	0.44%
Colegio Borja	204	0.44%
Santa María	203	0.43%

Rio Amarillo	189	0.40%
Santa Cruz	181	0.39%
Cumbe	178	0.38%
El Vecino	172	0.37%
Cerezos	171	0.37%
Huizhil	167	0.36%
Tarqui	164	0.35%
Coliseo - Totoracocha	156	0.33%
Buenos Aires	156	0.33%
Victoria del Portete	138	0.30%
Quinta Chica	128	0.27%
Chiquintad	121	0.26%
Zhucay	110	0.24%
Monay - Centro Comercial	100	0.21%
Petro - Comercial	90	0.19%
Paccha	87	0.19%
Las Américas	83	0.18%
Llacao	82	0.18%
Edificio Olimpo	78	0.17%
Urb. Rieles	74	0.16%
Guangarcucho	54	0.12%
Miravalle	46	0.10%
Punta Corral	37	0.08%
Portal del Sol	32	0.07%
Torres de Yanuncay	32	0.07%
Guncay	26	0.06%
Dizha - Sta. Ana	20	0.04%
Capulíes	11	0.02%
CDMA	11	0.02%
Molleturo	10	0.02%
El Verde	9	0.02%
Office	9	0.02%
SIP - NGN	6	0.01%
Inalámbrica	6	0.01%
Santa Ana	5	0.01%
ETAPA - Call Manager	2	0.00%
Monay Shopping Center	1	0.00%
TOTAL	46'676	100.00%

Tabla 2.19 Usuarios de Internet por Central (Datos Agosto 2013).

Fuente: ETAPA EP.

Plan (Velocidad Kbps)	Nivel de Compresión	# Usuarios Activos	Ancho de Banda (Kbps)
256	1	2	512
256	2	1	128
256	8	3	96
350	1	217	75'950
350	4	34	2'975
450	1	8	3'600
450	4	1	113
512	1	4	2'048
512	2	3	768
600	1	8	4'800
700	1	8	5'600
700	4	16	2'800
700	8	2	175
750	1	3	2'250
1'000	1	60	60'000
1'000	2	17	8'500
1'000	4	247	61'750
1'024	1	1	1'024
1'200	1	8	9'600
1'400	1	21	29'400
1'400	4	30	10'500
1'500	1	6	9'000
1'500	2	15	11'250
1'500	4	185	69'375
1'800	8	19'990	4'497'750
2'000	1	18	36'000
2'000	2	29	29'000
2'000	4	198	99'000
2'100	1	12	25'200
2'400	1	25	60'000
2'400	8	6'231	1'869'300
2'500	1	4	10'000
2'500	2	14	17'500
2'500	4	164	102'500
2'800	8	7'479	2'617'650
3'000	1	5	15'000

3'000	2	14	21'000
3'000	4	87	65'250
3'500	1	2	7'000
3'500	2	3	5'250
3'500	4	61	53'375
3'600	8	1'558	701'100
4'000	1	18	72'000
4'000	2	14	28'000
4'000	4	14	14'000
4'500	1	10	45'000
4'500	2	3	6'750
4'500	4	13	14'625
5'000	1	12	60'000
5'000	2	5	12'500
5'000	4	5	6'250
5'000	8	245	153'125
5'500	1	5	27'500
5'500	2	5	13'750
6'000	1	4	24'000
6'100	8	282	215'025
6'500	4	6	9'750
6'600	1	1	6'600
7'000	1	1	7'000
8'000	8	54	54'000
10'000	8	48	60'000
10'500	1	1	10'500
12'500	1	3	37'500
16'500	1	1	16'500
22'000	1	1	22'000
22'500	1	4	90'000
33'500	1	5	167'500
36'500	1	1	36'500
50'000	1	1	50'000
61'500	1	2	123'000
100'000	1	1	100'000
160'000	1	1	160'000
TOTAL		37'560	12'247'464

Tabla 2.20 Estimación de Ancho de Banda de Usuarios de Internet por Velocidad contratada (Datos Agosto 2013)

Fuente: ETAPA EP.

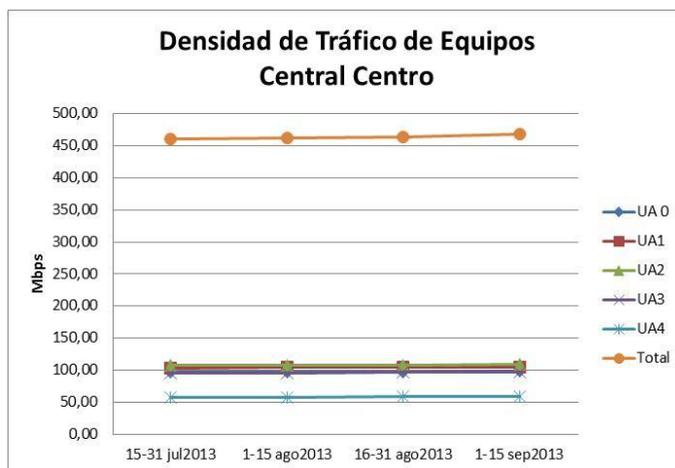
Como se indicó anteriormente ETAPA EP cuenta con 76 nodos de telecomunicaciones equipados con tecnología xDSL, estos nodos se sustentan sobre una red de transporte en fibra y en su mayoría estos nodos utilizan un puerto de la red IPMLS obteniendo un uplink de 1 Gbps para cada DSLAM.

ETAPA EP en el año 2011 realiza cambios en su infraestructura sustituyendo los DSLAM's, toda vez que estos equipos tenían un uplink de 10 Mbps lo que generaba un cuello de botella, a DSLAM's de un uplink de 1 Gbps.

En la actualidad el cuello de botella se presenta en la red de acceso de cobre, limitando a un ancho de banda de 4 Mbps a distancias no mayores a 2 Km y en condiciones de estado de la red óptimas.

La red de acceso de cobre es el punto crítico no solamente desde el punto de vista técnico, pues a nivel comercial es un limitante para la elaboración de planes de internet de tipo residencial de mayor capacidad.

En la figura 2.23 se muestra la densidad de tráfico de las 3 centrales, donde se puede observar que el consumo se encuentra por debajo de la capacidad del 1 Gbps.



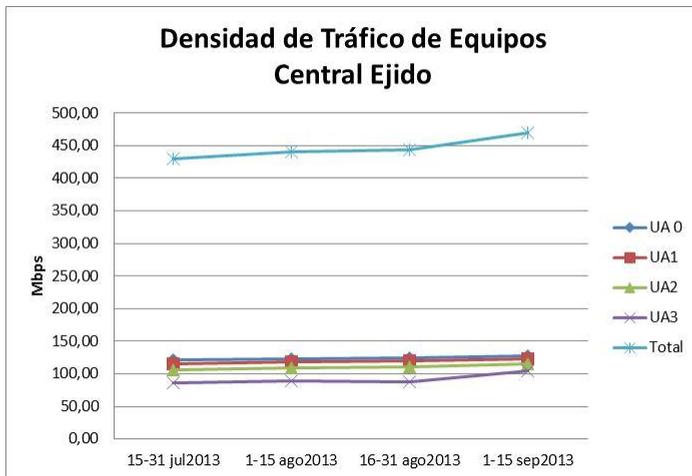
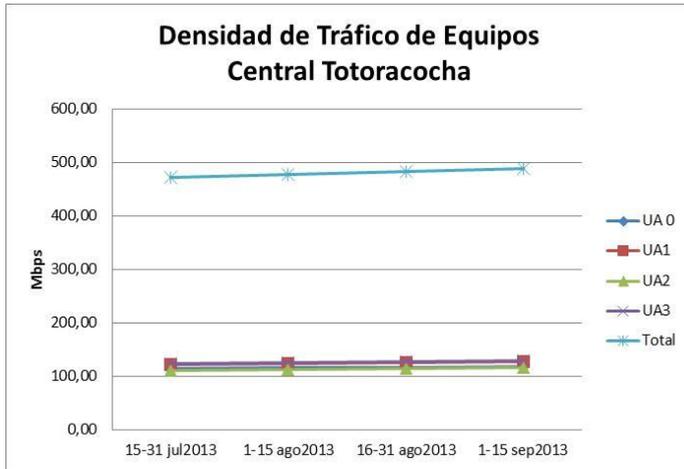


Figura 2.23 Densidad de tráfico en los DSLAM de las 3 centrales.
Fuente: ETAPA EP.

De la misma manera, en la figura 2.24 se indica la densidad de tráfico características para la soluciones con nodos de banda ancha y armarios activos.

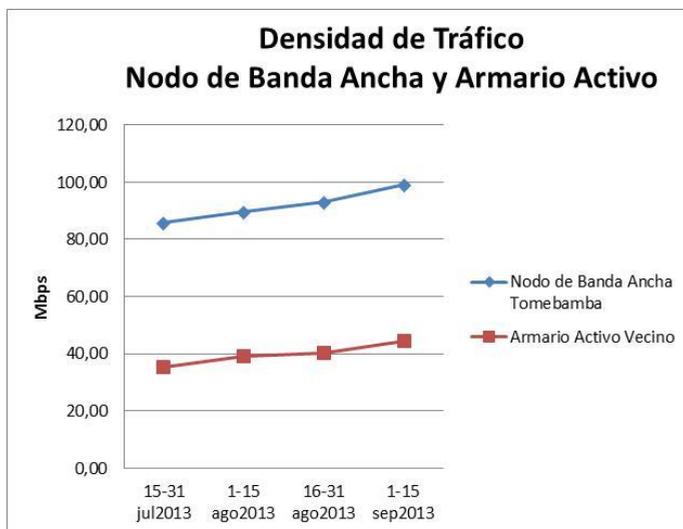


Figura 2.24 Densidad de tráfico característica en nodos de banda ancha y armarios activos.
Fuente: ETAPA EP.

Cabe señalar que los datos de las figuras 2.24 y 2.25 han sido obtenidos del sistema de monitoreo de la red de transporte.

2.5.4 Características de Tráfico – Tecnología P2P en fibra.^{17, 18}

Como se indicó, la tecnología P2P en fibra está orientada a la atención de requerimientos del sector corporativo de los servicios acceso a internet y red digital de datos. En la siguiente tabla se puede se indica la densidad de tráfico en la red.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

¹⁸ ETAPA EP, CAICEDO T. Jhonny / ZARI M. Paúl. (Enero-2013). “Manual para la Instalación y Reparación de Acometidas de Fibra Óptica Red GPON”, Cuenca, Ecuador.

Plan (Velocidad Kbps)	Nivel de Compresión	# Usuarios	Ancho de Banda (Kbps)
1.000	1	1	1.000
2.000	1	5	10.000
2.500	1	1	2.500
3.500	1	1	3.500
4.000	1	3	12.000
4.000	2	2	4.000
4.500	1	2	9.000
4.500	2	3	6.750
5.000	1	4	20.000
5.500	1	4	22.000
5.500	2	1	2.750
6.000	1	2	12.000
6.600	1	1	6.600
7.000	1	2	14.000
10.500	1	5	52.500
12.500	1	1	12.500
20.000	1	1	20.000
22.500	1	1	22.500
30.000	1	1	30.000
33.500	1	1	33.500
50.000	1	1	50.000
100.000	1	1	100.000
Total Ancho de Banda Servicio Internet			447.100

Tabla 2.21 *Estimación de Ancho de Banda de Usuarios de Internet por Velocidad contratada- P2P*
(Datos Agosto 2013).
Fuente: ETAPA EP.

Plan (Velocidad Kbps)	Nivel de Compresión	# Usuarios	Ancho de Banda (Kbps)
512	1	25	12.800
1.024	1	22	22.528
2.048	1	23	47.104
2.400	1	1	2.400
3.072	1	81	248.832
4.096	1	9	36.864
4.500	1	1	4.500
5.000	1	1	5.000
5.120	1	1	5.120
6.144	1	6	36.864
6.600	1	1	6.600
8.192	1	14	114.688
10.240	1	3	30.720
13.000	1	2	26.000
20.000	1	1	20.000
20.480	1	1	20.480
30.000	1	1	30.000
50.000	1	2	100.000
100.000	1	2	200.000
Total Ancho de Red de Datos Digital			970.500

Tabla 2.22 *Estimación de Ancho de Banda de Usuarios de Red de Datos Digital por Velocidad contratada- P2P (Datos Agosto 2013).*

Fuente: ETAPA EP.

2.5.5 Características de Tráfico – GPON.¹⁷

En la tabla 2.23 se muestra el detalle de clientes por servicio y velocidad contratada, al estar orientada solamente al sector corporativo, el puerto de la OLT con mayor porcentaje de utilización es del 2%. En la tabla 2.23 se muestra la densidad de tráfico y la capacidad instalada en puertos por cabecera de red.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador

Plan (Velocidad Kbps)	Nivel de Compresión	# Usuarios	Ancho de Banda (Kbps)
Red Digital de Datos			
256	1	1	256
3.072	1	82	251.904
4.096	1	1	4.096
4.500	1	1	4.500
5.000	1	1	5.000
10.240	1	3	30.720
Total Ancho de Red de Datos Digital			296.476
Servicio de Internet			
3.072	1	1	3.072
4.000	1	2	8.000
4.500	1	1	4.500
5.000	1	2	10.000
6.000	1	2	12.000
7.000	1	1	7.000
8.500	1	1	8.500
Total Ancho Servicio de Internet			53.072

Tabla 2.23 *Estimación de Ancho de Banda de Usuarios sobre la red GPON.
(Datos Septiembre 2013).
Fuente: ETAPA EP.*

Cabecera	Puerto	Ancho de banda utilizado	% capacidad utilizada del puerto de la OLT
Centro	0	47980	1,92%
	1	16788	0,67%
	2	25408	1,02%
	3	16144	0,65%
	4	9216	0,37%
	5	11264	0,45%
Totoracocha	0	3072	0,12%
	1	0	0,00%
	2	6144	0,25%
	3	6144	0,25%
	4	0	0,00%
	5	6144	0,25%
	6	6144	0,25%
	7	9216	0,37%
Ejido	0A	9216	0,37%
	1A	17288	0,69%
	2A	11264	0,45%
	3A	0	0,00%
	0B	18432	0,74%
	1B	0	0,00%
	2B	26624	1,06%
	3B	3072	0,12%
	4B	12288	0,49%
	5B	6144	0,25%
6B	17408	0,70%	
Laguna	0	6144	0,25%
	1	3072	0,12%
	2	10240	0,41%
	3	3072	0,12%
	4	3072	0,12%
	5	0	0,00%
	6	3072	0,12%
	7	8072	0,32%
Narancay	0	6144	0,25%
	1	0	0,00%
	2	10240	0,41%
	3	0	0,00%
	4	10144	0,41%
	5	0	0,00%
Ricaurte	0	11264	0,45%
	1	0	0,00%
	2	6144	0,25%
	3	6144	0,25%
	5	0	0,00%
	6	0	0,00%

Tabla 2.24 Estimación de Ancho de Banda de Usuarios sobre la red GPON. (Datos Septiembre 2013).

Fuente: ETAPA EP.

Considerando tipo de splitting de red de 1:64 como total de los 2 niveles de la red y que cada puerto de la OLT tiene una capacidad de 2,5 Gbps; teniendo una capacidad de 39 Mbps en compresión 1:1 por usuario.

En la figura 2.25 se indica el tráfico de los puertos de la OLT de la cabecera de red Centro, en donde se puede observar que el tráfico de cada puerto está por debajo del máximo tráfico por puerto de 2,5 Gbps.

La capacidad en puertos de la OLT se encuentra subutilizado, pues el ancho de banda utilizado en los puertos de la OLT no llega ni al 2 % de su capacidad.

