

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**DISEÑO DE UNA RED RFoG PARA UNA ZONA DE REGENERACIÓN  
URBANA DEL NORTE DE QUITO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**LIBINTON DUBERLI LARA RIVERA**  
**libinton.lara@fsorlam.com**

**DIRECTORA: MSc. TANIA IVANOVA PÉREZ RAMOS**  
**tania.perez@epn.edu.ec**

**Quito, Febrero 2014**

## **DECLARACIÓN**

Yo Libinton Lara, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

---

**Libinton Lara**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Libinton Lara, bajo mi supervisión.

---

**Ing. Tania Pérez**

**DIRECTORA DEL PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por regalarme la salud y vida, y a todas aquellas personas, amigos y compañeros que han hecho posible la realización del presente trabajo, y especial gratitud a la Ing. Tania Pérez directora del presente estudio por su valiosa colaboración quien ha sabido dirigirme acertadamente en la realización de éste proyecto.

Y a mí prestigiosa universidad por la enseñanza en ella recibida

## DEDICATORIA

A mis padres, hermanos y familiares por su apoyo y guía incondicional, especialmente a mis hijos, quienes son el motivo de inspiración y superación de cada día,

A mi esposa, amigos, compañeros de trabajo que me han sabido colaborar con su vasta experiencia y apoyo en los momentos críticos,

A todos gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfar en la vida, mil palabras no bastarían para agradecerles su inmenso apoyo, su comprensión y sus consejos de todo momento.

## CONTENIDO GENERAL

<b>CONTENIDO GENERAL .....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>xvi</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xviii</b>
<b>PRESENTACIÓN.....</b>	<b>xx</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 SITUACIÓN ACTUAL .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1.1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1.2 PROBLEMÁTICA QUE ENFRENTAN LAS OPERADORAS FRENTE           AL SOTERRAMIENTO. ....</b>	<b>2</b>
<b>1.1.3 PROBLEMÁTICA DE LAS OPERADORAS CON REDES DE ACCESO           HFC ANTE EL SOTERRAMIENTO DE CABLES.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 RED HFC.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.1 CABECERA O HEAD-END .....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.1.1 Contenido .....</b>	<b>7</b>
<b>1.2.1.2 Receptores .....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.1.3 Procesamiento .....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.1.3.1 Procesamiento de Señales Analógicas .....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.1.3.2 Procesamiento de Señales Digitales.....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.2 RED TRONCAL .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.3 RED DE DISTRIBUCIÓN .....</b>	<b>10</b>

1.2.3.1	Nodo Óptico .....	11
1.2.3.2	Amplificadores.....	11
1.2.3.3	Fuente.....	12
1.2.3.4	Acoplador y splitter .....	12
1.2.3.5	Taps .....	14
1.2.3.6	Cable Coaxial .....	14
1.2.4	ÚLTIMA MILLA.....	15
1.2.5	Data Over Cable Service Interface Specification (DOCSIS).....	16
1.3	RED HFC EN LA ZONA DE REGENERACIÓN.....	17
1.4	ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA RFoG.....	22
1.4.1	INTRODUCCIÓN .....	22
1.4.2	JUSTIFICACIÓN RFoG .....	24
1.4.3	IMPLEMENTACIÓN DE RFoG .....	26
1.4.3.1	Arquitectura de fibra tapped.....	28
1.4.3.2	Arquitectura de fibra dropped .....	31
1.4.3.3	Micronodo.....	33
1.4.3.4	Coexistencia de RFoG y GPON .....	34
1.4.3.5	Esquemas de Distribución RFoG en la Última milla.....	35
1.4.3.5.1	Acometida de última milla independiente. ....	35
1.4.3.5.2	Fibra hacia el departamento .....	36
1.4.3.5.3	Distribución de Coaxial dentro del edificio con un solo Micronodo .....	37
1.4.3.5.4	Distribución de Coaxial dentro del edificio con un solo Micronodo con amplificador.....	37

1.4.3.6	Baterías de Respaldo. ....	38
1.4.3.7	Esquema RFoG para distancias mayores a 20km .....	38
1.5	APLICABILIDAD DE LA TECNOLOGÍA RFoG EN UN ESCENARIO DE REGENERACIÓN URBANA.....	39
1.5.1	TECNOLOGÍA HFC VS RFoG.....	40
1.5.2	CABLE COAXIAL FRENTE A LA FIBRA ÓPTICA.....	40
1.5.3	RED ACTIVA FRENTE A RED PASIVA.....	41
CAPÍTULO II.....		42
DISEÑO DE RED .....		42
2.1	INTRODUCCIÓN.....	42
2.1.1	REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO .....	42
2.1.1.1	Requerimiento del Diseño de Planta Interna .....	43
2.1.1.2	Requerimiento del Diseño de Planta Externa.....	43
2.1.1.3	Alcance de Herramientas .....	44
2.1.1.4	Alcance del Equipamiento .....	44
2.2	DISEÑO DE PLANTA INTERNA.....	44
2.2.1	PRESUPUESTO DE PÉRDIDAS .....	44
2.2.1.1	Presupuesto de Pérdidas desde la cabecera hacia el Cliente .	45
2.2.1.2	Presupuesto de Pérdidas desde el cliente hacia la cabecera.	47
2.2.1.3	Comparación de Soluciones de Commscope y Aurora .....	48
2.2.1.4	Solución en base a Equipos Commscope .....	48



2.2.1.4.1 Transmisor.....	48
2.2.1.4.2 Amplificador EDFA Erbium Doped Fiber Amplifier .....	48
2.2.1.4.3 Receptor Óptico .....	50
2.2.1.4.4 Wavelength-Division Multiplexing (WDM).....	51
2.2.1.4.5 Equipamiento Requerido para solución con equipos Commscope .....	52
2.2.1.5 Solución en base a Equipos Aurora.....	54
2.2.1.5.1 Chasis y Fuente.....	54
2.2.1.5.2 Transmisor.....	55
2.2.1.5.3 Amplificador Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA).....	56
2.2.1.5.4 RFoG Diplexer Return Receiver .....	57
2.2.1.5.5 Equipamiento Requerido para solución con equipos Aurora	58
2.2.1.6 Comparación entre la solución de Commscope y Aurora .....	60
<b>2.3 DISEÑO DE PLANTA EXTERNA .....</b>	<b>63</b>
2.3.1 RECOMENDACIONES DE FIBRA ÓPTICA.....	67
2.3.2 DISEÑO DE LA RED TRONCAL .....	68
2.3.2.1 Tendido de Fibra .....	69
2.3.3 DISEÑO RED DE DISTRIBUCIÓN .....	71
2.3.3.1 Fiber Distribution Hub .....	72
2.3.4 ULTIMA MILLA.....	76
2.3.5 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS .....	77
2.3.5.1 Equipamiento y Herramientas para la fase de Construcción...	78
2.3.5.1.1 Fusionadora.....	79
2.3.5.1.2 Sonda de Inspección de Conectores .....	79
2.3.5.1.3 Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) .....	81

2.3.5.1.4	Kit de Limpieza .....	86
2.3.5.1.5	Kit de Herramientas .....	86
2.3.5.2	Equipamiento y Herramientas para la fase de Activación .....	87
2.3.5.3	Equipamiento y Herramientas para la fase de Mantenimiento.	88
 <b>CAPÍTULO III .....</b>		<b>89</b>
 <b>PRESUPUESTO REFERENCIAL .....</b>		<b>89</b>
 <b>3.1 PRESUPUESTO DE PLANTA INTERNA .....</b>		<b>89</b>
3.1.1	EQUIPOS ACTIVOS .....	89
3.1.2	ACCESORIOS .....	91
3.1.3	SERVICIOS.....	91
3.1.4	EQUIPOS DE RESPALDO .....	92
3.1.5	COSTOS REFERENCIALES PARA LA PLANTA INTERNA.....	93
 <b>3.2 PRESUPUESTO PARA PLANTA EXTERNA.....</b>		<b>93</b>
3.2.1	PRESUPUESTO PARA LA RED TRONCAL .....	94
3.2.2	PRESUPUESTO PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN .....	94
3.2.3	PRESUPUESTO PARA LA ULTIMA MILLA.....	95
3.2.3.1	Costo referencial de Última Milla empleando un micronodo por cada cliente.....	96
3.2.3.2	Costo Referencial de Última Milla empleando un Micronodo por Edificio.....	96
3.2.3.3	Comparación Económica de Instalación de Última Milla .....	97
3.2.4	COSTOS REFERENCIALES PARA LA PLANTA EXTERNA.....	98
 <b>3.3 PRESUPUESTO PARA EQUIPOS DE MEDICIÓN Y HERRAMIENTAS .....</b>		<b>99</b>

3.4	PRESUPUESTO PARA EL DIRECTOR DE PROYECTO .....	99
3.5	PRESUPUESTO PARA ADICIONALES .....	100
3.6	PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO COSIDERANDO TODA LA IMPLEMENTACIÓN. ....	101
3.7	PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO COSIDERANDO QUE SE CUENTA CON LA RED TRONCAL, EQUIPOS DE MEDICIÓN Y HERRAMIENTAS .....	102
CAPÍTULO IV.....		104
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	104
4.1	CONCLUSIONES.....	104
4.2	RECOMENDACIONES.....	109
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		111
ANEXOS		
ANEXO A: PRESUPUESTO DE PÉRDIDAS RFoG		
ANEXO B: DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE EQUIPOS DE PLANTA INTERNA COMMSCOPE		
ANEXO C: DISTRIBUCIÓN FÍSICA DE EQUIPOS DE PLANTA INTERNA COMMSCOPE		
ANEXO D: ESQUEMA LÓGICO DE EQUIPOS DE PLANTA INTERNA AURORA		
ANEXO E: DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS DE PLANTA INTERNA AURORA		
ANEXO F: DISTRIBUIDOR DE FIBRA ÓPTICA ODF		

**ANEXO G: FIBER DISTRIBUTION HUB FDH**

**ANEXO H: CORRESPONDENCIA DE HILOS DE FIBRA DE 24 HILOS CON FIBRAS DE 12 HILOS**

**ANEXO I: PLANO DE LA PLANTA EXTERNA EN LA ZONA DE REGENERACIÓN**

**ANEXO J: NORMA RFoG (RADIO FRECUENCY OVER GLASS)**

**ANEXO K: HOJAS DE ESPECIFICACIÓN EQUIPOS AURORA**

**ANEXO L: HOJAS DE ESPECIFICACIÓN EQUIPOS COMMSCOPE**

**ANEXO M: ORDENANZA MUNICIPAL N° 0022**

## LISTA DE FIGURAS

### CAPITULO I

<b>Figura 1.1</b>	<b>: Contaminación visual Av. República del Salvador</b>	<b>1</b>
<b>Figura 1.2</b>	<b>: Zona regenerada en la Av. República del Salvador</b>	<b>2</b>
<b>Figura 1.3</b>	<b>: Arquitectura Red HFC</b>	<b>5</b>
<b>Figura 1.4</b>	<b>: Red de distribución</b>	<b>9</b>
<b>Figura 1.5</b>	<b>: Nodo Óptico</b>	<b>10</b>
<b>Figura 1.6</b>	<b>: Amplificador</b>	<b>10</b>
<b>Figura 1.7</b>	<b>: Fuente Alpha XM-2</b>	<b>11</b>
<b>Figura 1.8</b>	<b>: Acopladores y Splitters</b>	<b>11</b>
<b>Figura 1.9</b>	<b>: Pérdidas Splitter de 2 y 3 vías</b>	<b>12</b>
<b>Figura 1.10</b>	<b>: Splitter de 2 vías para interiores</b>	<b>12</b>
<b>Figura 1.11</b>	<b>: Taps</b>	<b>13</b>
<b>Figura 1.12</b>	<b>: Modelo OSI de DOCSIS</b>	<b>14</b>
<b>Figura 1.13</b>	<b>: Arquitectura DOCSIS</b>	<b>15</b>
<b>Figura 1.14</b>	<b>: Zona regenerada cubierta por más de un NODO HFC (U04028 y U04075) en la Av. República del Salvador</b>	<b>18</b>
<b>Figura 1.15</b>	<b>: Gabinete para óptico fuente y nodo (90x140cm) interior y exterior</b>	<b>19</b>
<b>Figura 1.16</b>	<b>: Gabinete para Nodo Óptico (70x80cm) interior y exterior</b>	<b>20</b>
<b>Figura 1.17</b>	<b>: Gabinete para Fuente Alpha X-M2 y Banco de Baterías (70x100cm) interior y exterior</b>	<b>20</b>
<b>Figura 1.18</b>	<b>: Gabinete para Taps y Acopladores de red (40x60cm) interior y exterior</b>	<b>21</b>
<b>Figura 1.19</b>	<b>: Arquitectura RFoG</b>	<b>26</b>
<b>Figura 1.20</b>	<b>: Diagrama de Instalación de Micronodo</b>	<b>27</b>
<b>Figura 1.21</b>	<b>: Arquitectura RFoG con Taps</b>	<b>28</b>
<b>Figura 1.22</b>	<b>: Valores de Pérdidas de Taps Ópticos</b>	<b>29</b>

<b>Figura 1.23 : Esquema de un Tap Óptico .....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 1.24 : Vista de Tap Óptico Lado de Distribución .....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 1.25 : Vista de Tap Óptico Lado del cliente .....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 1.26 : Esquema basado en taps .....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 1.27 : Tap Óptico Commscope .....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 1.28 : Arquitectura de Red PON .....</b>	<b>32</b>
<b>Figura 1.29 : Caja FTTx .....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 1.30 : Diagrama de Bloques de un micronodo .....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 1.31 : Coexistencia Tecnología RFoG con GPON .....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 1.32 : Diagrama de Bloques de un micronodo .....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 1.33 : Fibra hacia cada departamento .....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 1.34 : Fibra hacia cada departamento, un equipo por edificio .....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 1.35 : Distribución de vertical de edificio con cable coaxial con un micronodo y un amplificador .....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 1.36 : Respaldo de Energía para Micronodos .....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 1.37 : Esquema RFoG con Repetidor Óptico .....</b>	<b>39</b>

## **CAPITULO II**

<b>Figura 2.1 : Pérdidas en la bajada .....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 2.2 : Esquema de la Cabecera .....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 2.3 : Transmisor Commscope .....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 2.4 : Amplificador EDFA Commscope .....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 2.5 : Chasis para receptores Commscope .....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 2.6 : WDM Dual .....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 2.7 : Estantería para WDM .....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 2.8 : Diagrama de Bloques de Planta Interna Commscope .....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 2.9 : Diagrama Físico de Planta Interna Commscope .....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 2.10 : Chasis Aurora .....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 2.11 : Fuente Aurora .....</b>	<b>54</b>

<b>Figura 2.12 : Módulo de Gestión y Monitoreo .....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 2.13 : Transmisor .....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 2.14 : Amplificador EDFA .....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 2.15 : RFoG Diplexer Return Receiver .....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 2.16 : Diagrama RFoG Diplexer Return Receiver .....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 2.17 : Chasis Aurora con módulos .....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 2.18 : Diagrama de Bloques de Planta Interna Aurora .....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 2.19 : Diagrama Físico de Planta Interna Aurora .....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 2.20 : Esquema de Planta Externa .....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 2.21 : Fiber Distribution Panel (izquierda / derecha).....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 2.22 : Atenuación espectral de las fibras monomodo G.652.A&amp;B ( SM Convencional) y G.652C&amp;D (SM LWP) .....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 2.23 : Cable de Fibra Óptica Figura 8 .....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 2.24 : Cable de Fibra Óptica ADSS .....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 2.25 : Avenida República del Salvador .....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 2.26 : Diagrama de Distribución de FDH y FDT .....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 2.27 : FDH tipo pedestal .....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 2.28 : Diagrama de Distribución de FDH y FDT .....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 2.29 : Fusionadora . .....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 2.30 : Sonda de Inspección de Conectores .....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 2.31 : Imágenes con Sonda de Inspección de Conectores.....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 2.32 : Traza de un OTDR .....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 2.33 : Medición con OTDR en Sentido de la Oficina Central hacia el Cliente .....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 2.34 : Medición con OTDR en Sentido desde el lado del Cliente hacia la Oficina Central.....</b>	<b>83</b>
<b>Figura 2.35 : Pérdida de Retorno Óptica típica para conectores APC y UPC ..</b>	<b>84</b>
<b>Figura 2.36 : IOLM Intelligent Optical Line Mapper .....</b>	<b>85</b>
<b>Figura 2.37 : Kit de Limpieza de Fibra Óptica .....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 2.38 : Kit de Herramientas .....</b>	<b>88</b>
<b>Figura 2.39 : Medidor de Potencia .....</b>	<b>88</b>

**CAPITULO III**

<b>Figura 3.1</b>	<b>: Diagrama de Pastel Presupuesto General del Proyecto.....</b>	<b>102</b>
<b>Figura 3.2</b>	<b>: Gráfico del Presupuesto General del Proyecto sin rubro para Red Troncal, Equipos de Medición y Herramientas.....</b>	<b>103</b>



## LISTA DE TABLAS

### CAPITULO I

Tabla 1.1	: Planes Residenciales de las Principales Operadoras del Ecuador, Abril-2013.....	3
Tabla 1.2	: Pérdidas de Cable Coaxial 0,75”, 0,5”, RG-11 y RG-6.....	13
Tabla 1.3	: Longitudes de Onda para Coexistencia de RFoG con GPON .....	31

### CAPITULO II

Tabla 2.1	: Hilos de Fibra Óptica necesarios para atender 500 usuarios .....	44
Tabla 2.2	: Preapuesto de perdidas .....	46
Tabla 2.3	: Potencia mínima de transmisión .....	46
Tabla 2.4	: Comparación de transmisores Commscope y Aurora .....	47
Tabla 2.5	: Presupuesto de pérdidas en recepción .....	47
Tabla 2.6	: Equipos requeridos para Planta Interna con Commscope.....	52
Tabla 2.7	: Equipos requeridos para Planta Interna con Aurora .....	58
Tabla 2.8	: Requerimiento de Energía Commscope .....	60
Tabla 2.9	: Requerimiento de Energía Aurora .....	61
Tabla 2.10	: Requerimiento de Espacio .....	61
Tabla 2.11	: Costo Referencial Equipos Commscope (Fuente Commscope)....	62
Tabla 2.12	: Costo Referencial Equipos Aurora (Fuente Aurora) .....	62
Tabla 2.13	: Comparación de Alternativas.....	63
Tabla 2.14	: Posibles Usuarios en la Avenida República del Salvador.....	64
Tabla 2.15	: Requerimientos para la Red Troncal.....	70
Tabla 2.16	: Distribución de Fibra de 24 hilos de acuerdo al código de colores.....	73

<b>Tabla 2.17 : Correspondencia de fusiones fibra de 24 hilos con fibras de 12 hilos .....</b>	<b>74</b>
<b>Tabla 2.18 : Correspondencia de fusiones fibras de 12 hilos con cajas de distribución FDT.....</b>	<b>75</b>
<b>Tabla 2.19 : Material necesario para implementar la red de distribución .....</b>	<b>76</b>
<b>Tabla 2.20 : Equipamiento necesario para Acometidas al cliente.....</b>	<b>77</b>
<b>Tabla 2.21 : Equipos y herramientas necesarias .....</b>	<b>88</b>

### **CAPITULO III**

<b>Tabla 3.1 : Costo Referencial Equipos Commscope (Fuente Commscope)....</b>	<b>90</b>
<b>Tabla 3.2 : Costo Referencial Equipos Aurora (Fuente Aurora) .....</b>	<b>90</b>
<b>Tabla 3.3 : Costos Referenciales de Accesorios para Planta Interna .....</b>	<b>91</b>
<b>Tabla 3.4 : Costos Referenciales de Servicios para Planta Interna .....</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 3.5 : Costos Referenciales de Equipos de Respaldo .....</b>	<b>92</b>
<b>Tabla 3.6 : Costo Total Planta Interna.....</b>	<b>93</b>
<b>Tabla 3.7 : Costo Referencial Para la Red Troncal .....</b>	<b>94</b>
<b>Tabla 3.8 : Costo Referencial para la Red de Distribución .....</b>	<b>95</b>
<b>Tabla 3.9 : Costo de Última Milla considerando un micronodo por cada cliente .....</b>	<b>96</b>
<b>Tabla 3.10 : Costo de Última Milla empleando un micronodo por Edificio.....</b>	<b>97</b>
<b>Tabla 3.11 : Costo Total Planta Externa.....</b>	<b>98</b>
<b>Tabla 3.12 : Costo Total para equipos de Medición y Herramientas.....</b>	<b>99</b>
<b>Tabla 3.13 : Tareas del Director de Proyecto por horas .....</b>	<b>100</b>
<b>Tabla 3.14 : Presupuesto para Adicionales.....</b>	<b>101</b>
<b>Tabla 3.15 : Presupuesto General del Proyecto.....</b>	<b>101</b>
<b>Tabla 3.16 : Presupuesto General del Proyecto Considerando que se cuenta con la Red Troncal, Equipos de Medición y Herramientas para Fibra Óptica .....</b>	<b>103</b>

## RESUMEN

El desarrollo de este proyecto trata sobre una alternativa de cambio tecnológico para las redes de acceso HFC, tomando en consideración la Ordenanza Municipal para las operadoras de cable, que conlleva el soterramiento de cables, los mismos que ya están realizados y lo que se necesita es cambiar la parte coaxial de ductería por una red pasiva de fibra óptica. Se aborda las ventajas y beneficios que presenta una migración a la tecnología RFoG en un escenario de soterramiento de cables para las operadoras que disponen de redes de acceso HFC.

Se revisa los principales elementos que conforman una red HFC, posteriormente se revisa los principales componentes que conforman una red RFoG y sus arquitecturas de Red. De las principales características que presenta una Red RFoG se definen los criterios que el autor considera adecuados para una coexistencia o futura migración a nuevas tecnologías como GPON.

El soterramiento de la Red HFC para las operadoras que disponen de este tipo de red, implica hacer un nuevo diseño y adaptar los elementos que son para una red aérea por postería como: amplificadores, fuentes, acopladores y splitters, a una red por ductos. El implementar una Red RFoG por ductos presenta varias ventajas en comparación con la implementación de una red HFC tradicional. La red RFoG es una red pasiva, por lo que no es necesario utilizar fuentes y equipos activos como en el caso de la Red HFC, esto permite facilitar la instalación de la red al no tener que buscar una fuente de alimentación y por otro lado se reducen los problemas relacionados a daños eléctricos. La red RFoG al instalarse por fibra óptica presenta características mecánicas que facilitan su instalación por ductos a diferencia del cable coaxial que es sumamente rígido. La Red RFoG permite mantener la inversión

realizada en equipos terminales como decodificadores, cablemodems y MTA's, también en el equipamiento de cabecera como el CMTS y equipamiento de procesamiento de video. Por otro lado se mantiene el Sistema de Soporte del Negocio, esta son aplicaciones informáticas que permiten llevar el control de la cobranza, inventario de equipos entre otros. También se mantiene el Sistema de Soporte de Operación, esto corresponde a Software de Gestión que permiten llevar el control de las instalaciones, gestión de problemas, monitoreo de la red.

El diseño se lo realiza por partes, las mismas que contemplan la Planta Interna y Planta Externa. Para el diseño de Planta interna se realiza la comparación del equipamiento proporcionado por dos proveedores en cuanto a precio, espacio que ocupan los equipos y consumo de energía. Para el diseño de la Planta Externa se definen tres segmentos, el segmento de fibra entre la Oficina Central y el FDH, el segundo segmento contempla la fibra óptica entre el FDH y FDT y finalmente el tercer segmento corresponde a la acometida del cliente. Básicamente se define el tipo de fibra óptica y recomendación de la ITU-T más adecuados para cada segmento, número de hilos requeridos, cantidad de material, etc. También se revisa las herramientas y equipos necesarios para llevar acabo la fase de instalación y construcción de la red, activación y su posterior mantenimiento. Se realiza un cálculo del presupuesto que es necesario para la implementación del proyecto. Finalmente se detallan los puntos más relevantes sobre el proyecto.

## PRESENTACIÓN

El capítulo 1 aborda la problemática de las operadoras que poseen redes de acceso HFC, en un escenario de regeneración urbana y presenta la tecnología RFoG como una alternativa tecnológica, que permite conservar gran parte de la inversión inicialmente realizada para una red HFC, pero pensando a futuro en migrar a nuevas tecnologías como GPON e inclusive coexistir con ellas. Se mencionan las principales ventajas y consideraciones que se deben tomar en cuenta para su implementación.

En el capítulo 2 se definen los criterios que se deben tomar en cuenta, a efectos de poder coexistir con la tecnología GPON o pensar en una futura migración a nuevas tecnologías. Se realiza el diseño de la Planta Interna, para lo cual se compara la solución de equipamiento de dos proveedores. Luego se realiza el diseño de la Planta externa, en donde se definen los tipos de fibra óptica, y las recomendaciones la ITU-T más adecuadas para esta implementación, se definen los materiales requeridos para fase. Se revisa las herramientas y equipamiento que se requiere para la fase de construcción, activación y mantenimiento de la red.

En el capítulo 3, se realiza una proyección del presupuesto necesario para implementar el proyecto. Para ello se descompone todo el proyecto en partes más pequeñas como el equipamiento requerido para la cabecera, material para la planta externa, herramientas y equipos de medición, equipos para el cliente. Finalmente se consolida toda la información y se obtienen un valor total.

En el capítulo 4, se detallan las conclusiones y recomendaciones que se han surgido del presente proyecto.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 SITUACIÓN ACTUAL

#### 1.1.1 INTRODUCCIÓN

El Municipio de Quito ha emprendido el soterramiento de cables aéreos de redes eléctricas y de telecomunicaciones, en base a la ordenanza N° 0022 de Enero del 2011, en donde se dispone el soterramiento y reordenamiento con la finalidad de mejorar la imagen de la ciudad y reducir la contaminación visual. El soterramiento se ha llevado a cabo en varios sectores de la ciudad como son: La Avenida Naciones Unidas, la avenida República del Salvador, la avenida Seis de Diciembre entre otros.<sup>[3]</sup>



**Figura 1.1: Contaminación visual Av. República del Salvador<sup>[38]</sup>**

Como se puede apreciar, comparando la Figura 1.1 y la Figura 1.2, el cambio es rotundo luego de realizado el soterramiento de cables.



**Figura 1.2: Zona regenerada en la Av. República del Salvador <sup>[11]</sup>**

Otro de los objetivos del Municipio es contabilizar el cableado de las redes eléctricas y de telecomunicaciones que se encuentran ocupando los ductos a fin de cobrar un porcentaje por utilización del espacio público.

### **1.1.2 PROBLEMÁTICA QUE ENFRENTAN LAS OPERADORAS FRENTE AL SOTERRAMIENTO**

El beneficio del soterramiento es indudable para el ciudadano común al reducir notablemente la contaminación visual, y también para el Municipio al tener mayores tributos por uso del espacio público.

Desde el punto de vista de las operadoras el tendido de una red de telecomunicaciones es una inversión considerable que se espera recuperar y lógicamente obtener ganancias luego de un período de tiempo. Sin embargo, en el caso del soterramiento es un gasto considerable que debe realizar a efectos de mantener sus actuales clientes, mas no consiste en una inversión pues en este caso, a diferencia de una expansión de la red donde se espera obtener nuevos clientes con la regeneración urbana, los trabajos realizados únicamente permiten mantener los clientes ya existentes.

