



## **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

### **“EVALUACIÓN DEL PROCESO DE MIGRACIÓN DE TECNOLOGÍA ADSL A FIBRA ÓPTICA BAJO EL ESTÁNDAR G.984.X GPON. CASO DE ESTUDIO MACAS, MORONA SANTIAGO”**

**IVÁN BOLÍVAR TENECORA MEJÍA**

Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

**MAGISTER EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**Enero 2019**

## ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

### CERTIFICACION

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, denominado: “EVALUACIÓN DEL PROCESO DE MIGRACIÓN DE TECNOLOGÍA ADSL A FIBRA ÓPTICA BAJO EL ESTÁNDAR G.984.X GPON. CASO DE ESTUDIO MACAS, MORONA SANTIAGO”, de responsabilidad de Iván Bolívar Tenecora Mejía, ha sido minuciosamente revisado y se autorizada su presentación.

#### Tribunal:

ING. WILSON ZÚÑIGA MSc.

**PRESIDENTE**

---

ING. ERNESTO SERRANO GUEVARA, MSc.

**DIRECTOR DE TESIS**

---

ING. DANILO BARRENO NARANJO, MSc.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

ING. RAÚL LOZADA YÁNEZ, MSc.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Riobamba, Enero 2019

## **DERECHOS INTELECTUALES**

Yo, Iván Bolívar Tenecora Mejía, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, y el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Iván Bolívar Tenecora Mejía

N° de Cédula: 1400382840

**©2019, Iván Bolívar Tenecora Mejía**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo dedico a mis amados hijos. En la vida encontrarán maravillosas personas, extraordinarios lugares, situaciones sencillas y complejas, que les harán vivir momentos de inmensa felicidad y, por el contrario, también encontrarán un sinnúmero de problemas en su interacción con personas, lugares y circunstancias; de Uds., dependerá obtener un balance positivo; para ello enfrenten cada día, cada reto, cada proyecto con la mejor actitud, con pasión y, lo más importante disfruten el proceso, porque los resultados llegarán tarde o temprano. Siempre den lo mejor de Uds., aún en las cosas más sencillas, la superación es con Uds., mismos y sin afectar negativamente a los demás, todo impacto debe ser positivo. No hay nada más hermoso que la paz y tranquilidad que brinda una conciencia tranquila al finalizar un día más de vida, esa es la mejor manera de agradecer a Dios, nuestro creador. Procuren siempre la coherencia en sus vidas y recuerden que todo pasa, los buenos y los malos momentos; así que disfruten la vida.

Con inmenso Amor

Iván Tenecora Mejía

## **AGRADECIMIENTO**

Al finalizar este proyecto quiero expresar un profundo agradecimiento a Dios, sobre todas las cosas y por sobre todas las personas, porque parte de mi esencia es el respeto y la fe en Dios. Agradezco a mi esposa Patricia, quien apoyó incondicionalmente para cursar los estudios del programa de maestría, al Ing. Ernesto Serrano, M.Sc., tutor del presente trabajo de titulación, con quien compartimos múltiples puntos de vista de realidad nacional y desarrollo sustentable.

Expreso un especial agradecimiento a los profesores y compañeros del programa de Maestría “Sistemas en Telecomunicaciones” de la Epoch, por las enseñanzas, intercambio de experiencias y los momentos compartidos.

Iván Tenecora Mejía

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	<b>XVIII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XIX</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<i>1.1 Problema de Investigación</i> .....	<i>2</i>
<i>1.1.1. Planteamiento del Problema</i> .....	<i>2</i>
<i>1.1.2. Formulación del Problema</i> .....	<i>3</i>
<i>1.2. Justificación de la Investigación</i> .....	<i>3</i>
<i>1.3. Objetivos</i> .....	<i>4</i>
<i>1.3.1. Objetivo General</i> .....	<i>4</i>
<i>1.3.2. Objetivos Específicos</i> .....	<i>4</i>
<i>1.4. Hipótesis</i> .....	<i>4</i>
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>2. MARCO DE REFERENCIA</b> .....	<b>5</b>
<i>2.1. Evolución de los sistemas de Telecomunicaciones</i> .....	<i>5</i>
<i>2.2. Arquitectura de los sistemas de telecomunicaciones modernos</i> .....	<i>15</i>
<i>2.2.1. Plano de Servicios y Aplicaciones</i> .....	<i>17</i>
<i>2.2.2. Plano de Control</i> .....	<i>17</i>
<i>2.2.3. Plano de Transporte</i> .....	<i>17</i>
<i>2.2.4. Plano de Acceso</i> .....	<i>17</i>
<i>2.3. Medios de Transmisión</i> .....	<i>18</i>
<i>2.3.1. Medios de transmisión no guiados</i> .....	<i>19</i>
<i>2.3.1.1. Radio</i> .....	<i>20</i>
<i>2.3.1.2. Microondas</i> .....	<i>21</i>
<i>2.3.1.3. Satélites</i> .....	<i>22</i>
<i>2.3.2. Medios de transmisión guiados</i> .....	<i>23</i>

2.3.2.1.	<i>Cable de cobre</i> .....	23
2.3.2.2.	<i>Cable de fibra</i> .....	27
2.3.2.2.1.	<i>Fibra Multimodo</i> .....	28
2.3.2.2.2.	<i>Fibra monomodo</i> .....	31
<b>2.4.</b>	<b><i>Tecnologías de Acceso</i></b> .....	<b>33</b>
<b>2.4.1.</b>	<b><i>xDSL</i></b> .....	<b>33</b>
2.4.1.1.	<i>xDSL simétrico</i> .....	35
2.4.1.1.1.	<i>HDSL (High bit rate DSL)</i> .....	35
2.4.1.1.2.	<i>SDSL (Symmetric DSL)</i> .....	35
2.4.1.1.3.	<i>SHDSL (Symmetric High speed DSL)</i> .....	36
2.4.1.1.4.	<i>IDSL (ISDN DSL)</i> .....	36
2.4.1.2.	<i>xDSL asimétrico</i> .....	36
2.4.1.2.1.	<i>ADSL (Asymmetric DSL)</i> .....	36
<b>2.4.2.</b>	<b><i>PON</i></b> .....	<b>38</b>
2.4.2.1.	<i>Apon</i> .....	38
2.4.2.2.	<i>Bpon</i> .....	39
2.4.2.3.	<i>Epon</i> .....	39
2.4.2.4.	<i>Gepon (10G-epon)</i> .....	40
2.4.2.5.	<i>Gpon</i> .....	40
2.4.2.5.1.	<i>Asignación de ancho de banda</i> .....	43
2.4.2.5.2.	<i>Multiplexación de servicios</i> .....	44
2.4.2.5.3.	<i>Onu/t</i> .....	48
2.4.2.5.4.	<i>Olt</i> .....	49
2.4.2.5.5.	<i>Odn</i> .....	52
2.4.2.5.5.1.	<i>Segmentos de la ODN</i> .....	53
2.4.2.5.5.1.1.	<i>Red Feeder</i> .....	53
2.4.2.5.5.1.2.	<i>Red de Distribución</i> .....	54
2.4.2.5.5.1.3.	<i>Red de Dispersión</i> .....	54
2.4.2.5.5.2.	<i>Elementos y Accesorios de la ODN</i> .....	54

2.4.2.5.6.	<i>Presupuesto óptico</i> .....	58
<b>2.4.3.</b>	<b><i>FTTX</i></b> .....	<b>60</b>
2.4.3.1.	<i>Fttn</i> .....	61
2.4.3.2.	<i>Fttc</i> .....	61
2.4.3.3.	<i>Fttb</i> .....	61
2.4.3.4.	<i>Ftth</i> .....	62
<b>2.4.4.</b>	<b><i>Análisis comparativo de tecnología xDSL y GPON</i></b> .....	<b>62</b>
<b>2.5.</b>	<b><i>Marco regulatorio de las telecomunicaciones en el Ecuador</i></b> .....	<b>63</b>
 <b>CAPÍTULO III</b>		
<b>3.</b>	<b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>66</b>
<b>3.1.</b>	<b>Tipo y diseño de investigación</b> .....	<b>66</b>
<b>3.2.</b>	<b>Métodos de Investigación</b> .....	<b>66</b>
<b>3.3.</b>	<b>Enfoque de investigación</b> .....	<b>66</b>
<b>3.4.</b>	<b>Alcance de la investigación</b> .....	<b>67</b>
<b>3.5.</b>	<b>Población de estudio</b> .....	<b>67</b>
<b>3.6.</b>	<b>Selección y tamaño de la muestra</b> .....	<b>67</b>
<b>3.7.</b>	<b>Técnica de recolección de datos primarios y secundarios.</b> .....	<b>68</b>
<b>3.8.</b>	<b>Instrumentos de recolección de datos primarios y secundarios</b> .....	<b>68</b>
<b>3.9.</b>	<b>Infraestructura de telecomunicaciones Morona Santiago – Macas</b> .....	<b>68</b>
<b>3.9.1.</b>	<b><i>Nodos ADSL Macas</i></b> .....	<b>69</b>
<b>3.9.2.</b>	<b><i>Nodo GPON Macas</i></b> .....	<b>70</b>
<b>3.9.2.1.</b>	<b><i>Equipos activos GPON</i></b> .....	<b>70</b>
<b>3.10.</b>	<b>Características de la zona a intervenir, tipo de despliegue aéreo o soterrado</b> ....	<b>72</b>
<b>3.11.</b>	<b><i>Migración de la infraestructura ADSL a GPON</i></b> .....	<b>72</b>
<b>3.11.1.</b>	<b><i>Migración radical de tecnología</i></b> .....	<b>73</b>
<b>3.11.2.</b>	<b><i>Migración paulatina de tecnología</i></b> .....	<b>74</b>
<b>3.11.3.</b>	<b><i>Migración mixta de tecnología</i></b> .....	<b>74</b>
<b>3.12.</b>	<b><i>Migración de la infraestructura ADSL a GPON</i></b> .....	<b>75</b>

## **CAPÍTULO IV**

<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>77</b>
<b>4.1.</b>	<b>Análisis comparativo de indicadores de las tecnologías GPON y ADSL .....</b>	<b>77</b>
<b>4.2.</b>	<b>Demostración de la hipótesis con el método estadístico T-Students .....</b>	<b>80</b>
<b>4.3.</b>	<b>Evaluación de la calidad del servicio de la tecnología GPON y ADSL mediante encuestas a los usuarios .....</b>	<b>81</b>
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>92</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>94</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2: Tipos de Fibras</b> .....	32
<b>Tabla 2-2: Tipos de Tecnología</b> .....	37
<b>Tabla 3-2: Comparativo ADSL – GPON</b> .....	63
<b>Tabla 1-3: Factor K</b> .....	67
<b>Tabla 1-4:Numero de Averías</b> .....	77
<b>Tabla 2-4:Factor K de averías de las tecnologías GPON T ADSL</b> .....	78
<b>Tabla 3-4: Nivel de inconformidad con el servicio de soporte técnico</b> .....	79
<b>Tabla 4-4: Prueba T- Students</b> .....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2 Participación de las operadoras de telecomunicaciones en el mercado de telefonía fija 2016.</b> .....	7
<b>Figura 2-2: Crecimiento de las operadoras de telecomunicaciones en el mercado de telefonía fija a diciembre 2016</b> .....	8
<b>Figura 3-2: Instalación de cable submarino de fibra óptica</b> .....	10
<b>Figura 4-2: Abonados de internet banda ancha de Ecuador</b> .....	11
<b>Figura 5-2: Abonados de Televisión por Suscripción</b> .....	13
<b>Figura 6-2: Participación del mercado de televisión</b> .....	14
<b>Figura 7-2: Arquitectura de redes NGN.</b> .....	16
<b>Figura 8-2: Arquitectura de redes NGN</b> .....	16
<b>Figura 9-2: Espectro de frecuencias</b> .....	18
<b>Figura 10-2: Espectro de Frecuencias</b> .....	19
<b>Figura 11-2: Transmisión Inalámbrica por tipo de onda.</b> .....	20
<b>Figura 12-2: Formas de Propagación de ondas de radio</b> .....	21
<b>Figura 13-2: Alcance de microondas.</b> .....	21
<b>Figura 14-2: Comunicación satelital.</b> .....	22
<b>Figura 15-2: Cable coaxial.</b> .....	24
<b>Figura 16-2: Cable multipar telefónico.</b> .....	25
<b>Figura 17-2: Par trenzado telefónico.</b> .....	26
<b>Figura 18-2: Código de colores de cable multipar.</b> .....	26
<b>Figura 19-2: Componentes de la fibra óptica.</b> .....	28
<b>Figura 20-2: Cono de aceptación.</b> .....	29
<b>Figura 21-2: Fibra multimodo de índice escalonado.</b> .....	30
<b>Figura 22-2: Fibra multimodo de índice gradual.</b> .....	31
<b>Figura 23-2: Fibra monomodo.</b> .....	32
<b>Figura 24-2: Modulación en ADSL.</b> .....	34
<b>Figura 25-2: Tecnología de acceso xDSL.</b> .....	35
<b>Figura 26-2: TTX.</b> .....	39
<b>Figura 27-2: Esquema PLOAM y OMCI de un sistema GPON.</b> .....	42
<b>Figura 28-2: Esquema de un sistema GPON.</b> .....	42
<b>Figura 29-2: Esquema de un sistema GPON.</b> .....	43
<b>Figura 30-2: DBA SR y DBA NSR.</b> .....	44
<b>Figura 31-2: Multiplexación downstream. Lo sombreado es multicast.</b> .....	44

<b>Figura 32-2: Multiplexación upstream.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 33-2: Multiplexación upstream.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 34-2: Clases de T-CONT.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 35-2: Mapeo de servicio con tecnología GPON.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 36-2: Esquema de un sistema GPON.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 37-2: OLT Huawei 5600T 14 tarjetas con 8 puertos PON.....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 38-2: OLT.....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 39-2: Bloques funcionales de la OLT.....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 40-2: ODN.....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 41-2: Arquitectura GPON – elementos ODN.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 42-2: Arquitectura GPON – elementos ODN - FDH.....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 43-2: Estructura de splitter tipo FBT.....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 44-2: Estructura de splitter tipo PLC.....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 45-2: Splitters conectorizados.....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 46-2: Fotografía de NAP, FDB y FDF.....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 47-2: Elementos que intervienen en el presupuesto óptico.....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 48-2: Cálculo de presupuesto óptico.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 49-2: FTTX.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 50-2: FTTX.....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 1-3: Macas.....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 2-3: OLT Huawei 5600T 14 tarjetas con 8 puertos PON.....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 3-3: ONT Huawei HG8245.....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 4-3: Sectores con cobertura GPON en Macas.....</b>	<b>76</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2: Abonados de Internet banda ancha ADSL de la Provincia de Morona Santiago.....</b>	<b>11</b>
<b>Gráfico 1-4: Análisis comparativo de factor K (averías) entre GPON y ADSL.....</b>	<b>78</b>
<b>Gráfico 2-4: Análisis comparativo de factor K (averías) entre GPON y ADSL.....</b>	<b>80</b>
<b>Gráfico 3-4: Pregunta: ¿Cuánto tiempo lleva utilizando internet?.....</b>	<b>82</b>
<b>Gráfico 4-4: Pregunta: ¿Con qué frecuencia diaria utiliza el internet?.....</b>	<b>82</b>
<b>Gráfico 5-4: Pregunta: ¿Cuál es el uso que le da al internet?.....</b>	<b>83</b>
<b>Gráfico 6-4: Pregunta: ¿Cuál es el ancho de banda contratado con el operador?.....</b>	<b>83</b>
<b>Gráfico 7-4: Pregunta: ¿Cuál es el ancho de banda promedio que recibe?.....</b>	<b>84</b>
<b>Gráfico 8-4: Pregunta: ¿Con qué frecuencia utiliza Ud., la línea telefónica?.....</b>	<b>84</b>
<b>Gráfico 9-4: Pregunta: ¿Ha notado alguna interferencia cuando realiza una llamada?.....</b>	<b>85</b>
<b>Gráfico 10-4: Pregunta: Si pudiera devolver la línea telefónica, ¿lo haría?.....</b>	<b>85</b>
<b>Gráfico 11-4: Pregunta: GPON es:.....</b>	<b>86</b>
<b>Gráfico 12-4: Pregunta: ¿Recomendaría GPON?.....</b>	<b>86</b>
<b>Gráfico 13-4: Pregunta: GPON, ¿cubre sus necesidades?.....</b>	<b>87</b>
<b>Gráfico 14-4: Pregunta: ¿Cuáles dispositivos conectan a internet GPON?.....</b>	<b>87</b>
<b>Gráfico 15-4: Pregunta: ¿Cuántos dispositivos en promedio se conectan en su casa? ...</b>	<b>88</b>
<b>Gráfico 16-4: Pregunta: Valoración del internet.....</b>	<b>88</b>
<b>Gráfico 17-4: Pregunta: Información multimedia HD.....</b>	<b>89</b>
<b>Gráfico 18-4: Pregunta: ¿Puede visualizar contenido multimedia HD, con ADSL?.....</b>	<b>89</b>
<b>Gráfico 19-4: Pregunta: ¿Ha experimentado que el internet GPON se vuelve lento?....</b>	<b>90</b>
<b>Gráfico 20-4: Pregunta: Disponibilidad de su conexión a internet.....</b>	<b>90</b>
<b>Gráfico 21-4: Pregunta: Elección entre GPON y ADSL.....</b>	<b>91</b>
<b>Gráfico 22-4: Pregunta: Valoración de los usuarios del costo del servicio GPON.....</b>	<b>91</b>

## **INDICE DE ANEXOS**

**Anexo A: Encuesta para medir la satisfacción del servicio de internet GPON comparado con ADSL**

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>ACRÓNIMO</b>	<b>DESCRIPCION</b>
<b>ATM</b>	Asynchronous Transfer Mode, Modo de Transferencia Asíncrono.
<b>FTTX</b>	Fiber To The X (Any Place), Fibra hasta X (Cualquier Lugar).
<b>IP</b>	Internet Protocol, Protocolo de Internet.
<b>PON</b>	Passive Optical Network, Redes Ópticas Pasivas.
<b>GPON</b>	Gigabit Passive Optical Network, Redes Ópticas Pasivas con capacidad de Gigabit.
<b>LAN</b>	Local Area Network, Redes de Area Local.
<b>DSL</b>	Digital Subscriber Line, Línea Digital de Suscriptor.
<b>DSLAM</b>	Digital Subscriber Line Access Multiplexer, Multiplexor de Línea Digital de Acceso de Abonado.
<b>OLT</b>	Optical Line Terminal, Terminal de Línea Óptica.
<b>ONT</b>	Optical Network Terminal, Terminal de Red Óptica.
<b>ONU</b>	Optical Network Unit, Unidad de Red Óptica.
<b>ODN</b>	Optical Distribution Network, Red Óptica de Distribución.
<b>APON</b>	ATM (Asynchronous Transfer Mode) Passive Optical Network, Redes Ópticas Pasivas ATM (Modo de Transferencia Asíncrono).
<b>BPON</b>	Broadband Passive Optical Network, Redes Ópticas Pasivas de Banda Ancha.
<b>EPON</b>	Ethernet Passive Optical Network, Redes Ópticas Pasivas Ethernet.
<b>VDSL</b>	Very High Speed Digital Subscriber Line, Línea Digital de Suscriptor de muy alta Velocidad.
<b>SONET</b>	Synchronous Optical Networking, Red Óptica Síncrona.
<b>SDH</b>	Synchronous Digital Hierarchy, Jerarquía Digital Síncrona.
<b>DBA</b>	Dynamic Bandwidth Assignment, Asignación Dinámica del Ancho de Banda.
<b>GEM</b>	GPON Encapsulation Method, Método de Encapsulación GPON.

<b>WDM</b>	Wavelength Division Multiplexing, Multiplexación por División de Longitud de Onda.
<b>TDM</b>	Time Division Multiplexing, Multiplexación por División de Tiempo.
<b>TDMA</b>	Time Division Multiple Access, Acceso Múltiple por División de Tiempo.
<b>FTTH</b>	Fiber to the Home, Fibra hasta la Casa.
<b>FTTN</b>	Fiber to the Node, Fibra hasta el Nodo.
<b>FTTB</b>	Fiber to the Building, Fibra hasta el Edificio.
<b>FTTC</b>	Fiber to the Curb, Fibra hasta la Acera.

## **RESUMEN**

Se evaluó la migración de la tecnología ADSL A GPON, bajo el estándar G.984.x, en la ciudad de Macas. La implementación de un nuevo sistema es compleja, la migración o cambio de una tecnología a otra; es más complejo. De acuerdo a la legislación vigente en el Ecuador, todo despliegue de nuevas redes de telecomunicaciones debe ser soterradas, se aplicó en cuentas a 106 usuarios de la ciudad de Macas que utilizaban tecnología ADSL y fueron migrados a la nueva tecnología GPON. Con este procedimiento se evaluó el grado de satisfacción entre una tecnología y la otra, desde el punto de vista de los usuarios. De esta manera adicional se realizó un estudio comparativo utilizando la metodología T-Students sobre los reportes de averías de las tecnologías ADSL Y GPON en el periodo de un año entre mayo de 2016 hasta abril de 2017. El promedio del factor K en la tecnología ADSL es de 3.57%, mientras que el factor K en la tecnología GPON es de 1.91%, el cual permite cumplir el estándar exigido por ARCOTEL. El presente trabajo investigación concluye que la tecnología de acceso con medio transmisión de fibra óptica tiene mejores prestaciones que la tecnología de acceso con medio de transmisión por cobre. Se sugiere a los GADs coordinar y liderar el cumplimiento de la normativa legal en el tema de canalizaciones en los despliegues de redes de telecomunicaciones.

**Palabras claves:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE INGENIERÍA>, <TELECOMUNICACIONES>, <REDES DE ACCESO>, <LÍNEA DIGITAL DE SUSCRIPCIÓN DE ABONADO (ADSL)>, <RED ÓPTICA PASIVA GIGA (GPON)>, <FIBRA HASTA EL HOGAR (FTTH)>, <TECNOLOGÍA DE MIGRACIÓN>.

## **ABSTRACT**

Technology migration was assessed ADSL to GPON, under the standard G.984.x, in the Macas city. The implementation of a new system is complex, migration or change from one technology to another; is more complex. According to the legislation in force in Ecuador, all deployment of new telecommunications networks must be buried. It applied surveys to 106 users in the Macas city that used technology ADSL and they were migrated to the new technology GPON. This procedure evaluated the degree of satisfaction between one technology and the other, from the point of view of the users. In addition, a study was carried out using the methodology T-students on the reports of breakdown of the technologies ADSL Y GPON in the period of one year between May 2016 until April 2017. The average K-factor in the technology ADSL is 3.57%, while the K factor in GPON technology is 1.91%, which allows to meet the standard demanded by ARCOTEL. This research paper concludes that the access technology with fiber optic transmission means has better performance than the access technology with copper transmission. It is suggested to the GADS coordinate and lead compliance with legal regulations on the issue of pipelines in the deployments of telecommunications networks.

**KEYWORDS:** <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES>, <TELECOMMUNICATIONS>, <ACCESS NETWORKS>, <SUBSCRIPTION DIGITAL LINE (ADSL)>, <GIGA PASSIVE OPTICAL NETWORK (GPON)>, <FIBER-TO-HOME NETWORK (FTTH)>, <TECHNOLOGY MIGRATION>.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las sociedades ha construido globalización e integración de las relaciones de los seres humanos a nivel mundial rompiendo las barreras de idiomas, países, etnias, razas, regiones, permitiendo conectarnos literalmente con todo el mundo; y con ello implícitamente se genera la necesidad de comunicarnos, intercambiando grandes cantidades de información en un tiempo muy corto, sin importar las circunstancias; es decir se requiere de conectividad para intercambio de información multimedia con disponibilidad todo el tiempo, en cualquier lugar y con cualquier cosa (internet de las cosas). Para satisfacer esta creciente demanda de los usuarios, los operadores de telecomunicaciones fijas y móviles están implementando su infraestructura basada en tecnología IP con GPON-FTTH y 4G para brindar conectividad con gran ancho de banda, calidad de servicio, cobertura y disponibilidad.

Para lograr la comunicación, la tecnología ha evolucionado mucho en los últimos tres siglos, entre el desarrollo de la electricidad, electrónica y telecomunicaciones se han realizado grandes avances en el campo tecnológico, desde el inicial y básico telégrafo, pasando por el teléfono, la computadora, los smartphones, tablets y variedad de dispositivos que permiten funcionar a la sociedad moderna. Las tecnologías fijas y móviles de comunicaciones por voz, innovaron sus servicios, mediante investigación y desarrollo anexaron y brindaron además de los servicios de voz otro servicio importante en la evolución de las telecomunicaciones “CONECTIVIDAD”, posibilitando el acceso al internet a millones de usuarios. Ésta conectividad mejorara día a día, llegando a los hogares que ya contaban con servicio de telefonía para lo cual, se requiere de una infraestructura que también ha evolucionado desde el alambre de cobre, las ondas de radio, los satélites y hoy en día la fibra óptica.

A nivel de backbone desde hace algunas décadas ya existen enlaces de fibra óptica, aunque subsisten sistemas de microondas y en algunos lugares lejanos y de difícil acceso incluso se utilizan enlaces satelitales, pero en términos generales a nivel de enlaces troncales internacionales, nacionales y regionales la fibra óptica es el medio de transmisión predominante por excelencia.

La tecnología actual está diseñada y construida para la conectividad e intercambio de grandes cantidades de información basado en paquetes, incluso las comunicaciones de voz son

transformadas a información digital y transmitidas como paquetes de información, porque la industria debe evolucionar a tono con los requerimientos de los usuarios. Este cambio de prioridades, poco a poco está relegando los servicios de voz a segundo plano, aunque hasta la actualidad aún representan una fuente importante de ingresos de las operadoras de telecomunicaciones a nivel mundial y también en el Ecuador.

En el ámbito académico del Ecuador, se han encontrado múltiples trabajos de investigación que se enfocan en los diseños de implementación de infraestructura tecnológica nueva, entre ellas las redes de acceso por fibra óptica (FTTH), otros trabajos realizan análisis comparativos teóricos de tecnologías, pero no existe una evaluación de un proceso real de migración realizado en el Ecuador; por consiguiente, este trabajo recuperará valiosas conclusiones del proceso de migración de tecnología ADSL a FTTH en la ciudad de Macas, provincia de Morona Santiago; con lo cual se podrá recomendar según las viabilidades técnica y económica la renovación o implementación de tecnología FTTH para empresas públicas o privadas en lugares de baja densidad poblacional y grandes extensiones geográficas.

## **1.1 Problema de Investigación**

### **1.1.1. Planteamiento del Problema**

Actualmente el problema de la tecnología de telecomunicaciones se focaliza en la red de acceso al abonado, porque la mayoría de las redes de acceso de telecomunicaciones fijas son de cobre; las cuales son: vulnerables a las interferencias electromagnéticas, tienen alta atenuación que limita el radio de cobertura, son pesadas, apetecidas por delincuentes (por el cobre), baja capacidad para transportar información y costosos por el valor del cobre. También existen redes de accesos inalámbricas que presentan limitaciones similares tales como: interferencias electromagnéticas, atmosféricas, espectros de frecuencia saturadas, baja capacidad de transporte de información. Por otro lado, las aplicaciones y software día a día demandan gestión de contenidos de alta calidad, especialmente de información multimedia con estándares HD (High Definition) y SHD (Super HD) que no es factible transportar en las redes actuales de cobre.

La migración de una determinada tecnología que ha cumplido su ciclo de vida útil o, que resulta limitada, a otra tecnología más nueva, de mayor capacidad o confiabilidad requiere de un proceso complejo en el que intervienen múltiples actores. Además de las fases previas de diseño, construcción y despliegue de infraestructura tecnológica el proceso de migración en sí mismo requiere de una planificación y ejecución de actividades analizadas y organizadas de índole

técnico, económico y social que permita encontrar el balance positivo en favor de: los clientes, el inversionista (empresas de telecomunicaciones) y los entes reguladores (del sector y de jurisdicción). Las actualizaciones de infraestructura tecnológica, son procesos complicados, implican grandes inversiones, interrupciones del servicio, capacitaciones, gestión de marketing, etc., es por ello que aún en la actualidad existe una diversidad de tecnología conviviendo en sistemas heredados y en continuo proceso de migración o renovación de infraestructura tecnológica.

Por un lado, la obsolescencia de la infraestructura tecnológica actual, por otro lado, la demanda de los usuarios para gestionar grandes cantidades de información y en medio el proceso de migración de tecnología de cobre a fibra óptica, permitirá plantear el problema de investigación.

### ***1.1.2. Formulación del Problema***

¿La migración de la tecnología ADSL a fibra óptica, permitirá mejorar la calidad de conectividad de internet de los usuarios de la ciudad de Macas?

## **1.2. Justificación de la Investigación**

La presente investigación evaluará una red FTTH con tecnología GPON para la ciudad de Macas. La evaluación de la red de fibra se realizará bajo el estándar G.984.X con la que se busca brindar conectividad de mejor calidad que la existente por cobre (ADSL) y también que permita ofertar nuevos servicios de telecomunicaciones a futuros clientes que no podían ser atendidos por las limitaciones de la tecnología ADSL.

La implementación en la ciudad de Macas, permitirá evaluar en campo, el comportamiento de los habitantes de la región oriental, específicamente de la Provincia de Morona Santiago.

Los resultados del presente trabajo, permitirán al operador optimizar el proceso de migración de tecnología, así como los diseños y productos a ofertar para entregar productos de mejor calidad de manera oportuna a los usuarios, según las necesidades específicas de las localidades de la provincia Morona Santiago.

### **1.3. Objetivos**

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

- “Evaluar el proceso de migración de tecnología ADSL a fibra óptica bajo el estándar G.984.x GPON en la ciudad de Macas.”

#### ***1.3.2. Objetivos Específicos***

- Realizar una revisión del estado de arte de las redes FTTH y tecnología GPON.
- Valorar la nueva tecnología GPON para superar las limitaciones de la tecnología a migrar.
- Analizar las necesidades de conectividad de los usuarios.
- Comparar las dos tecnologías de acceso ADSL y GPON en cuanto a máxima distancia y capacidad de transferencia.

### **1.4. Hipótesis**

La evaluación del proceso de migración de tecnología ADSL a fibra óptica bajo el estándar G.984.x GPON, permitirá analizar y comparar la tecnología que brinde mejor conectividad a los usuarios de la ciudad de Macas.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO DE REFERENCIA

#### 2.1. Evolución de los sistemas de Telecomunicaciones

En los últimos 300 años, nuestras formas de comunicarnos han evolucionado rápidamente. Desde las cartas, el telégrafo, el teléfono y las redes sociales que funcionan hoy en día gracias al internet, cada uno en su época fue innovador y se creía satisfacían plenamente las necesidades de comunicación de los seres humanos, pero solamente duraba el tiempo necesario hasta que la próxima innovación o invento llegue a las masas y en cuestión de pocos años la tecnología se consideraba obsoleta. Éste ciclo se ha repetido con todas las tecnologías, algunas han gozado de mayores tiempos de vigencia y dominio, muchas otras variantes de tecnología ni siquiera lograron conocerse y no salieron de los laboratorios o máximo se conocieron en el círculo más cercano de los científicos apasionados con la investigación y desarrollo.

En las últimas décadas, los ciclos se han acortado gracias al desarrollo y evolución paralela de la electrónica, hardware y software. Muchos de los creadores de tecnología aparecieron en la década de los 90 en adelante, con el boom del internet y sus inicios, se realizaron en los garajes de sus domicilios, se podría decir que estuvieron en el lugar y en el momento indicado. Hoy convertidos en gigantes de la industria de la tecnología por internet a nivel mundial, crean nuevos productos y servicios que amenazan a otros gigantes de las telecomunicaciones tradicionales.

Las telecomunicaciones de voz con tecnología fija, están presentes en nuestras vidas desde su aparición en 1876, cuando Antonio Meucci instaló un teléfono básico entre su oficina y la habitación de su esposa quién estaba enferma y no podía caminar. Aunque hasta hace muy poco se atribuía el invento a Alexander Graham Bell quién patentó el invento en extrañas circunstancias. Recién en el 2002, el Congreso de los Estados Unidos de América reconoció como inventor del teléfono a Antonio Meucci.

En la época del Imperio Inca del Reino de Quito, se conoce que “El Chasqui”, como refiere (Gomezjurado Zevallos, 2014, pág. 29)

“... Personas entrenadas que corrían distancias llevando una noticia y transmitiendo a otros que esperaban en el trayecto”. Los chasquis podían recorrer hasta 280Km diarios. La información viajaba codificada con nudos quipu. Los Quipucamayos eran los encargados de codificar y decodificar, aunque para las noticias urgentes los Incas utilizaban señales de humo blanco para las buenas noticias y señales de humo negro para las malas.

El Gobierno de Gabriel García Moreno, en 1871, autorizó a la compañía All America Cable and Radio para instalar el servicio internacional de telegrafía, objetivo que se logró el 09 de Julio de 1884 con la primera comunicación entre Quito y Guayaquil y es por ello que desde esa fecha se celebra el 9 de Julio “El día de las Telecomunicaciones en el Ecuador”. (Gomezjurado Zevallos, 2014, pág. 68)

En los subsiguientes años, las telecomunicaciones se desarrollaron aceleradamente y los operadores de telecomunicaciones llegaron a ser considerados muy importantes en la sociedad, junto con el párroco y las autoridades políticas, civiles y militares, demostrando que la comunicación y necesidad de información es uno de los poderes y derechos de los pueblos.

Para 1950 se instalaban en Quito y Guayaquil, las primeras centrales telefónicas que fueron ampliándose al resto del país. En 1972 se crea el Instituto Nacional de Telecomunicaciones (IETEL) con un incipiente marco regulatorio. En 1992 IETEL se transforma en EMETEL (Empresa Estatal de Telecomunicaciones) y cuatro años más tarde se denomina EMETEL S.A. En 1997 se inscribe la escisión de EMETEL S.A. en dos empresas PACIFICTEL S.A. Y ANDINATEL S.A. con jurisdicción para las provincias de la Costa y Sierra, respectivamente.

