

# UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE  
COMUNICACIÓN



TEMA:

***“DISEÑO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN ÓPTICA INTELIGENTE (iODN) PARA LA MIGRACIÓN DE USUARIOS DE RADIOENLACE DE LA EMPRESA DE TELECOMUNICACIONES (SERVICETEL) EN LA PARROQUIA URCUQUÍ.”***

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

**AUTOR:** NÉSTOR DANIEL BENÍTEZ ANDRADE

**DIRECTOR:** ING. FABIAN CUZME RODRÍGUEZ, MSc.

IBARRA – ECUADOR

2022



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## Biblioteca Universitaria

### Autorización de Uso y Publicación a Favor de la Universidad Técnica del Norte

#### Identificación de la Obra

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

Datos de Contacto			
<b>Cédula de Identidad</b>	1003421110		
<b>Apellidos y Nombres</b>	Benítez Andrade Néstor Daniel		
<b>Dirección</b>	Sánchez y Cifuentes 14-86 y Zenón Villacis		
<b>email</b>	ndbeniteza@utn.edu.ec		
<b>Teléfono fijo</b>	062609333	<b>Teléfono móvil</b>	0987269673
Datos de la obra			
<b>Título</b>	Diseño de una Red de Distribución Óptica inteligente (iODN) para la migración de usuarios de radioenlace de la Empresa de Telecomunicaciones (SERVICETEL) en la parroquia Urcuquí.		
<b>Autor</b>	Benítez Andrade Néstor Daniel		
<b>Fecha</b>	4 de enero del 2022		
Solo para Trabajos de Grado			
<b>Programa</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	Pregrado	<input type="checkbox"/> Posgrado
<b>Título por el que opta</b>	Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación		
<b>Director</b>	Ing. Fabian Cuzme Rodríguez, MSc.		

## Constancias

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

**Ibarra, 4 de enero del 2022**

**EI AUTOR**



---

*Néstor Daniel Benítez Andrade*

1003421110



## UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE

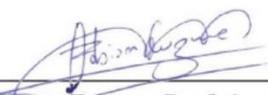
### Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

#### Certificación

Ing. Fabián Cuzme Rodríguez, MSc., director del presente trabajo de Titulación  
Certifica:

Que, el presente trabajo de titulación “Diseño de una Red de Distribución Óptica inteligente (iODN) para la migración de usuarios de radioenlace de la Empresa de Telecomunicaciones (SERVICETEL) en la parroquia Urcuquí”, fue realizado en su totalidad por la Sr. Néstor Daniel Benítez Andrade, bajo mi supervisión.

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

  
\_\_\_\_\_  
*Ing. Fabián Cuzme Rodríguez, MSc.*  
Director

## Agradecimiento

Como no dar gracias infinitas a mi Padre del Cielo, Dios Todopoderoso, el que me permitió desarrollar este Trabajo de Grado, el que me regalo su Espíritu Santo, iluminándome y guiándome para que llegar a culminar una etapa más de mi vida, el que con su infinita sabiduría y día tras día me regala el don más preciado que es la vida misma, a él, a mi Señor Yahveh, toda la gloria por los siglos de los siglos, Amén.

Un especial agradecimiento a mi madrecita, ella que asumió el papel de padre y de madre, guiándome día tras día para que llegara a ser un buen cristiano y un excelente profesional, infinitas gracias a ella, por todo su sacrificio y su entera entrega total a mí.

Doy gracias al cielo por haberme regalado al mejor hermano que existe en el mundo, a mi hermano Josué, que siempre estuvo conmigo en las buenas y en las malas, apoyándome y animándome cuando yo perdía las fuerzas, al que es mi confidente, a él, le doy infinitas gracias por ser parte de mi vida.

Hago mención honorífica a mis tíos Roberto Estévez y Giovanna Andrade, que son mis segundos padres, que me inculcaron todas sus enseñanzas y que velaron por mí, como un hijo más, cuidándome y protegiéndome, en la corrección y en el amor, bendiciones y gracias infinitas.

Agradecimiento total a mi Tutor de Trabajo de Grado, el Ing. Fabian Cuzme Rodríguez, por todo su tiempo y paciencia para que este Trabajo se pudiese desarrollar con total éxito, a la Empresa de telecomunicaciones (SERVICETEL), quien me abrió las puertas para desarrollar y elaborar mi trabajo; finalmente doy gracias a todos mis profesores que pasaron por toda mi etapa universitaria, un especial agradecimiento a ellos, por su entrega total, su sacrificio diario y por todas sus enseñanzas impartidas.

## Dedicatoria

*Este Proyecto de Titulación va dedicado para mi madre y mi hermano Josué que son el sostén de mi vida y que día tras día me apoyaron y me siguen apoyando para que todas mis metas y objetivos lleguen a culminar con total éxito bajo la bendición y el amparo de mi Madrecita del Cielo, la siempre Virgen María, Madre de Dios.*

*Además, este Trabajo de Grado, va dedicado de una manera muy especial a la primera comunidad de San Esteban, ya que son mi familia en la fe y la fuerte columna en mi vida espiritual, cultivándome los valores cristianos – católicos y el evangelio de nuestro Señor Jesucristo.*

*Hago una alusión muy especial a mi querido hijo Israel, que en su inocencia fue el que me motivo a seguir con el desarrollo de este trabajo y pueda culminar felizmente.*

*Finalmente quiero dedicar este Proyecto a una extraordinaria mujer que ha sido mi sostén con sus oraciones y su preocupación constante por verme culminar con éxito este Trabajo, para ti Mary Freire quien ha sido y eres un pilar fundamental en mi vida y con mención especial dedico esta Tesis a los niños más extraordinarios que el Señor ha puesto en mi camino, Camila y Matías.*

## Resumen

El principal objetivo de este estudio es el diseño de una Red de Distribución Óptica inteligente para la migración de los actuales usuarios de radioenlace de la Empresa SERVICETEL empleando tecnología FTTH en la parroquia Urcuquí. Para ello se ha organizado el trabajo en cuatro capítulos, los cuales nos detallaran el proceso de migración.

En el capítulo uno se especificará todos los parámetros que incentivaron el estudio de la red iODN en la parroquia Urcuquí para la empresa SERVICETEL, tal es la problemática actual de la empresa, los objetivos a cumplirse, el alcance del diseño de red, esto es, hasta donde está proyectado el nuevo enlace de fibra óptica y la debida justificación que hace que el diseño de red sea factible acorde a las necesidades de la entidad.

En el siguiente capítulo se estudiará los sistemas de comunicaciones ópticos, así como los elementos activos y pasivos que los involucran, se describirá las características principales de las redes GPON y se analizará la tecnología FTTH, la cual se emplea en el diseño de la red. Además, se describirán las redes iODN, sus principales características y los equipos que utiliza. Finalmente se describirá el impacto que estas tecnologías y las redes iODN generan en el mercado de las comunicaciones.

El tercer capítulo comprenderá el diseño de la red en sí. Para lo cual, se realizará el diseño del enlace de fibra óptica en base a la red iODN en la parroquia de Urcuquí. Para esto se presentará el recorrido de la red, los equipos a emplearse y el tipo de fibra óptica a utilizarse en este diseño.

Finalmente, en el último capítulo se presentará el análisis de costos de los equipos empleados en el diseño de red, así como la viabilidad del proyecto, los gastos de inversión y la rentabilidad que proveerá el diseño.

## Abstract

The main objective of this study is the design of an intelligent Optical Distribution Network for the migration of the current radio link users of the SERVICETEL Company using FTTH technology in the Urcuquí parish. For this, the work has been organized into four chapters, which will detail the migration process.

In chapter one all the parameters that encouraged the study of the iODN network in the Urcuquí parish for the SERVICTEL company will be specified, such is the current problem of the company, the objectives to be met, the scope of the network design, that is, The extent to which the new fiber optic link is projected and the due justification that makes the network design feasible according to the entity's needs.

In the next chapter, optical communications systems will be studied, as well as the active and passive elements that involve them, the main characteristics of GPON networks will be described and FTTH technology, which is used in the design of the network, will be analyzed. In addition, the iODN networks, their main characteristics and the equipment they use are described. Finally, the impact that these technologies and the iODN networks generate in the communications market is described.

The third chapter will understand the design of the network itself. For which, the design of the fiber optic link will be carried out based on the iODN network in the Urcuquí parish. For this, the route of the network, the equipment to be used and the type of optical fiber used in this design will be presented.

Finally, in the last chapter, the cost analysis of the equipment used in the network design will be presented, as well as the viability of the project, the investment expenses and the profitability that the design will provide.

## Índice General

<b>IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA .....</b>	<b>I</b>
<b>CONSTANCIAS .....</b>	<b>II</b>
<b>CERTIFICACIÓN.....</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>V</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>VI</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>XV</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>XIX</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES.....</b>	<b>XXII</b>
<b>CAPITULO 1 .....</b>	<b>1</b>
<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Tema .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Problema .....</b>	<b>1</b>
<b>1.3. Objetivos.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3.1. Objetivo general .....</b>	<b>3</b>
<b>1.3.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4. Alcance .....</b>	<b>3</b>

1.5.	Justificación .....	5
<b>CAPITULO 2 .....</b>		<b>7</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>		<b>7</b>
2.1.	Evolución de las redes de telecomunicaciones.....	7
2.1.1.	<i>Redes de nueva generación</i> .....	7
2.2.	Fibra Óptica.....	8
2.2.1.	<i>Estructura</i> .....	8
2.2.2.	<i>Ventajas y Desventajas</i> .....	10
2.2.3.	<i>Características</i> .....	10
2.2.4.	<i>Propagación de la Luz en la Fibra Óptica</i> .....	11
2.2.4.1.	Velocidad de propagación de la luz.....	11
2.2.4.2.	Difracción .....	12
2.2.4.3.	Reflexión.....	12
2.2.4.4.	Refracción .....	13
2.2.4.5.	Ley de Snell .....	13
2.2.4.6.	Ángulo crítico.....	14
2.2.5.	<i>Tipos de Fibra Óptica</i> .....	15
2.2.5.1.	Fibra Monomodo.....	15
2.2.5.2.	Fibra multimodo.....	16
2.2.6.	<i>Ventanas de Transmisión para Fibra Óptica</i> .....	18
2.2.7.	<i>Dispersión en la Fibra Óptica</i> .....	19
2.2.7.1.	Dispersión modal ( <i>V<sub>m</sub></i> ) .....	20
2.2.7.2.	Dispersión cromática ( <i>V<sub>c</sub></i> ).....	20
2.2.7.3.	Dispersión por modo de polarización ( <i>V<sub>p</sub></i> ).....	20
2.2.7.4.	Ancho de Banda en la Fibra Óptica .....	20
2.2.8.	<i>Tipos de Cable de Fibra Óptica</i> .....	21

2.2.8.1.	Cable de estructura holgada .....	22
2.2.8.2.	Cable de estructura ajustada.....	22
2.2.8.3.	Cable Blindado .....	23
2.2.8.4.	Cable figura 8 Auto soportado .....	23
2.2.8.5.	OPGW (Optical Ground Wire) .....	24
2.2.8.6.	Cable ADSS (Aerial Dielectric Self-Supportting) .....	24
2.2.9.	<i>Empalme y Conexión de la Fibra Óptica</i> .....	25
2.2.9.1.	Técnicas de empalme.....	25
2.2.9.2.	Conectores.....	26
2.2.10.	<i>Sistemas de Comunicación Óptica</i> .....	27
2.2.10.1.	Componentes del Sistema .....	28
2.3.	<b>Tecnologías de Acceso</b> .....	30
2.3.1.	<i>Modelos de la Red FTTX</i> .....	30
2.3.1.1.	Modelos de redes FTTx.....	30
2.4.	<b>Redes X-PON</b> .....	33
2.4.1.	<i>Diferentes Tipos de Redes PON</i> .....	34
2.4.1.1.	APON o ATM-PON (Redes Ópticas Pasivas ATM) .....	34
2.4.1.2.	BPON (Red Óptica Pasiva de Banda ancha).....	35
2.4.1.3.	EPON (Red Óptica Pasiva Ethernet).....	35
2.4.1.4.	GEPON (Red Óptica Pasiva Ethernet con capacidad de Gigabit).....	35
2.4.1.5.	GPON (Red Óptica Pasiva con capacidad de Gigabit) .....	35
2.4.2.	<i>Cuadro Comparativo de las Redes PON</i> .....	36
2.4.3.	<i>Canales de Transmisión</i> .....	36
2.4.3.1.	UPSTREAM o Canal Ascendente .....	36
2.4.3.2.	DOWNSTREAM o Canal Descendente.....	37
2.4.4.	<i>Ventajas de las Redes PON</i> .....	37
2.5.	<b>GPON (PON con Capacidad de Gigabit)</b> .....	37
2.5.1.	<i>Arquitectura FTTH GPON</i> .....	37
2.5.1.1.	OLT (Optical Line Terminal).....	40
2.5.1.2.	ONT (Optical Network Terminal) .....	41
2.5.1.3.	Splitter (Divisor Óptico).....	42
2.5.1.4.	ODN (Optical Distribution Network) .....	43

2.5.1.5.	Presupuesto de Atenuación Óptica .....	45
2.5.2.	<i>Estándar ITU-T G.984</i> .....	46
2.5.3.	<i>Protocolos de Enlace</i> .....	48
2.5.3.1.	ATM (Asynchronous Transfer Mode) .....	48
2.5.3.2.	GEM (GPON Encapsulation Method) .....	48
<b>2.6.</b>	<b>iODN</b> .....	<b>50</b>
2.6.1.	<i>Estructura iODN</i> .....	50
2.6.1.1.	Capa del equipo (iODN hardware platform) .....	50
2.6.1.2.	Capa de programación de plataforma (iODN management platform) .....	50
2.6.1.3.	Capa de aplicación (various value-added systems) .....	51
2.6.2.	<i>Principales Características</i> .....	54
2.6.2.1.	Gestión remota en modo fuera de línea .....	54
2.6.2.2.	Gestión de identificación de la fibra óptica .....	55
2.6.2.3.	Monitoreo del estado de puertos .....	56
2.6.3.	<i>Componentes de una Red iODN</i> .....	57
2.6.3.1.	iODF (Intelligent Optical Distribution Frame) .....	58
2.6.3.2.	iFDT (Intelligent Fiber Distribution Terminal) .....	58
2.6.3.3.	iFAT (Intelligent Fiber Access Terminal) .....	58
2.6.3.4.	CTB/ATB (Cable Termination Box) .....	59
2.6.4.	<i>Beneficios de las iODN</i> .....	59
<b>2.7.</b>	<b>Impacto en las Telecomunicaciones</b> .....	<b>60</b>
2.7.1.	<i>Impacto Social</i> .....	60
2.7.1.	<i>Impacto Económico</i> .....	61
<b>CAPITULO 3</b>	.....	<b>63</b>
<b>DISEÑO DE LA RED</b>	.....	<b>63</b>
<b>3.1.</b>	<b>Situación Actual de la Red</b> .....	<b>63</b>
3.1.1.	<i>Características Generales</i> .....	63
3.1.2.	<i>Estructura de la Red SERVICETEL en Urcuquí</i> .....	65
3.1.2.1.	Configuración de la red Wireless .....	67
3.1.3.	<i>Suscriptores de la empresa SERVICETEL</i> .....	72
3.1.4.	<i>Tarifas actuales de la empresa SERVICETEL</i> .....	73

<b>3.2.</b>	<b>Diseño de la Red iODN.....</b>	<b>73</b>
3.2.1.	<i>Consideraciones Iniciales</i> .....	74
3.2.1.1.	Suscriptores Futuros .....	75
3.2.2.	<i>Criterios para el diseño de Red</i> .....	78
3.2.2.1.	Selección del modelo de red .....	78
3.2.2.2.	Selección de los divisores ópticos.....	80
3.2.2.3.	Selección de la fibra óptica .....	81
3.2.2.4.	Presupuesto óptico y de pérdidas en la red FTTH .....	84
3.2.2.5.	Distancia máxima de la red óptica .....	89
3.2.3.	<i>Esquema iODN</i> .....	90
3.2.3.1.	Red Troncal o Feeder .....	91
3.2.3.2.	Red de Distribución .....	93
3.2.3.3.	Red de Dispersión.....	96
3.2.3.4.	Recorrido de la Fibra Óptica.....	99
3.2.3.5.	Estudio de la Distancias .....	100
3.2.3.6.	Análisis de Capacidad .....	111
3.2.3.7.	Análisis de Pérdidas .....	112
3.2.4.	<i>Requisitos para la Red iODN en SERVICETEL</i> .....	126
3.2.4.1.	Requerimientos de los equipos activos.....	126
3.2.4.2.	Requisitos de los equipos pasivos .....	129
3.2.4.3.	Equipos iODN .....	130
<b>CAPITULO 4</b>	<b>.....</b>	<b>131</b>
<b>ANÁLISIS DE COSTOS</b>	<b>.....</b>	<b>131</b>
<b>4.1.</b>	<b>Dispositivos Activos .....</b>	<b>131</b>
4.1.1.	<i>OLT Huawei – MA5800</i> .....	131
4.1.2.	<i>ONT – Huawei HG8447</i> .....	133
<b>4.2.</b>	<b>Estimación de Costos.....</b>	<b>134</b>
4.2.1.	<i>Equipos iODN</i> .....	134
4.2.2.	<i>Fibra Óptica</i> .....	135
4.2.3.	<i>Costos Operativos</i> .....	135
4.2.4.	<i>Imprevistos</i> .....	136
4.2.5.	<i>Costos totales determinados para la Implementación</i> .....	137

<b>4.3. Factores Económicos .....</b>	<b>137</b>
<b>4.3.1. Ingresos y Egresos .....</b>	<b>137</b>
<b>4.3.1.1. Arriendo de Red .....</b>	<b>137</b>
<b>4.3.1.2. Implementación de la Red. ....</b>	<b>138</b>
<b>4.3.1.3. Devaluación de los Equipos .....</b>	<b>140</b>
<b>4.3.1.4. Financiamiento .....</b>	<b>140</b>
<b>4.3.1.5. Estado de Pérdidas y Ganancias .....</b>	<b>143</b>
<b>4.3.1.6. Flujo Efectivo.....</b>	<b>144</b>
<b>4.3.1.7. Flujo de Caja.....</b>	<b>146</b>
<b>4.3.2. Valor Actual Neto (VAN).....</b>	<b>147</b>
<b>4.3.3. Tasa Interna de Retorno (TIR).....</b>	<b>149</b>
<b>4.3.4. Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) .....</b>	<b>150</b>
<b>4.3.5. Relación Costo - Beneficio .....</b>	<b>151</b>
<b>4.4. Financiamiento .....</b>	<b>152</b>
<b>4.5. Observaciones Finales .....</b>	<b>153</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>154</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>154</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>156</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>157</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>157</b>
<b>Artículos Científicos .....</b>	<b>158</b>
<b>Trabajos de Grado.....</b>	<b>159</b>
<b>Linkografía.....</b>	<b>160</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>A</b>
<b>ANEXO I.....</b>	<b>B</b>
<b>RED TELEFÓNICA DEL CANTÓN URCUQUÍ.....</b>	<b>B</b>

<b>ANEXO II</b> .....	<b>D</b>
<b><i>PLANOS DE LAS DISTANCIAS DE LA ZONA 1 Y ZONA 2</i></b> .....	<b>D</b>
<b>ANEXO III</b> .....	<b>I</b>
<b><i>HUAWEI MA5800-X7</i></b> .....	<b>I</b>
<b>ANEXO IV</b> .....	<b>K</b>
<b><i>HG8447</i></b> .....	<b>K</b>
<b>ANEXO V</b> .....	<b>M</b>
<b><i>GPX147-ODF2101</i></b> .....	<b>M</b>
<b>ANEXO VI</b> .....	<b>P</b>
<b><i>GXF147-IFDT3103D</i></b> .....	<b>P</b>
<b>ANEXO VII</b> .....	<b>S</b>
<b><i>GPX147-IFAT3102</i></b> .....	<b>S</b>

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Redes de Nueva Generación</i> .....	8
<b>Figura 2</b> <i>Composición de un cable de fibra óptica</i> .....	9
<b>Figura 3</b> <i>Composición de la Fibra Óptica</i> .....	9
<b>Figura 4</b> <i>Difracción de la luz</i> .....	12
<b>Figura 5</b> <i>Reflexión de la luz</i> .....	12
<b>Figura 6</b> <i>Refracción de la luz</i> .....	13
<b>Figura 7</b> <i>Reflexión interna total</i> .....	14
<b>Figura 8</b> <i>Fibra Óptica Monomodo</i> .....	15
<b>Figura 9</b> <i>Comparación de la dispersión en fibra óptica monomodo</i> .....	16
<b>Figura 10</b> <i>Fibra multimodo de índice escalonado</i> .....	17
<b>Figura 11</b> <i>Fibra multimodo de índice gradual</i> .....	17
<b>Figura 12</b> <i>Ventanas del espectro óptico</i> .....	18
<b>Figura 13</b> <i>Bandas Ópticas</i> .....	19
<b>Figura 14</b> <i>Cable de estructura holgada</i> .....	22
<b>Figura 15</b> <i>Cable de estructura ajustada</i> .....	22
<b>Figura 16</b> <i>Cable blindado</i> .....	23
<b>Figura 17</b> <i>Cable figura 8</i> .....	23
<b>Figura 18</b> <i>Diseño OPGW</i> .....	24
<b>Figura 19</b> <i>Cable ADSS</i> .....	24
<b>Figura 20</b> <i>Fusión de dos fibras ópticas</i> .....	25
<b>Figura 21</b> <i>Conector SC</i> .....	26
<b>Figura 22</b> <i>Conector LC</i> .....	26
<b>Figura 23</b> <i>Conector FC</i> .....	27
<b>Figura 24</b> <i>Conector ST</i> .....	27
<b>Figura 25</b> <i>Sistema de comunicación óptica básico</i> .....	28

<b>Figura 26</b> <i>FTTN (Fibra hasta el Nodo)</i> .....	31
<b>Figura 27</b> <i>FTTC (Fibra hasta el Armario)</i> .....	31
<b>Figura 28</b> <i>FTTB (Fibra hasta el Edificio)</i> .....	32
<b>Figura 29</b> <i>FTTH (Fibra hasta el Hogar)</i> .....	32
<b>Figura 30</b> <i>FTTH, FTTB y FTTC</i> .....	33
<b>Figura 31</b> <i>PON (Red Óptica Pasiva)</i> .....	34
<b>Figura 32</b> <i>Configuración basada en la Referencia G.984.1 para GPON</i> .....	38
<b>Figura 33</b> <i>Diagrama de Red FTTH GPON</i> .....	39
<b>Figura 34</b> <i>Estructura de la OLT</i> .....	40
<b>Figura 35</b> <i>Configuración física genérica de la ODN</i> .....	43
<b>Figura 36</b> <i>Diagrama técnico del diseño ODN</i> .....	43
<b>Figura 37</b> <i>Diagrama del Presupuesto Óptico</i> .....	46
<b>Figura 38</b> <i>Estructura de la Trama para datos TDM en GEM</i> .....	49
<b>Figura 39</b> <i>Estructura de las tramas TDM y Ethernet en GEM</i> .....	49
<b>Figura 40</b> <i>Estructura de la Solución iODN</i> .....	51
<b>Figura 41</b> <i>Evolución de las redes WiFi</i> .....	52
<b>Figura 42</b> <i>Armarios de distribución de fibra no inteligentes</i> .....	53
<b>Figura 43</b> <i>Gestión de una iODN</i> .....	54
<b>Figura 44</b> <i>Identificación Electrónica</i> .....	55
<b>Figura 45</b> <i>Funcionamiento del PDA</i> .....	56
<b>Figura 46</b> <i>iField BOX (modelo E3000, Huawei)</i> .....	57
<b>Figura 47</b> <i>Equipamiento de una iODN</i> .....	57
<b>Figura 48</b> <i>Beneficios de una iODN</i> .....	59
<b>Figura 49</b> <i>Digitalización de procesos en Sectores Gubernamentales, según la ONU</i> .....	61
<b>Figura 50</b> <i>Proceso para iniciar un negocio en el Ecuador</i> .....	62
<b>Figura 51</b> <i>Mapa Político de la Provincia de Imbabura</i> .....	64

<b>Figura 52</b> <i>Mapa Político del Cantón San Miguel de Urucuquí</i> .....	64
<b>Figura 53</b> <i>Vista aérea de la parroquia Urucuquí</i> .....	65
<b>Figura 54</b> <i>Ubicación del nodo central en la parroquia Urucuquí</i> .....	66
<b>Figura 55</b> <i>Ubicación de los diferentes clientes en la parroquia de Urucuquí</i> .....	66
<b>Figura 56</b> <i>Configuración de la red Wireless de la empresa SERVICETEL</i> .....	67
<b>Figura 57</b> <i>Router RB3011UiAS-RM</i> .....	68
<b>Figura 58</b> <i>Switch TL-SG1024DE</i> .....	69
<b>Figura 59</b> <i>Ubiquiti Radio Base</i> .....	70
<b>Figura 60</b> <i>Ubiquiti Antenas Sectoriales</i> .....	71
<b>Figura 61</b> <i>Diagrama de los puntos de red (Clientes) de SERVICETEL</i> .....	72
<b>Figura 62</b> <i>Distancia máxima entre la OLT y la ONT más lejana</i> .....	74
<b>Figura 63</b> <i>Red telefónica del cantón Urucuquí</i> .....	75
<b>Figura 64</b> <i>División del área de cobertura en 2 sectores</i> .....	77
<b>Figura 65</b> <i>Topología punto-multipunto</i> .....	78
<b>Figura 66</b> <i>Topología básica GPON</i> .....	79
<b>Figura 67</b> <i>Conectores y Empalmes de red en GPON</i> .....	87
<b>Figura 68</b> <i>Red Troncal o Feeder</i> .....	92
<b>Figura 69</b> <i>Red Troncal o Feeder</i> .....	92
<b>Figura 70</b> <i>Red de Distribución</i> .....	93
<b>Figura 71</b> <i>Distribución de los Splitter en la iFDT</i> .....	94
<b>Figura 72</b> <i>Ubicación de las iFDT por cada zona</i> .....	95
<b>Figura 73</b> <i>Red de Distribución</i> .....	96
<b>Figura 74</b> <i>Red de Dispersión</i> .....	97
<b>Figura 75</b> <i>Distribución de las iFAT</i> .....	98
<b>Figura 76</b> <i>Abonado más cercano en la Zona 1</i> .....	101
<b>Figura 77</b> <i>Abonado más lejano en la Zona 1</i> .....	102

<b>Figura 78</b> <i>Abonado más cercano en la Zona 2</i> .....	103
<b>Figura 79</b> <i>Abonado más lejano en la Zona 2</i> .....	104
<b>Figura 80</b> <i>Esquema de la red iODN</i> .....	113
<b>Figura 81</b> <i>Conexión OLT – iODF</i> .....	114
<b>Figura 82</b> <i>Red troncal</i> .....	116
<b>Figura 83</b> <i>Red de acceso</i> .....	119
<b>Figura 84</b> <i>Última Milla</i> .....	121
<b>Figura 85</b> <i>OLT – Huawei</i> .....	131
<b>Figura 87</b> <i>ONT - Huawei</i> .....	133

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Comparación de redes PON-----	36
<b>Tabla 2</b> Valores de atenuación en dB por splitter-----	42
<b>Tabla 3</b> Valores referenciales de los medios físicos dependientes-----	44
<b>Tabla 4</b> Síntesis del Estándar G.984-----	46
<b>Tabla 5</b> Características técnicas del Router Mikrotik RB3011UIAS-----	68
<b>Tabla 6</b> Características técnicas del Switch TL-SG1024DE-----	69
<b>Tabla 7</b> Características técnicas del Ubiquiti Radio Base AP 5GHz-----	70
<b>Tabla 8</b> Características técnicas del Ubiquiti Antenas Sectoriales-----	71
<b>Tabla 9</b> Número de suscriptores al 30 de noviembre del 2021-----	72
<b>Tabla 10</b> Oferta Principal de internet-----	73
<b>Tabla 11</b> Tasa de crecimiento Anual 2010-2020/Urcuquí-----	76
<b>Tabla 12</b> Proyección de crecimiento de los abonados a 5 años-----	77
<b>Tabla 13</b> Clases de pérdidas en el trayecto óptico-----	80
<b>Tabla 14</b> Capacidad y tipo de cables de fibra-----	81
<b>Tabla 15</b> Atributo de la fibra G.652.D-----	82
<b>Tabla 16</b> Atributo de la fibra G.657.A1-----	83
<b>Tabla 17</b> Niveles de potencia óptica para la OLT y ONT-----	84
<b>Tabla 18</b> Rango de atenuaciones en 1310 nm y 1550 nm-----	85
<b>Tabla 19</b> Valores de atenuación por distancia-----	86
<b>Tabla 20</b> Valores de la Atenuación Total-----	88
<b>Tabla 21</b> Abonado lejano y cercano por Zona-----	105
<b>Tabla 22</b> Hilos de fibra a utilizarse por cada Zona-----	106
<b>Tabla 23</b> Fibra Óptica requerida por cada Zona en la Red de Transporte-----	106
<b>Tabla 24</b> Cantidad de fibra óptica requerida para la red de acceso en la Zona 1-----	108
<b>Tabla 25</b> Cantidad de fibra óptica requerida para la red de acceso en la Zona 2-----	109

<b>Tabla 26</b> Atenuación - 1310 nm para el abonado más cercano, conexión OLT – iODF -----	114
<b>Tabla 27</b> Atenuación - 1310 nm para el abonado más lejano, conexión OLT – iODF -----	115
<b>Tabla 28</b> Atenuación - 1490 nm para el abonado más cercano, conexión OLT – iODF -----	115
<b>Tabla 29</b> Atenuación - 1490 nm para el abonado más lejano, conexión OLT – iODF -----	116
<b>Tabla 30</b> Atenuación - 1310 nm para el abonado más cercano, red troncal -----	117
<b>Tabla 31</b> Atenuación - 1310 nm para el abonado más lejano, red troncal -----	117
<b>Tabla 32</b> Atenuación - 1490 nm para el abonado más cercano, red troncal -----	118
<b>Tabla 33</b> Atenuación - 1490 nm para el abonado más lejano, red troncal -----	118
<b>Tabla 34</b> Atenuación - 1310 nm para el abonado más cercano, red acceso-----	119
<b>Tabla 35</b> Atenuación - 1310 nm para el abonado más lejano, red de acceso-----	120
<b>Tabla 36</b> Atenuación - 1490 nm para el abonado más cercano, red troncal -----	120
<b>Tabla 37</b> Atenuación - 1490 nm para el abonado más lejano, red de acceso-----	121
<b>Tabla 38</b> Atenuación - 1310 nm para el abonado más cercano, última milla -----	122
<b>Tabla 39</b> Atenuación - 1310 nm para el abonado más lejano, última milla -----	122
<b>Tabla 40</b> Atenuación - 1490 nm para el abonado más cercano, última milla -----	123
<b>Tabla 41</b> Atenuación - 1490 nm para el abonado más lejano, última milla -----	123
<b>Tabla 42</b> Atenuación - 1310 nm para el abonado más cercano-----	124
<b>Tabla 43</b> Atenuación - 1310 nm para el abonado más lejano-----	124
<b>Tabla 44</b> Atenuación - 1490 nm para el abonado más cercano-----	125
<b>Tabla 45</b> Atenuación - 1490 nm para el abonado más lejano-----	125
<b>Tabla 46</b> Requisitos para la OLT-----	127
<b>Tabla 47</b> Requisitos para la ONT -----	128
<b>Tabla 48</b> Requisitos para los elementos pasivos -----	129
<b>Tabla 49</b> Requerimientos para los equipos iODN -----	130
<b>Tabla 50</b> Precios estimados de los equipos iODN-----	134
<b>Tabla 51</b> Precios referenciales de la fibra óptica-----	135

<b>Tabla 52</b> Gastos operativos mensuales -----	136
<b>Tabla 53</b> Costos sobre los imprevistos -----	136
<b>Tabla 54</b> Costos totales estimados -----	137
<b>Tabla 55</b> Ingreso por arriendo de la fibra óptica -----	138
<b>Tabla 56</b> Ganancia por valores de arrendamiento -----	138
<b>Tabla 57</b> Precio total estimado para la implementación de un abonado -----	139
<b>Tabla 58</b> Egreso total por la Implementación de la Red -----	139
<b>Tabla 59</b> Gastos de devaluación anual - Activos Fijos -----	140
<b>Tabla 60</b> Tabla de Amortización -----	141
<b>Tabla 61</b> Crédito Bancario -----	143
<b>Tabla 62</b> Estado de pérdidas y ganancias -----	144
<b>Tabla 63</b> Flujo Efectivo-----	145
<b>Tabla 64</b> Tabla de Egresos -----	146
<b>Tabla 65</b> Flujo de Caja-----	147
<b>Tabla 66</b> Valores del Proyecto-----	152

## Índice de Ecuaciones

<b>Ecuación 1.</b> <i>Velocidad de propagación en la fibra óptica</i> -----	11
<b>Ecuación 2.</b> <i>Ley de Snell</i> -----	14
<b>Ecuación 3.</b> <i>Ecuación del ángulo crítico</i> -----	14
<b>Ecuación 4.</b> <i>Ancho de Banda en la fibra multimodo</i> -----	21
<b>Ecuación 5.</b> <i>Cantidad de luz reflejada en la fibra</i> -----	21
<b>Ecuación 6.</b> <i>Atenuación por Distribución en los Divisores</i> -----	42
<b>Ecuación 7.</b> <i>Presupuesto de atenuación óptica</i> -----	45
<b>Ecuación 8.</b> <i>Crecimiento Poblacional</i> -----	76
<b>Ecuación 9.</b> <i>POE (Presupuesto Óptico Establecido)</i> -----	84
<b>Ecuación 10.</b> <i>Atenuación Total</i> -----	88
<b>Ecuación 11.</b> <i>Distancia Máxima</i> -----	89
<b>Ecuación 12.</b> <i>Número de puertos GPON solicitados</i> -----	99
<b>Ecuación 13.</b> <i>Recorrido total para cada hilo de cada cable de fibra en la red de acceso</i> -----	107
<b>Ecuación 14.</b> <i>Cantidad de fibra óptica requerida en la red de acceso</i> -----	110
<b>Ecuación 15.</b> <i>Cálculo del Valor Actual Neto (VAN)</i> -----	148
<b>Ecuación 16.</b> <i>Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)</i> -----	149
<b>Ecuación 17.</b> <i>Cálculo del Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)</i> -----	150
<b>Ecuación 18.</b> <i>Cálculo del Costo - Beneficio</i> -----	151

# **CAPITULO 1**

## **ANTECEDENTES**

En este primer capítulo se explica la problemática presentada por parte de la empresa auspiciante la misma que nos lleva a plantear el objetivo principal a desarrollarse en conjunto con los objetivos secundarios para determinar el alcance que tendrá el trabajo de grado donde finalmente se justificará el estudio a emplearse para dicha entidad.