El cumplimiento de los plazos establecidos para ejecutar la ordenanza Municipal, correspondiente al soterramiento y reordenamiento del cableado aéreo de las redes eléctricas y de telecomunicaciones, deja poco tiempo a las operadoras para encontrar nuevas alternativas, encontrando como la solución más adecuada volver a tender las redes ya existentes, adecuándolas a los ductos.

Por ejemplo para el caso de internet en el transcurso de los años hemos pasado desde el servicio dial-up con velocidades de 56kbps hasta las actuales redes de fibra óptica con velocidades limitadas por el hardware.

En la actualidad la oferta de Internet Residencial de las principales operadoras del país se puede apreciar en la Tabla 1.1, donde se indica los planes desde el más básico hasta el plan más alto.

PLAN	CLARO	TVCABLE	PUNTONET	NETLIFE	CNT
Menor velocidad	2.5Mbps	2.6Mbps	1.7Mbps	1Mbps	2Mbps
Mayor Velocidad	18Mbps	30Mbps	5Mbps	16Mbps	15Mbps

**Tabla 1.1:** Planes Residenciales de las Principales Operadoras del Ecuador, Abril-2013 <sup>[39]</sup>



Por otro lado, la mayoría de las operadoras todavía mantienen como parte del legado las redes de acceso de cobre, con las cuales, en el caso de servicios corporativos de internet, la constante es ofrecer velocidades simétricas, en ese sentido por ejemplo para el caso de la tecnología ADSL2+ (ITU G.922.5) donde la velocidad máxima de bajada es 24Mbps y la velocidad máxima de subida es 3.5Mbps, el plan simétrico más alto que se puede ofrecer es de 3.5Mbps, es decir se tiene la limitación en la velocidad de subida, sin considerar el tema de la distancia que es otro factor que influye en la velocidad.

En este contexto, y en base los requerimientos contractuales de ancho de banda cada vez mayores, se puede pensar que el tener que volver a construir una red de acceso de cobre, que tiene tendencia a desaparecer, no es conveniente para el negocio. En este sentido sería mejor explorar nuevas tecnologías, a fin de realizar una migración que permita estar sintonizados con los requerimientos actuales de mayor ancho de banda, dada la obligatoriedad de soterrar los cables.

### **1.1.3 PROBLEMÁTICA DE LAS OPERADORAS CON REDES DE ACCESO HFC ANTE EL SOTERRAMIENTO DE CABLES**

El motivo de estudio de este proyecto es buscar una alternativa ante el soterramiento de cables y lo que esto implica, en particular para las redes de acceso HFC, las mismas que en nuestro medio son propiedad de dos operadoras que son CLARO (Ex-TELMEX) y el Grupo TVCABLE, y busca proponer una alternativa ante estas circunstancias.

Los trabajos de reordenamiento de cables y soterramiento consisten en tender la red por ductos la misma que ya se encuentra realizada en el sector de estudio. Para el

caso particular de una Red HFC que está conformada por elementos activos como son amplificadores, fuentes, y elementos pasivos como como splitters, taps, acopladores, cable coaxial, etc., se debe considerar que estos elementos fueron diseñados para ser instalados mediante tendido aéreo por postes, razón por la cual, al tener que colocar este tipo de elementos en gabinetes y el cableado a través de ductos, se da una adaptación inapropiada.

El soterramiento de una red HFC implica realizar un rediseño para el tendido de la red en la zona de regeneración, lo que ha implicado colocar los elementos activos y pasivos en gabinetes, debiendo realizar obras civiles para dar continuidad entre los ductos y los gabinetes hacia las aceras.

Una de las principales consideraciones en una red HFC es el mantenimiento continuo que se debe realizar. El ruido en el camino de retorno puede afectar seriamente el servicio. Por lo tanto el mantenimiento de la red es un trabajo que se realiza a diario. El tender la red por ductos, propiedad del Municipio, puede dificultar esta tarea al tener que solicitar permisos para abrir los pozos. La aprobación de los permisos para acceder a los pozos puede llevar de 1 a 15 días. En el caso de la ciudad de Guayaquil, una persona del Municipio es asignada para abrir los pozos, y luego este trabajo es facturado a la empresa que solicitó este servicio.

## **1.2 RED HFC**

La Red HFC (Híbrido Fiber Coaxial) (ver Figura 1.3), es una red de acceso de telecomunicaciones que permite brindar servicios de video, voz y datos. Este tipo de red de acceso aprovecha las bondades de la fibra óptica de permitir alcanzar grandes distancias, desde la cabecera hasta los sitios en donde se requiere tender la red, desde los cuales se distribuye mediante cable coaxial.

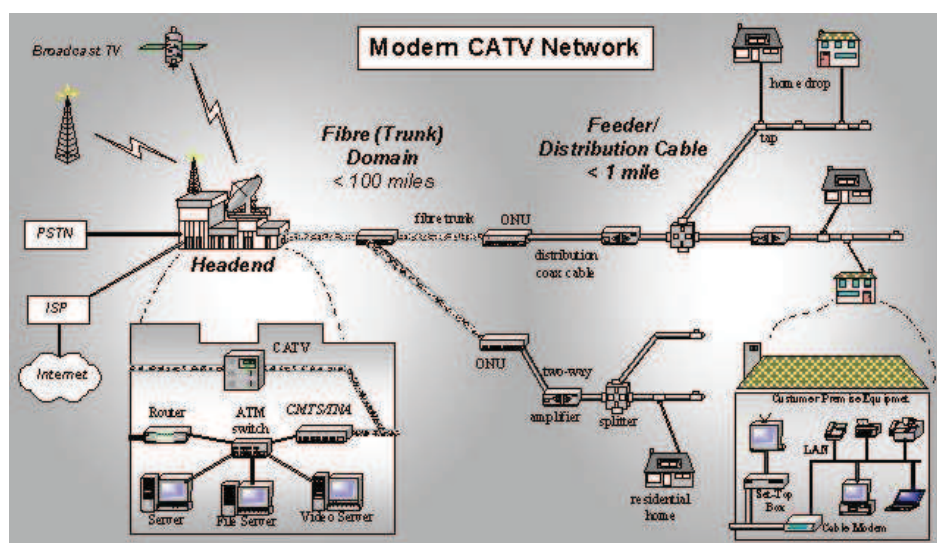


Figura 1.3: Arquitectura Red HFC <sup>[19]</sup>

Generalmente para la distribución de la señal se utilizan amplificadores en cascada que van por lo general hasta cinco etapas. Sin embargo la tendencia actual es llegar con la fibra lo más cerca del cliente, para lo que se realizan configuraciones  $n+0$ , donde la "n" representa el nodo óptico el equipo que recibe la señal óptica y realiza la conversión a señal eléctrica y viceversa, y +0 representa las etapas de amplificación subsiguientes.

En la configuración  $n+0$ , se tiene el nodo óptico con ninguna etapa de amplificación adicional.

La arquitectura de una red HFC para efectos de este estudio, se puede separar en los siguientes segmentos: Cabecera o Head-End; Red Troncal; Red de Distribución, Última Milla.

## **1.2.1 CABECERA O HEAD-END<sup>[40]</sup>**

La función de la cabecera es la recepción de la señal, procesamiento, codificación, modulación y transmisión de la señal.

En el caso del video la recepción es satelital, para este fin se utiliza antenas y receptores satelitales. La señal de video es ordenada de acuerdo al plan de canales de cada operadora pero los canales son modulados para utilizar el espectro de 50MHz hasta 750MHz, 870MHz o 1GHz.

Para brindar servicios de datos y voz el equipo que permite el acceso es el CMTS (Cable Modem Terminal System), este posee dos señales una de bajada (desde la cabecera hacia el cliente) y una de subida (desde el cliente hacia la cabecera).

Las señales de video y de bajada del CMTS son combinadas para luego ser transmitidas. También debe existir un receptor para recibir la señal de subida de los cable modem, como también la enviada desde los set top box hacia la cabecera, que generalmente se utiliza para la compra de eventos o los denominados “pague por ver”.

Un Head-End está formado por los siguientes elementos: antenas receptoras, receptores satelitales, codificadores, encriptadores, moduladores, demoduladores, multiplexores, entre otros.

### **1.2.1.1 Contenido**

Los proveedores de contenido son los encargados de emitir señales originales de televisión, para ser receptadas en el Head-end y luego ser distribuidas. Existen

varias maneras de recibir la señal donde la más común es la recepción satelital, sin embargo también puede ser por enlaces de fibra óptica, canales de VHF o UHF, entre otras.

### 1.2.1.2 Receptores

Su función es recibir la señal para procesarlas y posteriormente transmitir las. La forma más común de recibir el contenido es vía satélite, pero también puede ser mediante señales VHF o UHF <sup>[1]</sup> para los canales locales. Cuando la recepción vía satélite se requiere de una antena receptora, un amplificador de bajo ruido LNA, y el receptor propiamente dicho.

### 1.2.1.3 Procesamiento

El procesamiento se realiza en función de la naturaleza de la señal, es así que se tiene un procesamiento para señales analógicas y otro diferente para señales digitales

#### 1.2.1.3.1 *Procesamiento de Señales Analógicas*

El procesamiento de señales analógicas cada vez se usa menos debido a las ventajas de utilizar señales digitales como son la facilidad de procesamiento y uso eficiente del ancho de banda.

Las señales que pueden ingresar a una etapa de procesamiento analógico son las siguientes:

Señal recibida vía satélite, esta señal es recibida mediante una antena satelital, la señal es entregada a un receptor satelital, la salida del receptor satelital es entregada a un modulador, el modulador coloca el canal en la frecuencia deseada, todas las señales luego son combinadas para ser transmitidas.

Recepción de señales UHF o VHF, estas señales son recibidas mediante antenas yagi, esta señal es entregada a un receptor, el receptor entrega esta señal a un demodulador/modulador para entregar el canal en la frecuencia deseada, para luego ser combinada conjuntamente con el resto de canales y posteriormente transmitir a la red todas las señales.

#### *1.2.1.3.2 Procesamiento de Señales Digitales*

El procesamiento de señales digitales comúnmente comprende las siguientes etapas: Codificación Multiplexación, Encriptación y modulación <sup>[1]</sup>.

En la etapa de codificación se realiza la digitalización de las señales de audio y video que provienen de los receptores satelitales, para posteriormente ser comprimidas y entregadas a los Multiplexores. En la etapa de Multiplicación se combina todas las señales que fueron comprimidas en la etapa de codificación <sup>[40]</sup>.

Finalmente en la etapa de Encriptación y modulación se realiza el proceso de encriptación y posteriormente se modula a una frecuencia adecuada para su transmisión. La finalidad de la encriptación es que únicamente los subscriptores con su respectivo decodificador puedan acceder al contenido.

### **1.2.2 RED TRONCAL**

La Red Troncal está conformada por la fibra óptica que permite alcanzar grandes distancias hasta los sitios donde se requiere realizar el tendido de red. Lo más

común es clasificar por rutas, es decir por áreas geográficas que se cubren. Por ejemplo podría ser una clasificación el Norte, Sur y Centro de la ciudad.

La Red Troncal está delimitada por los transmisores para la señal de bajada y receptores para la señal de subida en la cabecera, y por el otro extremo por el Nodo Óptico, equipo que permite convertir la señal óptica a eléctrica.

La fibra óptica utilizada es del tipo monomodo, para dividir la señal hacia varios sectores se utiliza cúpulas, estos elementos, también denominados mangas, internamente protegen los empalmes realizados para bifurcar la fibra hacia otros sitios.

### 1.2.3 RED DE DISTRIBUCIÓN

La red de Distribución (ver Figura 1.4) comienza a partir del Nodo Óptico, equipo que permite la conversión del medio físico óptico a coaxial. La red de Distribución está conformada por elementos activos como amplificadores, fuentes y por elementos pasivos como splitters, acopladores y taps.

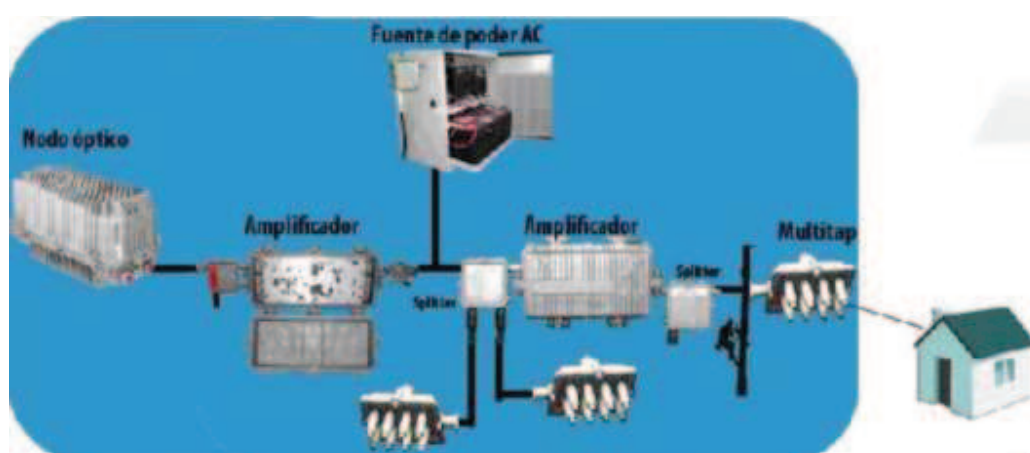


Figura 1.4: Red de distribución <sup>[20]</sup>

### 1.2.3.1 Nodo Óptico

La función de este equipo es convertir la señal óptica en eléctrica y viceversa. Para poder cambiar de medio físico. Está internamente conformado por un transmisor y receptor para recibir y transmitir la señal óptica de y hacia la cabecera respectivamente. El nodo óptico se muestra en la Figura 1.5.



Figura 1.5: Nodo Óptico <sup>[40]</sup>

### 1.2.3.2 Amplificadores

Los amplificadores (ver Figura 1.6) permiten regenerar la señal que es atenuada en el cable coaxial, esta atenuación es función de la distancia y la frecuencia. A mayor frecuencia mayor es la atenuación.



Figura 1.6: Amplificador <sup>[40]</sup>



### 1.2.3.3 Fuente

La fuente de alimentación permite entregar energía a los elementos activos como son los amplificadores que forman parte de la red. Las Fuentes son alimentadas con energía de la red eléctrica 120VAC. (ver Figura 1.7)



Figura 1.7: Fuente Alpha XM-2 <sup>[40]</sup>

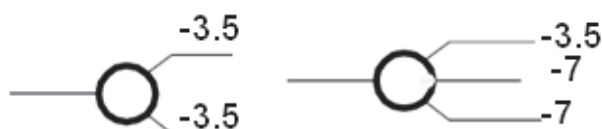
### 1.2.3.4 Acoplador y splitter

Los acopladores (ver Figura 1.8) y splitters permiten dividir la señal y brindan flexibilidad al momento de realizar el diseño de la red



Figura 1.8: Acopladores y Splitters <sup>[21]</sup>

Los splitters (Figura 1.9) pueden ser simétricos con atenuaciones similares en sus dos salidas, o asimétricos con dos salidas iguales y una salida diferente. Por ejemplo: Un Splitter de dos vías tiene una entrada y dos salidas atenuadas -3.5db en cada salida.



**Figura 1.9: Pérdidas Splitter de 2 y 3 vías** <sup>[21]</sup>

Los acopladores en cambio poseen una salida directa donde la atenuación únicamente se debe a las pérdidas de inserción, mientras que en la salida atenuada puede haber una atenuación de 8, 12, 15 dB.

Estos elementos pueden ser colocados en la red externamente, pero también existen para interiores (ver Figura 1.10) como en el caso del cliente o de redes internas en las verticales de los edificios.



**Figura 1.1: Splitter de 2 vías para interiores** <sup>[22]</sup>

### 1.2.3.5 Taps

El Tap (ver Figura 1.11) brinda la toma o salidas hacia los clientes, estos elementos tienen dos, cuatro u ocho salidas, y poseen diferentes atenuaciones de manera de tener niveles adecuados para llegar hacia el cliente.



**Figura 1.11: Taps** <sup>[14]</sup>

### 1.2.3.6 Cable Coaxial

La red de Distribución y la acometida hacia el cliente están conformadas por cable coaxial. Los cables comúnmente empleados para el tendido de la red son los siguientes: 0.750", 0.5", RG11 y RG6. El cable 0.750" es utilizado en la línea troncal entre el Nodo y el primer amplificador. El cable 0.5" es empleado en la distribución. El cable RG11 es utilizado para la línea vertical en edificios, y el cable RG6 para las acometidas de clientes.

Las características más relevantes del cable son las pérdidas que presentan en función de la distancia y el radio de curvatura.

En la Tabla 1.2 se puede apreciar las pérdidas en los diferentes tipos de cable y a diferentes frecuencias en función de la distancia.

<b>CANAL</b>	<b>FRECUENCIA MHz</b>	<b>0,75" (dB/100m)</b>	<b>0,5" (dB /100m)</b>	<b>RG-11 (dB/100m)</b>	<b>RG-6 (dB/100m)</b>
2	55	1.2	1.8	3.15	5
70	500	3.9	5.7	9.2	14.7
86	600	4.3	6.3	9.8	16.3
117	750	4.9	7.1	11.97	18.3

**Tabla 1.2: Pérdidas de Cable Coaxial en función de la distancia 0,75", 0,5", RG-11 y RG-6**

El cable 0.75" y 0.5" tienen radios de curvatura de 20,3cm y 15,2cm respectivamente, estos cables son sumamente rígidos, y una vez dada una forma, no se debe regresar a su condición inicial debido a que pierde su impedancia característica. Esta característica mecánica del cable complica la instalación por ductos.

#### **1.2.4 ÚLTIMA MILLA**

Consiste en la acometida hacia el cliente, comúnmente se utiliza cable tipo RG6, internamente se colocan splitters o acopladores para ajustar o dividir la señal en caso de que el cliente requiera uno o varios servicios. El caso de que el operador ofrezca un servicio triple play se coloca un decodificador para el servicio de video, un cable MODEM para el servicio de Internet y un MTA en caso de que requiera un servicio de voz.

## 1.2.5 DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification)

Es un estándar desarrollado por Cablelabs, que define especificaciones para transmitir datos de alta velocidad sobre un sistema de televisión de cable.

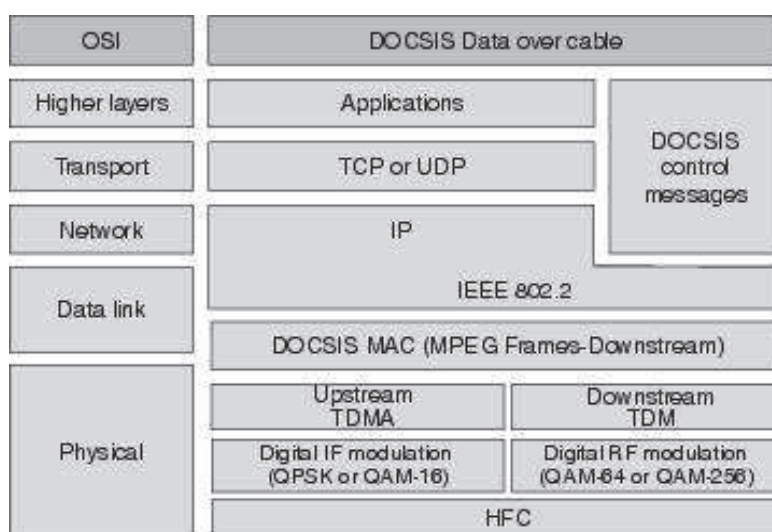


Figura 1.12: Modelo OSI de DOCSIS <sup>[14]</sup>

En la Figura 1.12 se puede relacionar los parámetros definidos por el estándar Docsis con relación al modelo OSI. Se han lanzado las versiones 1.0, 1.1, 2.0 y la última versión 3.0.

La arquitectura Docsis (ver Figura 1.13) está formada por el CMTS (Cable Modem Termination System), es el equipo que controla el acceso de los Cablemodem al canal de retorno, evitando que varios equipos transmitan al mismo tiempo generando colisiones. El CMTS es la interfaz entre la red de datos y la red de RF. El cablemodem es un modulador/demodulador ubicado en el sitio del abonado, para uso de transmisión de datos en un sistema de televisión por cable [15].

La comunicación entre los cablemodems y el CMTS se puede resumir en el siguiente proceso: Adquisición del canal, obtención de parámetros de upstream, ajuste fino de parámetros (ranging), respuesta del CMTS, asignación de ip, registro.

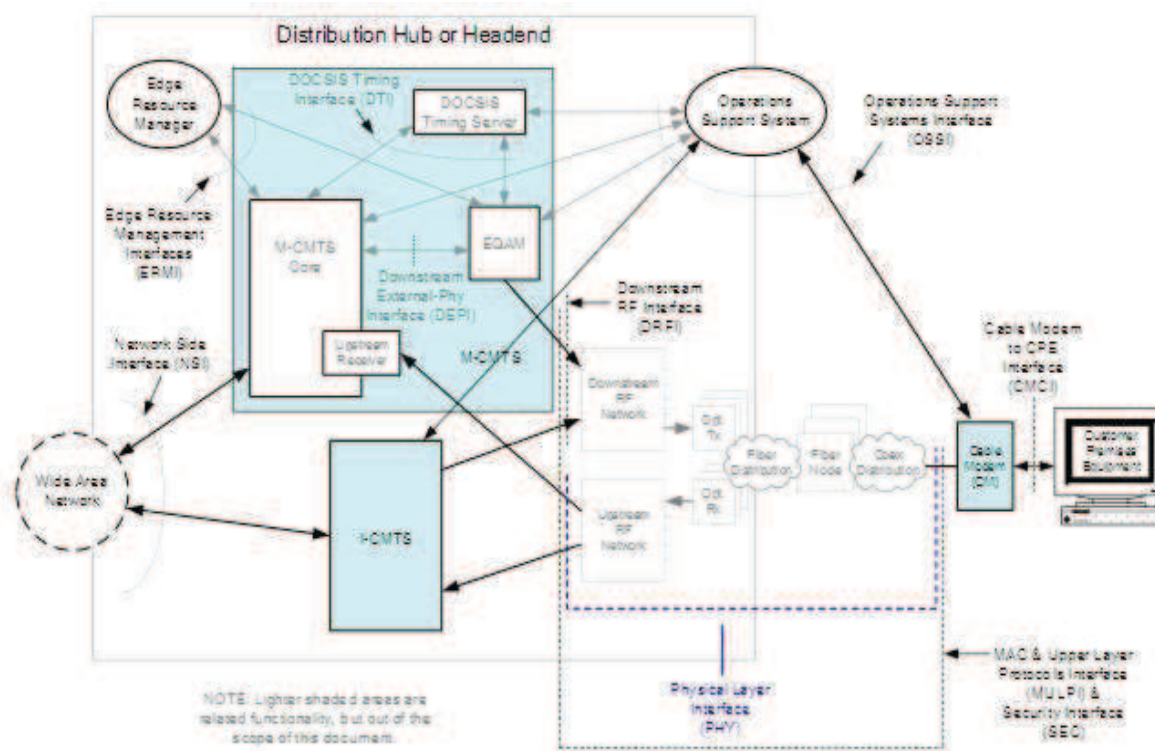


Figura 1.13: Arquitectura DOCSIS <sup>[15]</sup>

La última versión de DOCSIS es la 3.0. Una de sus principales características es poder realizar Channel Bonding, y utilizar ipv6.

### 1.3 RED HFC EN LA ZONA DE REGENERACIÓN

Las operadoras de cable al momento ya disponen de ductos las mismas que han tenido que basarse en la Ordenanza Municipal N° 0022, para construir gabinetes en

las aceras y colocar en estos los elementos activos y pasivos, la zona a la que se aplica el presente estudio, está cubierta por al menos un NODO óptico HFC dependiendo de la operadora (ver Figura 1.14 caso operadora CLARO) [37]. La problemática que al momento radica es tener que acoplar todos los elementos activos y pasivos en dicho ductos y gabinetes, en los cuales como se puede observar en la Figura 1.15, la instalación se ha realizado de tal manera que se ha saturado sobre todo las características mecánicas y físicas de estos elementos especialmente el cable coaxial (como es radios de curvatura, conectores entre otros), el mantenimiento debido a esta adaptación de red HFC por ductos es más complicado.

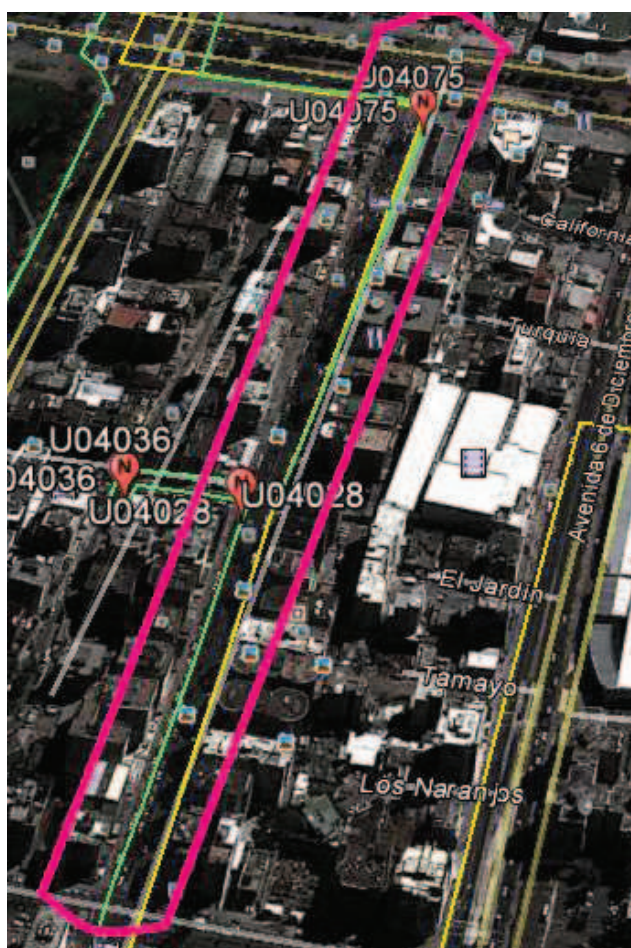


Figura 1.14 Zona regenerada cubierta por más de un NODO HFC (U04028 y U04075) [37]

Tanto los Nodos Ópticos, amplificadores, Fuentes de alimentación de voltaje AC (Alpha X-M2) y TAPs, están colocados y distribuidos en gabinetes metálicos especialmente construidos que han sido colocados en la acera de acuerdo a la Ordenanza Municipal N°0022, como se puede apreciar en las Figura 1.15, Figura 1.16, Figura 1.17 y Figura 1.18.

Para el caso de la operadora CLARO (Ex-TELMEX), se puede evidenciar que el gabinete es construido para la fuente y nodo óptico en conjunto (Figura 1.15)



**Figura 1.15** Gabinete para Nodo Óptico y Fuente Alpha (90x140cm) interior y exterior

Para el caso de la operadora TV CABLE en cambio utiliza gabinetes por separado tanto para el nodo óptico como para fuente alpha como se puede apreciar en Figura 1.16 y Figura 1.17.





**Figura 1.16: Gabinete para Nodo Óptico (70x80cm) interior y exterior**

El gabinete de la fuente es independiente por cuanto consta de un banco de 6 baterías, con la finalidad de obtener un mayor tiempo de respaldo de energía, en caso de tener posibles cortes de energía.