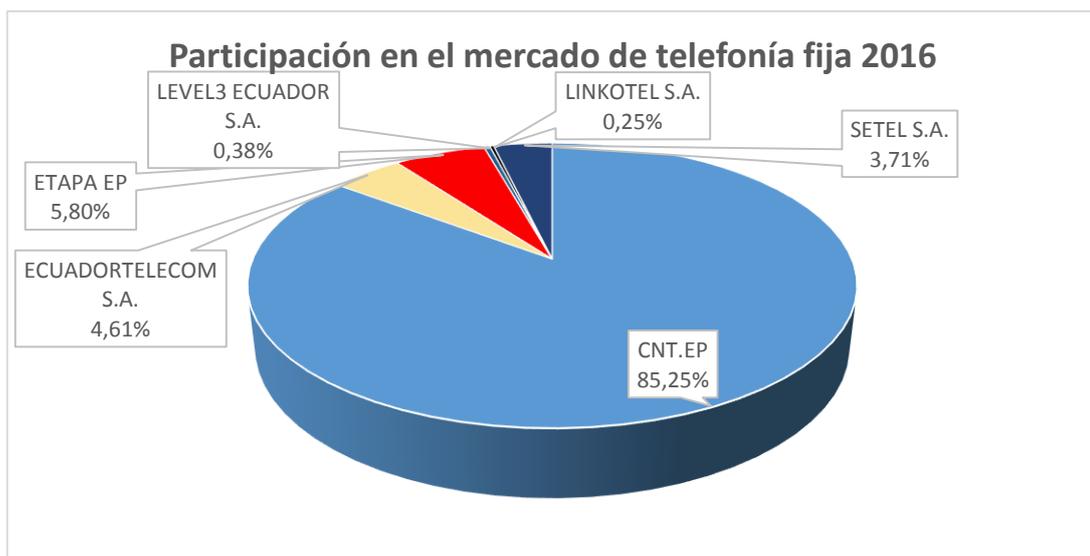
El 30 de octubre del 2008, se fusionan las empresas PACIFICTEL S.A. y ANDINATEL S.A en la nueva empresa CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES CNT S.A. (Gomezjurado Zevallos, 2014) el 14 de enero de 2010 se denomina CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES EMPRESA PÚBLICA CNT EP. Finalmente, el 03 de agosto del 2010 la CNT EP, absorbe los pasivos de la operadora móvil Alegro PCS, con lo cual hasta la presente fecha es la única empresa pública del Ecuador con un portafolio completo de servicios con presencia en todo el territorio ecuatoriano, y cuenta con la mayor participación del mercado en los servicios de telefonía e internet fijos.

La historia de ETAPA EP (EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE TELECOMUNICACIONES. AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO DE CUENCA) inicia en el año 1945 cuando la empresa ERICSSON instaló una central telefónica

con capacidad de 1000 abonados. En 1968 bajo la Alcaldía del Dr. Ricardo Muñoz Chávez el concejo Municipal crea la actual empresa ETAPA EP, con jurisdicción en el Cantón Cuenca y designa como primer Gerente al Ing. Fernando Malo Cordero.

El resto de concesionarios son: ECUTEL (parte del grupo TELMEX, junto con la operadora móvil CLARO son parte de la transnacional AMÉRICA MÓVIL), SETEL (parte del GRUPO TVCABLE), LEVEL 3, LINKOTEL.

Según las cifras publicadas por (Agencia de regulación y control de las telecomunicaciones, 2017), al finalizar el año 2016 la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP tiene un 85.49% de participación en el mercado de las telecomunicaciones fijas, le sigue ETAPA EP con el 5.81%, ECUTEL con 4.47%, SETEL con 3.6% y una ínfima participación de LEVEL 3 y LINKOTEL, con un total de 2 424 659 abonados de telefonía fija en todo el Ecuador, sobre un total estimado de 16 528 730 habitantes según proyecciones del (Instituto nacional de estadísticas y censos, 2017), para finales del año 2016.



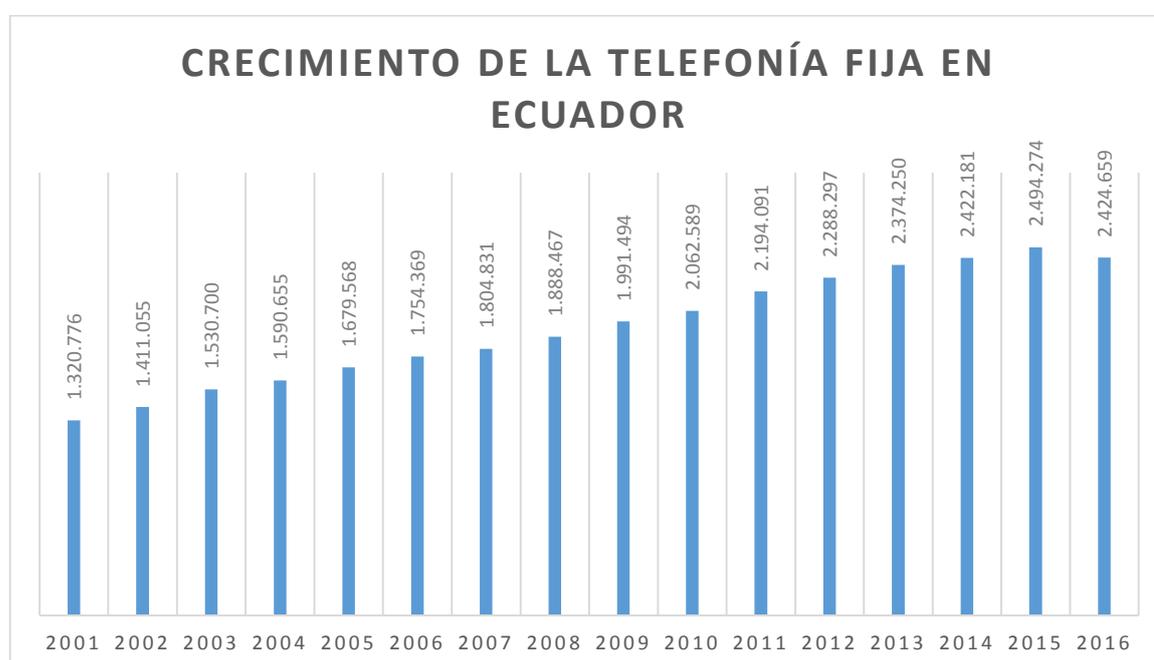
**Figura 1-2 Participación de las operadoras de telecomunicaciones en el mercado de telefonía fija 2016.**

Fuente: [www.arctotel.gob.ec](http://www.arctotel.gob.ec)

El total de abonados de telefonía fija difiere del número de usuarios debido a que la telefonía fija se instala en un hogar, que según los informes del INEC el hogar promedio del Ecuador tiene 3.8 miembros, lo que nos brinda un total estimado de 9'213 704 usuarios de telefonía fija.

CNT EP es la única operadora de telefonía fija que tiene presencia en todo el territorio ecuatoriano incluido el Cantón Cuenca desde el 01 de enero de 2016, en tanto que las otras operadoras de telefonía fija están focalizadas en los mercados más significativos de Quito y Guayaquil.

El desarrollo de la telefonía fija tuvo su auge en las décadas de los 90s y 2000s, sin embargo, se observa una desaceleración del crecimiento en los últimos años, debido a múltiples factores, entre los que podemos destacar la saturación en el mercado y principalmente desde los últimos 10 años por el ingreso de la telefonía móvil. El crecimiento de la telefonía fija, en los últimos años se debe principalmente al despliegue de infraestructura de telecomunicaciones por parte de la CNT EP en sectores rurales de difícil y costoso acceso. (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información., 2017)



**Figura 2-2: Crecimiento de las operadoras de telecomunicaciones en el mercado de telefonía fija a diciembre 2016**

Fuente: [www.normalizacion.gob.ec](http://www.normalizacion.gob.ec)

El internet tiene su origen en la década de los 60s en Estados Unidos, producto del trabajo en equipo de varios investigadores de algunas de las más importantes universidades de los Estados Unidos, auspiciados por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, para la creación de la primera red informática con fines militares ARPANET. En el marco de las primeras investigaciones se sentaron las bases de la conmutación de paquetes y, a pesar que el objetivo inicial fue crear una red (WAN) con pocos hosts ubicados en diferentes ciudades para intercambiar información, en los subsiguientes años de investigación se optó por un código abierto conocido como protocolo TCP/IP que es la base del internet hasta nuestros días.

El internet llegó al Ecuador a finales del año 1990, cuando “el Banco del Pacífico invitó a varias instituciones a conformar Ecuonet, una corporación sin fines de lucro, con el objetivo de contribuir al desarrollo del país mediante la instalación de una red de computadores”. (Gomezjurado Zevallos, 2014, pág. 144)

Este importante proyecto vinculó universidades, escuelas Politécnicas, colegios, centros de investigaciones, hospitales, cámaras de producción, empresas públicas y privadas; esto permitió los primeros servicios de internet como correo electrónico, acceso a bases de datos comerciales, blogs, etc.

En 1995 Ecuonet ofertaba el servicio de internet mediante el sistema “dial-up” que era una conexión de 56Kbps, utilizando el par de cobre de la línea telefónica cuyo servicio de voz era interrumpido mientras se mantenía la conexión a internet y viceversa. El costo equivalía a realizar una llamada local o nacional dependiendo la ubicación del usuario y la ubicación del servidor de internet. Los primeros navegadores de internet fueron Netscape, Lynx y Mosaic que permitían visualizar textos, gráficos y fotografías de baja calidad. Hasta el año 1997 el número de usuarios de internet era de 30000. En 1998 las empresas estatales Andinatel S.A. y Pacifictel S.A. empiezan a ofertar el servicio de internet dial up.

La evolución de la conexión dial up se da en el año 2001 con el ingreso de la tecnología DSL (Digital Subscriber Line), principalmente en las ciudades de Quito y Guayaquil. Hasta el año 2006 se da un crecimiento moderado, alrededor del 15% anual, debido al costo de \$39.99. El alto costo se debía a la limitada conexión al cable submarino que permitía el acceso internacional. Posteriormente se participó de una mejor conexión, realizando un tendido de 797Km de fibra óptica desde el Océano Pacífico a Punta Carnero como se muestra en la figura 3-2. (Gomezjurado Zevallos, 2014, pág. 144)

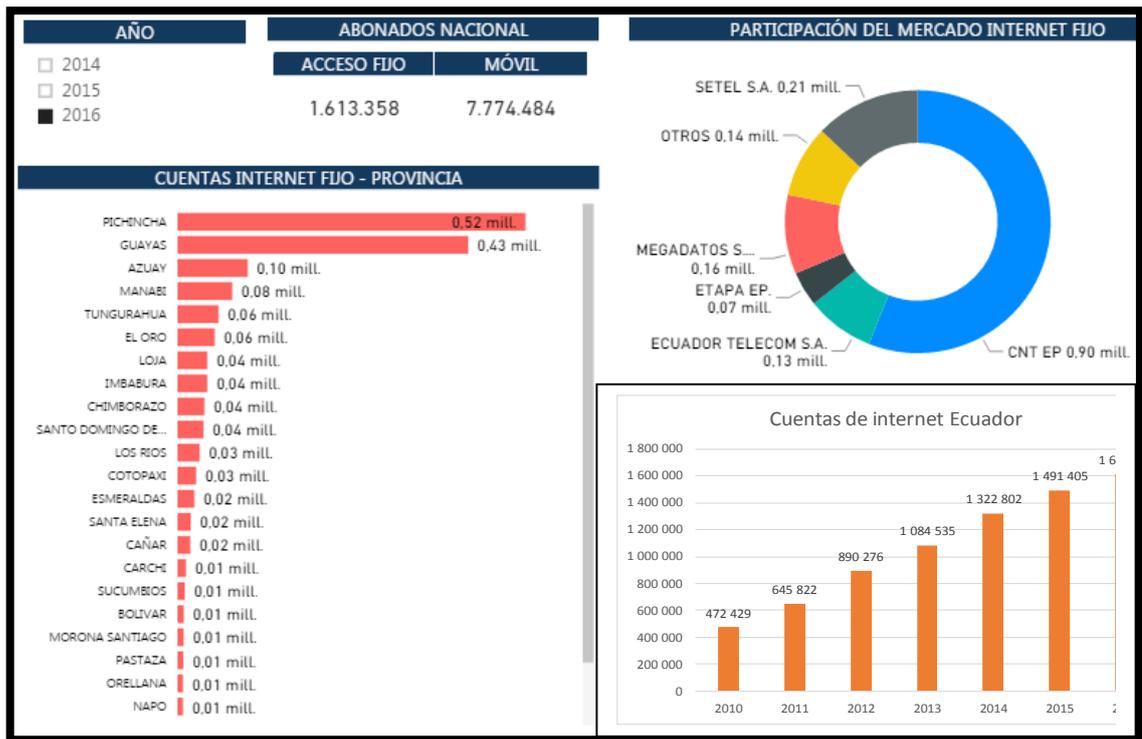


**Figura 3-2: Instalación de cable submarino de fibra óptica**

Fuente: (Gomezjurado Zevallos, 2014, pág. 146)

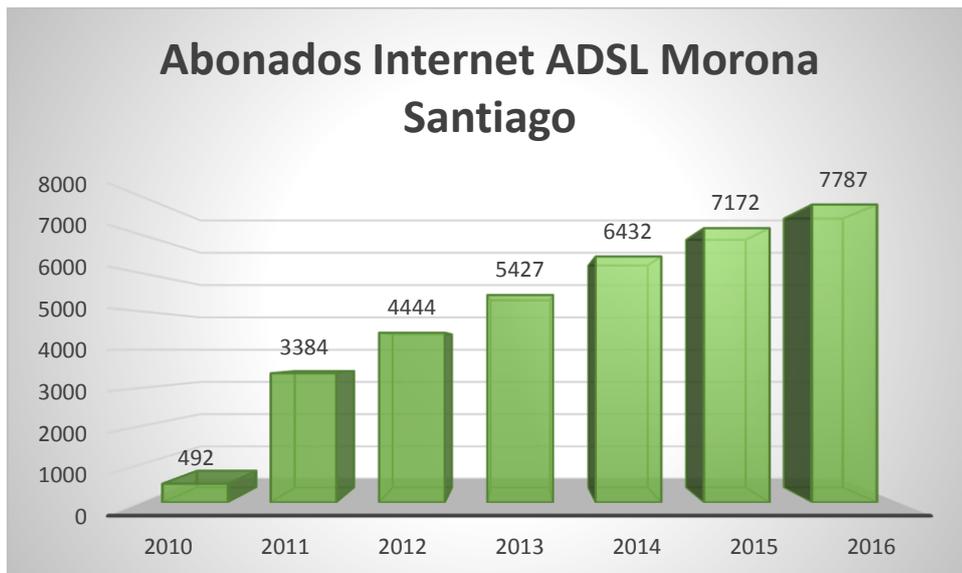
Un hecho importante durante los años 2006 hasta 2010 fue el despliegue por parte de la iniciativa privada de cybers cafés (salas públicas de computadoras con acceso a internet) que tuvieron un crecimiento de 1.201%, pasando de 143 a 1860. Durante el mismo periodo el Gobierno Ecuatoriano a través del FODETEL (Fondo para el Desarrollo de las Telecomunicaciones), inició su primer proyecto para masificación del internet en las zonas rurales de la costa, oriente y zonas fronterizas. Más tarde en el año 2008, se creó el Plan Nacional de Conectividad con el objetivo de interconectar las entidades de: educación, salud, seguridad, parroquias.

La empresa más grande de telecomunicaciones de tecnología fija que brinda los servicios de telefonía fija, la CNT EP aprovechó los miles de kilómetros de redes de acceso de cobre que tenía desplegada en todo el País para instalar tecnología ADSL, desde el año 2009 hasta la presente fecha convirtiéndose en el mayor proveedor de internet masivo con un 56.02% de participación en el mercado como se observa en la figura 4-2.



**Figura 4-2: Abonados de internet banda ancha de Ecuador**  
Fuente: (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información., 2017)

En la provincia oriental de Morona Santiago, la banda ancha llega en el año 2009, con los primeros 84 clientes en la ciudad de Macas, hasta el año 2016 se cuenta con 7787 abonados de internet banda ancha de los cuales el 95% tiene conexión ADSL y el 5% restante ya cuenta con internet con tecnología GPON como se observa en el grafico 1-2.



**Gráfico 1-2: Abonados de Internet banda ancha ADSL de la Provincia de Morona Santiago**  
Realizado por: (Tenecora Iván, 2019)

En resumen, según (Internet Society, 2017) podemos definir internet como:

“"Internet" se refiere al sistema de información global que: (i) está enlazado lógicamente a un espacio global de direcciones únicas basadas en el Protocolo de Internet (IP) o sus subsecuentes extensiones/añadidos; (ii) puede soportar la comunicación usando el conjunto Protocolo de control de transmisión/Protocolo de Internet (TCP/IP) o sus subsecuentes extensiones/añadido y otros protocolos compatibles con IP; y (iii) provee, usa o da accesibilidad, ya sea de manera pública o privada a servicios de alto nivel superpuestos en las comunicaciones y las infraestructuras relacionadas ya descritas.”

Entre los múltiples servicios que brinda el internet están: correo electrónico, navegación web (www), intercambio de archivos, peer to peer, conexiones cliente – servidor, videovigilancia, chats, sesión remota, túneles, telefonía IP, stream de audio y video, etc. Paralela y proporcionalmente al crecimiento y desarrollo de los servicios que día a día mejoran en calidad incrementando la cantidad de información a intercambiar, también se están multiplicando los terminales, dispositivos y aparatos que requieren conexión a internet; lo que nos conduce a un escenario complicado con la tecnología actual desplegada que utiliza las líneas telefónicas de cobre que tienen más de 20 años de servicio en promedio.

Los dos primeros servicios revisados: la telefonía y el internet, son considerados servicios básicos en la sociedad actual ecuatoriana; sin embargo, la televisión también es otro medio de comunicación de una sola vía muy importante para las personas. En las grandes ciudades, existen canales nacionales, regionales y locales de señal abierta. Adicionalmente grandes, medianas y pequeñas empresas ofertan televisión por suscripción para lo cual utilizan tecnología alámbrica e inalámbrica para entregar contenidos de televisión nacional e internacional y de diferente naturaleza como: deportes, ciencia, familia, películas, historia, turismo, farándula, música, y de variado entretenimiento.

Las principales tecnologías para entregar servicios de televisión, son: físicas, por cable coaxial que actualmente están migrando a fibra óptica, sea con migración parcial (híbrida = el cobre coexiste con la fibra óptica) o total a FTTH e, inalámbricas con conexión directa al satélite denominada DTH (Direct To Home). La primera requiere de uno o varios nodos principales o cabeceras y para llegar al domicilio del cliente requieren la red de acceso, sea soterrada o aérea, por lo que se instala mayormente en centros urbanos que justifiquen la demanda.

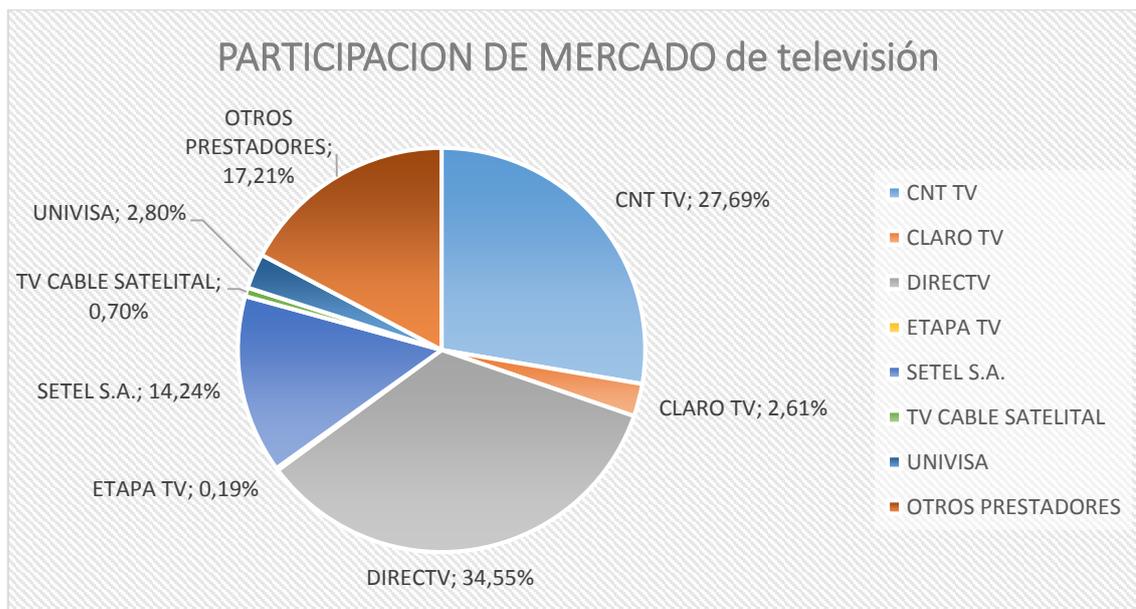
El DTH es una conexión directa entre el domicilio del cliente y el satélite, razón por lo que no tiene ninguna restricción para ser instalada en cualquier parte del país, excepto en la provincia de Galápagos; siendo el único requisito el contar con suministro eléctrico.

El servicio de televisión por suscripción en el Ecuador tiene una evolución baja, desde el año 2003 se registran 177427 suscriptores, hasta el año 2011 se contaba con 422089 clientes de televisión por suscripción. A finales del año 2011 la CNT EP ingresa al mercado ecuatoriano con su producto DTH CNT TV y en apenas 5 años ya cuenta con un 27.69% de participación del mercado que lo ubica en segundo lugar, detrás de DIRECT TV que tiene el 34.55% en primer lugar. En tercer lugar, se ubica SETEL S.A. del Grupo TV-Cable con 14.24%. Figuras 5-2, y 6-2.



**Figura 5-2: Abonados de Televisión por Suscripción**

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2017)



**Figura 6-2: Participación del mercado de televisión**  
Fuente: (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, 2017)

La explotación de los servicios de telecomunicaciones de parte de las empresas públicas y privadas, originalmente se focalizaron en un servicio específico; sea telefonía fija, telefonía móvil, internet, televisión; pero a medida que se desarrollaba la tecnología los requerimientos de los usuarios también evolucionaron; es por ello que, en nuestros días se habla de servicios convergentes y las empresas que inicialmente se especializaban en un único servicio, paulatinamente incorporaron otros servicios complementarios para llegar al cliente con una oferta que satisfaga la demanda.

En la actualidad la convergencia de servicios es posible implementar mediante la tecnología actual encontrándose en plena fase inicial de despliegue de nueva tecnología. Las empresas de telefonía fija, incorporaron telefonía móvil, internet fijo, internet móvil y televisión DTH, las empresas de televisión, anexaron los servicios de internet y telefonía y las empresas que ofrecían internet, ahora también ofertan telefonía IP.

Hoy en día estamos en fase de despliegue e implementación de nueva estructura de telecomunicaciones con tecnología con fibra óptica para la red de acceso; ésta transición es la más importante que se haya ejecutado de los últimos 30 años por lo que constituye un reto importante para las empresas de telecomunicaciones del Ecuador.

## **2.2. Arquitectura de los sistemas de telecomunicaciones modernos**

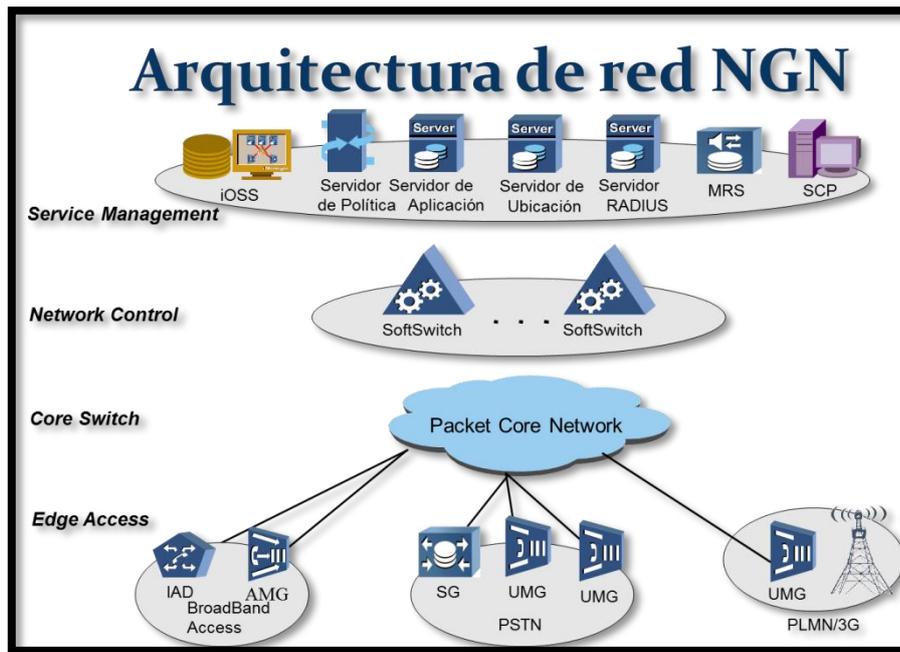
Los sistemas de telecomunicaciones se encuentran en proceso constante de cambio y evolución; a medida que se innova la tecnología, ésta es desplegada para brindar mejores servicios a los usuarios. En la última década, las redes de telecomunicaciones están siendo migradas a redes de próxima generación, denominadas NGN, las cuales convergen infraestructura y requerimientos en una nueva arquitectura.

Según (International Telecommunication Unión ITU, 2017) se acepta la siguiente definición de red NGN:

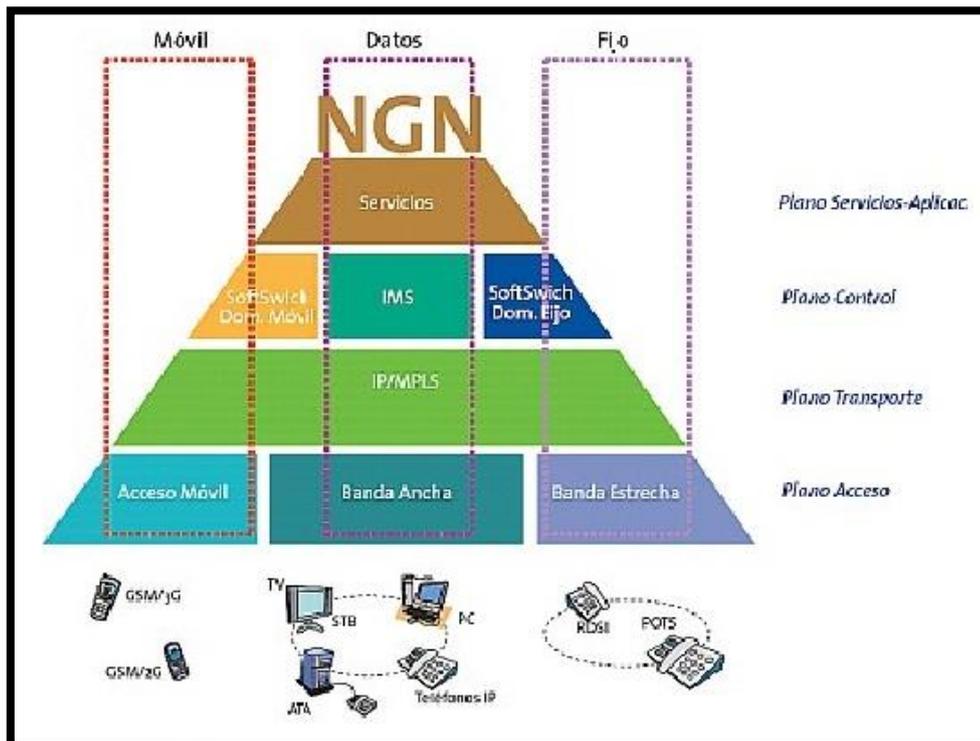
“Una red de nueva generación (NGN, por sus siglas en inglés) es una red basada en paquetes capaz de proporcionar servicios de telecomunicaciones a los usuarios y que pueden utilizar múltiples tecnologías de transporte de banda ancha habilitadas por QoS y, en las que, las funciones relacionadas con el servicio son independientes de las tecnologías subyacentes relacionadas con el transporte. Permite el acceso irrestricto de los usuarios a las redes a los proveedores de servicios y servicios de su elección. Apoya la movilidad generalizada que permitirá la prestación constante y omnipresente de servicios a los usuarios”

Para lograr la convergencia de las redes NGN, se utilizan estándares y protocolos abiertos; con lo cual es posible integrar redes heredadas de diferentes tecnologías, actuales y futuras con un punto en común que es el protocolo IP. Para la tecnología heredada se utiliza interfaces de conversión para que pueda integrarse a la conmutación de paquetes; sin embargo, el objetivo será una transición a enlaces de extremo a extremo “todo IP” (All-IP).

La arquitectura de las redes NGN está segmentada por capas muy bien diferenciadas como se observa en las figuras 7-2, y 8-2.



**Figura 7-2: Arquitectura de redes NGN.**  
 Fuente: Morales Silvia, 2015



**Figura 8-2: Arquitectura de redes NGN**  
 Fuente: <https://es.slideshare.net/guest34ebbe/ngn>

### ***2.2.1. Plano de Servicios y Aplicaciones***

La capa de servicios permite la provisión, supervisión, recuperación y análisis de aplicaciones, aquí se encuentran: servidores de video, gestores de red, servidores de aplicaciones, servidores de localización, servicios de valor agregado, red inteligente, seguridad, datos de los usuarios, perfiles, prioridades de tráfico, la autenticación, autorización y perfiles de usuarios.

### ***2.2.2. Plano de Control***

El plano de control contiene los softswitches, que se encargan del procesamiento de las llamadas de voz en la red de conmutación de paquetes. Mediante protocolos e interfaces estandarizadas, permite la interconexión con otras redes heredadas como las PSTN (Public Switched Telephone Network).

### ***2.2.3. Plano de Transporte***

La capa de transporte se encarga de las tareas de conmutación, enrutamiento y transmisión de los paquetes IP. Entre las técnicas y metodologías utilizadas en esta capa se encuentra el direccionamiento IPv4 e IPv6, protocolos: MPLS, SDH y DWM. Se divide en dos subniveles: capa de core o tránsito y la capa de acceso. La capa de tránsito o de core permite el enrutamiento y conmutación de los paquetes extremo a extremo. Asegura la interconexión de todas las redes de acceso con los otros niveles. También permite el transporte de diferentes tipos de tráfico con variados requerimientos de QOS (calidad de servicio).

### ***2.2.4. Plano de Acceso***

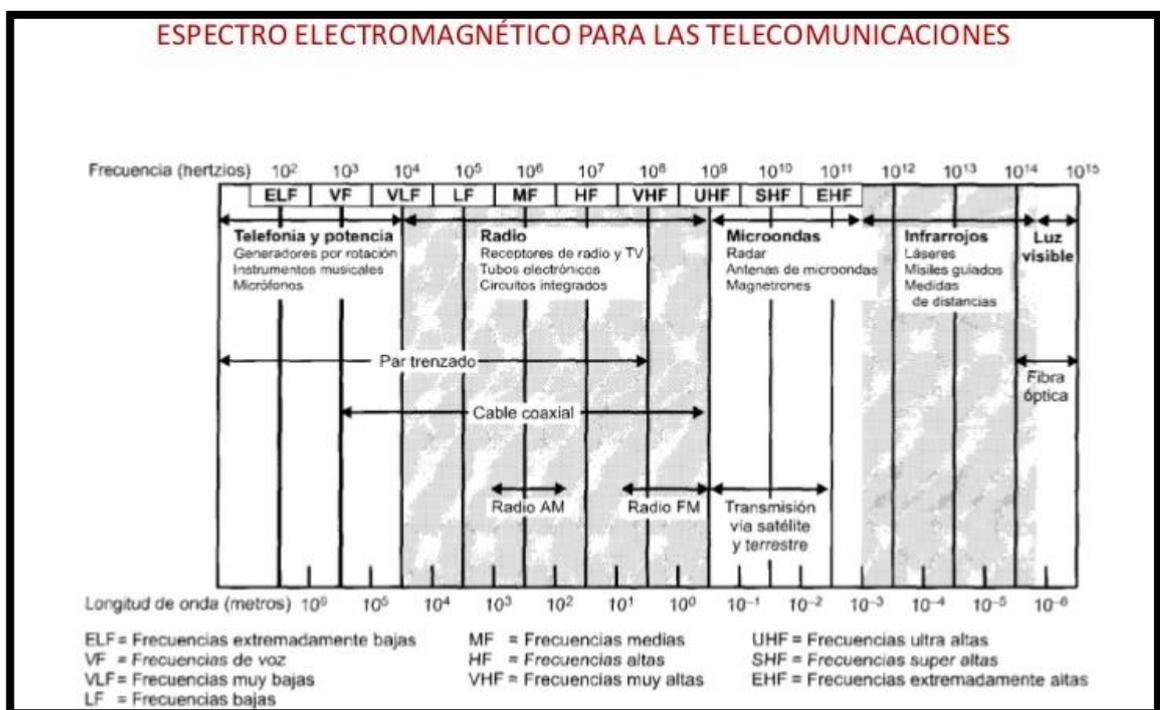
La cuarta y última capa de la arquitectura de redes NGN es el plano de acceso el cual contiene concentradores o nodos de acceso que son pasarelas de medios (MG) de diferentes tecnologías y capacidades de las cuales salen las redes de acceso para conectar al usuario final. Entre los diferentes nodos de acceso se encuentran los equipos de: acceso (AMG), troncales (TMG), inalámbricos (WMG), universales (UMG), dispositivos de accesos integrados (IAD).

Los medios de acceso, permiten entregar diferentes servicios que requiere el usuario, tales como telefonía (POTS), Voz sobre IP (VoIP), internet banda ancha, video, televisión IP (IPTV); también permiten unirse con otras redes como: PSTN, redes privadas, conmutadores PBX, entre otros.