### **1.1. Tema**

Diseño de una Red de Distribución Óptica inteligente (iODN) para la migración de usuarios de radioenlace de la Empresa de Telecomunicaciones (SERVICETEL) en la parroquia Urcuquí.

### **1.2. Problema**

La Empresa de Telecomunicaciones (SERVICETEL) es una entidad privada que ofrece el servicio de internet vía microonda. Para hacer posible la transmisión de esta red informática, la compañía utiliza antenas y repetidoras para llegar a todos sus abonados.

Actualmente en la parroquia Urcuquí, SERVICETEL llega a todos sus clientes con el servicio de datos haciendo uso de la transmisión por radiofrecuencia, la misma que posee una limitada capacidad al momento de la transmisión de datos. Esto provoca una disminución tanto en la calidad del servicio como en la capacidad de transmisión, factores que se presentan debido a las interferencias en el medio ambiente en comparación a un medio que no posee estas limitantes, tal es el caso de la fibra óptica.

Mediante la radiocomunicación por microondas el cliente no podrá llevar a cabo servicios multimedia ininterrumpidos con altas tasas de transmisión de datos, motivo por el cual, en la

parroquia Urcuquí SERVICETEL se encuentra en desventaja frente a otros proveedores que ya están utilizando como medio de transmisión la fibra óptica.

Son pocas las empresas que ofrecen los servicios de Banda Ancha en este cantón, por lo que SERVICETEL, necesita llegar a todos sus abonados que actualmente posee, pero con la oferta de fibra óptica a precios accesibles y que brinden una excelente calidad de servicio, por lo tanto, esta empresa ha visto la necesidad de brindar este servicio de internet ya que previamente a un análisis poblacional en este cantón, existe un crecimiento del 1,7 % de población registrado en los últimos 10 años según la base de datos del Banco Mundial, el cual, es un factor que garantiza la aceptación para poder brindar internet a este sector por parte de la empresa (Banco Mundial, 2021).

Otro problema de fondo que actualmente presenta la empresa es la calidad de respuesta que el personal de operación de red brinda a los clientes, ya que al momento de solucionar los problemas en los nodos o en los enlaces, en este caso la última milla, existe demora en la pronta solución que presentan los abonados con sus conexiones. A esto se suma las constantes movilizaciones que el equipo técnico de operación tiene que realizar para las diversas tareas que se presentan diariamente. Cabe destacar que, una vez se complete la migración de los enlaces inalámbricos a las conexiones con fibra óptica, los problemas persistirán si antes no se mitigan buscando óptimas soluciones para la mejora de la eficiencia, las operaciones y el mantenimiento de la infraestructura de red de la fibra. La Red de Distribución Óptica inteligente es la mejor alternativa que se brinda a la empresa para corregir todas las fallas que puedan presentarse, ya que los equipos con los cuales trabajan estas redes, hacen que la manipulación de estas, sea fáciles y flexibles de administrar, además, de corregir el problema habitual que se adquiere cuando el operario manipula la fibra óptica, y esto es, el riesgo existente por el quiebre de uno de los filamentos de fibra al momento de realizar el mantenimiento de la red (Huawei, 2021).

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo general***

- Diseñar una Red de Distribución Óptica inteligente (iODN) para la migración de usuarios de radioenlace de la Empresa de Telecomunicaciones (SERVICETEL) en la parroquia Urcuquí.

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

- Estudiar las características que abarcan las tecnologías GPON, FFTH y la solución iODN y el impacto que estas generan en el mercado de las comunicaciones.
- Analizar la situación actual de la empresa SERVICETEL, para determinar los requerimientos actuales y futuros que demanda el nuevo diseño de red en Urcuquí.
- Diseñar la red GPON empleando la variante iODN que permita abastecer el servicio de datos a los usuarios de la parroquia Urcuquí.
- Efectuar un análisis económico del proyecto, para determinar un cálculo referencial de la inversión inicial y la factibilidad de implementación.

### **1.4. Alcance**

En el presente trabajo de grado se pretende diseñar una red de acceso con capacidad de ofrecer servicios de internet en la parroquia Urcuquí, para lo cual, se hará uso de la tecnología GPON que a diferencia de la tradicional ODN, en este proyecto se incluirá el estudio de la Red de Distribución Óptica Inteligente iODN. Este nuevo modelo de red permitirá que los trabajos de operación, mantenimiento y actualización de la información técnica sean mucho más fáciles de operar y con esto obtener una red de alto rendimiento.

Antes de iniciar con el desarrollo del proyecto, se indicarán los antecedentes que llevaron a realizar el estudio del diseño de red en la parroquia, tal es la problemática actual de la empresa, los objetivos a cumplirse y la debida justificación que hace que el diseño de red sea factible.

Para esto, se describirán las características principales de las redes GPON y se analizará la tecnología FTTH, la cual, se emplea en el diseño de la red. Además, se compararán las ventajas y desventajas, el despliegue y los desafíos que estas tecnologías por medio del uso de la fibra óptica como medio de transmisión, tienen actualmente. Adicional a esto se analizarán las características que requiere un proveedor para ofertar servicios Triple Play. Finalmente se describirán las redes iODN, sus principales características, los equipos a utilizar y los beneficios que traerá esta red.

Para el diseño del enlace de fibra óptica, el mismo que tiene por objetivo llegar a todos sus abonados de la parroquia Urcuquí, a través de la Red de Distribución Óptica Inteligente iODN, se presentará el trazado de la red junto con diagramas esquemáticos de las distancias asociadas. Para esto se realizará una descripción general del estado actual de la red de acceso que posee SERVICETEL en la parroquia, tanto sus enlaces como los abonados. Posteriormente se mostrará el diseño final de la red, indicando los equipos de transporte y la fibra óptica a usar, junto con sus características más relevantes. Para la selección de los equipos a utilizar, se elegirán mediante la comparación entre 2 fabricantes proveedores que más beneficios traigan al diseño de la red iODN.

Finalmente se realizará los estudios de costos y la viabilidad del proyecto, se revisará todo el gasto de inversión para la construcción de esta red de fibra óptica y la rentabilidad que proporcionará este diseño, para esto se hará uso de los indicadores de valor como el VAN y el TIR.

## 1.5. Justificación

Debido al enorme desarrollo de las telecomunicaciones, el surgimiento de innovadoras aplicaciones y la aparición de nuevos servicios, el tráfico de datos generado por los usuarios es cada vez mayor, por lo tanto, es indispensable contar con tecnologías como GPON, la cual, utiliza fibra óptica para llegar hasta el suscriptor.

La fibra óptica a diferencia de sus antecesores como el par trenzado y el cable coaxial, se convierte en el único medio cableado, en la actualidad, que permite altas tasas de transmisión, en el orden de los Gbps y Tbps, por lo que, si se trabajara solamente con fibra óptica en toda la red troncal y en la red de acceso, se aprovecharía al máximo todos los beneficios que este medio de transmisión aporta.

La visión que tiene SERVICETEL es llegar con tecnología GPON a la parroquia Urcuquí, por lo que, los usuarios de este sector de la provincia serán beneficiados al tener más opciones de elegir un proveedor de internet, siendo así esta empresa, la ofertante que brinda el ancho de banda el mismo que será elegido por el usuario.

El diseño de la red GPON en la cual estará incluida la red de distribución óptica inteligente (iODN) para la parroquia Urcuquí, surge a partir del acelerado despliegue de las redes de fibra óptica que la empresa SERVICETEL ha experimentado en los últimos años, ya lo dice el boletín “Si se analiza a nivel de cuentas de internet fijo a septiembre de 2020, según la ARCOTEL, las conexiones a través de fibra óptica representan el 45,39% del total de cuentas de este servicio que ascienden a 2’312.024” publicado el 31 de enero del presente año por parte del Ministerio de las Telecomunicaciones (MINTEL, 2021).

El diseño de red propuesto para la parroquia Urcuquí es un plan piloto que SERVICETEL lo requiere para una posible implementación, por lo tanto, al ser un diseño nuevo para esta parroquia, se adicionara la solución iODN al diseño de la red GPON, ya que el mismo permite una administración transparente a través de redes de fibra, programación automática de rutas de fibra y administración automatizada de órdenes de trabajo. Estas funciones pueden ayudar a los operadores administrar los recursos de red con alta precisión y a mejorar la eficacia de activación del camino óptico. Rostelecom una empresa de comunicaciones situada en Kraj – Rusia, ha implementado esta solución, con el objetivo de experimentar una experiencia de súper servicio a los suscriptores de banda ancha. Esta empresa planeaba mantener su ventaja competitiva a través de una implementación FTTH, pero estaba preocupado por la eficiencia, las operaciones y el mantenimiento de la infraestructura de red de fibra. La solución iODN está diseñada para abordar estos problemas. En una entrevista a Konstantin Korolev en la sucursal Perm de Rostelecom, dijo: “La red iODN es genial. Simplifica las operaciones de las redes de fibra, ayudándonos a brindar servicios de alta calidad y reducir los costos de operación y mantenimiento" (Huawei, 2016).

Debido al crecimiento poblacional en la parroquia Urcuquí, SERVICETEL realizará un análisis del acceso a internet, el cual, permitirá realizar la posible creación de un nodo en dicha parroquia con el objetivo de cubrir la mayoría de usuarios, los mismos que generarán ganancias económicas para la empresa. Para lo cual es viable la necesidad de realizar un diseño de una red GPON para dar el servicio de internet a los usuarios del sector, por lo que es de total apertura por parte del Gerente General, proponer un diseño que dará solución a las necesidades de esta parroquia por parte de SERVICETEL.

## CAPITULO 2

### MARCO TEÓRICO

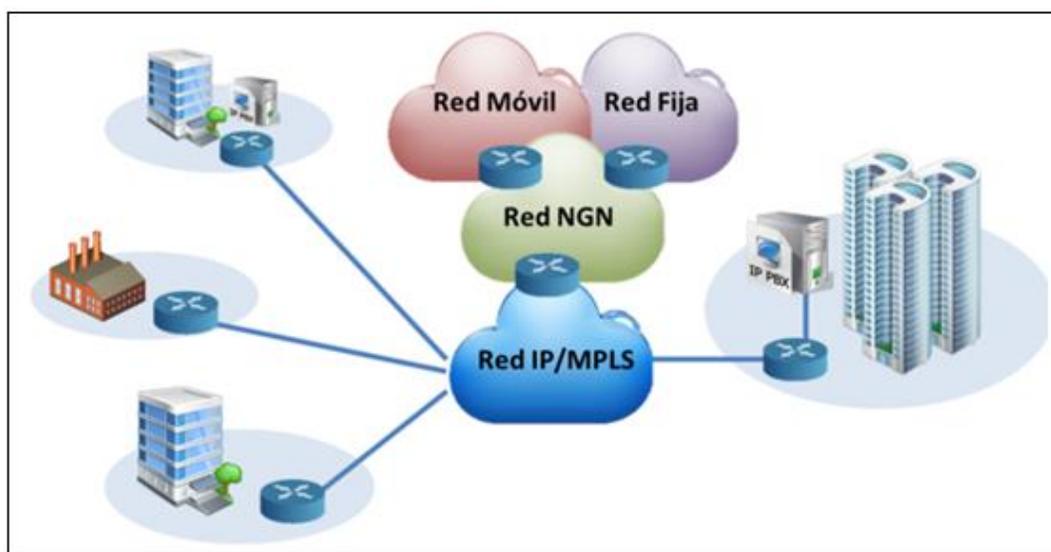
En el presente capítulo trataremos diversos temas que nos irán guiando sobre lo que se pretende lograr con el diseño de red propuesto para la empresa auspiciante. Tenemos entonces una primera sección la misma que aborda el marco de la evolución de las Redes de Telecomunicaciones (sección 2.1), fibra óptica (sección 2.2), tecnologías de acceso (sección 2.3), descripción sobre las redes x-PON (sección 2.4) que a su vez nos lleva a la explicación de GPON (sección 2.5), y en su turno tendremos el desarrollo al que está orientado este trabajo de grado, el cual es la definición de la iODN (sección 2.6) para finalizar con una breve explicación sobre el impacto en las telecomunicaciones que estas generan a nivel global y de forma local en nuestro país (sección 2.7).

#### **2.1. Evolución de las redes de telecomunicaciones**

El mayor reto al que se enfrenta hoy en día las redes de telecomunicaciones se debe en gran medida a la demanda de recursos de voz, datos y video que se generan por la acelerada evolución de los dispositivos inteligentes que a su vez provoca de manera exponencial el tráfico asociado a contenidos de alta definición (Aydaf, 2018).

##### ***2.1.1. Redes de nueva generación***

La tecnología que se aplica a las (NGN) se basan en una nueva arquitectura, también conocida como IPMS (*Internacional Protocol Multimedia System*), tal cual se muestra en la Figura 1. Esta permite la convergencia de los servicios de voz, datos y video de contenido multimedia. Una de las ventajas que se presenta para el usuario son: una *red básica de acceso independiente* y otra *red para voz y datos* permitiendo los Servicios Multimedia Integrados (Diaz, 2020).

**Figura 1***Redes de Nueva Generación*

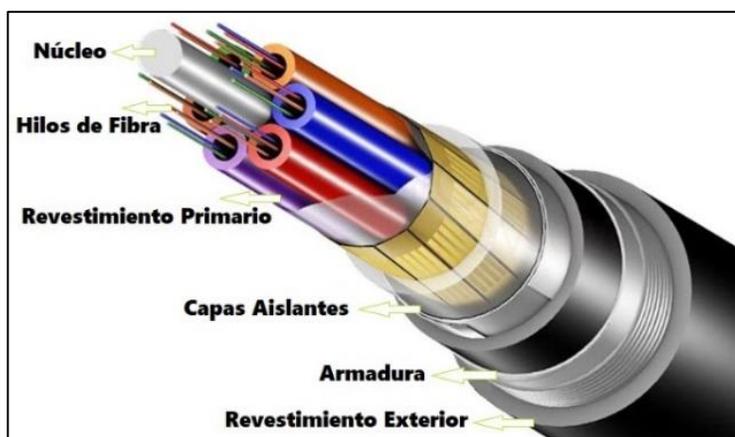
*Fuente:* (Aydaf, 2018).

## 2.2. Fibra Óptica

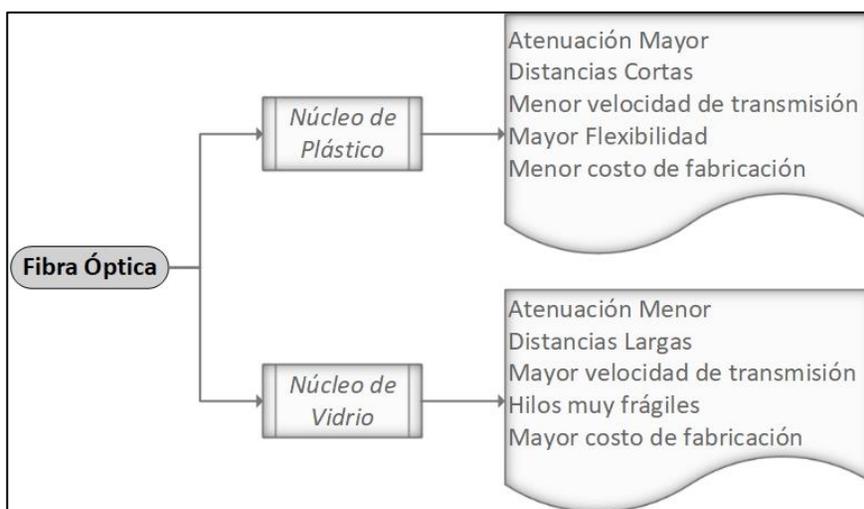
Con la modernidad en telecomunicaciones, la fibra óptica se ha convertido en el medio de transmisión más empleado, en cuanto a instalaciones de corta y larga distancia.

### 2.2.1. Estructura

Estos hilos de vidrio o de plástico son medios de transmisión rígidos o flexibles de dimensiones comparables a las de un cabello humano capaces de conducir haces de luz ya que su núcleo está compuesto de fibras cristalinas. Su conductividad es posible debido a los diferentes índices de refracción que posee, siendo el índice del núcleo, superior al del manto que lo recubre para que el haz de luz no se escape al exterior, tal cual se indica en la Figura 2.

**Figura 2***Composición de un cable de fibra óptica**Fuente: (Castillo, 2019).*

Este medio óptico se compone de varias partes que son: núcleo o guía, hilos de fibra, revestimiento primario, capas aislantes, armadura y un revestimiento exterior; y dependiendo del lugar en el cual se instala la fibra como es el caso de las conexiones intercontinentales, los materiales pueden reforzarse aún más. Por su composición existen dos tipos de fibra:

**Figura 3***Composición de la Fibra Óptica**Fuente: (Optral, 2018).*

### **2.2.2. Ventajas y Desventajas**

En cuanto a lo que favorece y lo que tiene por mejorar, este medio de transmisión posee ciertas características que lo hace diferente a otros medios de transmisión. En una primera instancia está las cualidades que lo hace mejor que otros medios, tal son:

- a) Alcanza mayores distancias y velocidades de transmisión
- b) Inmune al ruido eléctrico y las interferencias electromagnéticas
- c) Tiene un ancho de banda superior a cualquier otro medio
- d) La transmisión de información es más segura
- e) Su material es más ligero que el cobre
- f) La atenuación depende únicamente de la distancia
- g) Se garantiza una vida media de 20 años

De la misma manera que la fibra posee ventajas, también tiene ciertas desventajas, que si bien es cierto no son muchas y estas son:

- a) Los costos de instalación y equipos ópticos son muy elevados
- b) Se necesita personal muy calificado para la instalación y operación
- c) Es el medio de transmisión más frágil que existe, ya que una manipulación abrupta, puede causar el rompimiento de la fibra

### **2.2.3. Características**

Por su gran ancho de banda, las velocidades de transmisión teóricamente alcanzan el orden de los Tbps, sin embargo, debido a múltiples factores como el uso de equipos intermedios, empalmes y sobre todo la distancia, prácticamente el ancho de banda se ve afectado, reduciendo su capacidad, aun así, la velocidad es superior a otros medios.

En cuanto a sus dimensiones y peso, la fibra óptica es enormemente viable ya que el espacio empleado es inferior comparado con otros.

Un factor a tener en cuenta en la transmisión de información es la temperatura. En este medio de transporte el problema se ve reducido ya que el margen de operación está entre  $-55\text{ °C}$  a  $+125\text{ °C}$  facilitando enormemente su trabajo.

Si de proteger el medio ambiente se trata, los materiales empleados para la fabricación de la fibra son muy abundantes en la naturaleza, además, en cuanto a costos con el exponencial desarrollo de tecnología, la inversión económica de este transporte se ha reducido en cantidades considerables (Diaz, 2020).

#### ***2.2.4. Propagación de la Luz en la Fibra Óptica***

En cuanto a la propagación de la luz, desarrollaremos varias características que son:

##### **2.2.4.1. Velocidad de propagación de la luz**

La velocidad de propagación de la luz en la fibra óptica, como se ve en la Ecuación 1, se encuentra relacionada en proporción directa con el índice de refracción del material con el que se encuentra constituido el núcleo, por lo que, al ser este índice mayor a la unidad, la velocidad de propagación es siempre menor a la velocidad de la luz en el vacío  $3 \times 10^8\text{ m/s}$ .

$$v = \frac{c}{n}$$

**Ecuación 1.** *Velocidad de propagación en la fibra óptica*

*Fuente:* (Palacios, 2020).

Donde:

v: Velocidad de propagación en la fibra óptica

c: Velocidad de la luz en el vacío

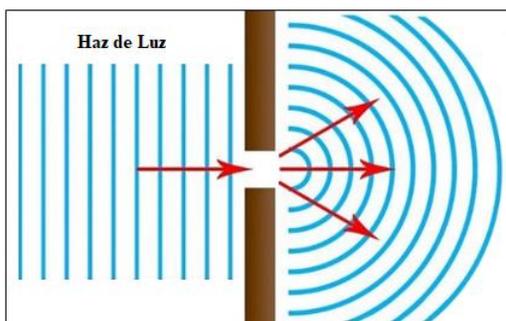
n: Índice de refracción del núcleo en la fibra

### 2.2.4.2. Difracción

Es el fenómeno por el cual, la onda luminosa sufre una desviación de los rayos luminosos o se ensanchan cuando este haz pasa por un cuerpo opaco o una abertura de diámetro menor o igual que la longitud de onda, como se muestra en la Figura 4 (León, s.f.).

**Figura 4**

*Difracción de la luz*



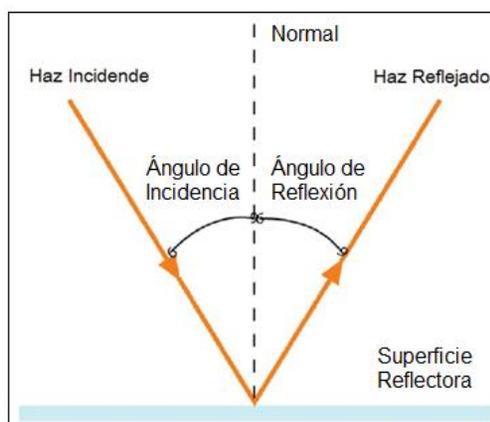
*Fuente: (León, s.f.).*

### 2.2.4.3. Reflexión

Es el cambio de dirección de una onda, es decir, cuando el haz lumínico entra en contacto entre el medio por el cual se está propagando y otro distinto, en ese momento, parte de su energía pasa al siguiente medio en forma de haz refractado o transmitido y la otra parte de la energía regresa al medio original como haz reflejado, ya nos muestra la Figura 5. Esta es la base fundamental que se utiliza en las comunicaciones ópticas, con el objetivo de mantener la onda lumínica dentro del núcleo de la fibra y conseguir que llegue a su destino (Pérez, 2012).

**Figura 5**

*Reflexión de la luz*



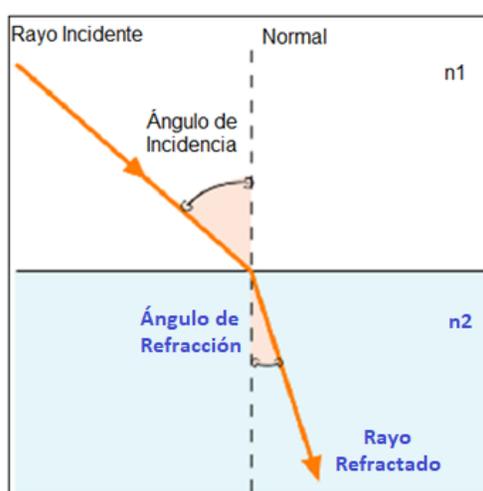
*Fuente: (Pérez, 2012).*

#### 2.2.4.4. Refracción

Es el cambio de dirección que experimenta un haz lumínico, cuando este pasa de un medio a otro con densidades<sup>1</sup> distintas. El haz cambia tanto en su velocidad como en su dirección al contacto con la superficie, como en la Figura 6. Si el primer medio es menos denso que el segundo, el haz refractado se desvía hacia la normal ( $\theta_1 > \theta_2$ ), pero si es todo lo contrario, es decir, es más denso, la dirección del haz refractado será mayor con relación a la normal ( $\theta_1 < \theta_2$ ) (MIMC, s.f.).

**Figura 6**

*Refracción de la luz*



*Fuente: (MIMC, s.f.).*

#### 2.2.4.5. Ley de Snell

Esta ley permite medir la refracción de la luz, la misma, que enuncia que para un rayo luminoso con un ángulo de incidencia  $\theta_1$  sobre el primer medio, el ángulo medido entre la normal hacia la superficie y la dirección de propagación del rayo, se tiene un ángulo de propagación  $\theta_2$  en el segundo medio, como se indica en la Ecuación 2. La dirección de propagación variará dependiendo del cociente entre los índices de refracción  $n_1$  y  $n_2$  (“Ley de Snell”, 2021).

<sup>1</sup> **densidad:** es el índice de refracción del medio por donde viaja un haz lumínico, siendo este índice la medida para saber a qué valor reduce la velocidad de la luz adentro del medio.

$$n_1 \text{sen} \theta_1 = n_2 \text{sen} \theta_2$$

**Ecuación 2.** Ley de Snell

Fuente: (“Ley de Snell”, 2021).

Donde:

$n_1$  = primer índice de refracción

$n_2$  = segundo índice de refracción

$\theta_1$  = ángulo de incidencia

$\theta_2$  = ángulo de refracción

#### 2.2.4.6. Ángulo crítico

Toda la luz que ingresa por un extremo de la fibra viaja a lo largo de ésta mediante reflexiones periódicas. Para dar cumplimiento a esto, el haz debe incidir con un ángulo superior al denominado “ángulo crítico”, de otra manera existirán refracciones dando lugar a la pérdida de energía (Erden, 2020). Para medir este ángulo se utiliza la Ecuación 3, vista a continuación:

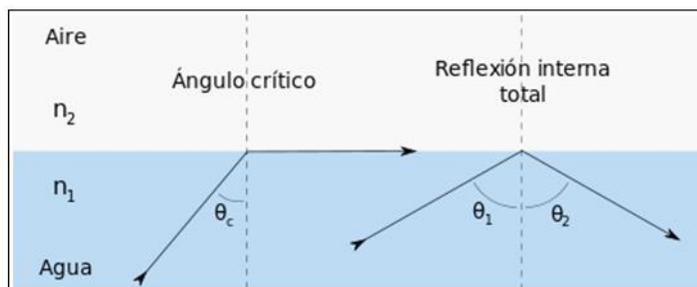
$$\theta_c = \sin^{-1} \frac{n_1}{n_2}$$

**Ecuación 3.** Ecuación del ángulo crítico

Fuente: (Erden, 2020).

**Figura 7**

*Reflexión interna total*



Fuente: (Lorenzo, 2010).

### 2.2.5. Tipos de Fibra Óptica

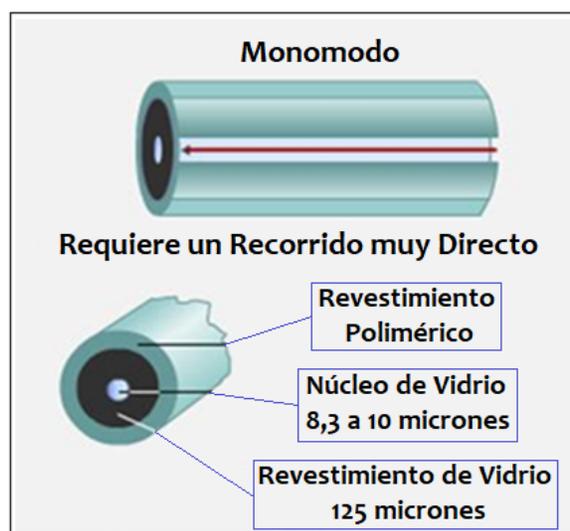
La fibra óptica se clasifica de acuerdo a la cantidad de modos o haces de luz que se pueden transportar, por lo tanto, tenemos: *fibra óptica monomodo* y *fibra óptica multimodo*.

#### 2.2.5.1. Fibra Monomodo

Su núcleo es muy pequeño donde se propaga el rayo incidente evitando de esta manera la dispersión modal con el objetivo de cubrir enormes trayectos y velocidades de transmisión. En la Figura 8, podemos ver un ejemplo de fibra monomodo.

**Figura 8**

*Fibra Óptica Monomodo*



*Fuente:* (Unknown, 2016).

#### ❖ *SMF (Standard Single-Mode Fiber)*

Tiene una dispersión cromática nula ya que esta trabaja a 1310 nm con una atenuación de 0,34 dB/Km en la segunda ventana. La dispersión cromática se eleva, cuando esta trabaja a 1550 nm disminuyendo de manera abrupta el ancho de banda (ITU-T, 2016).

### ❖ *DSF (Dispersion Shifted Fiber)*

Aquí se modifica el perfil del índice de refracción para lograr que la longitud de onda de dispersión nula se coloque en la tercera ventana, trabajando con una atenuación en el orden de los 0,25 dB/Km. El mayor problema que presenta son los efectos no lineales (ITU-T, 2016).

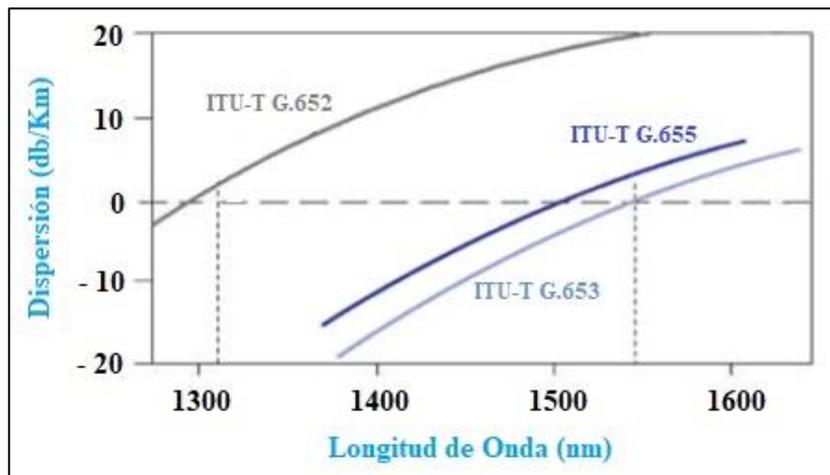
### ❖ *NZDSF (Non Zero Dispersion Shifted Fiber)*

El objetivo es evitar los problemas de no linealidad que se presentan en las fibras de dispersión desplazada. Cuando se trabaja a 1550 nm, los valores de dispersión están cercanos al cero, además, existen fibras con valores de dispersión (NZDSF +/-) (ITU-T, 2016).

A continuación, en la Figura 9 se presenta de manera gráfica los tres casos de dispersión expuestos:

**Figura 9**

*Comparación de la dispersión en fibra óptica monomodo*



*Fuente: (Fibrain, 2017).*

### 2.2.5.2. Fibra multimodo

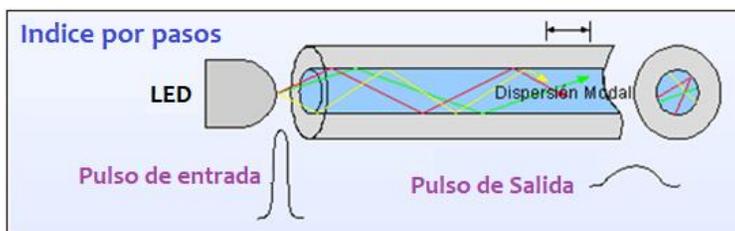
La propagación de los rayos de luz se permite de manera múltiple, es decir, cubren diferentes trayectorias. Dependiendo del índice de refracción, estas se dividen en dos tipos:

### ❖ *Fibra óptica multimodo de Índice Escalonado*

El índice de refracción del núcleo es constante, de manera que, la velocidad de propagación es la misma para todos los modos. Cuando este cubre diferentes trayectorias los modos llegan en diferentes tiempos lo que produce un retardo que ensancha el pulso de luz (Turmero, s.f.).

**Figura 10**

*Fibra multimodo de índice escalonado*



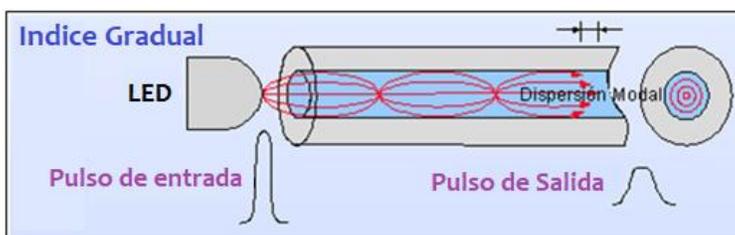
*Fuente: (Turmero, s.f.).*

### ❖ *Fibra óptica multimodo de Índice Gradual*

A diferencia del anterior, el índice de refracción del núcleo no es constante, es máximo en el centro y va disminuyendo a medida que se acerca a los extremos.

**Figura 11**

*Fibra multimodo de índice gradual*



*Fuente: (Turmero, s.f.).*

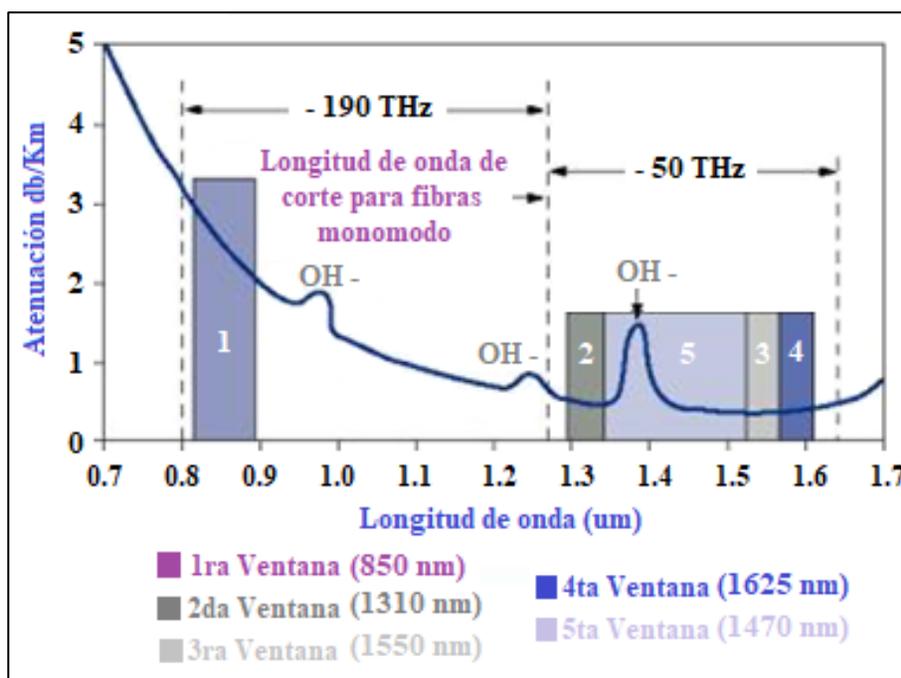
La velocidad de propagación será menor para todos los modos que viajan por el centro del núcleo y será mayor para los que viajan por la frontera entre el núcleo y el manto, de esta manera, cubren distancias mayores, lo que permite la disminución en el tiempo de llegada de los modos al otro extremo de la fibra reduciendo el ensanchamiento del pulso (Turmero, s.f.).