**Figura 1.17: Gabinete para Fuente Alpha XM-2 y Banco de Baterías (70x100cm) interior y exterior**

Los taps están colocados conjuntamente con acopladores de red, si es el caso se colocara en dichos gabinetes no más de 3 taps, lo que hace que se requieren más gabinetes para colocar estos elementos pasivos, (al menos uno en frente de cada edificio).



**Figura 1.18: Gabinete para Taps y Acopladores de red (40x60cm) interior y exterior**

Pese a que se ha reducido el impacto de la contaminación visual, el problema que presentan las operadoras son la adaptación y la convivencia de este tipo de red en dicho escenario debido principalmente al mantenimiento diario que requiere la red y a la saturación de las características mecánicas y eléctricas de sus elementos activos y pasivos, por tal razón se pretende en el presente estudio reemplazar la parte de red coaxial de ductería por una red pasiva de fibra óptica con el objetivo de mantener y mejorar la calidad del servicio a los clientes existentes y provisionar del servicio a más usuarios en el sector.

## 1.4 ESTUDIO DE LA TECNOLOGÍA RFoG

La industria, en base a la demanda del mercado ha desarrollado una nueva tecnología denominada RFoG (Radio Frequency over Glass). Por mencionar algunos de los proveedores de esta tecnología son renombradas compañías como Arris, Motorola, Commscope, Aurora Networks, Vector, entre otras. RFoG es un estándar desarrollado por la SCTE (Sociedad de Ingenieros de las Telecomunicaciones por Cable) en base a su proyecto 174 en el año 2010, este estándar fue avalado y aprobado por ANSI (Instituto Nacional Estadounidense de Estándares) en el año 2011. Actualmente se tiene el estándar ANSI/SCTE 174 2010 Radio Frequency over Glass Fiber-to-the-Home Specification <sup>[16]</sup>

### 1.4.1 INTRODUCCIÓN <sup>[4]</sup>

En base a los nuevos requerimientos del mercado de entregar servicios de mayor ancho de banda a clientes residenciales y comerciales, los operadores deben realizar nuevas consideraciones en sus redes, particularmente cuando se van a construir nuevas redes o realizar expansiones de red. Como una solución viable para los operadores de cable se desarrolló RFoG, para permitir a los operadores desplegar conectividad de fibra óptica directamente hacia los clientes, mientras se aprovecha la infraestructura ya existente para soportar Docsis. Permitiendo un camino de migración a una red GPON (Gigabit Passive Optical Network) en el futuro. RFoG permite es una ayuda a los operadores de cable para iniciar el cambio hacia una red formada completamente por fibra óptica.

Combinar una Red HFC con una infraestructura Docsis y una nueva tecnología FTTx como RFoG y también GPON, permitirá a los operadores tener un mejor costo – beneficio. El principal beneficio para cualquier operador será la posibilidad de aprovechar la inversión realizada en el equipamiento existente como el CMTS, cable

modems y las aplicaciones de back office, todo mientras se mantiene la continuidad del servicios de video, VoIP e Internet banda ancha.

RFoG permite a los cable operadores continuar utilizando la nueva red de fibra óptica, el equipamiento y aplicaciones de backoffice desarrolladas para la red HFC, entre estos se puede mencionar el sistema de monitoreo, sistema de Billing, aprovisionamiento. Con RFoG los servicios de cable son entregados sobre la fibra y trabajarán exactamente como si fueran entregados sobre el cable coaxial. Los cable operadores pueden seguir utilizando los sistemas de aprovisionamiento y cobranza, CMTS, equipamiento de Head-End, decodificadores, tecnología de acceso condicional y cable modems.

Como parte de la implementación de RFoG se requiere instalar un micronodo también llamado ONU (Optical network unit) en la localidad del cliente, y su función es convertir la señal óptica a señales eléctricas. El micronodo cumple la misma función que un nodo óptico, con la particularidad que su ubicación es ahora la localidad del cliente, adicionalmente la infraestructura de RF permanece ahora en la localidad del cliente.

A diferencia de las redes HFC, GPON no ofrece un camino de retorno análogo para soportar comunicaciones de dos vías. En el caso de RFoG, el camino de retorno es necesario, para permitir que el equipo que emplea Docsis en la localidad del cliente pueda comunicarse con la infraestructura de Head-End, por medio del micronodo y el esquema de la arquitectura de la red permanezca transparente.

En el futuro los operadores podrán aprovechar su nueva red de acceso de fibra y desplegar tecnologías FTTP como GPON, en donde y cuando esto se justifique. La pregunta sobre el calendario de cualquier evolución en la red de acceso y la inversión, está ligada a factores que escapan a la tecnología por sí sola, a cosas tales como el costo de la implementación, los posibles ahorros operativos y entornos competitivos, pero GPON es capaz de entregar de manera significativa

más servicios que RFoG cuando el operador está listo para dar el siguiente paso RFoG potencialmente puede ofrecer un camino de actualización para expandir la capacidad de la planta, mientras se puede retrasar la inversión en alternativas de infraestructura que no están relacionadas con la demanda del mercado.

#### **1.4.2 JUSTIFICACIÓN RFoG**

Los cable operadores continúan encontrando maneras de manejar mayor capacidad en sus existentes plantas con soluciones de optimización de ancho de banda como, reduciendo el tamaño de sus nodos, recuperación de canales análogos, agrupamiento de canales en Docsis 3.0, conmutación de video digital, compresión MPEG4 y control de ancho de banda residencial. Pero es necesaria la construcción de redes FTTx, especialmente en áreas residenciales nuevas. RFoG provee a los cable operadores una solución viable de fibra PON. RFoG puede ser una importante alternativa para competir con operadoras que despliegan redes FTTx.

Como operadores considerando evolucionar a una red completamente de fibra, es importante comprender que el despliegue de RFoG no da por sí solo al operador de cable un ancho de banda adicional, porque éste permanece utilizado en el mismo espectro de frecuencia de una red HFC. Sin embargo esto permite al cable operador construir a futuro una infraestructura de acceso que teóricamente soporta una capacidad de 30 THz de una conexión de fibra óptica a la casa. Desplegar fibra en lugar de cable coaxial para las conexiones de última milla, permite a los cable operadores evitar potencialmente los costos hundidos de desplegar una red coaxial hoy y reemplazarla en pocos años, cuando el cliente demande mayor ancho de banda, o servicios de ultra ancho de banda. Ellos también pueden mejorar su capacidad de competir con portadores para nuevos desarrollos, para ofrecer acceso de fibra con servicios Triple –Play.

Tal vez el beneficio más atractivo de RFoG es la posibilidad de reducir costos operativos. El término “pasivo” simplemente describe el hecho que la transmisión óptica no requiere energía eléctrica o partes activas electrónicas, una vez que la señal es inyectada en la red. Menos equipos activos en la red generan menores costos de mantenimiento por suscriptor sobre el ciclo de vida de la red.

En muchos casos RFoG da mayores ventajas operacionales sobre HFC. Los equipos PON requieren menos potencia y ventilación que los nodos y planta externa utilizada en una típica red de cable. También la fibra óptica entrega una señal limpia, porque no es afectada por cualquier tipo de interferencia que puede afectar al cable coaxial. El estándar PON provee un alcance de hasta 20km sin usar componentes que requieran de energía eléctrica, mientras las redes HFC requieren amplificadores de RF aproximadamente cada 1000 pies para mantener la calidad de la señal.

Cuando se despliega soluciones FTTx, es importante aprovechar el existente Sistema de Soporte del Negocio y Sistema de Soporte Operacional, infraestructura que permite a los cable operadores preservar su inversión en aplicaciones de aprovisionamiento, administración, cobranza y diagnóstico. Implementar nuevos Sistemas de Soporte del Negocio y Sistemas de Soporte Operacional como aplicaciones, flujos de trabajo y procesos para mantener la fibra sería ineficiente y resultaría en un incremento de los costos operacionales y disminución del nivel de servicio al cliente. Mediante la implementación de un enfoque no-propietario, basado en los estándares de RFoG, los operadores de cable pueden implementar soluciones FTTx que proporcionan una ventaja competitiva hoy y apoyan la migración rentable a GPON, sin la necesidad de sustituir los enlaces de última milla en las instalaciones del cliente.

### 1.4.3 IMPLEMENTACIÓN DE RFoG <sup>[6]</sup>

La implementación más sencilla de RFoG (referirse a la Figura 1.19) es realizando las conversiones de señal en la cabecera y enviando el tráfico de bajada sobre señales óptica hacia los decodificadores y cable módems ubicados en las instalaciones del cliente.

Los servicios de video y de datos del CMTS son combinados para luego realizar una conversión de señal eléctrica a óptica en una plataforma de transmisión óptica. El tráfico de video y los datos de bajada son alimentados sobre una longitud de onda de 1550nm mediante Multiplexación por división de Longitud de Onda (WDM).

La señal es recibida en el micronodo en donde se realiza la conversión de señal óptica a eléctrica. El micronodo también permite realizar la conversión de la señal eléctrica enviada por el cablemodem hacia el CMTS a señal óptica. Si es necesario en el camino de bajada se puede utilizar un EDFA (erbium-doped fiber amplifier) para alcanzar mayores distancias.

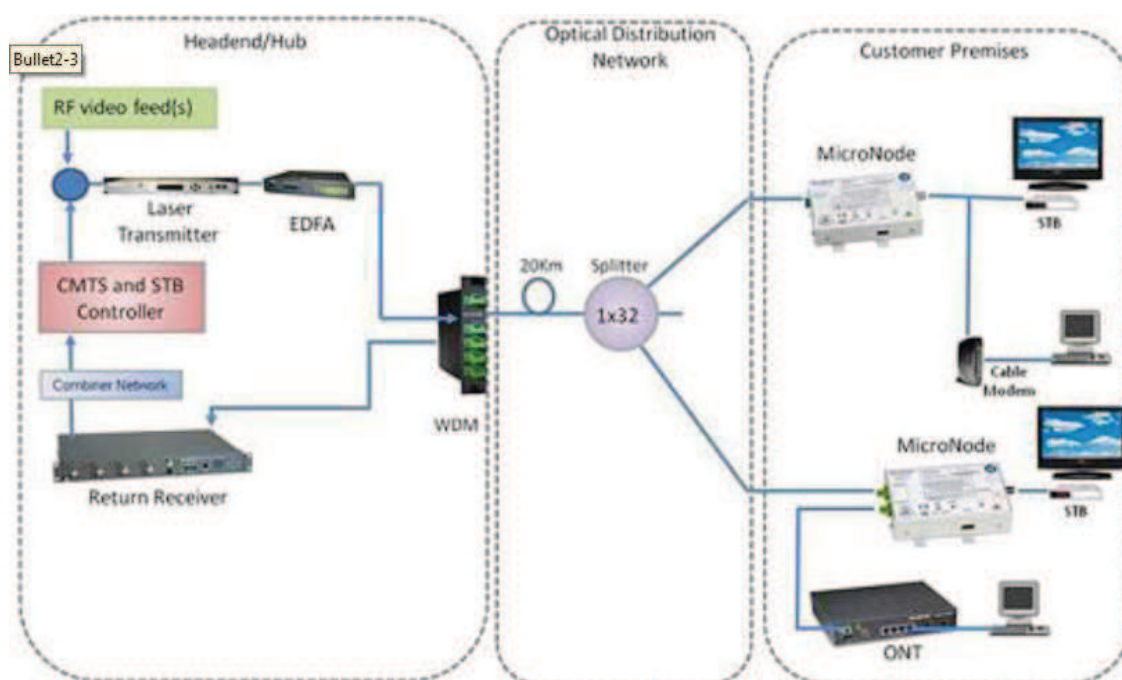
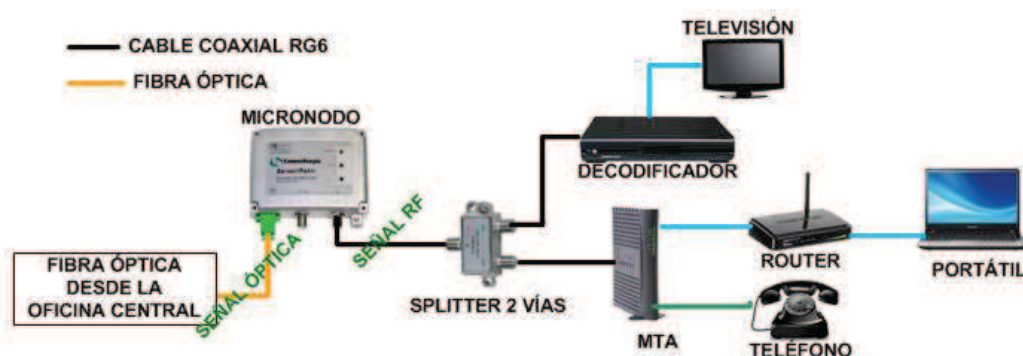


Figura 1.19: Arquitectura RFoG <sup>[6]</sup>

El micronodo termina la conexión de fibra óptica en la localidad del cliente y convierte la señal de bajada en RF y viceversa. Como se muestra en la Figura 1.20, el micronodo cuenta con dos puertos uno óptico y otro para la señal RF. La salida RF se conecta a un splitter para dividir la señal, una salida se conecta al decodificador para recibir el video y la otra se conecta a un eMTA (embedded multimedia terminal adapter). El MTA a su vez se conecta a un teléfono análogo y/o a una computadora para acceder a los servicios de Internet y Telefonía. Cuando el suscriptor únicamente requiere el servicio de Internet se instala un cable modem en lugar del MTA. En conclusión se mantiene el mismo esquema de instalación que en una red HFC. El camino de retorno para la plataforma de recepción en Head-End, para la voz, datos y video es sobre una longitud de onda de 1310nm o 1590nm. La plataforma de recepción óptica se encarga de convertir la señal óptica a eléctrica a fin de ingresar la misma al CMTS.



**Figura 1.20: Diagrama de Instalación de Micronodo** <sup>[6]</sup>

En el caso del retorno, la opción de la longitud de onda de 1590 nm es más costosa que la longitud de onda de 1310 nm. En caso de utilizar la longitud de onda de 1310 nm para el retorno en la red RFoG, no pueden coexistir RFoG y GPON sobre la misma red. La ventaja de utilizar la longitud de onda de 1590 nm para el retorno es poder coexistir paralelamente RFoG y GPON sobre la misma red, inclusive se podrían reutilizar los micronodos para GPON.



### 1.4.3.1 Arquitectura de fibra tapped

Este tipo de arquitectura (refiérase a la Figura 1.21) es un punto a multipunto que va del nodo a una sola fibra, tendida en la calle que va entregando una porción de señal a cada casa, de manera similar a la arquitectura HFC.

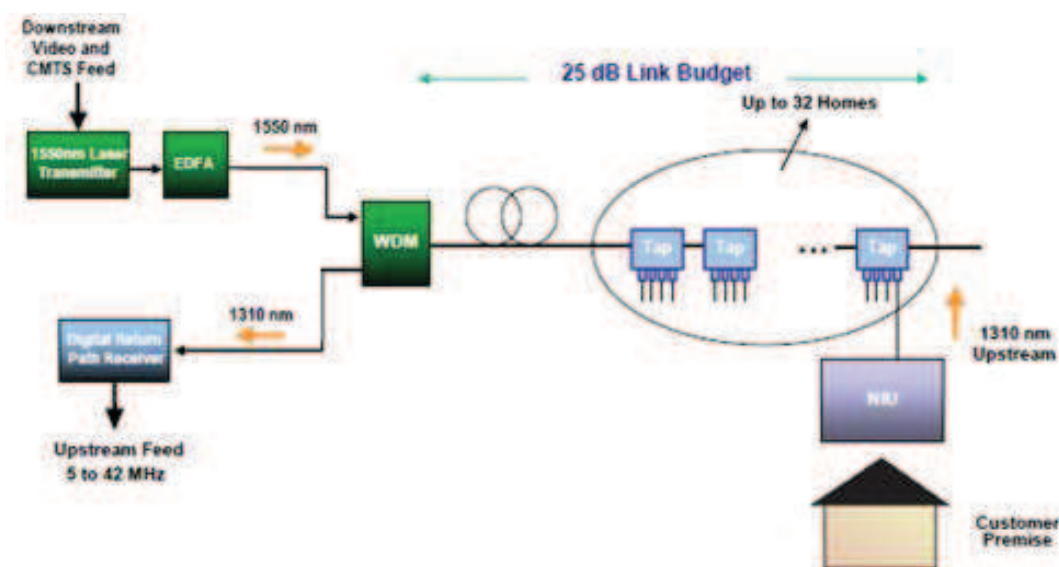


Figura 1.21: Arquitectura RFoG con Taps <sup>[6]</sup>

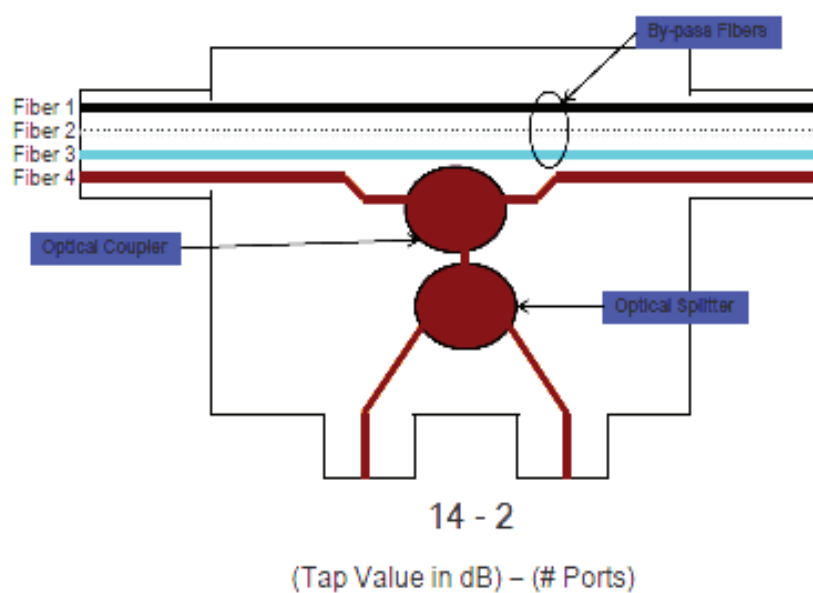
Esta arquitectura requiere un diseño para seleccionar los valores adecuados de tap para atender a cada área. La ventaja de esta arquitectura es reducir el grueso de fibras que pasan por la calle.

Este tipo de arquitectura soporta hasta 32 puertos por fibra. La denominación de los taps se maneja de manera parecida al caso de HFC por el número de puertos y la atenuación. En la Figura 1.22 se visualiza las pérdidas que presentan los diferentes tipos de taps posibles de seleccionarse:

2-Port	4-Port	8-Port
17	17	17
15	15	15
14	13	14
12	11	12
10	10	10T
8	9	
7	7T	
5		
4T		

**Figura 1.22: Valores de Pérdidas de Taps Ópticos <sup>[6]</sup>**

Un Tap óptico está conformado por un acoplador óptico y un splitter como se puede apreciar en la Figura 1.23.



**Figura 1.23: Esquema de un Tap Óptico <sup>[6]</sup>**

En la Figura 1.24 se puede apreciar un tap de lado de la distribución

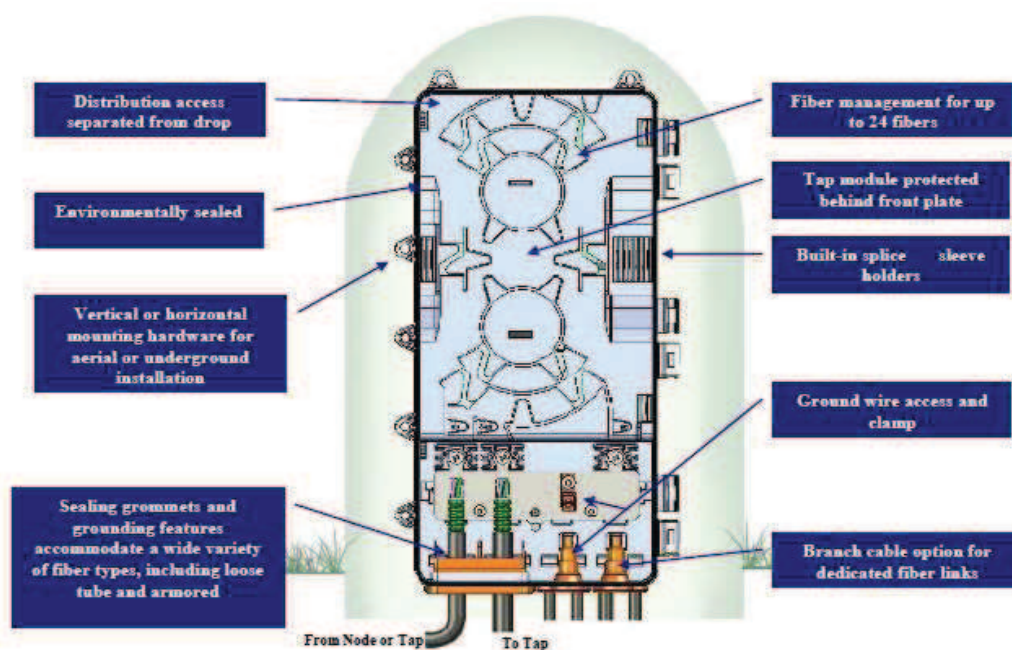


Figura 1.24: Vista de Tap Óptico Lado de Distribución <sup>[6]</sup>

En la Figura 1.25 se puede apreciar un tap del lado hacia el cliente

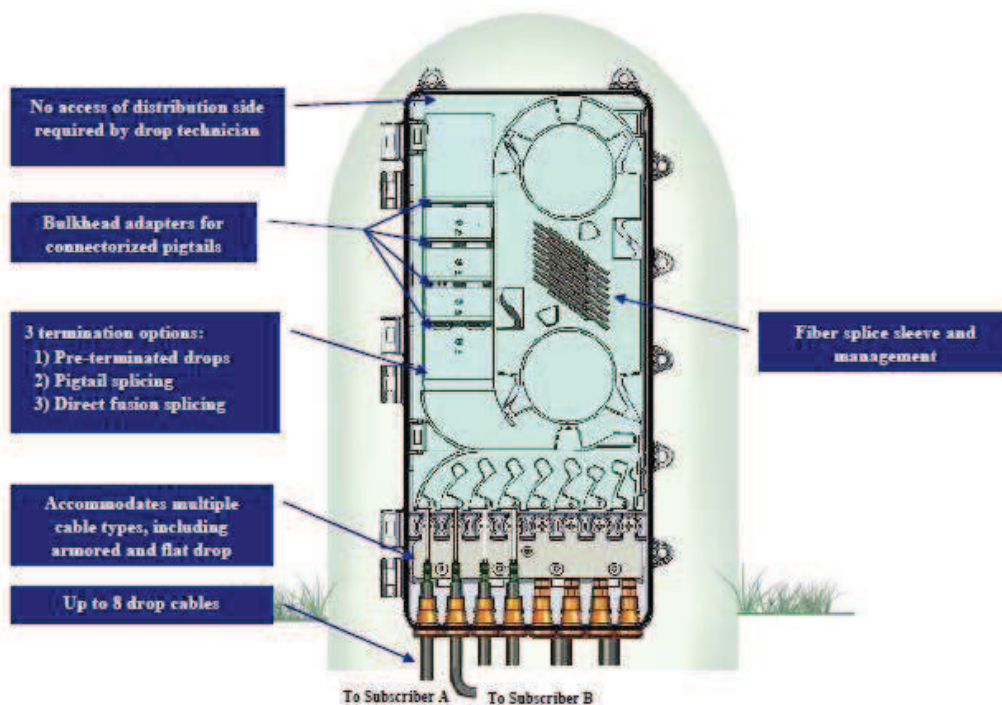


Figura 1.25: Vista de Tap Óptico Lado del cliente <sup>[6]</sup>

En la Figura 1.26 se puede apreciar un esquema basado en taps

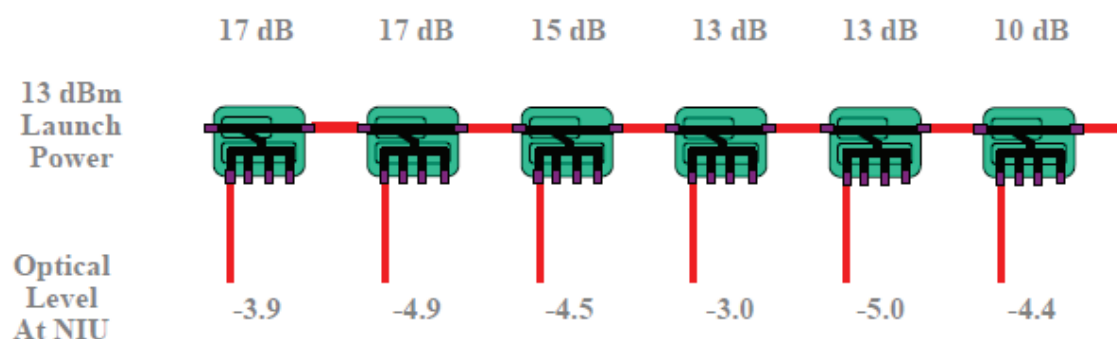


Figura 1.26: Esquema basado en taps <sup>[6]</sup>

En la Figura 1.27 se puede apreciar el gráfico de un Tap óptico.



Figura 1.27: Tap Óptico Commscope <sup>[6]</sup>

### 1.4.3.2 Arquitectura de fibra dropped

Esta arquitectura consiste en un enlace punto a punto del nodo hasta el splitter, y una fibra dedicada es instalada hacia el cliente.

Además esta arquitectura es similar a la que está siendo desplegada hoy en día en las redes PON como se puede ver en la Figura 1.28.

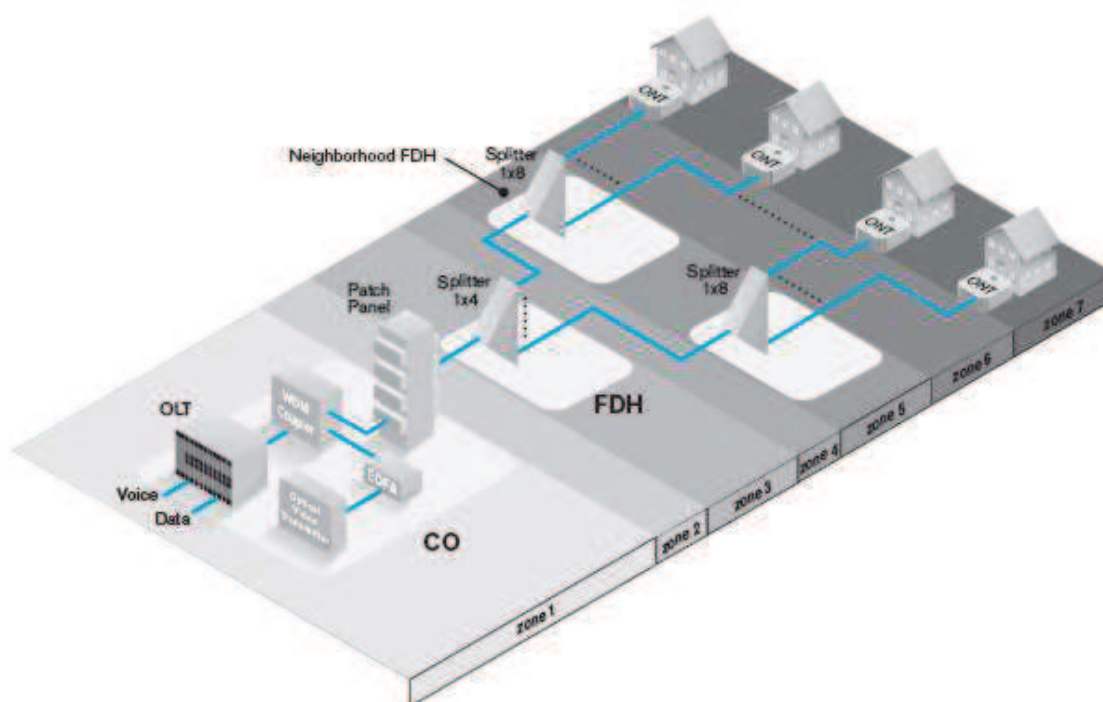


Figura 1.28: Arquitectura de Red PON <sup>[6]</sup>

La principal ventaja de esta arquitectura es permitir migrar a futuro a una red PON <sup>[4]</sup>. Para distribuir hacia los clientes se puede utilizar cajas de distribución como las indicadas en la Figura 1.29.