El presente trabajo de investigación se concentra en este segmento de acceso y la transmisión hacia el usuario final, al evaluar la tecnología ADSL con transmisión por cobre y GPON con transmisión por fibra (FTTH).

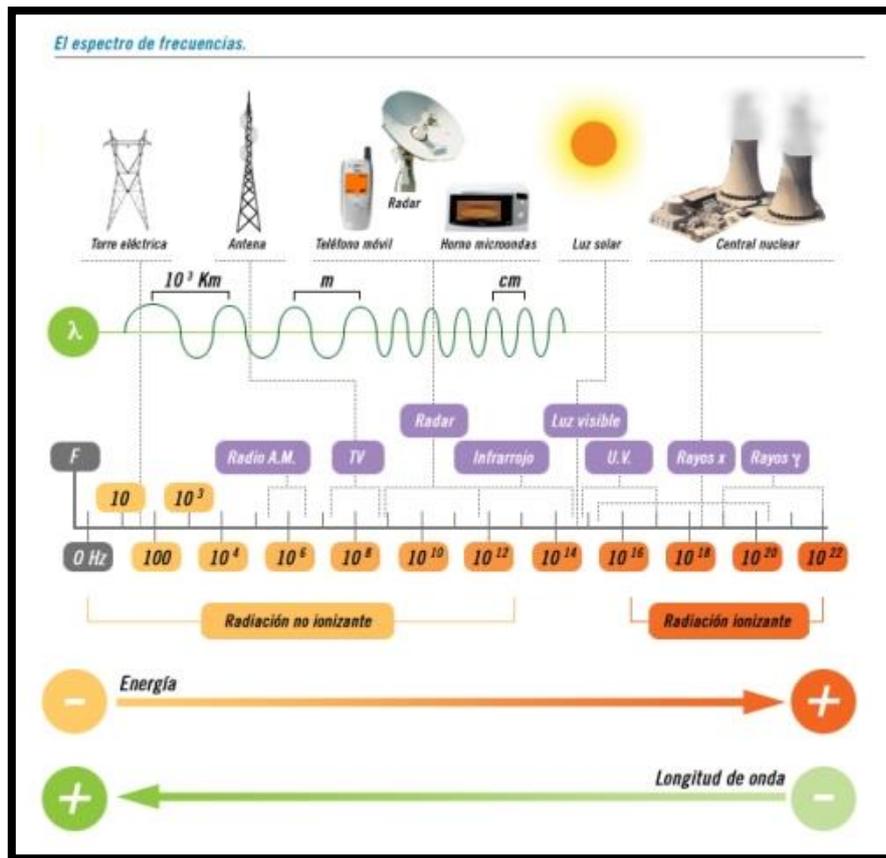
### 2.3. Medios de Transmisión

Para el intercambio de información, se requiere de un medio de comunicación sobre el cual se modula señales electromagnéticas en un rango de frecuencias, dependiendo el medio y el uso que se dará al intercambio de información. El espectro electromagnético para las telecomunicaciones y sus principales usos los podemos observar en las figuras 9-2, y 10-2.



**Figura 9-2: Espectro de frecuencias**

Fuente: [https://pt.slideshare.net/Elizabella\\_18/i-1-intr-comunicaciones](https://pt.slideshare.net/Elizabella_18/i-1-intr-comunicaciones)



**Figura 10-2: Espectro de Frecuencias**

Fuente: <http://www.afinidadelctrica.com/articulo.php?IdArticulo=95>

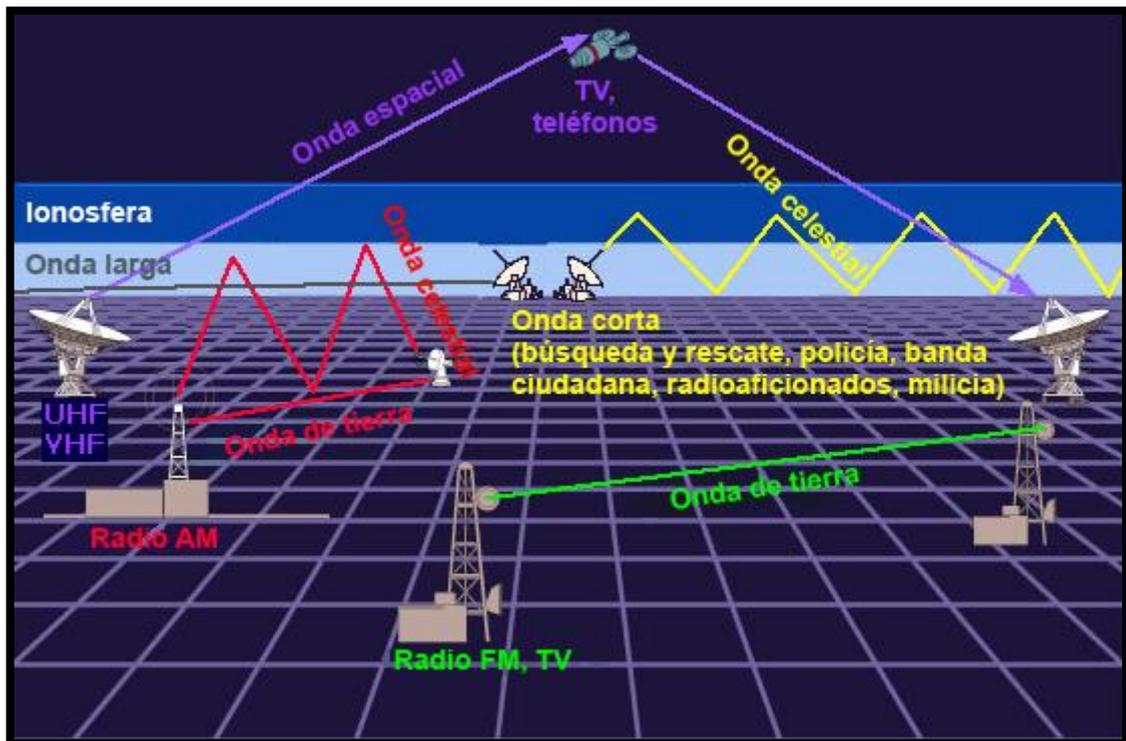
Como se observa en la figura 10-2, a mayor frecuencia, mayor energía y menor longitud de onda, la radiación emitida se considera no ionizante e ionizante, ésta última es perjudicial para la salud.

Los medios de transmisión pueden ser: guiados (alámbricos) y no guiados (inalámbricos), los cuales tienen sus respectivas subclasificaciones.

### 2.3.1. Medios de transmisión no guiados

Los medios de transmisión no guiados utilizan el aire o el vacío para propagar ondas electromagnéticas entre el transmisor y el receptor. De acuerdo a la frecuencia y uso en telecomunicaciones los medios inalámbricos se clasifican en:

- Radio
- Microondas
- Satélite



**Figura 11-2: Transmisión Inalámbrica por tipo de onda.**

Fuente:[http://www.windows2universe.org/physical\\_science/magnetism/em\\_radio\\_waves.html&lang=sp](http://www.windows2universe.org/physical_science/magnetism/em_radio_waves.html&lang=sp)

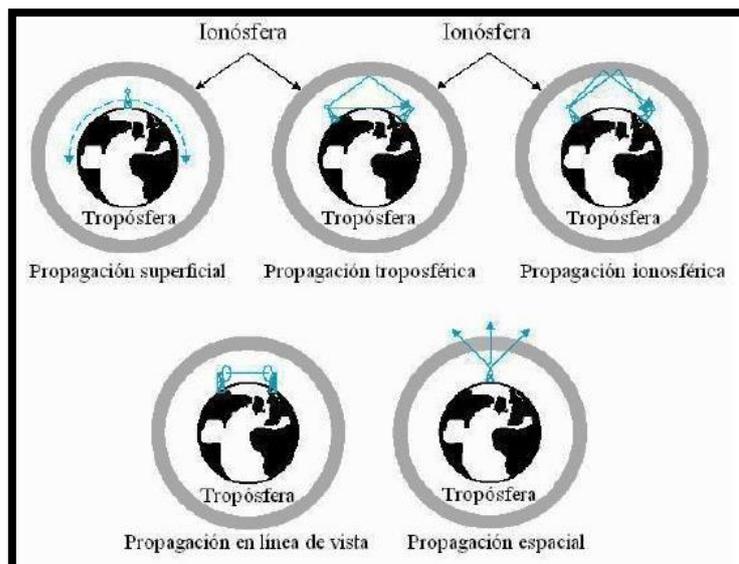
### 2.3.1.1. Radio

Se utiliza el término radio para la emisión de señales de audio y video en las frecuencias bajas (ELF, VF, VLF, LF, MF, HF, VHF, UHF). Se caracteriza porque la emisión es omnidireccional, las longitudes de onda son grandes desde varios metros hasta kilómetros, el tipo de transmisión es broadcast (un emisor y múltiples receptores), fáciles de generar, viajan grandes distancias, superan obstáculos, son absorbidas por la lluvia, atraviesan paredes de edificios, son susceptibles a interferencia electromagnética.

A baja frecuencia cruzan obstáculos, a medida que sube la frecuencia tienden a viajar en línea recta y rebotan en los obstáculos.

Su alcance depende de: potencia de emisión, sensibilidad del receptor, condiciones atmosféricas y relieve del terreno.

Tienen cinco formas de propagarse según la frecuencia: superficial, troposférica, ionosférica, en línea de visión y espacial. Figura 12-2.



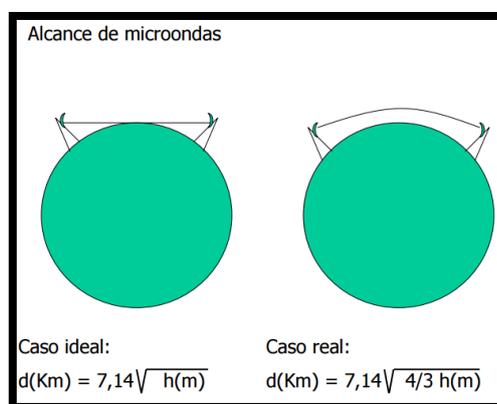
**Figura 12-2: Formas de Propagación de ondas de radio**

Fuente: [http://parte2unidad3.blogspot.com/2012\\_05\\_01\\_archive.html](http://parte2unidad3.blogspot.com/2012_05_01_archive.html)

### 2.3.1.2. Microondas

Trabaja en frecuencias muy altas desde 1GHz a 100GHz que corresponde a las bandas UHF, SHF y EHF, por consiguiente, la longitud de onda es muy pequeña. Requiere de línea de vista entre el transmisor y receptor, para lo cual utiliza antenas parabólicas. Tiene la característica de rebotar en los metales, por lo cual se utiliza en los radares.

Debido al requerimiento de línea de vista, un enlace de microonda teóricamente puede alcanzar una distancia de 80Km con antenas parabólicas ubicadas en torres de telecomunicaciones de 100m de altura cada una como se muestra en la figura 13-2. Para mayores distancias se requiere estaciones repetidoras.

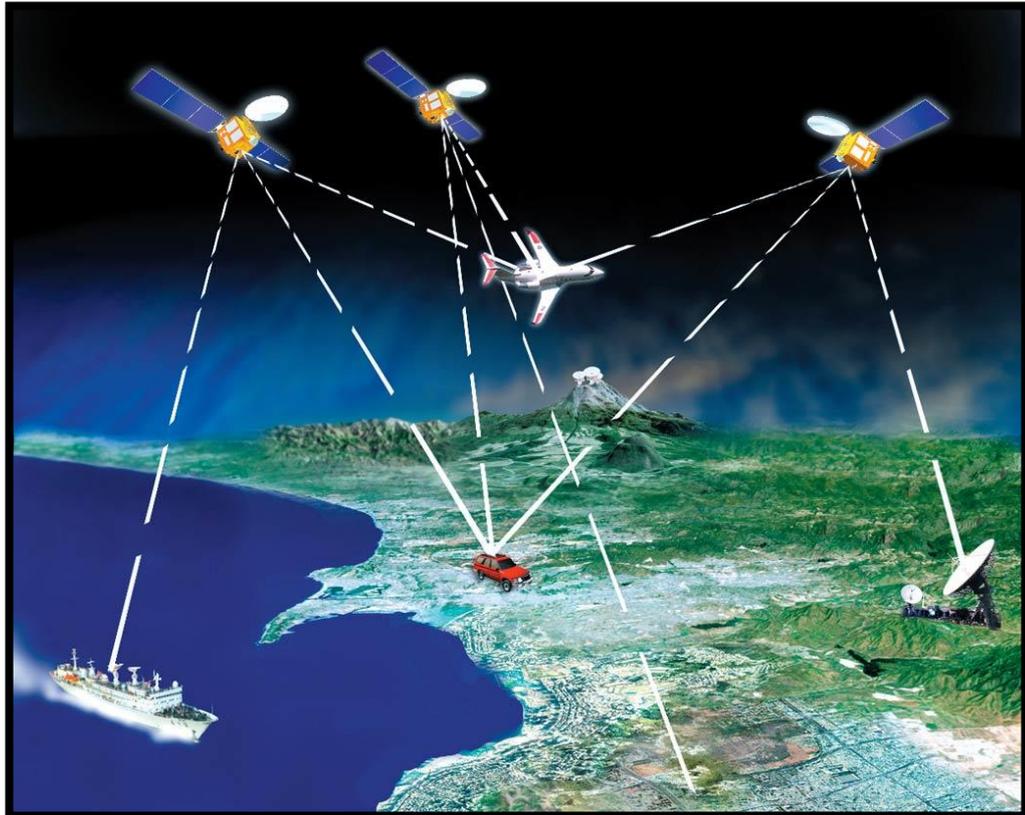


**Figura 13-2: Alcance de microondas.**

Fuente: <http://www.dte.us.es/personal/sivianes/tcomu/MediosTransmision.pdf>

### 2.3.1.3. Satélites

Las comunicaciones satelitales salen al vacío, en el exterior de la corteza terrestre, tienen gran cobertura y por ello son las preferidas para brindar conectividad en lugares de difícil acceso por la accidentada geografía o por falta de vías y medios de transporte y comunicación. Pocas empresas en el mundo tienen satélites, razón por lo que el servicio es costoso, además es susceptible a interferencias atmosféricas y también son afectadas por las radiaciones solares.



**Figura 14-2: Comunicación satelital.**

Fuente: <http://lifeinus1960present.blogspot.com/2016/12/war-in-space-next-battlefield.html>

Según la órbita, los satélites se clasifican en:

- ✓ LEO (Low Earth Orbit). - Orbitan entre 160Km y 2000Km desde la tierra. Se caracteriza por menor consumo, bajas potencias de transmisión, bajo retardo de señal (10ms), antenas omnidireccionales. Rodean la tierra a gran velocidad, por lo que pueden dar una vuelta completa en 90 minutos. Un ejemplo de satélites en esta órbita es el sistema de telecomunicaciones IRIDIUM.

- ✓ MEO (Medium Earth Orbit).- Comprende la franja entre 2000Km y 35000Km desde la tierra. Aquí se encuentran los satélites de defensa y los sistemas de posicionamiento GPS norteamericano, Glonass ruso y Galileo europeo. El retardo es de 70ms.
- ✓ GEO (Geostationary Orbit).- Se ubica a 35786Km desde la superficie de la tierra, es la más conocida porque aquí se ubican la mayoría de satélites de telecomunicaciones que brindan telefonía, internet, datos y televisión. Gira alrededor de la tierra en 23,93446 horas (casi un día exacto), razón por lo que da la impresión que son inamovibles, al permanecer sobre un punto fijo sobre la tierra, cuando lo que en realidad sucede es que rota sincronizado con la tierra. Requiere altas potencias de transmisión, el retardo es de 240ms. La puesta en órbita de satélites en esta banda es costosa.
- ✓ HEO (High Earth Orbit).- Corresponde a la franja más alta después de GEO, es decir se encuentra a más de 35786Km. El periodo de rotación a la tierra es mayor a 24horas.

### 2.3.2. *Medios de transmisión guiados*

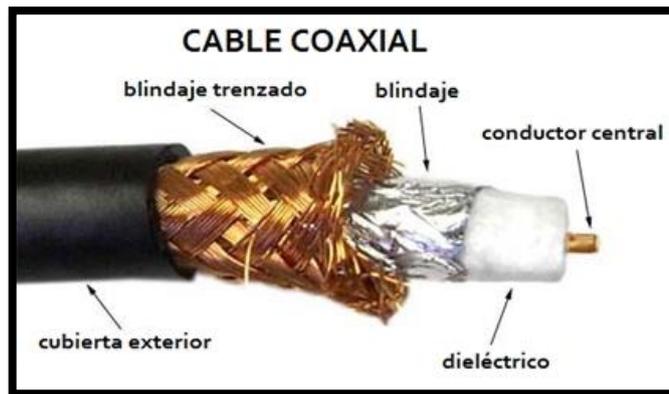
Los medios de transmisión guiados requieren un medio físico tangible (cable), básicamente son de dos tipos: **cable de cobre que y cable de fibra óptica** que transportan electricidad y luz respectivamente.

#### 2.3.2.1. *Cable de cobre*

Es el más antiguo medio de comunicación de los medios guiados y su uso inicial se originó con el telégrafo. Sirve para transportar información analógica e información digital. Al ser constituidos por cobre, son susceptibles a las interferencias electromagnéticas, gran atenuación, costosos, de gran volumen, pesados, apetecidos por delincuentes. A la actualidad existen diversas clasificaciones del cable de cobre.

El cable de cobre tiene dos clasificaciones importantes: cable coaxial y par trenzado.

- Cable coaxial. - Tiene un núcleo de cobre, rodeado por material dieléctrico, protegido por una malla metálica para aislar las interferencias electromagnéticas y cubiertas por una protección externa. Sus principales usos son para transmitir televisión e internet por cable a distancias considerables y en menor importancia para redes LAN como se puede observar en la figura 15-2.



**Figura 15-2: Cable coaxial**

Fuente: <http://www.foro.tvc.mx/kb/a2067/diferencias-cables-coaxial-rg59-rg6-y-rg11.aspx>

- Par trenzado. – Tiene múltiples variantes. Para transmisión digital según la norma 568A de la EIA/TIA (Electronic Industries Alliance / Telecommunications Industry Association) existen 10 categorías de cable. Las categorías 1, 2, 3 y 4 ya no se utilizan. En nuestro medio encontramos desde categoría 5, 5e, 6, 6e y 7. Las restantes 3 categorías son propuestas por EIA/TIA.

Por la forma de blindaje se clasifican en: UTP (Unshielded Twisted Pair) no tiene apantallamiento, STP (Shielded Twisted Pair) con apantallamiento individual de cobre, ScTP (Screened Twisted Pair) tiene apantallamiento global y FTP (Foiled Twisted Pair) cuenta con apantallamiento de aluminio. Transportan datos digitales y analógicos en distancias relativamente cortas, entre 100m y 200m.

Como par trenzado también se considera a los cables telefónicos que utilizan las empresas de telecomunicaciones para entregar masivamente los servicios de telefonía e internet a sus usuarios.

Se clasifican en dos tipos: cables bifilares y cables múltiparas.

- Los cables bifilares son para cruzadas o puentes en los distribuidores y también para acometidas exteriores e interiores, están constituidos por dos hilos de cobre unidos por una membrana de la misma protección del conductor o directamente trenzados entre sí.
- Los cables multipares son “Soportes físicos compuestos por un número variable de pares trenzados que permiten propagar señales de información y se utilizan preferentemente para la transmisión de frecuencias vocales” (Castro Lechtaler, 1999) Se utilizan para

alcanzar considerables distancias, en principio su uso exclusivo fue para brindar servicios de voz y alcanzaban hasta 7Km. Existen diferentes áreas donde se usan los cables multipares como, por ejemplo:

- Los cables multipares pueden ser utilizados en interiores y exteriores; los cables exteriores según su modalidad de instalación pueden ser aéreos o subterráneos.
- Los cables aéreos tienen un elemento adicional denominado “mensajero” para sujeción en los postes, que está construido de un cable acerado adosado al cable multipar aéreo.
- Los cables para soterramiento o canalizados no tienen un cable mensajero, pero su chaqueta está reforzada para resistir los ataques de roedores.
- La capacidad de los cables multipares va desde los 10 pares hasta los 2400 pares.
- En el área de estudio se encuentran cables de 10, 20, 30, 50, 70, 100, 150, 200, 300, 400, 600, 900, 1200 y 1800 pares.

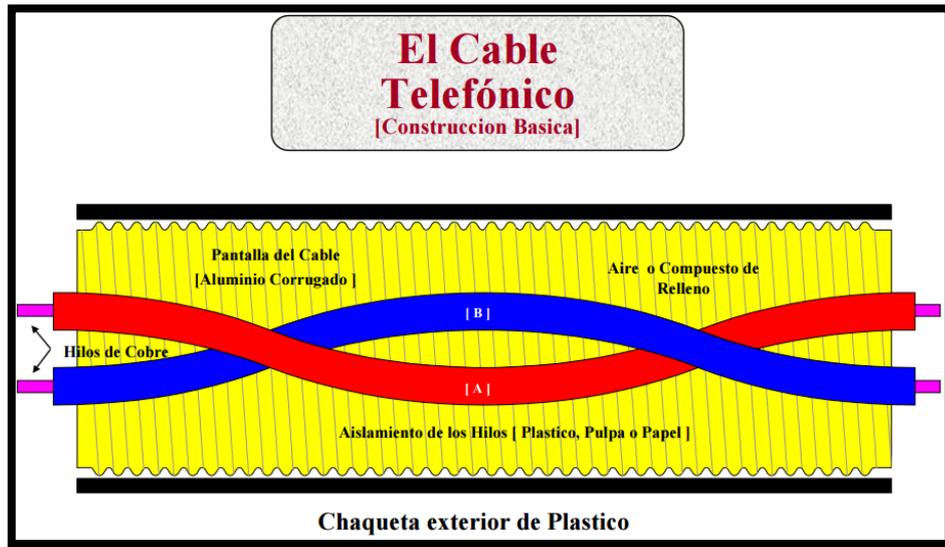
Los cables multipares se construyen de hilos de cobre desde 0.4mm hasta 0.9mm dependiendo de su utilidad, cubiertos por polietileno suave, trenzados en pares, y agrupados en cantidades de 10 y 25 pares, identificados con códigos de colores estandarizados, rellenos o secos para proteger de la humedad, cubiertos por una cinta de aluminio y protegidos por una chaqueta de polietileno resistente como se muestra en la figura 16-2.



**Figura 16-2: Cable multipar telefónico.**

Fuente: <http://transformadores.com.co/pdf/CATALOGO-NEXANS-telefonicos-multipares.pdf>

En su forma más básica el par trenzado se visualiza en la figura 17-2.



**Figura 17-2: Par trenzado telefónico.**

Fuente: [http://spw.cl/08oct06\\_ra/doc/CABLES%20MULTIPARES%20Cu/CursoPlantaExternaCobreteoriabasica.pdf](http://spw.cl/08oct06_ra/doc/CABLES%20MULTIPARES%20Cu/CursoPlantaExternaCobreteoriabasica.pdf)

La figura 18-2 muestra el código de colores de los cables multipares donde se indica un grupo de 25 pares. Los cables de mayor capacidad se separan en grupos de 25 pares, identificados por una cinta de colores según el estándar señalado.

PAR	COLOR DE LOS CABLES		PAR	COLOR DE LOS CABLES	
1	Blanco	Azul	14	Negro	Marrón
2	Blanco	Naranja	15	Negro	Gris
3	Blanco	Verde	16	Amarillo	Azul
4	Blanco	Marrón	17	Amarillo	Naranja
5	Blanco	Gris	18	Amarillo	Verde
6	Rojo	Azul	19	Amarillo	Marrón
7	Rojo	Naranja	20	Amarillo	Gris
8	Rojo	Verde	21	Violeta	Azul
9	Rojo	Marrón	22	Violeta	Naranja
10	Rojo	Gris	23	Violeta	Verde
11	Negro	Azul	24	Violeta	Marrón
12	Negro	Naranja	25	Violeta	Gris
13	Negro	Verde	Rx	Negro	Blanco

**Figura 18-2: Código de colores de cable multipar.**

Fuente: <http://transformadores.com.co/pdf/CATALOGO-NEXANS-telefonicos-multipares.pdf>

Los cables de mayor capacidad se instalan desde la central y, a medida que avanzan en el área de cobertura se dividen en cables de menor capacidad, hasta la red de dispersión que

conecta el punto de acceso denominado caja telefónica con una capacidad de 10 y 20 pares.

### 2.3.2.2. Cable de fibra

A través de la fibra óptica se transmiten señales de luz, para lo cual en un extremo debe instalarse un emisor (LED, láser) y en el otro extremo un fotoreceptor, aunque en una comunicación full duplex como las actuales, en cada extremo se encuentran los dos elementos activos que actúan simultáneamente. La fibra óptica es inmune a las interferencias electromagnéticas, tienen gran capacidad para transmitir información, cada día se reducen los costos, son más seguras, son livianas, de gran resistencia y alcanzan grandes distancias.

Por su forma de instalación existen dos categorías: subterráneas o canalizadas y aéreas.

Las fibras canalizadas tienen una protección especial antiroedores y las fibras aéreas presentan dos subclases: figura 7-2 y ADSS (All Dielectric Self Supporting). La fibra figura 7-2 es similar a los cables multipares aéreos, porque tienen un cable de acero adosado a la fibra conocido como mensajero, que sirve como elemento de sujeción en los postes.

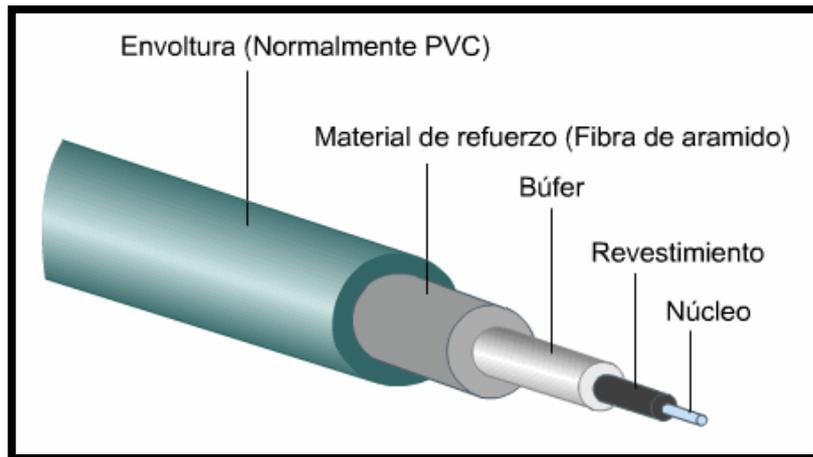
- La fibra ADSS no tiene mensajero, por consiguiente es mucho más liviana; en lugar del mensajero está construida con hilos de kevlar, lo cual le garantiza soportar grandes tensiones y sujetarse directamente en los postes con elementos especiales.

Los componentes de la fibra óptica son: núcleo, revestimiento (cladding) y recubrimiento (coating o buffer).

**El núcleo o core:** está constituido de un filamento de vidrio de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) de alta pureza. Según (Rodríguez Zambrano, 2012) suele doparse “frecuentemente, el vidrio de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) suele doparse con materiales como óxido de fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ), óxido de germanio ( $\text{GeO}_2$ ) u óxido de boro ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ) para ajustar su índice de refracción”. El diámetro del núcleo está en un rango de  $8\mu\text{m}$  a  $62.5\mu\text{m}$ .

**Revestimiento o cladding:** esta formado por un material transparente, similar al núcleo pero más impuro, con el objetivo que el índice de refracción sea menor que del núcleo; para lograr la reflexión de los haces luminosos de las señales que viajan por el núcleo y se reflejan en el revestimiento.

**Recubrimiento:** este posee dos subcapas el recubrimiento primario o búffer que está constituido de plástico y se identifica claramente de acuerdo a un código de colores para identificar los grupos de fibras; y finalmente el recubrimiento secundario o coating que está conformado por cintas de agrupación de buffers, cintas de desgarre, fibras de aramida o kevlar, pantalla metálica (antiroedor), cinta antilama y cubierta de polietilino que protege todos los elementos indicados; ésta se constituye en la última capa que protege a la fibra óptica contra las condiciones exteriores (sol, lluvia, tracciones, etc).



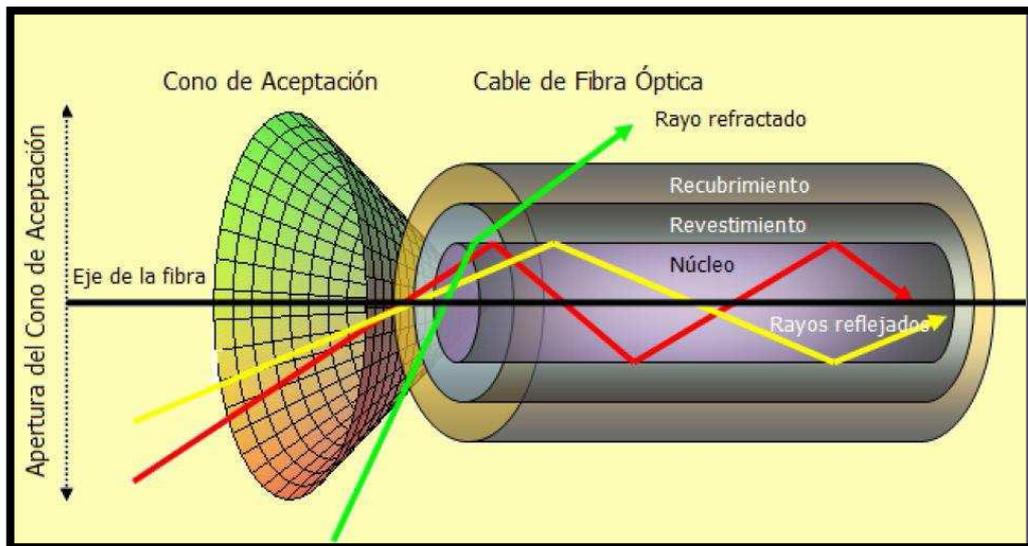
**Figura 19-2: Componentes de la fibra óptica.**

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos30/cableado/Image49.gif>

De acuerdo al modo de transmisión se clasifican en dos clases: monomodo y multimodo.

#### 2.3.2.2.1. *Fibra Multimodo*

Las primeras fibras ópticas tenían muchas pérdidas, porque el núcleo tenía diámetros grandes por consiguiente las distancias que alcanzaban eran muy limitadas. A medida que se avanzaba en la investigación, innovación y desarrollo se fueron mejorando el performance de las fibras. La fibra óptica multimodo tiene un diámetro de núcleo entre  $50\mu\text{m}$  a  $140\mu\text{m}$ , lo que permite una gran apertura en el cono de aceptación, facilitando el ingreso de varios haces de luz en diferentes ángulos, de ahí su nombre multi (varios) modos.

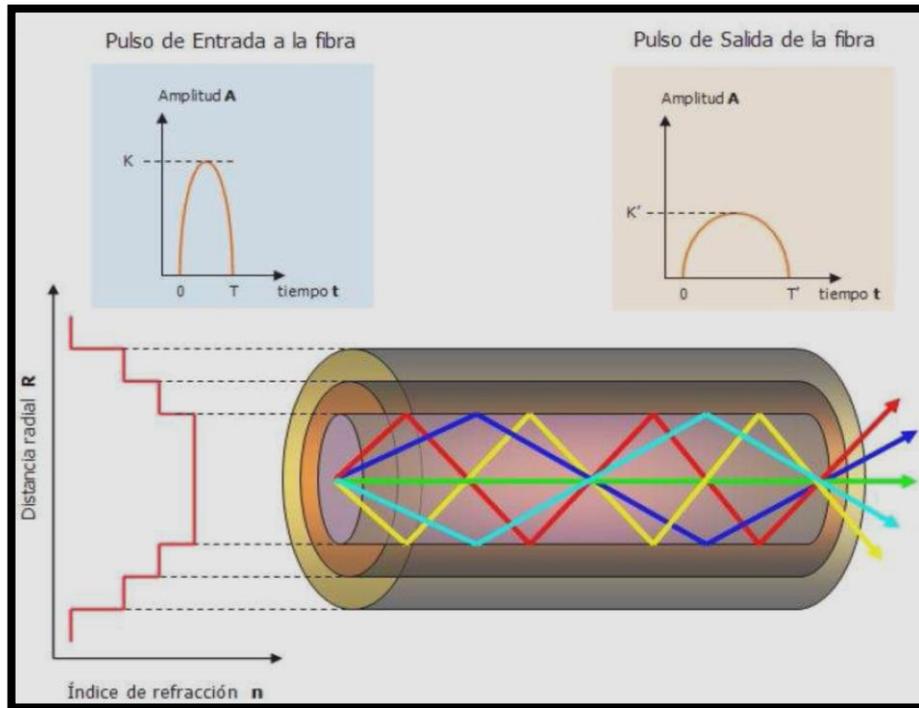


**Figura 20-2: Cono de aceptación.**

Fuente:(Rodríguez Zambrano, 2012)

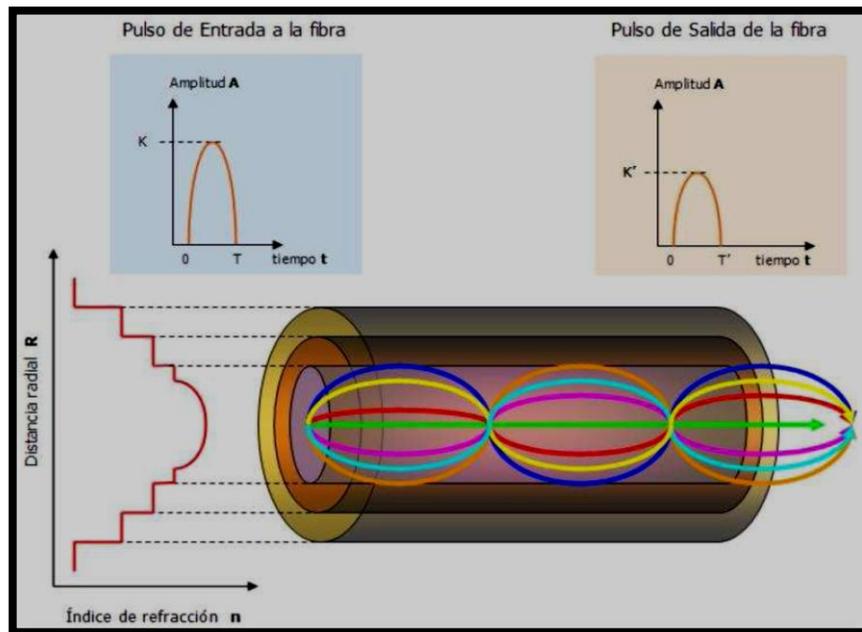
- Las fibras multimodo de acuerdo a su índice de refracción entre el núcleo y el revestimiento se subclasifican en: fibra óptica de índice escalonado o salto de índice y fibra óptica de índice gradual.
- Las fibras multimodo de índice escalonado (escalón) son las que tienen constantes los índices de refracción del núcleo y del revestimiento; además la diferencia entre los dos índices de refracción es significativo.