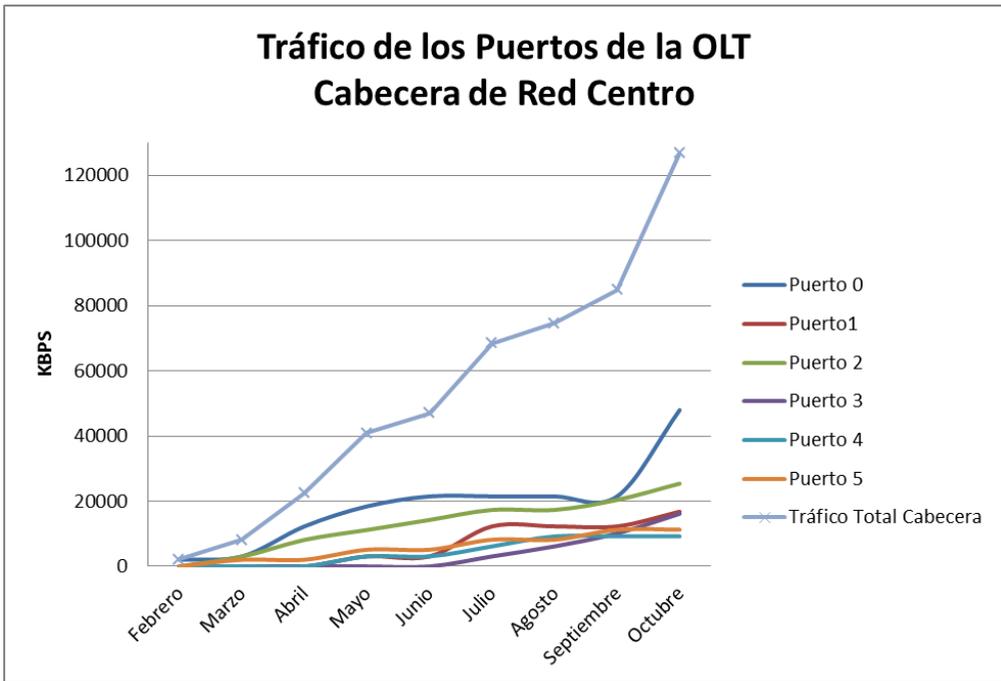


Figura 2.25 Densidad de Tráfico de los Puertos de la OLT de la Cabecera de Red Centro.
Fuente: ETAPA EP.

CAPÍTULO III:

PROPUESTA DE DESPLIEGUE DE LA RED GPON.

CAPÍTULO III: PROPUESTA DE DESPLIEGUE DE LA RED GPON.

ETAPA EP cuenta con una red de acceso en fibra óptica que no ha sido explotada en la totalidad de su capacidad. En este capítulo se realizará el análisis y despliegue que debe tener la red de acceso GPON para que esta red se encuentre lista para sustentar los actuales y nuevos servicios de telecomunicaciones y para que en un futuro desplace a la red de cobre instalada.

3.1 Análisis del Crecimiento de Ancho de Banda en la Ciudad de Cuenca.

Para poder determinar el crecimiento del ancho de banda en la ciudad de Cuenca, se debe considerar que como el objetivo de este trabajo, es el de proponer una nueva estructura de la red de acceso GPON para la empresa ETAPA EP, en el análisis se considerará únicamente a los clientes de ésta Empresa, por lo tanto; no se tomará en cuenta a ningún usuario que emplee otro tipo de servicios que no sea el que ETAPA EP provee.

3.1.1 Análisis del Crecimiento de Ancho de Banda.¹⁷

La estimación del crecimiento del ancho de banda se determinó en base a su variación anual (Agosto 2012 – Agosto 2013), en kilo bits por segundo (Kbps), demandado por los clientes de ETAPA EP. Para el análisis se ha considerado la información del tipo de plan de internet, la velocidad y el número de usuarios (conexiones activas) para cada uno de los períodos de análisis.

Una vez con esto, se procedió a realizar la estimación de ancho de banda para cada tipo de plan de internet, para lo cual se deberá considerar el nivel de compresión utilizado, sea este 1:8, 1:4, 1:2 o 1:1 , multiplicado por el número de usuarios que emplean el referido plan; para finalmente sumar cada uno de estos valores.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador

Para el mes de Agosto de 2012, se determinó que hubieron un total de 37.217 conexiones activas de internet divididas en 7 tipos de planes que son: Residencial, Corporativo 1, Corporativo 2, Premium, Inalámbrico, Educacional Urbano y Educacional Rural; y que de éstos, el 95,4 % pertenece al sector residencial, según lo describe la siguiente tabla:

TIPO PLAN	# USUARIOS	PARTICIPACION
RESIDENCIAL	35.512	95,4%
CORPORATIVO 2	977	2,6%
INALAMBRICO	326	0,9%
EDUCANDO RURAL	148	0,4%
PREMIUM	95	0,3%
CORPORATIVO 1	91	0,2%
EDUCANDO URBANO	68	0,2%
Total general	37.217	100%

Tabla 3.1 Distribución del Número de Conexiones Activas de Internet de ETAPA EP para el período Agosto 2012.

Fuente: ETAPA EP.

En cuanto al ancho de banda (downstream) requerido para soportar cada uno de los planes, se determinó que fue necesario una capacidad de 12,8 Gbps, y que de éstos, el 78,3 %, lo demandaron los planes de tipo Residencial. A continuación se presentan el detalle de este consumo:

Tipo de Plan	Ancho de Banda Down (kbps)	Gbps	Participación
RESIDENCIAL	10.027.677,25	10,03	78,3%
PREMIUM	1.408.922,00	1,41	11,0%
CORPORATIVO 2	988.449,00	0,99	7,7%
INALAMBRICO	197.600,00	0,20	1,5%
EDUCANDO URBANO	83.450,00	0,08	0,7%
CORPORATIVO 1	69.676,50	0,07	0,5%
EDUCANDO RURAL	25.900,00	0,03	0,2%
Total general	12.801.674,75	12,80	100%

Tabla 3.2 Distribución del Ancho de Banda requerido para cada uno de los planes de Internet de ETAPA EP para el período Agosto 2012.

Fuente: ETAPA EP.

Para el período Agosto 2013, se determinó que hubieron un total de 48.221 conexiones activas de internet divididos en 8 tipos de planes que son: Residencial, Corporativo 1, Corporativo 2, Premium, Premium Nacional, Inalámbrico, Educacional Urbano y Educacional rural; y que de éstos, el 93,57 % pertenece al sector residencial, según lo describe la siguiente tabla:

TIPO PLAN	# USUARIOS	PARTICIPACION
RESIDENCIAL	45.121	93,6%
INALAMBRICO	1.388	2,9%
CORPORATIVO 2	1.137	2,4%
EDUCANDO RURAL	190	0,4%
CORPORATIVO 1	137	0,3%
PREMIUM	134	0,3%
EDUCANDO URBANO	108	0,2%
PREMIUM NACIONAL	6	0,0%
Total general	48.221	100%

Tabla 3.3 Distribución del Número de Conexiones Activas de Internet de ETAPA EP para el período Agosto 2013.

Fuente: ETAPA EP.

En cuanto al ancho de banda (downstream) requerido para soportar cada uno de los planes, se determinó que fue necesario una capacidad de 22,71 Gbps, y que de éstos, el 56,4 %, lo demandaron los planes de tipo Residencial. A continuación se presentan el detalle de este consumo:

Tipo de Plan	Ancho de Banda Down (kbps)	Gbps	Participación
RESIDENCIAL	12.809.609,00	12,81	56,4%
INALAMBRICO	7.331.200,00	7,33	32,3%
CORPORATIVO 2	1.137.024,00	1,14	5,0%
PREMIUM	1.130.622,00	1,13	5,0%
EDUCANDO URBANO	155.700,00	0,16	0,7%
CORPORATIVO 1	85.738,00	0,09	0,4%
EDUCANDO RURAL	33.250,00	0,03	0,1%
PREMIUM NACIONAL	24.000,00	0,02	0,1%
Total general	22.707.142,00	22,71	100%

Tabla 3.4 Distribución del Ancho de Banda requerido para cada uno de los planes de Internet de ETAPA EP para el período Agosto 2012.

Fuente: ETAPA EP.

Por lo que una vez analizados los dos períodos de estudio, y tomando en consideración los datos de las tablas anteriores, se realizó una comparativa final y se determinó que para Agosto del 2013 existe un incremento en el número de clientes equivalente al 29,5 %, mientras que para el ancho de banda ocupado, se tuvo un incremento del 77,3 %, situación reflejada en la tabla 3.5 así como en la figura 3.1.

Parámetro	Agosto 2012	Agosto 2013	Variación Porcentual
Número de Clientes	37.217	48.221	29.57%
Ancho de Banda (Gbps)	12,80	22,71	77.38%

Tabla 3.5 Variación Anual del Número de Clientes de Internet y del Ancho de Banda consumido en ETAPA EP. (Agosto 2012 – Agosto 2013).

Fuente: Autores.

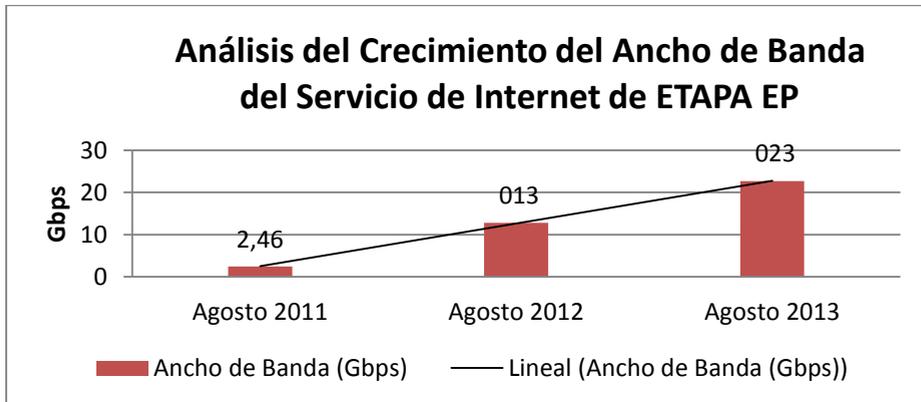


Figura 3.1 Análisis Anual del Crecimiento del Ancho de Banda consumido por los usuarios de ETAP EP.

Fuente: Autores.

3.1.2 Crecimiento de la Velocidad por Cliente. ¹⁷

De la misma manera en que se realizó el análisis del crecimiento de ancho de banda consumido, en la tabla 3.6, se puede observar la variación en la velocidad de los planes de venta del año 2012 al año 2013, considerando que como estrategia comercial para los clientes activos se les realizó un upgrade al plan inmediato superior.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador

Esta estrategia implicó que para el mes de diciembre del año 2012, se lanzó un plan de fidelización del uso del servicio de internet, el cual consistía en premiar a los clientes de tipo residencial con un incremento en su ancho de banda contratado, es decir, que para los clientes que tuvieron un plan de cuya velocidad era de 1.200 Kbps, se les llegó a incrementar a velocidades de 1.800 Kbps, 2.000 Kbps, 2.400 Kbps, 2.800 Kbps y hasta de 3.600 Kbps, todo esto, solo por seguir empleando el servicio que presta ETAPA EP. El análisis se ha realizado con el plan residencial, toda vez que es el plan con mayor participación en el total de clientes. Para el caso de planes eliminados, los clientes fueron migrados al plan inmediato superior.

Tipo de Plan	Año 2012		Año 2013		Crecimiento Ancho de Banda %
	Velocidad	# usuarios	Velocidad	# usuarios	
RESIDENCIAL	256 KBPS	3	256 KBPS	3	0%
RESIDENCIAL	350 KBPS	195	350 KBPS	126	-35,4%
RESIDENCIAL	600 KBPS	4	600 KBPS	4	0%
RESIDENCIAL	700 KBPS	8	700 KBPS	3	-62,5%
RESIDENCIAL	1000 KBPS	86	1000 KBPS	56	-34,9%
RESIDENCIAL	1200 KBPS	1	Plan eliminado		-100%
RESIDENCIAL	1200/600 KBPS	3	1200/600 KBPS	2	-33,3%
RESIDENCIAL	1800 KBPS	20.554	1800 KBPS	24.417	18,8%
RESIDENCIAL	2000 KBPS	138	2000 KBPS	289	109,4%
RESIDENCIAL	2400 KBPS	4.441	2400 KBPS	7.504	69%
RESIDENCIAL	2800 KBPS	8.170	2800 KBPS	10.271	25,7%
RESIDENCIAL	2100/750 KBPS	0	2100/750 KBPS	1	100%
RESIDENCIAL	3600 KBPS	1400	3600 KBPS	1.960	40%
RESIDENCIAL	8000 KBPS	442	8000 KBPS	418	-5,4%
RESIDENCIAL	10000 KBPS	67	10000 KBPS	67	0%
Crecimiento promedio anual de demanda de velocidad					6,1%

Tabla 3.6 Crecimiento promedio anual de demanda de velocidad. (Agosto 2012 – Agosto 2013).

Fuente: Autores.

En la tabla 3.6 se puede observar el decremento de los planes menores a 1800 Kbps y un incremento por los planes entre los 1800Kbps a 3600 Kbps, el porcentaje de crecimiento anual de la demanda de velocidad se ha realizado considerando que los clientes cambiaron a planes superiores.

Considerando este tipo de crecimiento, se puede apreciar que para futuros años la red de acceso en cobre no estará en capacidad de brindar las tasas de velocidad solicitadas.

En la figura 3.2 se muestra una proyección del crecimiento de la demanda de velocidad por parte de los clientes, para esta proyección se consideró el plan de 2.800 Kbps y la tasa promedio de crecimiento anual del 6,1%.



Figura 3.2 Proyección de la Demanda Considerando un crecimiento promedio anual del 6,1%.
Fuente: Autores.

3.1.3 Consideraciones Generales de la Implicación del Crecimiento de Ancho de Banda en la red GPON.

En base a lo analizado en la sección 3.1.1, se determinó que la tasa anual de crecimiento del ancho de banda para el servicio de internet es de aproximadamente el 77%; este crecimiento deja atrás al actual despliegue de la red de acceso GPON. Para ello, ETAPA EP cuenta con una red IP MPLS (Multiprotocol Label Switching) para el transporte y además servidores caches para que el tráfico más recurrente, sea solamente a través de la red de ETAPA EP, de este modo se optimiza el ancho de banda de salida a la nube de internet.

En la sección 3.1.2 se realizó el análisis del crecimiento de la velocidad por cliente, la cual se estableció que tiene un crecimiento anual del 6,1%; esta situación impacta directamente a la red de acceso, debido a que con la estructura actual, el servicio de acceso a internet está siendo soportado mediante la tecnología ADSL, la cual tiene una capacidad máxima de 4.000 Kbps y depende directamente de la distancia del enlace y del estado óptimo del cable que comprende todo el bucle de abonado, por lo que según lo indicado en la figura 3.2, a partir del tercer año y bajo estas mismas circunstancias de utilización, el ancho de banda requerido será de 4.434 Kbps, superando la capacidad de la red de acceso e imposibilitando la prestación del servicio; lo que implica dejar de percibir (tomando en cuenta únicamente los planes residenciales que para agosto del 2013 captaron el 93,6%) ingresos superiores a los \$ **12.453.396** anuales (calculando el costo del plan promedio residencial, que es de \$23 por el número de clientes para agosto del 2013 que es 45.1212 y por los 12 meses de año).

ETAPA EP en el proceso de mejorar la provisión del servicio de acceso a internet, ha implementado soluciones con nodos internos, armarios activos y planes de mantenimiento preventivo en su red de cobre (cuya edad promedio es de 20 años), con lo cual ha logrado reducir el bucle de abonado, permitiendo así poder establecer planes de velocidad de hasta 3.600 Kbps, los cuales hasta la actualidad han sido suficientes para soportar la actual demanda de velocidad de canal.

Existe una solución mediante VDSL 2 que permite brindar 100 Mbps en bucles de abonados muy pequeños y con una red en condiciones óptimas, sin embargo, esta solución involucraría una mayor inversión, pues se requeriría la implementación de varios nodos para disminuir aún más el bucle de abonado, así como el cambio de equipos DSLAM con tecnología VDSL.

Con esta solución se conseguiría dar un periodo más de vida a la red de cobre pero a costos muy altos.

La red GPON actualmente está orientada al sector corporativo; para el modelo de despliegue de esta red, debe considerarse también la atención del sector residencial, considerando el crecimiento de demanda de ancho de banda por usuario de este sector.

De acuerdo al nivel de splitting total de la red GPON (el cual actualmente es de 1:64), se tiene una capacidad de 39 Mbps en compresión 1:1 por cliente, siendo esta red lo bastante robusta a incrementos de ancho de banda por usuario.