### 2.2.6. Ventanas de Transmisión para Fibra Óptica

Para que la comunicación con fibra óptica sea posible, debe darse en ciertas condiciones favorables (ejemplo: menor atenuación) y en ciertas zonas del espectro eléctrico; estas zonas son conocidas como ventanas.

**Figura 12**

*Ventanas del espectro óptico*



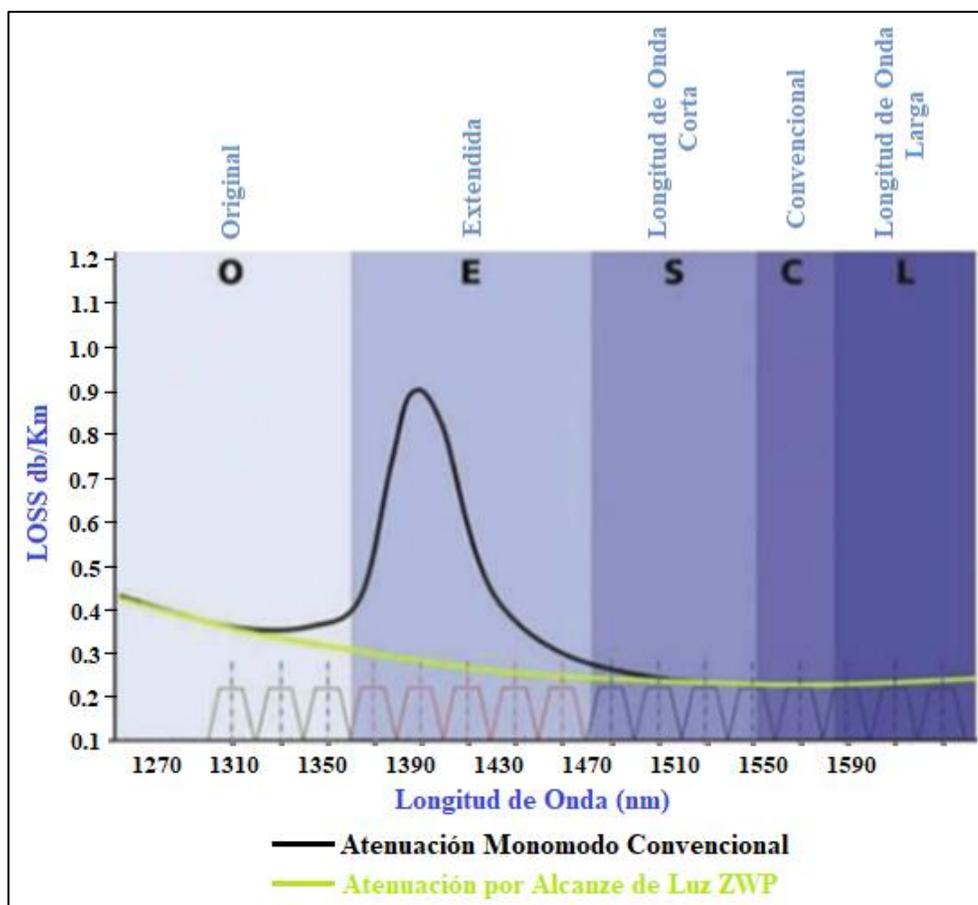
*Fuente: (JMDG10, s.f.).*

La Figura 13 muestra otra forma de dividir el espectro, lo que se conoce también como “Bandas Ópticas”.

- Banda O (Original): 1270 nm – 1365 nm
- Banda E (Extendida): 1370 nm – 1465 nm
- Banda S (Longitud de Onda Corta): 1470 nm – 1530 nm
- Banda C (Convencional): 1530 nm – 1565 nm
- Banda L (Longitud de Onda Larga): 1570 nm – 1610 nm

Figura 13

Bandas Ópticas



Fuente: (Apablaza, 2015).

### 2.2.7. Dispersión en la Fibra Óptica

Uno de los problemas de transmisión de pulsos luminosos en la fibra óptica es el ensanchamiento en el tiempo, ya que este depende de la distancia que se recorra. El ancho de banda de la señal en esta comunicación se ve afectado y de esta manera se ve disminuida la capacidad de transmisión. A continuación, veremos los tres tipos de dispersión que existen:

### **2.2.7.1. Dispersión modal ( $V_m$ )**

Tiene acción únicamente en las fibras multimodo. Debido a la diferencia que existe en los tiempos de propagación de los haces de luz, el pulso se va ensanchando. Un problema que se puede dar, es cuando la dispersión es muy grande, pues es ahí donde un pulso se puede solapar con el siguiente causando la interferencia inter símbolo afectando la comunicación. Una manera de solucionar es utilizando las fibras multimodo de índice gradual (Ruiz, 2019).

### **2.2.7.2. Dispersión cromática ( $V_c$ )**

Se produce debido al origen de la señal de luz, ya que ésta produce un espectro de más de una longitud de onda, conocido como “anchura espectral”. Cada haz de luz viaja a velocidades diferentes, sufriendo retardos distintos y produciendo ensanchamiento en el pulso. Este de dispersión se presente en toda clase de fibras ópticas, pero afecta de manera principal a las fibras monomodo (Ruiz, 2019).

### **2.2.7.3. Dispersión por modo de polarización ( $V_p$ )**

Como no presenta de manera exacta el mismo índice de refracción ni el mismo diámetro en las dos direcciones perpendiculares de cada modo, se presenta asimetrías en el núcleo provocando este tipo de dispersión. Cada componente viaja a velocidades distintas llegando en diferentes tiempos provocando el ensanchamiento del pulso. Se los considera de importancia fundamental para sistemas de alta velocidad, es decir, sobre los 10 Gbps (Ruiz, 2019).

### **2.2.7.4. Ancho de Banda en la Fibra Óptica**

Siempre se cumple que el ancho de banda es inversamente proporcional a las pérdidas, es decir, a mayor ancho de banda existen menores pérdidas de datos, como se ve en la Ecuación 4.

$$B_{Total} = (B^{-2}_{modal} + B^{-2}_{cromática})^{-1/2}$$

**Ecuación 4.** Ancho de Banda en la fibra multimodo

Fuente: (Reyes, 2017).

#### ❖ *Atenuación en la fibra óptica*

Es la pérdida de datos de datos en la fibra, normalmente ocasionada por el desgaste, ruptura, defecto de fabricación o una inadecuada instalación; esta se mide en decibelios y puede ser detectada por la pérdida de fragmentos de la señal en el núcleo (Reyes, 2017). Entre estas tenemos:

- a) *Atenuaciones extrínsecas*: debido a la mala manipulación o instalación de la fibra, donde se dan pérdidas de 0.3 a 0.8 dB.
- b) *Atenuaciones intrínsecas*: es la cantidad de luz reflejada a causa de un cambio de medio, tal cual se indica en la Ecuación 5.

$$Luz\ reflejada_{(\%)} = 100 \times \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2}$$

**Ecuación 5.** Cantidad de luz reflejada en la fibra

Fuente: (Reyes, 2017).

Donde:

$n_1$  = Índice de refracción del núcleo

$n_2$  = índice de refracción del aire

#### **2.2.8. Tipos de Cable de Fibra Óptica**

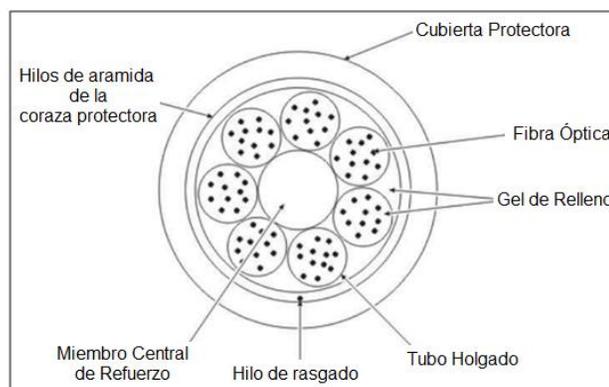
La estructura de un cable de fibra óptica cuenta con varias capas de protección, ya que este es muy frágil y se puede fragmentar fácilmente. La composición de este, depende del sitio donde será instalado, las condiciones climáticas, la distancia que cubrirá, etc. De esta forma, veremos a continuación los distintos tipos de fibra óptica según su diseño:

### 2.2.8.1. Cable de estructura holgada

- Gel especial de relleno entre tubos para impedir que el agua ingrese a la fibra.
- El miembro central de refuerzo, normalmente está compuesto de acero.
- Este tipo de cables se utiliza comúnmente en exteriores.
- La cubierta exterior suele estar compuesta de polietileno, pero depende del lugar a ser instalada la fibra (SilexFiber, 2014).

**Figura 14**

*Cable de estructura holgada*



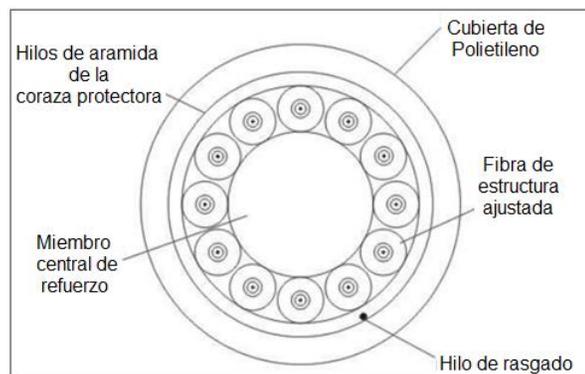
*Fuente: (SilexFiber, 2014).*

### 2.2.8.2. Cable de estructura ajustada

- A diferencia del cable de estructura holgada, el revestimiento secundario se encuentra dispuesto en varios colores con el objetivo de diferenciar entre fibras.
- Este cable se utiliza especialmente para instalaciones en recorridos verticales (SilexFiber, 2014).

**Figura 15**

*Cable de estructura ajustada*



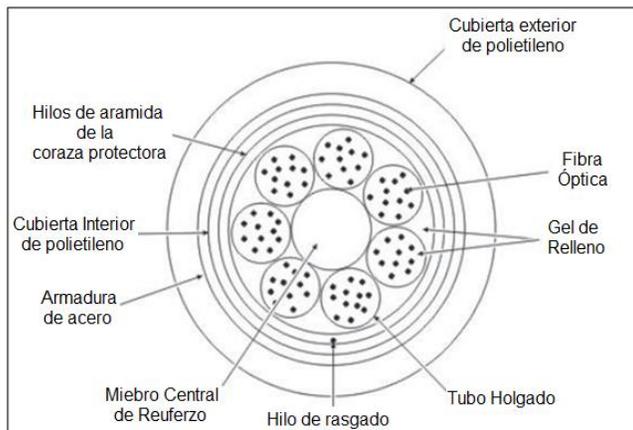
*Fuente: (SilexFiber, 2014).*

### 2.2.8.3. Cable Blindado

- La característica fundamental de este tipo de cables, es su revestimiento adicional que se ubica debajo de la cubierta exterior que normalmente suelen ser hilos de aramida 2.
- Este cable se suele utilizar en lugares sometidos a enormes presiones (Apablaza, 2015).

**Figura 16**

*Cable blindado*



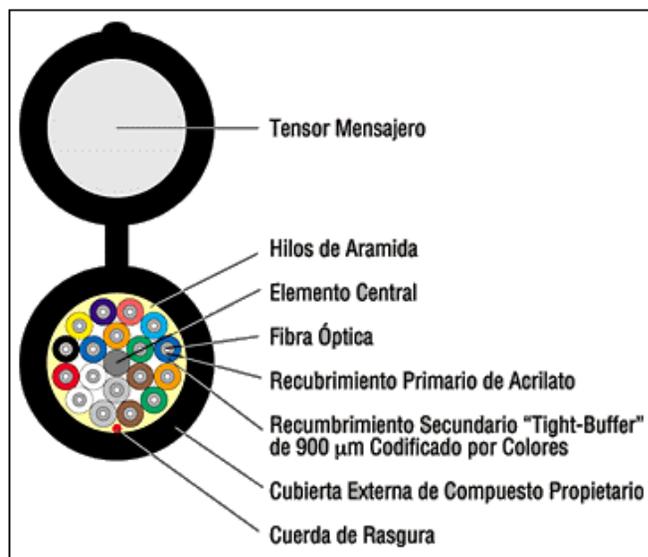
*Fuente:* (Apablaza, 2015).

### 2.2.8.4. Cable figura 8 Auto soportado

- Como su nombre lo indica, es un cable auto soportado de acero muy resistente.
- Este tipo de cables se utiliza para redes de acceso de planta externa, instalaciones aéreas, de larga distancia y redes LAN (SectorElectricidad, 2015).

**Figura 17**

*Cable figura 8*



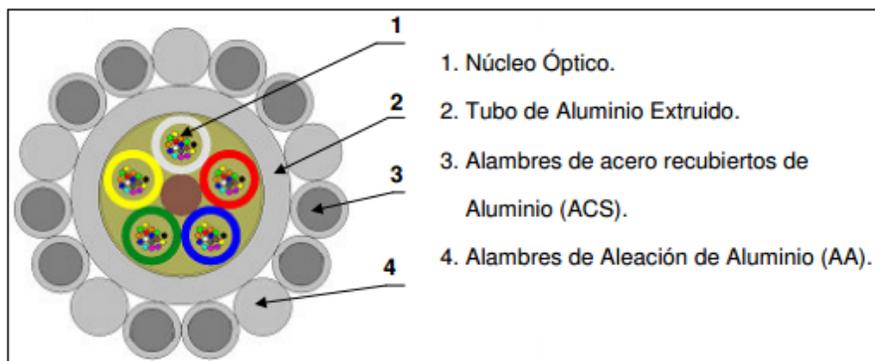
*Fuente:* (SectorElectricidad, 2015).

<sup>2</sup> **Aramida:** son fibras de origen sintético, muy robustas y resistentes al calor.

### 2.2.8.5. OPGW (Optical Ground Wire)

**Figura 18**

*Diseño OPGW*



*Fuente:* (SectorElectricidad, 2015).

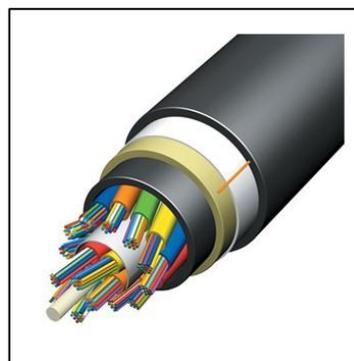
- Este tipo de cable se usa en líneas de transmisión de la energía eléctrica.
- La principal característica de este *Cable de Tierra Óptico*, es la combinación de las funciones de aterrizamiento<sup>3</sup> y de telecomunicaciones (SectorElectricidad, 2015).

### 2.2.8.6. Cable ADSS (Aerial Dielectric Self-Supporting)

**Figura 19**

*Cable ADSS*

- Es del tipo óptico íntegramente dieléctricos, pueden ser monomodo o multimodo y se encuentran recubiertos de acrilato<sup>4</sup>.
- Se utiliza comúnmente en instalaciones aéreas auto soportadas para cubrir distancias máximas de 2000 metros (CRT, 2014).



*Fuente:* (CRT, 2014).

<sup>3</sup> **Aterrizamiento:** es la conexión de las superficies conductoras expuestas, conocidas como puesta a tierra.

<sup>4</sup> **Acrilato:** son polímeros plásticos, es decir, del material que no se descompone al calentarse.

## 2.2.9. Empalme y Conexión de la Fibra Óptica

Ahora nos centraremos en las diferentes técnicas que existen para unir dos hilos de fibra óptica, entre las cuales tenemos dos tipos de empalme.

### 2.2.9.1. Técnicas de empalme

#### ❖ *Empalme mecánico*

Este tipo de empalme se utiliza para uniones temporales. Una vez que los núcleos coinciden de manera manual, se los fija por medio de un adhesivo.

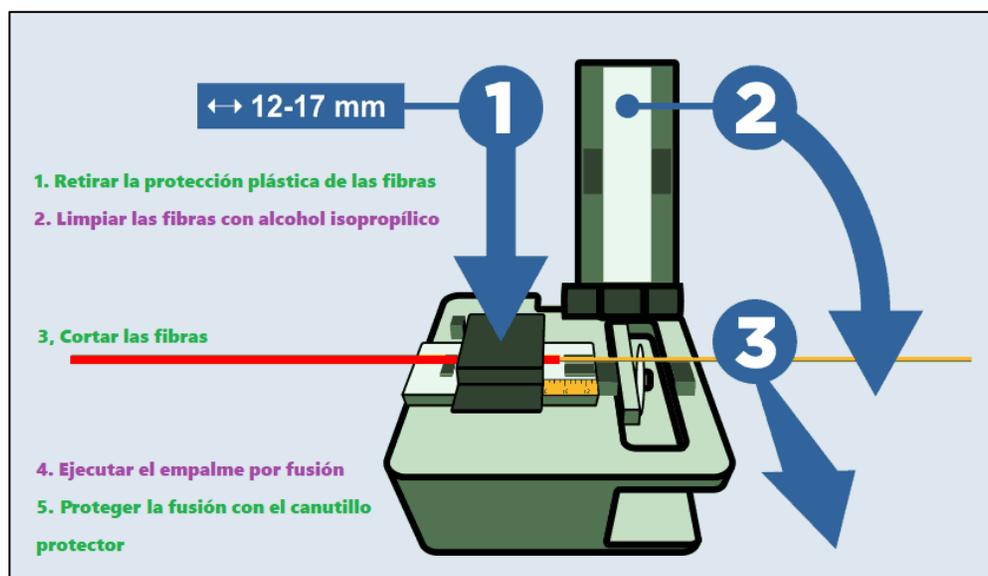
#### ❖ *Empalme por fusión*

Las pérdidas de potencia son bajas. En este proceso se funden los núcleos de ambas fibras por medio de una descarga eléctrica.

En este caso para tener un empalme evitando en lo posible la menor pérdida de potencia, se siguen una serie de pasos, los cuales son y podemos ver en la Figura 20:

**Figura 20**

Fusión de dos fibras ópticas



Fuente: (Promax, 2019).

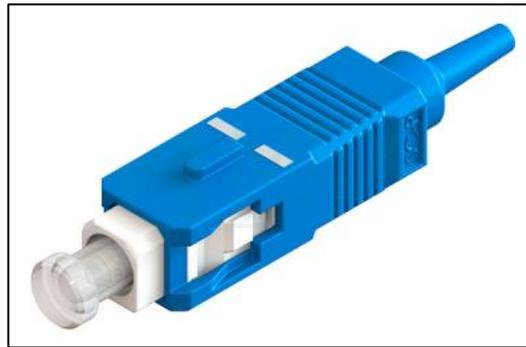
### 2.2.9.2. Conectores

#### ❖ *Subscriber Connector (SC)*

Es un conector de suscriptor conocido como el tipo cuadrado. A diferencia de los otros, este tiene *acoplamiento push-pull*, es decir, “de presión” donde las pérdidas oscilan en 0,2 dB.

**Figura 21**

*Conector SC*



*Fuente: (FO, 2021).*

#### ❖ *Lucent Connector (LC)*

Conocido como el conector pequeño o la mitad de un SC, se utiliza específicamente en equipos de comunicación de alta densidad de datos. Las pérdidas oscilan en los 0,1 dB.

**Figura 22**

*Conector LC*



*Fuente: (FO, 2021).*

### ❖ *Ferrule Connector (FC)*

El conector de férula es del tipo metálico con adaptador de rosca. Se aplica para fibras monomodo y las pérdidas oscilan en los 0,20 dB. Se utiliza para equipos de medición OTDR<sup>5</sup>.

**Figura 23**

*Conector FC*



*Fuente: (CYCOM, 2021).*

### ❖ *Straight Tip (ST)*

El conector de punta recta es uno de los más utilizados como es el caso de la fibra multimodo. Este usa una montura de bayoneta y las pérdidas oscilan en los 0,3 dB.

**Figura 24**

*Conector ST*



*Fuente: (RS, 2021).*

## 2.2.10. *Sistemas de Comunicación Óptica*

Como en todo sistema de comunicación, la fibra óptica también consta en su estructura de varios componentes, los mismos que detallamos en la Figura 25:

<sup>5</sup> **OTDR** (*Optical Time Domain Reflectometer*): utilizado para medir la longitud de la fibra óptica.

Figura 25

Sistema de comunicación óptica básico



Fuente: (Villacís, 2015).

### 2.2.10.1. Componentes del Sistema

#### ❖ Fuentes de luz

##### a) Diodos láser

Son de emisión coherente y estimulada<sup>6</sup>, es decir, poseen mayor potencia de salida, anchuras espectrales muy pequeñas y la luz emisora es en gran medida direccional. Su uso es principal en largas distancias de alta velocidad (Díaz, 2020).

##### b) Emisores de luz (LED)

Son diodos P-N los mismos que se polarizan directamente para la emisión de luz. La luminosidad que emite esta en proporción directa al nivel de corriente de polarización del diodo. Se utiliza en cortas distancias de velocidad media (Díaz, 2020).

#### ❖ Detectores

En este bloque se utilizan foto detectores o fotodiodos que a su vez contienen uniones P-N polarizadas inversamente. Están en proporción inversa a la fuente de luz.

En este caso los detectores deben cumplir con ser: *altamente sensitivos*, tener un *tiempo de respuesta muy corto* y tener un *mínimo de ruido interno*. Los detectores más empleados son los PIN y los APD (Díaz, 2020).

<sup>6</sup> **Emisión coherente y estimulada:** es la producción de dos fotones idénticos desde de un fotón inicial lo que permite amplificar la luz.

- *Detector PIN (P-Intrinsic-N)*: la región media o intrínseca de las capas P-N contiene un material no dopado<sup>7</sup>. Al momento de aplicar una polarización inversa se crea una zona libre de portadores en la región media, donde se forma un campo eléctrico que va absorbiendo fotones de luz a su ingreso.
- *Detector APD (Avalanche Photodiode)*: el funcionamiento de este se basa en el efecto avalancha. En polarización inversa se aplica alto voltaje al diodo que a su vez genera un campo eléctrico donde los electrones van ingresando. Estos son acelerados hasta que choquen con los átomos de la estructura con el objetivo de generar más electrones para continuar como un bucle cerrado.

#### ❖ *Acopladores ópticos*

Básicamente en este bloque se distribuye la luz la cual viaja a través de la fibra óptica. Al dividirse la señal se divide también la potencia, por lo que es indispensable el uso de amplificadores (Diaz, 2020). Se los puede encontrar en el tipo T, estrella o TAP:

- *Acopladores tipo T*: distribuyen la señal de una a dos fibras. Las pérdidas van aumentando según el número de acopladores.
- *Acopladores estrella*: dividen la señal de una a varias fibras. Las pérdidas van en aumento de forma logarítmica según el aumento de acopladores.
- *Acopladores TAP*: poseen uno o varios puertos de entrada y varios puertos de salida. No es equipotencial, es decir, el potencial de campo es constante (Diaz, 2020).

---

<sup>7</sup> **Dopado**: proceso intencional donde se agregan impurezas a un semiconductor puro.

### ❖ *Splitters*

Este acoplador se lo utiliza en el despliegue de redes ópticas pasivas (PON). Dispositivo bidireccional que cuenta con un puerto de entrada y dos o más puertos de salida, es decir, varios usuarios comparten el mismo ancho de banda en un solo hilo de fibra (Diaz, 2020).

## 2.3. Tecnologías de Acceso

En el presente ítem, se detallará los diferentes modelos de red que existen para brindar comunicación por medio de la fibra óptica:

### 2.3.1. Modelos de la Red FTTX<sup>8</sup>

- a) *PON (Passive Optical Network)*: es la más utilizada, ya que se reduce costos al utilizar en un solo hilo de fibra la transmisión como la recepción. Otra situación a destacar de las redes FTTx es la convergencia de servicios garantizando un enorme ancho de banda.
- b) *P2P (Point to Point)*: es una configuración poco utilizada ya que necesita dos hilos de fibra, uno para la transmisión y otro para la recepción (Villacís, 2015).

#### 2.3.1.1. Modelos de redes FTTx

En cuanto a modelos de redes FTTx, detallaremos cada uno de ellos, empezando desde la puesta al nodo, continuando con la puesta al armario, al edificio y finalizando hasta el hogar.

---

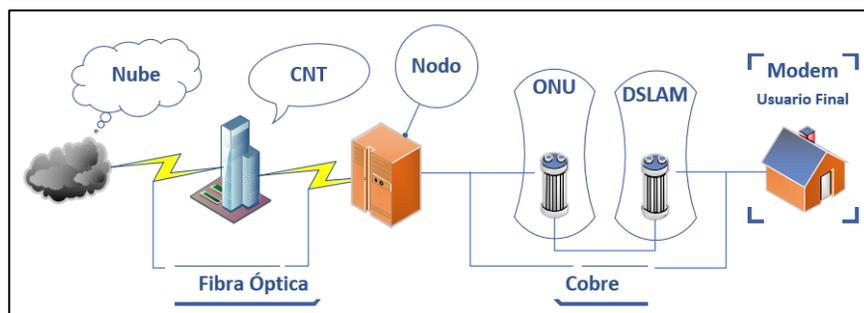
<sup>8</sup> **FTTx** (*Fiber to the X*): son redes de acceso que llegan con fibra hasta un punto determinado.

### ❖ *FTTN (Fiber To The Node) - Fibra hasta el Nodo*

El tendido de fibra óptica se desplaza de la oficina central hasta el nodo más cercano al usuario y por medio del cable de cobre, desde el nodo pasando por la ONU<sup>9</sup>, DSLAM<sup>10</sup> para finalizar en el Modem, se conecta a los equipos del usuario final.

**Figura 26**

*FTTN (Fibra hasta el Nodo)*



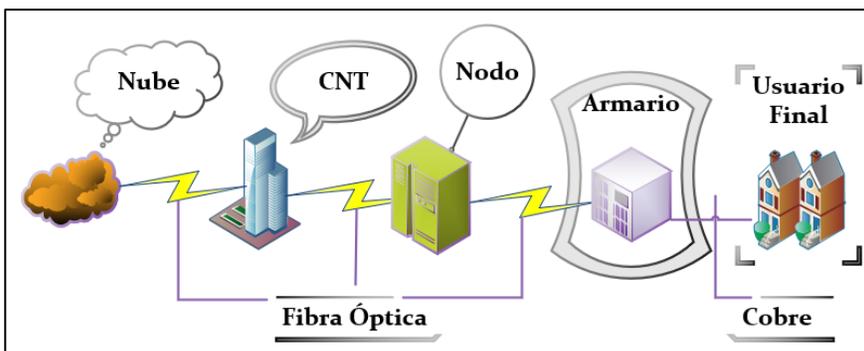
*Fuente: Autoría*

### ❖ *FTTC (Fiber To The Curb) - Fibra hasta el Armario*

Normalmente se interconectan edificios, donde un solo armario se distribuye a diferentes usuarios. La fibra llega hasta el armario y desde ahí se utiliza cable de cobre.

**Figura 27**

*FTTC (Fibra hasta el Armario)*



*Fuente: Autoría*

<sup>9</sup> **ONU** (*Optical Network Unit*): Unidad de Red Óptica

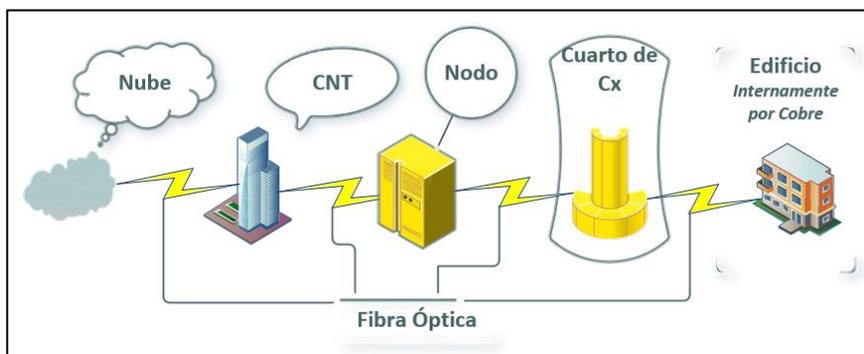
<sup>10</sup> **DSLAM** (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer*): Multiplexor de acceso de línea de abonado digital

### ❖ *FTTB (Fiber To The Building) - Fibra hasta el Edificio*

La red de fibra óptica llega hasta la entrada del cuarto de comunicaciones del edificio, sea este comercial o residencial. Internamente las conexiones al usuario se realizan por cobre.

**Figura 28**

*FTTB (Fibra hasta el Edificio)*



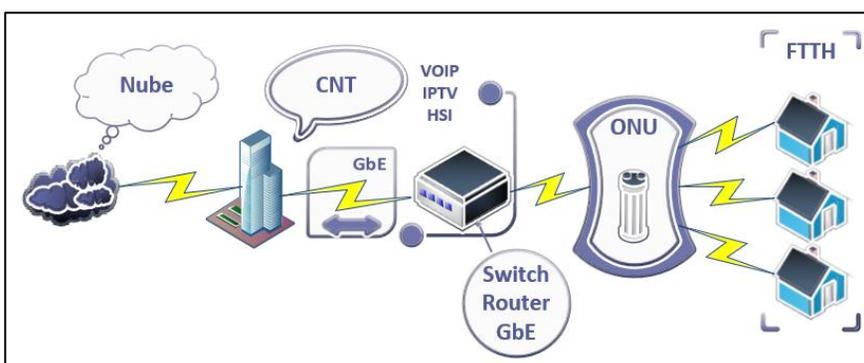
*Fuente: Autoría*

### ❖ *FTTH (Fiber To The Home) - Fibra hasta el Hogar*

Mediante la configuración en estrella, el uso de WDM<sup>11</sup> y el tendido de fibra hasta el usuario el abonado recibe casi el 100% de ancho de banda con altas capacidades de transmisión.

**Figura 29**

*FTTH (Fibra hasta el Hogar)*



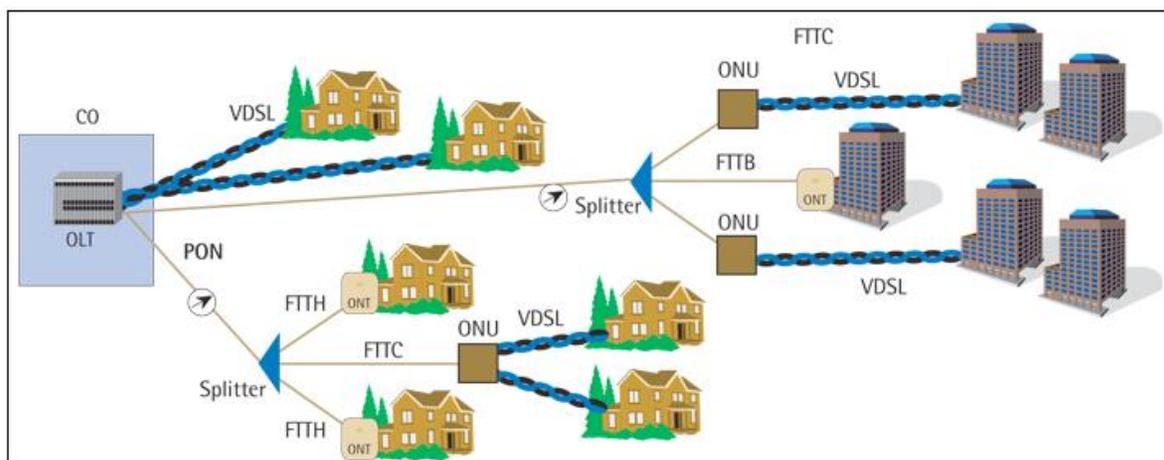
*Fuente: Autoría*

<sup>11</sup> **WDM** (*Wavelength Division Multiplexing*): Multiplexación por División de Longitud de Onda

La Figura 30 nos muestra como interactúan los diferentes modelos FTTx.

**Figura 30**

*FTTH, FTTB y FTTC*

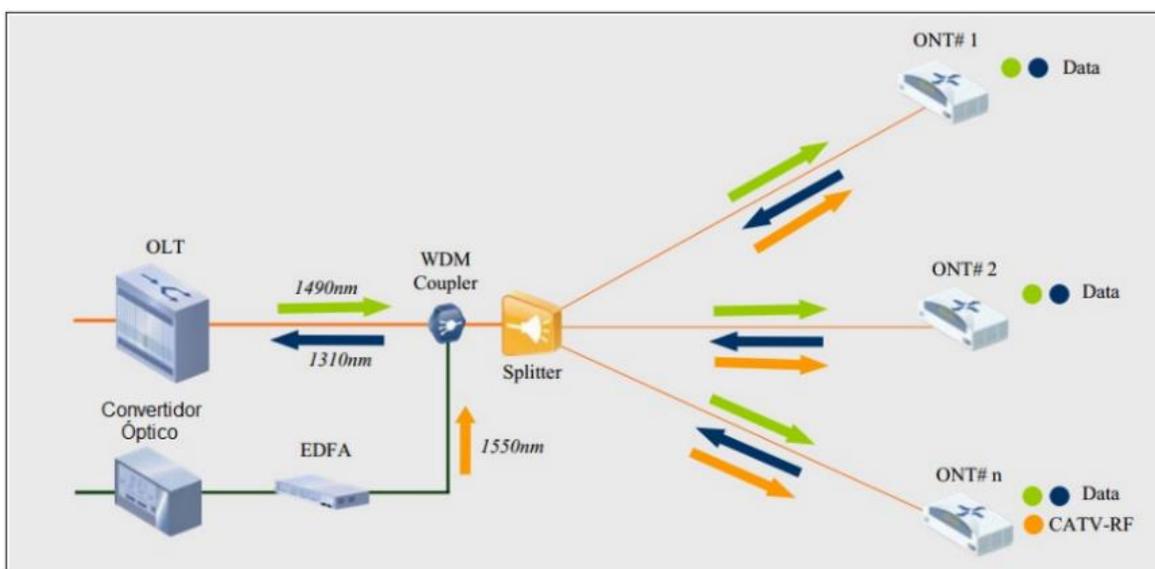


*Fuente:* (Villacís, 2015).