Según (Rodríguez Zambrano, 2012) la atenuación típica de este tipo de fibras es de 30dB/Km, se utiliza para distancias cortas, máximo de 1Km. El diámetro típico del núcleo está entre 50  $\mu\text{m}$  y 62.5  $\mu\text{m}$ ; sin embargo también se han construido fibras de diámetro de núcleo de hasta 100  $\mu\text{m}$ , que se utilizan en distancias muy cortas como redes LAN.



**Figura 21-2: Fibra multimodo de índice escalonado.**  
Fuente: (Rodríguez Zambrano, 2012)

En las fibras multimodo de índice gradual el núcleo no tiene un índice de refracción constante, sino por el contrario está construido de varias capas concéntricas que resultan en un índice de refracción degradado, siendo la parte céntrica la que posee mayor índice de refracción y disminuye hacia el revestimiento, permitiendo que las señales de luz describan trayectorias helicoidales consiguiendo disminuir las dispersión modal, aunque admite un menor número de haces luminosos de propagación. Con esta técnica se puede alcanzar hasta 10Km de distancia. El diámetro del núcleo es similar a la de índice escalonado que está entre 50  $\mu\text{m}$  y 62.5  $\mu\text{m}$ .



**Figura 22-2: Fibra multimodo de índice gradual.**

Fuente: (Rodríguez Zambrano, 2012)

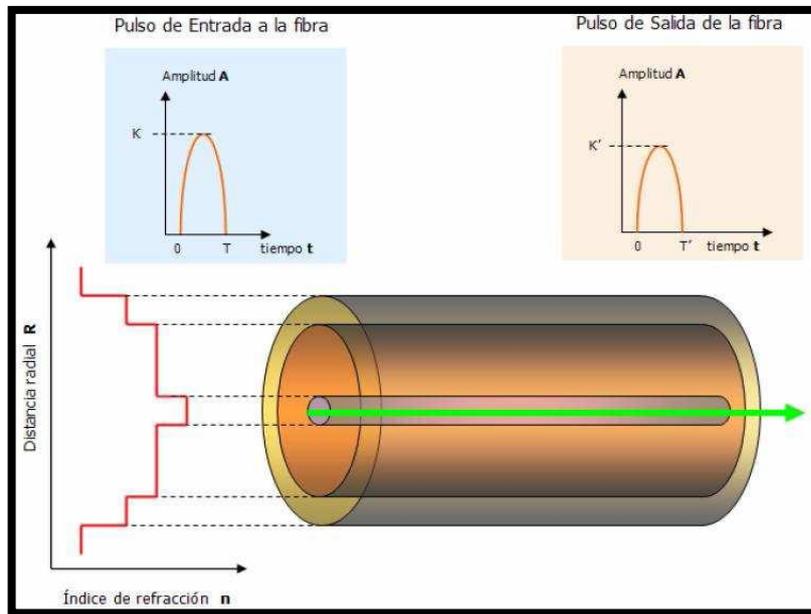
#### 2.3.2.2.2. *Fibra monomodo*

La principal característica es el reducido diámetro del núcleo que está entre  $8\ \mu\text{m}$  y  $10\ \mu\text{m}$ , lo que permite un único haz de luz para transmitir, de ahí se deriva el nombre monomodo. El haz fundamental de luz se transmite paralelo al núcleo, con ello se elimina la dispersión modal que afecta a las fibras multimodo y permite un gran ancho de banda de hasta 100GHz. Las pérdidas están en el orden de 0,7dB/Km en 1300nm y 0,2dB/Km en 1550nm, razón por lo que se alcanzan grandes distancias sin necesidad de amplificadores.

Entre los inconvenientes de las fibras monomodo están la “dispersión cromática que es producida por la fuente de luz como consecuencia de la coherencia espectral de la misma. No existen fuentes ideales con ancho de banda nulo y coherencia infinita, sino que siempre se emiten distintas longitudes de onda residuales en torno a una longitud de onda fundamental” (Rodríguez Zambrano, 2012)

El índice de refracción del núcleo es significativamente mayor al del revestimiento, lo que se consideraría una fibra de salto de índice escalonado. El diámetro extremadamente pequeño del núcleo requiere un proceso constructivo más tecnificado, emisores de luz láser, conectores más precisos que encarecen este tipo de fibras. Las fibras monomodo tienen una subclasificación

según su construcción que son: SMF o estándar, DSF o de dispersión desplazada y NZDSF o de dispersión desplazada no nula.



**Figura 23-2: Fibra monomodo.**

Fuente: (Rodríguez Zambrano, 2012)

En el mercado tecnológico existe otra clasificación, según los estándares aprobados por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), que son las siguientes:

**Tabla 1-2: Tipos de Fibras**

Tipo de fibra	Atenuación	Longitud de Onda de Transmisión	Diámetro de Núcleo / Revestimiento	Tipo de Propagación	Radio de Macro Curvatura
<b>ITU-T G.651</b>	3dB/Km	850/1310 $\mu$ m	50/245 $\mu$ m	Multimodo	30mm
<b>ITU-T G.652</b>	0.5dB/Km	1310/1550 $\mu$ m	8 a 10/125 $\mu$ m	Monomodo	30mm
<b>ITU-T G.653</b>	0.35dB/Km	1550 $\mu$ m	7.8 a 8.5/125 $\mu$ m	Monomodo	30mm
<b>ITU-T G.654</b>	0.22dB/Km	1550 $\mu$ m	9.5 10.5/125 $\mu$ m	Monomodo	30mm
<b>ITU-T G.655</b>	0.4dB/Km	1550/1625 $\mu$ m	8 a 11/124 $\mu$ m	Monomodo	30mm
<b>ITU-T G.657</b>	0.35dB/Km	1310/1550 $\mu$ m	8 a 11/124 $\mu$ m	Monomodo	40mm

Fuente:(Salazar Alulima, 2014)

## **2.4. Tecnologías de Acceso**

La red de acceso permite a los usuarios, clientes finales o abonados “acceder” a los servicios de telecomunicaciones mediante diferentes tecnologías diferenciadas principalmente en el tipo de medios de transmisión utilizados. Según se revisó en el apartado anterior éste acceso puede ser alámbrico o inalámbrico. La red de acceso también es conocida como “última milla” y comprende el tramo de red que interconecta los equipos terminales de los usuarios y los equipos del operador de telecomunicaciones.

Todas las tecnologías tienen su evolución basadas en la investigación y desarrollo. La transición entre una y otra se da de diferentes maneras, algunas son evoluciones de una tecnología básica, por lo que la actualización es paralela y solapada, que significa un despliegue y actualización de infraestructura tecnológica casi imperceptible para los usuarios y, el proceso puede durar décadas. Cuando otra tecnología completamente nueva y diferente conquista el mercado se da una transición total, hasta abrupta porque no comparten la tecnología básica, entonces el cambio es total y muy sensible para el usuario.

El presente trabajo analiza este último caso, el cambio total de tecnología de la red de acceso alámbrico actual, con un importante despliegue de red de cobre y la tecnología ADSL por una nueva red de acceso alámbrica pero basada en fibra óptica.

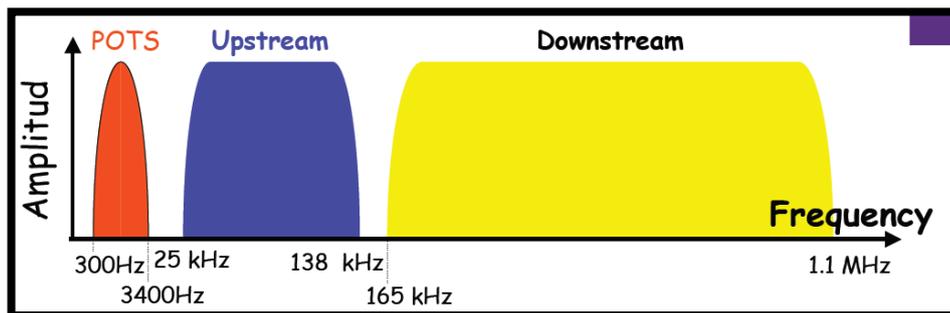
### **2.4.1. xDSL**

xDSL es un conjunto de tecnologías “x” denominadas Línea de Abonado Digital (Digital Subscriber Line) que se implementa en la última milla para proveer conectividad de datos al usuario utilizando un par de cobre de la red conmutada pública de teléfonos (PSTN Public Switched Telephone Network). La x cambia por otra letra según sea la tecnología específica utilizada, las cuales pueden ser simétricas o asimétricas.

- La tasa de transferencia va desde varios Kbps hasta pocos Mbps y depende de la tecnología específica utilizada, la distancia del cliente final (bucle de abonado) y el estado de la red de acceso.
- Las redes desplegadas que brindaban servicios únicos de telefonía (voz), llegaban hasta 7Km
- La distancia máxima que garantiza conectividad de datos con esta tecnología llega máximo hasta 5Km teóricos, 3Km en la práctica para ADSL y 0.5Km para VDSL.

- La tecnología xDSL utiliza la red de acceso de cobre que los operadores de telecomunicaciones ya tienen desplegados hasta los usuarios.

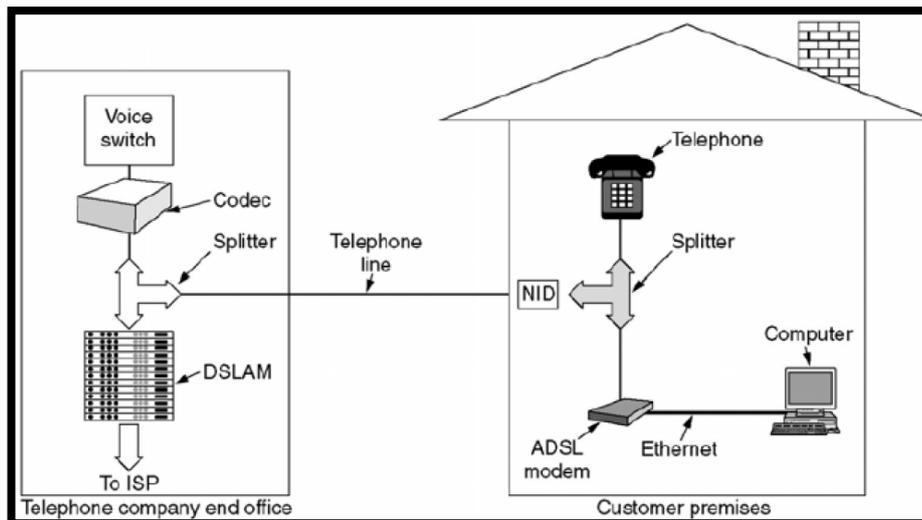
Mediante la modulación en el espectro de frecuencias que no ocupan los servicios de voz es posible introducir y transmitir los datos. Para los servicios telefónicos (POTS Plain Old Telephone Service) se utilizan hasta 3.4kHz; y para xDSL se utilizan desde los 25kHz hasta los 1100kHz como se puede observar en la figura 24-2. Para las versiones más actuales xDSL como el VDSL se modula hasta los 20MHz.



**Figura 24-2: Modulación en ADSL.**

Fuente:(Navarra, U. P., 2017)

La conexión es de tipo punto a punto para lo cual, requiere un módem, un divisor (splitter) y un filtro pasabajos y pasaaltos que generalmente viene incorporado en el splitter en cada extremo del lado del cliente y en el lado del operador de telecomunicaciones. La conexión en el lado del cliente consiste en instalar los elementos descritos, configurar el usuario y contraseña para autenticar y realizar las pruebas de navegación y voz. En el otro extremo, los elementos citados por cada usuario son unificados en el DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer), el cual agrupa en un gabinete o shelter hasta 1024 puertos para simular número de clientes. En las oficinas del operador, manualmente se realiza las conexiones con cable de cobre entre los POTS y los puertos ADSL para el enrutamiento en la red de planta externa. En la figura 25-2 se observa el esquema básico de conexión xDSL.



**Figura 25-2: Tecnología de acceso xDSL.**

Fuente:(Arguello Moscoso, 2013)

#### 2.4.1.1. xDSL simétrico

Las tecnologías simétricas se diseñaron para garantizar similar ancho de banda tanto para descarga (download) como para subida (upload). Este tipo de requerimientos son necesarios para videoconferencias y otros requerimientos de clientes especiales como bancos, corporaciones que requieren enlaces punto a punto entre sucursales con la matriz y similares. Entre las tecnologías simétricas se encuentran las siguientes:

##### 2.4.1.1.1. HDSL (High bit rate DSL)

Según (León Araujo, 2015a)

Esta tecnología se desarrolló a finales de la década de 1980 por BellCore para proporcionar conectividad T1/E1 (1,544Mbps/2,048Mbps). Utiliza una codificación 2B1Q con la que se alcanza una velocidad de 2Mbps a través de dos líneas de par trenzado con una cobertura de 3.5Km.

##### 2.4.1.1.2. SDSL (Symmetric DSL)

SDSL se diseñó para obtener conectividad similar a la tecnología HDSL, pero con un único par de cobre, con el objetivo de masificar el acceso a internet. También utiliza la codificación 2B1Q y utiliza cancelación de eco para conseguir transmisión full-duplex.

#### 2.4.1.1.3. *SHDSL (Symmetric High speed DSL)*

Requiere un solo par y tiene mayor alcance que los sistemas HDSL es compatible espectralmente con otros sistemas DSL, particularmente con ADSL. Las tasas alcanzadas están desde los 192Kbps hasta los 2.3Mbps; con 2 pares se pueden alcanzar 384Kbps hasta los 6Mbps. Este tipo de conexiones están enfocadas para clientes corporativos, y es una variante de rápida instalación comparado con los enlaces punto a punto de fibra óptica.(León Araujo, 2015b)

#### 2.4.1.1.4. *IDSL (ISDN DSL)*

Diseñado para alcanzar la mayor cobertura con cables de cobre, hasta 5.5Km; sin embargo, la tasa simétrica alcanzada según el estándar es de 144Kbps; se basan en la tecnología ISDN incorporada a la familia DSL.

#### 2.4.1.2. *xDSL asimétrico*

La mayoría de los usuarios, requieren descargar más información en comparación con el requerimiento de subir información. Para satisfacer estos requerimientos específicos se creó la tecnología DSL asimétrica, asignando un mayor espectro para la descarga y una menor área para la subida.

Al principio se consideró únicamente para VOD (Video On Demand), pero el uso masivo de internet y la reutilización de las redes de acceso ya desplegadas hicieron de esta tecnología, la preferida por los operadores y usuarios masivos. Entre las tecnologías asimétricas se encuentran las siguientes:

##### 2.4.1.2.1. *ADSL (Asymmetric DSL)*

La tecnología ADSL es la más conocida de las tecnologías de acceso por cobre. Sus orígenes tuvieron como objetivos brindar VOD (Video On Demand), sin embargo, se masificó y popularizó por brindar acceso de internet banda ancha a millones de usuarios en todo el mundo.

- ADSL utiliza un único par de cobre, que se instala en el domicilio del cliente con la línea telefónica, los únicos trabajos que requiere son: en las oficinas del operador para

interconectar el DSLAM y multiplexar las señales de voz e internet y el otro en el domicilio del cliente para instalar el splitter, filtro y módem.

- Utiliza un mayor espectro de modulación para asignar un mayor ancho de banda para descarga y un mínimo para carga de información, que satisface las necesidades de los usuarios domésticos que comprenden el mercado focalizado de esta tecnología.
- ADSL, como todas las tecnologías ha tenido su evolución e innovación y, aunque comparten principios comunes, las nuevas versiones han sido mejoras de sus predecesoras; las cuales son: ADSL, ADSL 2, ADSL 2+, VDSL, VDSL 2. El inicial ADSL tenía un ancho de banda para downstream de 8Mbps y 1Mbps para upstream, mientras que el VDSL 2 está diseñado para un ancho de banda de 100Mbps simétricos.

Con la investigación y evolución de esta familia de acceso a la red se han logrado ampliar los anchos de banda, y hasta ahora siempre se pierde área de cobertura, por lo que la solución es parcial y limitada.

A continuación, se presenta una tabla resumen de los parámetros de las tecnologías de acceso xDSL por cobre:

**Tabla 2-2: Tipos de Tecnología**

Tecnología	Distancia máxima	Downstream / Upstream	Tipo de tráfico	Aplicaciones
<b>HDSL</b>	3.5Km	2Mbps	Simétrico	Para dar conectividad T1 y E1.
<b>SDSL</b>	2.7Km	1.5Mbps	Simétrico	Conectividad simétrica hasta 1.5Mbps
<b>SHDSL</b>	6Km	2.3Mbps (1 par) 6Mbps (2 pares)	Simétrico	Hasta 6Mbps, utilizando 2 pares
<b>ISDL</b>	8Km	144Kbps	Simétrico	En conjunto con ISDN
<b>ADSL</b>	3Km	8Mbps / 0.64Mbps	Asimétrico	Conectividad de internet doméstico
<b>ADSL 2</b>	3Km	12Mbps / 1Mbps	Asimétrico	Mejora de ADSL
<b>ADSL 2+</b>	3Km	24Mbps / 3Mbps	Asimétrico	Mejora de ADSL2
<b>VDSL</b>	1Km	52Mbps / 26Mbps	Asimétrico	Mejora de ADSL2+

<b>VDSL 2</b>	0.5Km	100Mbps / 100Mbps	Asimétrico / Simétrico	Máximo desarrollo de estas tecnologías
---------------	-------	----------------------	---------------------------	---

Realizado por: Iván Tenecora, 2019

#### **2.4.2. PON**

PON significa Passive Optical Network o Red Óptica Pasiva se compone de tres partes principales: OLT, ODN y ONU/T.

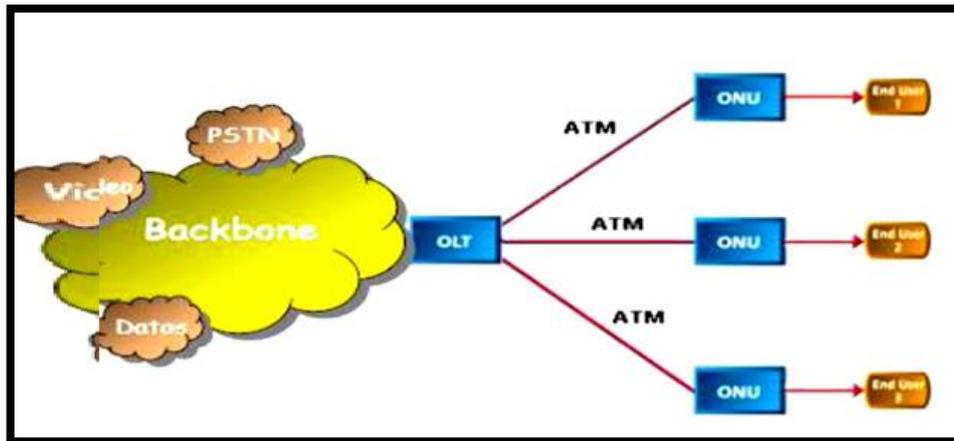
OLT (Optical Line Terminal) que se ubica en las oficinas del operador. Este componente es un elemento activo y se describe en detalle en la sección correspondiente a la tecnología GPON.

ODN (Optical Distribution Network) lo constituye el segmento pasivo de la red de distribución con sus elementos tales como: armarios, splitters, mangas, naps, fibra óptica feeder, distribución y dispersión; y, ONU/T (Optical Network Unit/Terminal) es el equipo terminal, activo, que se ubica en el domicilio del abonado.

Las redes PON se originaron a finales de los 90's y por su evolución es importante destacar las siguientes: APON, BPON, EPON, GEAPON, GPON.

##### **2.4.2.1. Apon**

ATM – PON fue la primera red PON desarrollada por FSAN (Full Service Access Network) un grupo de 7 operadores líderes de telecomunicaciones a finales de los 90's. Hoy FSAN lo conforman 73 miembros entre operadores, laboratorios, vendedores y observadores independientes de telecomunicaciones. APON basa su transmisión del canal descendente en ráfagas de celdas ATM a una tasa máxima de 155Mbps que se reparten para el número de ONUs conectadas. Posteriormente se subió a 622Mbps. El diseño básico de una red APON se observa en la siguiente figura:



**Figura 26-2: TTX.**

Fuente: [https://sites.google.com/site/proyectodefindecarrera2014/\\_/rsrc/1418254702393/reporte-del-proyecto/indice/f-marco--teorico/2.png](https://sites.google.com/site/proyectodefindecarrera2014/_/rsrc/1418254702393/reporte-del-proyecto/indice/f-marco--teorico/2.png)

#### 2.4.2.2. Bpon

Es una mejora de la tecnología APON, basado en el estándar ITU 983.1. Inicialmente también el ancho de banda era de 155Mbps y posteriormente se mejoró a 622Mbps. Introduce el uso de WDM, llega a un alcance de 20Km para el bucle de abonado, define las longitudes de onda en 1490nm para downlink, 1310nm para uplink y 1550nm para video. Se puede utilizar un hilo o dos hilos de fibra óptica para llegar al abonado. Además de ATM también soporta ethernet y VPN. A pesar de las mejoras con respecto a APON, uno de los problemas principales seguía siendo el costo de la implementación y las limitaciones técnicas.

#### 2.4.2.3. Epon

La IEEE a través de su grupo de trabajo EFM (Ethernet in the First Mile) diseñó EPON para aprovechar las ventajas de la fibra óptica y aplicarlas sobre ethernet, con ellos se aprovechaba las ventajas del gran despliegue de ethernet, evitando las conversiones y reconversiones. Se trabaja directamente sobre a velocidades gibabit y se reducen significativamente los costos porque ya no se trabaja con celdas ATM y SDH.

EPON utiliza WDM de forma similar a las tecnologías antecesoras; 1490nm para downstream, 1310nm para upstream y 1550nm para video, el alcance puede llegar hasta 20Km, pero el ancho de banda es simétrico de hasta 1250Gbps que se deben distribuir entre las ONTs conectadas.

Según(Rodríguez Zambrano, 2012)

“Las redes EPON admiten un radio máximo de 16 divisores por OLT, y cada divisor admite un máximo de 64 salidas a usuarios ONT. Esto supone un total de: (Usuario max= 16 divisoresOLT x 64 usuarios divisor= 1.024 usuarios/OLT)”, lo que es mucho menor que otras tecnologías basadas en fibra óptica. EPON utiliza una sola capa 2 basada en IP para transportar datos, voz y video”.

#### 2.4.2.4. *Gepon (10G-epon)*

Gigabit Ethernet PON es la evolución de EPON para obtener una velocidad superior en 10 veces a EPON. Se pretende obtener velocidades de 10Gbps. Según (León Araujo, 2015b) “10G-EPON usará longitudes de onda separadas por 10G y 1G para Downstream. 802.3av continuará usando una única longitud de onda para 10G y 1G upstream con separación TDMA”

#### 2.4.2.5. *Gpon*

Gigabit-Capable PON es el estándar de mayor aceptación y despliegue en el Ecuador y el mundo de todas las tecnologías PON que hemos revisado, por ser la que reúne las mejores características y ha logrado el equilibrio necesario para ser accesible para la implementación a gran escala. Aunque existen otras tecnologías en desarrollo e investigación que están fuera del alcance del presente trabajo.

GPON se basa en el estándar ITU – 984.x que define las bases para GPON las cuales se describen brevemente a continuación:

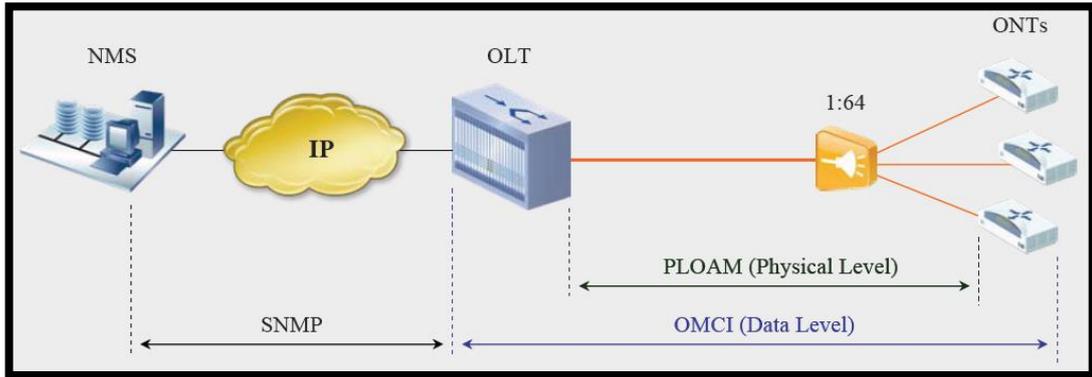
- **ITU – 984.1** “describe las características generales de un sistema PON: su arquitectura, velocidades binarias, alcance, retardo de transferencia de la señal, protección, velocidades independientes de protección y seguridad”(Pabón Taco, 2009)
- **ITU – 984.2** describe las especificaciones de los parámetros de la ODN, las especificaciones del puerto óptico de bajada de 2.488Gbps, de subida de 1.244Gbps y la estructura de localización en la capa física.
- **ITU – 984.3** “especifica la Capa de Convergencia de Transmisión (TC), expone los formatos de trama, método de control de acceso, método ranging, funcionalidad OAM, registro de la ONU, especificaciones de DBA, alarmas, rendimiento y seguridad” (Gómez Bossano, 2012)

- **ITU – 984.4** especificación de la interfaz de control y gestión OMCI, dispositivo de la trama OMCI, principios de trabajo de la OMCI.
- **ITU – 984.5** recomendación que sugiere el rango de bandas y longitudes de onda que se reservan para, en un futuro, implementar señales de nuevos servicios, utilizando WDM.
- **ITU – 984.6 e ITU – 984.7** están reservadas para tecnologías GPON más avanzadas.

Las principales características de la tecnología GPON son:

- ✓ Soporte global multiservicio: incluyendo voz (TDM, SONET, SDH), Ethernet 10/100 Base T, ATM, Frame Relay, etc.
- ✓ Tiene un alcance lógico de 60 Km, pero el alcance físico es de 20 Km.
- ✓ Máximo alcance lógico diferencial 20 Km.
- ✓ La topología para downstream es punto – multipunto y utiliza multiplexación TDM con difusión broadcast.
- ✓ La topología para upstream es punto – punto con control de acceso TDMA.
- ✓ GPON utiliza tecnología AES (Advanced Encryption Estándar) para asegurar el destino en un ambiente broadcast.
- ✓ La tasa de división más utilizada es 1:32, pero se puede llegar a 1:64 y 1:128.
- ✓ Interfaz amigable para gestión, operación y mantenimiento, desde la cabecera OLT al equipamiento de usuario ONU/T.
- ✓ Utiliza multiplexación WDM en las siguientes longitudes de onda: 1490 nm para downstream, 1310 nm para upstream y 1550 nm para video frecuencia.
- ✓ Se caracteriza por diferentes configuraciones de velocidades asimétricas y simétricas:
  - 0.15552 Gbit/s subida, 1.24416 Gbits/s bajada
  - 0.62208 Gbit/s subida, 1.24416 Gbits/s bajada
  - 1.24416 Gbit/s subida, 1.24416 Gbits/s bajada
  - 0.15552 Gbit/s subida, 2.48832 Gbits/s bajada
  - 0.62208 Gbit/s subida, 2.48832 Gbits/s bajada
  - **1.24416 Gbit/s subida, 2.48832 Gbits/s bajada**
  - 2.48832 Gbit/s subida, 2.48832 Gbits/s bajada
- ✓ Cuenta con una importante gestión de operación y administración de recursos, que incluye hasta la ONT, lo que significa una importante reducción del OPEX de la red del operador. Se compone de dos partes: PLOAM (Physical Layer OAM) que se encarga de las alarmas, alertas, aseguramiento de ancho de banda, soporte DBA y encriptación; y, OMCI (Optical Management & Control Interface) que se encarga del control de las

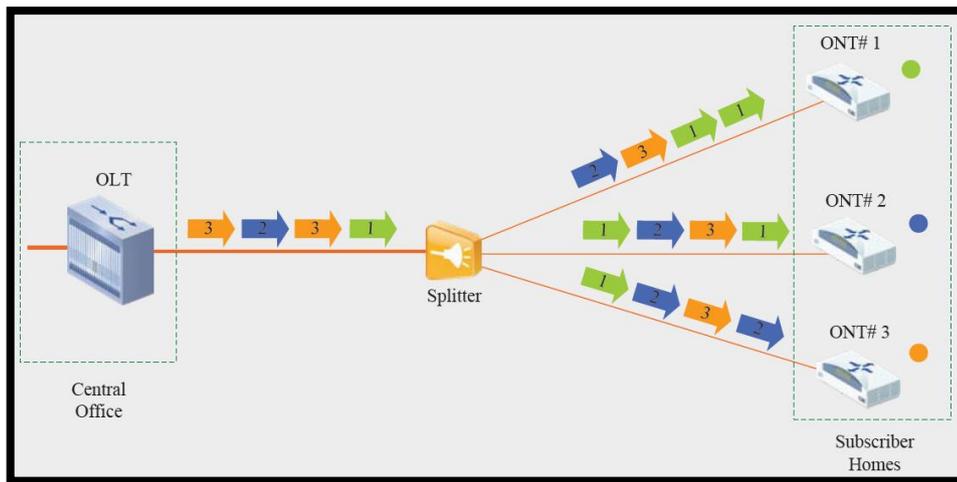
ONTs, configuración remota, monitoreo de rendimiento, notificaciones y alarmas en general.



**Figura 27-2: Esquema PLOAM y OMCI de un sistema GPON.**  
Fuente:(Lattanzi, 2015)

El funcionamiento de GPON se basa en la técnica WDM lo que permite una conexión punto a multipunto (P2MP) en el sentido descendente (OLT a ONT) con una longitud de onda de 1490 nm y una conexión punto a punto en el sentido ascendente (ONT a OLT), para lo cual utiliza la longitud de onda de 1310 nm.

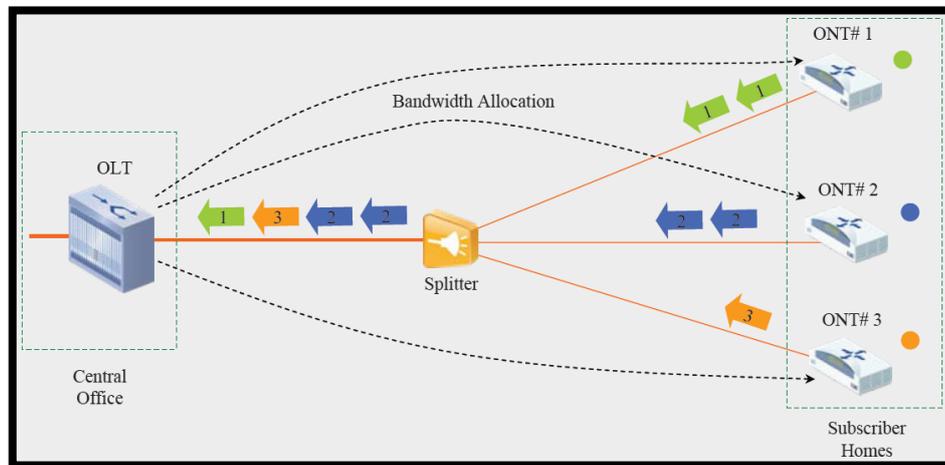
La comunicación descendente al ser del tipo broadcast requiere encriptación para que la ONT de destino sea la única que descifre el mensaje y deseche la demás información que le llega. En la siguiente figura se presenta el esquema de downstream.



**Figura 28-2: Esquema de un sistema GPON.**  
Fuente: (Lattanzi, 2015)

En el sentido inverso upstream, la ONT obtiene el tráfico del puerto del usuario y lo mapea en tramas GEM (GPON – Encapsulation Method), los cuales son transmitidos por medio de time

slots asignados por la OLT en un esquema TDMA. Se requiere un estado de sincronismo muy preciso para evitar colisiones y se mapea el ancho de banda por DBA. En el siguiente esquema se ilustra lo referido.