3.2 Determinación de la Demanda.

Como ya se ha indicado, la red GPON actualmente se encuentra cubriendo la demanda del sector corporativo, por lo que una vez que se ha realizado el análisis de las zonas de cobertura de la red de cobre y de la red GPON, y previo a la realización del despliegue de ésta red, es importante determinar la demanda y su respectiva ubicación geográfica.

La determinación y ubicación de la demanda se ha realizado en base a los datos de la demanda satisfecha por ETAPA EP y para la demanda no satisfecha se han utilizado los datos del INEC, concretamente los del último censo que corresponde al año 2010.

Para el procesamiento de la información se ha empleado la herramienta informática GIS®, en especial para determinar la ubicación de la demanda mediante mapas de densidad.

3.2.1 Análisis Demanda a Cubrir en el Despliegue de la Red GPON.

La determinación de la demanda se ha realizado en base al análisis tratado en la sección 3.1, las fortalezas que brinda la red GPON analizadas en el capítulo 1 y al análisis del estado actual de la red de acceso en cobre y fibra efectuado en el capítulo 2, por lo que se cuenta con las siguientes consideraciones:

- La red GPON actualmente se encuentra en un nivel de ocupación del 2 % de la capacidad de cada puerto de la OLT, en atención al sector corporativo.
- La tendencia de requerimiento de ancho de banda por parte de la demanda es creciente, lo que limita a la tecnología ADSL sobre la red de cobre.
- La red de acceso en cobre es un cuello de botella para ofertar velocidades mayores a 4 Mbps.
- La red GPON es una red moderna FTTH, que puede ser también potencializada para dar soluciones a los edificios, apartamentos y demás soluciones habitacionales mediante FTTB y FTTC.

Se ha definido que el sector de demanda a cubrir con el despliegue de la red GPON son los actuales y futuros clientes de los servicios de acceso a internet y de red de datos digitales que actualmente están siendo servidos mediante tecnología xDSL, y continuar cubriendo a los clientes actuales de las soluciones P2P mediante fibra.

La demanda a cubrir serán los sectores corporativos y residenciales, demanda reflejada en los siguientes planes:

- RESIDENCIAL
- CORPORATIVO 1
- CORPORATIVO 2
- EDUCANDO URBANO
- EDUCANDO RURAL
- PREMIUM
- PREMIUM NACIONAL

3.2.2 Ubicación de la Demanda a Cubrir en el Despliegue de la Red GPON. ^{17, 21}

Acorde al análisis descrito en el capítulo 2, en donde se determinó la densidad de los clientes servidos mediante las tecnologías ADSL, GPON y clientes servidos mediante soluciones P2P en fibra, y considerando que para el despliegue de la red GPON la demanda a cubrir serán los sectores corporativo y residencial, en la figura 3.3 se presenta un mapa de densidad de clientes de ETAPA EP en función de las zonas de cobertura de los nodos de telecomunicaciones.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador

²¹ <http://www.inec.gob.ec/estadisticas/>

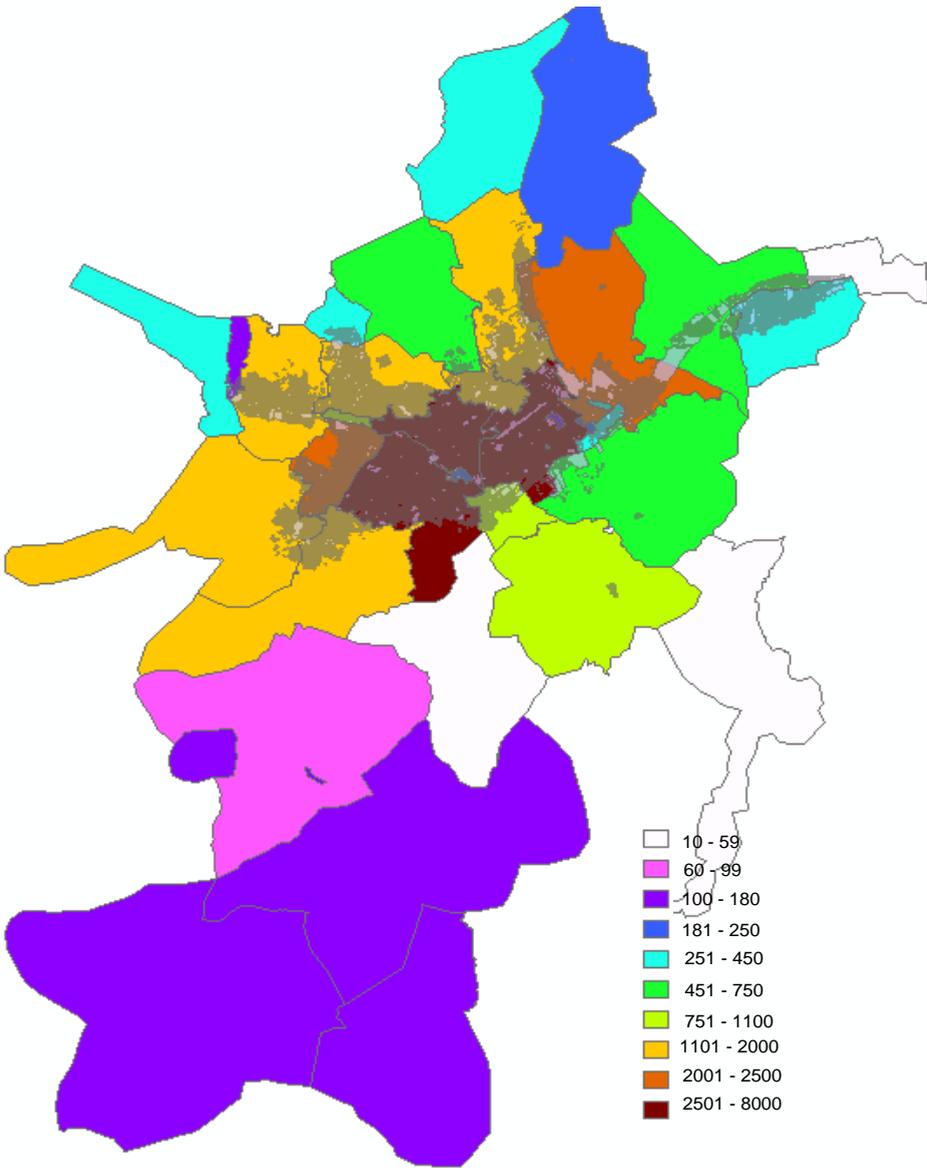


Figura 3.3 *Mapa de Densidad de Clientes de Internet y Red de Datos Digital de ETAPA EP.*
Fuente: ETAPA EP.

Para la ubicación de la demanda insatisfecha, se ha trabajado con los datos del INEC, en referencia a los hogares sin el servicio de acceso a internet. En la figura 3.4 se muestra la gráfica de densidad de éstos hogares los cuales están distribuidos por parroquias.

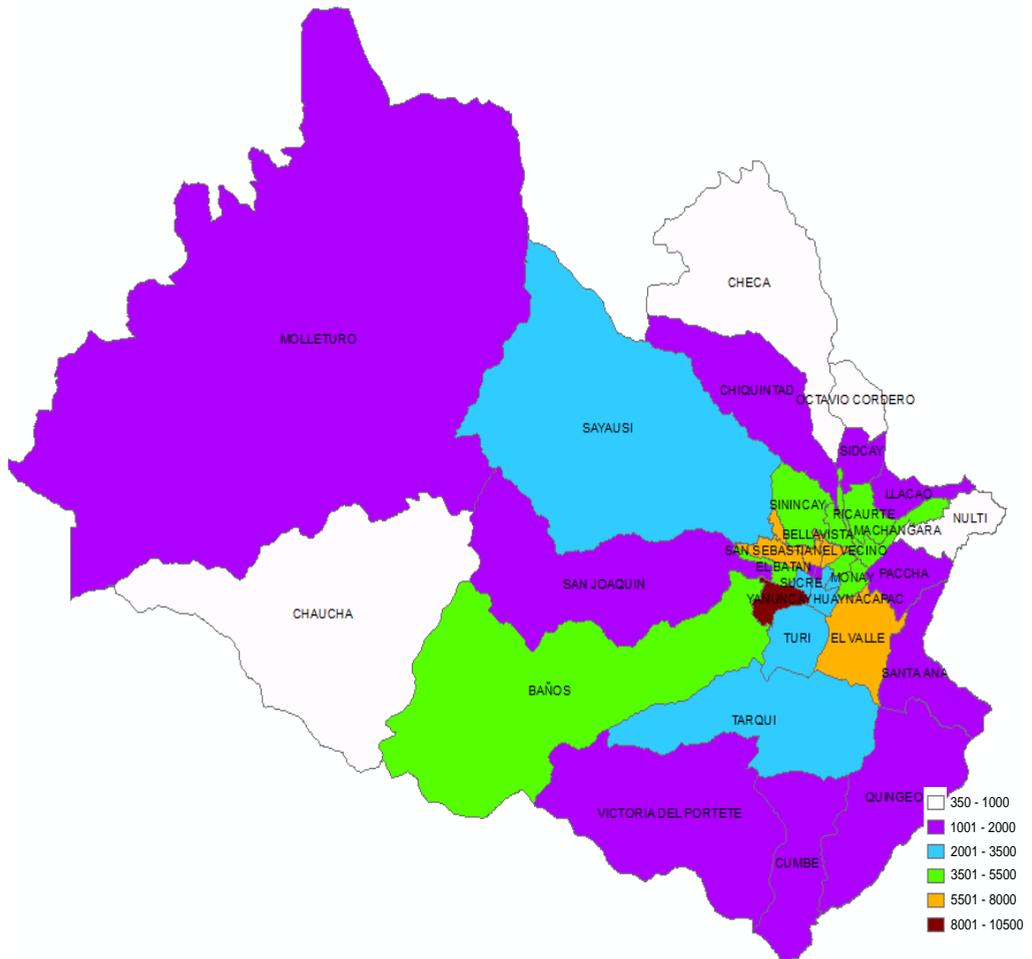


Figura 3.4 Mapa de Densidad de la Demanda Insatisfecha de los servicios de Internet en la Ciudad de Cuenca.

Fuente: Datos INEC Censo 2010.

Como se pudo apreciar, el crecimiento del ancho de banda es mucho mayor que el crecimiento de los usuarios, debido principalmente a que los servicios que se ofertan: video de alta definición, juegos en línea, y servicios de almacenamiento en la nube,

requieren de un mayor ancho de banda. Según datos publicados por la empresa CISCO, el consumo promedio de la población conectada a Internet es de aproximadamente 1 Gbps por mes, cifra que podría quintuplicarse para finales del 2015 (Cisco Visual Networking Index Forecast & Methodology 2010-2015), mientras que en Estados Unidos se estima una demanda de 5Gbps por usuario.

3.3 Análisis de Ubicación y Tipo de Splitting.

En este punto se definirá la ubicación de las cabeceras y el tipo de splitting en función de la demanda a cubrir, considerando las 6 cabeceras existentes.

El tipo de splitting a utilizar deberá satisfacer la densidad de usuarios y el tráfico estimado por usuario.

La sectorización se la realizará teniendo en cuenta la disponibilidad de 32 suscriptores por cada puerto de la OLT, distribuyéndolos en grupos de sectores adyacentes, y lógicamente por la ubicación actual de las cabeceras.

3.3.1 Análisis de la Ubicación de las Cabeceras de Red. ¹⁷

Las cabeceras de red existentes no pueden ser trasladadas toda vez que ya existen clientes activos de tipo corporativo, a los cuales se les debe garantizar la continuidad del servicio contratado, además de que estos clientes tienen planes superiores a los 3.000 Kbps con compresión 1:1; lo que hace imposible una migración a la red de cobre.

Acorde a la figura 3.3 en la cual se muestra la densidad de clientes, se puede apreciar que las 6 zonas de mayor densidad de clientes son:

- Centro.
- Ejido.
- Totoracocha.
- Ricaurte.
- Arenal.
- Cebollar.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

Como se indicó las cabeceras no pueden ser trasladadas por lo que a continuación en la tabla 3.7 y en la figura 3.5, se presenta la demanda y las zonas a cubrir respectivamente.

Cabecera GPON	Demanda a Cubrir (# Conexiones activas)			
	Tecnología P2P	Tecnología GPON	Tecnología ADSL	TOTAL
Centro	80	40	8.000	8.120
Totoracocha	30	10	6.000	6.040
Ejido	30	40	7.500	7.570
Ricaurte	5	10	3.000	3.015
Narancay	10	5	1.500	1.515
Laguna	20	10	1.000	1.030
TOTAL	175	115	27.000	27.290

Tabla 3.7 Demanda a Cubrir por Cabeceras de la Red GPON.

Fuente: Autores.

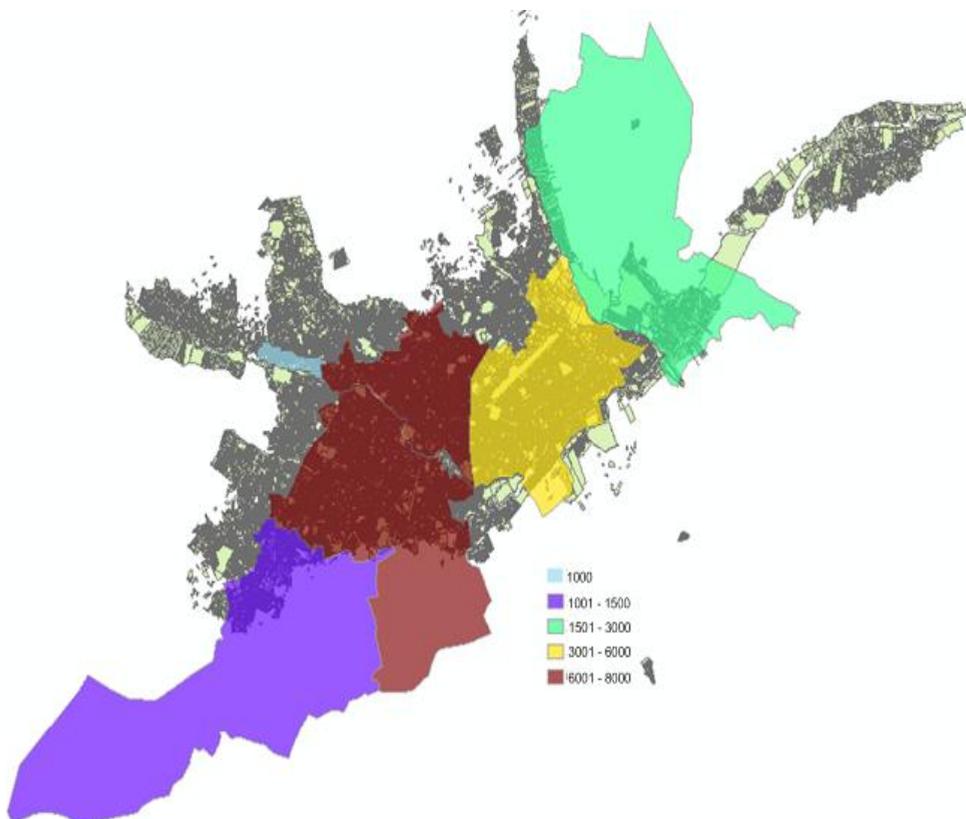


Figura 3.5 Densidad de Clientes por Zona de Cobertura de la Demanda a Cubrir.

Fuente: Autores.

3.3.2 Análisis del Tipo de Splitting.

En la definición del tipo de splitting es importante el ancho de banda a ofertar sobre esta red, para esto se ha considerado solamente la proyección del crecimiento de la demanda de 30 Mbps a 5 años, indicado en el punto 3.1. Con este criterio, el tipo de splitting actual permite hasta 39 Mbps en compresión 1:1 por usuario, de este modo el splitting a utilizar es de 1:64, con un splitting de primer y segundo nivel de 1:8 respectivamente.

En la figura 3.6 se muestra la estructura de la red de acceso GPON propuesta, en donde se puede observar la ubicación de los splitting de primero y de segundo nivel.

3.3.2.1 Red de Alimentación.

Considerando el despliegue de la red GPON, con la finalidad de cubrir una mayor área de cobertura, es necesario que el splitting de primer nivel 1:8, deba ser ubicado fuera del nodo de telecomunicaciones donde está instalada la OLT.