## 2.4. Redes X-PON

Las redes PON (*Redes Ópticas Pasivas*) son la agrupación de equipos activos que existen entre el servidor y el usuario final. En el nodo central se ubica la OLT (*Terminación de Línea Óptica*); esta tiene la capacidad de brindar acceso a múltiples usuarios al servicio que el cliente lo requiera. Además, conduce el tráfico desde el cliente hacia la red de agregación<sup>12</sup>. La ONT que funciona ya sea con batería o mediante el suministro eléctrico y que está dotada para soportar las inclemencias del tiempo, se ubica del lado del usuario. En la Figura 31, podemos apreciar un esquema general de las redes PON (Palacios, 2020).

<sup>12</sup> **Red de Agregación:** tramo en el que se concentra el tráfico de los usuarios; con ello se disminuye el número de enlaces hacia un solo protocolo de red.

**Figura 31***PON (Red Óptica Pasiva)*

Fuente: (Jacovix, 2013).

#### 2.4.1. Diferentes Tipos de Redes PON

Detallaremos los distintos tipos de redes ópticas pasivas, iniciando con la red de velocidades bajas hasta llegar a la red de altas velocidades.

##### 2.4.1.1. APON o ATM-PON (Redes Ópticas Pasivas ATM <sup>13</sup>)

Definida en el estándar ITU-T G.983. Para el canal descendente se utiliza celdas ATM de 53 bytes con una tasa de bits de 155.52 Mbps que más tarde se incrementaría hasta los 622 Mbps; estas se reparten entre todas las ONU existentes. Para el canal ascendente la trama está compuesta por 54 celdas ATM (Palacios, 2020).

<sup>13</sup> **ATM** (*Asynchronous Transfer Mode*): conocido como el *Modo de Transferencia Asíncrona*. Fue desarrollada para satisfacer las necesidades de la Red digital de servicios integrados (datos, voz y video) de banda ancha. La información se transmite por medio de paquetes cortos de longitud constante que se envían de manera individual a través de canales virtuales. Para canales permanentes se emplea CPV (*Cloud Privado Virtual*).

#### **2.4.1.2. BPON (Red Óptica Pasiva de Banda ancha)**

Definida en el estándar ITU-T G.983. Es la mejora del APON, con lo que es posible tener un mayor ancho de banda y acceder a mayores servicios como es el caso del ethernet, gracias al empleo de WDM. En su canal ascendente se tiene una velocidad de 155 Mbps y para el descendente se tiene hasta 622 Mbps (Palacios, 2020).

#### **2.4.1.3. EPON (Red Óptica Pasiva Ethernet)**

Definida por la IEEE 802.3.ah. Se basa en el transporte de tráfico Ethernet y trabaja a velocidades en el orden de los Gigabit. Además, ofrece *QoS (Calidad del Servicio)* en ambos canales, tanto ascendente como descendente teniendo 1,25 Gbps de velocidad (Palacios, 2020).

#### **2.4.1.4. GEPON (Red Óptica Pasiva Ethernet con capacidad de Gigabit)**

Definida por la IEEE 802.3.av. Posee las mismas características que la EPON, con la diferencia que *Simétricamente* el ancho de banda opera a 10 Gbps o *Asimétricamente* en el canal ascendente a 1,25 Gbps y en el canal descendente a 10 Gbps (Palacios, 2020).

#### **2.4.1.5. GPON (Red Óptica Pasiva con capacidad de Gigabit)**

Definida en el estándar ITU-T G.984, se logró alcanzar velocidades superiores al Gigabit, es decir, 1,244 Gbps para el canal ascendente y 2,488 Gbps para el canal descendente. Con esto cada usuario puede beneficiarse hasta con 100 Mbps. Adicionalmente GPON usa su propio método de encapsulamiento, el cual, soporta todo tipo de servicios (Palacios, 2020).

### 2.4.2. Cuadro Comparativo de las Redes PON

**Tabla 1**

Comparación de redes PON

<i>Tecnología</i>	<i>Estándares</i>	<i>Tipo de Trama</i>	<i>Divisiones por fibra</i>	<i>Velocidad de Subida</i>	<i>Velocidad de Bajada</i>	<i>Alcance</i>
<b>APON</b>	ITU-T G.983.1	ATM	32	155 Mbps	622 Mbps	20 km
<b>BPON</b>	ITU-T G.983.x	ATM	32	155 Mbps	622 Mbps	20 km
<b>EPON</b>	IEEE 802.3ah	Ethernet	32	1.25 Gbps	1.25 Gbps	20 km
<b>GEAPON</b>	IEEE 802.3av	Ethernet	32	1.25 Gbps	10 Gbps	20 km
<b>GPON</b>	ITU-T G.984.x	ATM <u>GFP</u> <sup>14</sup>	32 64	1.25 Gbps	2.5 Gbps	20 km

Fuente: (Cevallos, 2014).

### 2.4.3. Canales de Transmisión

La comunicación entre la OLT y la ONU que se realiza por medio del divisor, dependerá de si el canal es ascendente o descendente.

#### 2.4.3.1. UPSTREAM o Canal Ascendente

Las ONT transmiten información hacia la OLT, por lo que las señales son multiplexadas mediante TDMA a través de la OLT. Se asemeja a una red P2P (Rodríguez, 2013).

<sup>14</sup> **GFP** (*Generic Framing Procedure*) o el procedimiento de entramado genérico: es una técnica de multiplexación definida en la ITU-T G.7041. Permite el mapeo de señales Cliente-Longitudes Variables sobre las redes de transporte como las *SDH* (*Jerarquía Digital Síncrona*) / *SONET* (*Red Óptica Sincronizada*)

### **2.4.3.2. DOWNSTREAM o Canal Descendente**

La OLT transmite información hacia el splitter y mediante un filtrado se envía únicamente la información requerida por la ONT mediante TDM. Se asemeja a una red punto multipunto. Una manera de evitar interferencias entre ambos canales es con el uso de WDM, siendo necesario el uso de filtros ópticos en los extremos (Rodríguez, 2013).

### **2.4.4. Ventajas de las Redes PON**

- A diferencia de la DSL (*Línea de Abonado Digital*), las PON cubren hasta los 20 km
- El ancho de banda es mayor para cada usuario
- La QoS es superior debido a la inmunidad de los ruidos electromagnéticos
- Debido a la topología de la fibra, el despliegue del tendido es mucho menor
- El consumo de energía se reduce considerablemente por la simplificación de equipos

## **2.5. GPON (PON con Capacidad de Gigabit)**

Tecnología que permite crear redes con capacidad de Gigabit. A diferencia de las Ethernet que requieren de conmutadores alimentados por electricidad para la distribución en la Red Troncal, la GPON se manejan mediante Splitter (*Divisores Ópticos*).

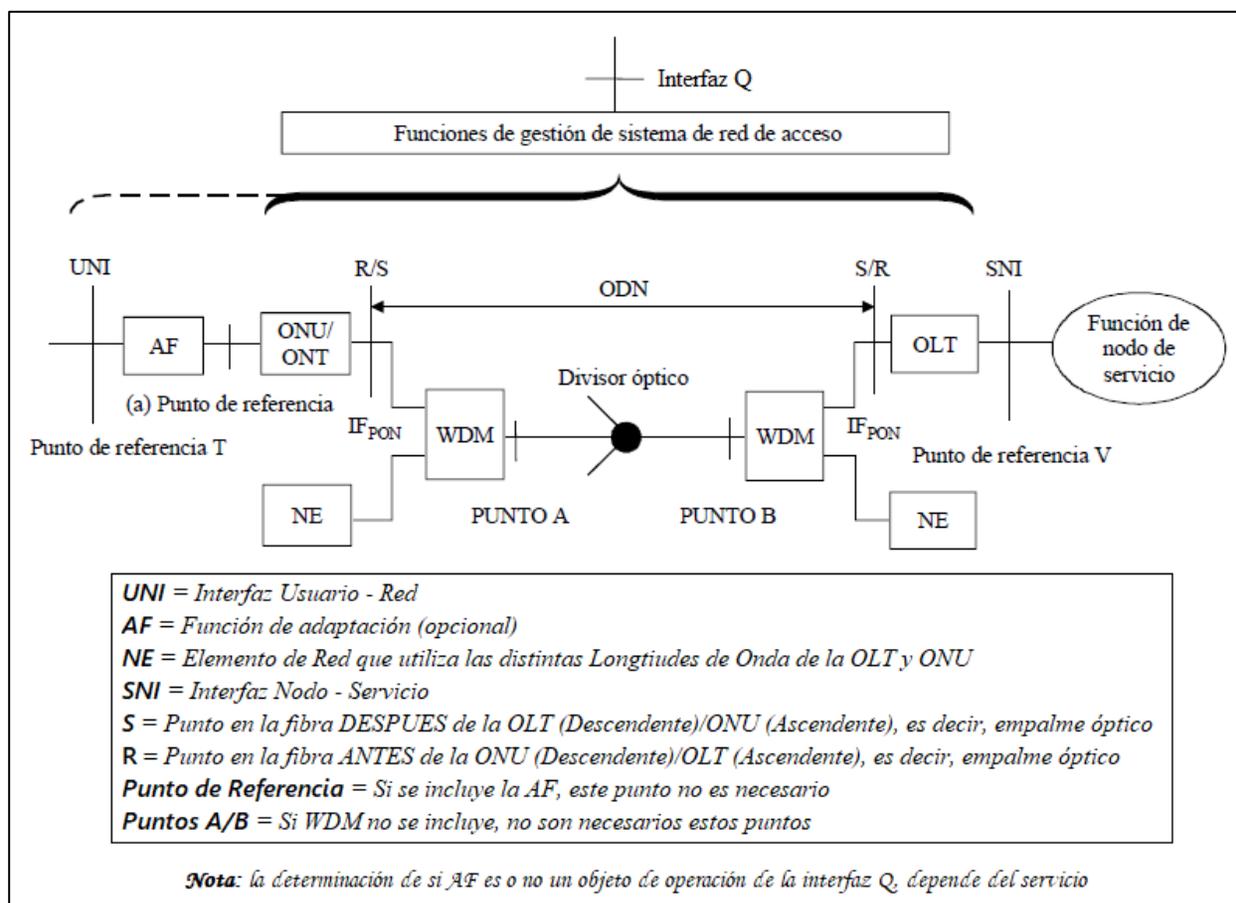
### **2.5.1. Arquitectura FTTH GPON**

La sección óptica de un sistema LAN puede ser: activa (*OLT, donde se distribuye la fibra*) o pasiva (*Splitter, que solo replica los datos de E/S*) y la arquitectura se puede presentar de dos formas: *punto a punto o punto a multipunto*. Como se había mencionado anteriormente existen diferentes tipos de modelos, entre las cuales tenemos: FTTH, FTTC, FTTB, FTTH. La diferencia una de otra radica en los diversos servicios que ofertan (UIT-T, 2008).

En la Figura 32 podemos apreciar un modelo de referencia para la Arquitectura FTTH GPON basada en la recomendación ITU-T G.984.1.

**Figura 32**

*Configuración basada en la Referencia G.984.1 para GPON*

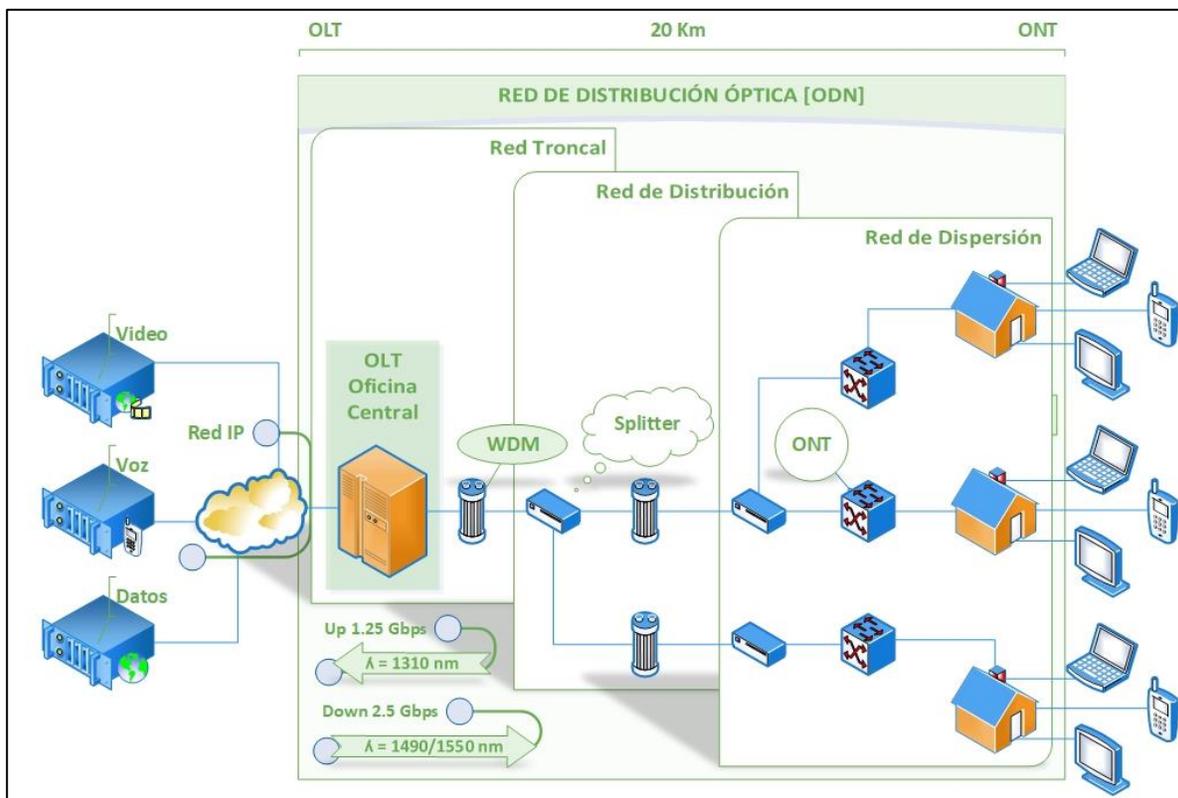


Fuente: (ITU-T, 2008).

Basada en la configuración de referencia expuesta de la Figura 32, podemos ver un diagrama básico GPON, en la Figura 33 vista a continuación.

**Figura 33**

*Diagrama de Red FTTH GPON*



*Fuente:* Autoría

Donde:

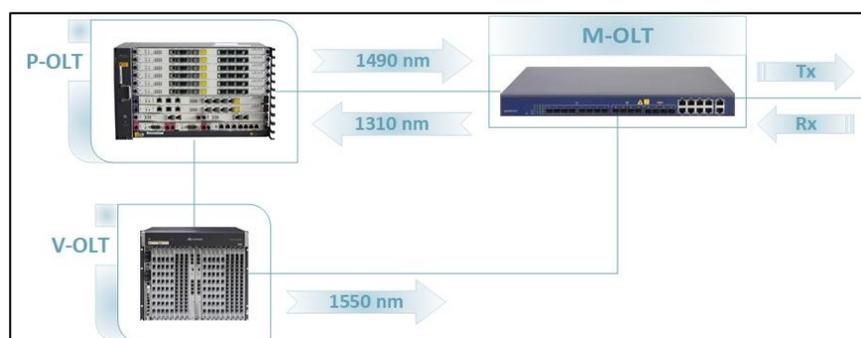
- **ONT** (*Terminal de Red Óptica*): conocida también como ONU (Unidad de Red Óptica), se encuentra en las instalaciones del usuario final, que son las interfaces hacia los dispositivos.
- **OLT** (*Terminal de Línea Óptica*): se ubica en la oficina central.
- **SPLITTER** (Divisor Óptico): divide la señal para distribuirla a cada usuario.
- **ODN** (*Red de Distribución Óptica*): se compone de la red Troncal, red de Distribución y red de Dispersión.

### 2.5.1.1. OLT (Optical Line Terminal)

La OLT forma parte de los elementos activos de la GPON ubicado en la central del proveedor, donde se inicia el recorrido de la fibra hacia los usuarios. Se encarga principalmente de gestionar el tráfico hacia los usuarios o si provienen de ellos, es decir, realiza las funciones de un router y de puente con el resto de las redes externas (*Datos, Voz y Video*). De igual manera, esta terminal cumple ciertas tareas como es el control de las potencias de emisión y recepción, control de errores e interleaving<sup>15</sup> en la red de distribución y coordina la multiplexación de los canales tanto del downstream como del upstream (Gallardo, 2015).

**Figura 34**

*Estructura de la OLT*



*Fuente: Autoría*

A continuación, se describe cada parte contenida en la OLT:

#### ❖ *P-OLT (Proveedor OLT)*

Encargado de la recepción de las tramas de Voz y Datos que se dirigen hacia la red PON mediante wavelength ( $\lambda = 1490 \text{ nm}$ ) y la transmisión de las mismas que proceden de las ONT a través de wavelength  $\lambda = 1310 \text{ nm}$ . Además, se encarga de la multiplexación, tanto del canal ascendente (hacia la ONT) como del descendente (hacia la OLT).

<sup>15</sup> **Interleaving:** técnica para la mejora del ancho de banda de las memorias volátiles (*SDRAM, RDRAM*)

❖ ***V-OLT (Video OLT)***

Se encarga del transporte de las tramas de video y video baja demanda que se originan de la red de video-difusión hacia la ONT mediante wavelength  $\lambda = 1550 \text{ nm}$ .

❖ ***M-OLT (Multiplexador OLT)***

Permite la multiplexación y demultiplexación que se originan del P-OLT y V-OLT.

El objetivo de utilizar distintas longitudes de onda radica en evitar interferencias entre los contenidos de los canales (*downstream - upstream*), mediante WDM. Por lo demás, una OLT dependiendo de la distancia a la que se encuentra de la central, emite la potencia hacia las distintas ONT; esto se da gracias a los Medidores de Distancia (*Central – Usuario Final*) que posee una OLT, con el fin de que cada abonado obtenga la potencia necesaria dependiendo de su ubicación, esto es, la *distancia* es proporcional a la *potencia emitida* (Gallardo, 2015).

**2.5.1.2. ONT (Optical Network Terminal)**

Son los elementos encargados de la recepción y filtrado de información destinada hacia los usuarios que proceden de la OLT. De la misma forma la información procedente del usuario se redirecciona hacia la cabecera OLT (Gallardo, 2015). Según la función existen dos tipos:

❖ ***H-ONT (Home ONT)***

Se instala dentro del hogar para brindar servicios a un usuario en particular. Pertenece a las redes FTTH.

❖ ***B-ONT (Building ONT)***

Se instala en el cuarto de comunicación de los edificios sean estos privados o empresariales, con el fin de repartir el servicio a los usuarios. Pertenece a las redes FTTB.

### 2.5.1.3. Splitter (Divisor Óptico)

El Splitter forma parte de los elementos pasivos de la GPON ubicado a lo largo de todo el tramo entre la OLT y la ONT. Son dispositivos de Distribución Óptica Bidireccional capaces de combinar potencia y su función es la multiplexación y demultiplexación de las señales. Una de las ventajas que podemos describir de este divisor es la innecesaria energización externa, ya que es un elemento pasivo. El único inconveniente que se presenta, está en las *pérdidas de potencia óptica sobre la señal*, debido al número de salidas del divisor, vista en la Ecuación 6 (Gallardo, 2015).

$$Atenuación_{Divisor} = 10 \log \left( \frac{1}{n} \right)$$

**Ecuación 6.** *Atenuación por Distribución en los Divisores*

*Fuente:* (Gallardo, 2015).

Donde, (**n**) es el número de salidas del divisor.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, podemos apreciar los diferentes valores típicos por *pérdidas de inserción* en función del *número de los puertos de salida*.

**Tabla 2**  
*Valores de atenuación en dB por splitter*

N	1 x N		2 x N	
	<i>Atenuación Mín. (dB)</i>	<i>Atenuación Máx. (dB)</i>	<i>Atenuación Mín. (dB)</i>	<i>Atenuación Máx. (dB)</i>
2	2.6	4.2	2.5	4.5
4	5.4	7.8	5.3	8.1
6	6.8	9.9	6.7	10.2
8	8.1	11.4	8.0	11.7
12	9.5	13.5	9.4	13.8
16	10.8	15.0	10.7	15.3
24	12.0	17.1	11.95	17.4
32	13.1	18.6	13.1	18.9

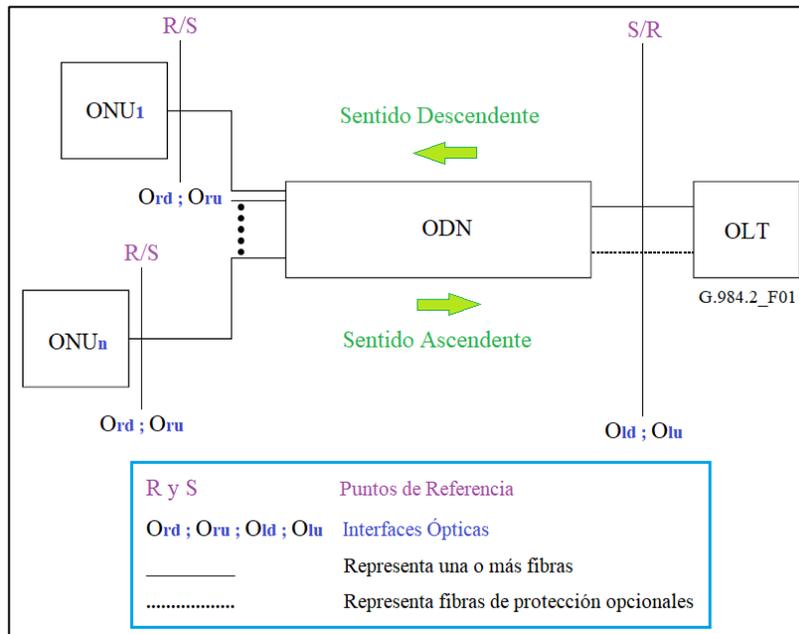
*Fuente:* (ITU-T, 2019).

### 2.5.1.4. ODN (Optical Distribution Network)

**Figura 35**

Configuración física genérica de la ODN

Es el medio de transmisión compuesto de elementos ópticos pasivos mediante los cuales se conecta físicamente la OLT con la ONT y viceversa.

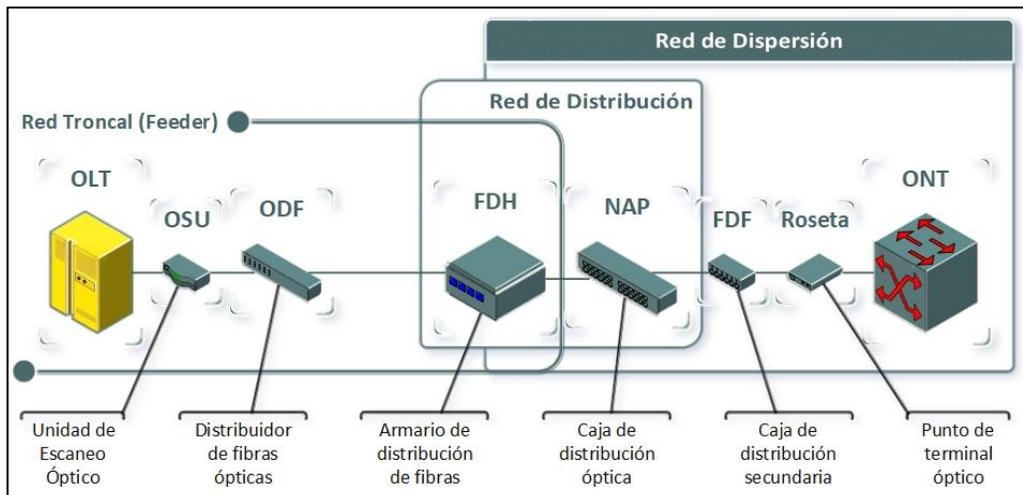


Fuente: (ITU-T, 2019).

Basada en la configuración de la Figura 35, podemos visualizar un diagrama básico ODN.

**Figura 36**

Diagrama técnico del diseño ODN



Fuente: Autoría

### ❖ *Red Troncal (Feeder)*

Es el sector de la red que inicia con la central OLT conectándose con la unidad de escaneo OSU seguido del distribuidor ODF para finalmente comunicarse con los armarios FDH en el que también se conectan las cajas de distribución FDB y las mangas ópticas (Quisnancela, 2016).

### ❖ *Red de Distribución*

Esta sección se encuentra conectada por los armarios FDH y las cajas de distribución NAP que generalmente lo constituyen los splitters y empalmes.

### ❖ *Red de Dispersión*

Por último, este grupo de red inicia con las cajas de distribución NAP finalizando con la terminal ONT. Esta red se divide en dos partes: la primera parte está compuesta por la NAP y la caja de distribución FDF y la segunda se conecta un cable interno entre la FDF y la Roseta.

### ❖ *Medios físicos dependientes*

En la Tabla 3 apreciamos los valores referenciales de los diferentes elementos del que está compuesta la ODN con el objetivo de verificar la continuidad y los niveles de atenuación (Quisnancela, 2016).

**Tabla 3**  
*Valores referenciales de los medios físicos dependientes*

<b>Elementos de red</b>	<b>Valor referencial</b>
<i>Máxima velocidad Downstream</i>	<i>2,488 Gbit/s</i>
<i>Máxima velocidad Upstream</i>	<i>1,244 Gbit/s</i>
<i>Máximo alcance físico</i>	<i>20 Km</i>
<i>Máximo alcance lógico</i>	<i>60 Km</i>

<i>Atenuación en puntos de fusión</i>	$\leq 0,30 \text{ dB}$
<i>Atenuación en conectores mecánicos</i>	$\leq 0,50 \text{ dB}$
<i>Atenuación en conectores</i>	$\leq 0,75 \text{ dB}$
<i>Atenuación en mangas</i>	$\leq 0,15 \text{ dB}$
<i>Margen de seguridad</i>	$+3 \text{ dB}$
<i>Atenuación <math>\lambda = 1310 \text{ nm}</math></i>	$0,35 \text{ dB/Km}$
<i>Atenuación <math>\lambda = 1550/1490 \text{ nm}</math></i>	$0,22 \text{ dB/Km}$

*Fuente:* (Quisnancela, 2016).

### 2.5.1.5. Presupuesto de Atenuación Óptica

La calidad del enlace de fibra óptica usualmente se ve afectado por varios factores propios del cable tales son los empalmes, conectores y la instalación. Los métodos de medición de los parámetros necesarios de un sistema óptico, se basan en medidas, modelos y otras consideraciones específicas (ITU-T, 2016). Vemos en la Ecuación 7 un modelo de ecuación (no incluye la pérdida presente en los conectores del equipo) para el cálculo de la atenuación:

$$A = \alpha \cdot L + \alpha_s \cdot \beta + \alpha_c \cdot \theta$$

**Ecuación 7.** *Presupuesto de atenuación óptica*

*Fuente:* (ITU-T, 2016).

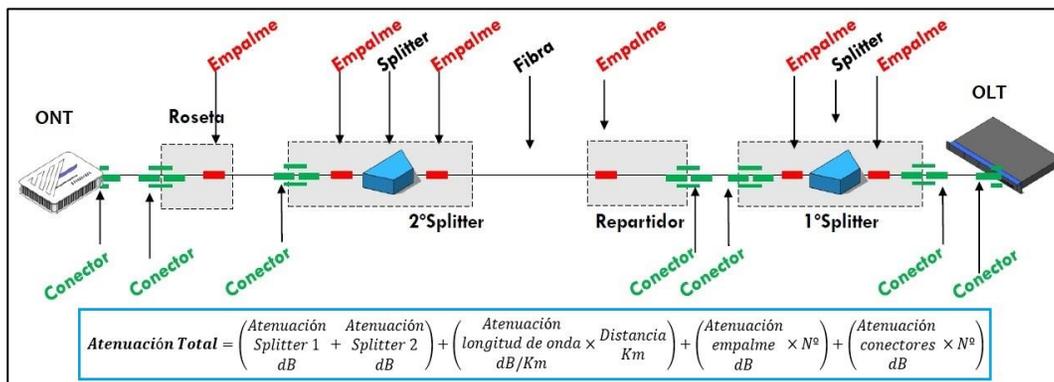
Donde:

- $\alpha$  = coeficiente de atenuación típico de los cables de fibra en un enlace
- $L$  = longitud del enlace
- $\alpha_s$  = atenuación media por empalme
- $\beta$  = número de empalmes de un enlace
- $\alpha_c$  = atenuación media de los conectores de línea
- $\theta$  = número de conectores de línea de un enlace (si se facilita)

En la Figura 37 vemos un ejemplo esquemático del cálculo del Presupuesto de Atenuación.

**Figura 37**

Diagrama del Presupuesto Óptico



Fuente: (García, 2012).

### 2.5.2. Estándar ITU-T G.984

La norma ITU-T G.984.x es una recomendación que ayuda a tomar *bases en el diseño* y en la *certificación de las topologías GPON*. Además, permite la optimización de los recursos como es el caso de los *elementos pasivos* (ITU-T, 2008).

**Tabla 4**

*Síntesis del Estándar G.984*

Recomendación	Nombre	Aprobación	Descripción
ITU-T G.984.1	Características Generales GPON	29 de marzo del 2008	Se describen los requisitos a emplearse en el uso del Ancho de Banda en zonas comerciales y residenciales.
ITU-T G.984.2	Especificación de la Capa (PMD) Dependiente de los medios físicos	16 de agosto del 2019	Se describe una red de acceso flexible de fibra óptica con capacidad de soportar los requerimientos del Ancho de Banda para empresas.

---

ITU-T G.984.3	Especificación de la capa de convergencia de transmisión	13 de enero del 2014	Se describe la capa de convergencia de transmisión de la GPON, una familia de redes de acceso flexible que proporciona una gama de servicios de banda ancha y banda estrecha.
ITU-T G.984.4	Especificación de la interfaz de control y gestión de la terminación de red óptica	13 de noviembre del 2009	Se especifica la interfaz de control y gestión (OMCI) de la ONT para la GPON. También se describe el canal, el protocolo y los mensajes detallados de gestión y control de la ONT.
ITU-T G.984.5	Banda de Ampliación	14 de mayo del 2014	Describe los rangos de la longitud de onda reservados para señales de servicios adicionales que se superponen mediante WDM en las futuras PON para maximizar el valor de las ODN.
ITU-T G.984.6	Extensión del Alcance	7 de mayo del 2012	Describe características adicionales, especificaciones y/o tipos de alcance compatibles con GPON, especialmente usando un extensor de alcance GPON.
ITU-T G.984.7	GPON de Largo Alcance	29 de julio del 2010	Describe los requisitos necesarios para soportar la distancia diferencial de 40 Km, que a diferencia de la fibra convencional en la G.984.1 se tiene como distancia diferencial de 20 Km.

---

Fuente: (ITU-T, 2021).

### **2.5.3. Protocolos de Enlace**

En GPON existen dos posibilidades referentes al protocolo de enlace y estos son:

#### **2.5.3.1. ATM (Asynchronous Transfer Mode)**

El Modo de Transferencia Asíncrona es utilizado esencialmente por APON y BPON. Básicamente es un protocolo central utilizado sobre la red troncal SONET (*Red Óptica Sincronizada*) /SDH (*Jerarquía Digital Síncrona*) de la PSTN. Este protocolo facilita una funcionalidad similar tanto para la Conmutación de Circuitos como para las Redes de Conmutación de Paquetes. Además, utiliza *Multiplexación por División de Tiempo Asíncrona* y codifica los datos en pequeños paquetes de tamaño fijo llamadas celdas (ITU-T, 2008).

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

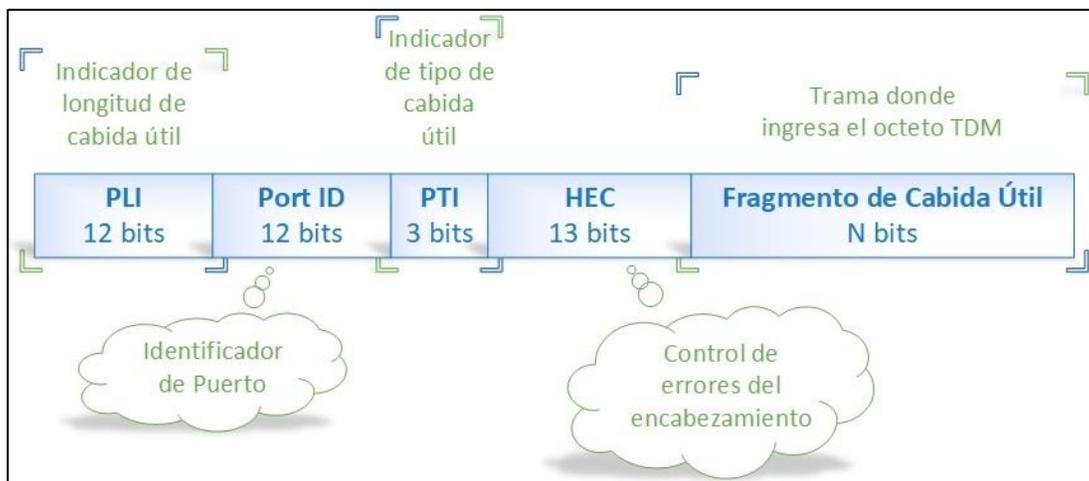
Este Método de Encapsulamiento es un protocolo definido por la ITU-T G.984 para GPON. Esencialmente el tráfico GEM se transporta mediante el protocolo GTC (Generic Token-Card) o *Tarjeta de Ficha Genérica* de forma transparente. En el canal ascendente, las tramas se transportan desde la OLT hacia la ONU, y en el canal descendente, las tramas se transmiten desde la ONU hacia la OLT (ITU-T, 2008).