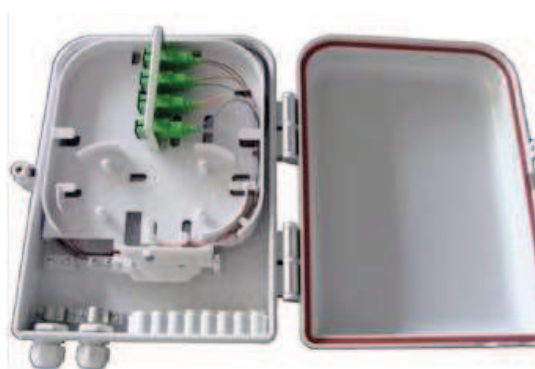


Figura 1.29: Caja FTTx <sup>[6]</sup>

### 1.4.3.3 Micronodo

Como ya se explicó anteriormente es el equipo que termina la conexión de fibra de lado del cliente. Permite hacer la conversión de señal óptica a eléctrica y viceversa. En la Figura 1.30 se puede apreciar un diagrama de bloques de un micronodo.

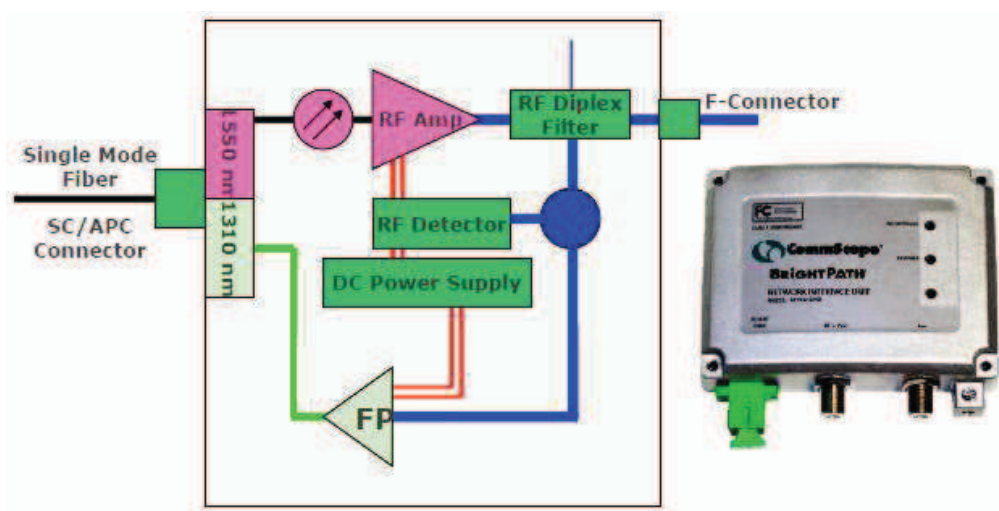


Figura 1.30: Diagrama de Bloques de un micronodo <sup>[6]</sup>

Los parámetros que se deben tomar en cuenta en estos equipos al momento del diseño son los siguientes:

- **Nivel de recepción óptica**, está entre +1dBm a -6dBm, en donde -6dBm sería el nivel de recepción más bajo que el equipo puede tolerar, por lo que para el diseño se debe manejar un margen con respecto a ese valor para no trabajar en los extremos.

- **La potencia de transmisión**, está en 3dBm +/-1dBm, este es otro parámetro que permite determinar, en base al presupuesto de pérdidas del enlace, el nivel de recepción mínimo del receptor de Head-End.
- **La señal de RF**, se maneja dentro de los rangos de frecuencia para la red HFC, así se tiene para el retorno la ventana de 5 a 42 MHz y para la bajada de 54 a 1002 MHz. En el caso de la potencia entregada en la bajada de 17dBm, es importante mencionar que algunos fabricantes poseen modelos de mayor ganancia que entregan hasta 36dBm.
- **La longitud de onda del retorno**, se debe seleccionar adecuadamente a fin de no tener inconvenientes, si se desea que coexistan RFoG y GPON sobre la misma red.

#### 1.4.3.4 Coexistencia de RFoG y GPON

La arquitectura para RFoG tipo dropped permite a futuro soportar GPON, inclusive pueden coexistir paralelamente las dos tecnologías sobre la misma red. En la Tabla 1.3 se resume las longitudes de onda que se deberían usar con RFoG, con la finalidad de que puedan coexistir las dos tecnologías en la misma red.

Tecnología	RFoG	GPON
Downstream	1550 nm	1490 nm
Upstream	1590 nm 1610 nm	1310 nm

Tabla 1.3: Longitudes de Onda para Coexistencia de RFoG con GPON

En la Figura 1.31 se puede apreciar un esquema en el que funcionan las dos tecnologías paralelamente <sup>[4]</sup>.

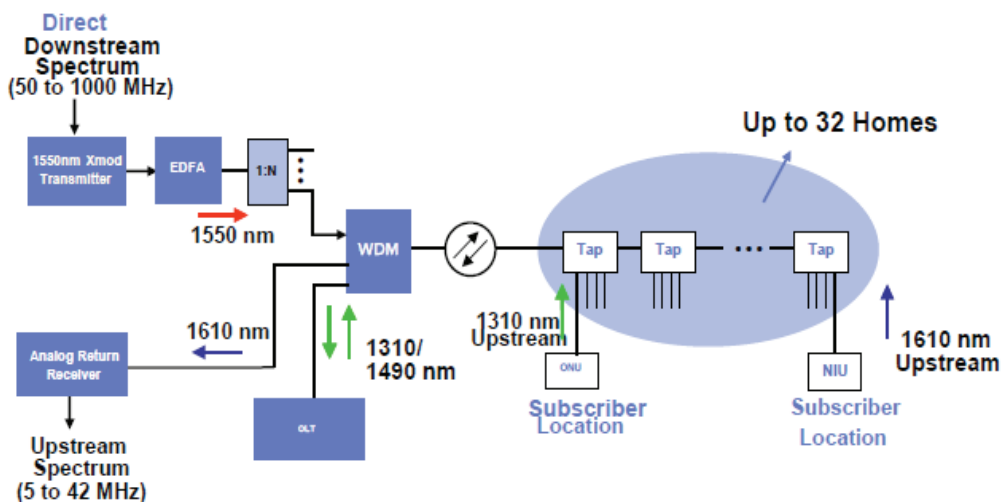


Figura 1.31: Coexistencia Tecnología RFoG con GPON <sup>[10]</sup>

#### 1.4.3.5 Esquemas de Distribución RFoG en la Última milla.

En la última milla HFC se tiene varios tipos o maneras de llegar hacia el cliente, dependiendo de si la vivienda es independiente o si está ubicado dentro de un edificio o conjunto. Con RFoG se puede aprovechar la infraestructura vertical previamente instalada en las verticales de los edificios. A continuación se describe varios escenarios que se pueden presentar, indicando sus ventajas y desventajas.

##### 1.4.3.5.1 Acometida de última milla independiente.

En la Figura 1.32 se puede apreciar el esquema de la acometida de una red RFoG, en este caso la fibra llega a la casa del cliente donde posteriormente se realiza la distribución a través del cable coaxial.



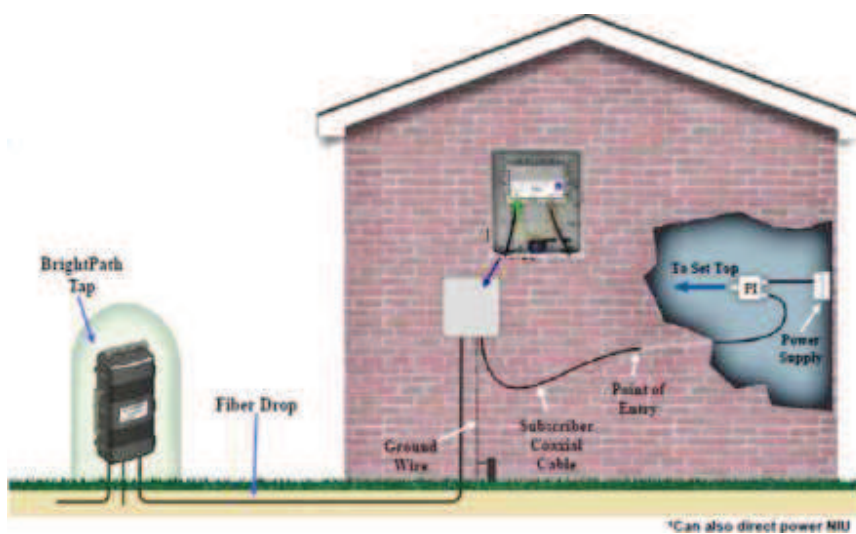


Figura 1.32: Diagrama de Bloques de un micronodo [10]

#### 1.4.3.5.2 Fibra hacia el departamento

En este tipo de esquema (ver Figura 1.33) se requiere instalar internamente el micronodo en cada departamento, por lo que se requiere fibra para interiores y también que el edificio posea una vertical para el cableado. La principal ventaja de este esquema es que la fibra llega hasta la casa, reduciendo el problema del ingreso de ruido. La principal desventaja es el costo por instalar un micronodo en cada departamento.

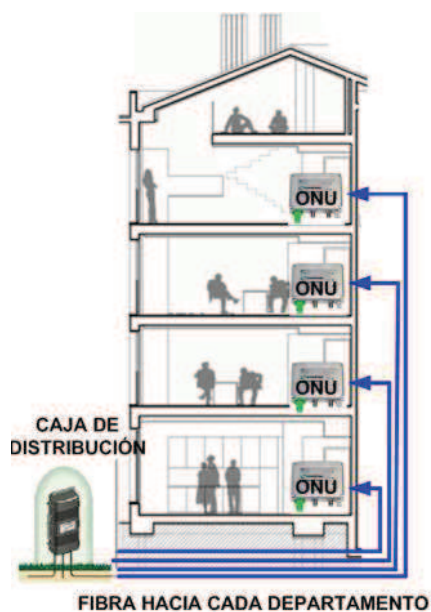
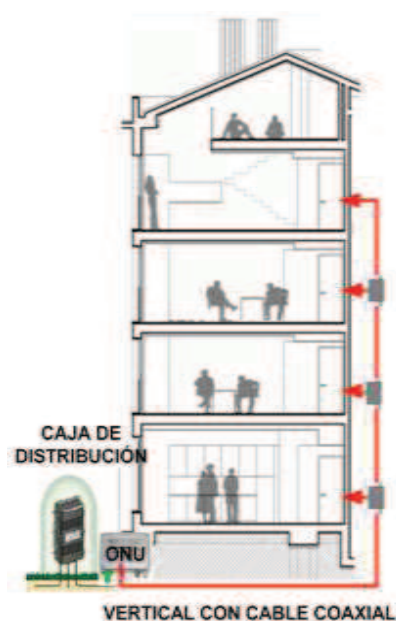


Figura 1.33: Fibra hacia cada departamento

#### 1.4.3.5.3 Distribución de Coaxial dentro del edificio con un solo Micronodo

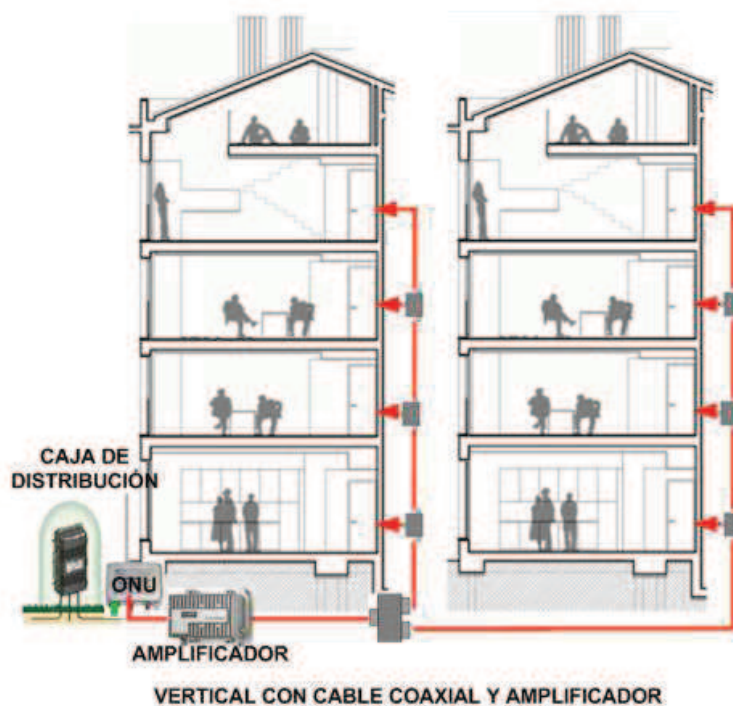
En este caso se llega al edificio con fibra óptica y la distribución se realiza mediante cable coaxial (ver Figura 1.34), utilizando únicamente un micronodo para atender a varios clientes, reduciendo los costos que se tendrían al colocar un equipo ONU a cada cliente, además se reutiliza la red coaxial previamente instalada. Para esta solución se requiere de energía eléctrica para alimentar el micronodo.



**Figura 1.34: Fibra hacia cada departamento, un equipo por edificio**

#### 1.4.3.5.4 Distribución de Coaxial dentro del edificio con un solo Micronodo con amplificador

Esta solución permite tener una mayor flexibilidad en el diseño y alcance mediante la red coaxial, permite ahorrar costos por micronodos al atender a varios clientes con un mismo equipo, permite reutilizar la red coaxial previamente instalada (ver Figura 1.35). En este caso se requiere de energía eléctrica para alimentar el micronodo y el amplificador, también existe la susceptibilidad del ingreso de ruido de retorno.



**Figura 1.35: Distribución de vertical de edificio con cable coaxial con un microneodo y un amplificador**

#### 1.4.3.6 Baterías de Respaldo.

En el caso de que se requiera tener un respaldo de energía para los microneodos se puede disponer de un Sistema de Respaldo que entrega 12V, el equipo de respaldo se muestra en la Figura 1.36.



**Figura 1.36.: Respaldo de Energía para Microneodos <sup>[10]</sup>**

#### 1.4.3.7 Esquema RFoG para distancias mayores a 20km

El esquema que ofrece RFoG para cubrir distancias mayores a 20km, es incluir en la arquitectura un repetidor óptico, la desventaja de este esquema es que se ingresa

un elemento activo a la red, a diferencia de la arquitectura inicial que solo requiere elementos pasivos. En la Figura 1.37 se puede ver esquema en el que se utiliza un repetidor óptico.

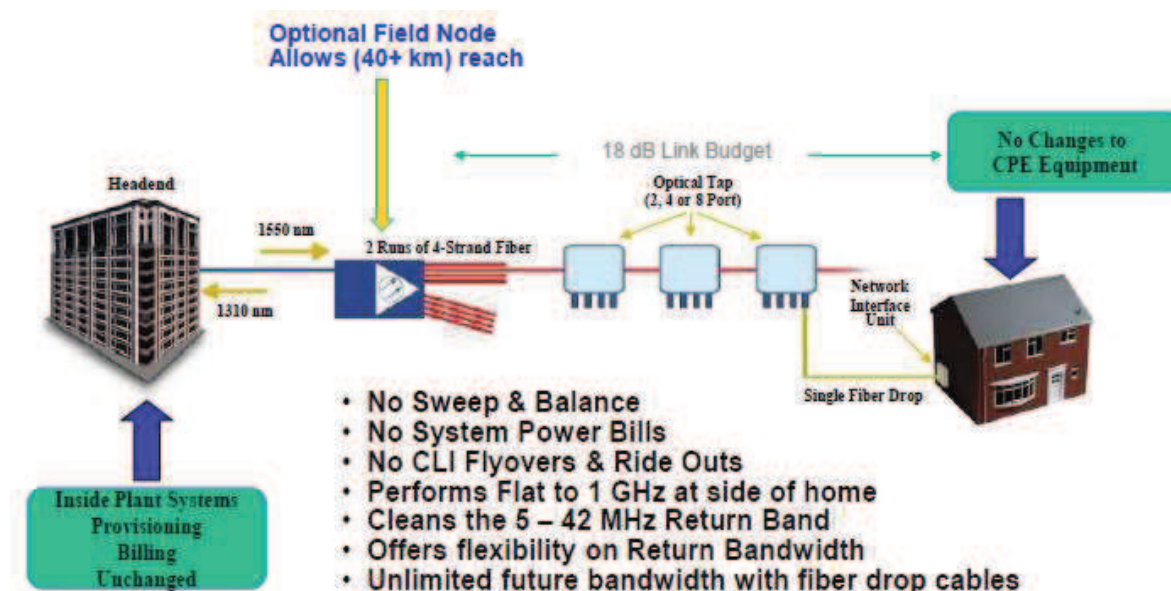


Figura 1.37: Esquema RFoG con Repetidor Óptico <sup>[6]</sup>

## 1.5 APLICABILIDAD DE LA TECNOLOGÍA RFoG EN UN ESCENARIO DE REGENERACIÓN URBANA

En los numerales anteriores se ha realizado una revisión de las tecnologías HFC y RFoG. En este punto se plantea comparar sus principales características, al momento de la instalación en un escenario en el que se requiera reconstruir una red, pero a través de ductería debido a la regeneración urbana.

### **1.5.1 TECNOLOGÍA HFC VS RFoG**

Considerando que se requiere realizar un gasto, más que una inversión para mantener a los clientes actuales, y que existe la oportunidad de realizar un cambio no abrupto a una nueva tecnología, RFoG es una solución que permite conservar la inversión realizada en la infraestructura: de la cabecera como del CMTS; sistema de acceso condicionado para los decodificadores; infraestructura de video; decodificadores; cable modems; aplicaciones de soporte del negocio y aplicaciones de soporte de las operaciones. RFoG permite coexistir con tecnología GPON sobre la misma red. RFoG además permite conservar la planta externa de fibra para migrar definitivamente a nuevas tecnologías PON.

### **1.5.2 CABLE COAXIAL FRENTE A LA FIBRA ÓPTICA**

No cabe la menor duda de la superioridad de la fibra óptica frente al cable coaxial como medio de transmisión. En este punto se realiza la comparación en cuanto a sus características mecánicas para su instalación en ductos. El cable que se utiliza para la distribución en la red coaxial, es el de 0.5" este cable es sumamente rígido y su radio de curvatura es de 15cm, esto dificulta en gran medida la instalación por ductos de este cable. En cuanto a la fibra óptica existen varios estándares como el G652d que permite radios de curvatura de 8cm e inclusive también hay el estándar G657a que permite radios de curvatura de 3cm y es compatible con la fibra G652d.

En conclusión, sin considerar las ventajas de la fibra óptica como medio de transmisión frente al cable coaxial, la fibra óptica ofrece mayor facilidad al momento de instalación <sup>[2]</sup>.

### **1.5.3 RED ACTIVA FRENTE A RED PASIVA**

Como se revisó anteriormente la red HFC está conformada por amplificadores y fuentes que requieren de energía eléctrica, al momento de la instalación puede representar una dificultad encontrar energía eléctrica para las fuentes. Por otro lado los amplificadores y fuentes ocupan espacio y requieren la construcción de un pedestal para su ubicación, además una obra civil. En el caso de una red pasiva, se tiene la ventaja de ahorro de energía por una parte, y por otro lado de eliminar el personal operativo que brinda mantenimiento a la red, que en el caso de HFC es el día a día, mientras que para la red pasiva únicamente se requeriría de pedestales para las cajas de distribución.

## **CAPÍTULO II**

### **DISEÑO DE RED**

#### **2.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se realizará el diseño de una Red RFoG, se ha seleccionado dos proveedores de esta tecnología para realizar una comparación entre las soluciones. Los proveedores que se comparan son Commscope y Aurora. Se ha seleccionado estas alternativas porque hay suficiente información de sus equipos en las páginas web, como para realizar el diseño en base a estas opciones.

Como supuesto se parte de que ya se cuenta con una infraestructura de equipos que soporta una red HFC, y que surge el requerimiento por parte del Municipio de soterrar el cableado.

Para el desarrollo del diseño se va a separar lo correspondiente a la planta interna y lo correspondiente a la planta externa. Posteriormente se definirá las herramientas y equipamiento que se requiere para el mantenimiento de la red.

##### **2.1.1 REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO**

Se ha definido algunos parámetros para realizar el diseño, entre ellos son el sector donde se lo realizará y estará limitado a 512 usuarios. En base al estudio realizado en el capítulo 1, sobre las principales características de la tecnología RFoG, hemos encontrado nuevos requerimientos que resultan interesantes al momento del diseño,

como por ejemplo el que se permita coexistir con la tecnología GPON, que la red puede ser pasiva hasta 20km, luego de lo cual se requiere un repetidor.

Para este diseño partimos del hecho que las operadoras de cable ya disponen de varios equipos en cabecera como (equipo de procesamiento de señales, CMTS, etc), hilos de fibra óptica libres para la red Troncal y equipos terminales; si bien en el presente estudio se realiza las consideraciones para toda la red, específicamente lo que se requiere es cambiar la red de cable coaxial en conjunto con los equipos activos, por una red totalmente pasiva de fibra óptica en el sector de la regeneración.

#### **2.1.1.1 Requerimiento del Diseño de Planta Interna**

El diseño contempla dimensionar el equipo requerido para soportar 512 usuarios, el espacio físico requerido, Racks, y gabinetes de fibra que se requieran. Se comparará la solución considerando los dos proveedores de equipos.

#### **2.1.1.2 Requerimiento del Diseño de Planta Externa**

El diseño de la Planta Externa está limitado a las Av. República del Salvador entre las avenidas Naciones Unidas y Portugal. El diseño contempla dimensionar el número de fibras que se requieren para la red troncal, el diseño de red que permita coexistir RFoG con nuevas tecnologías como GPON. Para efectos de diseño se asumirá una distancia entre la cabecera y el sector donde se encontrará la red de 14km, y la distancia entre las cajas de distribución y el cliente serán de entre 0 a 1000m.



### 2.1.1.3 Alcance de Herramientas

Las herramientas constituyen lo necesario para el trabajo requerido como una maleta de herramientas de fibra óptica.

### 2.1.1.4 Alcance del Equipamiento

Una vez realizado el diseño de la red, se tiene por delante tres fases, que son: la de construcción, la de activación y la de mantenimiento. Para cada una de estas fases se requieren de equipos como Fusionadora, OTDR y medidores de potencia.

## 2.2 DISEÑO DE PLANTA INTERNA

### 2.2.1 PRESUPUESTO DE PÉRDIDAS

Para realizar el diseño de la Planta interna, se considera una muestra de 500 usuarios, este dato permitirá dimensionar el equipamiento requerido. De acuerdo al estudio realizado en el capítulo 1, la tecnología RFoG soporta hasta 32 usuarios por el mismo hilo de fibra. En base a esta información se obtiene el número de transmisores y receptores que se necesitan.

USUARIOS	HILOS DE FIBRA
32	1
512	16

Tabla 2.1: Hilos de Fibra Óptica necesarios para atender 512 usuarios

Como se puede apreciar en la Tabla 2.1 para tener una capacidad de 512 usuarios se requiere como mínimo 16 hilos de fibra.

Para determinar la potencia del transmisor se necesita conocer el presupuesto de pérdidas del enlace y también la sensibilidad del receptor.

### 2.2.1.2 Presupuesto de Pérdidas desde la cabecera hacia el Cliente

Para determinar la potencia de salida del transmisor se requiere conocer el presupuesto de pérdidas. Como información se conoce que la sensibilidad del receptor del micronodo tiene un rango de funcionamiento de +1dBm a -6dBm, en donde el valor más crítico es -6dBm. Para el caso de la bajada la longitud de onda utilizada es de 1550nm con una atenuación máxima 0.21dB/km, para la división se empleará splitters de 1:32, con pérdida máxima 17.4dB, se asumirá las pérdidas por empalmes mecánicos de 0.5dB, pérdidas por empalmes de fusión máxima de 0.1dB.

En la Figura 2.1 se muestra gráficamente los elementos que intervienen en el presupuesto de pérdidas.

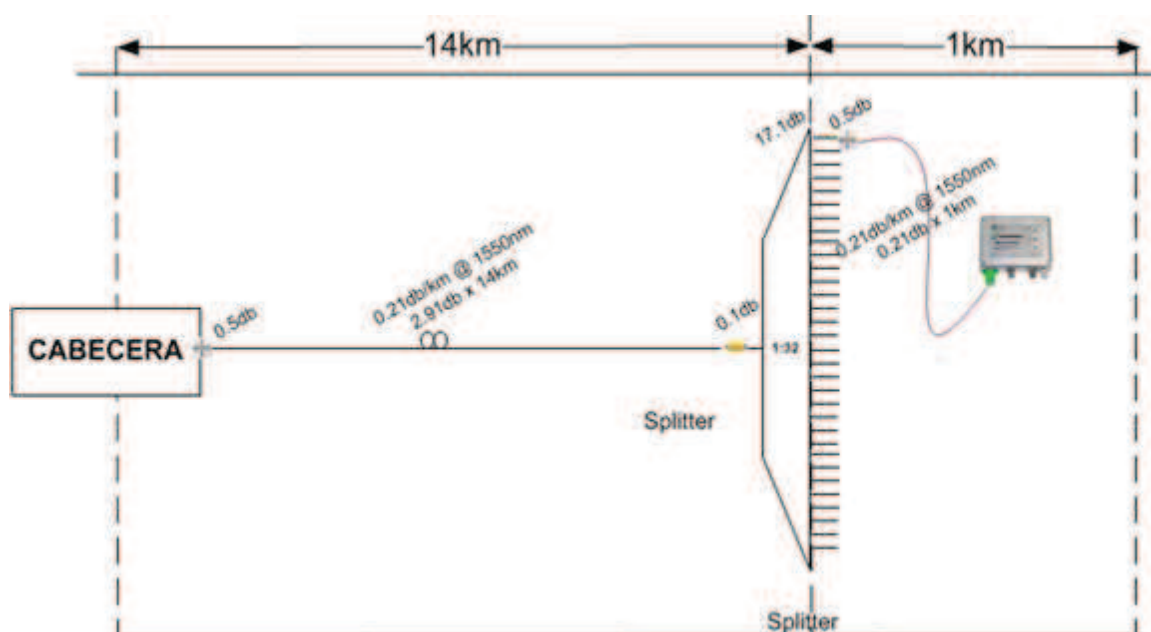


Figura 2.1: Pérdidas en la bajada

Las pérdidas estimadas se puede apreciar en la Tabla 2.2, que se detalla para cada uno de los elementos que intervienen en el presupuesto de pérdidas.