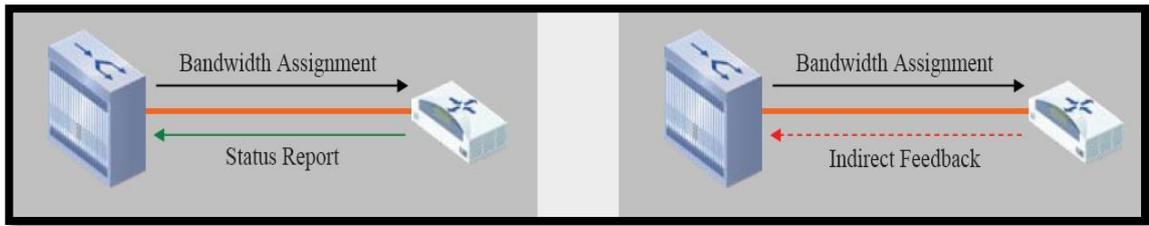


**Figura 29-2: Esquema de un sistema GPON.**  
Fuente:(Lattanzi, 2015)

#### 2.4.2.5.1. Asignación de ancho de banda

La asignación del ancho de banda en downstream en GPON al ser broadcast no existe mayor inconveniente porque la tarea principal recae en la ONT quien debe filtrar la información dirigida a ella y descartar el resto; pero todo el tiempo le llega la información. Todo lo contrario, sucede en upstream porque el control es por TDMA y si la ONT no tiene nada que transmitir el tiempo asignado a ella se perdería. Por esta razón GPON optimiza el ancho de banda de upload con diferentes mecanismos que se describen a continuación:

- **SBA** (Static Bandwidth Assignment) es la asignación estática del ancho de banda, la que define exclusivamente por TDMA y es ineficiente.
- **DBA** (Dynamic Bandwidth Assignment) es la asignación dinámica de ancho de banda y puede ser implementada de dos maneras exclusivas: SR (Status Reporting) y NSR (Non-Status Reporting). En el primer caso las ONTs reportan el status de sus colas en sus reportes upstream y en el segundo caso la OLT evalúa los patrones de tráfico. Lo indicado se observa en el siguiente diagrama:

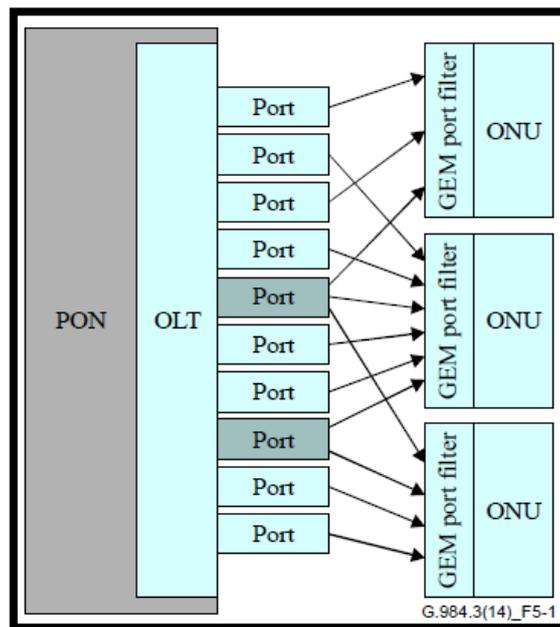


**Figura 30-2: DBA SR y DBA NSR.**

Fuente: (Lattanzi, 2015)

#### 2.4.2.5.2. Multiplexación de servicios

En downstream la multiplexación del tráfico es centralizada. “La OLT multiplexa las tramas GEM (GPON Encapsulation Method) en el medio de transmisión utilizando un GEM Port-ID como una clave para identificar la trama GEM que pertenece a las diferentes conexiones lógicas de downstream. Cada ONU filtra la trama GEM basado en el GEM Port-ID y procesa únicamente la trama GEM que le corresponde”. (Salazar Alulima, 2014)

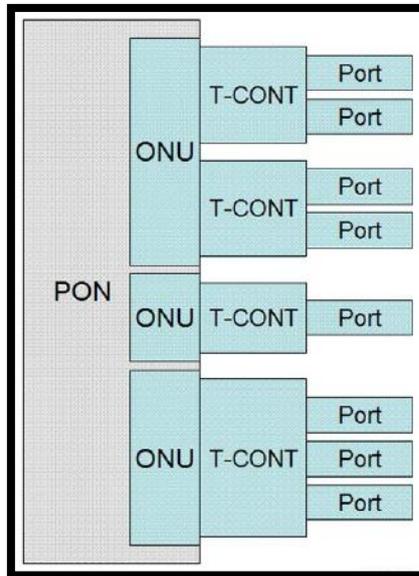


**Figura 31-2: Multiplexación downstream. Lo sombreado es multicast.**

Fuente:(International Telecommunication Union ITU, 2014)

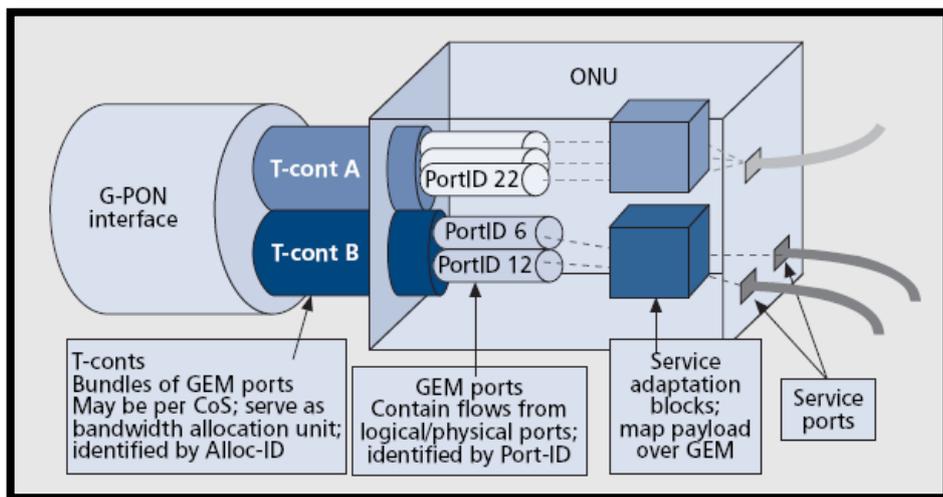
En upstream la funcionalidad de multiplexación del tráfico es distribuida. La OLT asigna recursos a las ONTs que están conectadas y generan tráfico, éstas ONTs son identificadas por la asignación de IDs (Alloc-IDs). “Los recursos asignados a las diferentes Alloc-IDs son multiplexadas en un tiempo determinado por la OLT en el mapa de recursos transmitidos en el enlace descendente.

Con cada asignación de recursos, la ONU utiliza el GEM Port-ID como una clave de multiplexación para identificar las tramas GEM que pertenecen a las diferentes conexiones del enlace ascendente”. (Salazar Alulima, 2014)



**Figura 32-2: Multiplexación upstream.**  
Fuente: (International Telecommunication Union ITU, 2014)

Para una mejor ilustración se presenta el siguiente diagrama:



**Figura 33-2: Multiplexación upstream.**  
Fuente:(Lattanzi, 2015)

Donde:

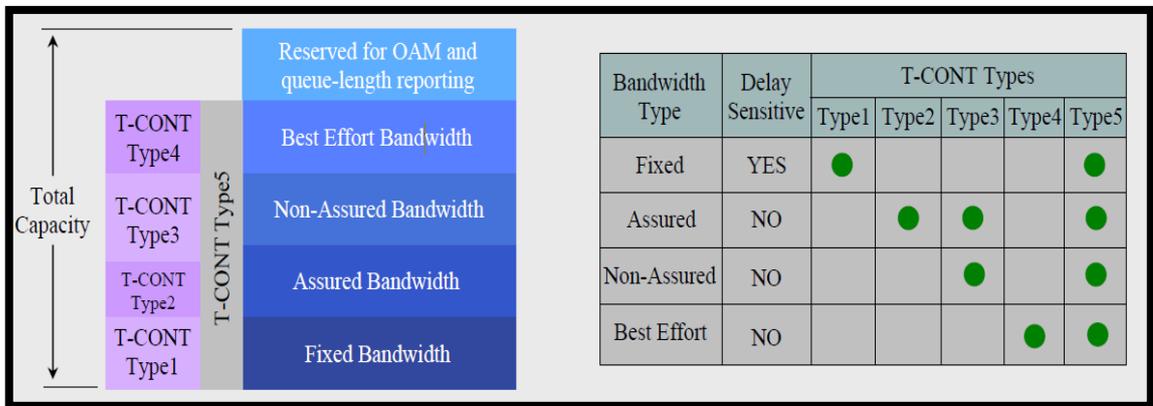
- GEM Port es la unidad mínima de transporte de servicios

- **T-CONT:** Transmisión Container, es utilizado para la transmisión de datos en upstream, se refiere a un búffer de servicios. T-CONT se introdujo para realizar la asignación dinámica del ancho de banda de subida. Se asignan a la ONT y se identifican por el Alloc-ID.
- **GPON Interface:** Interfase GPON hacia la OLT.
- **ONT Port:** puerto físico de la ONT (Ethernet, POTs, E1, etc), los cuales pueden contener uno o múltiples T-CONTs. (Lattanzi & Graf, 2008)

Los T-CONT se basan en un esquema de mapeo, el tráfico de servicio puede ser transmitido en diferentes puertos GEM, en diferentes T-CONTs. El mapeo entre puertos GEM y T-CON es flexible. Un puerto GEM puede corresponder a un T-CONT o múltiples puertos GEM pueden corresponder al mismo T-CONT. Existen de 5 tipos, lo que permite gestionar las prioridades de tráfico para la transmisión.

- **Tipo 1.-** es caracterizado por proveer ancho de banda fijo, y no es elegible para compartir exceso de ancho de banda. Es adecuado para transporte a una tasa fija (o a una tasa variable con límite relativamente bajo) del tráfico que es sensible al retardo y jitter como aplicaciones de voz y video, E1/T1.
- **Tipo 2.-** es caracterizado por el ancho de banda asegurado, y no es elegible para compartir exceso de ancho de banda. Es adecuado para transporte on-off con tipo de tasa bien definida y que no tiene requerimientos estrictos de retardo y jitter, como video bajo demanda.
- **Tipo 3.-** se caracteriza por proveer ancho de banda asegurado y es elegible para participar en el intercambio de ancho de banda no asegurado. Es adecuado para transportar tráfico a ráfagas de velocidad variable que requiere una garantía de velocidad media. Ejemplo: transacciones bancarias.
- **Tipo 4.-** se caracteriza por ser elegible para compartir ancho de banda orientado al mejor esfuerzo sin provisiones de ancho de banda fijo ni asegurado. Es adecuado para transporte de tráfico a ráfagas con tasa variable que no son sensibles al retardo, como por ejemplo internet.
- **Tipo 5.-** es una mezcla de todos los tipos de T-CONT, representando todos los anchos de banda y puede transportar cualquier tipo de tráfico.

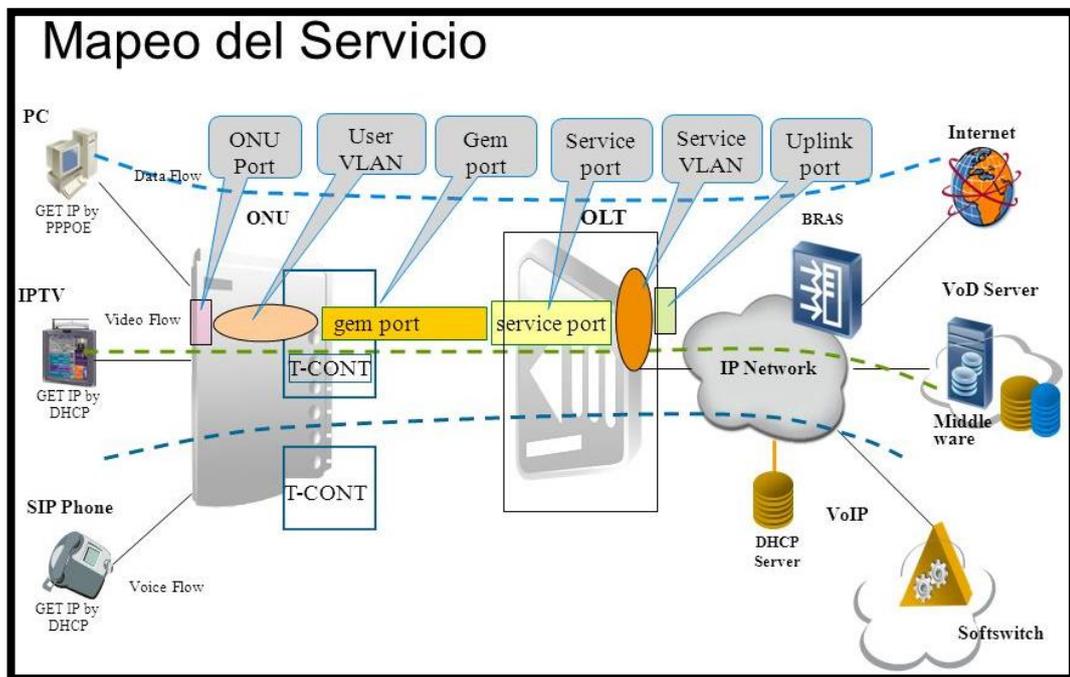
En la siguiente figura se muestra en forma esquemática los 5 tipos de T-CONT.



**Figura 34-2: Clases de T-CONT.**

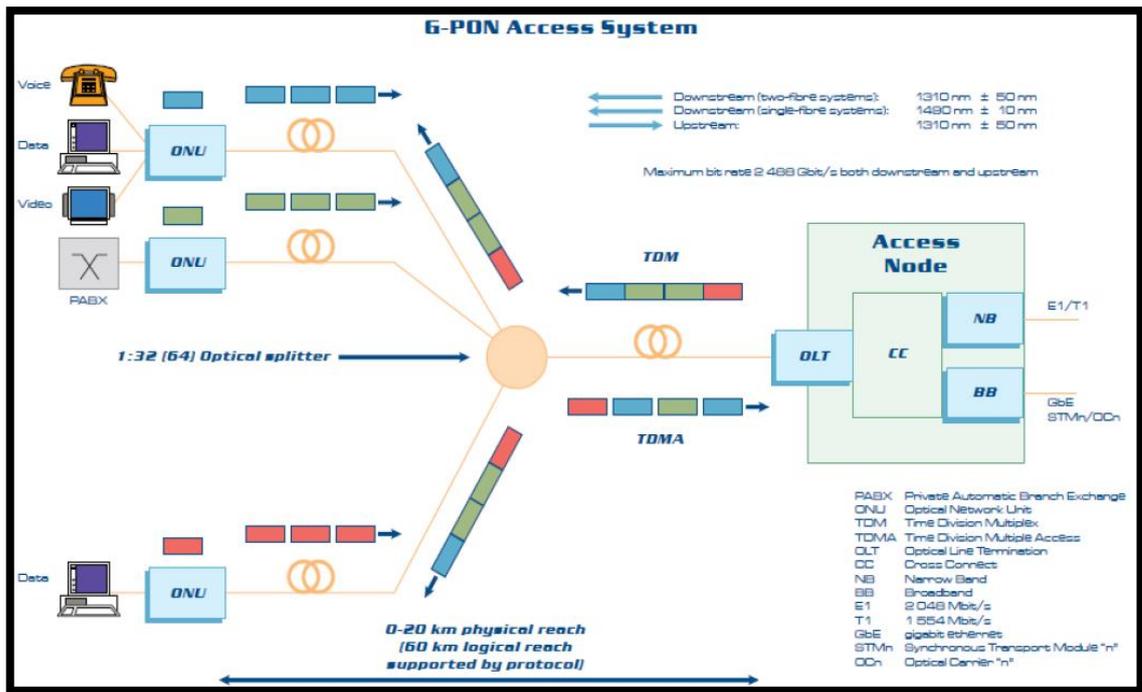
Fuente: (Lattanzi, 2015)

En las siguientes figuras se observa el esquema de un sistema de acceso GPON.



**Figura 35-2: Mapeo de servicio con tecnología GPON.**

Fuente: <http://slideplayer.es/slide/11115217/39/images/7/GPON+FTTH+HSI+Service+Provisioning.jpg>



**Figura 36-2: Esquema de un sistema GPON.**

Fuente: (Añazco Aguilar, 2013)

En el esquema del sistema GPON se observa los tres componentes de los sistemas PON, en los extremos los equipos activos ONU/T y OLT, unidos por la red de acceso pasiva ODN.

#### 2.4.2.5.3. Onu/t

Optical Network Unit / Terminal. Es el equipo que se instala en el domicilio u oficina del cliente. Está dotada de múltiples características, pero básicamente es un convertidor que convierte las señales ópticas que recibe del lado de la OLT a través de la ODN a eléctricas para entregar conectividad a los equipos del cliente y viceversa recibe las señales eléctricas y los convierte en señales luminosas para el upstream. Según los requerimientos del o los clientes se debe instalar una ONU o una ONT.

La ONT se instala para un cliente final, en un domicilio, departamento u oficina. La ONT tiene un puerto óptico a través del cual se conecta a la ODN y tiene las siguientes interfaces eléctricas: varios sockets RJ45 para puertos fast-ethernet para conexión alámbrica de otros terminales, varios sockets RG11 para conexión telefónica POTS, puerto RF para la televisión y WI-FI para irradiar señal inalámbrica para dispositivos móviles domésticos.

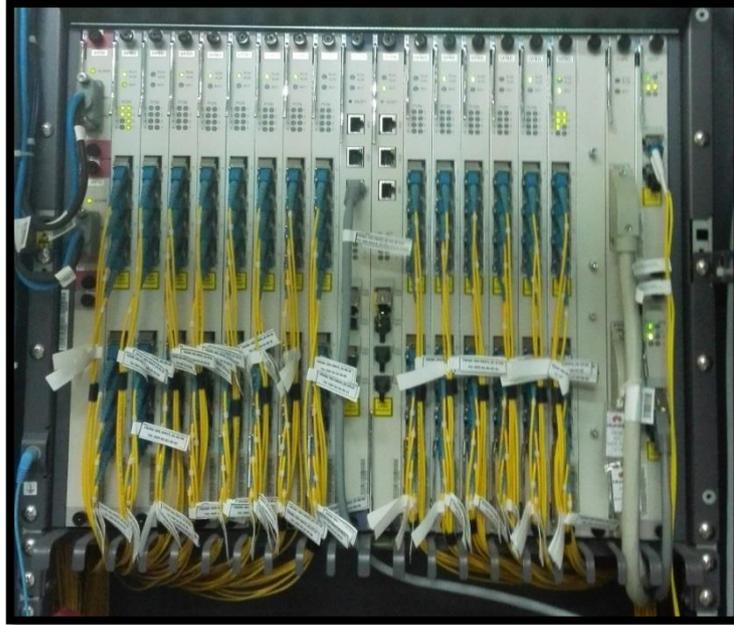
La ONU es un equipo robusto intermedio que convierte la señal óptica a eléctrica y viceversa, y se utiliza para sub-distribuir las señales eléctricas a varios usuarios o clientes con puertos fast-ethernet, se utiliza generalmente en edificios para aprovechar el cableado estructurado. Esta topología de acceso se conoce con el nombre de FTTB (Fiber To The Building).

#### 2.4.2.5.4. *Olt*

Optical Line Terminal o Terminal de Línea Óptica es el equipo activo que se instala en la oficina central del operador de telecomunicaciones. Por una parte, se interconectan las fibras ópticas alimentadoras denominadas “feeder”, las cuales forman parte de la ODN con dirección a los abonados y, por otro lado, se interconectan con interfaces “giga” de fibra óptica a los equipos de transporte como switch MPLS mediante el cual se integran a la red core del operador.

La capacidad de la OLTs es relativa, debido a que depende del nivel de división o spliteo que se realice en la ODN para atender la demanda comercial censada. Como ejemplo citamos el modelo de la marca Huawei 5600T, cuenta con 16 slots en las que se instalan máximo 14 tarjetas GPBD que contienen 8 puertos PON cada tarjeta.

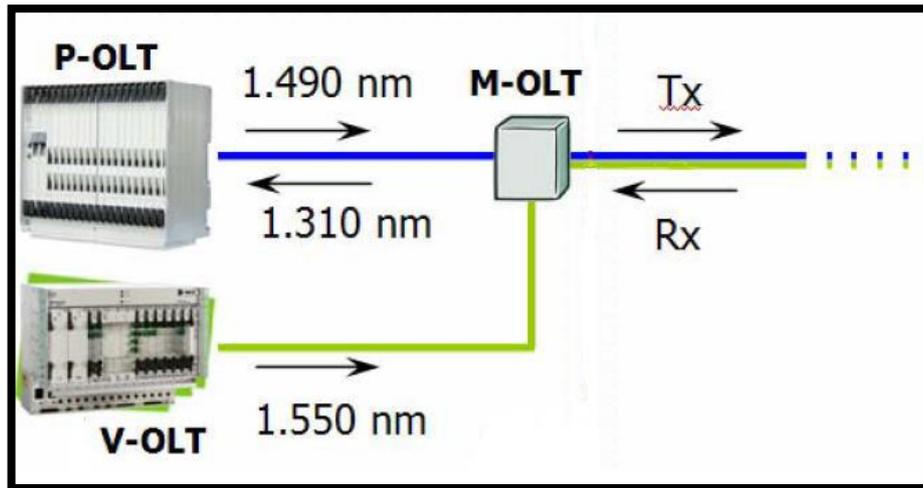
Lo niveles de spliteo 1:32 la capacidad de la OLT es de 3584 abonados ( $14 \times 8 \times 32$ ); sin embargo, si la división es 1:64 la capacidad se duplica a 7168 abonados y si el nivel de spliteo fuera a 1:128 se cuadruplica la capacidad inicial a 14336. En la práctica existe una combinación de spliteo, es decir en algunas rutas y por consiguiente algunos puertos PON servirán una división de 1:32, otros 1:64 y tal vez algunos 1:128, por lo que la capacidad de la OLT es relativa. En la siguiente figura se observa el modelo de OLT Huawei 5600T.



**Figura 37-2: OLT Huawei 5600T 14 tarjetas con 8 puertos PON.**  
Realizado por: Iván Tenecora, 2019

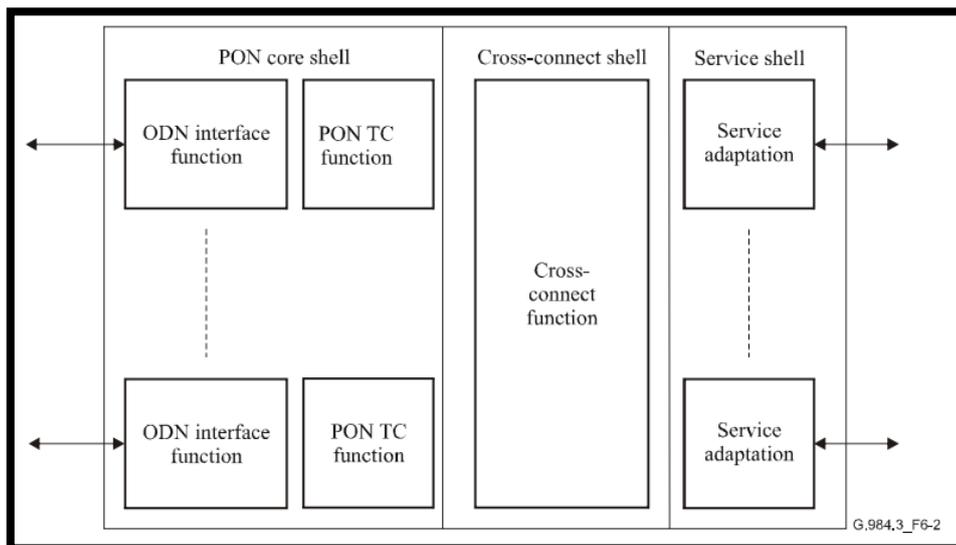
Entre las funciones principales de la OLT están: switching y routing de capa 2 y capa 3, provee calidad de servicio (QoS), “realiza funciones de control en la red de distribución, control de potencias emitidas y recibidas, corrección de errores e interleaving, coordina la multiplexación de los canales de subida y bajada”.(Marchukov, Y, 2011)

Las OLTs se componen de 3 módulos: P-OLT (Provider OLT), V-OLT (Video OLT) y M-OLT (Multiplexer OLT). La P-OLT es la encargada de recuperar y distribuir todo el tráfico entre los usuarios y los servidores, sean estos de datos, o de voz, VPNs, etc. La V-OLT únicamente gestiona el tráfico de video, sea éste de broadcast, multicast o bajo demanda. Por último, la M-OLT se encarga de multiplexar el tráfico de los dos módulos referidos anteriormente. En la siguiente figura se presenta el esquema de la OLT y sus tres módulos.



**Figura 38-2: OLT.**  
 Fuente: (Marchukov, Y, 2011)

Según la recomendación ITU 984.3 la OLT tiene los siguientes bloques funcionales: bloque núcleo de PON, bloque de conexión cruzada y bloque de servicio, como se puede observar en la siguiente figura.



**Figura 39-2: Bloques funcionales de la OLT.**  
 Fuente: (International Telecommunication Union, 2014)

Bloque núcleo de PON. - Tiene dos funciones: la interfaz ODN descrita en la recomendación ITU 984.2 y la función TC (Transmission Container) que incluye el interleaving, el control de acceso al medio, la alineación de las PDU (Protocol Data Unit) para la función de conexión cruzada, la gestión de las ONUs. Cada TC PON selecciona un modo entre ATM, GEM o Dual.

Bloque de conexión cruzada. - proporciona un trayecto de comunicación entre el bloque núcleo de PON y el bloque de servicio. La tecnología de este trayecto depende de los servicios, la arquitectura en la OLT y otros factores.

Bloque de servicio. – provee la traducción entre las interfaces de servicio y la interfaz de la trama TC de la sección PON.

#### 2.4.2.5.5. *Odn*

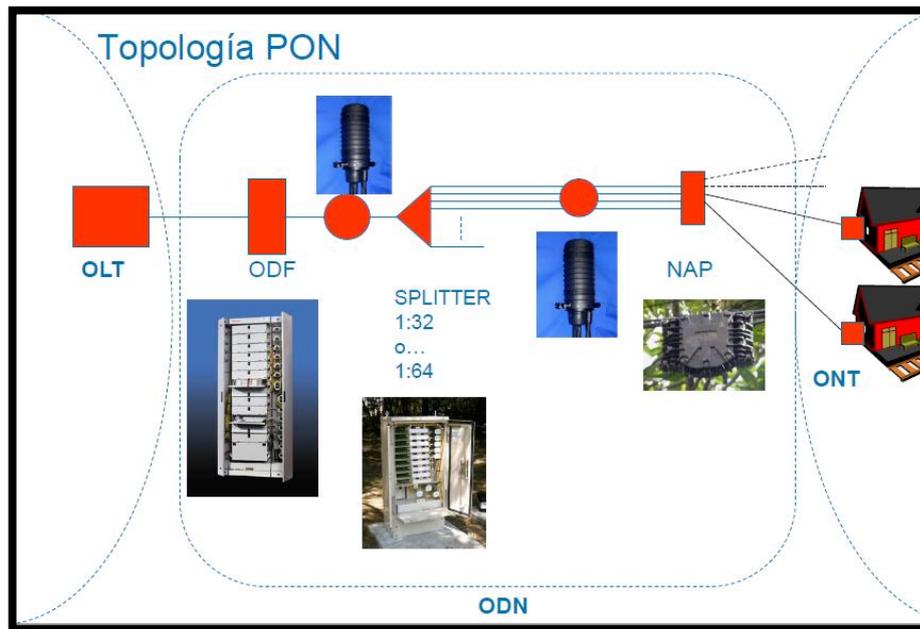
La ODN (Optical Distribution Network) está construida principalmente de fibra óptica, elementos conexos y, no tiene ningún elemento activo. Este segmento corresponde a la red de acceso o última milla que, hasta la actualidad, en su mayoría están construidas con cables de cobre y por ello, se han convertido en el cuello de botella que impide entregar un mayor ancho de banda a los usuarios.

La ODN es el conjunto de elementos pasivos que interconectan la OLT del operador con las ONTs de los abonados. Por su arquitectura puede ser tipo extrella con un solo nivel de spliteo o en cascada con varios niveles de spliteo. Por el uso de armarios o distribuidores ó la ausencia de estos y su remplazo con mangas se puede clasificar en red flexible o red rígida. La red flexible se caracteriza por el uso de armarios, lo cual permite optimizar el uso de puertos PONs y crecer en forma escalonada. A medida que crecen las instalaciones se utilizan más splitters para interconectar los hilos de fibra de las NAPs.

La red rígida utiliza mangas portaesplitters, las cuales definen la conectividad entre el puerto PON y las NAPs en el momento de la construcción. En ambos casos existen ventajas y desventajas. Entre las ventajas de la red flexible están las siguientes: permiten un crecimiento ordenado, organizado y paulatino de la red; no requiere un procesamiento riguroso del área comercial, porque al ser flexible se puede modificar en la instalación. Las ventajas de la red rígida es que no requiere realizar patcheos intermedios (en el distribuidor), sino únicamente la instalación al cliente final, los costos son menores en comparación con la flexible.

Desventajas de la red flexible son los costos (un armario es mucho más costoso que una manga), el tiempo de instalación es mayor, permiten múltiples errores en el procesamiento del área comercial.

Desventajas de la red rígida son: no admite errores del área comercial, el mantenimiento requiere mayor cuidado al intervenir directamente en las mangas portaesplitters. Algunos de los elementos de la ODN se observan en la siguiente figura:



**Figura 40-2: ODN.**  
Fuente:(Miranda, J. L, 2014)

La ODN está compuesta por 3 segmentos de red que son: red feeder, red de distribución y red de dispersión, las cuales pueden instalarse en forma aérea o soterrada.

#### 2.4.2.5.5.1. Segmentos de la ODN

##### 2.4.2.5.5.1.1. Red Feeder

Denominada también red troncal o de alimentación inicia en el odf principal, en el cuarto de telecomunicaciones del operador cerca de la OLT y se despliega siguiendo las rutas planificadas. Se recomienda que los feeders se instalen de forma canalizada para una mejor protección. Los feeders son cables de fibra óptica estándar monomodo G.652D y gran capacidad de hilos: 288, 144, 96. En ciertas circunstancias se instala hasta de 48 hilos.

El segmento de la red feeder finaliza en un distribuidor o FDH (Fiber Distribution Hub) o manga portaesplitters e interconecta la OLT con la red de distribución.

En un diseño centralizado con OLT de gran capacidad, la red feeder es la más importante de la última milla de una ruta. Por lo general, dependiendo de la ubicación de la OLT se tiene al menos 2 feeders para 2 rutas; pero es factible contar con más feeders y rutas, especialmente si la OLT se ubica en el centro de la demanda a la cual se planifica brindar conectividad. Si la demanda focalizada es pequeña se puede optar por desplegar mini-OLTs, en cuyo caso la red feeder son de menor capacidad.

#### *2.4.2.5.5.1.2. Red de Distribución*

La red de distribución se ubica a continuación de la red feeder, se inicia en el distribuidor FDH o en la manga portaesplitter y finaliza en las NAPs (Network Access Point) o FDB (Fiber Distribution Building). El despliegue puede ser aéreo o soterrado y los cables de fibra óptica son de menor capacidad, considerando si existe un único nivel de spliteo o más de uno. Ésta red de distribución se encarga de la interconexión entre la red feeder y la red de dispersión.

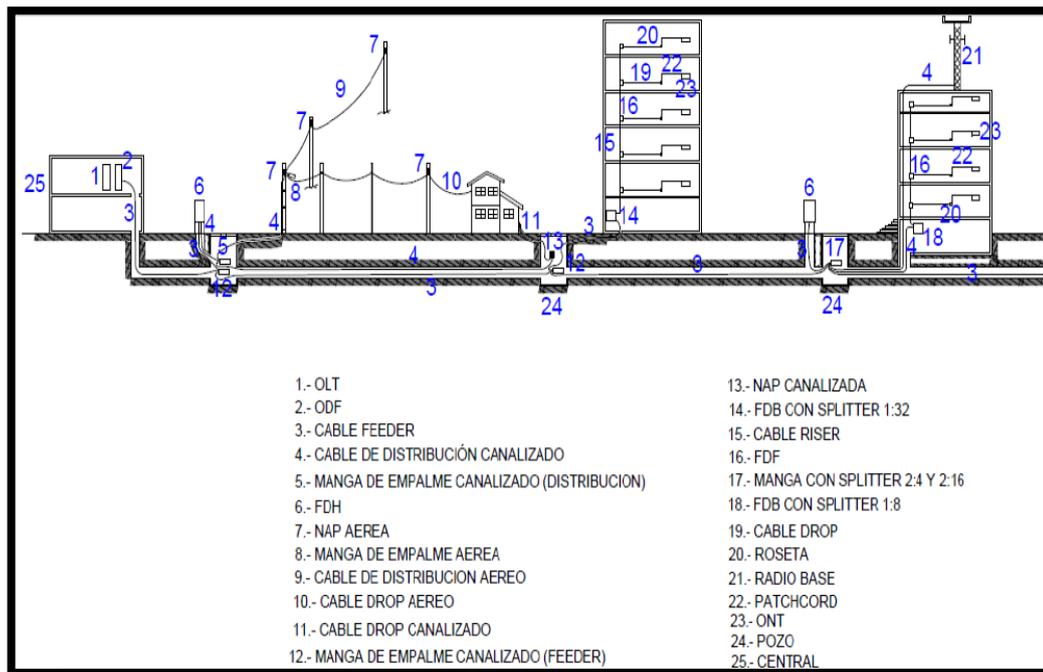
#### *2.4.2.5.5.1.3. Red de Dispersión*

El último segmento de la ODN es la red de dispersión, inicia en la NAP o FDB y contiene el área de influencia de las NAPs, las cuales se diseñan para atender la demanda identificada con un 80% de la capacidad de las NAPs y se excede un 20% para una demanda futura. El diseño de la red de dispersión debe procurar el equilibrio entre los costos de la empresa y de los clientes.

En la zona urbana se recomienda una distancia de acometida al cliente de hasta 120m y en zonas rurales la distancia sugerida es de 250m; sin embargo, según la ubicación geográfica de la demanda, las distancias podrían ser superiores, especialmente en las zonas rurales. La red de dispersión se diseña con la planificación de la ubicación de las NAPs en función de la demanda objetivo y se construye cuando se instala el servicio a los abonados. El tipo de cable utilizado es de baja capacidad, únicamente de 2 hilos; 1 principal y otro de respaldo. El tipo de cable es DROP con estándar G.657.A1 ó G657.A2.

#### *2.4.2.5.5.2. Elementos y Accesorios de la ODN*

Los elementos y accesorios de la ODN son variados, como se puede observar en la siguiente figura esquemática. A continuación, se describirán los más importantes.