#### **❖ TDM sobre GEM**

Es el uso de tramas GEM de longitud variable para el encapsulamiento del cliente TDM, es decir, los datos TDM se empaquetan en GEM. En la Figura 38, podemos apreciar un diagrama sobre la estructura de esta trama.

**Figura 38**

*Estructura de la Trama para datos TDM en GEM*



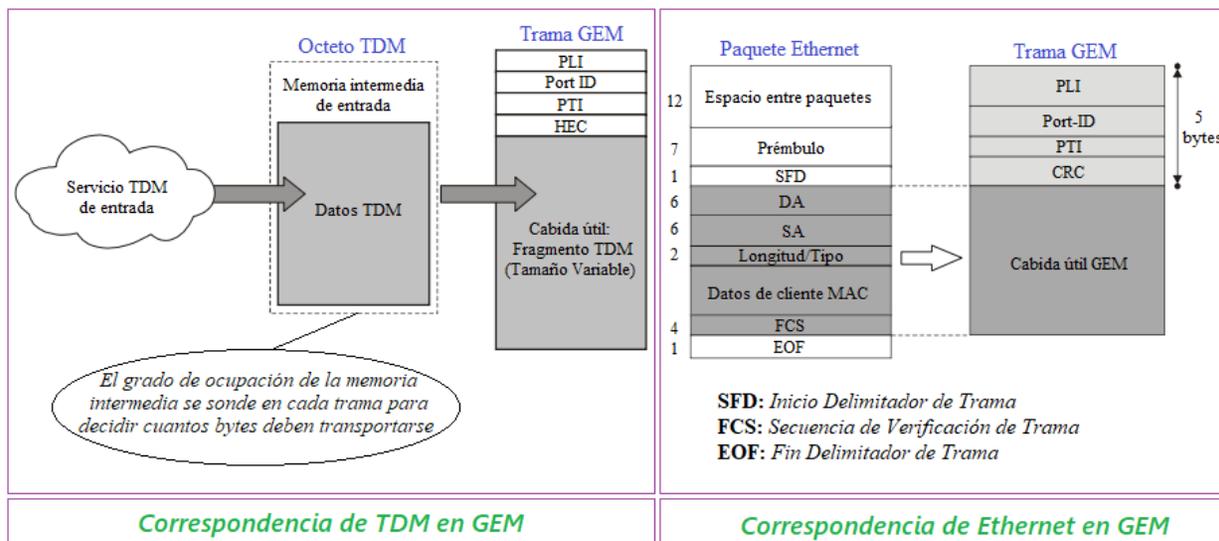
Fuente: (ITU-T, 2014).

❖ **Ethernet sobre GEM**

Los datos Ethernet se empaquetan en GEM. Cada paquete se inserta en la trama GEM. En la Figura 39, se expone las correspondencias de las tramas TDM y Ethernet sobre GEM:

**Figura 39**

*Estructura de las tramas TDM y Ethernet en GEM*



Fuente: (ITU-T, 2014).

## 2.6. iODN

La iODN (*Intelligent Optical Distribution Network*), originalmente desarrollada por Huawei y a diferencia de la ODN, esta red es del tipo Inteligente, es decir, autogestionables.

### 2.6.1. Estructura iODN

Básicamente una iODN está constituida por: capa del equipo, capa de programación de la plataforma y la capa de aplicación (Huawei, 2014).

#### 2.6.1.1. Capa del equipo (iODN hardware platform)

- Está constituido por la infraestructura junto con los dispositivos iODN, tales como: Access Network (*iFDT/iFAT*), Metro Network (*iODF/iMODF*), Backbone Network, placa de procesamiento y tableros inteligentes, logrando la administración autónoma.
- La herramienta iField que recopila automáticamente los datos del dispositivo, gestiona ordenes de operación inteligente y carga los datos al ODN NMS <sup>16</sup> (Huawei, 2014).

#### 2.6.1.2. Capa de programación de plataforma (iODN management platform)

- Formado por interfaces a través de las cuales el ODN NMS se interconecta con el OSS (*Sistema de Soporte de Operaciones*), para tener comunicación con el CRM System (*Sistema de Administración de los clientes*) que a su vez verifica los datos del RMS <sup>17</sup>.
- Además, se administra la implementación de gestión de recursos, el cálculo automático de rutas y la generación del Sistema de las Órdenes de trabajo (Huawei, 2014).

---

<sup>16</sup> **NMS**: Sistema de Administración de Red

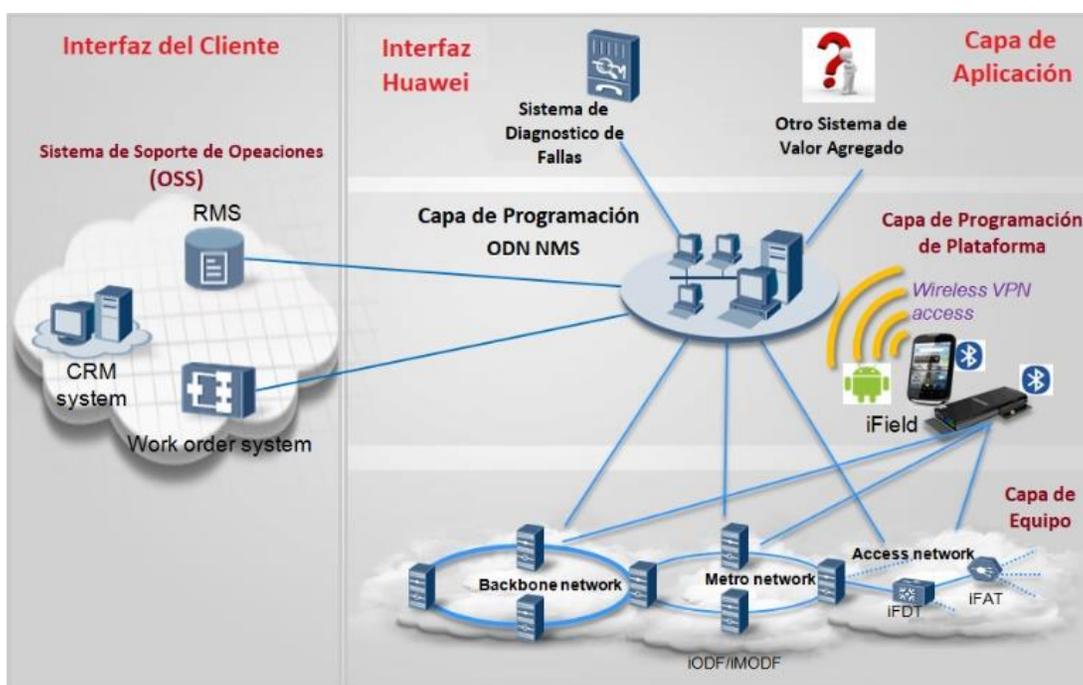
<sup>17</sup> **RMS**: Sistemas de Ordenes de Trabajo

### 2.6.1.3. Capa de aplicación (various value-added systems)

- Se interconecta con la capa de programación de la plataforma donde se puede añadir un Sistema de Valor Agregado que contribuya a la mejora de la red.
- El Sistema de Diagnóstico de Fallas N2510S<sup>18</sup>, recolecta y analiza datos de los recursos de la red, además de detectar errores en la fibra óptica (Huawei, 2014).

**Figura 40**

*Estructura de la Solución iODN*



*Fuente:* (Huawei, 2014).

*El uso de una iODN aumenta la velocidad, precisión del diseño y la administración del tendido de fibra, además de reducir los costos. En esta imagen se muestra la estructura de una iODN.*

El estándar para este tipo de redes, propuesto por Huawei, fue aprobado por el BBF (Broadband Forum) en el año 2011. En estos últimos ocho años se han diseñado y puesto en marcha varias redes de este tipo, especialmente en los países desarrollados como es el caso de Rusia.

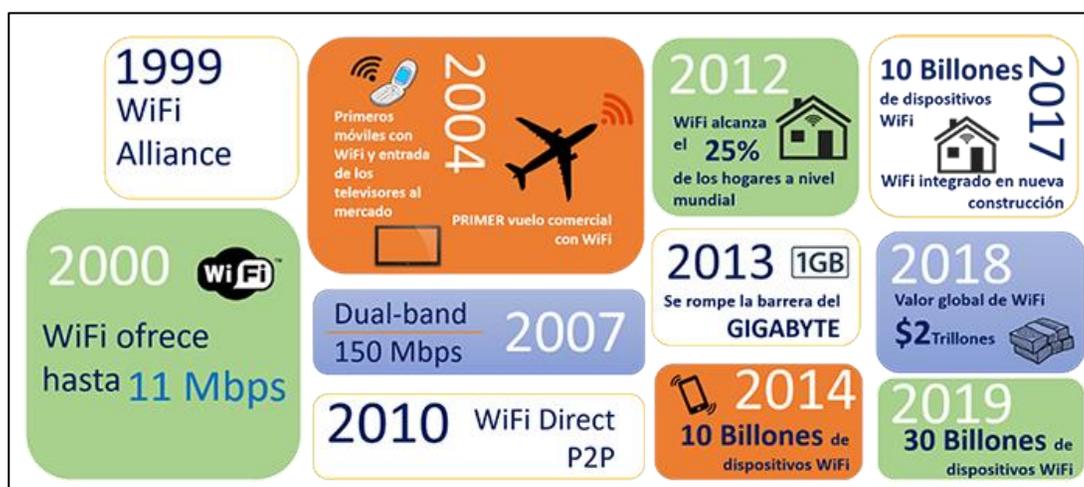
<sup>18</sup> N2510: Modelo del equipo

Rostelecom una empresa de comunicaciones situada en Kraj – Rusia, ha implementado esta solución, con el objetivo de experimentar una experiencia de *súper servicio* a los suscriptores de banda ancha. Esta empresa planeaba mantener su ventaja competitiva a través de una implementación FTTH, pero la preocupación por el rendimiento, las operaciones y el mantenimiento de la infraestructura de red de fibra era la constante para el equipo de técnicos. La solución iODN está diseñada para abordar estos problemas. En una entrevista a Konstantin Korolev en la sucursal Perm de Rostelecom, dijo: “La red iODN es genial, simplifica las operaciones de las redes de fibra, ayudándonos a ofrecer servicios de alta calidad y reducir los costos de operación y mantenimiento” (Beach, 2013).

Según los analistas de evolución tecnológica, en la última década se han implementado más de 400 millones de redes con tecnología FTTx. Con este acelerado desarrollo las capas de acceso necesitarán enormes ODN, las mismas que representan el 70% de la inversión total de la red, es decir, de costos muy elevados (Huawei, 2014). En la siguiente gráfica podemos apreciar uno de los grandes avances tecnológicos, en este caso las redes wifi.

**Figura 41**

*Evolución de las redes WiFi*



Fuente: (Odintsov, 2021).

Un problema habitual que se presenta cuando el operario manipula la fibra óptica es el quiebre de uno de los filamentos al momento de realizar el mantenimiento de la red, por tanto, una solución inteligente y eficiente sería lo más adecuado para evitar costos adicionales. Podemos ver en la Figura 42 como son los tradicionales armarios de distribución de fibra y su actual estructura física y los posibles inconvenientes que la misma conlleva.

**Figura 42**

*Armarios de distribución de fibra no inteligentes*



*Fuente: (Huawei, 2016).*

La iODN es la solución que ayuda a proveedores a satisfacer los más altos estándares de calidad, además de resolver problemas de operación y mantenimiento, con la ayuda de los sensores de fibra y las técnicas autónomas de identificación, manejo y monitoreo, convirtiendo la tradicional red pasiva en inteligente, lo que facilitará enormemente la administración de red.

## 2.6.2. Principales Características

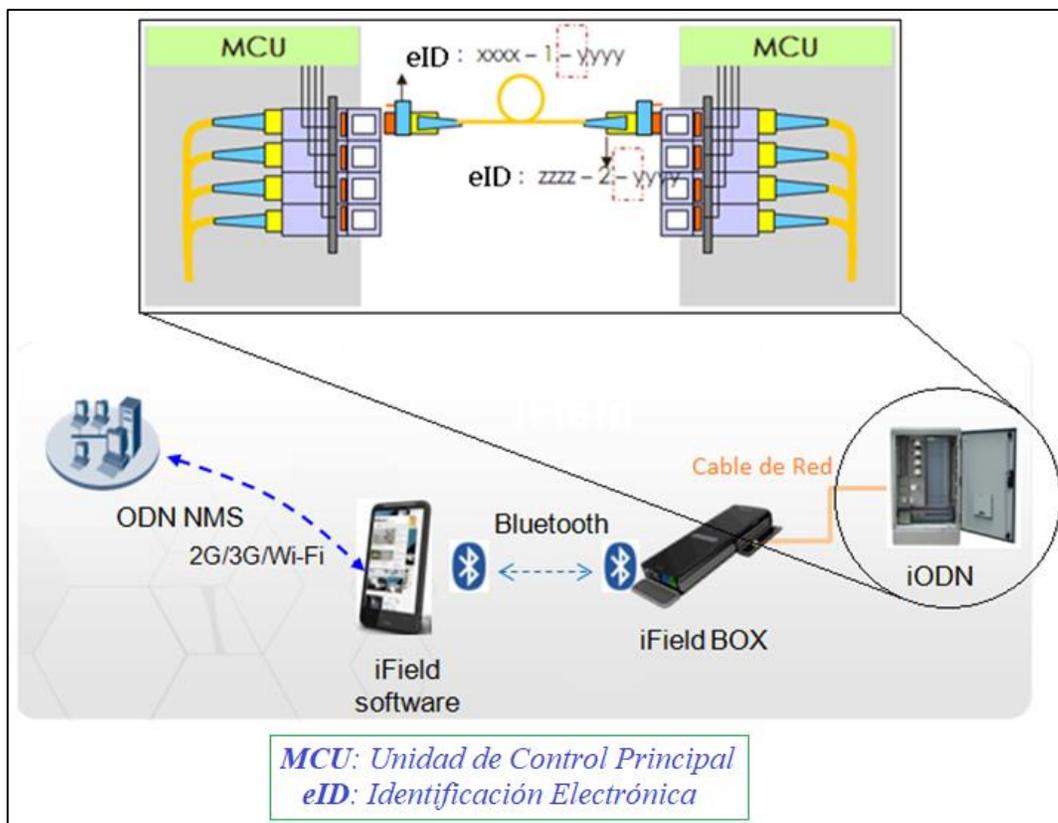
No son muy diferentes de las ODN, pero al tener funciones autogestionables, existen ciertas características a considerarse, tales como: la gestión remota, identificación de las fibras y el monitoreo constante de los puertos.

### 2.6.2.1. Gestión remota en modo fuera de línea

Como los dispositivos pasivos de la ODN NMS son remotos, es difícil establecer una comunicación en tiempo real para la administración de red. Estas unidades en la solución iODN son gestionados por la iField y la ODN NMS, en otras palabras, la ODN NMS administra cada uno de estos dispositivos a los cuales se conecta la iField (Huawei, 2014).

**Figura 43**

*Gestión de una iODN*



Fuente: (Huawei, 2014).

Uno de los dispositivos que ayuda enormemente a la administración de la red en tiempo real, es el uso de la PDA<sup>19</sup>. Este ordenador de bolsillo que se conecta a la iODN a través de un puerto USB sirve como proveedor de energía en el caso extremo de no existir electricidad.

### 2.6.2.2. Gestión de identificación de la fibra óptica

Una de las principales características a resaltar de las iODN son los identificadores electrónicos, ya que estos facilitan la gestión y lectura de cada una de las fibras. Cada conector tiene su propia identificación, es decir, son únicos e irrepetibles; de la misma forma, estos dispositivos tienen la misión de alertar sobre las rupturas en las fibras, estados de enlace, etc. Por lo tanto, los beneficios que estos conectores presentan, se basan en: la facilidad de administración de cada enlace óptico, la generación automática de nuevas topologías y el control autónomo de cada conexión existente de la red (Huawei, 2014).

**Figura 44**

*Identificación Electrónica*



*Fuente:* (Huawei, 2014).

<sup>19</sup> **PDA** (*Personal Digital Assistant*): o Asistente Digital Personal, es conocido como el ordenador de mano.

### 2.6.2.3. Monitoreo del estado de puertos

La ventaja principal de la iODN es el monitoreo en tiempo real de cualquiera de los puertos existentes, ya que el reporte del estado de la red a través de la PDA es constante.

#### ❖ *Asistente Personal Digital (PDA)*

- Una de las características principales de este dispositivo es el suministro de energía temporal que puede aportar a la red mientras se encuentra en proceso de mantenimiento; la PDA se conecta mediante USB y se activa el *Sistema de Gestión de Recursos*.
- Esta computadora de mano que tiene como interfaz una pantalla táctil, permite la interconexión del módulo de gestión con la iODN.
- Todo procedimiento de operaciones, sea estos: *el monitoreo, control o evaluación de la red* se lo realiza mediante esta unidad portátil (Huawei, 2016).

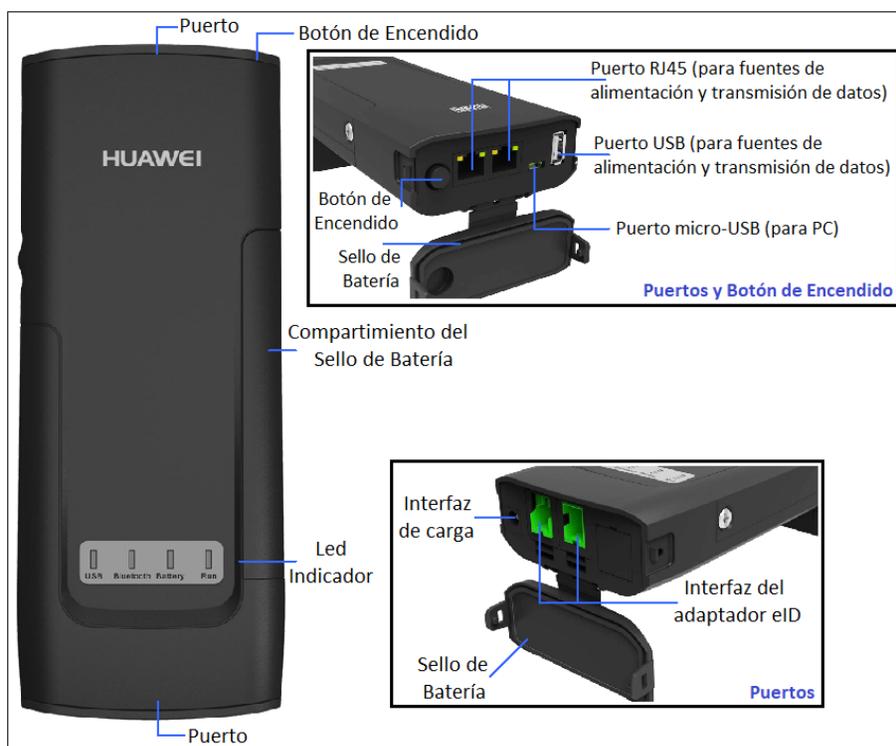
**Figura 45**

*Funcionamiento del PDA*



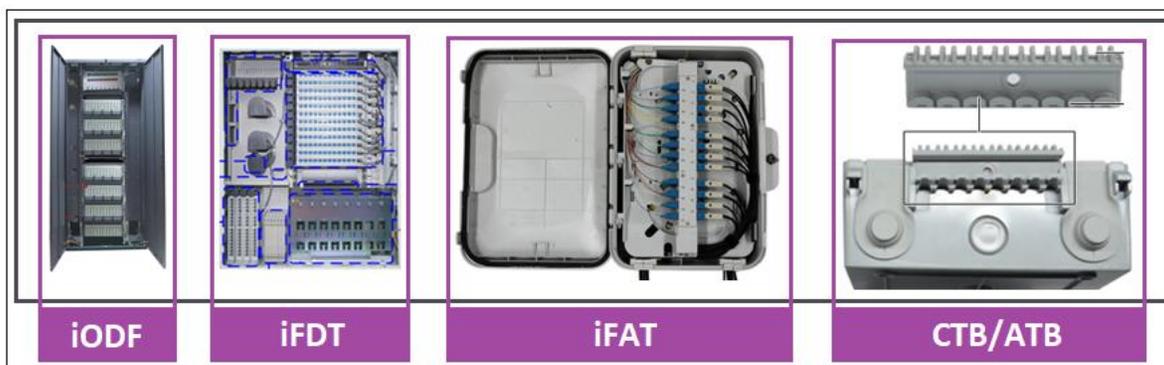
*Fuente:* (Huawei, 2016).

La Figura 46 muestra la estructura del iField Box modelo E3000 de la marca Huawei.

**Figura 46***iField BOX (modelo E3000, Huawei)**Fuente: (Huawei, 2016).*

### 2.6.3. Componentes de una Red iODN

La Figura 47 nos muestra los diferentes componentes que presenta una red iODN.

**Figura 47***Equipamiento de una iODN**Fuente: (Huawei, 2014).*

### 2.6.3.1. iODF (Intelligent Optical Distribution Frame)

- En este *Marco de Distribución Óptica Inteligente* se conecta y distribuye la fibra óptica.
- Trabaja hasta con 1994 hilos de fibra cuando actúa como equipo principal y hasta 768 hilos de fibra si tiene que operar como equipo intermedio.
- Los *identificadores electrónicos eID*, son reconocidos por los iODF en ambos extremos de la fibra para verificar si existe conexión.
- Cada puerto del cable posee una alarma que identifica a cada una de las fibras.
- De igual forma, la iODF verifica y registra de manera autónoma los niveles de potencia de la señal emitidos por la red y los datos generados, manteniendo de este modo la estabilidad del sistema (Huawei, 2014).

### 2.6.3.2. iFDT (Intelligent Fiber Distribution Terminal)

- La *Terminal de Distribución de Fibra Inteligente* posee alta resistencia a la corrosión.
- Distribuye la fibra que se origina desde el iODF hasta la FTTx.
- Maneja hasta un máximo de 864 hilos de fibra óptica.
- Soporta cables ópticos del tipo Ribbon o Bundle<sup>20</sup>.
- Cuenta con el nivel de protección IP55<sup>21</sup> (Huawei, 2014).

### 2.6.3.3. iFAT (Intelligent Fiber Access Terminal)

- Esta *Terminal de Acceso de Fibra Inteligente*, es el punto de distribución óptico de la FTTx. Recibe el cable desde el iFDT y lo destina hacia el usuario mediante Drop<sup>22</sup>.

---

<sup>20</sup> **Ribbon o Bundle:** es un cable plano del tipo multicable que se dispone en forma paralela, con baja pérdida de inserción y alta durabilidad mecánica.

<sup>21</sup> **IP55:** es el grado de protección mecánica dispuesto en la normativa IEC 60529. En sí, este grado nos indica que el producto cuenta con la protección contra (depósitos de polvo y agua a presión en cualquier dirección).

<sup>22</sup> **Drop:** este cable dieléctrico se utiliza como el último punto de conexión en las redes FTTx. Diseñado para instalaciones rápidas, utiliza tecnología de tubo como protección para el albergue de hasta doce fibras.

- Identifica, maneja, graba y elimina de forma autónoma las conexiones y fallas en los enlaces de fibra mediante un led indicador (Huawei, 2014).

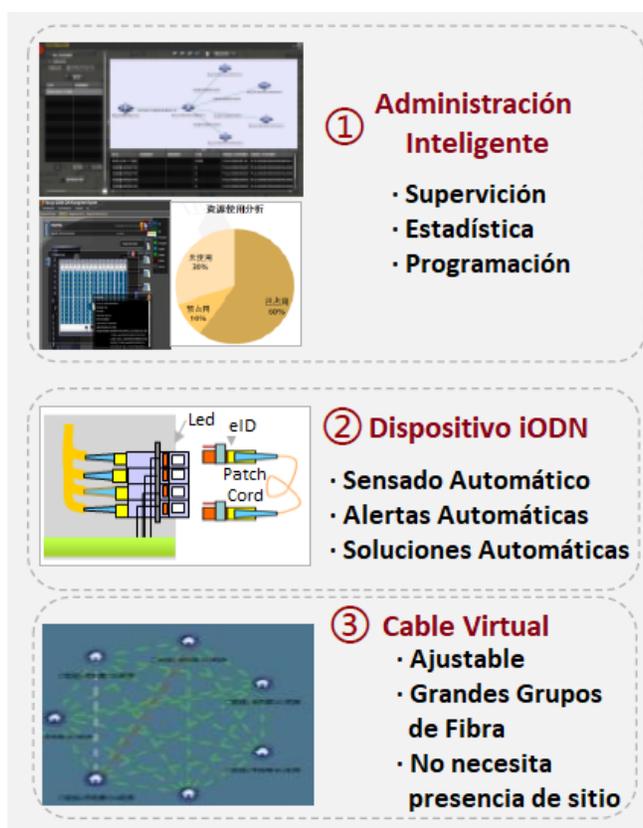
#### 2.6.3.4. CTB/ATB (Cable Termination Box)

- Al ser una caja hermética, las terminaciones de los cables están totalmente cubiertas.
- Finalmente tenemos la *Caja de Terminación de Cables*, el cual admite enlaces en ambos lados, es decir, tanto en su lado izquierdo como en el derecho; este diseño permite la fácil adaptación ante cualquier entorno (Huawei, 2014).

#### 2.6.4. Beneficios de las iODN

**Figura 48**

*Beneficios de una iODN*



*Fuente:* (Huawei, 2014).

- Los equipos inteligentes con los cuales se trabajan estas redes, hacen que la programación de las redes de fibra sea fáciles y flexibles de administrar.
- En sí, con las iODN se ahorra tiempo en la administración de red, como es la reducción en los turnos de acceso por cada servicio activo (FTTH, WLAN, LTE, etc.).
- Este tipo de enlaces inteligentes hacen que las redes de fibra adquieran características de ser rápidas y robustas, es decir, la atenuación y la pérdida de los datos son casi nulos.
- Toda la gestión que se realiza en este tipo de redes es totalmente transparente, esto es, al contar con etiquetas electrónicas, toda la información generada queda digitalizada.
- A diferencia de la tradicional ODN, la fibra es fácilmente desmontable, se incrementa la eficacia de los equipos y se deja una estructura totalmente organizada y operable.
- La administración ágil de las iODN hace que la detección de los recursos disponibles en la fibra óptica sea realizada en tiempo real (Huawei, 2014).

## **2.7. Impacto en las Telecomunicaciones**

En el campo de las telecomunicaciones, enumeramos dos factores fundamentales que impactan notablemente la era actual de la transmisión de información: el social y económico.

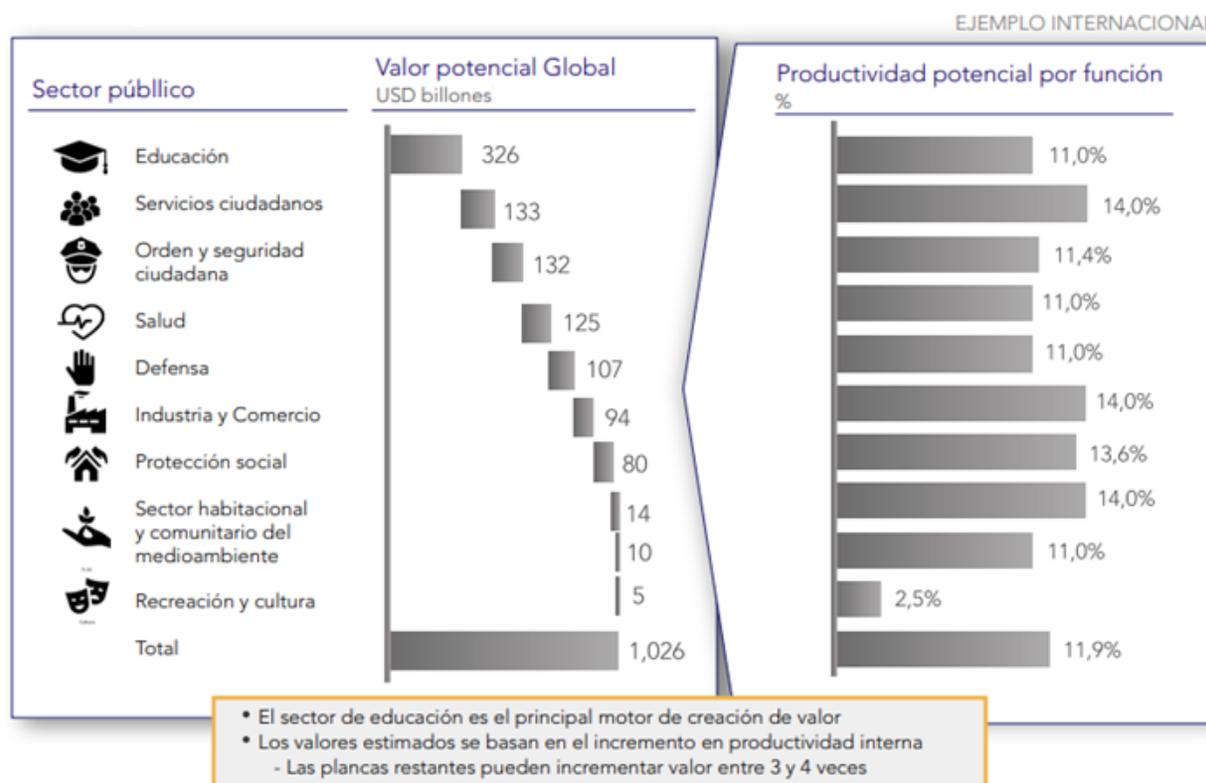
### ***2.7.1. Impacto Social***

Según el Plan Nacional de Telecomunicaciones y Tecnologías de Información del Ecuador 2016 – 2021 elaborado por el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, trata un punto importante en cuanto a la potenciación del desempeño de los procesos digitalizados del sector público de alto impacto social. Aquí se refiere a varios campos en especial, los mismos que son: la educación, la salud, justicia y seguridad. En la Figura 49 a continuación expuesta, se detalla los sectores de digitalización de procesos y como estos tienen el mayor

potencial de generación de valor (Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información [MINTEL], 2021).

**Figura 49**

*Digitalización de procesos en Sectores Gubernamentales, según la ONU*



Fuente: (MINTEL, 2021).

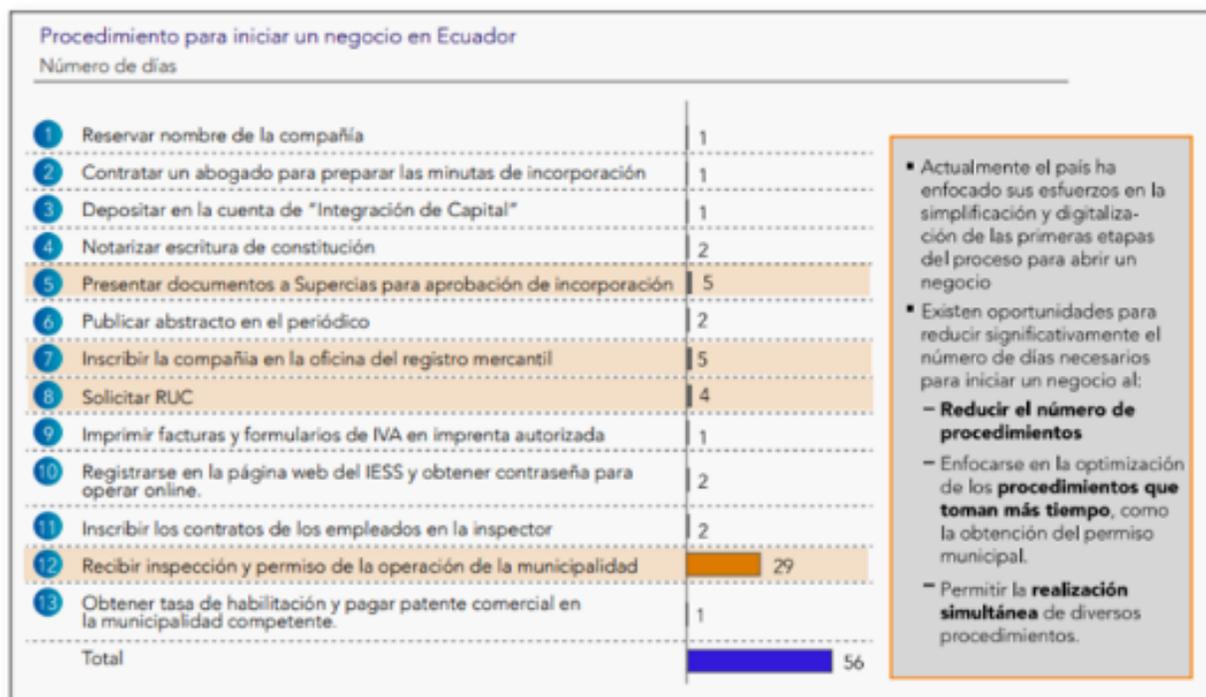
### **2.7.1. Impacto Económico**

Se ve una clara influencia tanto en el campo de la productividad como en el del emprendimiento e innovación. Es importante el aporte que existe, ya que se puede coordinar negocios, reuniones, compra y venta vía telemática sin necesidad de tener un contacto físico. La reciente pandemia ha sido una muestra clara de la necesidad imperiosa de mantenernos comunicados para que los negocios y los trabajos se los siga realizando vía remota.

Abordando otros temas, el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, ha explicado en su Plan Nacional, la simplificación de los procesos para abrir nuevos negocios en el Ecuador, el mismo que se refiere a la disminución del número de días necesarios para abrir un nuevo negocio, mediante la simplificación y optimización de los procesos a realizar. El objetivo en sí es mejorar el ambiente de negocios en el país. En la Figura 50 a continuación se detalla el procedimiento para iniciar en negocio en nuestro país (MINTEL, 2021).

**Figura 50**

*Proceso para iniciar un negocio en el Ecuador*



Fuente: (MINTEL, 2021).