<b>TRANSMISIÓN</b>	
Sentido desde la Cabecera hacia el cliente	
Sensibilidad del Receptor Micronodo	+1dBm a -6 dBm
PRESUPUESTO DE PÉRDIDAS BAJADA	
Pérdida de 15km@1550nm 0.21dB/km	3,15
Splitter 1:32	17,4
Conectorización (x2)	1
Empalmes de fusión (x2)	0,2
Otras Pérdidas	1
<b>TOTAL DE PÉRDIDAS (dB)</b>	<b>22,75</b>

Tabla 2.2: Presupuesto de Pérdidas

En base a la pérdida total esperada en el enlace y a la sensibilidad del micronodo, en la Tabla 2.2 se determina que el valor de potencia del transmisor debe ser mayor o igual a 16,75dBm.

Potencia de Transmisión= Pérdidas+Sensibilidad del Receptor
Potencia de Transmisión Requerida $\geq 22,75-6 \geq 16,75$ dBm

Tabla 2.3: Potencia mínima de transmisión

En la Tabla 2.4 se compara la solución de los proveedores Commscope y Aurora, en cuanto a los transmisores la principal característica es la potencia de salida y el número de puertos, de la Tabla 2.1 se dedujo que el mínimo de puertos que se necesita es 16.

	Potencia (dBm)	Puertos
Commscope	18	8
	21	4
Aurora	18	8
	21	16

Tabla 2.4: Comparación de Transmisores Commscope y Aurora

### 2.2.1.2 Presupuesto de Pérdidas desde el cliente hacia la cabecera

La recomendación específica un valor mínimo en el receptor de -21dBm, sin embargo esta es una recomendación. En el caso del receptor de Commscope se tiene un rango de recepción de -15 a -28 dBm, para el caso de Aurora se tiene un rango de -15 a -24 dBm. Para la subida la potencia de transmisión del micronodo es de 3dBm.

<b>RECEPCIÓN</b>	
Sentido desde la Cliente hacia la Cabecera	
Sensibilidad del Receptor Micronodo	+1dBm a -6 dBm
<b>PRESUPUESTO DE PÉRDIDAS SUBIDA</b>	
Potencia de Transmisión (dBm)	3
Pérdida de 15km@1590nm 0.24dB/km	3,6
Splitter 1:32	17,4
Conectorización (x2)	1
Empalmes de fusión (x1)	0,2
Otras Pérdidas	1
POTENCIA DE RECEPCIÓN (dBm)	-20,2

Tabla 2.5: Presupuesto de pérdidas en la Recepción

En la Tabla 2.5 Se puede apreciar el presupuesto de pérdidas para la subida, en base a la potencia transmitida y las pérdidas del enlace se deduce que la potencia esperada en el receptor es -20dBm.

### 2.2.1.3 Comparación de Soluciones de Commscope y Aurora

Como se puede ver en la Figura 2.2. El equipamiento requerido para la cabecera es un transmisor, un amplificador EDFA, receptores y multiplexores.

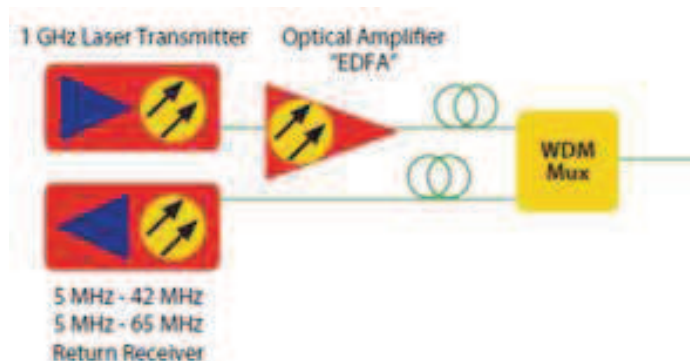


Figura 2.2: Esquema de la Cabecera <sup>[6]</sup>

### 2.2.1.4 Solución en base a Equipos Commscope

A continuación se realizará un diseño en base a equipos Commscope, para lo cual se detallará las características más relevantes para el diseño.

#### 2.2.1.4.1 Transmisor

Las principales características del transmisor son las siguientes:

Nivel de Entrada RF: 15dBm

Longitudes de onda sobre canales ITU: 1530 a 1562 nm

Potencia de Salida: 5dBm

Potencia de Consumo: <80W

Interface Óptica: SC/APC hembra

Interface de Red: RJ45

Dimensiones: 48.26 cm x 43.18 cm x 4.45 cm



**Figura 2.3: Transmisor Commscope <sup>181</sup>**

#### *2.2.1.4.2 Amplificador Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)*

Las principales características del amplificador son las siguientes:

Nivel de Entrada Óptica: 0 a 10 dBm

Longitudes de onda de trabajo: 1540 a 1565 nm

Potencia de Salida: 18dBm

Puertos de Salida: 8

Potencia de Consumo: <80W

Interface Óptica: SC/APC hembra

Interface de Red: RJ45

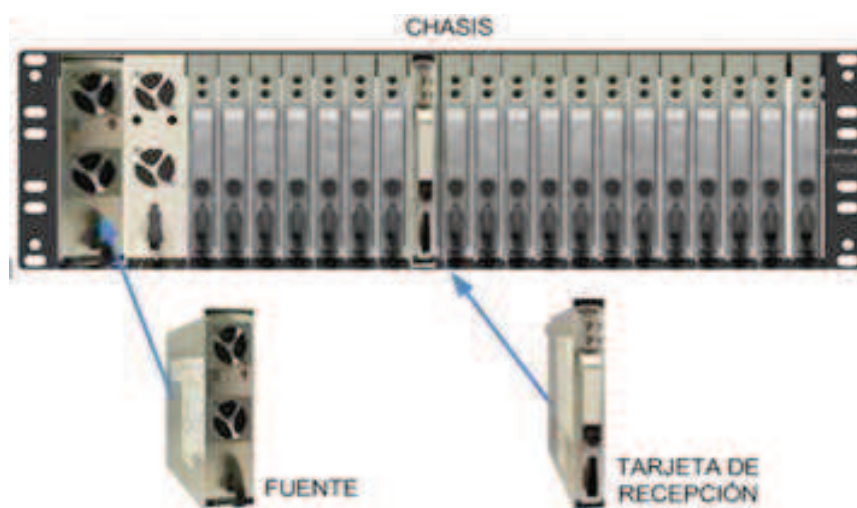
Dimensiones: 47.8 cm x 38.0 cm x 4.4 cm



**Figura 2.4: Amplificador EDFA Commscope <sup>[8]</sup>**

#### 2.2.1.4.3 Receptor Óptico

Para la recepción se requiere de un chasis con fuente redundante opcional, el chasis soporta hasta 20 tarjetas con doble receptor.



**Figura 2.5: Chasis para receptores Commscope <sup>[8]</sup>**

Las principales características del receptor son las siguientes:

Nivel de Entrada Óptica: -13 a -28 dBm

Rango de Operación: 1260 a 1620 nm

Potencia de Salida RF: 35 dBm

Cada tarjeta posee doble receptor

Potencia de Consumo: <3W por tarjeta

Interface Óptica: SC/APC hembra

Interface de Red: RJ45

Dimensiones: 12.2cm H x 11.7cm W x 2.15cm D

#### 2.2.1.4.4 Wavelength-Division Multiplexing (WDM)

El Multiplexor permite separar las longitudes de onda de transmisión como de recepción, en nuestro caso la longitud de onda de transmisión es de 1550 nm, y para la recepción es de 1590 nm o 1610 nm.



**Figura 2.6: WDM Dual** <sup>[24]</sup>

Como parte de la colocación de los WDM es recomendable colocarlos en una estantería diseñada para ello.





**Figura 2.7: Estantería para WDM** <sup>[24]</sup>

#### 2.2.1.4.5 Equipamiento Requerido para solución con equipos Commscope

En base al equipamiento que dispone Commscope podemos establecer que para nuestra solución necesitamos:

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>
1	Transmisor
2	Amplificadores EDFA
1	Chasis para receptors
8	Tarjetas Receptoras Duales
1	Estantería para WDM
8	WDM 1550/1590nm
1	Splitter 1:2 conectorizado
48	Patchcords SC/APC simplex de 10m
1	Gabinete de Fibra óptica
1	Distribuidor de Fibra óptica

Tabla 2.6: Equipos Requeridos para Planta Interna con Commscope

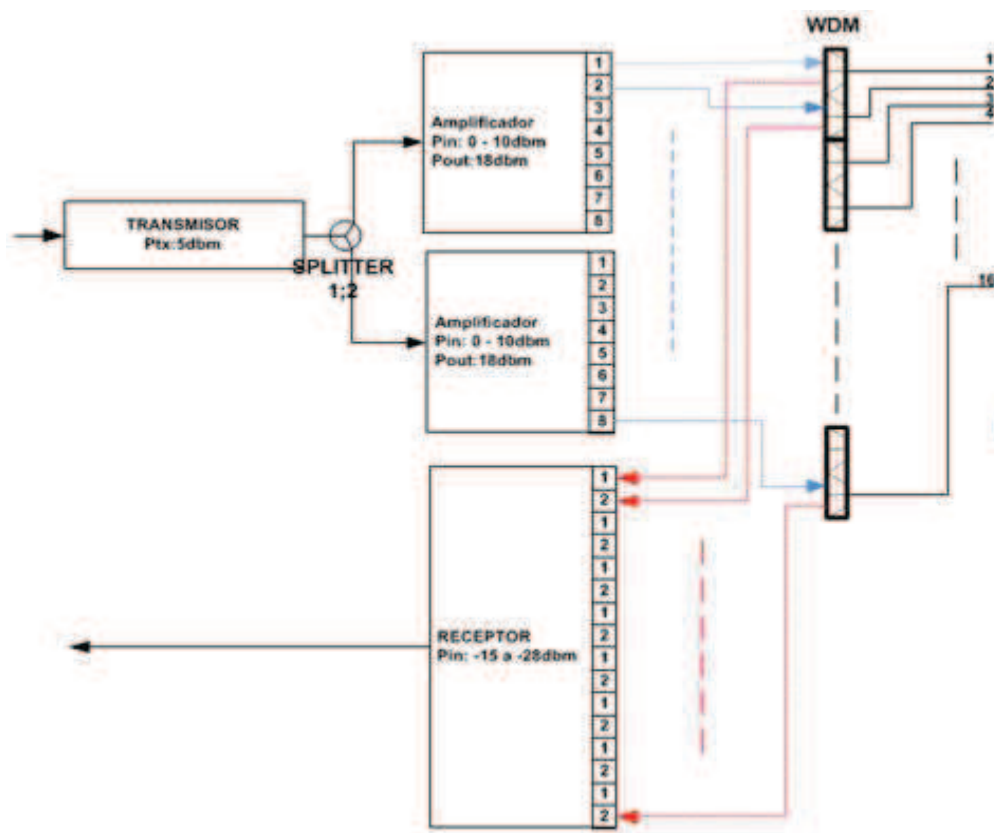


Figura 2.8: Diagrama de Bloques de Planta Interna Commscope

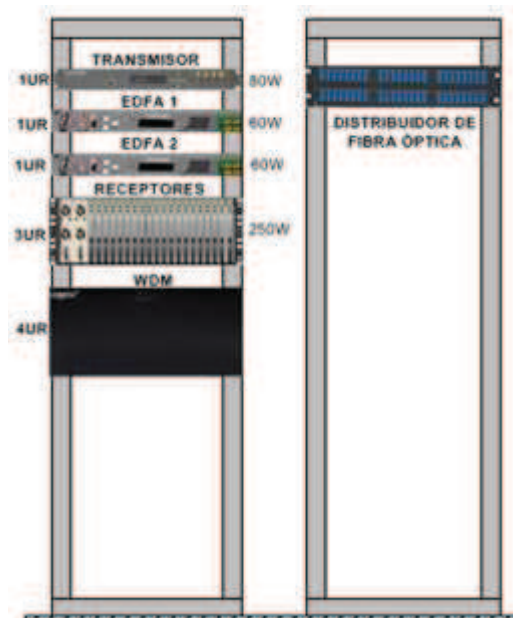


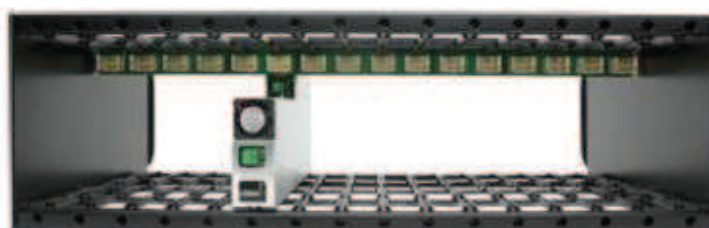
Figura 2.9: Diagrama Físico de Planta Interna Commscope

### 2.2.1.5 Solución en base a Equipos Aurora

Aurora ofrece una solución de planta interna modular en donde en un chasis se puede ir colocando módulos transmisores y receptores. A continuación se detalla estos elementos.

#### 2.2.1.5.1 Chasis y Fuente

En la solución de Aurora se debe colocar las diferentes tarjetas en un chasis, el chasis contiene 32 ranuras, y existen dos versiones una que permite colocar tarjetas únicamente en la parte frontal y otra que permite colocar tarjetas tanto en la parte frontal como trasera del chasis.



**Figura 2.10: Chasis Aurora** <sup>[26]</sup>

En la Figura 2.10, se puede apreciar el chasis, el mismo requiere de una fuente de alimentación (figura 2.11), en caso de que se requiera redundancia se puede colocar dos fuentes. Cada fuente ocupa dos ranuras del chasis.



**Figura 2.11 Fuente Aurora** <sup>[26]</sup>

En caso de requerir gestión del chasis se puede utilizar un módulo de comunicaciones (Figura 2.12), que presenta una interfaz web, y puede concatenarse hasta ocho módulos, el mismo utiliza una ranura del chasis.



**Figura 2.12: Módulo de Gestión y Monitoreo** <sup>[26]</sup>

#### 2.2.1.5.2 Transmisor

En la Figura 2.13 se puede ver el transmisor, el mismo ocupa una ranura del chasis y las características más relevantes se detallan a continuación.



**Figura 2.13: Transmisor** <sup>[27]</sup>

Nivel de Entrada RF: 15dBm

Longitudes de onda de operación: DWDM ITU Channel Plans

Potencia de Salida: 10 ±0.25 dBm

Potencia de Consumo: 12W

Interface Óptica: SC/APC hembra

Dimensiones: (33 cm x 11 cm x 2.5 cm)

#### 2.2.1.5.3 Amplificador Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)

En la Figura 2.14 se puede ver el amplificador de Aurora. En cuanto a los amplificadores, Aurora dispone de dos tipos uno con salida de 18dbm y con 8 puertos, y otra versión con salida de 21dbm y con 16 puertos. Las dos versiones ocupan cuatro unidades de rack.



**Figura 2.14: Amplificador EDFA <sup>[17]</sup>**

A continuación se detalla las principales características:

Nivel de Entrada Óptica: -10 a 10 dbm

Longitudes de onda de trabajo: 1540 a 1565 nm

Potencia de Salida: 21dBm

Puertos de Salida: 16

Potencia de Consumo: <80W

Interface Óptica: SC/APC hembra

Dimensiones: 33 cm x 13.3cm x 10.2cm

#### 2.2.1.5.4 RFoG Diplexer Return Receiver

En la solución de Aurora se combina el Multiplexor/ Demultiplexor y receptor en un solo módulo, esto se puede apreciar en la Figura 2.15.



Figura 2.15: RFoG Diplexer Return Receiver <sup>[28]</sup>

Esta tarjeta combina cuatro retornos ópticos en una sola salida RF, y sirve como paso de cuatro salidas del transmisor óptico, como se puede apreciar en la figura 2.14.

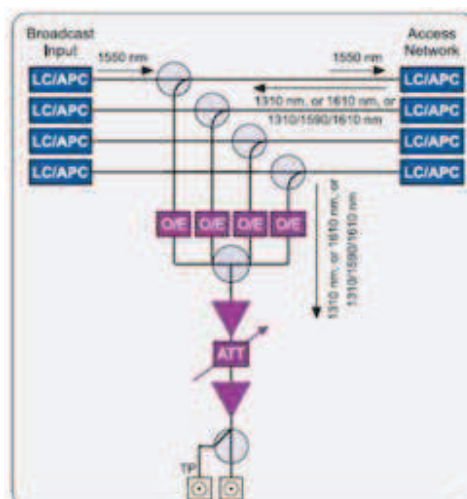


Figura 2.16: Diagrama RFoG Diplexer Return Receiver <sup>[28]</sup>

Las principales características del receptor son:

Nivel de Entrada Óptica: -15 a -24 dBm

Rango de Operación: 1530 a 1590 nm

Potencia de Salida RF: 34 dBmV

Potencia de Consumo: <2W por tarjeta

Interface Óptica: LC/APC hembra

Dimensiones: 16.7cm x 11cm x 2.5cm

#### 2.2.1.5.5 Equipamiento Requerido para solución con equipos Aurora

En la Tabla 2.7, se indican los equipos que se necesitan para brindar la solución en base a equipos de Aurora:

<b>Cantidad</b>	<b>Equipos</b>
1	Transmisor
1	Amplificadores EDFA
1	Chasis
4	OR Diplexer/Receiver
32	Patchcords SC/APC a LC/APC simplex de 10m
1	Patchcords SC/APC a SC/APC simplex de 10m
1	Gabinete de Fibra optica
1	Distribuidor de Fibra Optica
2	Power Supply
1	Módulo de Gestión

Tabla 2.7: Equipos Requeridos para Planta Interna con Aurora

En la Figura 2.17, se puede ver el chasis de Aurora con todos los módulos correspondientes.

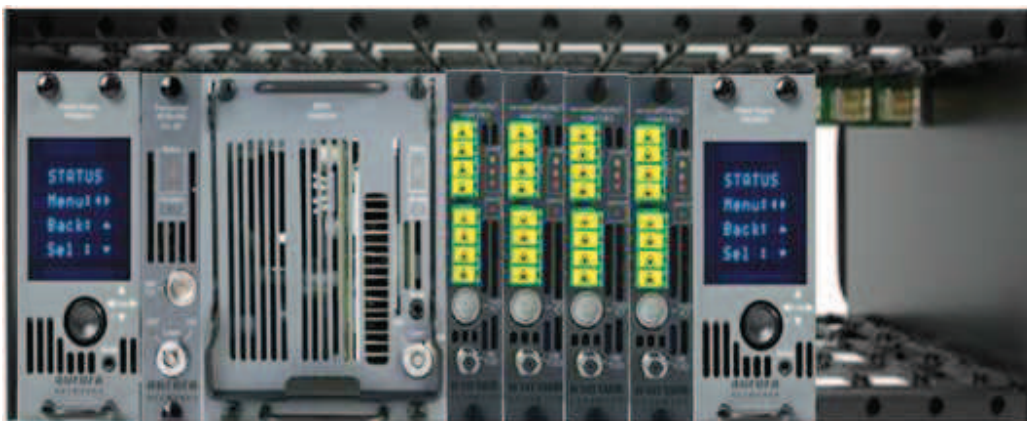


Figura 2.17: Chasis Aurora con módulos [26]

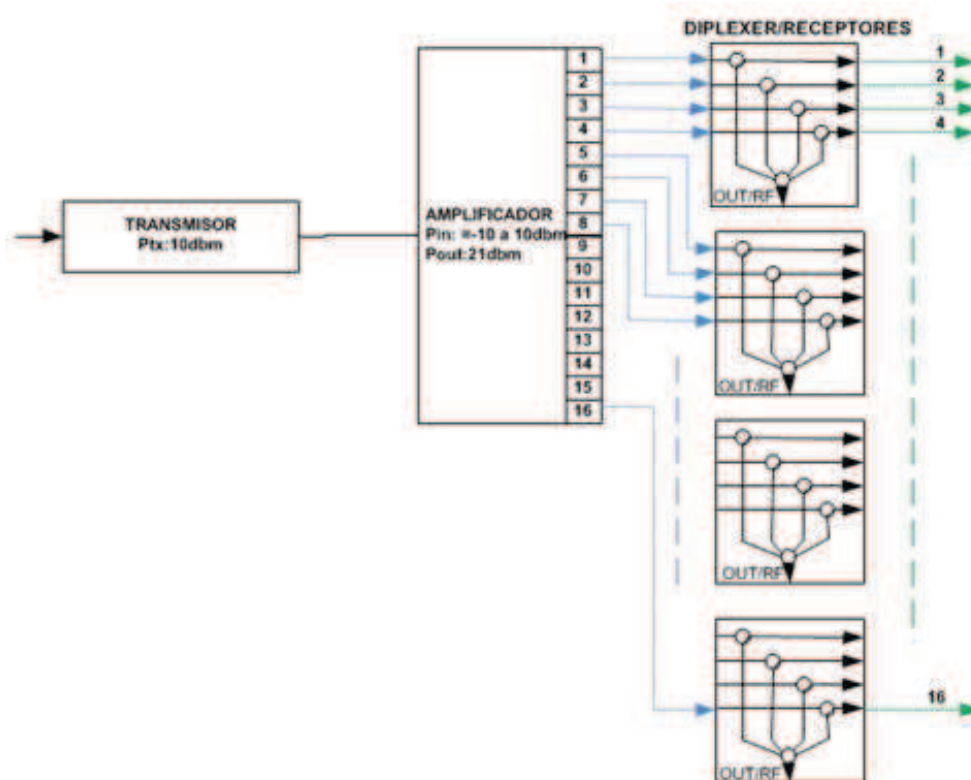
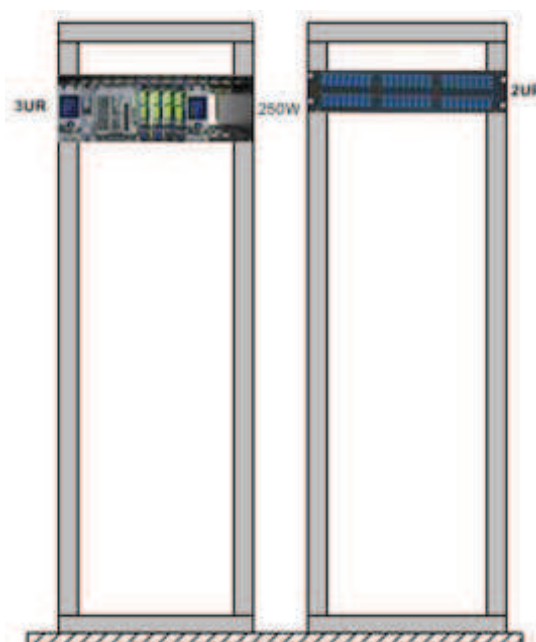


Figura 2.18: Diagrama de Bloques de Planta Interna Aurora





**Figura 2.19: Diagrama Físico de Planta Interna Aurora**

### 2.2.1.6 Comparación entre la solución de Commscope y Aurora

A continuación se realizará una comparación entre las soluciones de planta interna de Commscope y Aurora, para ello se realizará una comparación de los requerimientos de energía, espacio y costo.

En las Tabla 2.8 y Tabla 2.9 se pueden ver el requerimiento de energía para los equipos activos por parte de Commscope y Aurora respectivamente. En cuanto a consumo de energía Aurora ofrece un ahorro importante.

Cantidad	Equipo	Potencia (W)	Total (W)
1	Transmisor	80	80
2	Amplificadores EDFA	60	120
8	Tarjetas Receptoras Duales	3,1	24,8
			224,8

Tabla 2.8: Requerimiento de Energía Commscope

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Potencia (W)</b>	<b>Total (W)</b>
1	Transmisor	12	12
1	Amplificadores EDFA	80	80
4	Diplexer/Receiver	2	8
			100

Tabla 2.9: Requerimiento de Energía Aurora

Con relación al espacio necesario para ubicar los equipos se puede hacer referencia a la Figura 2.9 y Figura 2.19, en donde se gráfica la ubicación de los equipos en rack. La comparación se realiza en unidades de rack que se necesitan para colocar los equipos UR.

<b>Ítem</b>	<b>Equipos Activos (UR<sup>1</sup>)</b>	<b>Distribuidor de Fibra Óptica (UR)</b>
Commscope	14	2
Aurora	3	2

Tabla 2.10: Requerimiento de Espacio

Es importante mencionar que en el caso de la solución Commscope también se considera los espacios que deben quedar entre equipo de al menos una unidad de rack.

En la Tabla 2.10 se resume el espacio requerido tanto para la solución Commscope como para Aurora. En el caso de las dos soluciones se requiere para el distribuidor de fibra óptica dos unidades de rack. Para el caso de Commscope se requiere más espacio físico para colocar los equipos, esto puede ser un diferenciador importante en el caso de que el espacio sea un limitante, porque si no se dispone de espacio

---

<sup>1</sup> UR Unidad de Rack.- Espacio mínimo que utiliza un equipo en un rack

suficiente se debería realizar una inversión en obra civil para ampliar el cuarto de equipos a fin de colocar los nuevos equipos.

En las Tabla 2.11 y Tabla 2.12 se hace referencia a los costos del equipamiento necesario para las soluciones Commscope y Aurora respectivamente.

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo total</b>
1	Transmisor	\$ 10.400,00	\$ 10.400,00
2	Amplificadores EDFA	\$ 10.110,00	\$ 20.220,00
1	Chasis para receptors	\$ 560,00	\$ 560,00
8	Tarjetas Receptoras Duales	\$ 890,00	\$ 7.120,00
1	Estantería para WDM	\$ 200,00	\$ 200,00
8	WDM 1550/1590nm	\$ 270,00	\$ 2.160,00
1	Splitter 1:2 conectorizado	\$ 50,00	\$ 50,00
2	Power Supply	\$ 650,00	\$ 1.300,00
			\$ 42.010,00

Tabla 2.11: Costo Referencial Equipos Commscope (Fuente Commscope)

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
1	Transmisor	\$ 5.160,00	\$ 5.160,00
1	Amplificadores EDFA	\$ 19.800,00	\$ 19.800,00
1	Chasis	\$ 500,00	\$ 500,00
4	OR Diplexer/Receiver	\$ 3.900,00	\$ 15.600,00
2	Power Supply	\$ 1.320,00	\$ 2.640,00
1	Módulo de Gestión	\$ 680,00	\$ 680,00
			\$ 44.380,00

Tabla 2.12: Costo Referencial Equipos Aurora (Fuente Aurora)

Es importante indicar que estos costos únicamente hacen referencia al equipamiento activo y no se ha considerado equipo de respaldo. Por otro lado, no se ha considerado gastos de importación y otros gastos administrativos. En base a la comparación la solución de Commscope es más económica que la de Aurora.

En la Tabla 2.13, se resume las dos alternativas y los diferenciadores a favor de una u otra alternativa, cabe señalar que a pesar que Commscope es la alternativa más económica, la diferencia respecto al costo de los equipos Aurora es un valor bajo con relación al costo total de las dos soluciones, además del ahorro que representa el consumo de energía.