3.3.2.2 Red de Distribución.

En la red de distribución el splitting de segundo nivel 1:8, deberá estar ubicado en la caja de distribución, y servirá para la prestación del acceso en las premisas de los clientes.

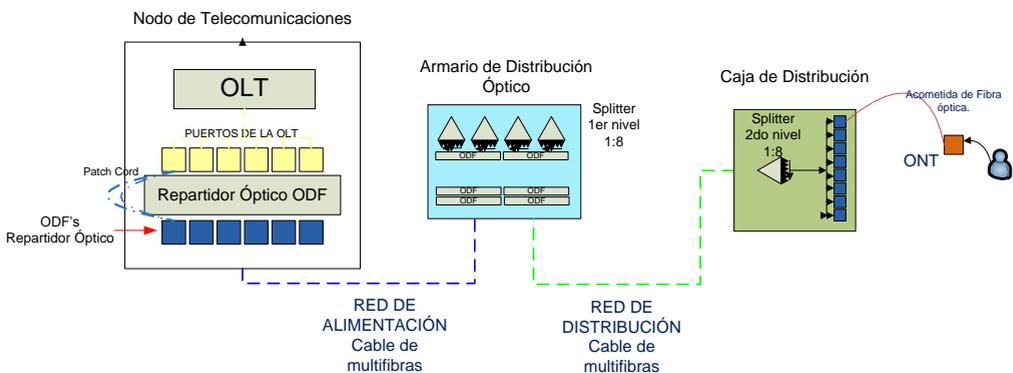


Figura 3.6 Arquitectura de Red GPON Propuesta para el Despliegue.

Fuente: Autores.

3.4 Proyección del Despliegue de la Red GPON.

Para la proyección del despliegue de la red GPON se han considerado los aspectos de zonas de cobertura de cada una de las cabeceras, la demanda a cubrir y el tipo de splitting definidos en las secciones anteriores.

La proyección se ejecutara en cada segmento de la red, en las cuales se realizará un análisis de los aspectos más relevantes en cada segmento.

3.4.1 Cabecera de Red – OLT. ¹⁷

En la cabecera de la red se encuentra el equipo activo de la tecnología GPON, es decir el OLT y como principal requerimiento a cubrir, es el satisfacer la demanda proyectada, esto considerando que el tipo de splitting total a utilizar es 1:64, de este modo en la tabla 3.8 se indica la cantidad de puertos de la OLT necesarios por cabecera.

CABECERA GPON	DEMANDA PROYECTADA	SPLITTING TOTAL	PUERTOS OLT PROYECTADOS	PUERTOS OLT ACTUALES	% CRECIMIENTO
Centro	8.120	1:64	127	8	1.488%
Totoracocha	6.040	1:64	94	16	975%
Ejido	7.570	1:64	118	8	1.375%
Ricaurte	3.015	1:64	47	8	488%
Narancay	1.515	1:64	24	8	200%
Laguna	1.030	1:64	16	8	100%
TOTAL	27.290	1:64	426	56	660,71%

Tabla 3.8 *Proyección de Puertos OLT por Cabera de Red.*

Fuente: Autores.

En referencia a las características de tráfico, cada puerto de la OLT puede manejar un tráfico downstream de 2,5 Gbps y un tráfico upstream de 1,25 Gbps, lo que permitirá tener un tráfico por usuario downstream de 39 Mbps y 20 Mbps upstream con una compresión 1:1.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

Una característica principal de la red de acceso GPON es que permitirá manejar un ancho de banda mayor en la red y de esta manera optimizar el ancho de banda local que se puede generar en los servidores cache instalados.

3.4.1.1 Repartidor Óptico.

Actualmente ETAPA EP en sus cabeceras de red tiene instalados racks de ODF's para la conexión de la red de alimentación con los puertos de la OLT, si bien este rack ayuda a mantener el orden, sin embargo no es versátil para labores de operación y mantenimiento de la red.

En el despliegue de la red GPON deberán coordinarse la implementación de un repartidor óptico en el cual se tiene mejor disponibilidad a las operaciones y mantenimiento de la red. Estos bastidores ópticos ya se encuentran instalados y en operación en otras operadoras de telecomunicaciones del mundo.

En la figura 3.7 se muestra el repartidor óptico instalado en una de las centrales de la Empresa de Administración Nacional de Telecomunicaciones de Uruguay, ANTEL.

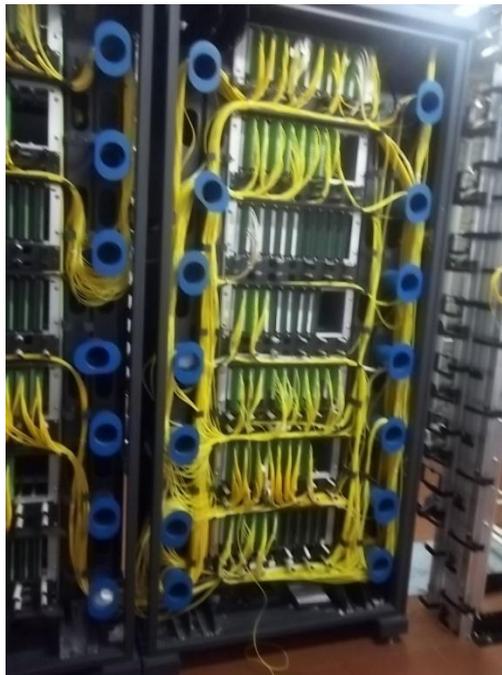


Figura 3.7 Repartidor Óptico en Centrales de Telecomunicaciones de ANTEL Montevideo - Uruguay.

Fuente: ANTEL

3.4.2 Red de Alimentación.

Para el análisis de la red de alimentación, es de gran importancia determinar la zona de cobertura y la demanda a cubrir; y para ello es preciso realizar el diseño considerando un estudio de demanda del sector en el que se integren planes de expansión del Municipio y un factor de crecimiento de la demanda a 10 años, exactamente igual como se lo hace para las redes de cobre.

En la proyección de despliegue de red, se ha definido una zona de cobertura y demanda a cubrir por cada una de las cabeceras de red, estos parámetros son muy grandes para que sean manejados desde un solo punto de distribución de la red de alimentación, en ese sentido y acorde a lo establecido en la sección 3.3, se estableció que el primer nivel de splitting deberá estar ubicado en el armario de distribución.

3.4.2.1 Manga de Alimentación.

Para el despliegue de la red de alimentación, se ha considerado como elemento de distribución a una manga de acceso, en lugar de un armario de distribución, en base a los siguientes puntos de análisis:

- La manga de alimentación es de menor tamaño y permite la conexión de la red de alimentación con la red de distribución mediante fusión, eliminando en este tramo el uso de conectores y patch cord, lo que conlleva a mejorar el presupuesto óptico.
- La manga de alimentación es de instalación subterránea, lo que permite eliminar efectos de impacto visual que producen la implementación de armarios instalados en el espacio público.
- Existe una menor probabilidad de daños por errores de manipulación.
- La manga de alimentación hace una red rígida, perdiendo un punto de pruebas en la red, eliminando un posible punto de falla.

Además, la manga de acceso es la solución más acertada, considerando que actualmente se pretende realizar el soterramiento de redes. En la figura 3.8 se muestra una manga de acceso de este tipo.



Figura 3.8 *Manga de Acceso para Redes de Fibra Óptica.*
Fuente: Autores, (Empalme abierto en un punto de la red de ETAPA EP).

3.4.2.2 Zonas de Cobertura y Demanda de las Mangas de Alimentación. ¹⁷

Para el análisis de la zona de cobertura y demanda de las mangas de alimentación, se debería desarrollar un estudio de demanda por cada sector proyectado a cubrir de cada manga de alimentación, en el que se reúna información de fichas de levantamiento de ubicación de la demanda, planes de solución habitacional, etc., por lo que para la realización de un estudio de este tipo, para para cada una de las 6 cabeceras de red GPON se requería de una planificación en tiempo y recursos por parte de la Empresa, lo cual está fuera del alcance de ésta tesis; por lo que en lugar de eso, y considerando que la demanda a cubrir son los actuales y futuros clientes de los servicios de internet y red de datos y que ETAPA EP para el despliegue de su red de cobre ya realizó estos estudios, se aprovechará los resultados realizados para establecer las zonas de cobertura para las mangas de alimentación de la red GPON.

En la tabla 3.9 se muestra el número de mangas de alimentación proyectadas por cabecera de red, mientras que en las figuras 3. 9 y 3.10 se muestran las zonas de cobertura de las mangas de alimentación proyectadas y las zonas de cobertura de las mangas de alimentación para la cabecera de red de la Central Centro.

Cabecera GPON	# De Mangas de Alimentación
Centro	100
Totoracochoa	80
Ejido	80
Ricaurte	20
Narancay	15
Laguna	10
TOTAL	305

Tabla 3.9 Número de Mangas de Alimentación por Cabecera de Red.

Fuente: Documentación de Red de Acceso de ETAPA EP – Número de Armarios de Distribución.

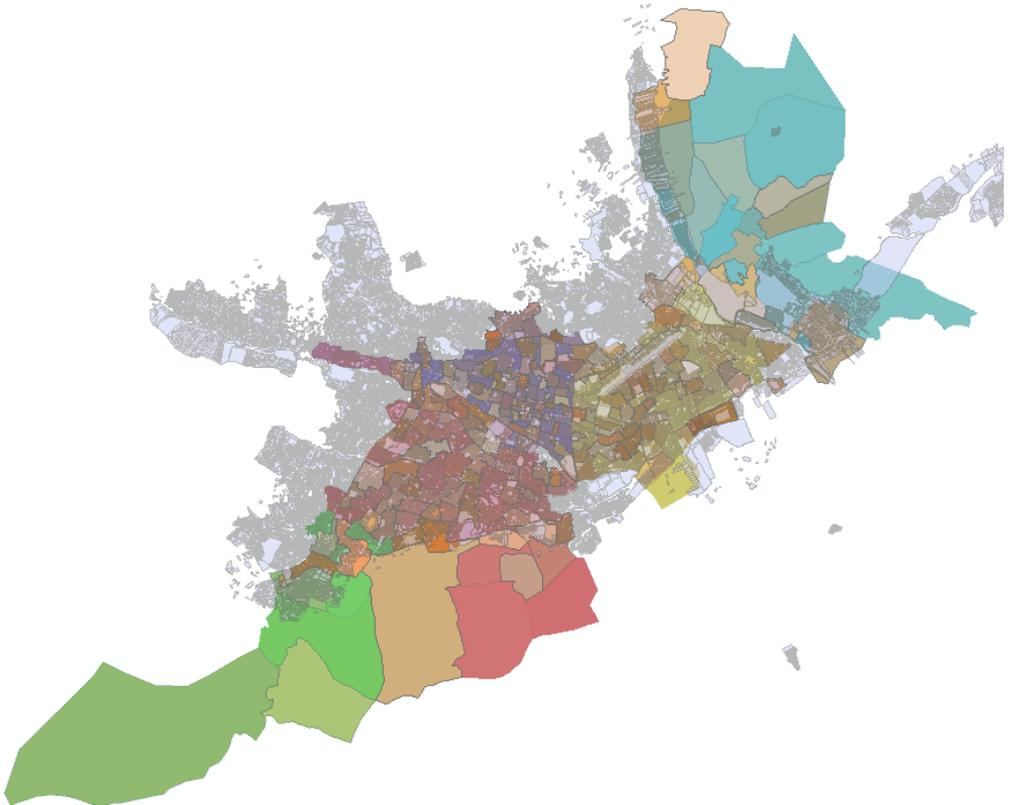


Figura 3.9 Proyección de las Zonas de Cobertura de las Mangas de Alimentación.

Fuente: Datos de Red de Acceso de ETAPA EP – Zonas de Cobertura de Armarios de Distribución.

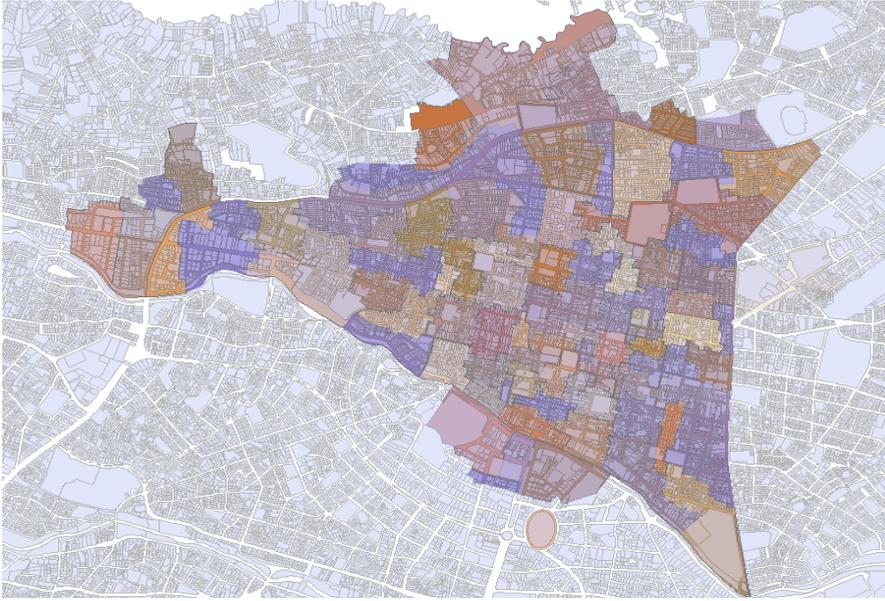


Figura 3.10 *Proyección de las Zonas de Cobertura de las Mangas de Alimentación de la Cabecera de Red Centro.*

Fuente: Datos de Red de Acceso de ETAPA EP – Zonas de Cobertura de Armarios de Distribución.

La demanda a cubrir por cada manga de alimentación es la misma cantidad de demanda satisfecha por la red de cobre, en la tabla 3.10 se muestra la proyección de clientes a servir por cada manga de alimentación para las cabeceras de red GPON.

Central Telefónica	Total Armarios de Distribución	Clientes Internet B. Ancha Promedio por Armario
Centro	100	69
Totoracocha	80	67
Ejido	80	76
Ricarte	20	86
Narancay	15	89
Laguna	10	64
TOTAL	305	451

Tabla 3.10 *Demanda a Cubrir de las Mangas de Alimentación.*

Fuente: Documentación de Red de Acceso ETAPA EP – Número de Clientes por Armarios de Distribución.

En el despliegue de alimentación se considera la proyección de hilos para reserva y un posterior cambio de splitter.

3.4.3 Red de Distribución.

De la misma manera que en la red de alimentación, se aprovechará de las zonas dispersión de la demanda satisfecha de las cajas de distribución de la red secundaria de cobre, para que estas mismas zonas sean las zonas de dispersión de las cajas de la red GPON en su despliegue.

Considerando la demanda a cubrir por la red de alimentación y específicamente por cada manga de alimentación descrita en la tabla 3.10, ésta se encuentra distribuida dentro de la zona de cobertura de la red de alimentación, en la red de distribución es preciso cubrir todos los puntos de cobertura existentes en la red de cobre.

De acuerdo a lo indicado en los párrafos anteriores, es necesario contar con una caja de distribución de red GPON por cada caja de red de cobre, de este modo se tendrá una caja de cobre y una de red GPON por cada ubicación. En la figura 3.11 se muestra la condición esperada.



Figura 3.11 Punto de Distribución de red GPON en Montevideo - Uruguay.
Fuente: Autores (Visita Técnica).

La cantidad de cajas de distribución por manga de alimentación permite definir la cantidad de hilos necesarios para la implementación de la red de alimentación. En los armarios de distribución de la red de cobre, se cuenta con una cantidad de 600 pares de cobre secundarios establecidos como una norma, sin embargo, debido a

crecimientos en la demanda, existen armarios que han superado esta definición de red secundaria hasta los 700 pares.

Para el despliegue propuesto, se considerarán las normas establecidas por ETAPA EP, esto es, se habilitarán hasta 60 cajas de distribución por cada zona de cobertura de la red alimentación, tal como se lo ilustra en las figuras 3.9 y 3.10, más un 10% adicional para crecimiento.

3.4.4 Rutas y Cables.

En esta sección se definirán las rutas y cables a ser considerados en ésta propuesta de despliegue, tanto de la red de alimentación como de la red de distribución.