## CAPITULO 3

### DISEÑO DE LA RED

Para el desarrollo de este capítulo, nos iremos centrando primeramente en el análisis de la situación actual de la red, seguido de esto, estableceremos las condiciones iniciales necesarias para el desarrollo del estudio propuesto, seguiremos con el diseño de la red en el cual se mostrarán los diagramas, el recorrido de la fibra óptica, el análisis de distancias, el análisis de capacidad y de pérdidas para finalmente presentar los requerimientos básicos necesarios en el diseño de la red propuesta para que tenga la estructura iODN.

#### 3.1. Situación Actual de la Red

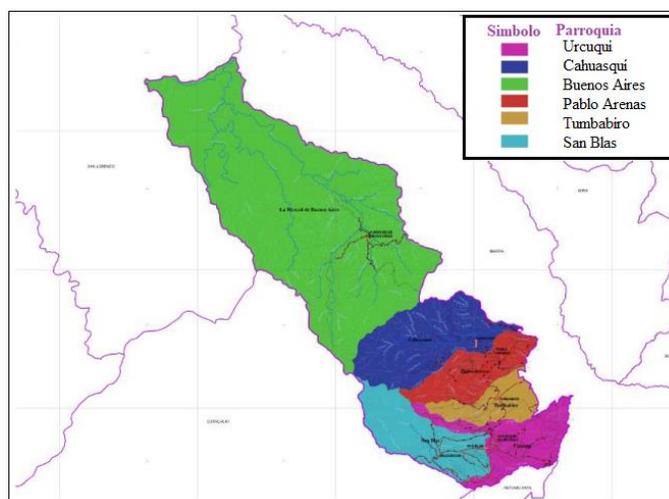
Lo que se pretende en este apartado es analizar el escenario presente de la red que posee la empresa SERVICETEL en la parroquia Urcuquí, para ello detallaremos de forma breve las características generales del cantón y la estructura de la red actual.

##### 3.1.1. Características Generales

El cantón San Miguel de Urcuquí se ubica al noroeste de la *Provincia de Imbabura*. Al norte y al este limita con la capital de los imbabureños (*Ibarra*), hacia el sur y suroeste con los cantones *Antonio Ante* y *Cotacachi* respectivamente y un pequeño sector de la urbe al noroeste de la provincia de Esmeraldas, específicamente con *San Lorenzo*. En la Figura 51 podemos apreciar el mapa político de la provincia (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Urcuquí [GADMU], 2021).

**Figura 51***Mapa Político de la Provincia de Imbabura**Fuente: (Imbabura, 2021).*

El cantón de los urcuquireños está conformado por las parroquias rurales de *San Blas*, *Tumbabiro*, *Pablo Arenas*, *Cahuasquí*, *Buenos Aires*, y por la parroquia urbana de *Urcuquí*, que será el sector de nuestro estudio. La Figura 52 a continuación muestra el mapa político de la urbe.

**Figura 52***Mapa Político del Cantón San Miguel de Urcuquí**Fuente: (GADMU, 2021).*

Sus coordenadas geográficas abarcan desde los 78° 07' 07" hasta 78° 32' 08" longitud oeste; y, 00° 22' 16" hasta 00° 47' 42" latitud norte. Se ubica a 135,6 Km de Quito y 23,6 Km de Ibarra, con una superficie de 779,74 Km<sup>2</sup> y una densidad demográfica de 6,67 hab/Km<sup>2</sup>.

**Figura 53**

*Vista aérea de la parroquia Urcuquí*



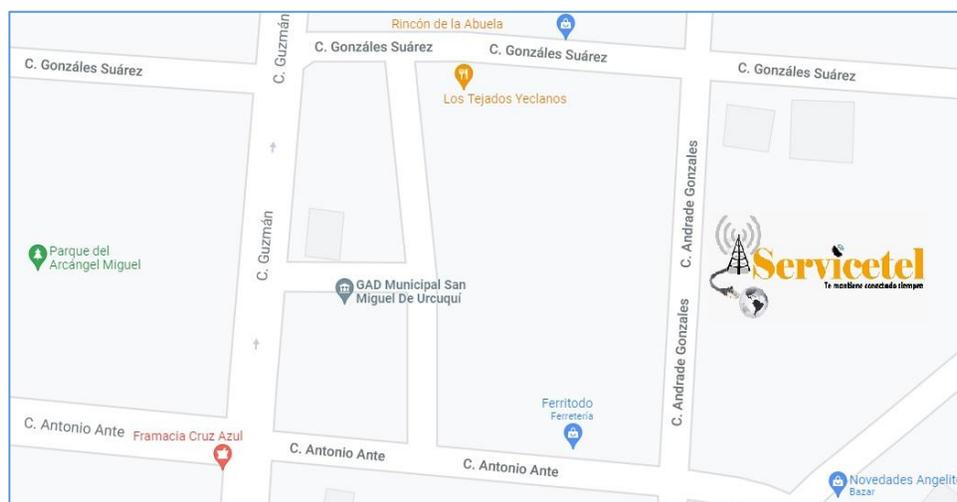
*Fuente: (Google Maps, 2021).*

### **3.1.2. Estructura de la Red SERVICETEL en Urcuquí**

En la Figura 54 podemos apreciar de forma general la ubicación del nodo principal en la parroquia, que se encuentra localizado detrás del Gad Municipal de San Miguel de Urcuquí, en la vía Andrade Gonzales entre las calles Gonzales Suárez y Antonio Ante.

**Figura 54**

*Ubicación del nodo central en la parroquia Urcuquí*

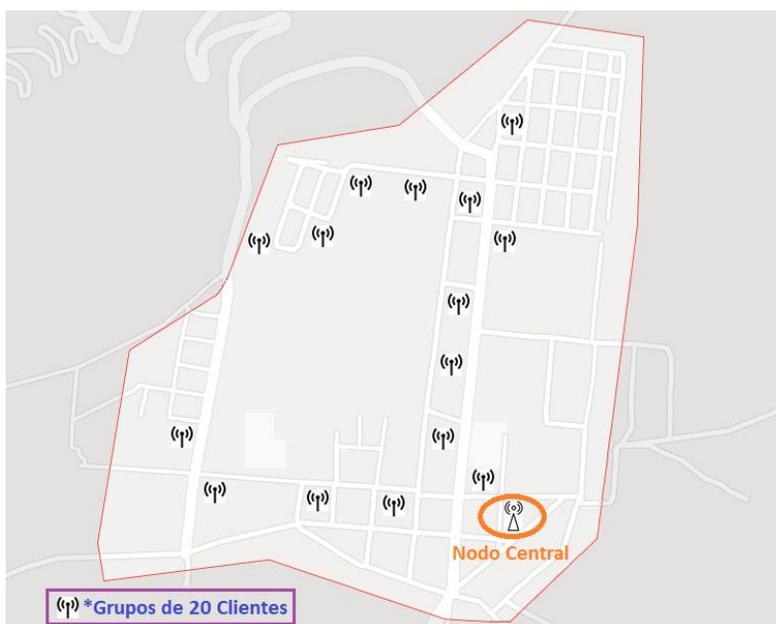


*Fuente: (Google Maps, 2021).*

En la Figura 55 ilustrada a continuación, nos muestra de manera general las ubicaciones de los diferentes clientes que la empresa posee en la parroquia Urcuquí

**Figura 55**

*Ubicación de los diferentes clientes en la parroquia de Urcuquí*



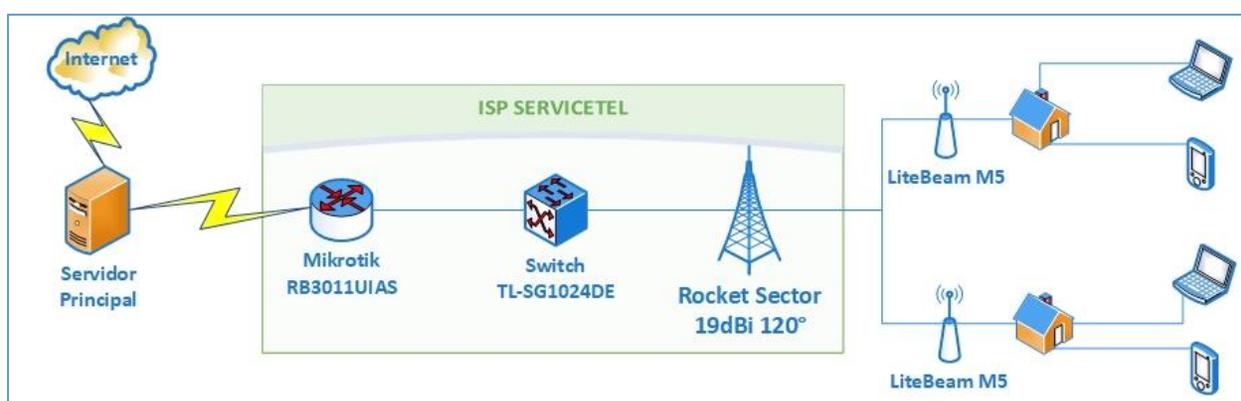
*Fuente: Autoría*

### 3.1.2.1. Configuración de la red Wireless

Básicamente la configuración de red inicia en el Servidor Principal que es el que proveedor de internet para SERVICETEL que a su vez se conecta con el Router dando señal al Switch para que esta sea difundida a través de la antena sectorial a los diferentes clientes de la zona. En la Figura 56 se ilustra de manera general la configuración actual de red Wireless.

**Figura 56**

*Configuración de la red Wireless de la empresa SERVICETEL*



*Fuente:* Autoría

A continuación, describiremos las características generales de cada uno de los equipos utilizados actualmente para proveer de internet a los diferentes clientes.

#### ❖ *Mikrotik RB3011UIAS*

El enrutador RB3011 posee 10 puertos Gigabit divididos en 2 grupos de conmutadores, una jaula SFP<sup>23</sup> y un puerto USB 3.0 de tamaño completo SuperSpeed, para añadir almacenamiento y un módem 3G / 4G externo. Además, la unidad de router viene con una carcasa de montaje en rack de 1U, un panel LCD con pantalla táctil, un puerto de consola serie y una funcionalidad de salida PoE en el último puerto Ethernet (Mikrotik, 2021).

<sup>23</sup> **Jaula SFP:** soporte metálico externo que se adapta al Router

**Tabla 5**  
*Características técnicas del Router Mikrotik RB3011UIAS*

<b>Detalles Técnicos</b>	
Arquitectura	ARM 32 bits
CPU	IPQ-8064
Recuento de núcleos de CPU	2
Frecuencia nominal de la CPU	1,4 GHz
Licencia de RouterOS	5
Sistema operativo	RouterOS
Tamaño de la RAM	1 GB
Tamaño de almacenamiento	128 MB
Tipo de almacenamiento	NAND
<u>MTBF</u> <sup>24</sup>	200'000 horas a 25C
Temperatura ambiente probada	-20°C a 70°C
Aceleración de hardware IPsec	Sí
Precio sugerido	\$ 179.00
Puertos Ethernet 10/100/1000	10
Puertos SFP	1

*Fuente:* (Mikrotik, 2021).

**Figura 57**

*Router RB3011UiAS-RM*



*Fuente:* (Mikrotik, 2021).

<sup>24</sup> **MTBF** (*Mean Time Between Failures*): es el tiempo medio para reparar un equipo o un sistema. Estos datos se utilizan para medir la seguridad de los equipos.

### ❖ *Switch TL-SG1024DE*

- Está compuesto de 24 puertos RJ45 de 10/100/1000 Mbps.
- Suministra el monitoreo de la red, prioriza el tráfico y posee características de VLAN.
- Gracias a la eficiencia energética que posee, se reduce la potencia de salida a un 40%.
- La configuración de la red es básicamente sencilla, además de tener la conectividad plug-and-play (conecte y use) (TpLink, 2021).

**Tabla 6**

*Características técnicas del Switch TL-SG1024DE*

<b>Detalles Técnicos</b>	
Estándares y Protocolos	IEEE 802.3, IEEE 802.3u, IEEE 802.3ab, IEEE 802.3x, IEEE 802.1q, IEEE 802.1p
Interface	24 10/100/1000Mbps RJ45 Ports
Medios de Red	10BASE-T: UTP 100BASE-TX: UTP 1000BASE-T: UTP
Capacidad de Switcheo	48Gbps
Tasa de Reenvío de Paquetes	35.7Mpps
Paquetes de Memoria de búfer	512KB
Calidad de servicio	Soporte de puertos base/802.1p
VLAN	Soporta hasta 128 VLANs simultáneamente

*Fuente:* (TpLink, 2021).

**Figura 58**

*Switch TL-SG1024DE*



*Fuente:* (TpLink, 2021).

### ❖ *Ubiquiti Radio Base AP 5GHz*

El Ubiquiti es un punto de acceso de radio base con un procesador de 400MHz y memoria RAM de 64Mb. Diseñado para estaciones bases Wi-Fi trabaja en la frecuencia de los 5GHz. Además, es una radio de alta potencia con doble polarización que cuenta con un rango de operación con más de 50 Km que llega supera los 150 Mbps reales en TCP/IP (SinCables, 2021).

**Figura 59**

*Ubiquiti Radio Base*



*Fuente: (SinCables, 2021).*

**Tabla 7**

*Características técnicas del Ubiquiti Radio Base AP 5GHz*

<b>Detalles Técnicos</b>	
Tipo procesador	Atheros MIPS 24KC, 400MHz
Memoria	64MB SDRAM, 8MB Flash
Interfaz de red	1 X 10/100 BASE-TX (Cat. 5, RJ-45) Ethernet Interface
Potencia de transmisión	500mW (27dBm +/-2dB)
Alcance	Hasta 50+Km
Fuente de alimentación	12V 1A, inyector POE-24 incluido
Tipo de alimentación	PoE pasivo (pines 4,5+; 7,8)
Temperatura de trabajo	-30C to +75C

*Fuente: (SinCables, 2021).*

### ❖ *Ubiquiti Antenas Sectoriales 19dBi 120° 5GHz*

Esta antena sectorial de 120°, de una gran ganancia, aislamiento en polarización cruzada y forma de haz sólo es comparable con las grandes antenas de las operadoras de telefonía móvil a nivel mundial. Estas antenas sectoriales se han diseñado para integrarse de forma transparente como una sola radio base y operar bajo cualquier condición climática (SinCables, 2021).

**Figura 60**

*Ubiquiti Antenas Sectoriales*



*Fuente: (SinCables, 2021).*

**Tabla 8**

*Características técnicas del Ubiquiti Antenas Sectoriales*

<b>Detalles Técnicos</b>	
Rango de frecuencias	5.15 – 5.85 GHz
Ganancia	19dBi
Polarización	Lineal Dual
Aislamiento de polarización cruzada	28dB min
Hpol Apertura de haz Horizontal	123°
Vpol Apertura de haz Horizontal	123°
Apertura de haz Vertical Hpol	4°
Apertura de haz Vertical Vpol	2°
Carga de viento	125 mph

*Fuente: (SinCables, 2021).*

### 3.1.3. Suscriptores de la empresa SERVICETEL

En la Tabla 9 se detalla el número total de abonados que la empresa posee hasta noviembre del 2021. Adicional a esto se muestra el número total de abonados de telefonía fija que la parroquia de Urcuquí posee hasta noviembre del mencionado año, con el objetivo de visionar a futuros potenciales clientes en la mencionada parroquia.

**Tabla 9**

*Número de suscriptores al 30 de noviembre del 2021*

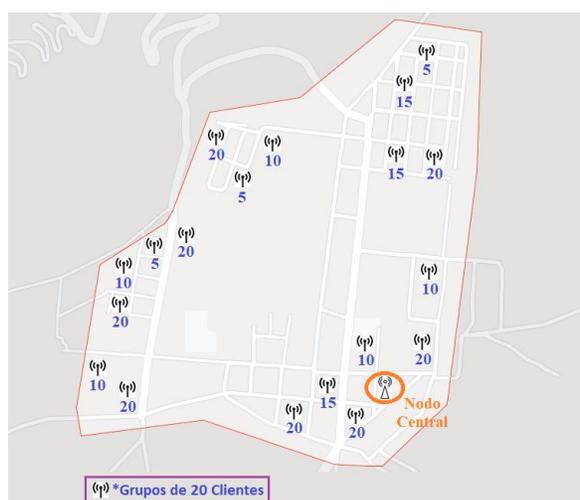
<b>Parroquia de Urcuquí</b>	
<u>Abonados telefonía fija</u> <sup>25</sup>	1076
Suscriptores	270

*Fuente:* (Flores, 2021).

En la Figura 61 se puede visualizar de forma general la distribución en la zona de los diferentes puntos de red (clientes) que la empresa posee hasta noviembre del 2021.

**Figura 61**

*Diagrama de los puntos de red (Clientes) de SERVICETEL*



*Fuente:* (Flores, 2021).

<sup>25</sup> **Abonados telefonía fija:** este dato se obtuvo por medio de la entrevista realizada hacia el jefe Técnico Zonal de CNT de la provincia de Imbabura, el MSc. Roberto Marcillo.

### 3.1.4. Tarifas actuales de la empresa SERVICETEL

A continuación, se expone de manera general en la Tabla 10 las ofertas que la empresa brinda a nivel local a los usuarios en cuanto al servicio de *internet*, desde un plan básico de 5 Mbps hasta planes con 20 Mbps de capacidad.

**Tabla 10**  
*Oferta Principal de internet*

Capacidad	Costos Iniciales		Costos Regulares	
5 Mbps	Primeras 3 facturas	\$ 23,41	A partir de la 4ta factura	\$ 25,90
10 Mbps	Primeras 6 facturas	\$ 27, 89	A partir de la 7ma factura	\$ 29,90
15 Mbps	Primeras	\$ 33,49	A partir de la	\$ 35,00
20 Mbps	12 facturas	\$ 33,49	13va factura	\$ 35,90

*Fuente:* (Flores, 2021).

La compartición que ofrece la empresa para sus clientes es de 2:1 y su disponibilidad del servicio de internet es del 98%, lo que significa que los cortes por servicio son relativamente muy bajos (Flores, 2021).

## 3.2. Diseño de la Red iODN

Para dar inicio al diseño, es preciso indicar que nos basaremos en la arquitectura FTTH, el mismo que constará con la ubicación de los equipos, donde finalmente efectuaremos el presupuesto de atenuación óptica con el objetivo de verificar la calidad del enlace evitando futuros problemas de conexión.

Para verificar que el área de cobertura designada está dentro del rango permitido, nos basaremos en la norma ITU-T G984.1, que define la máxima distancia física para GPON entre la ONT y la OLT, donde esta no deberá ser mayor a los 20 Km. A esta recomendación añade, que si

la distancia máxima no supera los 10 Km puede alcanzar velocidades superiores al 1,25 Gbit/s (ITU-T, 2008). Como se puede observar en la Figura 62, la distancia a la ONT más lejana bordea el 1,45 Km por lo que la distancia medible está dentro del rango de lo permitido.

**Figura 62**

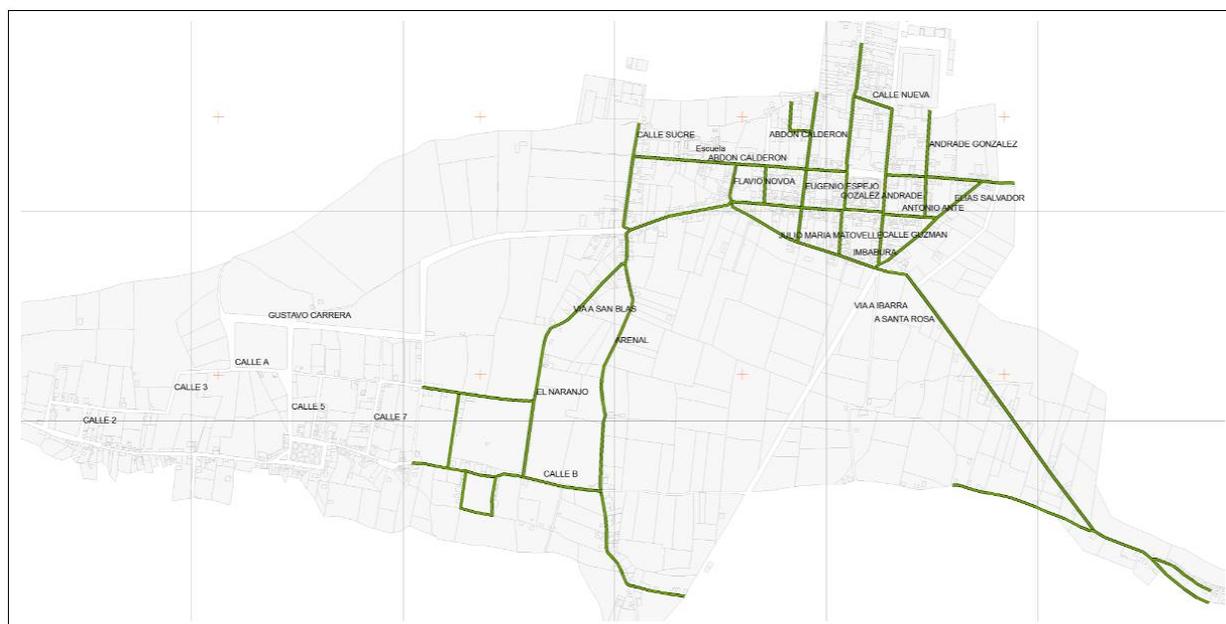
*Distancia máxima entre la OLT y la ONT más lejana*



Fuente: (Google Maps, 2021).

### 3.2.1. Consideraciones Iniciales

La Figura 63 ilustrada a continuación es un plano que contiene la distribución de las calles y las ducterías de la *Red Telefónica* que servirá como guía y referencia al momento de trazar el tendido de fibra óptica. Esto significa un ahorro considerable para la empresa ya que no se instalarán postes o guías por donde tenga que acceder el servicio de fibra. En la sección de los anexos, específicamente en la parte 1 se incluye este plano en mayor medida.

**Figura 63***Red telefónica del cantón Urcuquí**Fuente:* (GADMU, 2021).

### 3.2.1.1. Suscriptores Futuros

Para que la red sea viable a futuro se debe proyectar un incremento poblacional que, según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, la tasa de crecimiento en la provincia de Imbabura está en el 1,62% (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2021). Es importante tomar en cuenta este valor de crecimiento, ya que de acuerdo a los parámetros constructivos de diseño para el tendido óptico se define una esperanza de vida de 20 años, por lo que el presente proyecto deberá ser rentable a largo plazo.

Para elaborar los cálculos de crecimiento se podría tomar como referencia la tasa porcentual correspondiente a la provincia de Imbabura. Para nuestro estudio, nos basaremos en datos más precisos como es la tasa de crecimiento perteneciente a la parroquia de Urcuquí, expuesta a continuación en la Tabla 11.

**Tabla 11**  
*Tasa de crecimiento Anual 2010-2020/Urcuquí*

<b>Parroquia</b>	<b>Hombres</b>	<b>Mujeres</b>	<b>Promedio</b>
Urcuquí	1,37%	1,86%	1,62%

*Fuente:* (INEC, 2021).

El crecimiento poblacional que es el factor a calcular para el análisis de suscriptores futuros, se refiere al número de individuos que han aumentado o disminuido en un determinado periodo. Para dimensionar la Tasa de Crecimiento Poblacional que refleja el número de nacimientos, muertes, migraciones y emigraciones durante un lapso de tiempo, el Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social, en su obra *Guía para la presentación de proyectos*, ha determinado un modelo matemático que se muestra en la Ecuación 8, donde establece este crecimiento en un periodo (n) de tiempo (Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social [ILPES, 1974]).

$$P_n = p_0(1 + i)^n$$

**Ecuación 8.** *Crecimiento Poblacional*

*Fuente:* (ILPES, 1974).

Donde:

$P_n$  = población en el año n

$p_0$  = población inicial

$i$  = tasa de crecimiento

$n$  = número de años

Antes de realizar la proyección de crecimiento de los suscriptores, ilustraremos en el sector a trabajar, la división que se ha realizado para facilitar la distribución de la fibra óptica a los diferentes abonados de la empresa. Específicamente hemos hecho 2 segmentaciones, las mismas que tomaran los nombres de Sector 1 y Sector 2. Lo podemos visualizar en la Figura 64.

**Figura 64**

*División del área de cobertura en 2 sectores*



*Fuente: Autoría*

La Tabla 12 a continuación presenta la proyección del crecimiento en cuanto a los abonados de la empresa a 5 años tomando como referencia inicial el total de abonados que se encuentran expuestos en la Tabla 9. Para este cálculo haremos uso de la Ecuación 8. Crecimiento Poblacional.

**Tabla 12**

*Proyección de crecimiento de los abonados a 5 años*

Sector	Cientes Iniciales	Ecuación	Cientes Futuros
1	125	$P_n = p_0(1 + i)^n$	135
2	145		157
<i>Total, Inicial</i>	<b>270</b>	<i>Total, Final</i>	<b>292</b>

*Fuente: Autoría*

### 3.2.2. Criterios para el diseño de Red

Antes de continuar con los distintos criterios a tomar en cuenta, nos planteamos una pregunta: ¿porque en nuestro diseño de red se trabajará con la tecnología FTTH? Es simple, ya que una de las ventajas que posee este tipo de redes es el aprovechar al máximo en la OLT los puertos GPON ya que la capacidad de descarga es de 2,5 Gbps y de carga es de 1,25 Gbps; y si se empleara un splitter o divisor óptico 1:4 o 1:16, la capacidad se incrementaría considerablemente teniendo 80 Gbps en downstream y 40 Gbps en upstream, es decir, excelentes tasas de transferencia para cada usuario.

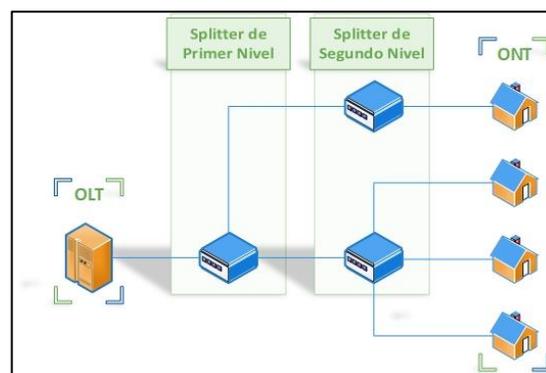
Discrepando con las tecnologías como FTTN, FTTC y FTTB donde las velocidades están muy limitadas, no se consideran técnicas eficaces para el estudio de nuestra red, donde la población es la parte urbana del cantón que crece de manera exponencial no solo en habitantes, sino que se va desarrollando industrialmente por lo que tener una red robusta, eficaz, pero sobre todo con gran capacidad en ancho de banda es la prioridad para el cantón.

#### 3.2.2.1. Selección del modelo de red

Utilizaremos un modelo de arquitectura de red de acceso con topología punto – multipunto tal cual se muestra en la Figura 65, es decir, el sector 1 y 2 en el que se ha dividido la parroquia convergerá en el nodo central que se ubica en la calle Andrade Gonzales y Antonio Ante. Cada hilo de fibra nacerá en este punto y se distribuirá a las ONT por medio de los diferentes splitter.

**Figura 65**

*Topología punto-multipunto*



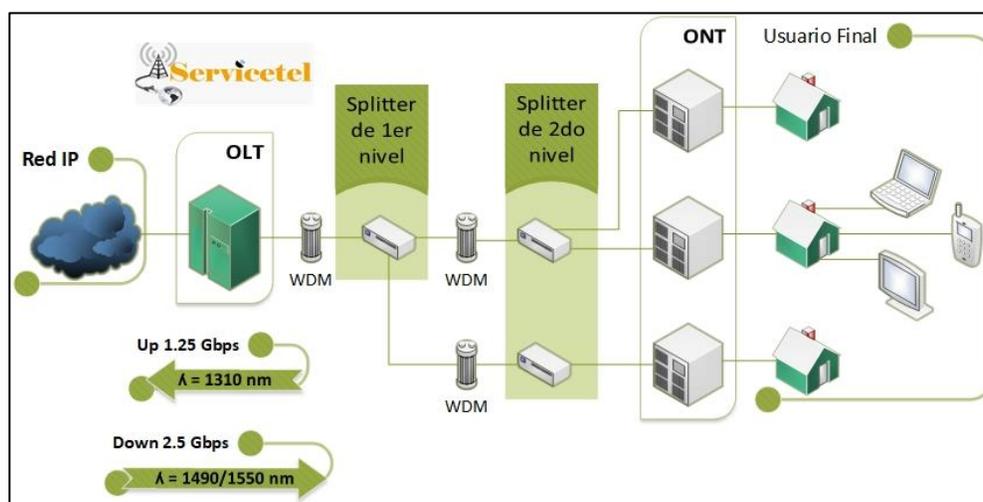
*Fuente: Autoría*

Cada nivel de splitter se considera como un nodo el cual estará conectado por medio del cable de fibra óptica de 8 hilos, que es la fibra que emplearemos en nuestro diseño. En este trayecto se incluirán varias mangas de empalme que permitirán alojar a las fusiones de fibra; en nuestro caso será la fusión entre la fibra de 8 hilos con la fibra de 2 hilos que se conectará con el cliente.

En la Figura 66 podemos apreciar un modelo básico que será la topología GPON para SERVICETEL en la parroquia Urcuquí. El splitter de primer nivel se ubicará lo más cerca al cuarto de telecomunicaciones y el splitter de segundo nivel tendrá una ubicación, donde sus distancias serán las mínimas para cada usuario. Además, las longitudes de onda que viajan por medio de la fibra tales son para: *upstream* con capacidad de hasta 1,25 Gbps con una longitud de onda de 1310 nm dedicadas para voz/datos y para *downstream* con capacidad de hasta 2,5 Gbps con longitudes de onda de 1490 nm dedicadas para voz/datos y 1550 nm dedicada para video, son separadas a través de los diferentes multiplexores tal como lo recomienda la ITU-T G984.1 en su configuración de referencia. *Es importante destacar que el gerente de la empresa SERVICETEL nos pidió incluir en el estudio de red, la longitud de onda 1550 nm dedicada para video para futuros requisitos.*

**Figura 66**

*Topología básica GPON*



*Fuente:* Autoría

### 3.2.2.2. Selección de los divisores ópticos

Antes de seguir con la determinación de la selección de los divisores ópticos, vamos a describir de forma breve los valores de atenuación en la fibra óptica. Este valor en un diseño de red es importante tomar en cuenta, sobre todo por los equipos y/o conectores empleados. En la recomendación ITU-T G.984.2, se especifica distintas clases de atenuación en el trayecto óptico, por lo que más adelante se analizará a fondo el valor de la atenuación en el recorrido de nuestra red. A continuación, se expone en la Tabla 13 un cuadro con las clases de pérdidas existentes.

**Tabla 13**  
*Clases de pérdidas en el trayecto óptico*

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

*Fuente:* (ITU-T, 2019).

Para esto utilizaremos dos niveles de splitter y el primero será a razón de 1:4 y el segundo a razón de 1:16, juntamente con equipos que cumplan con las características de atenuación clase B, ya que es la más empleada por los fabricantes. Es importante dejar en claro por qué el uso de dos niveles de splitter. Primeramente, pertenecen a la configuración de los divisores ópticos distribuidos, los mismos que poseen varias ventajas como ser ideales para zonas donde la exigencia de los servicios triple play es alta, es decir, se puede atender de manera rápida la exigencia de los clientes que necesitan acceder a nuevos servicios con altos requerimientos de banda ancha.

La Normativa de Diseño ODN, recomienda que todos los splitter manejen una división de primer nivel 1:4 y de segundo nivel 1:16. Es por ello que emplearemos divisores ópticos que manejen un rango promedio de atenuación de 17,5 dB perteneciente a la clase B. Intentar trabajar

con divisores de 1:64 o 1:128, implicaría tener rangos de atenuación más elevados, comprometiendo de esta forma al cálculo de presupuesto de atenuación óptica.

### 3.2.2.3. Selección de la fibra óptica

La fibra monomodo será la fibra a ser utilizada. Esta fibra posee una serie de ventajas a diferencia de la fibra multimodo, ya que permite cubrir redes de media y larga distancia con altas tasas de transmisión de datos.

Otro factor a considerar en la elección radica en el valor de atenuación ya antes explicada, donde las fibras monomodo poseen un menor índice de atenuación permitiendo que la transmisión de los datos sea eficiente. Además, esta fibra a diferencia del multimodo tiene menor dispersión modal debido a que sólo viaja un pulso de luz a la vez. En la Tabla 14 se muestra las distintas capacidades que tiene cada cable de acuerdo al tipo de red.

**Tabla 14**  
*Capacidad y tipo de cables de fibra*

<b>Tipo de red</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Tipo de fibra</b>
Troncal o feeder	4, 8, 16, 24 y 48 hilos	<u>ADSS</u> <sup>26</sup> (G.652.D)
Distribución	4, 8, 16 y 24 hilos	
Dispersión	2 hilos	ADSS (G.657.A1)

*Fuente:* (Quisnancela, 2016).

<sup>26</sup> **ADSS** (*All-dielectric self-supporting*) o el cable de soporte totalmente dieléctrico es el tipo de fibra óptica suficientemente fuerte como para sostenerse entre estructuras sin usar elementos metálicos conductores.

❖ *Fibra monomodo G.652.D*

En la **Tabla 15** se muestran las características más relevantes de esta fibra de acuerdo a la referencia ITU-T G.652.

**Tabla 15**  
*Atributo de la fibra G.652.D*

Atributo	Dato	Valor
	Longitud de onda	1310 nm
Diámetro del campo modal	Valores nominales	8,6 – 9,5 $\mu m$
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu m$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 $\mu m$
	Tolerancia	$\pm 1 \mu m$
Error de concentricidad del núcleo		0,6 $\mu m$
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0 %
Longitud de onda de corte del cable		1260 nm
	Radio	30 nm
Pérdida de macroflexión	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0,1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
	$\lambda_{0min}$	1300 nm
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0max}$	1324 nm
	$S_{0max}$	$0,092 \frac{ps}{nm^2} \times Km$
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 nm a 1625 nm	$0,4 \frac{dB}{Km}$
	Máximo a 1550 nm	$0,3 \frac{dB}{Km}$

Fuente: (ITU-T, 2016).