ITEM	COMMSCOPE	AURORA
COSTO	\$ 42.010,00	\$ 44.380,00
ENERGÍA	224.8W	100W
ESPACIO	16UR	5UR

Tabla 2.13: Comparación de Alternativas

## 2.3 DISEÑO DE PLANTA EXTERNA

Para diseñar la Planta Externa y dimensionar el número de hilos de fibra que son necesarios, se hace referencia a la Tabla 2.1, en la que por cada hilo de fibra se puede tener hasta 32 usuarios que requieran retorno. En caso de que los clientes solo requieran por ejemplo servicio de televisión no existe esta limitante, porque a pesar de que actualmente el servicio de televisión tiene un camino de dos vías, como es el caso de compras de eventos en donde se genera un tráfico en el sentido desde el cliente hacia la cabecera, este tráfico es esporádico e insignificante comparado con el tráfico generado por los clientes que tienen el servicio de internet. En base al alcance del proyecto de atender hasta 500 usuarios, se necesitan 16 hilos de fibra. A pesar de haber definido previamente este parámetro, se puede dimensionar la fibra para un crecimiento futuro. Considerando un levantamiento estimado de posibles usuarios futuros en el sector de la Avenida República del Salvador, mostrado en la

Tabla 2.14, se puede proyectar hilos adicionales de fibra que se necesitarían a futuro.

<b>EDIFICIOS</b>	<b>OFICINAS</b>	<b>DEPARTAMENTOS</b>	<b>LOCALES</b>
CITIBANK	6		
ED. PLAZA	84	2	
SHERATON	32		
ED. LA FONTANA	61	3	1
ED MANSION BLANCA	30		53
ED.METRO PLAZA	10	2	
ED. QUILOTE	12		3
ED. MINISTERIO DE SALUD	15		
ED. VENTURA PLAZA	8	4	8
ED. ADRES PLAZA	12		
ED. DELTA	12		7
ED. ALMIRANTE COLON	15		
ED. COSMOS	12	4	6
ED. ZONTE	10	1	
ED. PRISMA	42		1
ED. TWINT TORRES	39		
ED. VENTIRA PLAZA	10	3	
ED. CASA BLANCA	15		1
ED. ATHOS	11		1
ED. PORTUGAL	20	3	2
CASA (KFC RESTORANT)			1
ED. TORRE SUYANA	10	4	
ED. MARQUIS	15		
ED. EL REY	12		
CASA (EL HORNERO)			1
CASA DE 2 PISOS		2	
ED. TORRE SOL	22		
CASA DE 3 PISOS		3	
METROPOLITANG TOURING	14		10
ED. MANATIAL		18	2
ED. COMPANIA CONSTRUCTORA	15		
ED. MICONOS	10		
ED. TORRES PICASSO		20	1
ED. CLAUDE MONET		10	
ED. TAMESIS		20	2
ED. KENDA	10		
ED GABRIELA III		16	2
ED GABRIELA I		16	2
TOTAL	564	126	87

Tabla 2.14: Posibles Usuarios en la Avenida República del Salvador

Tomando como referencia la Tabla 2.14, se puede proyectar una cantidad de 777 posibles futuros usuarios, de los cuales por parámetros de diseño (el 20% de la capacidad total) y por planteamiento de estudio se ha tomado el aprovisionamiento para 500 usuarios. En ese sentido, si se requiere dimensionar la red para esta capacidad se debe considerar 20 hilos de fibra. Tomando en cuenta que los cables de fibra vienen en múltiplos de 12 hilos, lo recomendable es instalar un cable de 24 hilos.

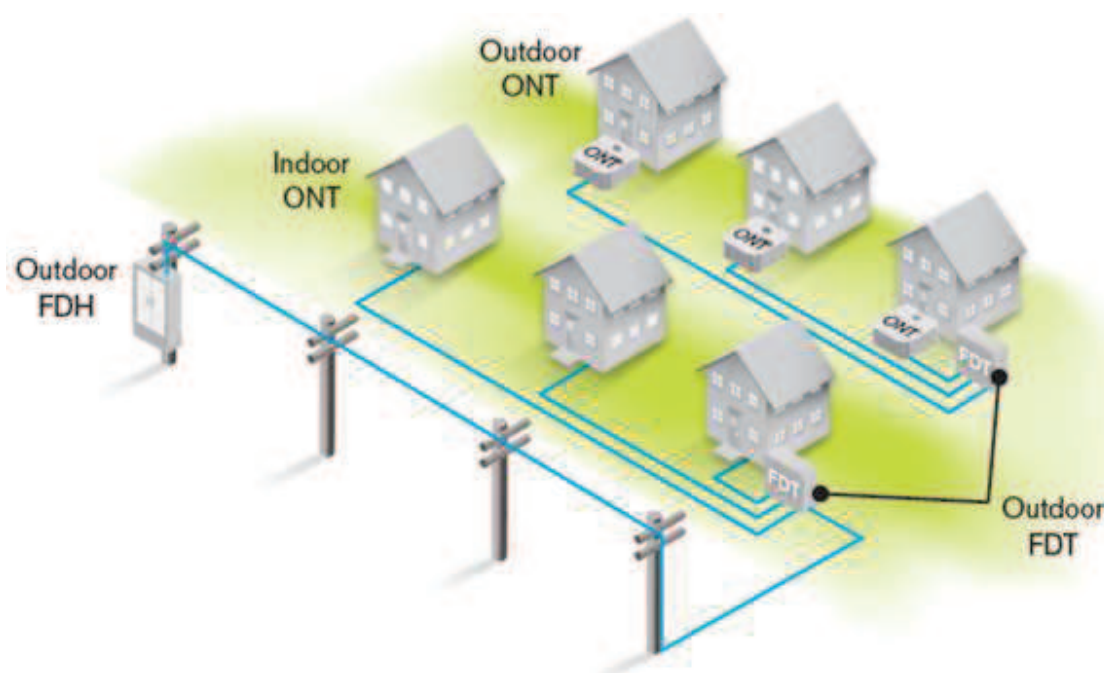


Figura 2.20: Esquema de Planta Externa <sup>[7]</sup>

La Figura 2.20, muestra un esquema de la distribución de la planta externa, en ella podemos apreciar varios componentes que se describirán a continuación. El FDH<sup>2</sup> es el distribuidor de fibra, delimita el segmento de fibra óptica formado por la Cabecera o CO<sup>3</sup> y el FDH. El distribuidor de fibra puede encontrarse en la base de un edificio en caso de realizarse una distribución para interiores, caso contrario, si la distribución es para exteriores puede colocarse cerca del vecindario o sitio de regeneración,

<sup>2</sup> Fiber Distribution Hub: Distribuidor de Fibra Óptica

<sup>3</sup> Central office

como es nuestro caso. En la Figura 2.21 se puede apreciar dos modelos de FDH para colocar en poste o a su vez en pedestal.



**Figura 2.21: Fiber Distribution Panel** <sup>[18]</sup> (izquierda) <sup>[16]</sup> (derecha)

El FDH es un gabinete que contiene los empalmes, splitters, el panel de conectorización que da continuidad a la fibra óptica y su función es administrar los elementos de fibra óptica.

En la Figura 2.21 podemos ver el FDT<sup>4</sup> que es el terminal de distribución de fibra. A este dispositivo llega la fibra óptica que sale del FDH, también desde este panel sale la fibra óptica de acometida hacia la casa del cliente. Si es del caso se puede dar continuidad mediante conectorización o fusiones.

En base a lo citado se puede desglosar el diseño de la planta externa en tres partes:

1. Corresponde al segmento de fibra que va desde la oficina central hasta el FDH, esta fibra debe tener 24 hilos y ser para tendido aéreo, siendo posible utilizar fibra óptica ADSS o de figura 8, que son las más comunes para este tipo de tendido.

---

<sup>4</sup> FDT: Fiber Distribution Terminal

2. Corresponde al segmento de fibra entre el FDH y el FDT, permite distribuir la fibra hacia las diferentes terminales distribuidores de fibra; para este propósito se requiere una fibra que permita ser instalada por ductería, puede ser fibra de 12 hilos tipo flat drop.

3. Finalmente el segmento de fibra que va entre el Terminal Distribuidor de Fibra y la casa del cliente, puede tener 2 hilos y se recomienda utilizar un tipo de fibra BLI<sup>5</sup> (bending loss insensitive), la que permite un radio de curvatura de alrededor de (1.5 a 3 )cm.

### 2.3.1 RECOMENDACIONES DE FIBRA ÓPTICA <sup>[19]</sup>

La ITU-T (International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector) ha publicado varios estándares que definen las características de las fibras ópticas monomodo como también multimodo. Estas recomendaciones son de nuestro interés, para en base a ellas definir cuál es el tipo de fibra que se requiere para esta implementación. Dado el objetivo de este proyecto de implementar una red RFoG se requiere utilizar longitudes de onda de 1550nm para la bajada y de 1590nm para la subida, lo que permite a futuro coexistir con una red GPON, la misma que emplea longitudes de onda de 1490nm para la bajada y de 1310nm para la subida, se requiere un tipo de fibra que permita transmitir en estas longitudes de onda (ver Tabla 1.3). Las fibras construidas en base a la recomendación G.652.D permite transmitir en las bandas O (1260-1360 nm), C (1530-1565 nm), L (1565-1625 nm) para DWDM y S+C+L (1460-1625 nm) en sistemas CWDM. Las fibras elaboradas en base a la recomendación ITU-T G.652.D reducen el pico de atenuación a 1390nm y son conocidas como LWP<sup>6</sup> (Low Water Peak), debido a que se elimina el agua que produce el pico. En la figura 2.22 se puede apreciar la diferencia entre la fibra monomodo convencional G.652.A&B y G.652C&D tipo LWP.

---

<sup>5</sup> **BLI: Bending loss insensitive**

<sup>6</sup> **Low Water Peak**



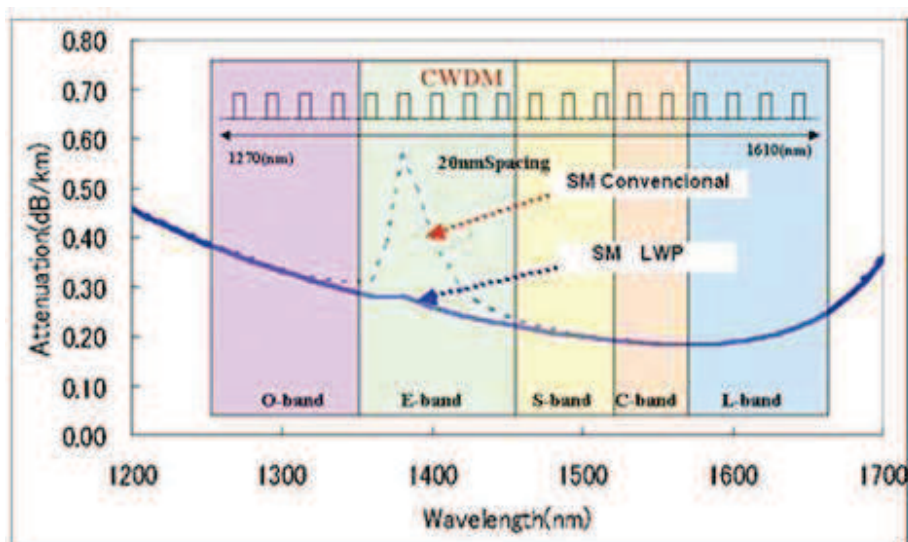


Figura 2.22: Atenuación espectral de las fibras monomodo G.652.A&B (SM Convencional) y G.652C&D (SM LWP)<sup>[19]</sup>

Para la fibra óptica de acometida la recomendación es emplear fibra óptica BLI<sup>7</sup>, la cual es insensible a las pérdidas por curvaturas, considerando que son fibras que se requieren instalar en interiores, donde los radios de curvaturas son más pronunciados. La recomendación de la ITU-T que se ajusta a nuestros requerimientos es la G.657.A, que es una recomendación para Aplicaciones de redes de Acceso, además es compatible con el estándar G.657.D.

### 2.3.2 DISEÑO DE LA RED TRONCAL

El diseño de la Red Troncal constituye el segmento de fibra comprendido entre la Oficina Central y el FDH<sup>8</sup>. Para el diseño de la red troncal tomamos como base el requerimiento de hilos de fibra que se requiere, para ello revisamos la Tabla 4, en la

<sup>7</sup> BLI: Bending loss insensitive

<sup>8</sup> FDH: Fiber Distribution Hub

que se indica que necesitamos mínimo 16 hilos. Considerando un futuro crecimiento de la red y que por otro lado las fibras vienen en múltiplos de 12, lo más adecuado es utilizar una fibra de 24 hilos.

### 2.3.2.1 Tendido de Fibra

El tendido de fibra para este segmento va a ser aéreo, con vanos promedio de 40 de metros (entre poste y poste). Los tipos de fibra comúnmente utilizados para instalación aérea es la de figura 8 (ver Figura 2.23) y ADSS<sup>9</sup> (ver Figura 2.24), por su facilidad de instalación y bajo costo.



**Figura 2.23: Cable de Fibra Óptica Figura 8** <sup>[29]</sup>



**Figura 2.24: Cable de Fibra Óptica ADSS** <sup>[30]</sup>

El cable de fibra óptica de figura 8 posee una guía metálica comúnmente de acero sobre la cual se soporta el peso del cable, es de fácil instalación pero requiere de

<sup>9</sup> ADSS: All-Dielectric Self-Supporting

aterriaje. El cable ADSS es completamente dieléctrico por lo que a diferencia del cable figura 8 no requiere de aterriaje, esto da una diferencia en costos al momento de elegir entre un tipo u otro. En base a este análisis, seleccionamos el cable ADSS para nuestra implementación.

La fibra que requerimos para nuestra implementación es tipo ADSS de 24hilos G.652.D

También se debe tomar en cuenta las reservas de 20 o 25 metros cada 300 metros, en caso de cortes esta reserva permite recorrer la fibra para volver a fusionar. Para el presente proyecto se requiere 14km de fibra, lo que implica mantener 47 reservas, necesitando un adicional de 940 metros de fibra.

Para estimar el número de juegos de herrajes se considera, que se debe colocar uno cada 40m, que es la distancia promedio entre postes, entonces calculamos el número de juegos de herrajes dividiendo 14000m para 40m, obteniendo 350 juegos de herrajes para instalar la fibra.

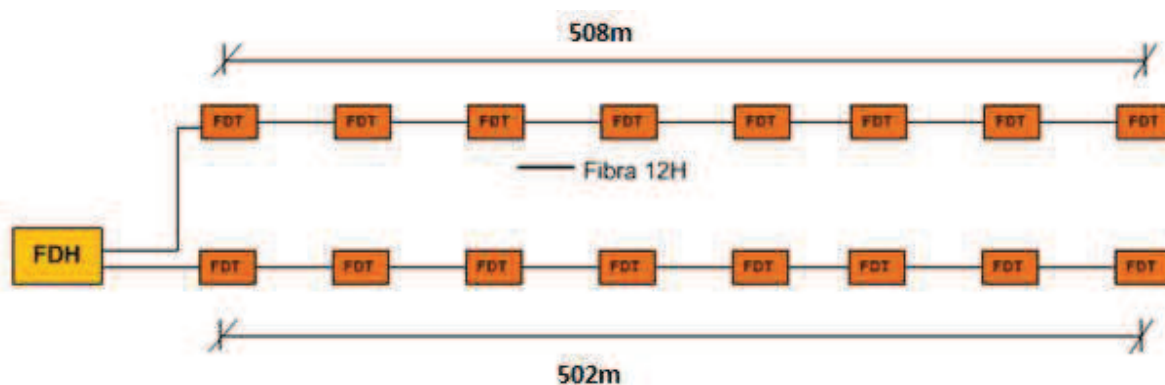
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Cantidad de Fibra	14000m
Fibra para reservas	940m
Total de Fibra	14940m
Número de reservas	47
Juegos de Herrajes	350

Tabla 2.15: Requerimientos para la Red Troncal



Para el diseño se parte de que cada caja debe alimentar a 32 clientes, por lo tanto para 512 clientes se necesita 16 cajas.

En base a la herramienta de medición (ODÓMETRO), se calculó una longitud de fibra óptica de 1010 metros, considerando que se va a tender la fibra en las dos aceras.



**Figura 2.26: Diagrama de Distribución de FDH y FDT**

Al FDH ingresará la fibra de 24 hilos, y conforme se muestra en la Figura 2, una fibra de 12 hilos alimentará a 8 cajas y otra fibra de 12 hilos alimentará otras 8 cajas cuyas distribuciones y medidas exactas entre cada caja se muestra detalladamente en el ANEXO I.

### 2.3.3.1 Fiber Distribution Hub

El primer elemento que se debe seleccionar es el FDH, el cual nos permite alojar empalmes, splitters y es funcional para administrar la Fibra Óptica. A este elemento llega la fibra de 24 hilos desde la Cabecera y a su vez saldrá dos fibras de 12 hilos para distribuir a las cajas. En nuestro caso nos permitirá alojar las fusiones entre la fibra de 24 hilos y la fibra de 12 hilos.



**Figura 2.27: FDH tipo pedestal <sup>[31]</sup>**

En la Figura 2.27 se puede apreciar un FDH tipo pedestal que se acopla a nuestras necesidades. En la Tabla 2.16 se muestra un esquema sencillo de la distribución de la fibra de 24 hilos, la misma sigue un código de colores que identifica a los 12 hilos de fibra, cada grupo de doce hilos de fibra es almacenado en un tubo que también sigue el mismo código de colores.

FIBRA 24H												
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12

**Tabla 2.16: Distribución de Fibra de 24 hilos de acuerdo al código de colores**

En este caso la fibra de 24 hilos está formado por dos tubos uno de color azul y otro de color naranja, cada uno contiene 12 hilos de fibra.

En el FDH se fusionará el grupo de fibras del tubo color azul a la primera fibra de 12 hilos y alimentará a las primeras 8 cajas, mientras que el grupo de fibras del tubo

color naranja se fusionará con la segunda fibra de 12 hilos que alimentará a las cajas desde la 9 hasta la 16.

FIBRA 24 HILOS		FIBRA 12HILOS		FIBRA 12HILOS	
DESDE CO		ALIMENTA CAJAS 1 A 8		ALIMENTA CAJAS 9 A 16	
1	1		1		
2	2		2		
3	3		3		
4	4		4		
5	5		5		
6	6		6		
7	7		7		
8	8		8		
9	9		9		
10	10		10		
11	11		11		
12	12		12		
13	1			1	
14	2			2	
15	3			3	
16	4			4	
17	5			5	
18	6			6	
19	7			7	
20	8			8	
21	9			9	
22	10			10	
23	11			11	
24	12			12	

Tabla 2.17: Correspondencia de fusiones fibra de 24 hilos con fibras de 12 hilos

En la Tabla 2.17, se ha elaborado un cuadro sencillo que indica la correspondencia para realizar las fusiones entre la fibra de 24 hilos y las fibras de 12 hilos. La información indicada en la tabla 19 es importante y se debe entregar a la persona encargada de realizar las fusiones.























FIBRA 12H (1)				FIBRA 12H (2)			
1		A1	CAJA1/FDT1	1		B1	CAJA9/FDT9
2		A2	CAJA2/FDT2	2		B2	CAJA10/FDT10
3		A3	CAJA3/FDT3	3		B3	CAJA11/FDT11
4		A4	CAJA4/FDT4	4		B4	CAJA12/FDT12
5		A5	CAJA5/FDT5	5		B5	CAJA13/FDT13
6		A6	CAJA6/FDT6	6		B6	CAJA14/FDT14
7		A7	CAJA7/FDT7	7		B7	CAJA15/FDT15
8		A8	CAJA8/FDT8	8		B8	CAJA16/FDT16
9		A9	RESERVA	9		B9	RESERVA
10		A10	RESERVA	10		B10	RESERVA
11		A11	RESERVA	11		B11	RESERVA
12		A12	RESERVA	12		B12	RESERVA

Tabla 2.18: Correspondencia de fusiones fibras de 12 hilos con cajas de distribución FDT

En la Tabla 2.18 se indica la correspondencia de fusiones entre la primera fibra de 12 hilos y las cajas de la 1 a la 8, también la correspondencia de los hilos de la segunda fibra de 12 hilos con las cajas de distribución de la 8 a la 16

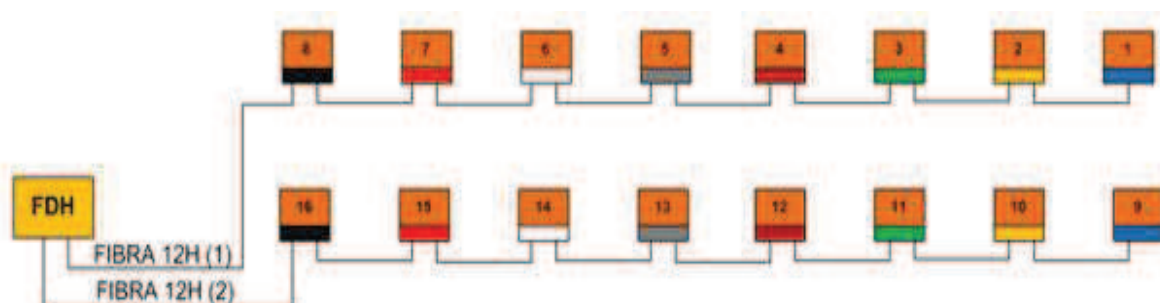


Figura 2.28: Diagrama de Distribución de FDH y FDT



En la Figura 2.28, se muestra un diagrama esquemático que representa la información de la Tabla 2.18 en forma gráfica.

En la Tabla 2.19 se enumera el material necesario para la implementación de la red de distribución.

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>
17	Obras civiles, para pedestales y conectividad a pozos
17	Pedestales
16	Splitters 1:32 no conectorizados
512	Pigtail SC/APC
1100m	Instalación de Fibra optica
24	Fusiones en FDH
16	Fusiones en FDTs
512	Fusiones de pigtail a splitters 1:32

Tabla 2.19: Material necesario para implementar la red de distribución

#### 2.3.4 ÚLTIMA MILLA

Para atender al cliente desde las cajas de distribución o FDT, se requiere de fibra óptica para realizar la acometida, por otro lado se necesita un equipo terminal conocido como micronodo el mismo que fue revisado en el capítulo 1.

En cuanto a la fibra óptica requerida para las acometidas hacia el cliente la recomendación es el tipo de fibra G.657.A, por guardar compatibilidad con la fibra G.652.D utilizada en la red de distribución. Este tipo de fibra permite un mayor radio de curvatura, y es ideal para acometidas de redes de acceso. Se estima que las acometidas en promedio serán de 100m aproximadamente para cada límite.

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>
Micronodos	512u
Fibra optica G.657.A 2H	51200 m

Tabla 2.20: Equipamiento necesario para Acometidas al cliente

En la Tabla 2.20 se detalla los equipos y cantidad de fibra óptica G.652.A de dos hilos necesarios para las acometidas hacia los clientes.

Es importante mencionar que se puede instalar un micronodo para alimentar a un Edificio, como se puede apreciar en la Figura 1.29 y Figura 1.30, esto permite optimizar el uso de los micronodos y por ende la inversión realizada en equipos terminales. Es importante mencionar que los micronodos para alimentar a Edificios no son los mismos que se instalan directamente al cliente, la principal diferencia es que poseen un nivel de salida de RF mayor a efectos de distribuir la señal dentro del Edificio o Conjunto.

### **2.3.5 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS <sup>[7]</sup>**

Como parte del proceso de planificación del proyecto se requiere contemplar las herramientas que permitirán implementar la red y su posterior mantenimiento. También se debe tomar en cuenta el equipo de medición que permitirá realizar pruebas de verificación de la red, como su activación y su posterior mantenimiento. Cuando se ha terminado el diseño de la red, el ciclo de vida de la red consiste en tres fases, estas son: construcción, activación y mantenimiento.

### 2.3.5.1 Equipamiento y Herramientas para la fase de Construcción

La etapa de construcción es la que más trabajo requiere, y la más importante a fin de a futuro realizar un fácil mantenimiento de la red. Realizar pruebas de verificación de la red durante el proceso de construcción e instalación permite reducir el tiempo y costo de diagnóstico de problemas como fusiones con atenuación alta, conectores sucios o dañados, además se debe tomar en cuenta el tiempo de interrupción del servicio.

En la fase de construcción se recomienda una prueba sin clientes conectados, para evaluar la planta externa incluyendo cada elemento, verificar que las pérdidas presentadas por la red se encuentren dentro del presupuesto de pérdidas, evita retrasos y reparaciones una vez implementada la red.

Los parámetros que se evalúan son las Pérdidas de la Fibra extremo a extremo y se compara con el presupuesto de pérdidas proyectado, se verifica la limpieza de los conectores, pérdidas de inserción de los elementos IL<sup>12</sup>, pérdida óptica de retorno ORL<sup>13</sup>. Como parte de esta etapa de pruebas se recomienda documentar las pruebas realizadas.

Los equipos que se requieren para esta etapa son la fusionadora, OTDR, sonda de inspección, kits de limpieza. Las herramientas para trabajar con fibra son la cortadora, peladora, tijeras.

---

<sup>12</sup> Insertion Loss

<sup>13</sup> ORL: Optical Return Loss

#### 2.3.5.1.1 Fusionadora

La fusionadora (ver Figura 2.29) es el principal equipo para trabajar con fibra óptica, su principal función es realizar empalmes para dar continuidad en un enlace de fibra óptica. En nuestro caso nos permitirá fusionar cada hilo de fibra con el splitter de 1:32, y las salidas del splitter con los pigtails.

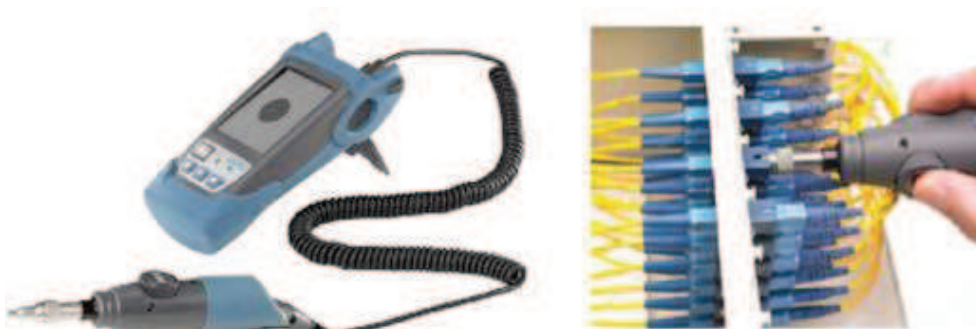


**Figura 2.29: Fusionadora** <sup>[32]</sup>

Existe una variedad de fusionadoras en el mercado, las cuales en función de la calidad varían en su costo. La recomendación es utilizar una fusionadora que utilice tecnología de Alineamiento de Núcleo, por permitir fusiones de bajas pérdidas y estables.