3.4.4.1 Rutas y Capacidad de la Red de Alimentación. ¹⁷

Considerando que las zonas de cobertura de las mangas de alimentación indicadas en la sección 3.4.2, fueron tomadas de las zonas de cobertura de los armarios de distribución la red de cobre; la red de alimentación de la red GPON, aprovechará la infraestructura de canalización existente de la red primaria de cobre, por lo que su despliegue será a través de las mismas rutas.

En la figura 3.12 se presenta una de las rutas de la red primaria de cobre así como el recorrido de uno de los ramales de la red GPON proyectada para el despliegue.

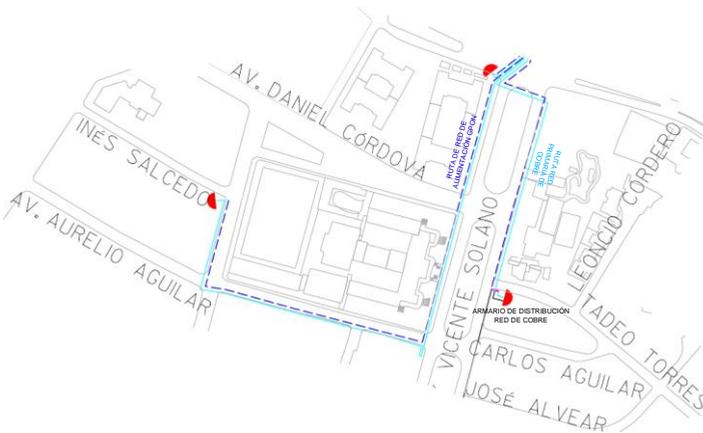


Figura 3.12 Ruta de Despliegue de la Red de Alimentación GPON.
Fuente: Departamento de Red de Acceso ETAPA EP – Red Primaria.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

El despliegue de la capacidad de la red de alimentación GPON está definido en función de las cajas de distribución a implementar; de manera adicional, se ha considerado un futuro cambio de splitting de primer nivel, a uno de 1:4, esto con la finalidad de dejar implementada una red que pueda soportar un incremento de la demanda del ancho de banda por usuario.

En la tabla 3.11 se muestra la capacidad de la red alimentación en hilos de fibra por cada manga de alimentación, además se ha considerado las características de los cables multifibras disponibles comercialmente.

CAPACIDAD EN HILOS DE FIBRA PARA LA MANGA DE ALIMENTACIÓN			
Cajas de Distribución a Cubrir + 10%	Hilos Requeridos	Hilos Requeridos + 10%	Hilos Requeridos con Proyección de Cambio de Splitting a 1:4
66	8,25	9,08	18,15
Total de hilos requeridos por manga de alimentación considerando la disponibilidad comercial de los cables de fibra			24 hilos

Tabla 3.11 *Hilos de Fibra Óptica Requeridos por Manga de Alimentación.*
Fuente: Autores.

Una vez definida la cantidad de hilos requeridos por manga de alimentación, es preciso definir la cantidad de mangas de alimentación por ruta. Considerando las rutas primarias de cobre, estas utilizan cables multipares de hasta 1200 pares y en función a la norma para la construcción de redes telefónicas de ETAPA EP, con respecto a que la capacidad de red primaria de cobre por armario de distribución es de 300 pares, hace que cada ruta de la red primaria de cobre contenga hasta 4 armarios de distribución.

Además de lo indicado en el párrafo anterior es importante considerar aspectos operativos con la finalidad de mantener la continuidad del servicio, acorde a los indicadores exigidos por el órgano de control del estado. Para la cantidad de mangas de alimentación por ruta en el despliegue de la red GPON, se ha considerado como cantidad mínima 4 mangas por ruta, toda vez que la misma tiene un menor porcentaje de afección, así como un menor tiempo de respuesta ante acciones de operación y mantenimiento en la red. En la tabla 3.12 se muestra el porcentaje de afección y

tiempos de respuesta ante acciones de operación y mantenimiento en la red para un determinado número de mangas de alimentación por ruta.

Cabecera de Red GPON	# Mangas de Alimentación	# Mangas por Ruta	% de Afección en la Red	Cable Multifibras	Tiempos de Operación y Mantenimiento
Centro	100	4	4%	96 hilos	6 horas
Centro	100	5	5%	120 hilos	8 horas
Centro	100	6	6%	144 hilos	10 horas

Tabla 3.12 *Porcentaje de Afección en la Red de Acuerdo al Número de Mangas de Alimentación por Ruta.*

Fuente: Autores.

Los tiempos de respuesta como acciones de operación y mantenimiento, han sido considerados en base a tiempos de respuesta en el mantenimiento correctivo y preventivo de eventos emergentes en las redes de fibra de transporte y acceso para soluciones P2P en fibra de ETAPA EP, por lo tanto los datos presentados corresponden a experiencias en campo. En la figura 3.15 se muestra la arquitectura de la propuesta de despliegue de la red GPON en su parte pasiva. Cabe resaltar que la ruta de la red de alimentación será proyectada en su totalidad con cable de 96 hilos, y de esta manera considerar un posible uso de los hilos en reserva desde otra cabecera de red para dar a la red de alimentación un respaldo y mejorar las condiciones de garantía de servicio para este segmento de red.

3.4.4.2 Rutas y Capacidad de la Red de Distribución.

En la sección 3.4.3 definimos que se instalará una caja de distribución GPON junto a una caja de distribución de la red de cobre y de esta manera cubrir la misma zona de dispersión. Para cubrir las mismas zonas de dispersión de las cajas de distribución de la red de cobre, es preciso definir la capacidad del cable de fibra, para esto es importante considerar que en la red secundaria de cobre, las cajas de distribución son agrupadas en conjuntos de 10 cajas por ruta.

De acuerdo a lo indicado, la ruta del cable para el despliegue de la red de distribución GPON, debe ser a través de un cable de 12 hilos por un conjunto de 10 cajas, tomando en cuenta que restan 2 hilos, los cuales pueden ser considerados en estado de reserva para futuras ampliaciones. En la red de distribución va a existir conjuntos de cajas de distribución que van en una misma dirección, para estos casos se utilizará un cable de

$N \times 12$ hilos al partir de la manga de alimentación, donde N es el número de conjunto de 10 cajas de distribución GPON. En la figura 3.13 se muestra la arquitectura de la red GPON propuesta para el despliegue en la cual se puede apreciar la distribución de las rutas de la red de distribución.

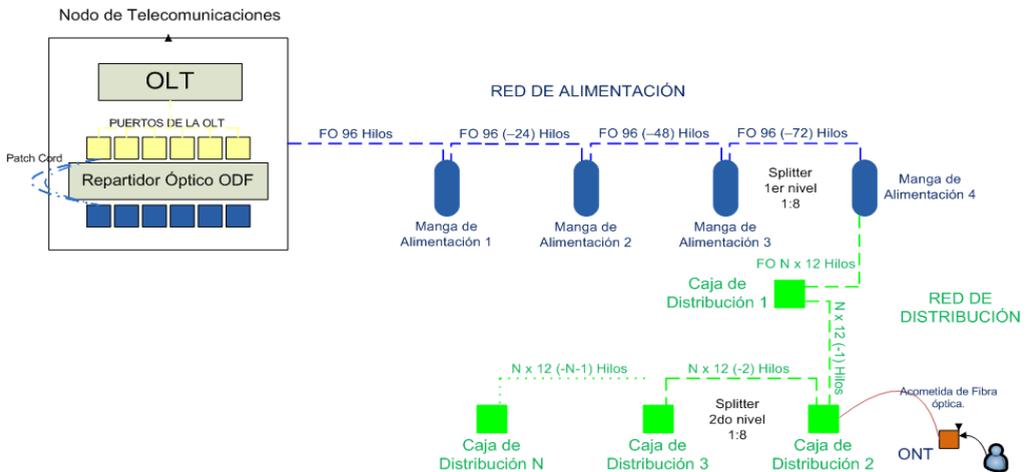


Figura 3.13 *Arquitectura Propuesta para el Despliegue de la Red GPON.*
Fuente: Autores.

3.4.5 Presupuesto Óptico.

El presupuesto óptico es la característica principal que garantiza la calidad del servicio y estará acorde a la clase de la red a implementarse. Para la propuesta del despliegue de la red GPON de ETAPA EP, se considerará la que actualmente se dispone, esto es una red clase B+, la cual debe garantizar un nivel de atenuación de red de hasta -28 dB.

Para la definición del presupuesto óptico, será necesario contar con la distancia del cable de fibra de la red de alimentación y de la red de distribución, además de la cantidad de conectores y empalmes empleados en la red. En la figura 3.14 se muestra un esquema de la propuesta de despliegue de la red GPON, mientras que en la tabla 3.13 se presentan las distancias promedio de las mangas de alimentación (la más cercana y lejana), así como también de las cajas de distribución (más cercana y lejana).

Bucle de abonado promedio (metros)			
Segmento Primario		Segmento Secundario	
Armario más Cercano	Armario más Lejano	Caja más Cercana	Caja más Lejana
1.075,38 m.	1.771,86 m.	100,43 m.	225,25 m.

Tabla 3.13 Distancia Promedio de Ubicación de los elementos de Distribución de la Red GPON.
Fuente: Autores.

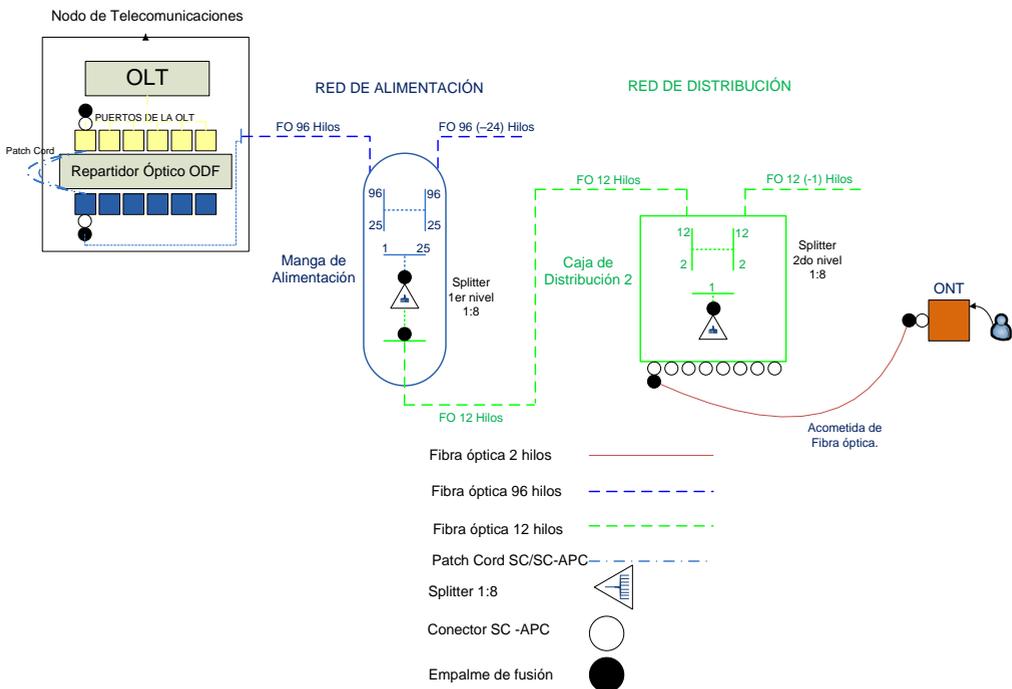


Figura 3.14 Esquema de Red Propuesta para el Despliegue.
Fuente: Autores.

Para la determinación de las distancias de los elementos de distribución de la red GPON en función de su ubicación, se consideró lo realizado en base a las distancias obtenidas para el bucle de abonado de los segmentos de la red de cobre.

Como se puede observar en la tabla 3.14 el presupuesto óptico de la red es de – 22,90 dB hasta la caja de distribución, y si se considera acometidas de fibra de 200 metros hasta el usuario, se tiene una atenuación total de – 23,42 dB, dando un umbral aproximado de 4 dB para mantenimiento y operación en la red.

			Manga de Alimentación (Incluye 1° Splitter)			
ELEMENTO	UNIDAD		Manga más Cercana		Manga más Lejana	
			Cantidad	Atenuación	Cantidad	Atenuación
Conector	dB	0,35	2,00	0,70	2,00	0,70
Empalme de Fusión	dB	0,10	3,00	0,30	3,00	0,30
Fibra óptica G652D	dB/km	0,35	1,08	0,38	1,77	0,62
Splitter 1/8	dB	10,50	1,00	10,50	1,00	10,50
Atenuación Total (dB)			11,88		12,12	
			Caja de Distribución (Incluye 2° Splitter)			
ELEMENTO	UNIDAD		Caja más Cercana		Caja más Lejana	
			Cantidad	Atenuación	Cantidad	Atenuación
Conector	dB	0,35	2,00	0,70	2,00	0,70
Empalme de Fusión	dB	0,10	5,00	0,50	5,00	0,50
Fibra óptica G652D	dB/km	0,35	1,18	0,41	2,00	0,70
Splitter 1/8	dB	10,50	2,00	21,00	2,00	21,00
Atenuación Total (dB)			22,61		22,90	
			Acometida de Cliente			
ELEMENTO	UNIDAD		Caja más Cercana		Caja más Lejana	
			Cantidad	Atenuación	Cantidad	Atenuación
Conector	dB	0,35	3,00	1,05	3,00	1,05
Empalme de Fusión	dB	0,10	6,00	0,60	6,00	0,60
Fibra óptica G652D	dB/km	0,35	1,38	0,48	2,20	0,77
Splitter 1/8	dB	10,50	2,00	21,00	2,00	21,00
Atenuación Total (dB)			23,13		23,42	

Tabla 3.14 Presupuesto Óptico de la Red GPON Propuesta.

Fuente: Autores.

3.5 Modelo de Despliegue.

El despliegue de red propuesto es bastante ambicioso, ya que se encuentra orientado a brindar cobertura a una gran área geográfica de la ciudad de Cuenca y a una demanda considerablemente alta.

Como se muestra en la tabla 3.7, este despliegue cubrirá la atención de los servicios de acceso a internet y red de datos digital con una solución FTTH a la zona que se muestra en la figura 3.5, reemplazando a la red de cobre que emplea tecnología ADLS.

Cabe destacar que en el despliegue propuesto de la red GPON descrito en la sección 3.4, tendrá también la capacidad de soportar el servicio de telefonía y reemplazar completamente la red de cobre.

El realizar un diseño de las redes de alimentación y distribución de la red GPON para las seis cabeceras de red, implica un periodo considerable de tiempo, en el sentido de aplicación inmediata del diseño, debido a que se requiere la comprobación in situ de cada una de las rutas trazadas verificando su estado, planimetría, su disponibilidad, etc., es por ello que en esta sección se desarrollará un modelo de despliegue de la red, en el cual se indicarán las características generales que deberán ser consideradas al momento de realizar los diseños de despliegue de la red GPON.

3.5.1 Modelo de Despliegue de la Red de Alimentación.¹⁷

Para la ilustración del modelo de despliegue de la red de alimentación GPON, se realizará a una sola ruta de alimentación, considerando lo descrito en la sección 3.4.4.1, de modo que el modelo propuesto aplica a una ruta para 4 mangas de alimentación, con su respectiva zona de cobertura.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

El modelo se lo aplicará a una ruta de alimentación de la Cabecera Centro, considerando que es la Cabecera de Red que mayor cantidad de mangas de alimentación posee (100 en total).

En la figura 3.15 se muestran las 4 zonas de cobertura de las mangas de alimentación proyectadas, considerando la ruta de red primaria descrita en la figura 3.16.