❖ *Fibra monomodo G.657.A1*

En la Tabla 16 se muestra las características más relevantes de esta fibra de acuerdo a la referencia ITU-T G.657.

**Tabla 16**  
*Atributo de la fibra G.657.A1*

Atributo	Dato	Valor
	Longitud de onda	1310 nm
Diámetro del campo modal	Valores nominales	8,6 – 9,5 $\mu m$
	Tolerancia	$\pm 0,4 \mu m$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 $\mu m$
	Tolerancia	$\pm 0,7 \mu m$
Error de concentricidad del núcleo		0,5 $\mu m$
No circularidad del revestimiento	Máximo	1,0 %
Longitud de onda de corte del cable		1260 nm
	Radio	15 nm
Pérdida de macroflexión	Número de vueltas	10
	Máximo a 1550 nm	0,25 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 GPa
	$\lambda_{0min}$	1300 nm
Coeficiente de dispersión cromática	$\lambda_{0max}$	1324 nm
	$S_{0max}$	$0,092 \frac{ps}{nm^2} \times Km$
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 nm a 1625 nm	$0,4 \frac{dB}{Km}$
	Máximo a 1550 nm	$0,3 \frac{dB}{Km}$

Fuente: (ITU-T\_1, 2016).

### 3.2.2.4. Presupuesto óptico y de pérdidas en la red FTTH

Realizar este tipo de cálculos tiene un objetivo definido, dimensionar al cliente más lejano, esto es que la potencia con la que se transmite la información no se pierda y llegue a su destino tal cual se la transmitió. Es importante manejar las pérdidas de potencia que se presentan al momento de realizar el diseño de red, ya que según la recomendación ITU-T G. 984.2 especifica que el presupuesto óptico de pérdidas calculadas deberá ser inferior al presupuesto óptico que se establece al momento del diseño. En la Ecuación 9 se indica el cálculo para el presupuesto óptico establecido.

$$POE \geq \text{Potencia máxima de Tx de la OLT} - \text{Sensibilidad del Rx}$$

**Ecuación 9.** *POE (Presupuesto Óptico Establecido)*

*Fuente:* (ITU-T, 2019).

Para esto es necesario conocer los valores de atenuación presentes tanto en la OLT como en la ONT. En la Tabla 17 se exponen los valores de los niveles de potencia óptica:

**Tabla 17**

*Niveles de potencia óptica para la OLT y ONT*

Valores Típicos	OLT (dBm)	ONT (dBm)
Potencia máxima de Tx	+5	+5
Potencia mínima de Tx	+1,5	+0,5
Sensibilidad mínima de Rx	-28	-27

*Fuente:* (ITU-T, 2019).

Con base a los datos descritos procedemos a determinar el presupuesto establecido:

$$POE \geq \text{Potencia máxima de Tx de la OLT} - \text{Sensibilidad del Rx}$$

$$POE \geq 5 \text{ dB} - (-27 \text{ dB})$$

$$POE \geq 5 \text{ dB} + 27 \text{ dB}$$

$$POE \geq 32 \text{ dB}$$

Como se puede evidenciar, el valor del POE es de 32 dB. Una vez determinado este dato óptico establecido, calcularemos el presupuesto óptico de pérdidas, para esto analizamos los factores que se presentan normalmente en todos los elementos de la red.

#### ❖ *Atenuación por distancia*

El único factor a considerar en este tipo de atenuación es la longitud de onda, el tipo y la calidad de la fibra óptica G.652.D que es la fibra que utilizaremos para nuestro diseño. Anteriormente hemos visto los distintos valores de longitud de onda tanto para el canal descendente como para el ascendente en (*voz – datos – video*), entre los que tenemos 1310 nm, 1490 nm y 1550 nm. Hoy en día es común trabajar con la longitud de 1310 nm, ya que las pérdidas y dispersiones son relativamente bajas. El trabajar a 1550 nm es beneficioso si se desea evitar el uso de repetidores, la desventaja radica en cuanto a costos ya que estos aumentan en forma directamente proporcional a la longitud de onda. La Tabla 18 muestra el rango de atenuaciones para las longitudes de 1310 nm y 1550 nm.

**Tabla 18**  
*Rango de atenuaciones en 1310 nm y 1550 nm*

<b>Enlace óptico</b>		<b>dB mínimo</b>	<b>dB promedio</b>	<b>dB máximo</b>
		<i>Condiciones óptimas</i>	<i>Condiciones Normales</i>	<i>Condiciones deficientes</i>
	Atenuación dB/Km	0,3	0,38	0,5
Longitud de Onda de 1310 nm	Atenuación Conector óptico	0,4	0,6	0,9
	Atenuación Empalme	0,02	0,1	0,2
Longitud de Onda de 1550 nm	Atenuación dB/Km	0,17	0,22	0,4

Atenuación Conector óptico	0,2	0,35	0,7
Atenuación Empalme	0,01	0,05	0,1

Fuente: (Cisco, 2005).

Como valores adicionales a considerar en el cálculo de la atenuación máxima, se tiene el *Margen del Sistema* que no es más que los *cables de conexión, curvas de los cables, eventos de atenuación impredecibles, etc.*, con un valor estimado de 3 dB y la *FEC (forward error correction)* o la corrección de errores en recepción, con 2 dB de atenuación.

Según lo especificado y tomando como referencia los valores si se presentara un diseño de red en las peores condiciones, las atenuaciones a considerar descritas en la Tabla 19 son:

**Tabla 19**  
*Valores de atenuación por distancia*

Longitud de onda	Atenuación por distancia	
	Cliente más cercano	Cliente más lejano
1310/1490 nm	$0,05 \text{ Km} \times 0,5 \text{ dB/Km}$	$2 \text{ Km} \times 0,5 \text{ dB/Km}$
	= 0,025 dB	= 1 dB
1550 nm	$0,05 \text{ Km} \times 0,4 \text{ dB/Km}$	$2 \text{ Km} \times 0,4 \text{ dB/Km}$
	= 0,02 dB	= 0,8 dB

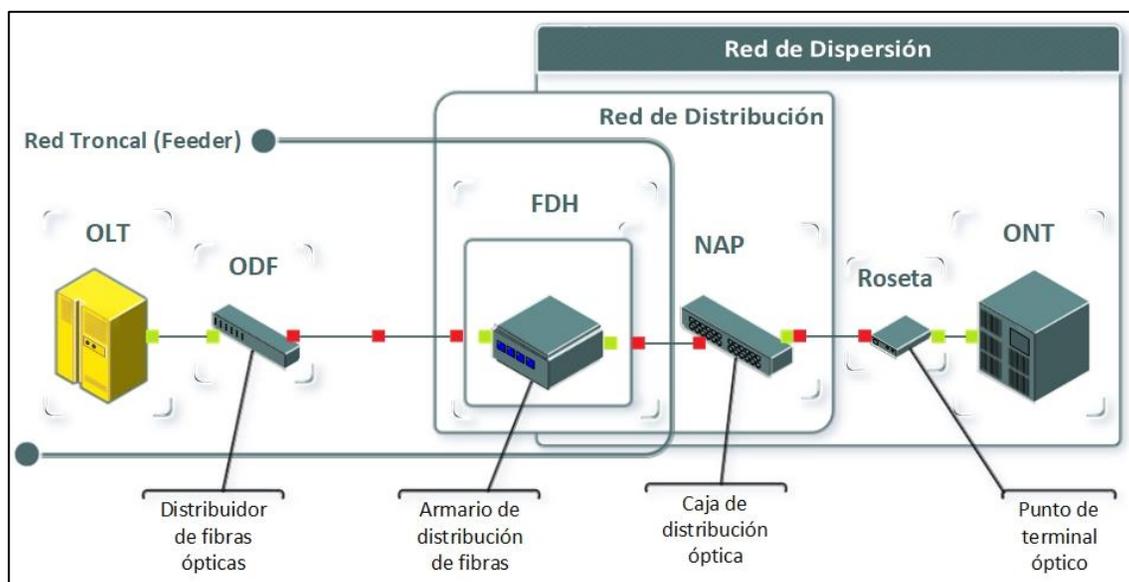
Fuente: Autoría

#### ❖ *Atenuación en los conectores y los empalmes*

En la recomendación ITU-T G.984.2 y la Normativa de Diseño ONT se establece que las pérdidas por atenuación en cada *conector* tienen un valor típico de 0,5 dB y las pérdidas por *empalme* tiene un valor típico de 0,15 dB. Estos valores se designan de manera general e independientemente del tipo de fibra a utilizar.

**Figura 67**

*Conectores y Empalmes de red en GPON*



*Fuente: Autoría*

Según la Figura 67, el número de conectores y empalmes empleados son 7, por lo tanto, las atenuaciones totales son:

$$\text{conectores} = 7 \times 0,5 \text{ dB} = 3,5 \text{ dB}$$

$$\text{empalmes} = 7 \times 0,15 \text{ dB} = 1,05 \text{ dB}$$

#### ❖ *Atenuación en los divisores ópticos (splitter)*

Según la recomendación ITU-T G.651, se establecen diferentes valores de atenuación para cada tipo de splitter. En nuestro caso emplearemos la división de primer nivel 1:4 y de segundo nivel 1:16, el cual establece 17,5 dB de atenuación, tomando como referencia el peor de los escenarios con el fin de garantizar un presupuesto óptimo.

Un valor muy importante a tomar en cuenta dentro del diseño es el *Margen de Respaldo*. Dentro de la Normativa Técnica de Quisnancela esta atenuación se especifica como necesaria estableciendo un valor total de 3 dB. Se sugiere que se tome en cuenta este margen debido a la

existencia de parámetros independientemente de los antes vistos que afectan al óptimo desempeño de la red, tales son el envejecimiento de los conectores y las variaciones de los parámetros de transmisión debido a los factores ambientales (Quisnancela, 2016).

Una vez establecido todos los valores de atenuación, finalmente veremos la que se presenta a lo largo del tendido de fibra óptica.

$$A_t = A_d + A_c + A_e + A_s + M_r$$

**Ecuación 10.** *Atenuación Total*

*Fuente:* (Quisnancela, 2016).

Donde:

$A_t$  = *atenuación total*

$A_d$  = *atenuación por distancia*

$A_c$  = *atenuación por conectores*

$A_e$  = *atenuación por empalmes*

$A_s$  = *atenuación por splitter*

$M_r$  =  *margen de respaldo*

En base a los datos determinados y reemplazando en la Ecuación 10. Atenuación Total, calcularemos los valores de la atenuación total por cada longitud de onda establecida.

**Tabla 20**

*Valores de la Atenuación Total*

Longitud de onda	Atenuación Total	
	<i>Cliente más cercano</i>	<i>Cliente más lejano</i>
1310/1490 nm	0,025 + 3,5 + 1,05 + 17,5 + 3	1 + 3,5 + 1,05 + 17,5 + 3

---

	$= 25,075 \text{ dB}$	$= 26,05 \text{ dB}$
1550 nm	$0,02 + 3,5 + 1,05 + 17,5 + 3$	$0,8 + 3,5 + 1,05 + 17,5 + 3$
	$= 25,07 \text{ dB}$	$= 25,85 \text{ dB}$

---

*Fuente:* Autoría

El rango de atenuación óptico de pérdidas está entre los 25 y 27 dB muy inferior a los 32 dB que es el valor de atenuación previamente establecido. Con esto concluimos que la atenuación de nuestra red es óptima por lo que continuaremos con el diseño.

### 3.2.2.5. Distancia máxima de la red óptica

Un factor importante a tomar en cuenta es el cálculo de la distancia máxima considerando todos los valores de atenuación antes descritos, ya que con esto se determinará si la distancia calculada está dentro del rango que nuestro diseño requiere. El objetivo es simple conseguir el enlace con los mínimos de atenuación sin sobrepasar el presupuesto de óptico. Para ello se utilizará la Ecuación 11 que permite medir la longitud máxima posible.

$$D_{max} = \frac{POE - A_c - A_e - A_s - M_r}{\text{Atenuación fibra/Km}}$$

**Ecuación 11.** *Distancia Máxima*

*Fuente:* (García, 2012).

Reemplazando todos los valores, el resultado de nuestra distancia máxima es:

$$D_{max} = \frac{32 \text{ dB} - 3,5 \text{ dB} - 1,05 \text{ dB} - 17,5 \text{ dB} - 3 \text{ dB}}{0,4 \text{ km/dB}}$$

$$D_{max} = 17,375 \text{ Km}$$

Ya que el cliente más lejano se encuentra a 1,45 Km y la distancia máxima determinada es de 17,375 Km se justifican los valores de atenuación previamente establecidos sin que el presupuesto exceda el límite calculado.

### **3.2.3. Esquema iODN**

Hoy en día el avance tecnológico ha hecho que muchos de los limitantes que hace unos años existía se hayan solucionado de manera eficaz y oportuna, tal es el caso del rastreo satelital el mismo que ha sido posible gracias a los múltiples satélites que orbitan nuestro planeta, además del trabajo conjunto de las grandes empresas como Google y Microsoft han dado paso al surgimiento de los mapas digitales de todo el planeta tanto en 2D como en 3D con una precisión del 99,99 % en los trazos topográficos. Este trabajo titánico ha facilitado enormemente cuando buscar un lugar de cualquier rincón del planeta se trata, obteniendo la ubicación de las calles y puntos estratégicos en cuestión de segundos. Estas aplicaciones han hecho que los programas de diseño como es el caso del AutoCAD queden como un software suplente al momento de consultar la ubicación de cualquier punto requerido.

Por este motivo y para nuestro diseño haremos uso del software conocido como Google Maps, que nos facilitará en gran manera el acceso a ciertas zonas difíciles si tuviéramos que realizarlo personalmente. Este programa arroja todas las distancias necesarias para nuestro diseño de forma precisa, razón por la cual se pudo determinar que el usuario más lejano se localiza a 1,45 Km del Nodo Central de la parroquia Urcuquí.

Una vez determinado el número de usuarios y todos los valores necesarios para la red, procedemos a realizar el diseño basado en las recomendaciones ITU-T y en la Norma Técnica para el diseño de planta externa con fibra óptica (Gerencia de Ingeniería CNT [GI], 2012).

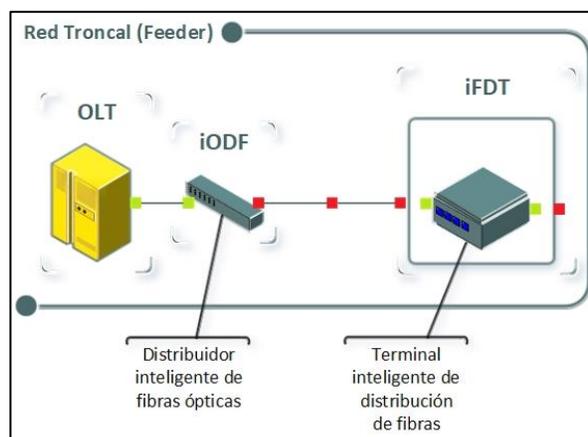
El diagrama de red en el cual basaremos nuestro diseño, se la detalla en la Figura 67, ya que este esquema cumple con todos los requisitos de las normativas GPON y consta dentro de la Normativa Técnica de Diseño de planta externa con Fibra Óptica. Finalmente, y antes de pasar al diseño, haremos un listado de todos los requerimientos para la elaboración de la red iODN.

- *Suscriptores Actuales = 270*
- *Suscriptores Futuros = 292*
- *Velocidad Máxima y Mínima de Transmisión = (2,488/1,244) Gbps*
- *Atenuación Máxima y Mínima del enlace óptico = (32/26,05) dB*
- *Distancia Máxima y Mínima del enlace óptico = (17,375/0,4) Km*
- *Red Troncal = por canalización*
- *Red de Distribución = aérea*
- *Red de Dispersión = aérea*

### **3.2.3.1. Red Troncal o Feeder**

La red troncal o feeder es la sección o tramo que inicia en la OLT y finaliza en la iFDT para el caso de una red iODN. En la sección 2.6.3 habíamos tratado sobre los componentes de una iODN, así como las características de cada elemento. En el caso de una ODN este tramo finalizaría en el Armario de Distribución de Fibra FDH, tal cual se muestra en la Figura 68.

Las diferencias en cuanto a las características de los equipos entre una red y otra, radican puntualmente en la parte autónoma, es decir, que son del tipo inteligente. Por ejemplo, la iODF una vez insertada la fibra, analiza y registra automáticamente los niveles de señal emitidos por la red con el fin de mantener la estabilidad del sistema, lo que una ODF se limita únicamente a organizar los hilos de fibra óptica (Huawei, 2014).

**Figura 68***Red Troncal o Feeder**Fuente: Autoría*

Al ser esta una red primaria, la comunicación deberá ser realizada en su totalidad por canalización tal como lo especifica la normativa de diseño ODN para fibra óptica. Para este caso utilizaremos la canalización ya implementada por parte de la red de telefonía fija y se realizará una proyección en los tramos donde falten los canales. En la Figura 69 se muestra la red feeder, la cual se representa con líneas de color verde.

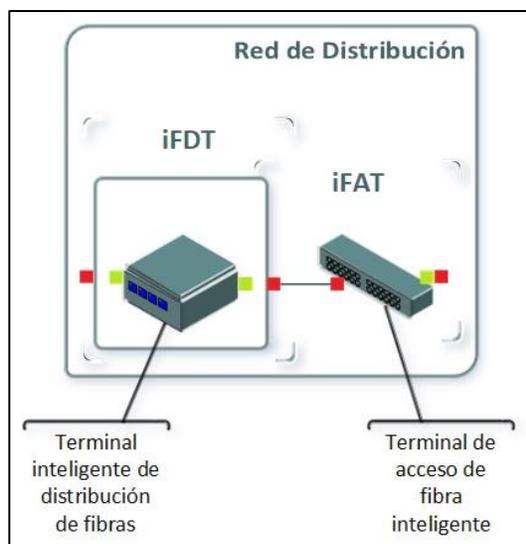
**Figura 69***Red Troncal o Feeder**Fuente: Autoría*

### 3.2.3.2. Red de Distribución

Esta sección de red que es la parte intermedia entre la red feeder y la red de dispersión, está compuesta por la terminal inteligente de distribución de fibras iFDT, los splitter y la terminal de acceso de fibra inteligente iFAT, tal como se muestra en la Figura 70 (Huawei, 2014).

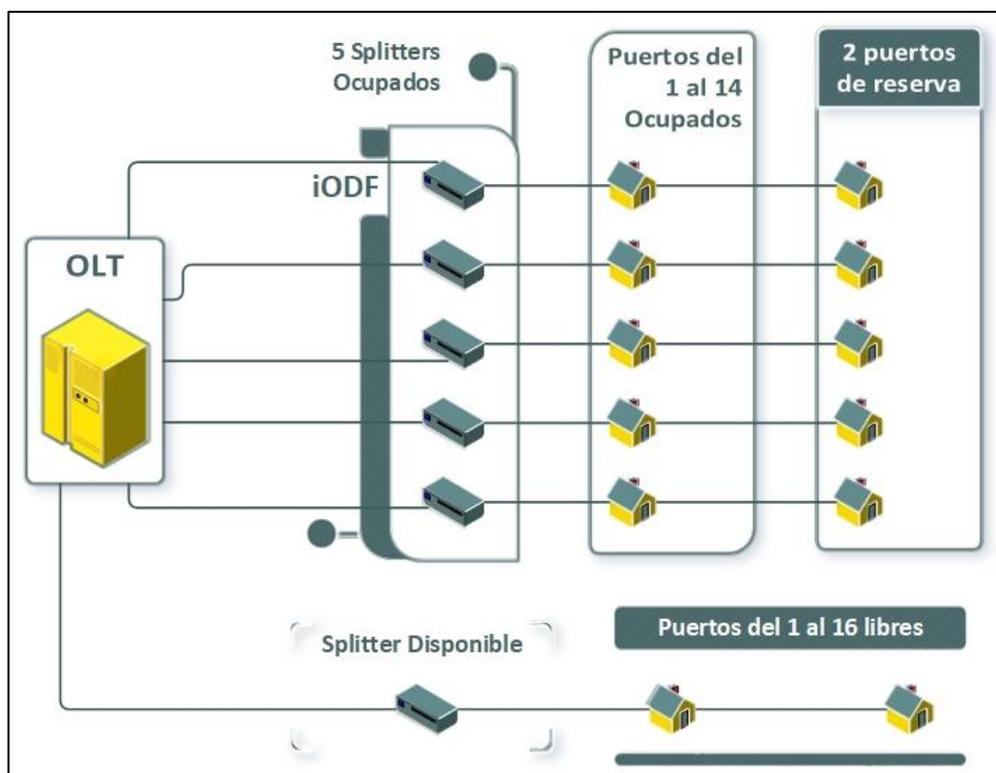
**Figura 70**

*Red de Distribución*



*Fuente: Autoría*

Como se indicó en la sección anterior la iFDT (Terminal inteligente de distribución de fibras) en una ODN vendría a ser el equivalente de una FDH, esta a su vez, puede contener hasta un máximo de 8 splitter o divisores ópticos (Huawei, 2014).

**Figura 71***Distribución de los Splitter en la iFDT**Fuente: Autoría*

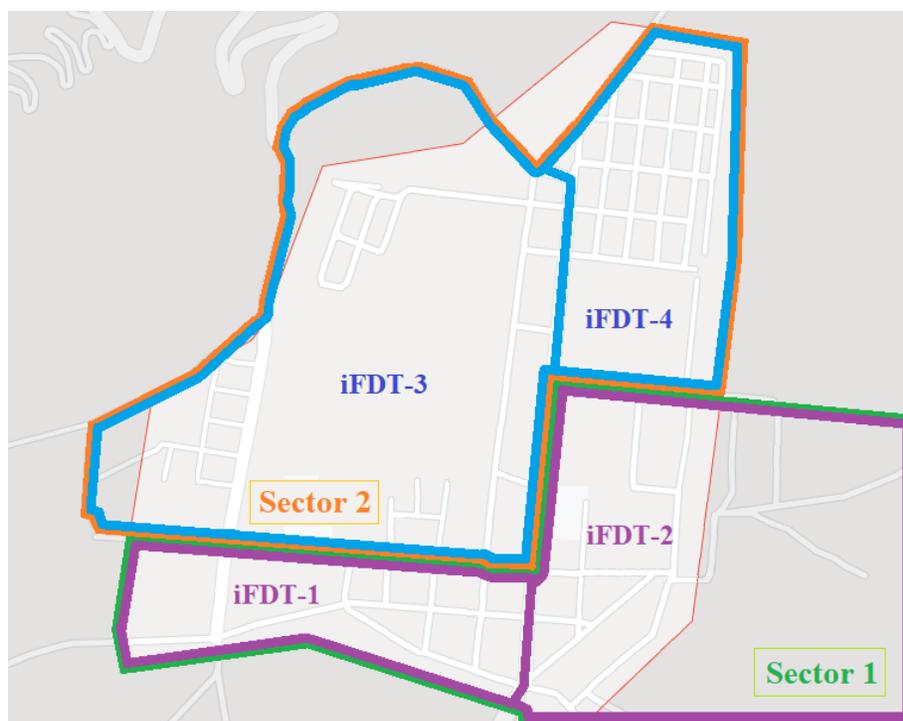
En la Figura 71 podemos ver que, en el terminal inteligente de distribución de fibras iFDT tenemos 5 divisores; en cambio, en el segundo nivel 1:16 realizando una sencilla operación matemática, teóricamente se puede soportar hasta 64 abonados por splitter, pero llevar a la práctica dicho soporte sería irreal ya que se necesita dejar reservas para futuros clientes potenciales. Es importante la reserva de este espacio ya que al aumentar la demanda y al no tener disponibilidad, tendríamos dos opciones: diseñar una nueva red o modificar la red existente juntamente con los inconvenientes que esto conlleva, como, por ejemplo, que la red presente problemas de conexión incluso con el riesgo de perder toda comunicación. Para evitar esta serie de dificultades dejaremos como reserva un splitter, además de utilizar solo 14 de los 16 hilos disponibles por cada divisor

óptico. De esta manera tenemos servicio utilizable para 56 usuarios, es decir, 4 divisores por 14 hilos de fibra y los 8 puertos restantes quedan como reservar para futuros clientes.

Para la ubicación de los armarios ópticos se ha dividido en 2 partes a cada sector ya establecido, como se ha descrito en la sección 3.2.1.1, teniendo de esta forma la siguiente distribución: **Zona 1:** iFDT-1; iFDT-2 y **Zona 2:** iFDT-3; iFDT-4. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la ubicación de los diferentes terminales inteligentes por cada una de las zonas.

**Figura 72**

*Ubicación de las iFDT por cada zona*



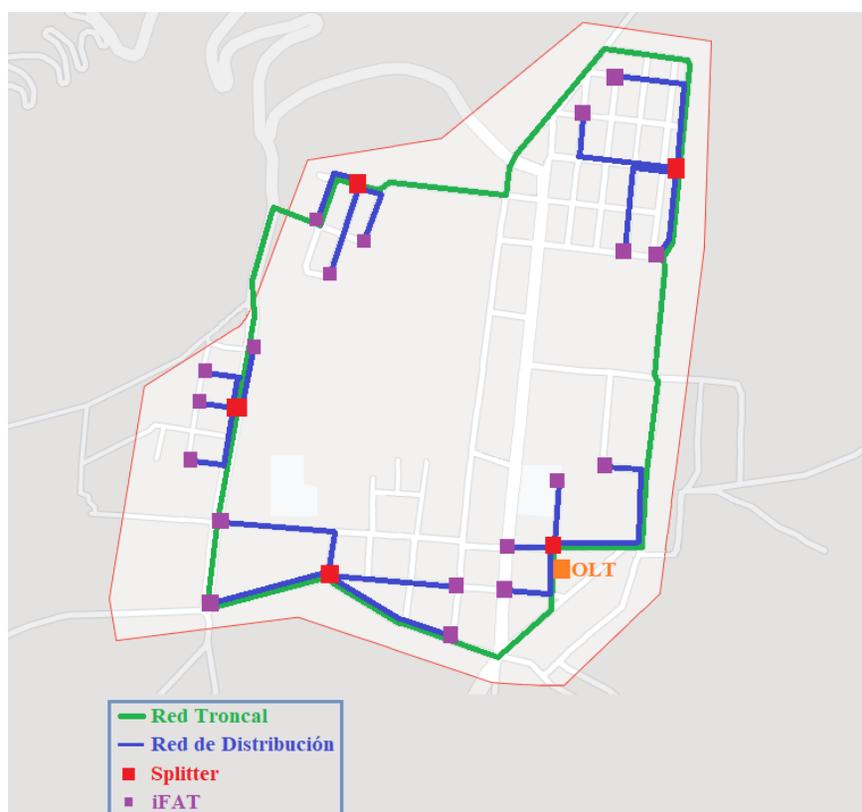
*Fuente:* Autoría

La conexión del cable de fibra óptica entre la red troncal que se dispone por medio de la canalización existente y la red de distribución que se guiará a través del tendido aéreo, se lo realiza por las subidas a poste (*tramos de canalización de dos vías*) que a su vez llega hasta el poste más cercano donde se da inicio al tendido aéreo.

En la siguiente Figura 73 podemos observar la conexión entre la red troncal (*líneas gruesas de color verde*) y la red de distribución (*líneas delgadas de color azul*). En cuanto al diseño de la red de distribución se utilizó 5 cajas iFAT (*en una ODN vendrían hacer las NAP*) al momento de realizar la división del cable de fibra.

**Figura 73**

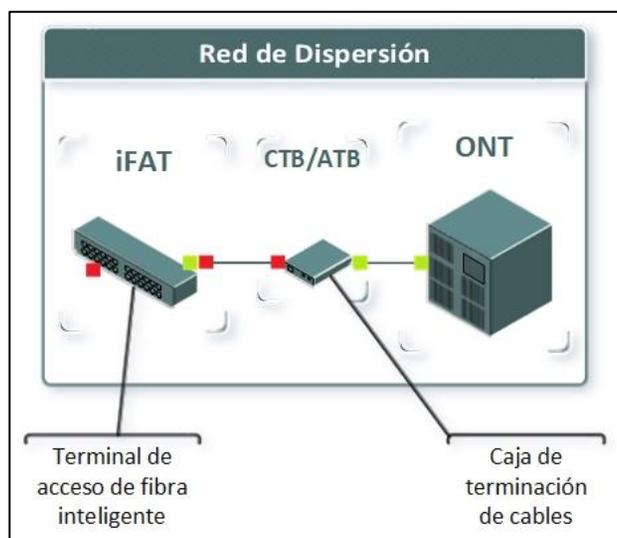
*Red de Distribución*



*Fuente: Autoría*

### 3.2.3.3. Red de Dispersión

Finalmente tenemos el último tramo de nuestra iODN conocida como red de dispersión. Esta sección inicia con el terminal de acceso de fibra inteligente iFAT que para una ODN sería la caja de distribución óptica NAP finalizando con la terminal de red óptica ONT, tal cual se muestra en la Figura 74.

**Figura 74***Red de Dispersión**Fuente: Autoría*

Para el caso de la roseta que es el punto de terminación de la red óptica, el equivalente en nuestra red inteligente sería la CTB/ATB o caja de terminación de cables. La diferencia entre ambos radica puntualmente en la protección hermética que brinda la CTB a la fibra para que esta no se corra con el paso del tiempo. Este tramo final que viene hacer la red de acometida para cada abonado, posee distintas formas de instalación acorde a la necesidad del usuario y como nuestro diseño abarca un número significativo de usuarios, ilustraremos de manera general la distribución de las iFAT de acuerdo a cada splitter.

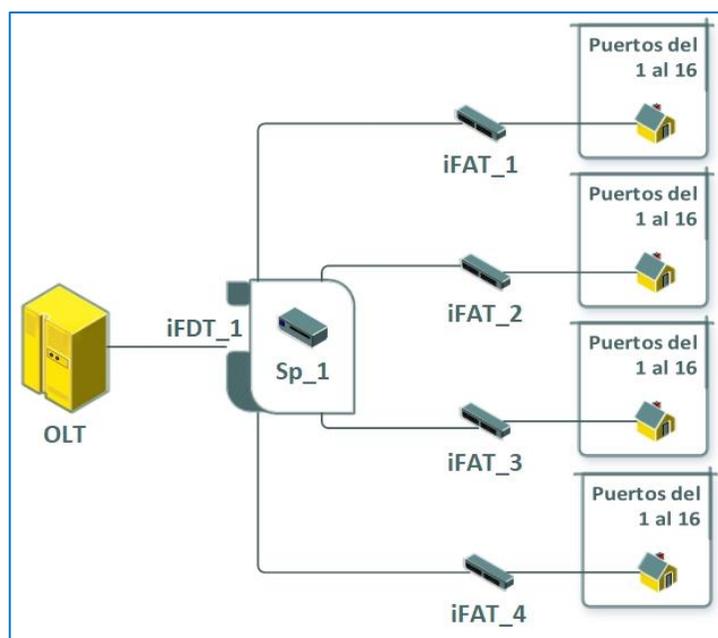
La iFAT abarca un número máximo de 16 puertos, esto es que cada terminal de acceso puede contener hasta 16 usuarios. Es importante destacar que este punto donde se unen la red de distribución con la red de dispersión, sirve además para labores de operación y mantenimiento. Según la Normativa del Diseño para fibra óptica, recomienda que la distancia entre la iFAT y la acometida para cada abonado debe ser igual o menor a los 300 metros de distancia (Huawei, 2014).

Además, es indispensable establecer el número de iFDT, iFAT y las subidas a poste de acuerdo a los datos generados sobre la proyección a futuro de los usuarios. En el caso de los terminales de acceso de fibra inteligente iFAT, se dejará 2 puertos de reserva como backup para futuros abonados y como cada terminal inteligente de distribución de fibras iFDT puede abarcar hasta 5 iFAT, se puede abastecer a un grupo de 56 abonados teniendo 8 puertos disponibles.

Ahora vamos a determinar la distribución de cada terminal de acceso y como estas se distribuyen a cada Zona tal como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Cada terminal de distribución iFDT contiene 4 iFAT, estos a su vez serán distribuidos en los 5 splitter, los mismos que se dispondrán 14 de los 16 puertos existentes. La siguiente figura muestra de forma detalla la distribución de las iFAT por cada puerto del splitter (Huawei, 2014).

**Figura 75**

*Distribución de las iFAT*



*Fuente: Autoría*

Esta misma distribución se repite en los 5 splitters habilitados para un iFDT, cada iFAT contiene 14 de los 16 puertos habilitados, ya que 2 son puertos de reserva.

### 3.2.3.4. Recorrido de la Fibra Óptica

Como se indicó anteriormente el objetivo del diseño es llegar con fibra directamente hasta el usuario. El tendido de la fibra partirá desde el cuarto de telecomunicaciones hasta los diferentes armarios de distribución. Antes de que la fibra óptica parta desde los diferentes armarios de distribución hasta la ONT del usuario final, ya se habrán realizado los dos niveles de splitteo.

Desde el armario de distribución principal saldrá el cable de 8 hilos, de los cuales se emplearán 5 y los 3 restantes quedarán de respaldo. El primer nivel de splitteo, de 1:4, tendrá lugar cerca al cuarto de telecomunicaciones. Se empleará la técnica conocida como sangrado de la fibra, es decir, en un determinado armario se utilizarán 2 hilos de fibra, el primero conectado al splitter de primer nivel, y el segundo de respaldo o backup, el resto de hilos continuarán el trayecto hasta el siguiente armario de distribución o nodo. Por lo tanto, este proceso inicial se replicará 8 veces para cada uno de los iFDT (GI, 2012).

Para el segundo nivel de splitteo se volverá hacer el mismo proceso, es decir, de cada una de las 4 salidas del splitter de primer nivel, partirán 2 hilos (uno principal y uno de respaldo) y se conectarán al splitter de segundo nivel, que será 1:16.