**Figura 41-2: Arquitectura GPON – elementos ODN.**

Fuente:(Suárez, E. J., 2015)

**ODF.** - Uno o varios ODFs se instalan en el origen de la red feeder, en el cuarto de telecomunicaciones del operador. Los ODFs son organizadores que permiten la interconexión de los hilos de fibra del feeder con los hilos de fibra óptica de los puertos PONs. La interconexión se lo realiza con patchcords de conectores mixtos; SC-APC por un lado y, FC-APC en el otro extremo.

**MANGA ó MUFA.** - accesorio de protección de fibra óptica cuando se ha intervenido para fusión lineal o derivación. Posee mecanismos de apertura y cierre mecánicos herméticos que impiden el paso de humedad y polvo, protegiendo la fibra óptica. Las mangas lineales permiten añadir tramos de fibra óptica para extender linealmente el segmento de red o también para proteger la unión del mismo tramo que ha sido reparado por fusión por alguna rotura. Las mangas de derivación protegen la derivación por fusión del tramo principal y varias derivaciones. En el caso de la tecnología GPON, se utilizan mangas con capacidad para albergar los splitters que dividen y multiplexan la señal GPON hacia la red de distribución.

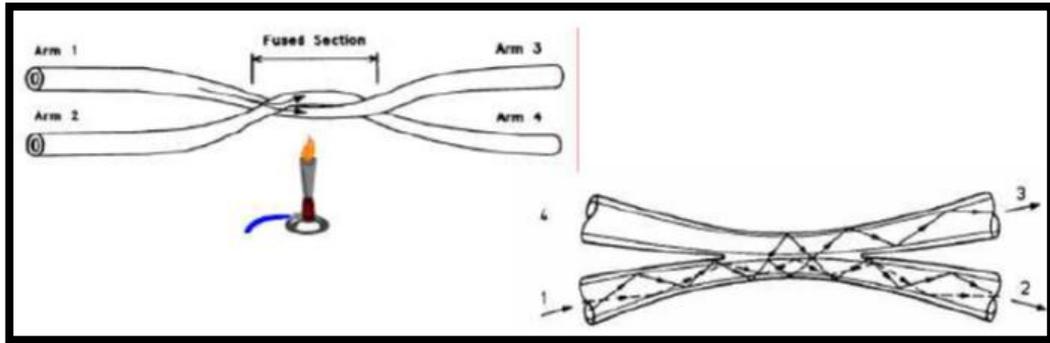
**FDH.** - (Fiber Distribution Hub) Distribuidor de Fibra Óptica es una caja o armario metálico que permite organizar los hilos de fibra del feeder y los hilos de fibra de la red de distribución. En los FDH se instalan los splitters conectorizados que multiplexan la señal de 1xN (Donde N es igual a 2, 4, 8, 16, 32 ó 64); aunque también soporta 2xN cuando se considera respaldo a nivel de feeder.

Para alimentar un FDH de 288 clientes de capacidad con un nivel de división (spliteo) de 1x32 se requieren 9 hilos de fibra óptica del feeder; es decir de un buffer que contiene 12 hilos se utilizan 9 y 3 se mantiene como reserva o para otros fines como clientes especiales o corporativos. En la siguiente figura se observa un FDH de la marca TE.

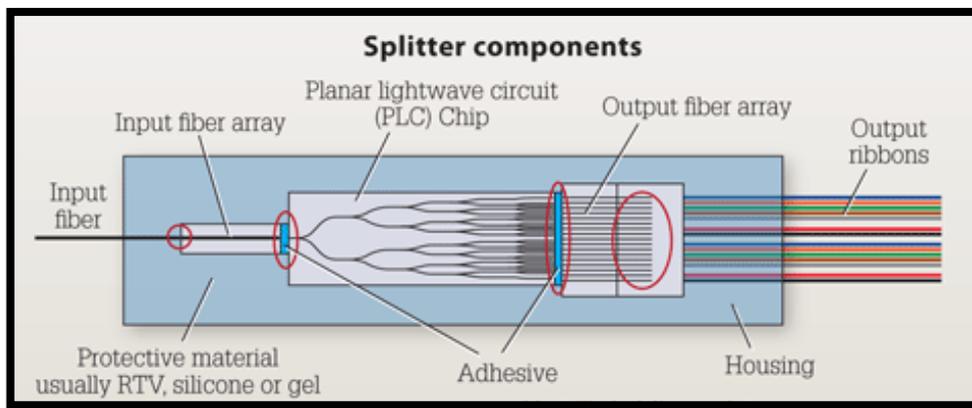


**Figura 42-2: Arquitectura GPON – elementos ODN - FDH**  
Fuente:(Miranda, J. L, 2014)

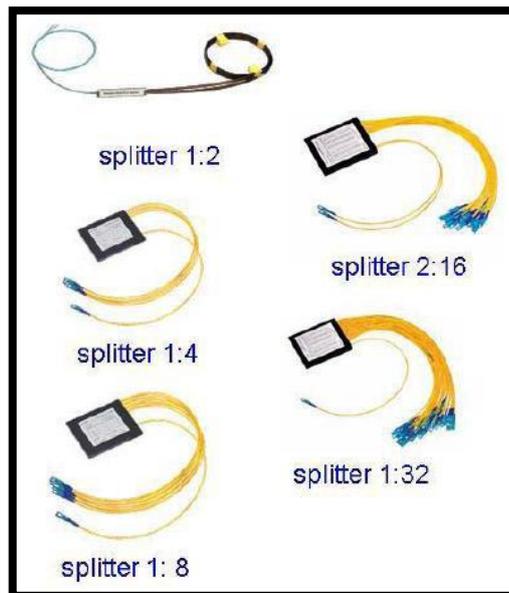
**SPLITTERS.** - son dispositivos que dividen físicamente el núcleo de la fibra óptica, creando múltiples salidas en número de 2, 4, 8, 16, 32, 64 y hasta 128. Los splitters pueden instalarse en cualquier ubicación de la ODN. Podría instalarse en el ODF principal, en el origen del feeder pero generalmente se instala en los distribuidores FDH y también se instalan en el segmento de la red de distribución hasta en las NAPs, todo dependerá del diseño de la ODN para atender la demanda objetivo, limitaciones técnicas, regulaciones locales y nacionales y costos. Los splitters son los dispositivos que más pérdidas por atenuación causan al enlace, afectando el presupuesto óptico, por tal razón es de suma importancia la planeación y ubicación de los mismos. Por su fabricación son de dos tipos: FBT (Fused Biconic Taper) fabricados por fusión de dos fibras retorcidas y PLC (Planar Lighthweigth Circuit) los circuitos ópticos se perforan dentro de chip de silica y por su conexión pueden ser conectorizados para inserción directa en los FDH o por fusión para mangas o NAPs; algunos tienen 2 entradas para propósitos de respaldo. En la siguiente figura se observa algunos splitters.



**Figura 43-2: Estructura de splitter tipo FBT.**  
 Fuente: (Miranda, J. L., 2014)



**Figura 44-2: Estructura de splitter tipo PLC.**  
 Fuente: <http://aemstatic-ww1.azureedge.net/content/dam/cim/print-articles/Volume%2021/Issue%206/art1.gif>



**Figura 45-2: Splitters conectorizados.**  
 Fuente: (Gómez Bossano, 2012)

**NAP (Network Access Point), FDB (Fiber Distribution Building), FDF (Fiber Distribution Floor).** - Son dispositivos desde los cuales se origina la red de distribución con cable drop, riser o interior hacia la roseta óptica en la casa, edificio, oficina o departamento según sea el requerimiento de los abonados. La NAP es una caja óptica outdoor que se instala en los postes, cámara o pared, según sea aérea, canalizada o mural. La FDB se instala en el ingreso del edificio desde el cual se distribuirá al resto del inmueble. La FDF es una caja más pequeña que se instala por piso. La conexión del cable drop a la NAP, FDB y FDF se realiza con conectores mecánicos. En las siguientes figuras se muestran fotografías de NAP, FDB y FDF.



**Figura 46-2: Fotografía de NAP, FDB y FDF.**

Realizado por: Iván Tenecora, 2019

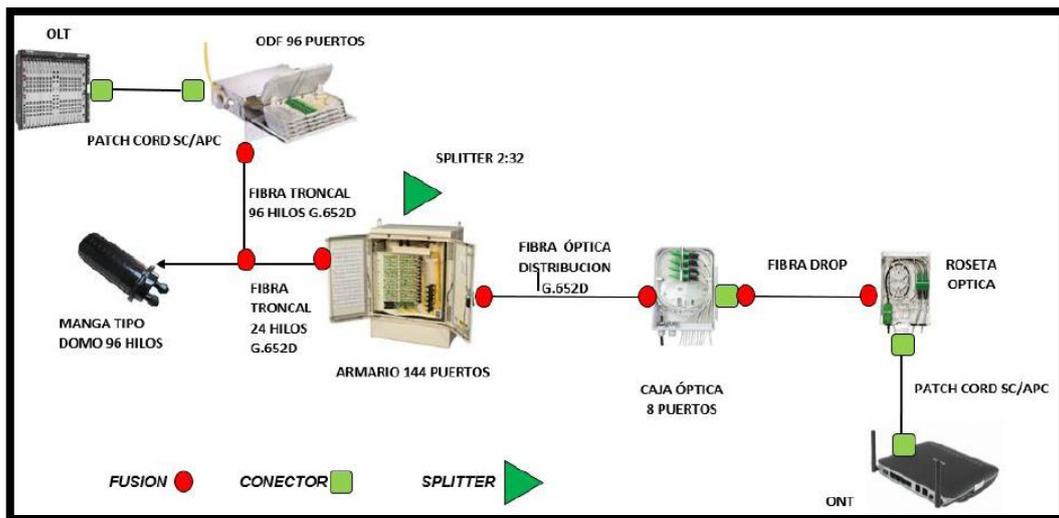
**ROSETA ÓPTICA.** - Es punto final de la red de dispersión y por consiguiente de la ODN, se instala cerca de la ubicación de la ONT, el cual es el equipo activo que finalmente entregará los servicios de telecomunicaciones al abonado en forma alámbrica y/o inalámbrica. La conexión entre la roseta óptica y la ONT se realiza con un patchcord SC/APC.

#### 2.4.2.5.6. *Presupuesto óptico*

El presupuesto óptico es fundamental para el buen funcionamiento de la tecnología de acceso GPON. El presupuesto óptico es la diferencia entre la potencia del transmisor menos las pérdidas que se introducen por diferentes factores en el enlace y que causan atenuación. En enlaces ópticos se requieren rangos mínimos y máximos para el adecuado funcionamiento de los equipos activos. Si la potencia es mayor se requiere instalar atenuadores y, si la potencia de llegada es menor al

mínimo, simplemente la señal no llegará. Los factores que introducen atenuación se observan en la siguiente figura y son los siguientes:

1. Atenuación por la longitud de la fibra óptica.
2. Atenuación por splitters
3. Atenuación por empalmes y fusiones
4. Atenuación por conectores.



**Figura 47-2: Elementos que intervienen en el presupuesto óptico**

Realizado por: Iván Tenecora, 2019

La atenuación total = (Atenuación de splitters) + (Atenuación fibra/Km \* distancia) + (Atenuación de empalmes \* número de empalmes) + (Atenuación de conectores \* número de conectores)

A continuación se muestra un cálculo de presupuesto óptico del diagrama anterior, para una distancia de 10Km.

PRESUPUESTO ÓPTICO				
		Cantidad	Uni (dB)	Atenuación (dB)
Conectores		5	0.50	2.50
Fusiones		7	0.10	0.70
Conectores mecánicos			0.10	0.00
Splitters	1x2		3.50	0.00
	1x4		7.00	0.00
	1x8		10.50	0.00
	1x16		14.00	0.00
	1x32	1	17.50	17.50
	1x64		21.00	0.00
Fibra óptica	1310nm	10	0.35	3.50
	1490nm		0.30	0.00
	1550nm		0.25	0.00
<b>Total (dB)</b>				<b>24.20</b>

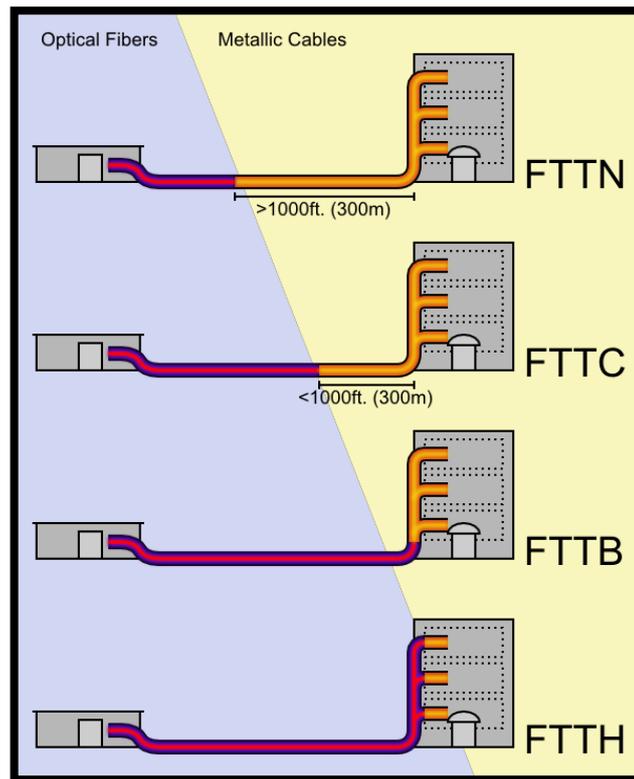
**Figura 48-2: Cálculo de presupuesto óptico**  
Realizado por: Iván Tenecora, 2019

### 2.4.3. FTTX

FTTX se utiliza para denominar el alcance del despliegue de la red de fibra óptica de las tecnologías PON y viene del inglés Fiber To The X, donde la X se utiliza para generalizar algunas tecnologías de redes según el alcance o cobertura de la fibra óptica.

Los componentes de las redes PON son básicamente 3: La sala principal y activa de telecomunicaciones del operador donde se ubica la OLT (Optical Line Termination), la red de distribución de fibra óptica ODN (Optical Distribution Network) y la ONT (Optical Network Terminal) que es el terminal del abonado.

En los inicios de las tecnologías PONs, los costos de implementación eran altos y, también, se debía considerar los millones de kilómetros de redes de cobre ya desplegadas y en servicio, razón por lo que se crea el concepto de despliegue de redes de fibra hasta X, con el objetivo de obtener los beneficios de la fibra óptica a precios razonables y reutilizar las redes de cobre ya desplegadas en todo el mundo; por ello según el alcance y cobertura de la red de fibra óptica se nombraron múltiples clases de redes FTT-X. Entre las principales tenemos las siguientes: FTTN, FTTC, FTTB, FTTH.



**Figura 49-2: FTTX.**  
Fuente:(Lattanzi, 2015)

#### 2.4.3.1. Fttn

Fiber To The Node utiliza fibra óptica en menor cantidad. Las renovaciones son hasta los nodos o concentradores, desde los cuales se reutiliza la red de cobre y se llega hasta el abonado con tecnología ADSL o VDSL, las cuales cubren extensiones superiores a 300m llegando hasta 2500m, lo cual limita considerablemente los beneficios del uso de la fibra óptica, pero es la más económica de implementar.

#### 2.4.3.2. Fttc

Fiber To The Curb o fibra óptica hasta la acera. La fibra se instala lo más cerca posible al domicilio de los abonados, pero sin llegar a las casas. La fibra termina en gabinetes tipo outdoor y desde aquí se reutiliza la red de cobre, para ingresar al domicilio de los abonados con ADSL o VDSL. El bucle de abonado de cobre es menor a 300m.

#### 2.4.3.3. Fttb

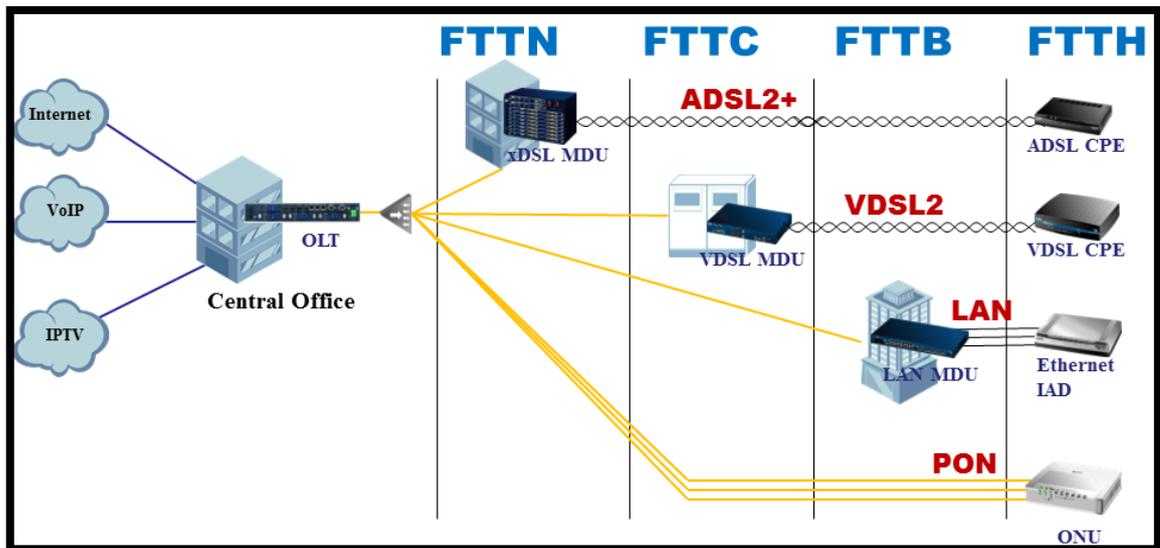
Fiber To The Building. En las grandes urbes predominan los edificios, muchos de los cuales cuentan con una importante infraestructura de cobre desplegada, conocida como cableado

estructurado y esta es la razón principal por lo que la fibra óptica diseñada para edificios llega a un punto de entrada y conversión en la que se instalan las ONUs y se reutiliza la red de cobre para llegar a las oficinas o departamentos con tecnología LAN.

#### 2.4.3.4. Fttth

Fiber To The Home. Es el despliegue total y absoluto de la fibra óptica hasta el domicilio o casa del cliente y, es el objetivo de la tecnología GPON-FTTH que al principio no era muy factible debido a los costos que representaba, especialmente por el costo de la fibra óptica; sin embargo, en el transcurso del tiempo los costos de la fibra óptica se han reducido considerablemente a tal punto que es más conveniente construir e instalar una red de fibra óptica al 100%. Se tiene varias décadas de experiencia en redes de cobre y se conocen muy bien los problemas que representa, razón por lo que actualmente se recomienda el despliegue de FTTH y talvez FTTB.

En resumen, se observa en la siguiente figura la evolución del alcance de la fibra óptica según el destino, desde sus inicios hasta los nodos, hasta hoy en día directamente al hogar.



**Figura 50-2: FTTX.**

Fuente: <https://martinmoreton.files.wordpress.com/2011/11/fttx.png>

#### 2.4.4. Análisis comparativo de tecnología xDSL y GPON

En la siguiente tabla se realiza un análisis comparativo de las dos tecnologías de acceso revisadas.

**Tabla 3-2: Comparativo ADSL – GPON**

Parámetro	ADSL	GPON
<b>Distancia de cobertura</b>	3Km	20Km
<b>Ancho de banda Down/Up</b>	5Mbps/0.64Mbps	2.488Gbps/1.244Gbps
<b>Interferencia</b>	Electromagnética	NA
<b>Servicio triple-play</b>	NO	SI
<b>Peso de cable</b>	Alto	Bajo
<b>Volumen de cable</b>	Alto	Bajo
<b>Coexistencia con otras redes</b>	No	Si
<b>Servicio triple-play</b>	No	Si
<b>Opex</b>	Alto	Bajo
<b>Capex</b>	Bajo	Alto

Realizado por: Iván Tenecora, 2019

## 2.5. Marco regulatorio de las telecomunicaciones en el Ecuador

En el Ecuador, la renovada ley de telecomunicaciones vigente desde el año 2015 se aplica a todas las actividades de establecimiento, instalación y explotación de redes, uso y explotación del espectro radioeléctrico, servicios de telecomunicaciones y a todas aquellas personas naturales o jurídicas que realicen tales actividades a fin de garantizar el cumplimiento de los derechos y deberes de los prestadores de servicios y usuarios. También aplica a todas las redes e infraestructura tecnológica usadas para la prestación de servicios de radiodifusión sonora y televisiva y las redes e infraestructura de los sistemas de audio y video por suscripción.

Entre los principales objetivos que fomenta la ley orgánica de telecomunicaciones del Ecuador están los siguientes:

- Promover el desarrollo y fortalecimiento del sector de las telecomunicaciones.
- Fomentar la inversión nacional e internacional, pública o privada para el desarrollo de las telecomunicaciones.
- Promover y fomentar la convergencia de redes, servicios y equipos.
- Promover el despliegue de redes e infraestructura de telecomunicaciones, que incluyen audio y video por suscripción y similares, bajo el cumplimiento de normas técnicas,

políticas nacionales y regulación de ámbito nacional, relacionadas con ordenamiento de redes, soterramientos y mimetización.

- Promover que el país cuente con redes de telecomunicaciones de alta velocidad y capacidad, distribuidas en el territorio nacional, que permitan a la población entre otros servicios, el acceso al servicio de Internet de banda ancha.
- Establecer el marco legal para la emisión de regulación ex ante, que permita coadyuvar en el fomento, promoción y preservación de las condiciones de competencia en los mercados correspondientes en el sector de las telecomunicaciones, de manera que se propenda a la reducción de tarifas y a la mejora de la calidad en la prestación de servicios de telecomunicaciones.
- Establecer las condiciones idóneas para garantizar a los ciudadanos el derecho a acceder a servicios públicos de telecomunicaciones de óptima calidad, con precios y tarifas equitativas y a elegirlos con libertad, así como a una información precisa y no engañosa sobre su contenido y características.
- Establecer el ámbito de control de calidad y los procedimientos de defensa de los usuarios de telecomunicaciones, las sanciones por la vulneración de estos derechos, la reparación e indemnización por deficiencias, daños o mala calidad de los servicios y por la interrupción de los servicios públicos de telecomunicaciones que no sea ocasionada por caso fortuito o fuerza mayor.
- Fomentar la neutralidad tecnológica y la neutralidad de la red.
- Establecer los mecanismos de coordinación con organismos y entidades del Estado para atender temas relacionados con el ámbito de las telecomunicaciones en cuanto a seguridad del Estado, emergencias y entrega de información para investigaciones judiciales, dentro del debido proceso.

Se entiende por redes de telecomunicaciones a los sistemas y demás recursos que permiten la transmisión, emisión y recepción de voz, video, datos o cualquier tipo de señales, mediante medios físicos o inalámbricos, con independencia del contenido o información cursada.

En el caso de redes físicas el despliegue y tendido se hará a través de ductos subterráneos y cámaras de acuerdo con la política de ordenamiento y soterramiento de redes que emita el Ministerio rector de las Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información.

La LOT también establece los derechos de los abonados, clientes y usuarios entre las cuales tenemos:

- A disponer y recibir los servicios de telecomunicaciones contratados de forma continua, regular, eficiente, con calidad y eficacia.
- A escoger con libertad al prestador del servicio, el plan de servicio, así como a la modalidad de contratación y el equipo terminal en el que recibirá los servicios contratados.
- Al secreto e inviolabilidad del contenido de sus comunicaciones, con las excepciones previstas en la Ley.
- A que su prestador le informe oportunamente sobre la interrupción, suspensión o averías de los servicios contratados y sus causas.
- A la portabilidad del número y a conservar su número en el caso de Servicios de Telecomunicaciones que usen recurso numérico, de conformidad con lo establecido en esta Ley y en las regulaciones aplicables.
- Entre otros

También se enumeran las obligaciones de los usuarios, pero no se citan por no ser relevantes para el presente trabajo.

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación propuesta es cuasi-experimental porque es el primer proyecto de esta naturaleza que se evalúa en la ciudad de Macas, capital de la provincia Oriental de Morona Santiago, aunque la tecnología GPON ha sido implementada en otros países. También es transversal porque se requiere la coordinación entre múltiples entes que participan en el proyecto como el operador de telecomunicaciones, los clientes, la normativa legal vigente e incluso la competencia.

#### 3.2. Métodos de Investigación

*Método deductivo* para la comprensión de conceptos, principios, definiciones, leyes y normas generales que rodean a la tecnología GPON y normas regulatorias vigentes del sector de las Telecomunicaciones, para demostrarlos en el caso particular de esta investigación.

*Método inductivo*, según los casos particulares que se han presentado con la migración de la tecnología se lograrán recuperar procedimientos que permitan optimizar los recursos sin afectar a los usuarios de telecomunicaciones, para la masificación de la tecnología GPON.

*Análisis*, de los datos estadísticos de averías y satisfacción del usuario con las visitas técnicas determinarán la información objetiva para determinar el predominio de la tecnología GPON sobre la tecnología ADSL.

#### 3.3. Enfoque de investigación

El enfoque de la presente investigación es Cuantitativo – Cualitativo, porque se obtendrá información confiable en base a las encuestas realizadas a los usuarios que han experimentado con las dos tecnologías motivo del presente estudio.

### 3.4. Alcance de la investigación

El alcance de la investigación será descriptivo en lo referente a la tecnología a utilizar, correlacional porque se relaciona con la zona de implementación y explicativo por cuanto se requerirá obtener información que sirva para futuros proyectos de migración de tecnología GPON en el resto de la provincia Morona Santiago.

### 3.5. Población de estudio

El proyecto se realiza en la ciudad de Macas, por lo tanto, los resultados serán válidos para la ciudad de Macas y por deducción para el resto de la provincia Morona Santiago.

### 3.6. Selección y tamaño de la muestra

Para evaluar la calidad de servicio entre la tecnología ADSL y la tecnología GPON, se realiza encuestas entre los clientes que han experimentado con las dos tecnologías y son parte del grupo de clientes migrados, ya sea por decisión propia o por sugerencia del operador de telecomunicaciones. Al 30 de abril de 2017 había 450 clientes con tecnología GPON y este número se considera el universo para determinar el cálculo de la muestra.

El cálculo de la muestra se determina con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{k^2 * p * q * N}{(e^2 * (N - 1)) + k^2 * p * q}$$

Donde:

N : Universo o población. Para nuestro caso es 450.

n : Tamaño de la muestra por determinar.

k : es una constante para el nivel de confianza buscada. Estadísticamente ya están predeterminadas los valores de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 1-3: Factor K**

K	1.15	1.28	1.44	1.65	1.96	2	2.58
Nivel de confianza	75%	80%	85%	90%	95%	95.5%	99%

Realizado por: Iván Tenecora, 2019

e : error muestral. Para nuestro estudio se tomará un nivel de confianza de 95% lo que corresponde un factor k de 1.96.

p: es la proporción de individuos de la población que tienen la característica de estudio. Para este caso se estima que un 90% posee esta característica.

q: es la proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir, es 1-p.

Remplazando los valores en la fórmula tenemos los siguientes resultados:

$$n = \frac{1.96^2 * 0.9 * 0.1 * 450}{(0,05^2 * (450 - 1)) + 1.96^2 * 0.9 * 0.1}$$
$$n = \frac{155.5848}{1.468244} = 105.966 \approx 106$$

Se realizaron 106 encuestas con el cuestionario del Anexo I.

### **3.7. Técnica de recolección de datos primarios y secundarios.**

La principal técnica de recolección de datos primarios y secundarios es la observación y análisis de la data de averías mensuales del segmento banda ancha. Posteriormente, para evaluar el nivel de satisfacción de los usuarios se realizarán las encuestas a los usuarios del servicio de internet que hayan experimentado antes con la tecnología ADSL y actualmente con la tecnología GPON.

### **3.8. Instrumentos de recolección de datos primarios y secundarios**

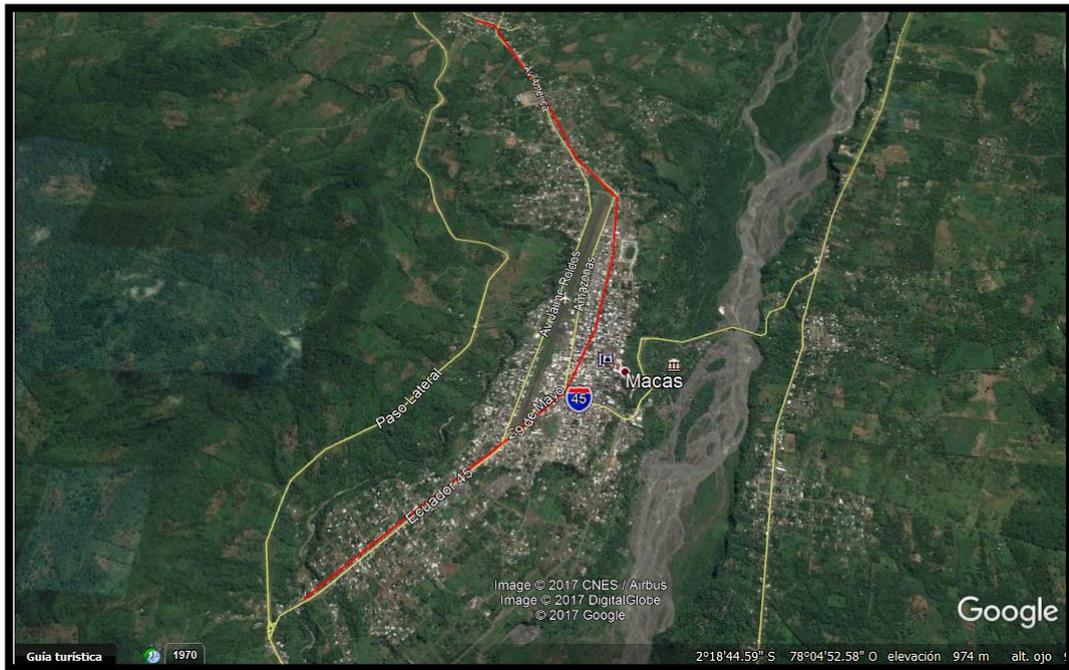
Los instrumentos de recolección de datos primarios, son el catastro de abonados con tecnología ADSL y GPON, y la actual infraestructura existente y que está en producción.

### **3.9. Infraestructura de telecomunicaciones Morona Santiago – Macas**

Morona Santiago es la segunda provincia más grande del Ecuador en extensión geográfica con 25690Km<sup>2</sup> y con una población que bordea los 180.000 habitantes, tiene 12 cantones y es atravesada por la troncal amazónica en una extensión de 300Km en sentido Norte a Sur. La capital de la provincia de Morona Santiago es la ciudad de Macas, lugar donde se desarrolló el caso de estudio. La CNT EP es la empresa pública que brinda los servicios de telecomunicaciones en la

provincia Morona Santiago con tecnología de acceso de cobre y ha iniciado el despliegue de la tecnología GPON en la ciudad de Macas.

La ciudad de Macas tiene una geografía irregular, en forma de arco con dirección al Este con una distancia aproximada de 8Km entre un extremo y otro, como se puede observar en la siguiente fotografía.



**Figura 1-3: Macas.**  
Fuente: Google earth

### 3.9.1. *Nodos ADSL Macas*

Los servicios de telecomunicaciones en la ciudad de Macas, están presentes desde hace más de 25 años y, hasta el año 2009 el único servicio de telecomunicaciones era la telefonía fija con una central TDM de marca Siemens EWSD cuya área de cobertura era toda la ciudad en toda su extensión de 8Km (línea roja de la figura 1-3). A partir del año 2010 y por las limitaciones de la tecnología se proyectaron e implementaron 3 nodos NGN ubicados estratégicamente en la ciudad. El principal nodo denominado Macas Centro reemplaza a la antigua central TDM Siemens, y en los extremos se implementaron los nodos Macas Norte y Macas Sur. La principal restricción era el bucle de abonado, debido a las restricciones de la tecnología ADSL, por lo que se diseñó un radio de 3Km de cobertura para cada nodo. En lo referente a las redes de acceso de cobre, éstas fueron reutilizadas y redirigidas a los nuevos nodos. Estos trabajos permitieron un ahorro

significativo al reutilizar las redes de cobre existentes y por este medio entregar a los usuarios el servicio de internet. El ancho de banda para downlink inició en los 256Kbps y paulatinamente se incrementó a 512Kbps, 1Mbps, 2Mbps, 3Mbps y 5Mbps con una tasa de compartición de 8:1. Esta evolución del ancho de banda ofertada por la tecnología ADSL estaba acorde a las necesidades de los usuarios cuyas necesidades eran muy básicas tales como: email, chats de texto, noticias (sin multimedia) y otros. En los siguientes 5 años se incrementaron los servicios de internet en otros cantones de la Provincia Morona Santiago, hasta llegar al 50% de los usuarios que cuentan con el servicio de telefonía fija que son a quienes se puede instalar el servicio de internet ADSL. Esta restricción es únicamente comercial, porque tecnológicamente es factible entregar solamente internet ADSL sin telefonía.

### **3.9.2. *Nodo GPON Macas***

La tecnología de acceso GPON supera las limitaciones de cobertura ADSL. Con un adecuado diseño se puede llegar hasta 20Km, aunque en este caso, se requirió una cobertura de hasta 10Km, con ello se llega a sectores o barrios que no tenían servicio de internet o a su vez tenían un servicio de mala calidad desde un nodo ADSL distante. Uno de los factores a considerar en una ciudad pequeña es la baja densidad poblacional, por lo que entre los múltiples diseños se seleccionó el diseño centralizado, con una OLT en el nodo Macas Centro y desde allí, la derivación de los tres feeders, para implementar las redes de distribución y dispersión, de acuerdo a la planificación de demanda nueva o migración. Se construyeron tres feeders: uno para el norte, otro para el sur y el tercero para el este.

El nodo GPON Macas tiene la cobertura de los tres nodos NGN de la ciudad de Macas y parte de la cobertura del nodo Sevilla Don Bosco en la vía al Puyo, con lo cual se atiende a sectores que antes no tenían servicio de forma prioritaria y posteriormente se construyen redes de dispersión en el centro urbano de la ciudad con el objetivo de migrar la tecnología ADSL por GPON.