#### 2.3.5.1.2 Sonda de Inspección de Conectores

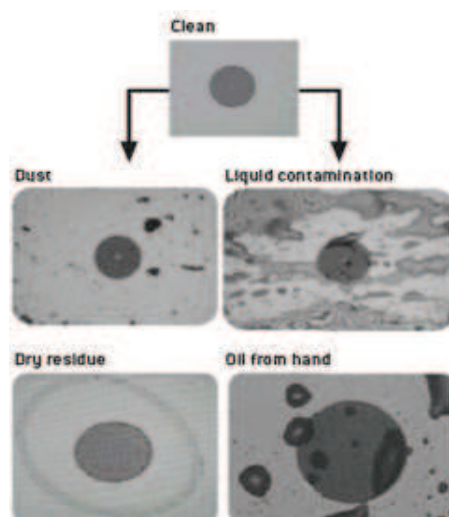
Este equipo permite verificar la limpieza de los conectores (ver Figura 2.30), distribuidores de fibra, pigtails. Básicamente consiste en una cámara que permite verificar el estado del conector.



**Figura 2.30: Sonda de Inspección de Conectores** <sup>[33]</sup> y <sup>[7]</sup>

En la Figura 2.30 se muestra como se aprecia un conector con varios tipos de contaminantes. La verificación de la limpieza de los conectores es de vital importancia para el funcionamiento del sistema, y evitará contratiempos cuando la red se encuentre operativa.

La validación de la limpieza de los conectores puede considerarse como un criterio para la aceptación de la red, a efectos de garantizar su calidad. Puede generarse un registro de la verificación de la limpieza de los conectores, y esta documentación entregarse como parte del proyecto, como respaldo de haber realizado este proceso de verificación.



**Figura 2.31: Imágenes con Sonda de Inspección de Conectores** <sup>[7]</sup>

### 2.3.5.1.3 OTDR (Optical Time Domain Reflectometer)

El OTDR es el equipo que permite validar la calidad de un enlace de fibra óptica, utilizando principios de difusión y retroreflexión. Provee información sobre la reflexión, atenuación y pérdidas a lo largo del enlace.

En la Figura 2.32 se puede apreciar la traza de un OTDR tradicional, la misma que debe ser interpretada para determinar los elementos propios de la red de fibra.

Con la finalidad de obtener una adecuada medición con el OTDR se debe configurar varios parámetros como son: el índice de refracción, el ancho de pulso, distancia, la longitud de onda y el tiempo de adquisición.

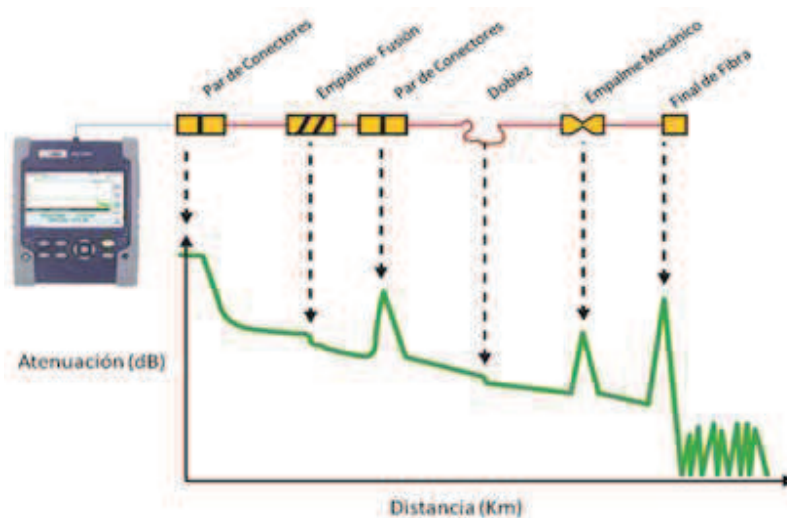
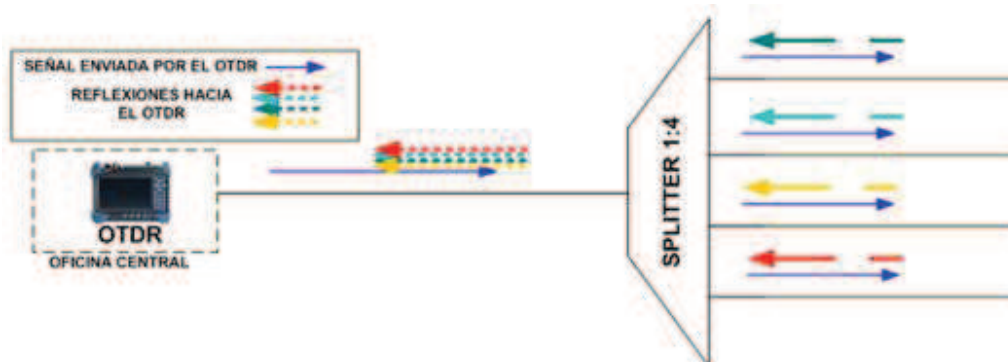


Figura 2.32: Traza de un OTDR <sup>[34]</sup>

Para el caso de nuestra red se requiere realizar mediciones con el OTDR para certificar la calidad del enlace de fibra óptica. Para nuestro caso particular las mediciones deben ser realizadas desde el lado del cliente hacia la oficina central,

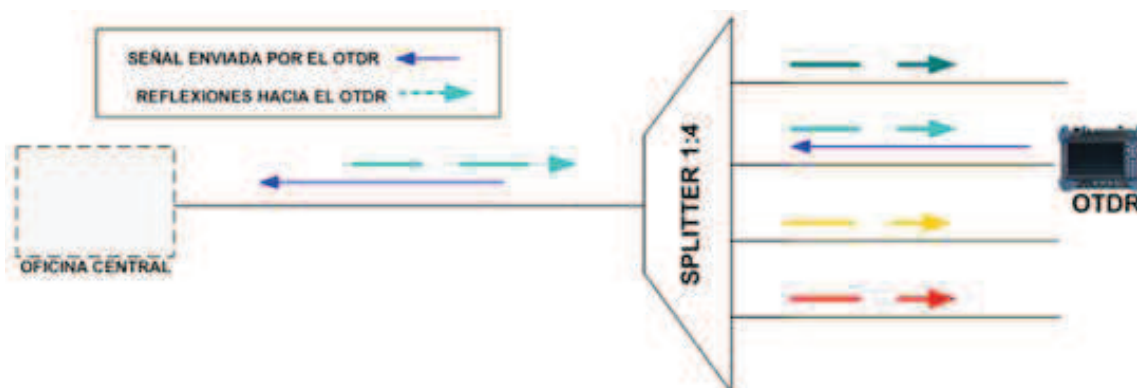
para obtener una caracterización de la red (Figura 2.32). Esto se debe a que generalmente las mediciones con el OTDR de un hilo de fibra, se realiza extremo a extremo a través del hilo de fibra.

En el caso de una red tipo PON en la mitad se encuentra uno o varios elementos como son los splitters. Para el caso específico de este proyecto con un splitter 1:32, de tal manera que si realizamos la medición en el sentido desde la Oficina Central hacia el cliente (ver Figura 2.33) al pasar la señal por el splitter, la misma se dividirá en 32 señales, y se tendrán 32 reflexiones de la señal que regresarán al OTDR, produciéndose ruido debido a las diferentes reflexiones de las diferentes señales.



**Figura 2.33: Medición con OTDR en Sentido de la Oficina Central hacia el Cliente**

Si medimos en sentido contrario desde una de las salidas del splitter 1:32 hacia la Oficina Central, la señal pasará el splitter y encontrará un solo camino hacia la Oficina Central, las reflexiones que detecta el OTDR corresponden al segmento de fibra entre el OTDR y el Splitter más el segmento de fibra entre la Oficina Central y el Splitter (ver Figura 2.34), simulando un camino extremo a extremo y obteniendo una medición real.

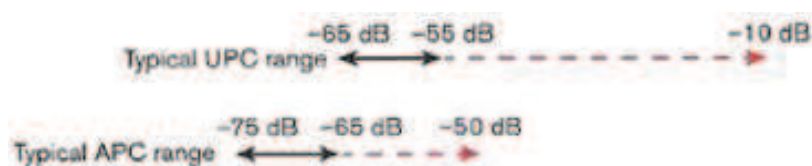


**Figura 2.34: Medición con OTDR en Sentido desde el lado del Cliente hacia la Oficina Central**

La Pérdida de Retorno Óptica es la relación entre la potencia enviada y la potencia reflejada. Cuando la luz es inyectada dentro de un componente de la fibra óptica, tal como un conector o multiplexor o la fibra propiamente, una parte de la energía es transmitida, otra parte es absorbida y otra parte es reflejada. El total de la luz que regresa es llamada ORL. La ITU-T G983.1 recomienda que el ORL sea mayor o igual a 32dB.

Se debe tomar en cuenta este parámetro para tener mediciones adecuadas con el OTDR, los proveedores de equipos como EXFO recomiendan utilizar conectores con pulido APC, estos conectores típicamente presentan un ORL entre 65dB y 75 dB, y cuando el conector presenta alguna suciedad disminuye a 50dB aproximadamente. Mientras que los conectores con pulido UPC presentan un valor típico de entre 55dB a 65 dB pero en presencia de alguna suciedad en el conector el valor se reduce a 10dB. En la Figura 2.35, se muestra el ORL para conectores con pulido APC y UPC, en color rojo se indica los valores típicos cuando el conector está dañado sucio <sup>[19]</sup>.





**Figura 2.35: Pérdida de Retorno Óptica típica para conectores APC y UPC <sup>[20]</sup>**

Es importante tomar en cuenta este parámetro, pues en caso de tener una reflexión muy fuerte puede producir que el OTDR quede en una zona muerta, pudiendo no detectar eventos durante ese tiempo y por ende obteniendo una mala medición con el OTDR.

Con el objetivo de reducir la carga de realizar varias mediciones e interpretar cada una de ellas con un OTDR tradicional en este tipo de redes, el proveedor de este tipo de equipos EXFO ha desarrollado una aplicación llamada iOLM<sup>14</sup> Intelligent Optical Line Mapper, que permite caracterizar el enlace como un diagrama de bloques que identifica a cada elemento de la red como son: los splitters, conectores, atenuaciones, distancia, curvaturas entre otros, como se puede ver en la Figura 2.36.

Para validar la calidad del enlace de fibra óptica, es necesario realizar las mediciones con el OTDR que nos permitan obtener información sobre la distancia del enlace, pérdida del enlace, ORL<sup>15</sup>, pérdida de conectores, splitters, empalmes mecánicos y de fusión.

<sup>14</sup> iOLM Intelligent Optical Link Mapper

<sup>15</sup> ORL Optical Return Loss

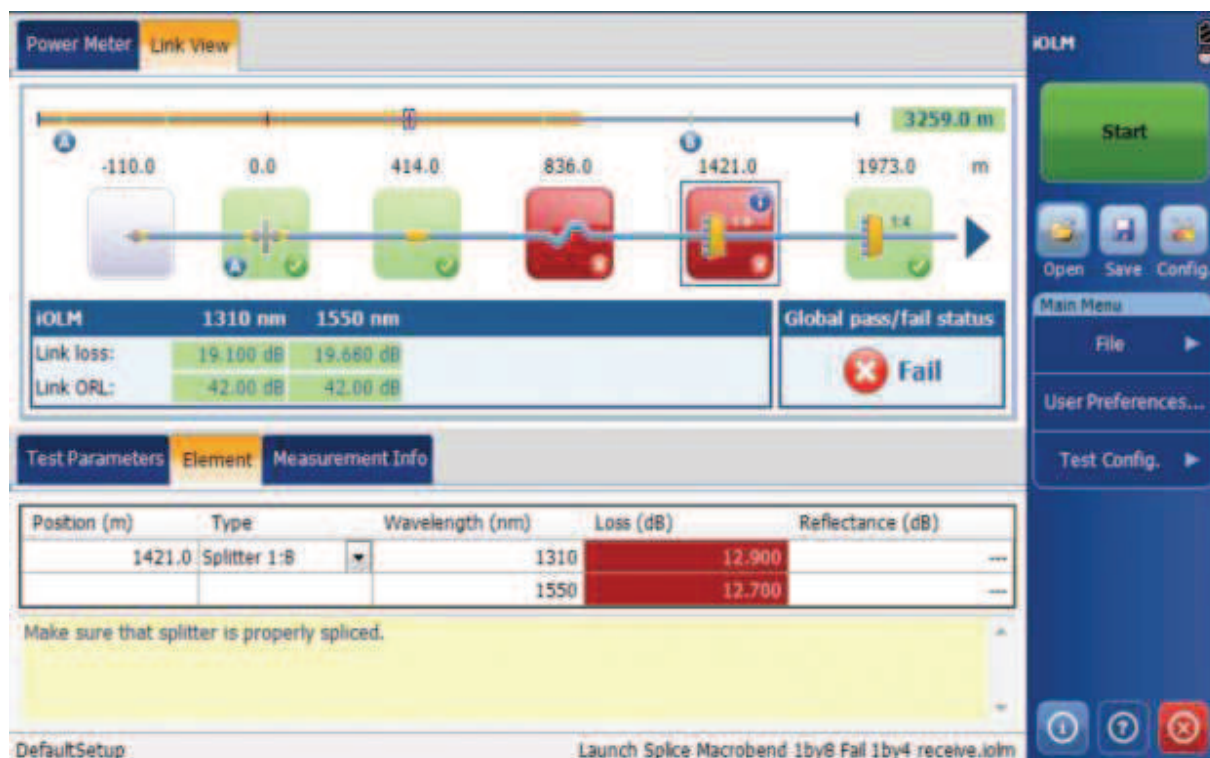


Figura 2.36: IOLM Intelligent Optical Line Mapper <sup>[7]</sup>

El resultado de la pérdida total del enlace obtenido con el OTDR comparado con el presupuesto de pérdidas estimado nos permitirá validar que el sistema se encuentra dentro del rango de operatividad. Como criterio de aceptación se puede definir valores máximos para las pérdidas obtenidas en los empalmes mecánicos, empalmes de fusión, splitters. Los valores referenciales los podemos obtener de las hojas de especificaciones de los fabricantes donde definen valores típicos y valores máximos, como referencia podemos tomar los valores máximos, si algún elemento supera un valor máximo definido por el fabricante se deduce que el elemento o fusión requiere ser revisado. De igual manera toda la documentación obtenida puede ser registrada y documentada a efectos de tener un sustento de la verificación de la red.

Una característica importante que debe ser tomada en cuenta al momento de adquirir el OTDR, es permitir realizar mediciones sobre fibra activa, puesto que lo tradicional es realizar mediciones sobre la fibra con el enlace fuera de servicio. Esto es importante puesto que en caso de requerir realizar alguna medición no podemos

darnos el lujo de interrumpir el servicio con la finalidad de realizar la medición. En este sentido se debe adquirir un equipo que permita realizar una medición en una longitud de onda que no sea utilizada por los receptores para no echar a perder los equipos de recepción como el OTDR.

#### *2.3.5.1.4 Kit de Limpieza*

Con el objetivo de realizar un trabajo adecuado sobre la fibra óptica se requiere utilizar limpiadores de conectores tipo lápiz, hisopos, toallitas, soluciones líquidas ( Figura 2.37)



**Figura 2.37: Kit de Limpieza de Fibra Óptica** <sup>[35]</sup>

#### *2.3.5.1.5 Kit de Herramientas*

Para trabajar con fibra óptica se necesita de herramientas especiales como son la cortadora y peladora (Figura 2.38).



**Figura 2.38: Kit de Herramientas** <sup>[35]</sup>

### 2.3.5.2 Equipamiento y Herramientas para la fase de Activación

Para esta etapa particularmente se requiere de un Medidor de Potencia (Figura 2.39), es importante que el equipo permita medir la potencia en las longitudes de onda que utilizan los equipos (1550nm, 1590nm).



**Figura 2.39: Medidor de Potencia** <sup>[36]</sup>

### 2.3.5.3 Equipamiento y Herramientas para la fase de Mantenimiento.

Para la etapa de mantenimiento se requieren todos los equipos antes descritos. Vale la pena mencionar nuevamente que para el caso del OTDR este debe permitir realizar mediciones sobre una red activa, dado que lo tradicional es que las mediciones se realicen sobre fibras inactivas. Para ello se debe verificar una longitud de onda que no se esté empleando en el enlace como por ejemplo 1625nm, y por otro lado se debe verificar que los receptores ópticos no reciban esa longitud de onda. El no tomar en cuenta este detalle puede dañar los equipos receptores como el OTDR.

En la Tabla 2.21 se puede apreciar los equipos y herramientas necesarias para este proyecto.

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>
1	Fusionadora, alineamiento de núcleo
1	OTDR con iOLM y para fibra activa
1	Kit de herramientas para fibra óptica incluye cortadora
1	Medidores de Potencia (1550nm, 1590nm)
1	Sonda de Inspección de Conectores
2	Kit de Limpieza

Tabla 2.21: Equipos y herramientas necesarias

## **CAPÍTULO III**

### **PRESUPUESTO REFERENCIAL**

En este capítulo se efectuará una proyección de los costos requeridos para una potencial implementación del proyecto. Para este estudio se desglosará el proyecto en las siguientes partes: Planta Interna; Planta Externa; Equipos Terminales; Equipos de Medición; Herramientas; Honorarios del Equipo del Proyecto y Adicionales (imprevistos, impuestos, gastos administrativos, entre otros).

#### **3.1 PRESUPUESTO DE PLANTA INTERNA**

Con relación al equipamiento activo que se requiere en la Planta Interna, se realizó en el capítulo anterior una comparación técnica de las soluciones de dos proveedores que son: Commscope y Aurora.

Considerando como Planta Interna los equipos que se encuentran en la Cabecera, estos corresponden al Transmisor, Amplificador EDFA, WDM's, Bastidor de Fibra. Adicionalmente se encuentran los equipos que ya dispone la operadora como son el CMTS y equipamiento de procesamiento de video (receptores satelitales, moduladores, combinadores entre otros).

##### **3.1.1 EQUIPOS ACTIVOS**

Para determinar la solución que presenta mayores ventajas se realizó la comparación en base al costo, consumo de energía y espacio que se requiere para la instalación. El resumen de la comparación se puede apreciar en la Tabla 2.13. En base a estos datos se concluye que el proveedor Aurora presenta mayores ventajas

a nivel técnico, mientras que Commscope a nivel de costo es algo más conveniente. Sin embargo la diferencia en costos no es contundente a favor de Commscope por tal razón se selección a Aurora como la opción para una futura implementación.

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo total</b>
1	Transmisor	\$ 10.400,00	\$ 10.400,00
2	Amplificadores EDFA	\$ 10.110,00	\$ 20.220,00
1	Chasis para receptores	\$ 560,00	\$ 560,00
8	Tarjetas Receptoras Duales	\$ 890,00	\$ 7.120,00
1	Estantería para WDM	\$ 200,00	\$ 200,00
8	WDM 1550/1590nm	\$ 270,00	\$ 2.160,00
1	Splitter 1:2 conectorizado	\$ 50,00	\$ 50,00
2	Power Supply	\$ 650,00	\$ 1.300,00
			\$ 42.010,00

Tabla 3.1: Costo Referencial Equipos Commscope <sup>[8]</sup> (Fuente Commscope)

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
1	Transmisor	\$ 5.160,00	\$ 5.160,00
1	Amplificadores EDFA	\$ 19.800,00	\$ 19.800,00
1	Chasis	\$ 500,00	\$ 500,00
4	OR Diplexer/Receiver	\$ 3.900,00	\$ 15.600,00
2	Power Supply	\$ 1.320,00	\$ 2.640,00
1	Módulo de Gestión	\$ 680,00	\$ 680,00
			\$ 44.380,00

Tabla 3.2: Costo Referencial Equipos Aurora <sup>[9]</sup> (Fuente Aurora)

En las Tabla 3.1 y Tabla 3.2, se presenta el costo de la solución de Planta Interna con equipos Commscope y Aurora respectivamente.

### 3.1.2 ACCESORIOS

Como parte de la solución de Planta Interna se requiere accesorios adicionales que se detallan a continuación:

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
1	ODF 24 puertos incluye 24 pigtails	\$ 200	\$ 200
32	Patchcords SC/APC-SC/APC 3m	\$ 30	\$ 960
2	Racks 19	\$ 150	\$ 300
			\$ 1.460

Tabla 3.3: Costos Referenciales de Accesorios para Planta Interna

### 3.1.3 SERVICIOS

En el diseño de la Planta Interna se requiere realizar adecuaciones eléctricas como la instalación de regletas eléctricas en los racks, aterrizaje de racks y equipos. En el caso del Distribuidor de Fibra Óptica es necesario reflejar la fibra de 24 hilos al mismo, para ello se necesita 24 fusiones.

En el caso se servicios contratados a terceros, lo recomendable para el cliente es manejar precios fijos, pues de esta manera se paga al contratista por obra y no por el tiempo que le lleva en realizar el trabajo. En base a este criterio mejoran los costos de los servicios de acuerdo a lo detallado en la Tabla 3.4.



<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
1	Adecuaciones Eléctricas	\$ 300	\$ 300
2	Instalación de Racks incluye instalación de ODF	\$ 150	\$ 300
32	Cableado	\$ 1	\$ 32
64	Identificación de Cables	\$ 1	\$ 64
24	Fusión Fibra optica 24 hilos a pigtail de ODF de 24 puertos	\$ 5	\$ 120
			\$ 816

Tabla 3.4: Costos Referenciales de Servicios para Planta Interna

### 3.1.4 EQUIPOS DE RESPALDO

Es necesario considerar que se requiere para la parte operativa equipos de respaldo, que se detallan en la Tabla 3.5

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
1	Transmisor	\$ 5.160,00	\$ 5.160,00
1	Chasis	\$ 500,00	\$ 500,00
1	OR Diplexer/Receiver	\$ 3.900,00	\$ 3.900,00
1	Power Supply	\$ 1.320,00	\$ 1.320,00
1	Módulo de Gestión	\$ 680,00	\$ 680,00
			\$ 11.560,00

Tabla 3.5: Costos Referenciales de Equipos de Respaldo

No se considera un amplificador EDFA dentro del equipo de respaldo por ser un equipo sumamente robusto.

### 3.1.5 COSTOS REFERENCIALES PARA LA PLANTA INTERNA

Finalmente en la Tabla 3.6 se resume el costo total asociado a la Planta Interna, detallando los principales rubros.

<b>Detalle</b>	<b>Costo</b>
Equipos	\$ 44.380,00
Accesorios	\$ 1.460
Servicios	\$ 816
Equipos de Respaldo	\$ 11.560,00
	\$ 58.216,00

Tabla 3.6: Costo Total Planta Interna

### 3.2 PRESUPUESTO PARA PLANTA EXTERNA.

Para el desarrollo del presupuesto referencial de la Planta Externa se dividirá la misma en tres secciones a efectos de tener una visión más fina de los elementos involucrados. Estas secciones corresponden a la Red Troncal, Red de Distribución y Última Milla.

### 3.2.1 PRESUPUESTO PARA LA RED TRONCAL

Para la Red Troncal se realizó el dimensionamiento considerando que se requiere atender 512 usuarios por lo cual se necesitan un mínimo de 16 hilos de fibra (ver Tabla 2.14). Se asume que las empresas operadoras ya disponen de la Red Troncal de Fibra Óptica y que disponen de hilos libres. Sin embargo desde el punto de vista técnico se analizó los dos tipos de fibra óptica comúnmente utilizados. Para el presupuesto se ha considerado tomar en cuenta este rubro para conocer qué peso tiene en el valor total del proyecto.

<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Detalle</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
14940	metro	Fibra de 24 hilos ADSS G.652.D	\$ 0,40	\$ 5.976,00
350	u	Juegos de Herraje para fibra óptica ADSS	\$ 17,00	\$ 5.950,00
14950	metro	Instalación de metro de fibra óptica de 24 hilos	\$ 0,85	\$ 12.707,50
				\$ 24.633,50

Tabla 3.7: Costo Referencial Para la Red Troncal

En la Tabla 3.7 se muestra los costos asociados a la Red Troncal.

### 3.2.2 PRESUPUESTO PARA LA RED DE DISTRIBUCIÓN

La Red de Distribución contempla el segmento de fibra comprendido entre el FDH (Fiber Distribution Hub) y el FDT (Fiber Distribution Terminal), para mayor detalle ver la Figura 2.20.

En la tabla 3.8 se puede apreciar todo lo requerido para la implementación de la red distribución.

<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
17	u	Obras civiles, para pedestales y conectividad a pozos	\$ 150,00	\$ 2.550,00
17	u	Pedestales incluye accesorio para administrar fibra óptica	\$ 70,00	\$ 1.190,00
16	u	Splitters 1:32 no conectorizados	\$ 30,00	\$ 480,00
512	u	pigtail SC/APC	\$ 1,50	\$ 768,00
1100	metro	Instalación de fibra óptica	\$ 0,85	\$ 935,00
24	u	Fusiones en FDH incluye prueba de OTDR	\$ 7,00	\$ 168,00
16	u	Fusiones en FDTs incluye prueba de OTDR	\$ 7,00	\$ 112,00
512	u	Fusiones de pigtail a splitters 1:32	\$ 3,50	\$ 1.792,00
				\$ 7.995,00

Tabla 3.8: Costo Referencial para la Red de Distribución

### 3.2.3 PRESUPUESTO PARA LA ÚLTIMA MILLA

La Última Milla contempla el segmento de fibra óptica comprendido entre el FDT (Fiber Distribution Terminal) y la localidad del cliente, para mayor detalle ver la Figura 2.20.

En este apartado se realiza el presupuesto para la instalación de 512 clientes, en este sentido se va a realizar la comparación de dos alternativas y se determinará cuál es la más eficiente económicamente. La primera alternativa consiste en instalar

un equipo micronodo individualmente a cada cliente, la segunda alternativa consiste en considerar que el sector de estudio está conformado mayoritariamente por edificios, los mismos que ya disponen internamente de un cableado coaxial el cual, se puede aprovechar para instalar internamente únicamente un micronodo para alimentar a todo el edificio.

### 3.2.3.1 Costo referencial de Última Milla empleando un micronodo por cada cliente

En la Tabla 3.9, se enumeran todos los equipos y accesorios necesarios para realizar 512 instalaciones, se incluye 8 micronodos adicionales para respaldo y se estima utilizar en promedio 100m de cable por acometida.

<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
520	u	Equipos Terminales Micronodo+Accesorios	\$ 160,00	\$ 83.200,00
51200	m	Fibra optica G.657.A 2H	\$ 0,30	\$ 15.360,00
51200	u	Instalación de fibra óptica de 2 hilos	\$ 0,40	\$ 20.480,00
512	u	Instalación de Equipos al cliente	\$ 10,00	\$ 5.120,00
				\$ 124.160,00

Tabla 3.9: Costo de Última Milla considerando un micronodo por cada cliente

### 3.2.3.2 Costo Referencial de Última Milla empleando un Micronodo por Edificio

Para realizar la proyección de costos partimos del hecho de tener mayoritariamente Edificios en el sector de la Avenida República del Salvador, y la mayoría de ellos

cuentan con cableado interno de tipo coaxial. En base a la Tabla 2.14, se determinó 26 Edificios en el sector, motivo de este estudio.

En la Tabla 3.10, se detalla lo requerido para la implementación de un Micronodo por cada edificio, para ello se incluye 10 micronodos adicionales para respaldo, 15 micronodos normales para casos particulares, en los que se requiera instalar el micronodo directamente en la localidad del cliente. Se considera fibra óptica e instalación de 41 acometidas, de donde 26 corresponden a micronodos en edificios y 15 a casos en los que se requiera instalar directamente el micronodo en la vivienda u oficina del cliente.