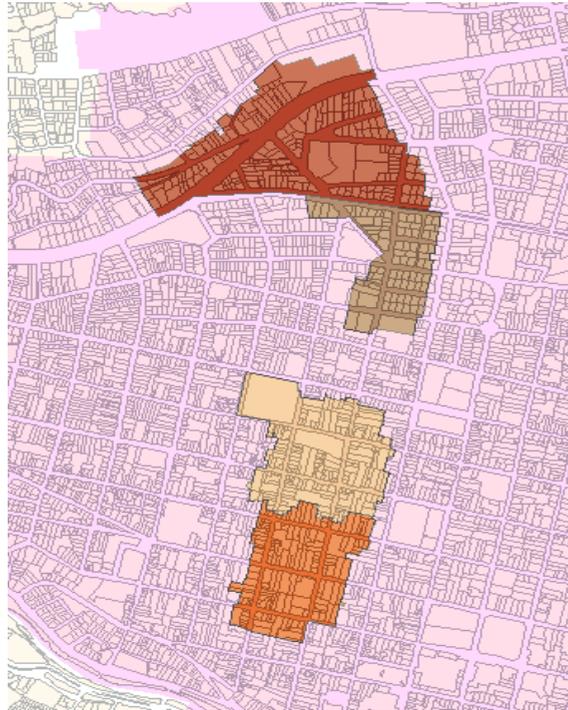


Figura 3.15 Zonas de Cobertura de las 4 Zonas para el Modelo de Despliegue de la Red de Alimentación.

Fuente: Autores.

3.5.2 Modelo de Despliegue de la Red de Distribución.¹⁷

Para el modelo de despliegue de la Red de Distribución GPON, a continuación se lo realizará a una sola zona de una Manga de Alimentación de las ya definidas en la sección 3.5.1; específicamente para la Manga de Alimentación N° 2, indicada en la figura 3.17.

En la figura 3.18 se muestra la zona de cobertura de la Manga Alimentación N°2, mientras que en la figura 3.19 se muestra la distribución de la red secundaria de cobre sobre la cual se realizará la red de distribución GPON.

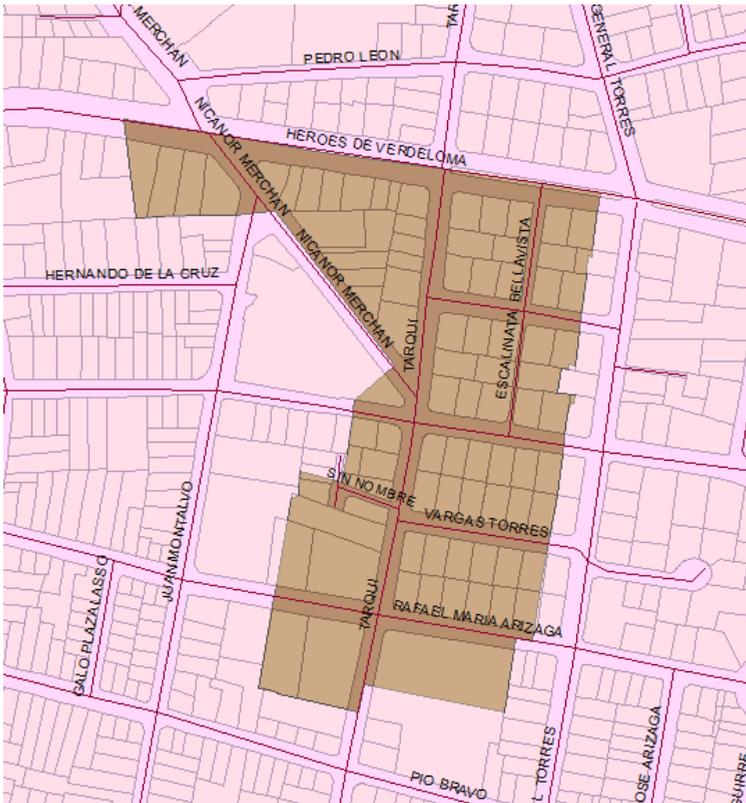


Figura 3.18 Zona de Cobertura para el Modelo de Despliegue de la Red de Distribución.

Fuente: Autores.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

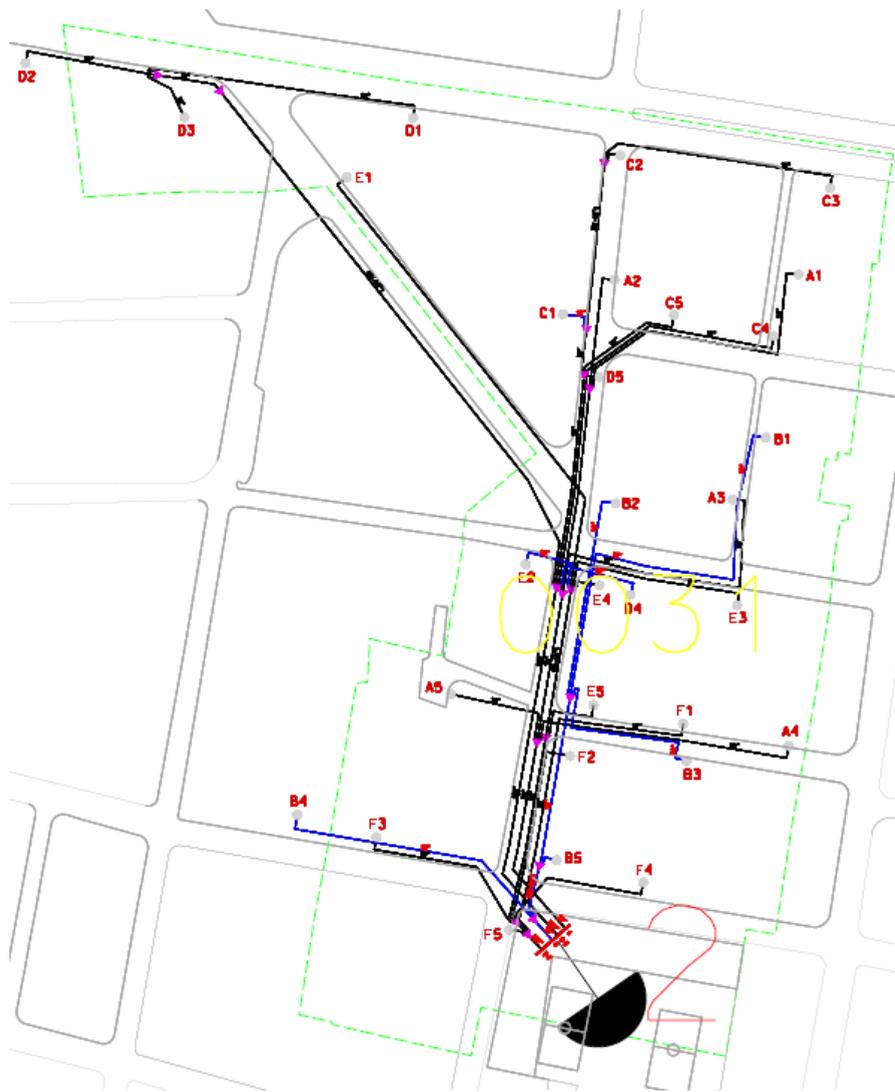


Figura 3.19 Red Secundaria de Cobre Considera para el Modelo de despliegue de la Red de Distribución.

Fuente: Departamento de Red de Acceso ETAPA EP – Red Secundaria de Cobre.

Las rutas para el despliegue de la Red de Distribución, se aplicarán conforme se describió en la sección 3.4, de modo que partirán cables de 12 x N hilos de fibra desde la manga de alimentación hasta las cajas de distribución, donde N representa la cantidad de conjuntos de cajas de dispersión de la red de cobre.

En la figura 3.20 se muestra modelo de despliegue de red de distribución GPON, como se puede apreciar las cajas de distribución GPON y de la red de cobre estarán ubicadas en la misma posición como se muestra en la figura 3.19.



Figura 3.20 Modelo de Despliegue de la Red de Distribución.

Fuentes: Autores.



Figura 3.21 Detalle del Modelo de Despliegue de la Red de Distribución.
Fuentes: Autores.

3.5.3 Análisis Económico para el Despliegue de la Red GPON.

En esta sección se realizará un análisis económico del despliegue de la red GPON y su afeción en el CAPEX (Capital Expenditures – Gastos de capital) y OPEX (Operating Expense – Gastos Operacionales). Este análisis se lo ha realizado considerando la

atención de la demanda indicada en la sección 3.2 y acorde a los clientes definidos en la tabla 3.8.

3.5.3.1 Inversión para el Despliegue de la Red GPON - CAPEX.

Para el análisis de la inversión se ha considerado lo requerido en equipamiento activo y pasivo para el despliegue de la red; esto es puertos OLT, mangas, repartidor óptico, cajas de distribución, etc.

La cantidad de equipamiento ha sido definida en base a los requerimientos para el despliegue de la red tratados en este capítulo, por lo que a continuación se describe el equipamiento necesario:

- **Cabecera de Red:** En la tabla 3.8 se indica la cantidad de puertos por cabecera de red necesarios para el despliegue. En función de esas cantidades se ha definido la cantidad de tarjetas de puertos PON y los frame o equipos OLT necesarios. Cabe indicar que cada tarjeta está provista de 8 puertos PON, mientras que cada equipo OLT puede estar constituido hasta de 16 tarjetas. En la tabla 3.15 se muestra la cantidad de tarjetas y equipos OLT requeridos para el despliegue de la red.

Cabecera GPON	Puertos Requeridos para el Despliegue	Puertos Actuales	Puertos Requeridos	Tarjetas PON (8 puertos)
Centro	127	8	119	16
Totoracocha	94	16	78	12
Ejido	118	8	110	15
Ricaurte	47	8	39	6
Narancay	24	8	16	3
Laguna	16	8	8	2
TOTAL	426	56	370	54

Tabla 3.15 Cantidad de Tarjetas PON Requeridas para el Despliegue de Red GPON.

Fuente: Autores.

- **Red de Alimentación:** Para definir la cantidad de equipamiento necesario que conformará la red de alimentación, se ha tomado en cuenta básicamente la cantidad de mangas de alimentación por cabecera de red, el número de splitters en base al número de hilos por manga de alimentación y la longitud del cable de 96 hilos basados en la longitud de cable de cobre para la red

primaria de cobre (planimetría), por lo que en la tabla 3.16, se indica la cantidad de materiales requeridos para el despliegue.

Cabecera GPON	# Mangas de Alimentación	Cantidad de Splitter 1:8	Longitud del Cable de Fibra Óptica de 96 hilos (m)
Centro	100	1.000	95.681
Totoracocha	80	800	89.721
Ejido	80	800	105.689
Ricaurte	20	200	25.700
Narancay	15	150	12.456
Laguna	10	100	4.586
TOTAL	305	3.050	333.833

Tabla 3.16 *Materiales Requeridos para el Despliegue de la Red de Alimentación.*

Fuente: Autores.

Red de Distribución: En la red de distribución se ha considerado 60 cajas de distribución por manga de alimentación, además del modelo de despliegue definido en la sección 3.5.2 para establecer la cantidad de mangas de acceso y longitud de cables como referencia para la red de distribución de las diferentes mangas de alimentación.

En la tabla 3.17 se presenta la cantidad de materiales requeridos para el despliegue de la red de distribución.

Cabecera GPON	# Cajas de Distribución	Cantidad de Splitter 1:8	Longitud cable F.O. 24 hilos (m)	Longitud cable F.O. 12 hilos (m)	Longitud cable F.O. 4 hilos (m)	Mangas de Acceso 24 hilos	Mangas de Acceso 12 hilos
Centro	6.000	6.000	19.500	72.400	66.400	100	300
Totoracocha	4.800	4.800	15.600	57.920	53.120	80	240
Ejido	4.800	4.800	15.600	57.920	53.120	80	240
Ricaurte	1.200	1.200	3.900	14.480	13.280	20	60
Narancay	900	900	2.925	10.860	9.960	15	45
Laguna	600	600	1.950	7.240	6.640	10	30
TOTAL	18.300	18.300	59.475	220.820	202.520	305	915

Tabla 3.17 *Materiales Requeridos para el Despliegue de la Red de Distribución.*

Fuente: Autores.

Con la cantidad de material definida para el despliegue de la red GPON, en la tabla 3.18 se define la inversión que representa la propuesta de despliegue.

Los valores económicos de los equipos activos y materiales de red pasiva, han sido tomados en base a costos característicos del mercado; para los equipos activos, está basado en la tecnología HUAWEI, mientras que los materiales de red pasiva fueron tomados de las marcas Corning, 3M y SIGNAMAX.

INVERSIÓN - CAPEX - COSTOS DE CAPITAL					
Segmento de Red	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Cabecera de RED - OLT	Tarjetas PON	U	54,00	\$ 10.760,00	\$ 581.040,00
	Repartidor Óptico	U	6,00	\$ 2.300,00	\$ 13.800,00
Red de Alimentación	Mangas de Alimentación (Mangas de Acceso de 96 Hilos)	U	305,00	\$ 218,70	\$ 66.703,50
	Splitter 1: 8 (Red de Alimentación)	U	3050,00	\$ 64,38	\$ 196.359,00
	Cable de Fibra Óptica 96 Hilos	M	333833,00	\$ 2,29	\$ 764.477,57
Red de Distribución	Cajas de Distribución	U	18300,00	\$ 276,52	\$ 5.060.316,00
	Splitter 1: 8 (Red de Alimentación)	U	18300,00	\$ 64,38	\$ 1.178.154,00
	Cable de Fibra Óptica 24 Hilos	M	59475,00	\$ 1,06	\$ 63.043,50
	Cable de Fibra Óptica 12 Hilos	M	220820,00	\$ 0,99	\$ 218.611,80
	Cable de Fibra Óptica 04 Hilos	M	202520,00	\$ 0,78	\$ 157.965,60
	Mangas de Acceso de 24 Hilos	U	305,00	\$ 575,17	\$ 175.426,85
	Mangas de Acceso de 12 Hilos	U	915,00	\$ 468,56	\$ 428.732,40
TOTAL					\$ 8.904.630,22

Tabla 3.18 *Inversión de Equipamiento para el Despliegue de Red GPON.*

Fuente: Autores.

3.5.3.2 Costos de Operación para el Despliegue de la Red GPON - OPEX.

Los costos de operación y mantenimiento incluyen los costos generados por el personal técnico y administrativo, equipos informáticos, materiales, vehículos, servicios básicos, gestión comercial, etc., sin embargo para este caso se realizará

solamente el análisis de los costos de operación generados por el personal técnico debido a que los demás costos representarían costos hundidos en los otros servicios de telecomunicaciones que presta ETAPA EP.

Para la atención de una zona de cobertura del despliegue de la red GPON, considerando su tamaño (radio aproximado de 300m), se ha establecido que para lograr óptimas condiciones de operación y mantenimiento se requerirá de 2 cuadrillas, las cuales están conformadas por 1 Ingeniero y 8 Técnicos cada una.

En la tabla 3.19 se muestran los costos operativos mensuales, mientras que en la tabla 3.20, se muestran los costos de operación referidos a equipos tales como; empalmadoras de fusión, equipos de medición de potencia óptica, de reflectometría y herramientas menores.

COSTOS DE OPERACIÓN MENSUAL - OPEX				
Descripción	Unidad	Cantidad	Salario	Costo Mensual
Ingeniero en Telecomunicaciones	U	2	\$ 1.300,00	\$ 2.600,00
Técnicos	U	16	\$ 800,00	\$ 12.800,00
TOTAL MENSUAL				\$ 15.400,00

Tabla 3.19 *Costos Operativos Mensuales para el Despliegue de Red GPON.*

Fuente: Autores.

COSTOS DE OPERACIÓN - OPEX				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Fusionadoras	U	4	\$ 12.000,00	\$ 48.000,00
Equipos de Medición - Potencia Óptica	U	2	\$ 6.000,00	\$ 12.000,00
Equipos de Medición - Reflectometrías	U	2	\$ 8.000,00	\$ 16.000,00
Herramienta Menor	U	2	\$ 2.000,00	\$ 4.000,00
TOTAL				\$ 80.000,00

Tabla 3.20 *Costos Operativos para el Despliegue de Red GPON.*

Fuente: Autores.

3.5.3.3 Estimación de Ingresos para el Despliegue de la Red GPON.¹⁷

Para proyectar los ingresos, luego de realizado el despliegue de la red GPON, se ha considerado como ingresos iniciales, únicamente la demanda a cubrir para la propuesta de despliegue, la cual está indicada en la tabla 3.7, toda vez que como primera fase, se realizará la migración de los clientes de las tecnologías ADSL y P2P en fibra. Posterior a la migración, se establecerá un crecimiento anual del 5% como una proyección de ventas.