#### **3.9.2.1. *Equipos activos GPON***

En el nodo Macas Centro, se instaló la OLT de marca Huawei, modelo MA5600T que tiene una capacidad de 14 slots para tarjetas PON de 8 puertos y sus respectivas interfaces de uplink. Esta OLT se conecta al switch MPLS para integrarse a la red backbone del operador de telecomunicaciones. La OLT se observa en la siguiente figura:



**Figura 2-3: OLT Huawei 5600T 14 tarjetas con 8 puertos PON.**  
Realizado por: Iván Tenecora, 2019

En el lado del cliente se instala una ONT con interfaz óptica para integrarse a la ODN y con puertos ethernet RJ45 para entregar los servicios a los usuarios en forma alámbrica. Además, cuenta con puertos RG11 para la telefonía y Access point inalámbrico para la tecnología WI-FI. Las ONTs pueden ser de diferentes marcas e interconectarse a la OLT de marca Huawei sin ningún inconveniente. En la siguiente figura se visualizan un par de ONTs.



**Figura 3-3: ONT Huawei HG8245.**  
Realizado por: Iván Tenecora, 2019

### **3.10. Características de la zona a intervenir, tipo de despliegue aéreo o soterrado**

Por normativa técnica, las redes feeders deben ir soterrados en la calzada, con canalización de 4 vías más triducto; sin embargo, existen circunstancias que podrían considerarse excepciones. En este caso en particular se pudo cumplir con la normativa de soterrar los feeders 1 y 2; pero el feeder 3 inicia soterrado los primeros 300 metros y luego se tiene que tender aéreo porque para acortar distancias se despliega desde la calle Guayusa en el Barrio el Mirador, en un vano de 350 metros hasta los postes de la empresa eléctrica Centrosur en la vía Macas – Puyo, antes del puente del Río Upano.

Según la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, todo despliegue de nueva infraestructura de telecomunicaciones que requiere tendido de cables debe ser soterrado; sin embargo, esto no siempre es factible. En el caso de la ciudad de Macas, se tuvo dificultades porque la GAD del Cantón Morona, quien es la entidad encargada de liderar proyectos de esta índole se opuso totalmente a permitir un despliegue soterrado de la nueva red de distribución GPON, razón por lo que nuevamente se tuvo que tender cable aéreo en los postes de la empresa eléctrica, saturando aún más la cantidad de cables aéreos y por consiguiente continúa la contaminación visual.

Las zonas periféricas, requieren redes de distribución y dispersión más extensas debido a la baja densidad poblacional. Al ser zonas de quintas, casas de campo; se encuentran predios con extensas superficies y escasas viviendas. En el centro de la ciudad se combina el sector residencial y la zona comercial, siendo esta una de las razones para optimizar las redes de distribución y dispersión, lo cual permite disminuir los costos, a diferencia de las zonas periféricas.

### **3.11. Migración de la infraestructura ADSL a GPON**

En tecnología, migrar o actualizar significa cambio o remplazo de una infraestructura existente por otra nueva, de mejores prestaciones. Este proceso es de alto impacto para los usuarios, quienes generalmente solo tienen interés en el servicio que utilizan sin importar la plataforma tecnológica en la que se soportan los servicios. Este desconocimiento y desinterés por parte del usuario traslada la mayor responsabilidad hacia el operador de telecomunicaciones. El objetivo del proceso de migración es realizar el cambio con éxito y que el proceso de migración sea transparente al usuario; es decir el usuario solo debería experimentar una mejor calidad de servicios sin perder los servicios que ya tenía.

En las zonas urbanas, se cuenta información de los servicios y usuarios actuales, por lo que es relativamente más simple diseñar una red paralela de fibra óptica para el despliegue de la tecnología GPON y eso precisamente se realizó en la ciudad de Macas. Se diseñó y construyó una ODN paralela a la red de cobre, con un porcentaje adicional proyectado para nuevos clientes.

Aprovechando las bondades de la tecnología GPON que permite alcanzar grandes distancias se diseñó y construye extensiones de red en sectores distantes como Huacho y la vía al Puyo, barrios en los que hasta ahora no contaban con servicio de internet alámbrico porque se encuentran en un promedio de 7Km de distancia desde el nodo ADSL más cercano.

El proceso de migración se puede realizar de tres formas: la primera es radical y de alto impacto para el usuario, la segunda de manera paulatina en el tiempo y la tercera forma es una combinación de las dos anteriores.

### ***3.11.1. Migración radical de tecnología***

Este proceso de migración es aquel que se realiza previa una planificación y en una zona predeterminada, con un número definido de abonados a ser migrados. Se requería notificar al ente regulador del sector de telecomunicaciones ARCOTEL, publicar en la prensa y proceder con la migración de forma masiva, en un periodo de horas, máximo en 8 horas laborales. Para lograr este objetivo se realizaba el tendido de la red de dispersión con anticipación para que durante la migración únicamente correspondiera la configuración de la ONT y la entrega del servicio al cliente.

Desde el punto de vista técnico, éste, es el proceso de migración más recomendada porque en periodos relativamente cortos de tiempo, se logra migrar una gran cantidad de abonados, quienes experimentan las bondades y características de la nueva tecnología de forma inmediata.

Concluida la migración en un determinado sector, se puede desmontar las antiguas redes de cobre con la consecuente limpieza visual de los cientos de cables que contaminan las ciudades. En el sector migrado, la operadora de telecomunicaciones reduce significativamente su OPEX, al dar operación y mantenimiento únicamente a la ODN, porque al ser una red nueva se requiere un mantenimiento preventivo menor.

Entre algunos aspectos considerados por el cliente como imprescindibles está el número telefónico que han mantenido durante muchos años; en algunos casos es una cuestión de afinidad, en otros casos por temas de publicidad, negocios, condiciones legales, etc. Este es el mayor reto de las operadoras de telecomunicaciones, según se describió en los derechos de los abonados,

contemplados en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, se debe garantizar al abonado mantener el número de telefonía y este tema si es un verdadero reto tecnológico para las operadoras de telecomunicaciones. Técnicamente es factible garantizar el mismo número; sin embargo, a nivel operacional por la interacción entre varios sistemas, es muy complejo y requiere varios recursos para garantizar que permanezca el número al cliente. Éste es el principal inconveniente para evitar este tipo de migraciones.

### ***3.11.2. Migración paulatina de tecnología***

A diferencia del tipo de migración anterior, la migración paulatina se realiza a solicitud del abonado. Este proceso consiste en que el abonado actual solicite un nuevo servicio de telecomunicaciones y proceda a devolver el servicio existente. Al ser un requerimiento del abonado, él, está consciente que un nuevo servicio viene con un nuevo número y por consiguiente pierde el número anterior. Este proceso toma mucho más tiempo y no es total, razón por lo que es necesario coexistir con las redes de cobre que continúan en operación; esto incrementa el OPEX de la operadora de telecomunicaciones, se mantiene la contaminación visual y existe el riesgo de afectar la ODN cuando se realice el mantenimiento de la red de cobre que es muy frecuente. A pesar de las evidentes desventajas, este mecanismo cumple con la Ley Orgánica de Telecomunicaciones. Esta forma de migración es la que se utiliza para que los usuarios mantengan su número telefónico existente.

### ***3.11.3. Migración mixta de tecnología***

Es una alternativa que utiliza partes de las dos metodologías referidas anteriormente. Conociendo que ADSL entrega servicios de telefonía e internet y, que la nueva tecnología GPON también entregará los mismos servicios con posibilidad de incorporar en el mediano plazo el servicio de televisión y, que uno de los mayores inconvenientes que indican los usuarios es que no están dispuestos a “perder” su número telefónico se puede migrar radicalmente el servicio de internet y mantener la telefonía por la red de cobre. El usuario no perderá su número telefónico; y podrá beneficiarse de las ventajas de mayor ancho de banda para downstream como para upstream que ofrece la fibra óptica. Es muy importante contar con el medio de fibra óptica en el domicilio del abonado y posteriormente cuando sea factible se podrá incorporar la telefonía con el mismo número en el servicio existente de GPON, con ello el cliente obtiene lo que desea. El costo de esta metodología recae sobre la operadora de telecomunicaciones, porque se ve obligado a mantener la red de cobre para el servicio de telefonía, esto incrementa el OPEX. Adicionalmente se mantiene la contaminación visual, al menos a mediano plazo, porque una vez realizado la

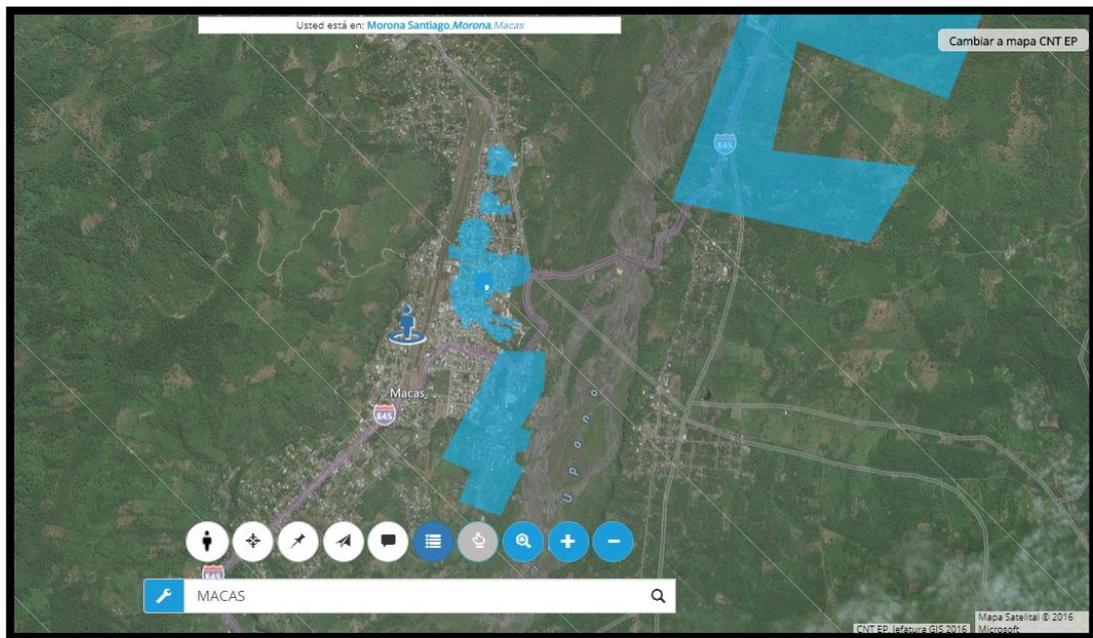
migración del número telefónico del cliente sobre la red GPON se podrá desmontar las redes de cobre.

Esta metodología es la que se está utilizando y precisamente es la base de este trabajo de investigación, enfocarse en la calidad del servicio de internet para los usuarios, porque la telefonía es transparente y se tiene similar calidad con las redes de cobre, como con las redes de fibra óptica.

### **3.12. Migración de la infraestructura ADSL a GPON**

A enero de 2016, en la ciudad de Macas se tenía 2900 clientes de internet ADSL y 0 clientes GPON, para abril de 2017 el número de clientes ADSL se redujo a 2600 y el número de clientes GPON era de 450 clientes; por lo que se estima que aproximadamente 300 clientes ADSL se cambiaron a la nueva tecnología GPON. La red GPON en Macas se construyeron 1720 casas pasadas, de las cuales actualmente se proyecta que al finalizar el año 2017 se cuenten unas 800 casas instaladas, de las cuales aproximadamente unas 500 corresponderán a migraciones de clientes que tenían el servicio por redes de cobre y otros que tenían servicio WI-FI con ISP locales.

El total de clientes con internet fijo que se debe migrar a la tecnología GPON será de aproximadamente de 2500, el cual se constituye en el mercado objetivo para la migración; sin embargo, para la atención a estos 2500 clientes de internet se cuenta con una capacidad de red de acceso de cobre de 8400 pares, comparados con las 1700 casas pasadas de GPON, la brecha es aún muy grande; por lo que se requiere continuar con el despliegue de la red GPON en la ciudad de Macas. Las redes de cobre de los tres nodos de Macas, cubre toda la ciudad; mientras que las redes de GPON, cubre ciertos sectores focalizados como se puede ver en el siguiente gráfico.



**Figura 4-3: Sectores con cobertura GPON en Macas.**  
Fuente: <https://gis.cnt.gob.ec/appgeoportal/?u=-78.12397,-2.30644,14>

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Análisis comparativo de indicadores de las tecnologías GPON y ADSL

Para determinar el nivel de la calidad del servicio entre las dos tecnologías se realiza un análisis de las tasas de averías reportadas por los usuarios de la ciudad de Macas, tanto de abonados ADSL y GPON por el lapso de 12 meses comprendidos entre los meses de mayo de 2016 hasta abril de 2017.

**Tabla 1-4:Numero de Averías**

MESES	CLIENTES GPON	CLIENTES ADSL	AVERÍAS GPON	AVERÍAS ADSL
Mayo 2016	85	2843	3	71
Junio 2016	106	2824	4	102
Julio 2016	172	2755	7	85
Agosto 2016	210	2717	13	94
Septiembre 2016	249	2713	5	105
Octubre 2016	272	2651	10	136
Noviembre 2016	316	2644	11	117
Diciembre 2016	375	2615	8	147
Enero 2017	424	2591	15	139
Febrero 2017	423	2597	7	110
Marzo 2017	421	2649	6	167
Abril 2017	449	2596	20	126
<b>TOTAL</b>			109	1399

**Realizado por:** Iván Tenecora, 2019

Un indicador confiable de calidad de servicio en servicios de telecomunicaciones es evaluar la cantidad de averías reportadas por cada 100 abonados, indicador que se conoce como factor “K”. Según los estándares de la industria de telecomunicaciones un factor K óptimo está por debajo del 2%, lo cual significa una menor cantidad de averías reportadas por los usuarios. Inversamente proporcional al número de reclamos será la satisfacción de los usuarios con los servicios de telecomunicaciones recibidos.

En la siguiente tabla se realiza un análisis comparativo del factor K entre las dos tecnologías, cuyos resultados confirman la teoría que los servicios que se entregan al usuario final mediante redes de fibra óptica son de mejor calidad que los servicios que se entregan con redes de cobre.

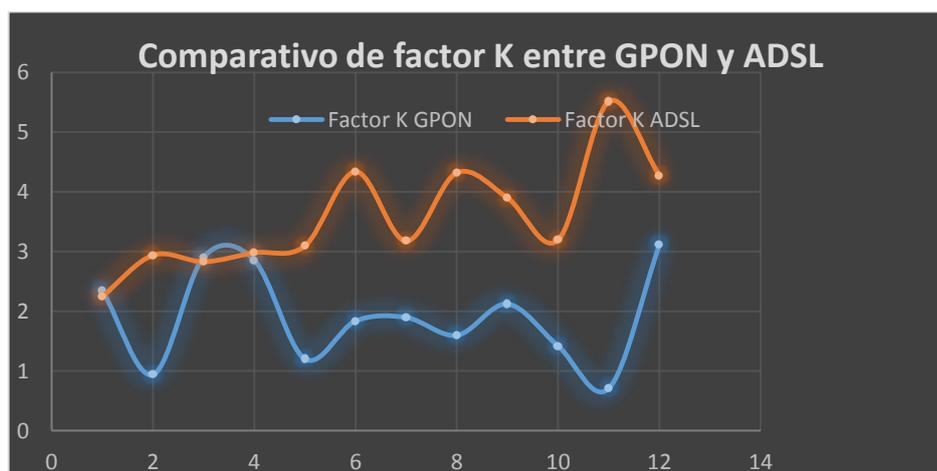
**Tabla 2-4:Factor K de averías de las tecnologías GPON T ADSL**

MESES	CLIENTES GPON	CLIENTES ADSL	K GPON	K ADSL
Mayo 2016	85	2843	2.35294118	2.25114316
Junio 2016	106	2824	0.94339623	2.93909348
Julio 2016	172	2755	2.90697674	2.83121597
Agosto 2016	210	2717	2.85714286	2.9812293
Septiembre 2016	249	2713	1.20481928	3.09620346
Octubre 2016	272	2651	1.83823529	4.33798567
Noviembre 2016	316	2644	1.89873418	3.17700454
Diciembre 2016	375	2615	1.6	4.32122371
Enero 2017	424	2591	2.12264151	3.89810884
Febrero 2017	423	2597	1.41843972	3.19599538
Marzo 2017	421	2649	0.71258907	5.51151378
Abril 2017	449	2596	3.11804009	4.27580894
<b>PROMEDIO</b>			1.91449635	3.56804385

Realizado por: Iván Tenecora, 2019

Como se puede observar, el promedio del factor K de la tecnología ADSL es de 3.57, el cual está muy por encima del estándar del 2% buscado; mientras que el factor K de la tecnología GPON está en 1.91, que está debajo del 2% objetivo. El factor K de la tecnología GPON en comparación con la tecnología ADSL, significa una mejora significativa.

En el siguiente gráfico se puede ver claramente la diferencia del factor K entre las tecnologías.



**Gráfico 1-4: Análisis comparativo de factor K (averías) entre GPON y ADSL.**  
Realizado por: Iván Tenecora, 2019

Otro indicador a analizar es el porcentaje de inconformidad de las reparaciones, lo cual se refleja con el número de daños repetidos mensualmente. En la siguiente tabla se observan los reclamos que fueron reiterativos en el periodo mayo de 2016 a abril de 2017.

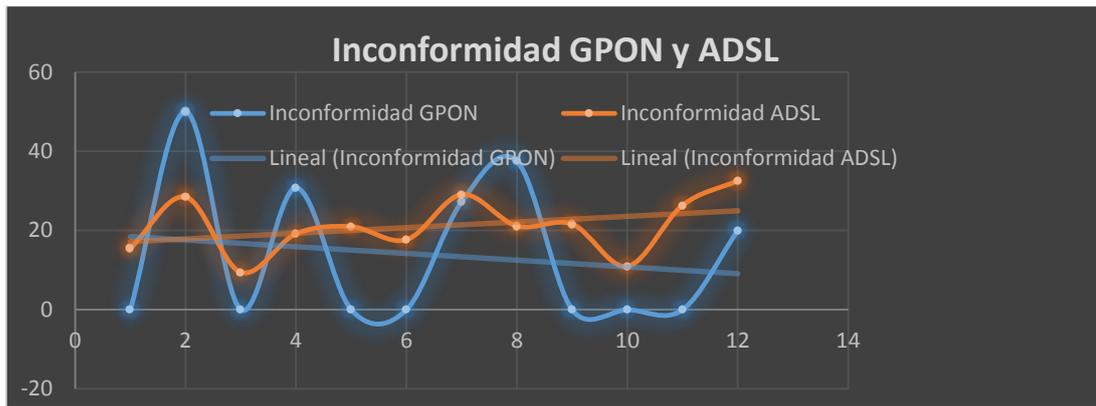
**Tabla 3-4: Nivel de inconformidad con el servicio de soporte técnico**

MESES	AVERÍAS	AVERÍAS	PORCENTAJE DE	PORCENTAJE DE
	GPON	ADSL	INCONFORMIDAD	INCONFORMIDAD
	REPETIDAS	REPETIDAS	GPON	ADSL
Mayo 2016	0	11	0	15.49295775
Junio 2016	2	29	50	28.43137255
Julio 2016	0	8	0	9.411764706
Agosto 2016	4	18	30.76923077	19.14893617
Septiembre 2016	0	22	0	20.95238095
Octubre 2016	0	24	0	17.64705882
Noviembre 2016	3	34	27.27272727	29.05982906
Diciembre 2016	3	31	37.5	21.08843537
Enero 2017	0	30	0	21.58273381
Febrero 2017	0	12	0	10.90909091
Marzo 2017	0	44	0	26.34730539
Abril 2017	4	41	20	32.53968254
<b>PROMEDIOS</b>	1.3333333	25.3333333	14.67889908	21.72980701

Realizado por: Iván Tenecora, 2019

Según los datos recopilados en la tabla anterior, en el periodo analizado de 12 meses, el porcentaje de inconformidad del soporte técnico con la tecnología GPON es del 14.7%, mientras que el porcentaje de inconformidad de la tecnología ADSL es de 21.7%, lo cual evidencia un 50% adicional de insatisfacción con el soporte técnico de la tecnología ADSL con respecto a la tecnología GPON.

En el siguiente gráfico se visualiza la tendencia de las inconformidades entre GPON y ADSL.



**Gráfico 2-4: Análisis comparativo de factor K (averías) entre GPON y ADSL.**  
Realizado por: Iván Tenecora, 2019

#### 4.2. Demostración de la hipótesis con el método estadístico T-Students

Para demostrar la hipótesis se utiliza el método estadístico T-Students, el cual se utiliza para tamaño de muestras menores a 30 (>30), en este caso se requiere validar los datos recuperados en los 12 meses de observación y análisis.

En primera instancia se define las hipótesis alternativa y nula:

Hipótesis Alternativa (Hi): “La calidad de la tecnología GPON es superior a la tecnología ADSL; por cuanto el número de averías GPON es menor al número de averías ADSL”

Hipótesis Nula (Ho): “La calidad de la tecnología GPON NO es superior a la tecnología ADSL; por cuanto el número de averías GPON NO es menor al número de averías ADSL”

Luego se determina el nivel de significancia  $\alpha$ , que para este tipo de proyectos se establece en 0.05.

Finalmente se aplica el método estadístico T-Students, en la que se determina si la probabilidad de error es mayor al nivel de significancia se rechaza la hipótesis alternativa (Hi) y si la probabilidad de error es menor al nivel de significancia se acepta la hipótesis alternativa (Hi).

**Tabla 4-4: Prueba T- Students**

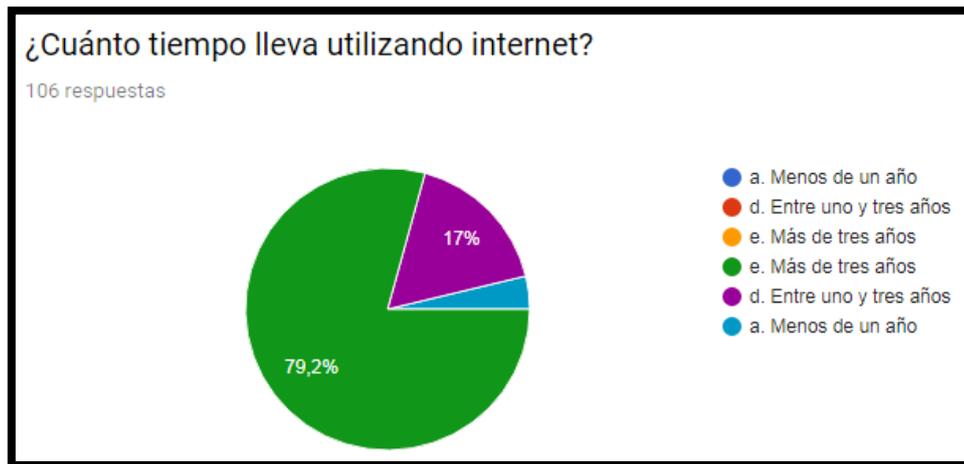
	<i>K GPON</i>	<i>K ADSL</i>
<b>Media</b>	1.91	3.57
<b>Varianza</b>	0.62	0.83
<b>Observaciones</b>	12.00	12.00
<b>Varianza agrupada</b>	0.72	
<b>Diferencia hipotética de las medias</b>	0.00	
<b>Grados de libertad</b>	22.00	
<b>Estadístico t</b>	-4.77	
<b>P(T&lt;=t) una cola</b>	0.000046	
<b>Valor crítico de t (una cola)</b>	1.72	
<b>P(T&lt;=t) dos colas</b>	<b>0.000093</b>	
<b>Valor crítico de t (dos colas)</b>	2.07	

Realizado por: Iván Tenecora, 2019

En este caso el valor  $P=0.000093$  es menor a  $\alpha=0.05$ , por lo tanto, se acepta la Hipótesis Alternativa ( $H_i$ ) que indica: “La calidad de la tecnología GPON es superior a la tecnología ADSL; por cuanto el número de averías GPON es menor al número de averías ADSL”.

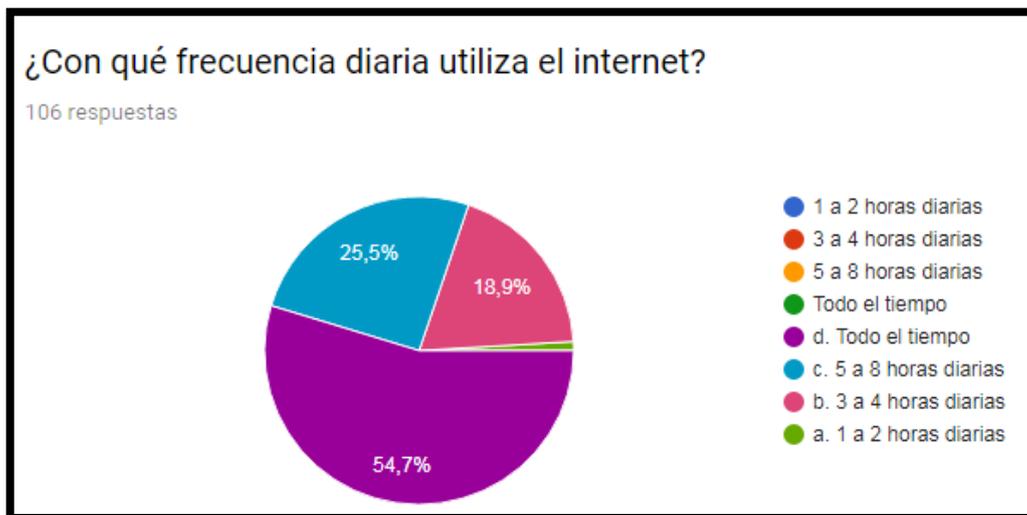
#### **4.3. Evaluación de la calidad del servicio de la tecnología GPON y ADSL mediante encuestas a los usuarios**

Según la determinación de la muestra se realizaron 106 encuestas a clientes que antes habían utilizado internet con tecnología ADSL y actualmente utilizan el acceso a internet con fibra óptica GPON. Los resultados de la encuesta se presentan a continuación.



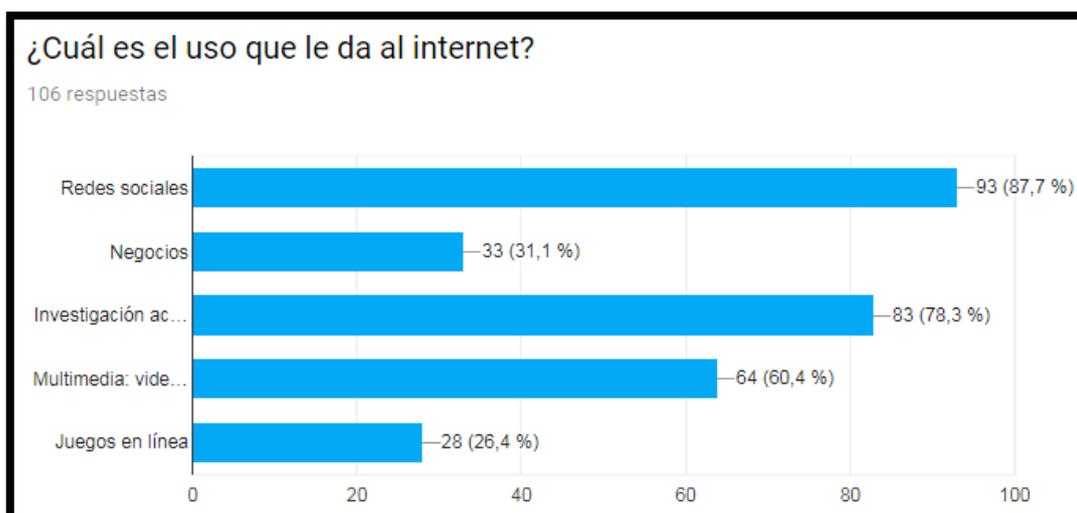
**Gráfico 3-4: Pregunta: ¿Cuánto tiempo lleva utilizando internet?**  
 Realizado por: Iván Tenecora, 2019

El 79% de los encuestados tiene una experiencia de uso de internet de más de 3 años, lo que nos da confiabilidad en las respuestas.



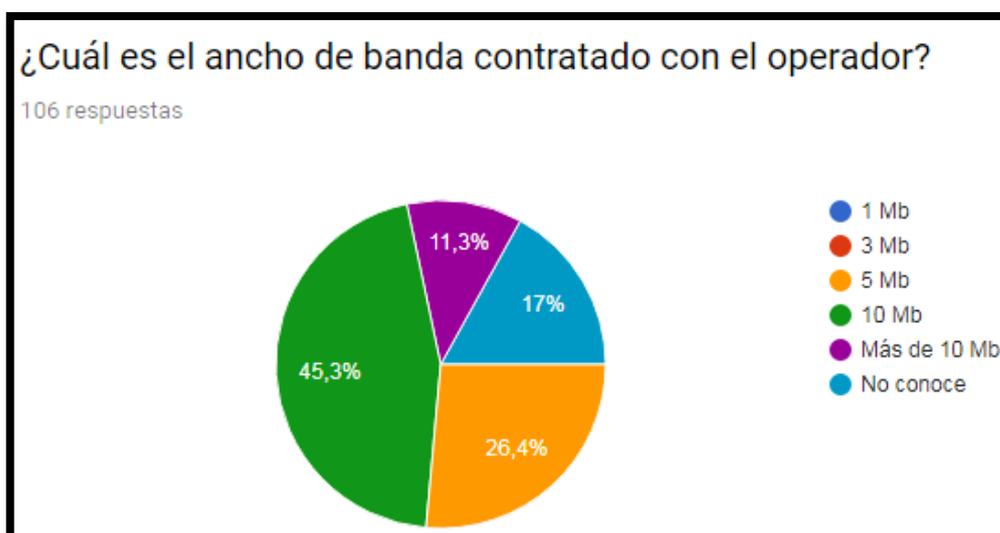
**Gráfico 4-4: Pregunta: ¿Con qué frecuencia diaria utiliza el internet?**  
 Realizado por: Iván Tenecora, 2019

El 55% utiliza el internet todo el tiempo, el 25% lo hace entre 5 y 8 horas y el 18.9% entre 3 y 4 horas.



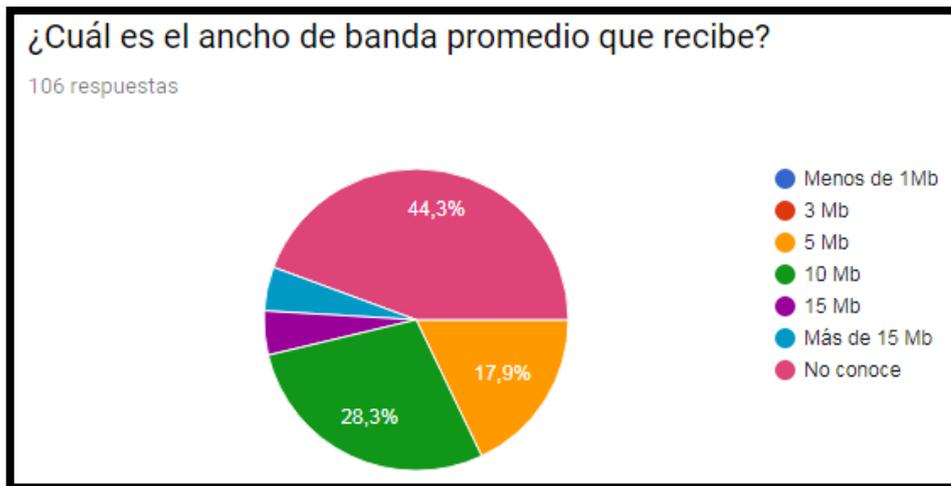
**Gráfico 5-4: Pregunta: ¿Cuál es el uso que le da al internet?**  
 Realizado por: Iván Tenecora, 2019

Un 87.7% de usuarios utiliza las redes sociales. El siguiente segmento de uso con un 78% es la investigación académica y un 60% lo utiliza para visualizar contenido multimedia. Los dos segmentos restantes con un 30% aproximado lo utiliza para negocios y juegos en línea.



**Gráfico 6-4: Pregunta: ¿Cuál es el ancho de banda contratado con el operador?**  
 Realizado por: Iván Tenecora, 2019

El 45% de los encuestados tiene un plan de internet de 10Mbps, el 26% tiene el plan más básico de 5Mbps, un 11.3% tiene un plan de más de 10Mbps y un 17% no conoce el ancho de banda de su plan de internet.



**Gráfico 7-4: Pregunta: ¿Cuál es el ancho de banda promedio que recibe?**  
 Realizado por: Iván Tenecora, 2019

El 44% no conoce o no está seguro de cuál es el ancho de banda que recibe, a diferencia del 46% que si conoce y valida el plan contratado.



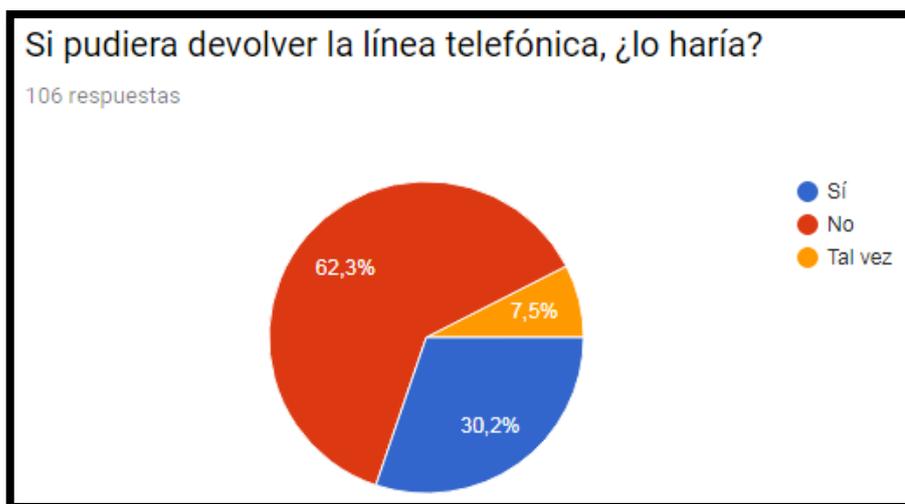
**Gráfico 8-4: Pregunta: ¿Con qué frecuencia utiliza Ud., la línea telefónica?**  
 Realizado por: Iván Tenecora, 2019

Un 36.8% utiliza pocas veces la línea telefónica, un 23% algunas veces y un 22% no utiliza nunca la línea telefónica. Solamente el 12.3% utiliza la línea telefónica todo el tiempo.