<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
36	u	Equipos Terminal Micronodo+Accesorios para Edificio	\$ 250,00	\$ 9.000,00
15	u	Equipo Terminal Micronodo SDU	\$ 160,00	\$ 2.400,00
5000	m	Fibra optica G.657.A 2H	\$ 0,30	\$ 1.500,00
5000	u	Instalación de fibra óptica de 2 hilos	\$ 0,40	\$ 2.000,00
41	u	Instalación de Equipos al cliente	\$ 10,00	\$ 410,00
				\$ 15.310,00

Tabla 3.10: Costo de Última Milla empleando un micronodo por Edificio

### 3.2.3.3 Comparación Económica de Instalación de Última Milla

En base a la comparación de las Tabla 3.9 y Tabla 3.10, se puede apreciar que la solución más efectiva, tomando en consideración los costos, es la instalación de un Micronodo por Edificio y contemplando unos posibles casos puntuales en los que se

necesite instalar un Micronodo en la localidad del cliente. En base a lo citado anteriormente se tomará como referencia el valor de la Tabla 3.10 para determinar el presupuesto total que se requiere para el proyecto.

Esta solución técnicamente viable, pues como se puede ver en la Figura 1.29, dentro de los esquemas de Distribución de Última Milla, se puede utilizar un Micronodo particularmente diseñado para ser utilizado en la distribución de un edificio, este tipo de equipos son más costosos que aquellos que se los instala individualmente a los clientes, pues cuentan con las características técnicas como un nivel de salida RF mayor, que inclusive evita el tener un amplificador adicional. Este tipo de esquema está pensado para sitios como Edificios o conjuntos habitacionales donde se concentra varias viviendas u oficinas. En el caso de nuestra implementación se encuentra ubicado en un sector que predomina los Edificios por lo que es totalmente aplicable, sin que ello represente en una disminución de la calidad del servicio al cliente, por lo contrario se aprovecha que los departamentos y oficinas se encuentran cerca y se optimiza la utilización de un equipo micronodo con características especiales para atender este tipo de necesidad.

### 3.2.4 COSTOS REFERENCIALES PARA LA PLANTA EXTERNA

En la Tabla 3.11, se resume el total del presupuesto requerido para la planta Externa.

<b>Detalle</b>	<b>Costo</b>
Presupuesto Red Troncal	\$ 24.633,50
Presupuesto para Red Distribución	\$ 7.995,00
Presupuesto para Última Milla	\$ 15.310,00
	\$ 47.938,50

Tabla 3.11: Costo Total Planta Externa

### 3.3 PRESUPUESTO PARA EQUIPOS DE MEDICIÓN Y HERRAMIENTAS

En la Tabla 3.12, se puede apreciar los costos involucrados en Equipos de Medición y Herramientas. Es importante señalar que este rubro en muchos de los casos puede que no sea necesario, considerando que las operadoras ya cuentan con una red de fibra y por ende disponen de equipos de medición y herramientas para este fin. Sin embargo para efectos de éste estudio se incluye también este rubro.

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
1	Fusionadora, alineamiento de núcleo	\$ 14.000,00	\$ 14.000,00
1	OTDR con iOLM y para fibra activa	\$ 18.000,00	\$ 18.000,00
1	Kit de herramientas para fibra óptica incluye cortadora	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00
1	Medidores de Potencia (1550nm, 1590nm)	\$ 300,00	\$ 300,00
1	Sonda de Inspección de Conectores	\$ 2.200,00	\$ 2.200,00
2	Kit de Limpieza	\$ 300,00	\$ 600,00
			\$ 36.100,00

Tabla 3.12: Costo Total para equipos de Medición y Herramientas

### 3.4 PRESUPUESTO PARA EL DIRECTOR DE PROYECTO

Este rubro corresponde a los honorarios correspondientes por el Diseño y Gestión del Proyecto, para determinar este rubro se ha calculado las horas correspondientes



a las diferentes tareas involucradas en el proyecto y en base a ello se determina el costo total.

Tareas	Horas de trabajo
Conseguir Patrocinador del Proyecto	40h
Obtener Aprobaciones para iniciar el Proyecto	40h
Definir Interesados	8h
Establecer Criterios de Aceptación	16h
Definir Entregables del Proyecto	8h
Realizar el presupuesto de pérdidas del enlace	8h
Diseño de Solución de Planta Interna Commscope	8h
Diseño de Solución de Planta Interna Aurora	8h
Comparación de costo-eficiente de proveedores	8h
Lista Gruesa de Equipos y Materiales Requeridos para la Planta Interna	8h
Diseño Red Troncal	8h
Diseño Red de Distribución	8h
Selección de Equipamiento	8h
Lista de gruesa de equipos y herramientas	8h
Definir Presupuesto	40h
Diseño Ultima Milla	8h
Lista Gruesa de Equipos y Materiales Requeridos para la Planta Externa	8h
Selección de Equipos	8h
Documentación de Tareas	16h
Ajuste Fino de Equipos de Planta Interna	16h
Pruebas de verificación del servicio	8h
Entrega de documentación del proyecto	80h

Tabla 3.13: Tareas del Director de Proyecto por horas

En base a la información contenida en la Tabla 3.13, se muestran las tareas a realizarse y puede contabilizar un total de 368 horas empleadas para desarrollar el proyecto. Se considera un costo de \$15 por hora. En consecuencia los honorarios corresponden a \$ 5.520,00

### 3.5 PRESUPUESTO PARA ADICIONALES

En esta sección se considera un rubro adicional al presupuesto que cubre los siguientes aspectos: Imprevistos; Gastos administrativos; Impuestos y Otros. En la

Tabla 3.14, se puede apreciar los diferentes rubros involucrados en el proyecto, como criterio para determinar el rubro de adicionales calculamos el 10% del total de los gastos involucrados.

<b>Descripción</b>	<b>Rubro</b>
Presupuesto para Planta Interna	\$ 58.216,00
Presupuesto para Planta Externa	\$ 47.938,50
Presupuesto Equipos de Medición y Herramientas	\$ 36.100,00
Honorarios del Director de Proyecto	\$ 5.520,00
Total	\$ 147.774,50
10% del Total (Adicionales)	\$ 14.777,45

Tabla 3.14: Presupuesto para Adicionales

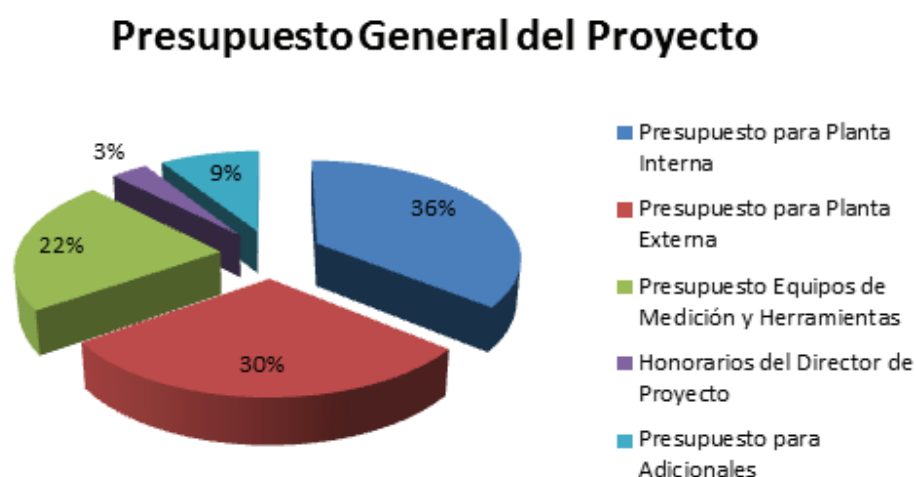
### **3.6 PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO COSIDERANDO TODA LA IMPLEMENTACIÓN**

En la Tabla 3.15, se muestra el Presupuesto Total requerido para la implementación del Proyecto.

<b>Descripción</b>	<b>Rubro</b>
Presupuesto para Planta Interna	\$ 58.216,00
Presupuesto para Planta Externa	\$ 47.938,50
Presupuesto Equipos de Medición y Herramientas	\$ 36.100,00
Honorarios del Director de Proyecto	\$ 5.520,00
Presupuesto para Adicionales	\$ 14.777,45
<b>Total</b>	<b>\$ 162.551,95</b>

Tabla 3.15: Presupuesto General del Proyecto

En la Figura 3.1, se puede apreciar los pesos de los diferentes rubros asociados al proyecto. Los costos por Planta Interna, el Presupuesto para Planta Externa y el Presupuesto para Equipos de Medición que son los de mayor peso.



**Figura 3.1: Diagrama de Pastel Presupuesto General del Proyecto**

Se deduce que si la operadora que va a implementar este proyecto cuenta con recursos en la Red Troncal y Equipos de Medición y Herramientas para fibra óptica, se puede ahorrar un 37% del costo total del proyecto.

### **3.7 PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO COSIDERANDO QUE SE CUENTA CON LA RED TRONCAL, EQUIPOS DE MEDICIÓN Y HERRAMIENTAS**

El objetivo de este proyecto es presentar una solución a empresas que ya cuentan con una red de acceso HFC, en ese sentido, se puede suponer que las empresas ya disponen de recursos en su Red Troncal de Fibra Óptica y cuentan con Equipos de Medición y Herramientas para trabajar con fibra óptica.

Item	Descripción	Rubro
1	Presupuesto para Planta Interna	\$ 58.216,00
2	Presupuesto para Planta Externa	\$ 23.305,00
3	Honorarios del Director de Proyecto	\$ 5.520,00
4	Presupuesto para Adicionales 10% de (1+2+3)	\$ 8.704,10
<b>Total</b>		<b>\$ 95.745,10</b>

Tabla 3.16: Presupuesto General del Proyecto Considerando que se cuenta con la Red Troncal, Equipos de Medición y Herramientas para Fibra Óptica

En la Tabla 3.16 se, visualiza el ahorro, al no considerar los dos rubros antes mencionados. También debe tomarse en consideración, bajo el escenario presentado en este estudio, las operadoras ya cuentan con clientes, lo que acelera el retorno de la inversión, por otro lado el sector que se seleccionó para este estudio presenta un alto poder adquisitivo.

En la Figura 3.2, se muestra los pesos referentes en cuanto a los costos que tiene cada rubro, sin considerar el rubro para la Red Troncal y Equipos de medición y Herramientas.

**Presupuesto General del Proyecto sin rubro para Red Troncal y Equipos de Medición y Herramientas.**

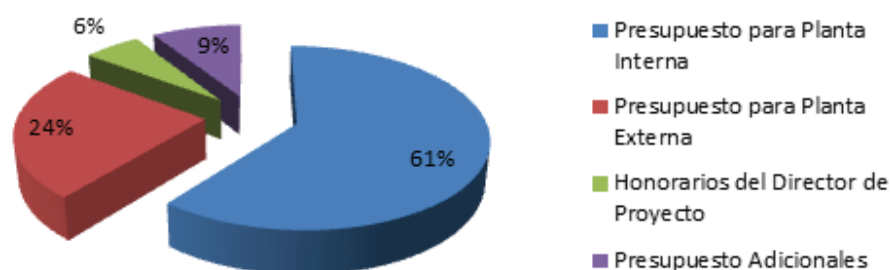


Figura 3.2: Grafico del Presupuesto General del Proyecto sin rubro para Red Troncal, Equipos de Medición y Herramientas

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

- ✓ El Municipio de Quito ha iniciado el soterramiento de cables aéreos de redes eléctricas y de telecomunicaciones en base a la ordenanza N° 0022 de Enero del 2011. El objetivo de soterrar los cables es reducir la contaminación visual en determinados sectores de la Capital, llevar un control del cableado de todas las operadoras y a su vez cobrar por el uso del espacio público.
- ✓ El soterramiento de los cables representa un beneficio para el ciudadano común al reducir la contaminación visual, sin embargo cabe señalar que existen otras maneras de contaminación visual como por ejemplo la publicidad.
- ✓ Para las operadoras de telecomunicaciones el soterramiento de cables representa un gasto, al tener que invertir nuevamente en el diseño y construcción de su red de acceso, para mantener sus actuales clientes. A diferencia de lo que sería un crecimiento de red para captar nuevos clientes que generarían nuevos ingresos.
- ✓ El cumplir con los cronogramas para soterrar los cables y evitar cortes de servicio, ha dejado a las operadoras poco tiempo para buscar nuevas alternativas tecnológicas, que permitan actualizar sus redes de acuerdo a las condiciones actuales y a la futura demanda.

- ✓ En el caso de las redes HFC, motivo de estudio de este proyecto, al soterrar los cables se debe hacer una adaptación tecnológica, puesto que todos los elementos de esta red como amplificadores, fuentes, taps son diseñados para ser instalados por postería.
- ✓ La Red RFoG es una solución de transición para mantener la inversión realizada en una red HFC, y pensar a futuro migrar a una nueva tecnología como GPON, donde la planta externa permite trabajar con esta nueva tecnología.
- ✓ La tecnología RFoG permite mantener tanto el Sistema de Soporte del Negocio como el Sistema de Soporte de Operación de una Red HFC.
- ✓ La tecnología RFoG permite a los operadores con redes HFC utilizar el mismo equipamiento de la cabecera como son: CMTS, video. Y de lado del cliente los Cable modem y decodificadores, por lo que no se requiere cambiar el Controlador de acceso condicionado, en el caso de los decodificadores.
- ✓ La tecnología RFoG que utiliza la fibra óptica como medio de transmisión se adapta sin problemas a la instalación por ductos, al presentar mejores condiciones mecánicas en comparación al cable coaxial, como por ejemplo el radio de curvatura.
- ✓ La tecnología RFoG permite tener una red pasiva de hasta 20km, lo que permite tener un ahorro de energía en comparación de una red HFC, la misma que tiene elementos activos y en ocasiones resulta complicado conseguir una fuente de energía. Por otro lado se consigue un ahorro de dinero al no tener que pagar a la EEQ por consumo de energía.

- ✓ En la tecnología RFoG, al tener únicamente elementos pasivos, y no tener que instalar amplificadores y fuentes se reduce el espacio físico que se necesita en un escenario de regeneración urbana, esto implica un ahorro al tener que realizar menos obras civiles para colocar pedestales únicamente para las cajas de distribución.
- ✓ Una red RFoG totalmente pasiva presenta un ahorro frente a una Red HFC tradicional al reducir considerablemente la carga operativa que presentan los equipos activos. En el caso de una red HFC el mantenimiento de la red es un trabajo diario, principalmente por los problemas debido a ruido en el camino de retorno, en el caso de una red RFoG los efectos de ruido se reducen al llegar con fibra a la localidad del cliente.
- ✓ La Red RFoG permite dos arquitecturas de red, una similar a la tradicional red HFC la que utiliza taps para distribuir la señal hacia los clientes, y otra mediante cajas de distribución similar a las redes FTTx. En caso de requerir migrar a futuro a una red tipo FTTx se debe implementar una arquitectura tipo dropped (Figura 1.28).
- ✓ Para implementar una red RFoG, pensando a futuro migrar a nuevas tecnologías como GPON, se debe seleccionar adecuadamente las longitudes de onda de operación del transmisor del micronodo. El seleccionar adecuadamente las longitudes de onda como se indica en la Tabla 1.3, permitirá a futuro implementar una red GPON e inclusive coexistir las dos tecnologías al mismo tiempo.
- ✓ Para el diseño de la Red RFoG se debe considerar que por cada hilo de fibra se puede atender hasta 32 clientes que requieran retorno como es el caso del servicio de Internet, para el servicio de televisión no existe ninguna restricción, debido a que el tráfico generado por ejemplo en

compras de eventos es mínimo comparado con el tráfico generado por los clientes.

- ✓ Los números de hilos necesarios para este proyecto se puede apreciar en la Tabla 2.14. Para el diseño de este proyecto se ha planteado el esquema mostrado en la Figura 2.1, y se ha realizado el presupuesto de pérdidas tanto para el camino de bajada como el de subida, el mismo que se presenta en las Tabla 2.2 y Tabla 2.5, este paso es necesario para garantizar la operatividad del sistema.
- ✓ Se ha realizado una comparación del equipamiento requerido para la Oficina Central entre dos proveedores de esta tecnología como son: Commscope y Aurora. Los parámetros analizados son el costo, espacio que utilizan los equipos y energía que consumen. La comparación se resume en la Tabla 2.13. Los equipos de Aurora permiten un ahorro de espacio y energía mismos que presentan un costo similar a los equipos de commscope, comparar Figura 2.9 y Figura 2.19.
- ✓ Para el segmento de fibra óptica entre la Oficina Central y el FDH se utiliza fibra óptica de 24 hilos elaborada en base a la recomendación ITU-T G.652.D, porque permite transmitir en las longitudes de onda utilizadas tanto para la tecnología RFoG como GPON, este tipo de fibras son denominadas LWP (Low Water Peak) porque reducen la atenuación presentada a 1390nm, ver Figura 2.22.
- ✓ La fibra tipo ADSS para instalación aérea entre el segmento de la cabecera y el FDH, al ser totalmente dieléctrica, permite un ahorro al no tener que aterrizar la fibra, como lo requiere la fibra figura 8.



- ✓ Para la fibra de acometida se emplea fibra óptica fabricada con la recomendación de la ITU-T G.657.A por presentar compatibilidad con la fibra G.652.D. Este tipo de fibra se conoce BLI (Bending Loss Insensitive) porque permite un mayor radio de curvatura que la fibra tradicional. El uso de este tipo de fibra se recomienda únicamente para redes de acceso, y no se utiliza en largos enlaces por acentuarse el PMI (Multi Path Interference).
- ✓ Las mediciones con el OTDR se deben realizar en el sentido desde el cliente hacia la Oficina Central.
- ✓ En el proyecto se considera el rubro correspondiente a la Red Troncal, es decir el segmento de fibra óptica entre la Oficina Central y el FDH con la finalidad de conocer el costo de implementación del proyecto. Sin embargo, las operadoras por lo general ya cuentan con una infraestructura de fibra óptica implementada, y por este motivo es muy probable que cuenten con este recurso disponible.
- ✓ En el proyecto se considera el rubro correspondiente a Equipos de Medición y Herramientas con el objetivo de conocer cómo afecta este rubro en el costo total del proyecto, sin embargo, las operadoras al contar con una infraestructura de fibra óptica, también deben contar con el Equipo de Medición y Herramientas.
- ✓ Si la operadora que va a implementar el proyecto ya cuenta con recursos para la Red Troncal, equipos de Medición y Herramientas de fibra óptica, puede obtener un ahorro del 37% del costo total del proyecto (ver Tabla 3.16)
- ✓ En base a la información de la Tabla 3.9 y Tabla 3.10, con relación a la manera de instalar el equipo de última milla, en donde en la primera se

considera instalar un equipo por cliente y en la segunda se considera instalar un equipo por edificio tomando en cuenta posibles casos puntuales que requieran instalar un equipo individual por cliente. Se concluye que la solución más eficiente es la de instalar un equipo por Edificio por tener un alto ahorro de costos.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda implementar una red RFoG en un escenario de regeneración Urbana, para operadoras que tienen redes de acceso HFC, por las ventajas que presenta como ahorro de energía, espacio, posibilidad de migración a nuevas tecnologías, posibilidad de mantener los sistemas de Soporte del Negocio y Sistemas de Soporte de Operación, reducir costos operativos.
- ✓ Se recomienda seleccionar adecuadamente las longitudes de onda de los equipos a efectos de poder coexistir la tecnología RFoG con una red GPON, que puede instalarse a futuro.
- ✓ Se recomienda utilizar una fusionadora que emplea tecnología de alineamiento de núcleo, por permitir fusiones con bajas pérdidas y estables.
- ✓ Se recomienda utiliza un OTDR con la herramienta de software iOLM (Intelligent Optical link Mapper), que permite reducir la carga operativa que se tendría al realizar las mediciones con un OTDR tradicional.

- ✓ Al adquirir un OTDR se recomienda validar que pueda hacer mediciones con fibra activa, con la finalidad de evitar interrumpir el servicio como se tendría al realizar las mediciones con un OTDR tradicional.
- ✓ Se recomienda realizar las pruebas de verificación de red durante las etapas de construcción y activación de la red con el objetivo de reducir los problemas durante la etapa de mantenimiento de la red.
- ✓ Se recomienda documentar las mediciones realizadas con el OTDR, y medidor de potencia, para a futuro en caso de un daño se pueda tener una base para solventar un problema sobre la red.
- ✓ Con relación a la última milla se recomienda instalar un equipo por edificio como se indica en la Figura 1.34, por ser una solución económicamente más óptima. Como se muestra en la Tabla 3.9 el costo de instalar un equipo por cliente puede conducir a que el proyecto sea económicamente no viable.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### Libros y Publicaciones

- [1] Tanenbaum, Andrew, “Redes de Computadoras”, Editorial Pearson Educacion 2003, Mexico.
- [2] Hecht, Jeff “Understanding Fiber Optics” , Prentice Hall, 1999 USA.
- [3] Ordenanza N° 0022. QUITO, CONCEJO METROPOLITANO DE QUITO, Registro Oficial 14 de Abril de 2011.
- [4] *Radio Frequency over Glass Fiber to the Home Specification*. Engineers, Society of Cable Telecommunications. 2010. SCTE 174 2010.
- [5] *Leveraging RFoG to deliver DOCSIS and GPON services over fiber*. Motorola. 2008.
- [6] *RFoG Solution*. Roy, M Boylan. s.l. : Commscope, May 2010.
- [7] EXFO. *FTTH PON Guide Testing Passive Optical Networks*. Quinta edicion. 2012.
- [8] *BOS BrightPath Optical Solutions Guide*. Commscope, 2010.
- [9] Aurora. *Hoja de Especificaciones FA3527M/ FA3533M*, Jun 2010.
- [10] Simard, *Aplication Note 253. MAXIMIZING THE LONG-TERM PERFORMANCE OF YOUR OTDR/IOLM BY USING APC CONECTORS*. Simard Mario, Leblanc Michel. s.l. : EXFO, 2010.

### Direcciones Electrónicas

- [11] <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?p=101147075>. [Online]
- [12] [http://moto.arrisi.com/Video-Solutions/US-EN/Products-and-Services/Broadband-Access/Optical-Nodes/SG4000\\_US-EN](http://moto.arrisi.com/Video-Solutions/US-EN/Products-and-Services/Broadband-Access/Optical-Nodes/SG4000_US-EN). [Online]

- [13] [http://moto.arrisi.com/Video-Solutions/US-EN/Products-and-Services/Broadband-Access/Optical-Nodes/BTN100\\_US-EN](http://moto.arrisi.com/Video-Solutions/US-EN/Products-and-Services/Broadband-Access/Optical-Nodes/BTN100_US-EN), 2011. [Online]
- [14] <http://www.cablenetwork.net/Taps.htm>, 2010. [Online]
- [15] <http://electronicbookfund.blogspot.com/2008/12/cable-access-technologies.html>. [Online]
- [16] [http://www.cablelabs.com/specifications/CM-SP-PHYv3\\_0\\_110-111117.pdf](http://www.cablelabs.com/specifications/CM-SP-PHYv3_0_110-111117.pdf), 2010. [Online]
- [17] [http://www.commscope.com/catalog/broadband/product\\_details.aspx?id=32887&tab=3](http://www.commscope.com/catalog/broadband/product_details.aspx?id=32887&tab=3), 2010 [Online]
- [18] <http://www.te.com/en/industries/telecom-networks-north-america/solutions/fttp.html>. [Online]
- [19] <http://www.telnet-ri.es/soluciones/cable-fibra-optica-y-componentes-pasivos/fibra-optica-para-redes-de-nueva-generacion-ngn/?L>. [Online]
- [20] [http://profesores.fi-b.unam.mx/victor/vic\\_proyecto\\_doctoral.htm](http://profesores.fi-b.unam.mx/victor/vic_proyecto_doctoral.htm). [Online]
- [21] <http://todosobrehfc.globered.com/categoria.asp?idcat=46>. [Online]
- [22] <http://www.cablenetwork.net/PDF/TAPS/OLP.pdf>. [Online]
- [23] <http://scientificsatellite.net/detalle/splitter-digital-catv-de-2-vias-.html>. [Online]
- [24] <http://www.fibraopticahoy.com/caja-mural-para-splitter-3/>. [Online]
- [25] [http://www.commscope.com/catalog/broadband/product\\_details.aspx?id=46301](http://www.commscope.com/catalog/broadband/product_details.aspx?id=46301). [Online]
- [26] <http://www.aurora.com/site/products.an?li=p-hh-chass>. [Online]
- [27] <http://www.aurora.com/site/products.an?li=p-hh-at3545g>. [Online]
- [28] Aurora. *Hoja de Especificaciones OR3144H*, 2010.
- [29] [http://www.nexans.com.ar/eservice/Argentina\\_es\\_AR/navigate\\_262873/FIGURA\\_8\\_MENSAJERO\\_7x1\\_STANDARD.html](http://www.nexans.com.ar/eservice/Argentina_es_AR/navigate_262873/FIGURA_8_MENSAJERO_7x1_STANDARD.html), [Online]

- [30] <http://image.made-in-china.com/2f0j00AKwTBoIGAtcV/ADSS-Optical-Fiber-Cable.jpg>. [Online]
- [31] [http://www.charlesindustries.com/main/te\\_cffp.html](http://www.charlesindustries.com/main/te_cffp.html). [Online]
- [32] <http://www.fibraopticahoy.com/fusionadora-rapida/>. [Online]
- [33] <http://www.fibraopticahoy.com/imagenes/2009/02/c3047-sonda-de-inspeccion-de-fibra.jpg>. [Online]
- [34] <http://blogs.jdsu.com/Tendencias/archive/2013/02/07/medi%C3%A7%C3%B5es-b%C3%A1sicas-em-redes-%C3%B3pticas-reflectometria.aspx>. [Online]
- [35] <http://www.fibraopticahoy.com/imagenes/2011/03/Kit-de-herramientas.jpg>. [Online]
- [36] <http://www.fibraopticahoy.com/imagenes/2011/03/Kit-de-herramientas.jpg>. [Online]
- [37] <https://maps.google.com.ec/>. [Online]
- [38] <http://www.extra.ec/ediciones/2011/10/28/cronica/tallarines--iran-bajo-tierra/>. [Online]
- [39] [www.claro.com.ec](http://www.claro.com.ec); [www.grupotvcable.com](http://www.grupotvcable.com); [www.puntonet.ec](http://www.puntonet.ec); [www.netlife.ec](http://www.netlife.ec) [Online]

### Proyectos de Titulación

- [40] Loaiza Freire, alberto Gabino. *DISEÑO DE LA CABECERA (HEAD END) DE UNA EMPRESA DE CATV PARA PROVEER TELEVISIÓN DE ALTA DEFINICIÓN (HDTV) EM LAS CIUDADES DE QUITO Y GUAYAQUIL UTILIZANDO UNA ARQUITECTURA REDUNDANTE*. s.l. : Escuela Plitécnica Nacional, 2011.
- [41] Pabón Taco Dianna Patricia. *DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO GPON PARA PROVEER SERVICIO TRIPLE PLAY (TV, INTERNET Y TELEFONIA) EN EL SECTOR DE LA CAROLINA ATRAVES DE LA RED DEL GRUPO TV CABLE* Escuela Plitécnica Nacional, 2009.

**ANEXOS**