Por cuestiones de simplicidad, se ha decidido agrupar a los clientes a ser migrados de la tecnología ADSL con un costo referencial general, así mismo, se ha definido un costo referencial general para los clientes a ser migrados de la tecnología P2P en fibra, obteniendo en primera instancia, que el ingreso mensual asciende a aproximadamente \$ 701.910 según el detalle presentado en la tabla 3.21.

INGRESO MENSUAL INICIAL			
Tecnología	# Conexiones Activas	Tarifa Mensual	Ingreso Mensual
ADSL*	27.000	\$ 23,00	\$ 621.000,00
P2P	175	\$ 279,00	\$ 48.825,00
GPON - Existente	115	\$ 279,00	\$ 32.085,00
INGRESO TOTAL MENSUAL			\$ 701.910,00

*Nota: Las 27.000 conexiones fueron obtenidas al totalizar el número de clientes de internet existentes en cada una de las cabeceras GPON al mes de Noviembre 2013.

Tabla 3.21 Ingresos Mensuales iniciales para el Despliegue de Red GPON.

Fuente: Autores.

3.5.3.4 Análisis Financiero para el Despliegue de la Red GPON.

Para el análisis financiero se han considerado las siguientes pautas:

- El despliegue total de la red GPON requerirá un considerable tiempo de ejecución, por lo que se asume que en el primer año se terminará la construcción de la red pasiva, mientras que para el segundo año, se realizará la implementación del equipamiento activo.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

- Los costos de operación se los considerará a partir del segundo año, en virtud de que como se indicó durante el primer año se realizará la construcción de la red pasiva.
- Los ingresos serán incorporados a partir del tercer año.

En la tabla 3.22 se presenta un resumen de los indicadores económicos referentes al valor actual neto (VAN), la tasa de interna de retorno (TIR) y la relación Costo – Beneficio al cabo de los 10 años de proyección, de donde se puede apreciar que la propuesta de despliegue de red GPON es rentable.

Cabe acotar que existen costos administrativos y de infraestructura que se han considerado que serán costos hundidos en la prestación de otros servicios. En la tabla 3.23 se muestra el flujo de fondos para la propuesta del despliegue de la red GPON de ETAPA EP.

NOMBRE DE INDICADOR	VALOR (USD)
Ingreso Actual	\$ 42.353.758,75
Costo Actual	\$ 9.526.175,49
Valor Actual Neto	\$ 32.930.819,95
Relación Beneficio – Costo	1,29
Tasa Interna de Retorno	47%
Periodo de Recuperación	4
Interés	10%

Tabla 3.22 *Indicadores Económicos para la Propuesta de Despliegue de Red GPON.*

Fuente: Autores

UBICACIÓN: CUENCA - ETAPA EP PROPUESTA DE DESPLIEGUE DE LA RED GPON
--

DETALLE /AÑOS	AÑOS						
	0	1	2	3	4	5	
Ingresos							
Ingreso ADLS	27000,00			27000,00	28350,00	29768,00	
Costo mensual	\$ 23,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 7.452.000,00	\$ 7.824.600,00	\$ 8.215.968,00
Ingreso P2P	175,00			175,00	175,00	175,00	
Costo mensual	\$ 279,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 585.900,00	\$ 585.900,00	\$ 585.900,00
Ingreso GPON	115,00			115,00	121,00	127,00	
Costo mensual	\$ 279,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 385.020,00	\$ 166.980,00	\$ 175.260,00
% Crecimiento	5%			5%	5%	5%	
Crecimiento					1350,00	1418,00	
Suscripción de servicio	\$ 90,00				\$ 121.500,00	\$ 127.620,00	
TOTAL INGRESOS	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 8.422.920,00	\$ 8.698.980,00	\$ 9.104.748,00	
Costos de Operación - OPEX							
Ingenieros de Operación y Mantenimiento	2		2	2	2	2	2
Costo mensual	\$ 1.300,00	\$ -	\$ 31.200,00	\$ 31.200,00	\$ 31.200,00	\$ 31.200,00	\$ 31.200,00
Técnicos de Operación y Mantenimiento	16		16	16	16	16	16
Costo mensual	\$ 800,00	\$ -	\$ 153.600,00	\$ 153.600,00	\$ 153.600,00	\$ 153.600,00	\$ 153.600,00
Equipos de medición y herramienta menor	1		1				
Costo	\$ 80.000,00	\$ -	\$ 80.000,00				
TOTAL COSTOS DE OPERACIÓN			\$ 264.800,00	\$ 184.800,00	\$ 184.800,00	\$ 184.800,00	\$ 184.800,00
Utilidad de la Operación			\$ (264.800,00)	\$ (184.800,00)	\$ 8.238.120,00	\$ 8.514.180,00	\$ 8.919.948,00
Costos de Inversión - CAPEX							
Tarjetas PON	\$ 581.040,00			\$ 581.040,00			
Repartidor Óptico	\$ 13.800,00			\$ 13.800,00			
Mangas de Alimentación (Mangas de Acceso de 96 Hilos)	\$ 66.703,50	\$ 66.703,50					
Splitter 1: 8 (Red de Alimentación)	\$ 196.359,00	\$ 196.359,00					
Cable de Fibra Óptica 96 Hilos	\$ 764.477,57	\$ 764.477,57					
Cajas de Distribución	\$ 5.060.316,00	\$ 5.060.316,00					
Splitter 1: 8 (Red de Alimentación)	\$ 1.178.154,00	\$ 1.178.154,00					
Cable de Fibra Óptica 24 Hilos	\$ 63.043,50	\$ 63.043,50					
Cable de Fibra Óptica 12 Hilos	\$ 218.611,80	\$ 218.611,80					
Mangas de Acceso de 24 Hilos	\$ 175.426,85	\$ 175.426,85					
TOTAL COSTOS DE INVERSIÓN	\$ 7.723.092,22	\$ -	\$ 594.840,00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Flujo de Fondos		0	\$ (264.800,00)	\$ (184.800,00)	\$ 8.238.120,00	\$ 8.514.180,00	\$ 8.919.948,00
Flujo de Fondos Neto		\$ (7.723.092,22)	\$ (264.800,00)	\$ (779.640,00)	\$ 8.238.120,00	\$ 8.514.180,00	\$ 8.919.948,00

Tabla 3.23 Flujo de Fondos para la Propuesta de Despliegue de Red GPON.

Fuente: Autores.

3.6 Normativas y ordenanzas.

En esta sección se analizarán los diferentes aspectos que se deben tener en cuenta para la implementación de la red GPON, considerando parámetros que rige la Senatel como Organismo administrador, regulador y consultor de las Telecomunicaciones a nivel nacional, el cual es promotor de nuevas tecnologías en el este campo y las respectivas ordenanzas que el Ilustre Municipio de Cuenca, en lo referente al tendido de los cables de fibra óptica en la ciudad.

3.6.1 Respetto a la Competitividad de la SENATEL.²⁰

La misión de la Senatel es la de liderar la gestión de las telecomunicaciones en todo el territorio nacional, siendo el ente administrador, regulador, consultor y promotor de nuevas tecnologías en el campo de las telecomunicaciones, para lo cual garantizará el desarrollo planificado, armónico y con visión de futuro mediante la revisión del cumplimiento de procesos sistemáticos, flexibles y eficientes que permitan la adecuada aplicación de las políticas de estado, respecto a la administración y regulación del Espectro Radioeléctrico y de la prestación de Servicios.

La Senatel como Órgano impulsor del desarrollo tecnológico, es el principal promotor de la aplicación de nuevas tecnologías en el país, basando su apoyo en los siguientes parámetros:

- a. Inversión pública y privada en investigación y desarrollo.
 - La Senatel brindará las condiciones de acceso sin discriminación a todos los sectores, facilitando la transferencia de tecnología y la protección de propiedad intelectual.
 - Promueve asociaciones públicas y/o privadas en colaboración con centros de estudios superior y otras instituciones públicas.
- b. Promoción de la Investigación y desarrollo (I+D).
 - Para evaluar la incidencia de nuevas tecnologías.
- c. Desarrollo tecnológico y su impacto en el empleo directo e indirecto.

²⁰ <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/biblioteca/>

3.6.2 Respetto a la Competitividad del Ilustre Municipio de Cuenca. ²²

El cableado aéreo dentro del centro histórico de la ciudad, está descartado debido a que corresponde a una zona definida como Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO desde el año 1999, para lo cual se refiere el Art. 16 de la “Ordenanza para la gestión y conservación de las áreas históricas y patrimoniales del cantón Cuenca”, publicada el 26 de febrero del 2010, así:

“Art. 16.- En el espacio público y edificaciones emplazadas en las Áreas Históricas y Patrimoniales del Cantón Cuenca, no podrá realizarse ningún tipo de intervención interna o externa sin la correspondiente autorización municipal, a través de la Dirección de Áreas Históricas y Patrimoniales.”

Se debe tomar en cuenta también que la “Ordenanza que regula la implantación de estaciones radioeléctricas fijas (antenas) de los servicios de radiocomunicaciones fijo y móvil terrestres en el Cantón Cuenca” en su artículo 5 publicado el 26 de septiembre del 2005:

“Art. 5.- Cableado de las instalaciones.

- a) En edificaciones existentes que no cuenten con la infraestructura para la instalación de equipos de telecomunicaciones, los cables que la instalación de equipos demande deberán tenderse por espacios comunes del edificio, esto es, ductos para instalaciones o por zonas no visibles, en las fachadas de los edificios hacia el espacio público podrán extenderse los cables bajo canaletas que deberán tener el mismo color de la edificación o por la inserción adecuada de tubería para infraestructura de telecomunicaciones.
- b) En los proyectos de construcción nueva o de rehabilitación constructiva el cableado se realizará a través de una tubería prevista exclusivamente para infraestructura de telecomunicaciones, tomando en cuenta lo dispuesto en la “Reforma, Actualización, Complementación y Codificación de la Ordenanza que Sanciona el Plan de Ordenamiento Territorial del cantón Cuenca. Determinaciones para el Uso y Ocupación del Suelo”.

Así como la “Reforma, Actualización, Complementación y Codificación de la Ordenanza que Sanciona el Plan de Ordenamiento Territorial del cantón Cuenca. Determinaciones para el Uso y Ocupación del Suelo” emitida el 27 de noviembre del 2002.

²²“Ordenanza que regula la implantación de estaciones radioeléctricas fijas (antenas) de los servicios de radiocomunicaciones fijo y móvil terrestres en el Cantón Cuenca”, (Septiembre del 2005).

3.6.3 Implicaciones a la Propuesta de Despliegue de la Red GPON.

Como se puede observar, por parte del ente regulador del estado no se presentan mayores restricciones a la propuesta de despliegue de red GPON, con respecto a las condiciones de calidad en la prestación del servicio sobre esta nueva tecnología, los indicadores son los mismos exigidos para los demás operadores de telecomunicaciones.

El Ilustre Municipio de Cuenca en la actualidad lleva a cabo planes de readecuación de los sectores alrededor del casco urbano y uno de los objetivos es el soterramiento de cables para eliminar la contaminación visual que provocan los cables aéreos y los adosados en las fachadas de casas inventariadas como patrimoniales.

El objetivo del soterramiento de redes no es exclusivo del Municipio de Cuenca, sino más bien es una tendencia de los gobiernos locales de países de Sudamérica.

De este modo se puede apreciar que la propuesta de despliegue de red, no afecta este objetivo del gobierno local, pues la red hace uso de la infraestructura de canalización en los trayectos de los cables de la red de alimentación y distribución; además de que se han eliminado armarios de distribución, impactando directamente sobre los efectos de contaminación visual y liberando espacio en las veredas.

3.6.4 Despliegue de la Red GPON en Edificios y Soluciones Habitacionales.

Al momento de poner en marcha la propuesta del despliegue deberá considerarse que esta sea socializada en la cámara de la Industria y de la Construcción de Cuenca, con la finalidad de que se establezcan nuevas pautas para la construcción de una red interna de fibra óptica en el interior de los futuros edificios, apartamentos, edificaciones de soluciones habitacionales, etc.; para que exista una efectiva aplicación del concepto FTTH; o en su defecto, se deba solicitar un espacio dentro de éstos, con las correspondientes facilidades, para que pueda llevarse a cabo la correcta implementación de una solución FTTB ó FTTC, con tecnología VDSL 2 para la última milla y de este modo, se pueda garantizar un ancho de banda que tenga las mismas condiciones que los demás usuarios de la red GPON.

En la figura 3.22, se muestra la arquitectura básica para brindar FTTH o FTTB para los usuarios en edificios o soluciones habitacionales.

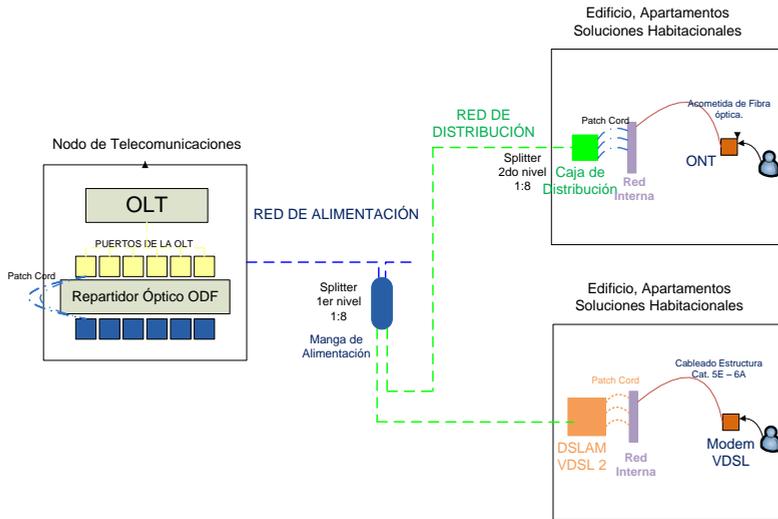


Figura 3.22 *Arquitectura básica para Soluciones FTTH o FTTB en Edificios.*
Fuentes: Autores.

3.7 Políticas de Ampliación de la Red GPON.

En esta sección se procederá a detallar las características generales para ejecutar una ampliación en cada segmento de la red GPON.

3.7.1 Políticas de Ampliación de la Red de Alimentación.

- En la propuesta de despliegue de la red, se definió un splitting total de 1:64 de modo que se disponga de hasta 39 Mbps downstream y 19 Mbps upstream por cliente en compresión 1:1; cuando la demanda requiera de mayores anchos de banda, se procederá a cambiar el splitter de primer nivel de 1:8, a una fase de splitting de 1:4, utilizando los hilos de fibra de la red de alimentación que quedaron en reserva.
- Para Zonas de cobertura de mangas de alimentación que requieran más de 60 cajas de distribución, será necesario crear una nueva zona con una nueva manga de alimentación y con una ruta de alimentación que tenga las mismas características que se definieron en las secciones 3.4.4.1 y 3.5.1.

3.7.2 Políticas de Ampliación de la Red de Distribución.

- De acuerdo a lo descrito en las secciones 3.4.4.2 y 3.5.2, en donde se definió el despliegue para la red de distribución, de modo que se disponga de 2 hilos de fibra óptica en reserva por cada conjunto de 10 cajas de distribución, éstas podrán ser ampliadas en las cajas existentes, de tal manera que con el nuevo diseño, se cuente únicamente con un solo puerto disponible.
- En caso de un explosivo crecimiento de la demanda (por ejemplo por la construcción de soluciones habitacionales en la zona), se generarán nuevas zonas de dispersión, en donde se requerirá la ampliación de cajas de distribución, la cual deberá realizarse en conjuntos de 12 cajas con una ruta directa desde la manga de alimentación.
- La ampliación de las cajas de distribución, no deberán superar las 60 cajas por manga de alimentación.

3.8 Políticas de Desplazamiento y Retiro de la Red de Cobre.

En esta sección se definirán políticas generales para el desplazamiento y retiro de la red de cobre basadas en un análisis de los anchos de banda requeridos para los servicios de telefonía sobre IP, acceso a internet y televisión IP, además de considerar los criterios propuestos para el despliegue de la red GPON.

Se ha considerado estos servicios, debido a que pueden ser brindados de forma inicial sobre la red GPON, ya que esta red de acceso es la que potencialmente llegara a desplazar y sustituir la red de acceso en cobre.