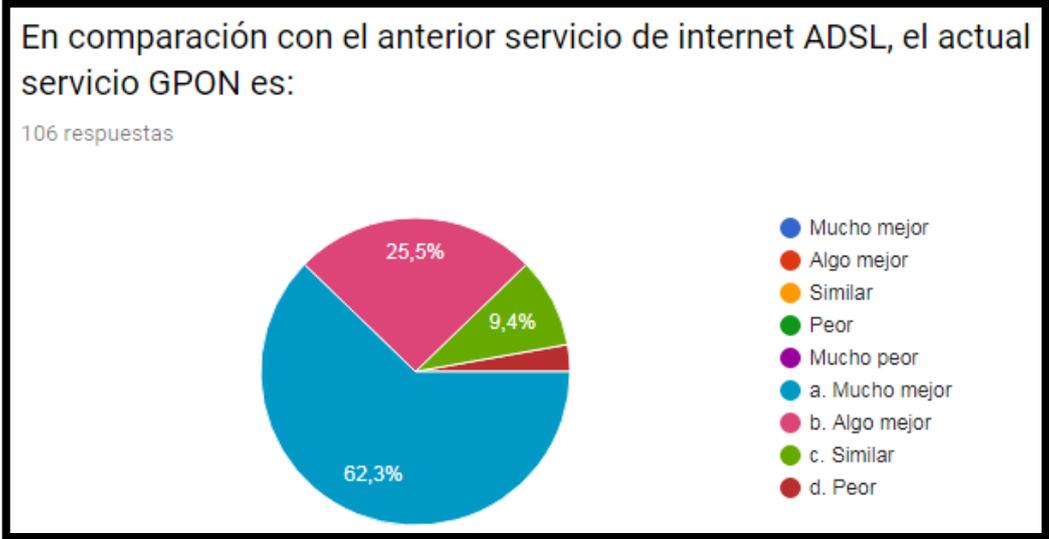
**Gráfico 9-4: Pregunta: ¿Ha notado alguna interferencia cuando realiza una llamada?**  
 Realizado por: Iván Tenecora, 2019

El 86.5% valida que la línea telefónica funciona sin ningún problema. Un 7.7% tiene dudas.



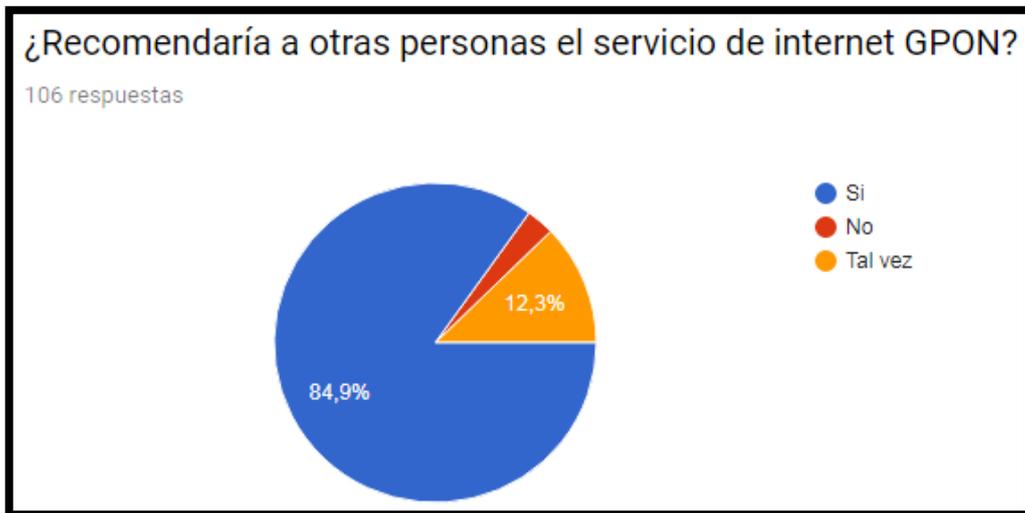
**Gráfico 10-4: Pregunta: Si pudiera devolver la línea telefónica, ¿lo haría?**  
 Realizado por: Iván Tenecora, 2019

A pesar que utilizan muy poco la línea telefónica, un 62% no devolvería la línea telefónica, pero el 30% sí lo devolvería y un 7.5% tiene dudas.



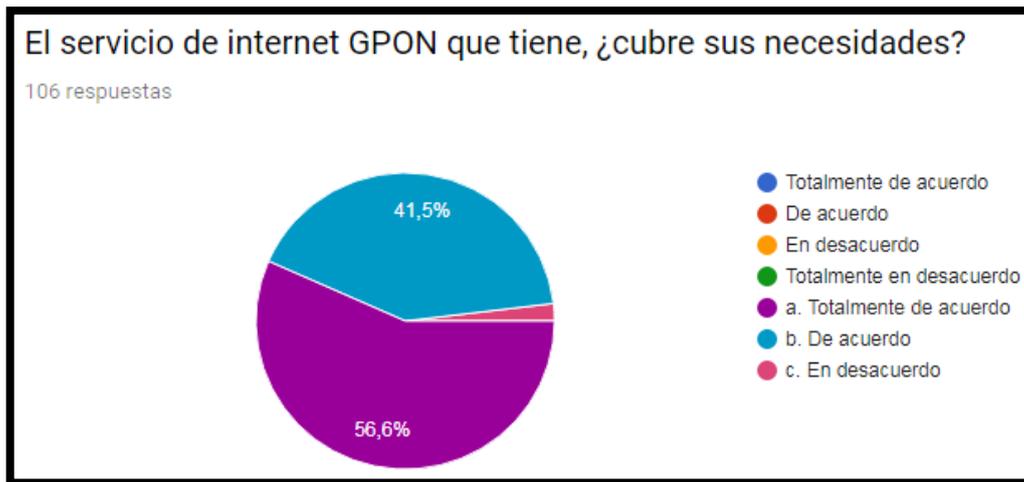
**Gráfico 11-4: Pregunta: GPON es: ...**  
 Realizado por: Iván Tenecora, 2019

El 62.3% dice que la tecnología GPON es “Mucho mejor” que el anterior servicio ADSL que tenía y el 25.5% dice que es “Algo mejor”, en conjunto el 87.8% dice que GPON es mejor que ADSL, el 9.4% dice que es similar y apenas el 2.8% dice que es peor.



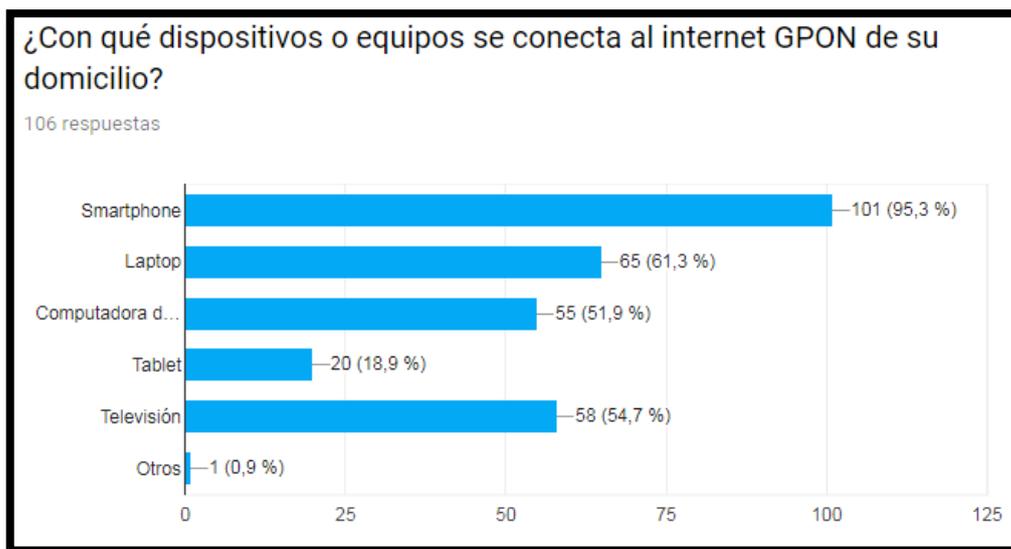
**Gráfico 12-4: Pregunta: ¿Recomendaría GPON?**  
 Realizado por: Iván Tenecora, 2019

El 85% recomendaría a otras personas la tecnología GPON y solamente el 12.3% tiene dudas.



**Gráfico 13-4: Pregunta: GPON, ¿cubre sus necesidades?**  
 Realizado por: Iván Tenecora, 2019

El 98% de usuarios de GPON valida que esta tecnología satisface sus necesidades.



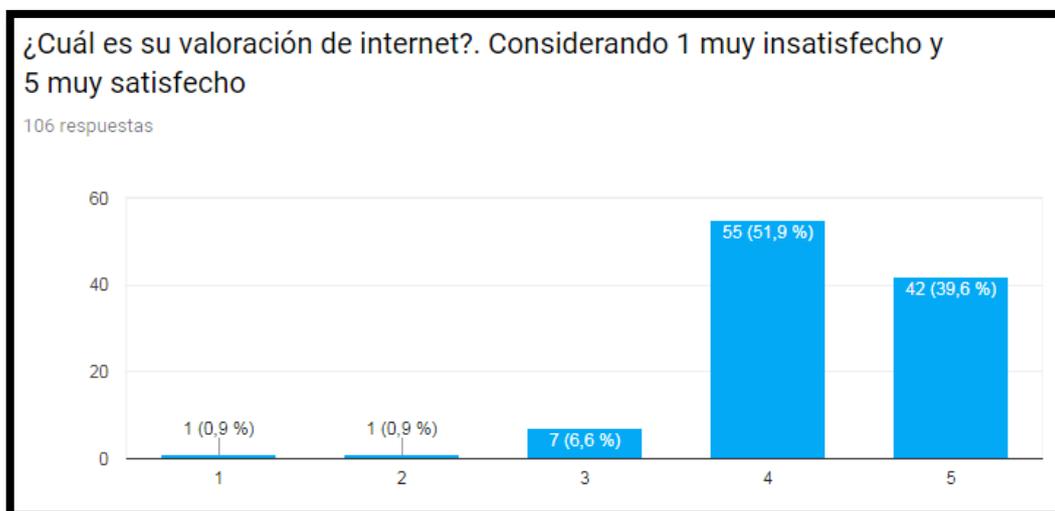
**Gráfico 14-4: Pregunta: ¿Cuáles dispositivos conectan a internet GPON?**  
 Realizado por: Iván Tenecora, 2019

El 95% se conecta con teléfonos inteligentes, seguido de laptops, televisiones inteligentes y computadoras de escritorio. Todos estos equipos tienen gran resolución para visualizar contenido multimedia.



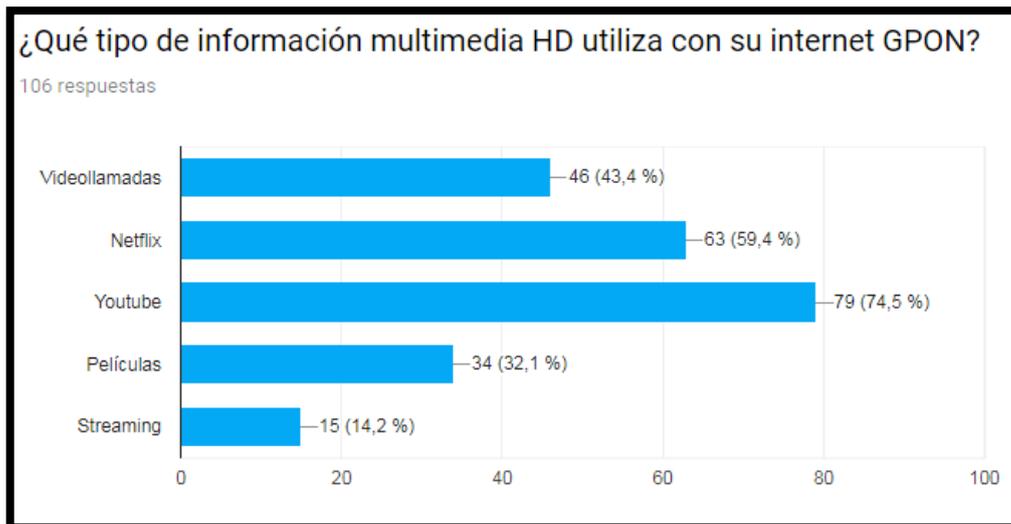
**Gráfico 15-4: Pregunta: ¿Cuántos dispositivos en promedio se conectan en su casa?**  
 Realizado por: Iván Tenecora, 2019

El número promedio de dispositivos que se conectan en un domicilio está entre 2 y 4 dispositivos, el 17.9% tiene un promedio de 5 dispositivos y el 13.2% entre 6 y 10 dispositivos.



**Gráfico 16-4: Pregunta: Valoración del internet**  
 Realizado por: Iván Tenecora, 2019

Más del 90% está satisfecho y muy satisfecho con el servicio de internet GPON.



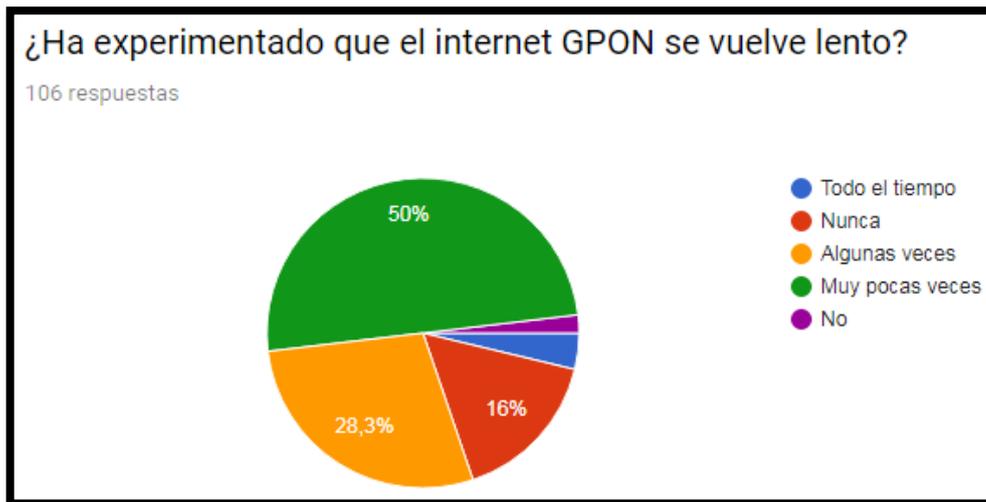
**Gráfico 17-4: Pregunta: Información multimedia HD**  
 Realizado por: Iván Tenecora, 2019

El 75% de usuarios visualiza contenido de youtube, seguido del 59.4% que visualiza netflix. El 43% utiliza el internet para realizar videollamadas y el 32% para ver películas.



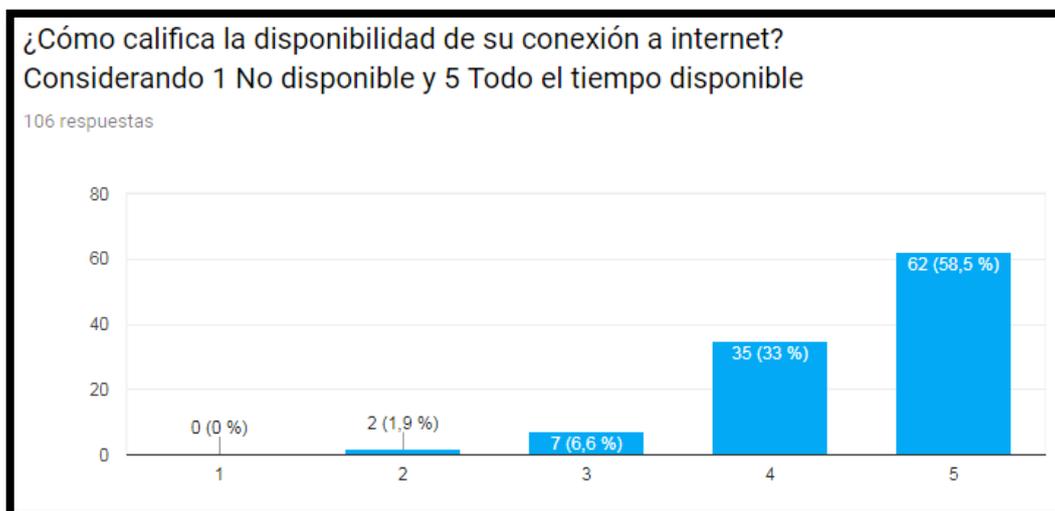
**Gráfico 18-4: Pregunta: ¿Puede visualizar contenido multimedia HD, con ADSL?**  
 Realizado por: Iván Tenecora, 2019

El 73.6% confirma que la tecnología ADSL no permite visualizar contenido multimedia de alta calidad, mientras que el 16% tiene dudas o lo hacía de manera restringida con un único dispositivo y apenas el 10% dice que si visualizaba.



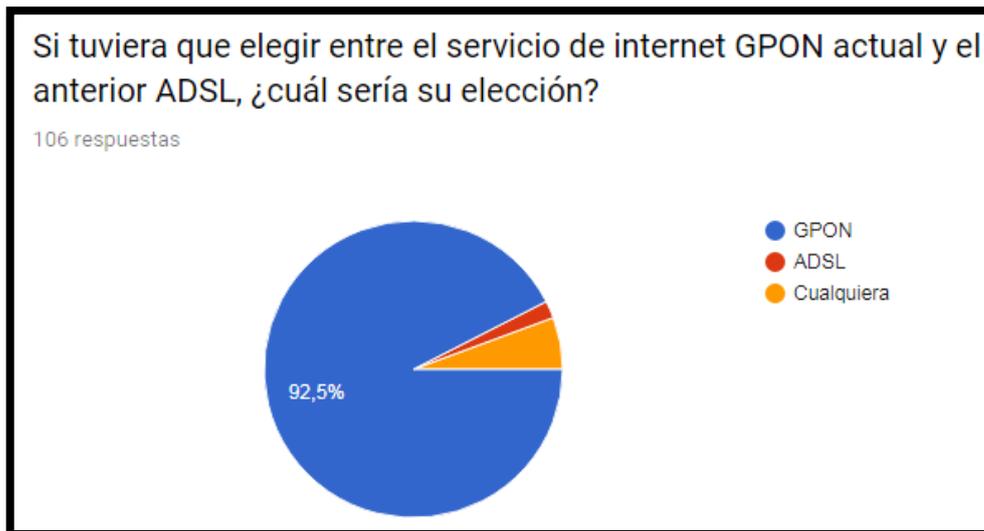
**Gráfico 19-4: Pregunta: ¿Ha experimentado que el internet GPON se vuelve lento?**  
 Realizado por: Iván Tenecora, 2019

El 50% dice que el servicio GPON en muy pocas ocasiones se vuelve lento, mientras que el 28.3% dice que algunas veces. El 16% dice que nunca ha experimentado lentitud en el servicio. Los que dijeron que han experimentado un servicio lento dijeron que el horario en el que experimentaron lentitud en el servicio GPON era en las tardes y noches, lo cual coincide con el horario de mayor demanda. Es importante resaltar que el ancho de banda es de acceso compartido.



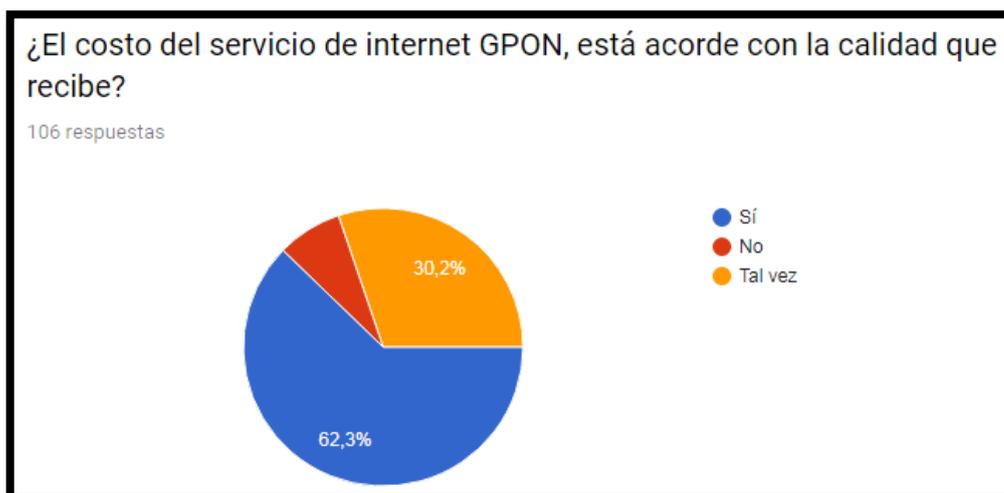
**Gráfico 20-4: Pregunta: Disponibilidad de su conexión a internet**  
 Realizado por: Iván Tenecora, 2019

El 91.5% indica que el servicio de internet está disponible todo el tiempo.



**Gráfico 21-4: Pregunta: Elección entre GPON y ADSL**  
 Realizado por: Iván Tenecora, 2019

El 92.5% de los encuestados elegiría la tecnología GPON sin dudarlo y el 5.7% tiene dudas.



**Gráfico 22-4: Pregunta: Valoración de los usuarios del costo del servicio GPON**  
 Realizado por: Iván Tenecora, 2019

El 62.3% de los encuestados está de acuerdo con el precio de su plan de internet y el servicio que recibe, el 30.2% tiene dudas o esperarían un mayor ancho de banda por el mismo presupuesto.

## CONCLUSIONES

La evaluación del proceso de migración de la tecnología ADSL a GPON en la ciudad de Macas permitió recuperar las siguientes conclusiones:

- ✓ Los servicios basados en redes de cobre como ADSL tienen una cobertura limitada a 3Km con un ancho de banda garantizado de 5Mbps. Los servicios con tecnología GPON tienen una cobertura de hasta 20Km y el ancho de banda puede llegar hasta los 2.488Gbps, según el grado de división o spliteo que se utilice.
- ✓ Las redes de cobre son susceptibles de interferencia electromagnética, por ello sufren afectaciones en algunos casos cuando están muy próximas a las redes eléctricas y transformadores, situación muy frecuente ya que se utilizan los postes de las empresas eléctricas para el tendido aéreo.
- ✓ La Ley Orgánica de Telecomunicaciones del Ecuador dispone el uso de canalizaciones o ductos subterráneos en el despliegue de nueva infraestructura de telecomunicaciones que utilicen cables por canalizaciones o ductos subterráneos, pero en la práctica se vuelve difícil cumplir porque algunos GADs no asumen la responsabilidad de coordinar y liderar procesos de regeneración urbana que incluya la citada norma legal vigente, desconociéndose los motivos e incluso obstaculizando el despliegue de nuevas redes de telecomunicaciones.
- ✓ Aunque muchos usuarios no conocen los detalles técnicos ni la terminología de la tecnología, ellos conocen muy bien sus necesidades de comunicación y, la mayoría está satisfecha con la nueva tecnología y por consiguiente recomendaría la misma a otras personas. Para los usuarios es transparente el medio de transmisión, a ellos les interesa la buena calidad de los servicios de telecomunicaciones.
- ✓ Los usuarios cada vez utilizan más dispositivos sofisticados, como Smart Tvs, smartphones, laptops, computadores de escritorio para visualizar o gestionar contenido multimedia de alta calidad; el cual solo puede ser gestionado con grandes anchos de banda, superior a los 5Mbps que algunos utilizan, lo cual solo puede ser entregado con redes GPON-FTTH.
- ✓ Los abonados que tienen un ancho de banda de 5Mbps detectan una mejoría en la calidad del servicio de internet, a pesar que los planes en la tecnología ADSL también eran de 5Mbps;

esto se confirma al preguntarles si con la tecnología anterior visualizaban contenido de alta calidad; a lo que respondieron que tal vez, pero únicamente en un solo dispositivo.

✓ Los usuarios no están dispuestos a cancelar un valor mayor al que actualmente pagan por los servicios de telecomunicaciones existentes; en muy pocos casos y por requerimientos muy específicos aceptan mayores costos, porque conocen la diferencia entre una tecnología y otra. Corresponde a las operadoras de telecomunicaciones reducir los costos y mejorar la calidad de los servicios con el despliegue de la nueva tecnología GPON.

✓ El análisis comparativo de 12 meses que se realizó en las dos tecnologías nos permite concluir que la tecnología GPON registra una menor cantidad de averías, que incluso es menor al 2% del factor k que exige ARCOTEL; sin embargo, la tecnología ADSL representa el 3.56%, lo cual 1.5 veces superior a lo exigido por el organismo de control.

✓ Otro factor importante que evidencia una mejor calidad entre GPON y ADSL es la inconformidad con el servicio técnico. La tecnología GPON tiene un 14.7% de inconformidad y la tecnología ADSL tiene un 21.7%; es decir los clientes con tecnología ADSL son los que más veces reportan la avería o daño del servicio de internet.

## RECOMENDACIONES

Como recomendaciones se exponen las siguientes:

- ✓ Continuar con el despliegue de redes de acceso de fibra óptica en toda la ciudad de Macas y paralelamente en otras ciudades, con el objetivo de contar en el mediano y largo plazo con redes de fibra óptica en su totalidad.
- ✓ Continuar con el plan de migraciones con la metodología mixta, para satisfacer las necesidades del usuario. Cuando se tenga implementada la plataforma tecnológica para mantener el número telefónico con la tecnología GPON se podrán retirar las actuales redes de cobre que están en servicio.
- ✓ Se sugiere coordinar con los GADs para que asuman su rol protagónico para cumplir lo establecido en la Ley Orgánica de Telecomunicaciones; y se planifique, diseñe y ejecute el plan de soterramiento de redes de telecomunicaciones. Esto es en beneficio de las ciudades; con lo cual se reduce la contaminación visual y se unifican trabajos con otros operadores de empresas eléctricas, operadores privadas de cables y entidades públicas como agencias de tránsito.

## BIBLIOGRAFÍA

- **Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.** (2017). ARCOTEL. Recuperado de <http://www.arcotel.gob.ec/servicio-de-telefonía-fija/>
- **Alulima Salazar, E & Paladines Bravo, C.** (2014). *Diseño de una Red GPON para la localidad de Vilcabamba.* Loja, Ecuador.
- **Añazco Aguilar, C.** (2013). *Diseño Básico de Redes de Acceso FTTH Utilizando el Estándar GPON.* Guayaquil, Ecuador.
- **Arguello Moscoso, B. E.** (2013). *Análisis técnico y financiero para migrar la red de acceso de cobre a una red GPON de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones del Ecuador en el Cantón Azogues.* Cuenca, Ecuador.
- **Castro Lechtaler, A & Fusario, R.** (1999). *Teleinformática para ingenieros en Sistemas de información. II.* Barcelona, España: Reverté S.A.
- **Gómez Bossano, M & Morejón Gaibor, A.** (2012). *Estudio y diseño de una red de acceso GPON para los servicios de telecomunicaciones triple play (voz, video y datos) en el sector oriental de la ciudad de Riobamba.* Riobamba, Chimborazo, Ecuador.
- **Gomezjurado Zevallos, J & Núñez Sánchez, J, & Cordero Íñiguez, J & Uyaguari Uyaguari, F .** (2014). *Historia de las telecomunicaciones en el Ecuador.* Quito, Ecuador: PPL Impresores.
- **International Telecommunication Union ITU.** (2017). Recuperado de <http://www.itu.int>. Obtenido de <http://www.itu.int>: <http://www.itu.int/en/ITU-T/gsi/ngn/Pages/definition.aspx>
- **Internet Society.** (2017). Internet Society. Recuperado de <https://www.internetsociety.org>
- **Lattanzi, M & Graf, A.** (2015). *Redes FTTx Conceptos y Aplicaciones.* IEEE. Argentina.
- **León Araujo, C,** (2015). *Análisis y diseño de la red FTTH con tecnología GPON para el ISP Troncalnet en el Cantón Cañar.* Quito, Ecuador.

- **León Araujo, C.M** (2015b). *Análisis y Diseño de la red FTTH con tecnología GPON para el ISP Troncalnet en el Cantón Cañar*. Quito, Ecuador.
- **Marchukov, Y.** (2011). *Desarrollo de una aplicación gráfica para el diseño de infraestructuras FTTH*. Gandía, Valencia, España.
- *Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información.* (2017). Ecuador. Recuperado de <http://www.observatoriotic.mintel.gob.ec/>
- **Miranda, J. L.** (2014). *Instalación Operación y Mantenimiento de Redes FTTx*. Guayaquil, Ecuador.
- **Navarra, U. P.** (2017). *Universidad Pública de Navarra*. Universidad Pública de Navarra. Recuperado de [https://www.tlm.unavarra.es/~daniel/docencia/rba/rba06\\_07/slides/21-IntroDSL.pdf](https://www.tlm.unavarra.es/~daniel/docencia/rba/rba06_07/slides/21-IntroDSL.pdf)
- **Pabón Taco, D.** (2009). *Diseño de una red de acceso GPON para proveer servicios triples play (Tv, internet y telefonía) en el sector de la Carolina a través de la red del grupo TVCable*. Quito, Ecuador.
- **Rodríguez Zambrano, C. R.** (2012). *Diseño de una red FTTH para la renovación de los servicios de las operadoras telefónicas de Guayaquil*. Guayaquil, Ecuador.
- **Suárez, E. J.** (2015). *Estudio y Diseño de una red de planta externa con fibra óptica y su integración a un equipo GPON para brindar servicios Triple-play*. Quito, Ecuador.

## ANEXOS

### Anexo A. Encuesta para medir la satisfacción del servicio de internet GPON comparado con ADSL

Este formulario servirá para realizar encuestas para medir la satisfacción del usuario del servicio con tecnología GPON, comparado con su anterior servicio ADSL

**\*Obligatorio**

Número de servicio de internet GPON \*

Tu respuesta

Capacidad del plan \*

Tu respuesta

¿Cuánto tiempo lleva utilizando internet? \*

- a. Menos de un año
- d. Entre uno y tres años
- e. Más de tres años

¿Con qué frecuencia diaria utiliza el internet? \*

- 1 a 2 horas diarias
- 3 a 4 horas diarias
- 5 a 8 horas diarias
- Todo el tiempo

¿Cuál es el uso que le da al internet? \*

- Redes sociales
- Negocios
- Investigación académica
- Multimedia: videollamadas, videos, youtube, televisión
- Juegos en línea

¿Cuál es el ancho de banda contratado con el operador? \*

- 1 Mb
- 3 Mb
- 5 Mb

10 Mb  
Más de 10 Mb  
No conoce

¿Cuál es el ancho de banda promedio que recibe? \*

Menos de 1Mb  
3 Mb  
5 Mb  
10 Mb  
15 Mb  
Más de 15 Mb  
No conoce

¿Con qué frecuencia utiliza Ud., la línea telefónica con tecnología GPON o fibra óptica? \*

Todo el tiempo  
Muchas veces  
Algunas veces  
Pocas veces  
Nunca

¿Ha notado alguna interferencia, tales como retardo, eco, voz robotizado cuando realiza una llamada?

Sí

No

Talvez

Si pudiera devolver la línea telefónica, ¿lo haría?

Sí

No

Tal vez

¿Había escuchado Ud., sobre el plan de telefonía on demand?. Es aquella en la que Ud., cancela solo lo que consume \*

Sí

No

En comparación con el anterior servicio de internet ADSL, el actual servicio GPON es: \*

Mucho mejor

Algo mejor

Similar

Peor

Mucho peor

¿Recomendaría a otras personas el servicio de internet GPON? \*

Si

No

Tal vez

El servicio de internet GPON que tiene, ¿cubre sus necesidades? \*

Totalmente de acuerdo

De acuerdo

En desacuerdo

Totalmente en desacuerdo

¿Con qué dispositivos o equipos se conecta al internet GPON de su domicilio? \*

Smartphone

Laptop

Computadora de escritorio

Tablet

Televisión

Otros

¿Cuántos dispositivos en promedio se conectan en su casa? \*

1

Entre 2 y 4

5

Entre 6 y 10

Más de 10

¿Cuál es su valoración de internet?. Considerando 1 muy insatisfecho y 5 muy satisfecho \*

1

2

3

4

5

¿Qué tipo de información multimedia HD utiliza con su internet GPON? \*

Videollamadas

Netflix

Youtube

Películas

Streaming

¿Con su anterior servicio de internet ADSL, podía visualizar información multimedia de alta calidad cómo ahora lo hace con GPON? \*

Sí

No

Tal vez

¿Ha experimentado que el internet GPON se vuelve lento? \*

Todo el tiempo

Nunca

Algunas veces

Muy pocas veces

Si su respuesta anterior fue SI, indicar el horario y días cuándo ha experimentado la conectividad lenta. \*

Tu respuesta



¿Cómo califica la disponibilidad de su conexión a internet? Considerando 1 No disponible y 5 Todo el tiempo disponible \*

1

2

3

4

5

Si tuviera que elegir entre el servicio de internet GPON actual y el anterior ADSL, ¿cuál sería su elección? \*

GPON

ADSL

Cualquier

¿El costo del servicio de internet GPON, está acorde con la calidad que recibe? \*

Sí

No

Tal vez

¿Cuáles canales conoce Ud., para realizar un reclamo a su operador? \*

Call Center

Oficinas del operador

Facebook

Twitter

Página web de la empresa

En el tiempo que lleva utilizando internet GPON, ¿cuántas veces ha reportado una avería o daño de internet? \*

Nunca

1 vez

2 veces

3 veces

Más de 3 veces

¿Qué frecuencia de daños tenía el anterior servicio de internet ADSL?

Mensualmente

Trimestralmente

Semestralmente

Anualmente

Nunca reportó un daño