3.8.1 Análisis de la Demanda en Función de los Servicios.

En función de los servicios a prestar, la demanda estará determinada por el ancho de banda requerido, por lo que hay que diferenciar criterios de acceso a los servicios del uso de los servicios. Para contar con proyecciones de demanda aceptables se deben tener en cuenta dos aspectos:

- Conjunto de datos históricos confiables.
- Procedimiento adecuado de tratamiento de datos.

Además que se deberá definir un porcentaje de error en la proyección obtenida.

Este análisis determinará si la red de acceso en cobre tiene las condiciones adecuadas para brindar el servicio con la calidad y parámetros que requiere la demanda.

3.8.1.1 Ancho de Banda – Servicio de Voz sobre IP. ²³

Se utilizará un códec G.711. La elección de la duración del paquete es un compromiso entre el ancho de banda y la calidad requerida, es decir, una baja duración requiere de más ancho de banda, y si la duración se incrementa, el retardo del sistema también aumenta y lo hace más propenso para la pérdida de paquetes. El valor típico para este parámetro es de 20 ms, por lo que se pueden establecer lo siguiente:

- Códec G.711.
- $T_t = 0,125$ ms
- Duración Paquete = 20 ms
- $C_r = 1$

$$\text{Tasa de Paquetes } (P_r) = \frac{1}{\text{Duración del Paquete}} = \frac{1}{20} = 50 \text{ pps}$$

$$\text{Logitud de Trama } (L_t) = \frac{T_t * 8000 \frac{\text{bytes}}{\text{seg}}}{C_r} = \frac{0,125\text{ms} * 8000}{1} = 1 \text{ byte}$$

$$\frac{\text{Tramas}}{\text{Paquete}} (N) = \frac{\text{Duración Paquete}}{\text{Duración Trama}} = \frac{20\text{ms}}{0,125 \text{ ms}} = 160$$

$$\begin{aligned} \text{Cálculo Encabezado } (H) &= \text{Encabezado } (IP + UDP + RTP) + \text{Encabezado } (Ethernet) \\ &= 20 + 8 + 12 + 38 = 78 \text{ bytes} \end{aligned}$$

$$\text{Cálculo Longitud del Paquete } (Pl) = H + L_t * N = 78 + 1 * 160 = 238 \text{ bytes}$$

$$\begin{aligned} \text{Ancho de Banda por Usuario } BW \text{ (bps)} &= Pl * P_r * 8 \frac{\text{bits}}{\text{byte}} = 238 * 50 * 8 \\ &= 95,2 \text{ bps} \end{aligned}$$

²³ LEON, W Couch II. (Febrero 2012). “Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos”, 7ma Edición, Editorial Prentice Hall, México.

Este es el ancho de banda para un usuario en un solo sentido, el ancho de banda total es dos veces el ancho de banda por usuario, es decir:

$$BWT = 2 * BW = 2 * 95,2 \text{ Kbps} = 190,4 \text{ Kbps}$$

Si se considera supresión del silencio el ancho de banda requerido será la mitad, es decir 95,2 Kbps.

3.8.1.2 Ancho de Banda – Acceso a Internet. ¹⁷

En la sección 3.1.1 se determinó que el ancho de banda requerido para todos los usuarios de internet (o sea los 48.221 clientes), fue de 22,71 Gbps, lo que resulta que en promedio cada usuario tenga un ancho de banda de 470,688 Kbps, sin embargo si se toma en cuenta los tipos de planes existentes, la cantidad de usuarios y el ancho de banda requerido para cada plan (tablas 3.4 y 3.5) se obtiene el valor ponderado de ancho de banda para cada tipo de plan según el detalle de la siguiente tabla:

Tipo de Plan	Ancho de Banda Down (kbps)	# USUARIOS	BW Promedio (Kbps)
RESIDENCIAL	12.809.609	45.121	283,89
INALAMBRICO	7.331.200	1.388	5.281,84
CORPORATIVO 2	1.137.024	1.137	1.000,02
PREMIUM	1.130.622	134	8.437,48
EDUCANDO URBANO	155.700	108	1.441,67
CORPORATIVO 1	85.738	137	625,82
EDUCANDO RURAL	33.250	190	175,00
PREMIUM NACIONAL	24.000	6	4.000,00
Total general	22.707.143	48.221	470,90

Tabla 3.24 Distribución del Ancho de Banda Promedio para cada uno de los planes de Internet de ETAPA EP para el período Agosto 2012.

Fuente: ETAPA EP.

Con los datos obtenidos se puede apreciar que el ancho de banda promedio para por ejemplo el sector corporativo, oscila entre 625,82 Kbps y 1Mbps, mientras que para el sector residencial, se tiene un ancho de banda de apenas 283,89 Kbps.

¹⁷ ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador.

3.8.1.3 Ancho de Banda – IPTV.²³

Internet Protocol Television (IPTV) es un sistema mediante el cual se entrega el servicio de televisión aplicando los métodos y redes empleados en el Internet sobre una infraestructura de una red de conmutación de paquetes. Este servicio requiere de una conexión de internet con un ancho de banda entre 1,5 y 8 Mbps, en virtud de que proporciona video en tiempo real, y en el caso de que se lo requiera un video de alta definición por canal.

El estándar de compresión de video que al momento tiene la más eficiente transmisión sobre el protocolo de internet es el MPEG-4. En función de la calidad del video que se podría enviar se tiene:

- Video Estándar (1 a 2Mbps).
- Video Alta Definición HD (5 a 6 Mbps).
- Video Full Alta Definición Full HD (7 a 8Mbps)

Por lo que para el caso que se oferte una grilla que contenga 40 canales en formato estándar y 10 canales HD, el ancho de banda será:

$$BW_{IPTV} = 40 * 2Mbps + 10 * 6Mbps$$

$$BW_{IPTV} = 140 Mbps$$

Cabe indicar que cada usuario accederá a un canal a la vez, por lo que se diferencia el ancho de banda total requerido para todos los canales que se distribuirán (140 Mbps) del ancho de banda que consumirá el cliente en un determinado instante, por lo que se considerará un valor de 6Mbps por cliente que acceda a este servicio

3.8.2 Políticas Generales para el Desplazamiento y Retiro del Cobre.

Las políticas generales para el desplazamiento y retiro de la red de cobre están basadas principalmente de los requerimientos de la demanda y de los servicios proyectados que ETAPA EP pretenda sacar al mercado y que requieren el uso de la red de acceso de cobre.

²³ LEON, W Couch II. (Febrero 2012). “Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos”, 7ma Edición, Editorial Prentice Hall, México.

A continuación se enlistan las políticas generales para el desplazamiento y retiro de la red de cobre.

- Los requerimientos de la demanda con respecto a anchos de bandas cada vez son mayores, como se muestra en la figura 3.2, es la principal característica que define el tiempo de desplazar la red de cobre, cuando la demanda requiere anchos de banda superiores a 4 Mbps, esa será la principal alerta.
- Cuando el ancho de banda en un equipo DSLAM se encuentre a su máximo en los puertos Uplink y Downlink, generando lentitud a todos los usuarios activos en el equipo.
- Cuando se requiere la implementación de un nuevo producto o servicio sobre la red que requiere mayores prestaciones en ancho de banda, tales como TVIP.
- El retiro de la red de acceso en cobre debe ser realizado cuando todos los servicios sobre esta red se encuentran migrados a la red de acceso en fibra, GPON.

**CONCLUSIONES
Y
RECOMENDACIONES**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES:

- ✓ La tecnología GPON es sumamente robusta al presentar una gran cantidad de beneficios y ventajas que hace que esta red sea la llamada a sustituir a la red de acceso de cobre toda vez que la red GPON permite agregar varios servicios ofertados por una operadora de telecomunicaciones a través de un solo medio de acceso, permitiendo brindar paquetes tripleplay o cuad-play.
- ✓ El número de clientes va a estar en función de las capacidades de “tipo de splitting” en un punto determinado y del presupuesto óptico. Si la fibra lo permite, es posible seguir dividiendo los accesos de manera jerárquica, pero al menos en un principio y de acuerdo al análisis realizado, se tendrían 39 Mbps con compresión 1:1 como ancho de banda por usuario, lo que corresponde a un nivel de splitting de 1:64 y una atenuación de aproximadamente 23,42dB, lo que hace que se tenga un umbral aproximado de 4dB para mantenimiento y operación respecto al estándar.
- ✓ ETAPA EP al igual que la mayoría de los operadores dominantes de telefonía tradicional, implementó el servicio de acceso de internet mediante el uso de tecnologías xDSL, principalmente ADSL, con la finalidad de utilizar toda la capacidad de las redes de cobre; sin embargo, la demanda de ancho de banda por cliente requiere cada vez de mayores tasas de transferencia, debido al continuo desarrollo de las TIC's, los nuevos servicios y las nuevas prestaciones que se ofrecen a través de la nube de Internet, teniendo como consecuencia que la red de cobre llegue a su límite de prestación.
- ✓ Las soluciones P2P mediante fibra óptica son efectivas para una cantidad limitada de clientes; sin embargo al tener un elevado crecimiento en la cantidad de usuarios, estas soluciones se vuelven costosas y poco competitivas, siendo entonces las soluciones de tipo P2MP las que se vuelven más idóneas.
- ✓ La red actual GPON se encuentra sub utilizada (llegando apenas al 2%), debido a que las zonas de dispersión de las cajas de distribución, tienen aéreas de cobertura demasiado grandes, además que al tratar de brindar servicios solamente al sector corporativo, el cual según la determinación de la demanda, se encuentra muy disperso, hace que el porcentaje de utilización de puerto de la OLT sea muy bajo y sub-utilizado, por lo que en el actual proyecto se

propone direccionar a toda la gama de clientes y aprovechar las ventajas de ésta tecnología.

- ✓ El despliegue de red GPON propuesto cubrirá una alta concentración de demanda, considerando que las zonas de cobertura de las cabeceras de red, son las que mayor densidad de clientes tienen del total de ETAPA EP.
- ✓ La propuesta de despliegue de la red, considera cobertura para los clientes de acceso a internet y red de datos digital del sector corporativo y residencial, como punto de partida, sin embargo, la estructura de la red de acceso pasiva GPON propuesta, permitirá también la adición del servicio de los usuarios de telefonía y de futuros servicios, como IPTV, etc.
- ✓ De acuerdo al análisis financiero se puede apreciar que la inversión es sumamente alta (aproximadamente 9 millones de dólares), sin embargo, como se pudo apreciar en los numerales 3.1.2 y 3.1.3 si se considera un plan base de Internet de 2.800Kbps y una tasa de crecimiento promedio anual del 6,1%; para el año 2017, las velocidades requeridas superarán los 4.000 Kbps, imposibilitando la prestación de este servicio mediante la red de acceso actual, consecuentemente ETAPA EP podría dejar de percibir los aproximadamente 12 millones de dólares anuales por brindar el servicio de Internet.

RECOMENDACIONES:

- ✓ Es preferible adquirir soluciones GPON completas de un solo fabricante, esto debido que la interoperabilidad entre equipos podría significar un inconveniente.
- ✓ La implementación de la red de acceso GPON conllevaría un periodo de tiempo considerable (aproximadamente 2 años), por lo que se recomienda realizar la implementación de la red a través de grupos de mangas de alimentación, las cuales a su vez, estarán agrupadas por cabeceras.
- ✓ La propuesta de despliegue de la red GPON permitirá el retiro de la red de cobre en las zonas de cobertura de las mangas de alimentación de cada una de las cabeceras de red, para esto es preciso que se agregue el servicio de telefonía a la red GPON.
- ✓ El despliegue de la red debería ser una política de Empresa, en virtud de que al poder contar con una red de acceso lo suficientemente robusta y capaz de ofrecer tasas de transferencia del orden de gigabits, sería factible el incremento y/o mejoramiento de los servicios ofrecidos, como por ejemplo el IPTV, de tal manera que se pueda competir en nuevos mercados y fortalecer la presencia de la empresa.
- ✓ La presente propuesta ha tenido énfasis en la red de acceso y a las capacidades que podría proporcionar para los diferentes servicios; sin embargo, para el despliegue de nuevos servicios se recomienda un estudio de mercado que permita determinar planes de marketing, comercialización y costos.

BIBLIOGRAFÍA

1. BIBLIOGRAFÍA.

- JIMENEZ, María Soledad MSc. (2006). “Teoría de Comunicaciones”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- TOMASI, Wayne, (2003). “Sistemas de Comunicaciones Electrónicas”, Cuarta Edición.
- LEON, Milton, ALVARRACIN, Arturo, (2004). “Análisis de la red de fibra óptica de Etapa: Elaboración de un manual para certificación interna”, Cuenca, Ecuador.
- QUISHPE, Alejandra, VINUEZA, Nubia. (2010). “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 (Fiber to the x)”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.
- CORTEZ, Francisco, LAIN José. (2012). “FTTX: El futuro de la banda ancha”, TELNET, España.
- LATTANZI, Miguel, GRAF, Agustín. (2008). “Redes FTTx Conceptos y Aplicaciones”, IEEE Argentina.
- Recomendaciones ITU-T G.98x.
- Tutorial EPONs (2007). Revolution in Access Network, Siemens Communications.
- Multi-Point Control Protocol (MPCP), Common Framework.PDF
- ETAPA EP, (2013). Documentación de los Departamentos de Red de Acceso, Desarrollo de Red y Data Ware House, Cuenca, Ecuador,
- ETAPA EP, CAICEDO T. Jhonny / ZARI M. Paúl. (Enero-2013). “Manual para la Instalación y Reparación de Acometidas de Fibra Óptica Red GPON”, Cuenca, Ecuador.

- ETAPA EP, ASTUDILLO P. Edgar. (Diciembre-2005). “Normas Técnicas para la Construcción y Fiscalización de Redes Primarias, Secundarias y Líneas de Abonados de una Red de Acceso para Servicios de Telecomunicaciones”, Volumen II, Cuenca, Ecuador,
- “Ordenanza que regula la implantación de estaciones radioeléctricas fijas (antenas) de los servicios de radiocomunicaciones fijo y móvil terrestres en el Cantón Cuenca”, (Septiembre del 2005).
- LEON, W Couch II. (Febrero 2012). “Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos”, 7ma Edición, Editorial Prentice Hall, México.

2. LINKCOGRAFÍA.

- http://www.dei.uc.edu.py/tai98/Fibras_Opticas.htm
- <http://www.freepatentesonline.com/EP1467590.html>
- <http://www.dslreports.com/faq/12895>
- <http://www.birds-eye.net/definition/acronym/?id=1158794635>
- <https://www.silabs.com/APPLICATIONS/COMMUNICATIONSTELECOM/Pages/ONU.aspx>
- <https://www.iec.org/online/tutoriales/epon/topic05.html>
- <https://library.thinkquest.org/C003776/espanol/book/>
- <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/biblioteca/>
- <http://www.inec.gob.ec/estadisticas/>
- www.conocimientosrfapplications.blogspot.com/2010/06/medios-de-transmision-fibra-optica.html
- http://www.dei.uc.edu.py/tai98/Fibras_Opticas.htm
- <http://www.freepatentesonline.com/EP1467590.html>
- <http://www.dslreports.com/faq/12895>

- <http://www.birds-eye.net/definition/acronym/?id=1158794635>
- <https://www.iec.org/online/tutoriales/epon/topic05.html>
- <https://library.thinkquest.org/C003776/espanol/book/>
- www.conocimientosrfapplications.blogspot.com/2010/06/medios-de-transmision-fibra-optica.html
- http://200.27.247.163/planta/menu/fibra_archivos/image002.jpg
- http://nemesis.tel.uva.es/images/tCO/contenidos/tema1/imagenes_tema1_5/image011.jpg
- <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/9e/FTTX.svg/220px-FTTX.svg.png>
- <http://www.ccapitalia.net/img/teleco-gpon-conceptos-generales.jpg>
- www.iec.org/online/tutorials/epon/topic06.html
- http://bibdigital.epn.edu.ec/simplesearch?query=%28%28GPON%29%29&from_advanced
- http://www.dei.uc.edu.py/tai98/Fibras_Opticas.htm
- <http://www.freepatentesonline.com/EP1467590.html>
- <http://www.regulaciontelecomunicaciones.gob.ec/biblioteca/>
- <http://www.inec.gob.ec/estadisticas/>