De esta manera se logra que a cada puerto activo de la OLT se conecten 64 clientes. Por lo que, para cubrir a todos los clientes y futuros potenciales, se necesitarían 5 puertos GPON, de acuerdo a la Ecuación 12, expuesta a continuación (GI, 2012).

$$\# \text{ Puertos GPON} = 292 \text{ Clientes} \times \frac{1 \text{ Puerto}}{64 \text{ Clientes}}$$

**Ecuación 12.** Número de puertos GPON solicitados

*Fuente:* (GI, 2012)

$$\# \text{ puertos GPON} = 5$$

A modo de síntesis, la red iODN tendrá 5 nodos principales. Para las conexiones internas, tanto del lado del operador como del abonado, se utilizarán cables de fibra óptica que cumplan con el estándar G.657B. Para la red de última milla se emplearán cables de fibra óptica monomodo de 2 hilos, siempre con el concepto de backup, cuya longitud variara entre el nodo y el usuario final.

#### **3.2.3.5. Estudio de la Distancias**

Para realizar el análisis de las distancias del recorrido de fibra, nos ayudaremos de los planos facilitados por el GAD Municipal de San Miguel de Urcuquí y de la herramienta Google Maps para calcular las distancias requeridas.

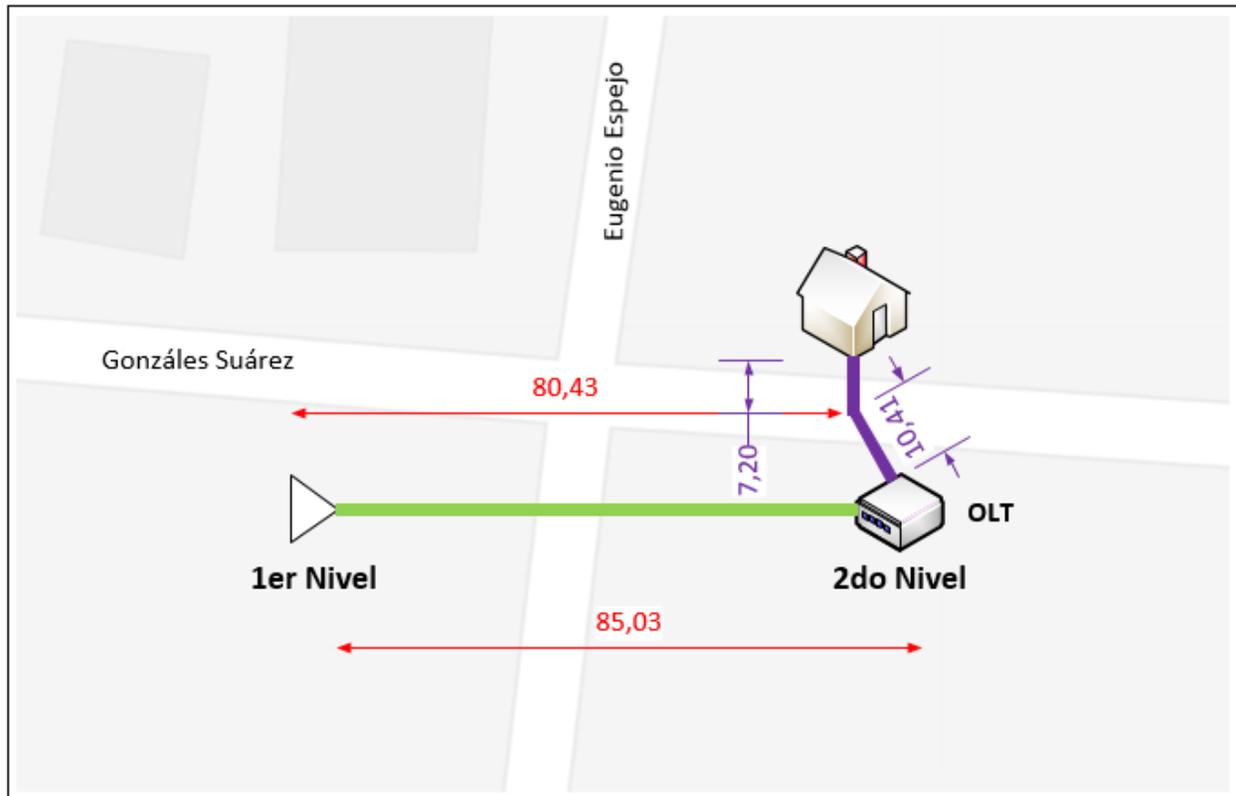
Es importante apoyarse de estos planos para lograr en si un aproximado de lo más cercano a lo presente en el análisis de nuestros cálculos.

Para lo que es el tendido de fibra se establecerá 10 metros como backup en las mangas en la ubicación de cada splitter, con el objetivo de tener a disposición la puesta de nuevos empalmes.

En la Figura 76 se muestra el cálculo de las distancias para el abonado más cercano en la Zona 1.

**Figura 76**

*Abonado más cercano en la Zona 1*



*Fuente:* Autoría

En la Figura 77 se muestra el cálculo de las distancias para el abonado más lejano en la Zona 1.

**Figura 77**

*Abonado más lejano en la Zona 1*



*Fuente: Autoría*

En la Figura 78 se muestra el cálculo de las distancias para el abonado más cercano en la Zona 2.

**Figura 78**

*Abonado más cercano en la Zona 2*



*Fuente:* Autoría

En la Figura 79 se muestra el cálculo de las distancias para el abonado más lejano en la Zona 2.

**Figura 79**

*Abonado más lejano en la Zona 2*



*Fuente: Autoría*

En la Tabla 21 a continuación resumimos las distancias calculadas por cada abonado lejano y cercano de las dos zonas establecidas.

**Tabla 21**  
*Abonado lejano y cercano por Zona*

<i>Zona</i>	<i>Abonado más cercano</i>	<i>Abonado más lejano</i>
1	183.07 m	1265.03 m
2	239.96 m	1120.48 m

*Fuente:* Autoría

❖ ***Enlace OLT – iODF***

Para el enlace entre los puertos del iODF y los puertos GPON de la OLT se utilizarán 5 cables de fibra G.657B de 1 metro de longitud.

❖ ***Red troncal***

En el boceto se considera como red troncal a la ruta de fibra óptica que parte desde el armario de distribución principal, ubicado en el nodo central, donde se conecta a los nodos principales. La fibra óptica seleccionada será la G.652D. Se emplearán 4 cables, 2 por zona, de 8 hilos cada uno, con lo que se tiene un hilo de respaldo para cada conexión, en caso de que uno de los hilos sufra algún daño.

• ***Cantidad de fibra requerida en la red troncal***

En la Tabla 23 se muestra la cantidad de fibra que se necesita para la red troncal en cada una de las zonas. Se utilizará sangrado de fibra para cada uno de los 4 cables, adicionalmente en cada armario donde se ubique un Splitter se dejará una reserva de 10 metros de cable.

**Tabla 22**  
*Hilos de fibra a utilizarse por cada Zona*

<i>Zona</i>	<i>Cantidad de hilos</i>	<i>Cantidad de puertos en el armario de distribución</i>	<i>Cantidad de hilos utilizados</i>
<b>1</b>	8	1	1
	8	2	1
<b>2</b>	8	3 – 4	2
	8	5	1

*Fuente:* Autoría

**Tabla 23**  
*Fibra Óptica requerida por cada Zona en la Red de Transporte*

<i>Zona</i>	<i>Cable</i>	<i>Distancia medida (m)</i>	<i>Reserva (m)</i>	<i>Margen de seguridad (m)</i>	<i>Distancia total (m)</i>
<b>1</b>	1	1450	80	72,5	1602,5
	2	985	80	49,25	1114,25
<b>2</b>	3	745	80	37,25	862,25
	4	1020	80	51	1151
<b><i>Cantidad total de Fibra Requerida</i></b>					<b>4730</b>

*Fuente:* Autoría

Como se puede estimar, considerando todos los errores que se pueden cometer en el cálculo de distancias, se logra que la cantidad de fibra requerida para la red de transporte es **4730 m.**

❖ **Red de acceso**

En la red de acceso se utilizará fibra monomodo de 8 hilos, que de igual manera cumplirá con la norma G.652.D. Esta red envuelve el recorrido que va desde el Splitter de primer nivel hasta el Splitter de segundo nivel (Villacís, 2015).

A continuación, se presenta en la Ecuación 13 la cantidad de fibra requerida en la red de acceso. Se contendrá además un ejemplo de cómo se realizó el cálculo de las distancias.

$$\textit{Distancia Total} = \textit{Distancia Media} + \textit{Reserva} + \textit{Margen de Seguridad}$$

**Ecuación 13.** *Recorrido total para cada hilo de cada cable de fibra en la red de acceso*

*Fuente:* (GI, 2012).

A manera demostrativa se presenta un ejemplo de cálculo de la distancia total para el hilo 1 del cable 1 en la Zona 1. Estos cálculos se redundarán en cada zona por cada cable y por cada hilo de fibra óptica.

$$\textit{Distancia Total} = \textit{Distancia Media} + \textit{Reserva} + \textit{Margen de Seguridad}$$

$$\textit{Distancia Total} = 96 \textit{ m} + 10 \textit{ m} + (96 \times 5\%) \textit{ m}$$

$$\textit{Distancia Total} = 96 \textit{ m} + 10 \textit{ m} + 4.75 \textit{ m}$$

$$\textit{Distancia Total} = 110.75 \textit{ m}$$

La Tabla 24 muestra la suma total de fibra que se necesita en la red de acceso en la Zona 1, que son **2304,1 metros**.

**Tabla 24***Cantidad de fibra óptica requerida para la red de acceso en la Zona 1*

<b>Zona 1</b>					
<i>Cable</i>	<i>Hilo</i>	<i>Distancia medida (m)</i>	<i>Reserva (m)</i>	<i>Margen de seguridad (m)</i>	<i>Distancia total (m)</i>
	1	96	10	4,8	110,8
	2	103	10	5,15	118,15
	3	125	10	6,25	141,25
	4	150	10	7,5	167,5
1	5	173	10	8,65	191,65
	6	112	10	5,6	127,6
	7	187	10	9,35	206,35
	8	224	10	11,2	245,2
<b>Total, de fibra requerida cable 1 zona 1</b>					<b>1308,5</b>
	1	105	10	5,25	120,25
	2	115	10	5,75	130,75
	3	100	10	5	115
	4	103	10	5,15	118,15
2	5	97	10	4,85	111,85
	6	94	10	4,7	108,7
	7	135	10	6,75	151,75
	8	123	10	6,15	139,15
<b>Total, de fibra requerida cable 2 zona 1</b>					<b>995,6</b>
<b>Suma total de fibra requerida zona 1 (en metros)</b>					<b>2304,1</b>

*Fuente:* Autoría

La Tabla 25 muestra la cantidad total de fibra que se necesita en la red de acceso en la Zona 2, que son **1710,85 metros**.

**Tabla 25**

*Cantidad de fibra óptica requerida para la red de acceso en la Zona 2*

<b>Zona 2</b>					
<i>Cable</i>	<i>Hilo</i>	<i>Distancia medida (m)</i>	<i>Reserva (m)</i>	<i>Margen de seguridad (m)</i>	<i>Distancia total (m)</i>
	1	80	10	4	94
	2	89	10	4,45	103,45
	3	90	10	4,5	104,5
	4	95	10	4,75	109,75
1	5	95	10	4,75	109,75
	6	90	10	4,5	104,5
	7	87	10	4,35	101,35
	8	96	10	4,8	110,8
<b>Total, de fibra requerida cable 1 zona 1</b>					<b>838,1</b>
	1	90	10	4,5	104,5
	2	95	10	4,75	109,75
	3	80	10	4	94
	4	75	10	3,75	88,75
2	5	120	10	6	136
	6	95	10	4,75	109,75
	7	95	10	4,75	109,75
	8	105	10	5,25	120,25
<b>Total, de fibra requerida cable 2 zona 1</b>					<b>872,75</b>
<b>Suma total de fibra requerida zona 1 (en metros)</b>					<b>1710,85</b>

*Fuente:* Autoría

Finalmente presentamos la cantidad total de fibra óptica requerida para la red de acceso que se computa mediante la Ecuación 14:

$$\text{Cantidad de FO} = \text{FO Zona 1} + \text{FO Zona 2}$$

**Ecuación 14.** *Cantidad de fibra óptica requerida en la red de acceso*

*Fuente:* (GI, 2012).

$$\text{Cantidad de FO} = 2304,1 + 1710,85$$

$$\text{Cantidad de FO} = 4014,95$$

En la red de acceso se requieren **4014,95 metros** de cable de fibra óptica G.652D de 8 hilos.

#### ❖ *Red de última milla*

Se discurre como red de última milla, la red que parte desde el iFAT en donde se ubica el Splitter de segundo nivel, hasta la ONT del usuario final.

En la gran parte del trayecto se utilizará fibra óptica G.652D, en este caso se emplearán 2 hilos para cada usuario conservando el concepto de respaldo o backup. La conexión final con la ONT será mediante fibra G.657B (Huawei, 2014).

#### ❖ *Conexión con el usuario final*

La instalación de los clientes se realizará de acuerdo a las situaciones propias de cada uno de ellos. Por lo que la cantidad de fibra utilizada variará acorde a la distancia que exista entre su hogar y el iFAT (Huawei, 2014).

En seguida, se describen varios parámetros básicos que la red de última milla deberá cumplir para que esta sea factible:

- El trayecto máximo entre el cliente y el iFAT será de 100 metros, para garantizar que la señal que reciba la ONT sea la adecuada y pueda ser interpretada correctamente.
- El cable será echado en forma plana y siempre se deberá respetar el radio mínimo de curvatura. De esta forma se evitará introducir pérdidas adicionales a la señal o en el peor de los casos que la señal no llegue hasta la ONT.
- El cable de fibra G.652D acabará en una NAP o Network Access Point que será ubicado en un punto exterior de la edificación propia del cliente residencial o corporativo. Desde este punto partirá un cable G.657B hasta una roseta ubicada en el interior del domicilio o edificio y desde donde partirá el cable de conexión (G.657B) hacia la ONT. Por lo tanto, el abonado podrá disponer del equipo final en el lugar que mejor se adecúe a sus necesidades (Huawei, 2014).

#### **3.2.3.6. Análisis de Capacidad**

Con el fin de dimensionar correctamente la red, se debe establecer la capacidad requerida por los usuarios finales.

Sabemos que las aplicaciones a las que comúnmente acceden los usuarios son: redes sociales, video llamadas, juegos online, descarga de música, descarga de archivos, podcasts, blogs, comercio electrónico, aprendizaje online; y la capacidad que requiere cada una de ellas, se han creado planes estándar los cuales dependerán del tipo de abonado.

Para los abonados se ofertará un plan con una compartición de 2:1 y una capacidad que bordea los *3 Mbps en Downstream* y *1 Mbps en Upstream*, valores que se consideran adecuados para acceder a las aplicaciones antes mencionadas (Villacís, 2015).

En la recomendación G.984.1 se define la capacidad máxima tanto en el sentido ascendente como descendente, las cuales son 1.25 Gbps y 2.5 Gbps respectivamente. Dicha capacidad será compartida por los 64 clientes conectados a cada puerto GPON. Por lo tanto, suponiendo que los 64 clientes utilicen los servicios al mismo tiempo, la capacidad se reduce a 37.5 Mbps para downstream y 18.75 Mbps para upstream. Se concluye que las capacidades conseguidas están dentro de los rangos permitidos (Huawei, 2014).

### **3.2.3.7. Análisis de Pérdidas**

Se consideran dos casos, el del usuario más cercano a la OLT y el usuario más lejano, El objetivo es garantizar que todos y cada uno de los usuarios conectados a la red puedan trabajar con normalidad y acceder a todos los servicios. En términos de potencia, se certificará que la potencia que reciba el usuario final sea la adecuada para que sus equipos trabajen correctamente, es decir, que el receptor del usuario más cercano no se sature cuando esté muy cerca de la OLT; y que el usuario más lejano reciba un nivel de señal superior a la sensibilidad de su ONT o equipo receptor.

Para esto aplicaremos la Ecuación 7, mediante el cual daremos inicio al cálculo del presupuesto de atenuación óptica (Villacís, 2015).

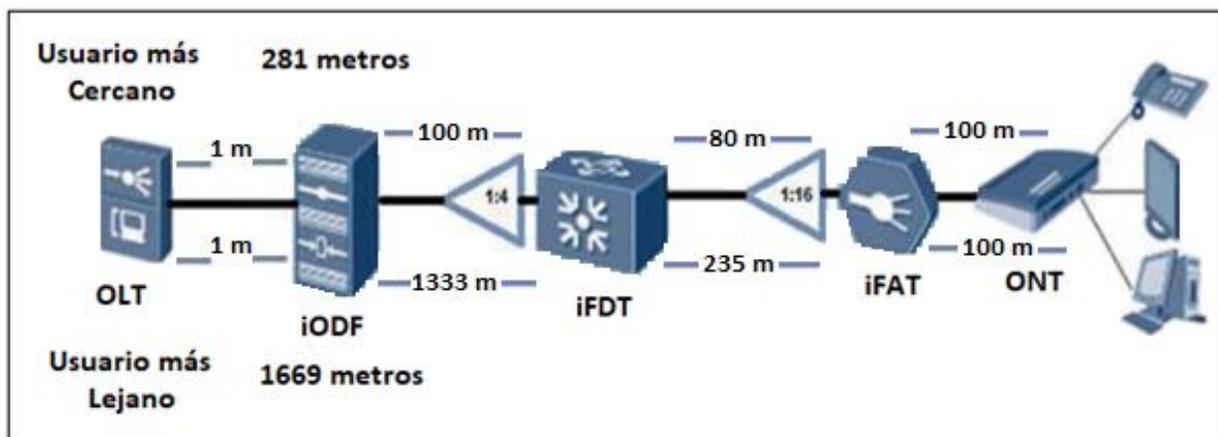
Se incluirán todas las atenuaciones que componen la red y se tomará en cuenta la longitud de onda a la que se trabajará. Las atenuaciones de la fibra óptica para este caso son:

- 0,45 dB/Km a 1310 nm para fibra óptica G.652D
- 0,45 dB/Km a 1490 nm para fibra óptica G.652D
- 0,35 dB/Km a 1550 nm para fibra óptica G.652D

Es importante aclarar que para el caso de la fibra óptica G.657B se discurrirá como atenuación 0 dB ya que cubre distancias relativamente pequeñas, por lo que el valor que introducen será insignificante en los cálculos (Villacís, 2015).

**Figura 80**

*Esquema de la red iODN*

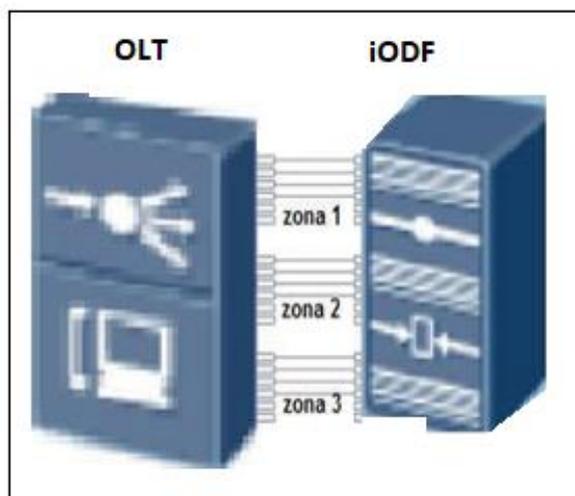


*Fuente:* (Huawei, 2014)

Todos estos análisis se los harán por secciones y se considerarán las longitudes de onda de 1550 nm para el caso de televisión por RF y 1310 nm para telefonía, internet y televisión IP ya que es el punto crítico, es decir, se tendrá mayor atenuación al momento que se trabaja a 1490 nm (Villacís, 2015).

#### ❖ *Conexión OLT – iODF*

La primera etapa se dispone por la conexión desde la OLT hasta el iODF ubicado en el cuarto de telecomunicaciones de SERVICETEL de la parroquia Urcuquí. Se utiliza un cable de fibra óptica monomodo G.657B, de 1 metro de longitud. La atenuación encajada por el cable será despreciable por la corta distancia y radios de curvatura con los que será instalado (Villacís, 2015).

**Figura 81***Conexión OLT – iODF**Fuente: (Villacís, 2015)*

Las pérdidas que habrá en esta etapa se ilustran en las siguientes tablas:

**Tabla 26***Atenuación - 1310 nm para el abonado más cercano, conexión OLT – iODF*

<b>1310 nm</b>		
<i>Abonado más Cercano</i>		
<i>Atenuación</i>	<i>Valor Individual (dB)</i>	<i>Valor Total (dB)</i>
puerto OLT	0,45	0,45
cable G.657B	0	0
puerto iODF	0,45	0,45
<b>Valor Conexión OLT – iODF</b>		<b>0,9</b>

*Fuente: (Villacís, 2015).*

**Tabla 27***Atenuación - 1310 nm para el abonado más lejano, conexión OLT – iODF*

<b>1310 nm</b>		
<i>Abonado más Lejano</i>		
<i>Atenuación</i>	<i>Valor Individual (dB)</i>	<i>Valor Total (dB)</i>
puerto OLT	0,45	0,45
cable G.657B	0	0
puerto iODF	0,45	0,45
<b>Valor Conexión OLT – iODF</b>		<b>0,9</b>

*Fuente: (Villacís, 2015).***Tabla 28***Atenuación - 1490 nm para el abonado más cercano, conexión OLT – iODF*

<b>1490 nm</b>		
<i>Abonado más Cercano</i>		
<i>Atenuación</i>	<i>Valor Individual (dB)</i>	<i>Valor Total (dB)</i>
puerto OLT	0,45	0,45
cable G.657B	0	0
puerto iODF	0,45	0,45
<b>Valor Conexión OLT – iODF</b>		<b>0,9</b>

*Fuente: (Villacís, 2015).*

**Tabla 29**

*Atenuación - 1490 nm para el abonado más lejano, conexión OLT – iODF*

<b>1490 nm</b>		
<i>Abonado más Lejano</i>		
<i>Atenuación</i>	<i>Valor Individual (dB)</i>	<i>Valor Total (dB)</i>
puerto OLT	0,45	0,45
cable G.657B	0	0
puerto iODF	0,45	0,45
<b>Valor Conexión OLT – iODF</b>		<b>0,9</b>

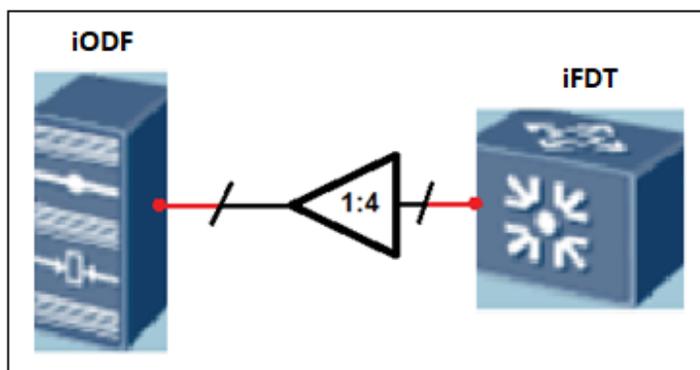
*Fuente:* (Villacís, 2015).

### ❖ *Red troncal*

La segunda etapa pertenece a la red troncal, esto es, el tramo de red que va desde el iODF hasta el iFDT. Se ejecutará el primer nivel de división, seguido de esto se culminará en los puertos de entrada del iFDT. Estos equipos se ubicarán dentro de los pozos dispuestos (Villacís, 2015).

**Figura 82**

*Red troncal*



*Fuente:* (Villacís, 2015).

Las pérdidas encajadas en este tramo son:

**Tabla 30***Atenuación - 1310 nm para el abonado más cercano, red troncal*

<b>1310 nm</b>		
<i>Abonado más Cercano</i>		
<b>Atenuación</b>	<b>Valor Individual (dB)</b>	<b>Valor Total (dB)</b>
<i>conector iODF</i>	0,45	0,45
<i>1 fusión pigtail a hilo</i>	0,1	0,1
<i>distancia iODF-Splitter de 1er Nivel (0,1 Km)</i>	0,4	0,04
<i>1 fusión hilo a splitter</i>	0,1	0,1
<i>Splitter 1:4</i>	7,2	7,2
<i>1 fusión splitter a pigtail</i>	0,1	0,1
<i>conector iFDT</i>	0,45	0,45
<b>Valor Red Troncal</b>		<b>8,44</b>

*Fuente: (Villacís, 2015).***Tabla 31***Atenuación - 1310 nm para el abonado más lejano, red troncal*

<b>1310 nm</b>		
<i>Abonado más Lejano</i>		
<b>Atenuación</b>	<b>Valor Individual (dB)</b>	<b>Valor Total (dB)</b>
<i>conector iODF</i>	0,45	0,45
<i>1 fusión pigtail a hilo</i>	0,1	0,1
<i>distancia iODF-Splitter de 1er Nivel (1,3 Km)</i>	0,4	0,52
<i>1 fusión hilo a splitter</i>	0,1	0,1
<i>Splitter 1:4</i>	7,2	7,2
<i>1 fusión splitter a pigtail</i>	0,1	0,1
<i>conector iFDT</i>	0,45	0,45
<b>Valor Red Troncal</b>		<b>8,92</b>

*Fuente: (Villacís, 2015).*

**Tabla 32***Atenuación - 1490 nm para el abonado más cercano, red troncal*

<b>1490 nm</b>		
<i>Abonado más Cercano</i>		
<b>Atenuación</b>	<b>Valor Individual (dB)</b>	<b>Valor Total (dB)</b>
<i>conector iODF</i>	0,45	0,45
<i>1 fusión pigtail a hilo</i>	0,1	0,1
<i>distancia iODF-Splitter de 1er Nivel (0,1 Km)</i>	0,35	0,035
<i>1 fusión hilo a splitter</i>	0,1	0,1
<i>Splitter 1:4</i>	7,2	7,2
<i>1 fusión splitter a pigtail</i>	0,1	0,1
<i>conector iFDT</i>	0,45	0,45
<b>Valor Red Troncal</b>		<b>8,44</b>

*Fuente: (Villacís, 2015).***Tabla 33***Atenuación - 1490 nm para el abonado más lejano, red troncal*

<b>1490 nm</b>		
<i>Abonado más Lejano</i>		
<b>Atenuación</b>	<b>Valor Individual (dB)</b>	<b>Valor Total (dB)</b>
<i>conector iODF</i>	0,45	0,45
<i>1 fusión pigtail a hilo</i>	0,1	0,1
<i>distancia iODF-Splitter de 1er Nivel (1,3 Km)</i>	0,35	0,46
<i>1 fusión hilo a splitter</i>	0,1	0,1
<i>Splitter 1:4</i>	7,2	7,2
<i>1 fusión splitter a pigtail</i>	0,1	0,1
<i>conector iFDT</i>	0,45	0,45
<b>Valor Red Troncal</b>		<b>8,86</b>

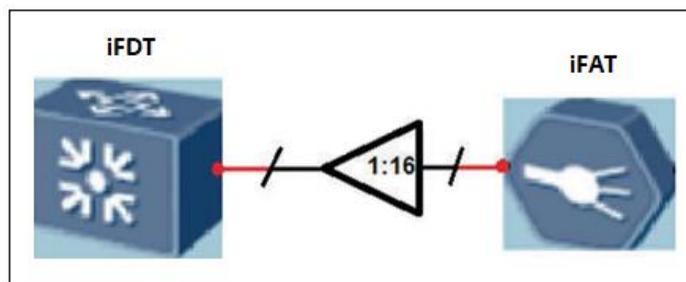
*Fuente: (Villacís, 2015).*

### ❖ Red de acceso

La red de acceso observa el tramo de fibra entre el iFDT y el iFAT. En este punto se ejecutará el segundo nivel de splitteo. El equipo iFAT será situado en lugar de los armarios de distribución existentes en la actualidad, esto es, se colocarán en las aceras (Villacís, 2015).

**Figura 83**

*Red de acceso*



*Fuente: (Villacís, 2015).*

En esta etapa, se encajan las siguientes pérdidas:

**Tabla 34**

*Atenuación - 1310 nm para el abonado más cercano, red acceso*

<b>1310 nm</b>		
<i>Abonado más Cercano</i>		
<b>Atenuación</b>	<b>Valor Individual (dB)</b>	<b>Valor Total (dB)</b>
<i>conector iFDT</i>	0,45	0,45
<i>1 fusión pigtail a hilo</i>	0,1	0,1
<i>distancia iFDT-Splitter de 2do Nivel (0,08 Km)</i>	0,4	0,032
<i>1 fusión hilo a splitter</i>	0,1	0,1
<i>Splitter 1:16</i>	7,2	13,5
<i>1 fusión splitter a pigtail</i>	0,1	0,1
<i>conector iFAT</i>	0,45	0,45
<b>Valor Red de Acceso</b>		<b>14,73</b>

*Fuente: (Villacís, 2015).*

**Tabla 35***Atenuación - 1310 nm para el abonado más lejano, red de acceso*

<b>1310 nm</b>		
<i>Abonado más Lejano</i>		
<b>Atenuación</b>	<b>Valor Individual (dB)</b>	<b>Valor Total (dB)</b>
<i>conector iFDT</i>	0,45	0,45
<i>1 fusión pigtail a hilo</i>	0,1	0,1
<i>distancia iFDT-Splitter de 2do Nivel (0,235 Km)</i>	0,4	0,094
<i>1 fusión hilo a splitter</i>	0,1	0,1
<i>Splitter 1:16</i>	13,5	13,5
<i>1 fusión splitter a pigtail</i>	0,1	0,1
<i>conector iFAT</i>	0,45	0,45
<b>Valor Red de Acceso</b>		<b>14,79</b>

*Fuente: (Villacís, 2015).***Tabla 36***Atenuación - 1490 nm para el abonado más cercano, red troncal*

<b>1490 nm</b>		
<i>Abonado más Cercano</i>		
<b>Atenuación</b>	<b>Valor Individual (dB)</b>	<b>Valor Total (dB)</b>
<i>conector iFDT</i>	0,45	0,45
<i>1 fusión pigtail a hilo</i>	0,1	0,1
<i>distancia iFDT-Splitter de 2do Nivel (0,08 Km)</i>	0,35	0,028
<i>1 fusión hilo a splitter</i>	0,1	0,1
<i>Splitter 1:16</i>	13,5	13,5
<i>1 fusión splitter a pigtail</i>	0,1	0,1
<i>conector iFAT</i>	0,45	0,45
<b>Valor Red de Acceso</b>		<b>14,73</b>

*Fuente: (Villacís, 2015).*

**Tabla 37**  
*Atenuación - 1490 nm para el abonado más lejano, red de acceso*

<b>1490 nm</b>		
<i>Abonado más Lejano</i>		
<b>Atenuación</b>	<b>Valor Individual (dB)</b>	<b>Valor Total (dB)</b>
<i>conector iFDT</i>	0,45	0,45
<i>1 fusión pigtail a hilo</i>	0,1	0,1
<i>distancia iFDT-Splitter de 2do Nivel (0,235 Km)</i>	0,4	0,094
<i>1 fusión hilo a splitter</i>	0,1	0,1
<i>Splitter 1:16</i>	13,5	13,5
<i>1 fusión splitter a pigtail</i>	0,1	0,1
<i>conector iFAT</i>	0,45	0,45
<b>Valor Red de Acceso</b>		<b>14,78</b>

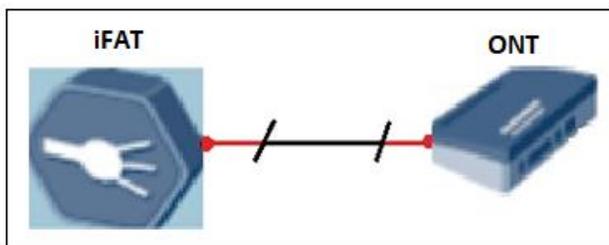
*Fuente:* (Villacís, 2015).

#### ❖ *Última milla*

Esta etapa de la red se manejará tendido aéreo. Iniciará desde el iFAT y mediante los postes de alumbrado eléctrico llegará hasta el NAP ubicado en el exterior de la edificación del abonado. Se conectará mediante un cable G.657B con una roseta ubicada dentro de la edificación y desde el cual partirá la conexión hacia la ONT del usuario final (Villacís, 2015).

**Figura 84**

*Última Milla*



*Fuente:* (Villacís, 2015).

**Tabla 38***Atenuación - 1310 nm para el abonado más cercano, última milla*

<b>1310 nm</b>		
<b><i>Abonado más Cercano</i></b>		
<b>Atenuación</b>	<b>Valor Individual (dB)</b>	<b>Valor Total (dB)</b>
<i>conector iFAT</i>	0,45	0,45
<i>1 fusión pigtail a hilo</i>	0,1	0,1
<i>distancia iFAT-ONT (0,1 Km)</i>	0,4	0,04
<i>1 fusión hilo a conector NAP</i>	0,1	0,1
<i>NAP</i>	0,9	0,9
<i>1 fusión conector NAP a hilo</i>	0,1	0,1
<i>1 fusión hilo a conector roseta</i>	0,1	0,1
<i>Cable G.657B</i>	0	0
<i>Puerto ONT</i>	0,45	0,45
<b>Valor Última Milla</b>		<b>2,24</b>

*Fuente: (Villacís, 2015).***Tabla 39***Atenuación - 1310 nm para el abonado más lejano, última milla*

<b>1310 nm</b>		
<b><i>Abonado más Lejano</i></b>		
<b>Atenuación</b>	<b>Valor Individual (dB)</b>	<b>Valor Total (dB)</b>
<i>conector iFAT</i>	0,45	0,45
<i>1 fusión pigtail a hilo</i>	0,1	0,1
<i>distancia iFAT-ONT (0,1 Km)</i>	0,4	0,04
<i>1 fusión hilo a conector NAP</i>	0,1	0,1
<i>NAP</i>	0,9	0,9
<i>1 fusión conector NAP a hilo</i>	0,1	0,1
<i>1 fusión hilo a conector roseta</i>	0,1	0,1
<i>Cable G.657B</i>	0	0
<i>Puerto ONT</i>	0,45	0,45
<b>Valor Última Milla</b>		<b>2,24</b>

*Fuente: (Villacís, 2015).*

**Tabla 40***Atenuación - 1490 nm para el abonado más cercano, última milla*

<b>1490 nm</b>		
<i>Abonado más Cercano</i>		
<b>Atenuación</b>	<b>Valor Individual (dB)</b>	<b>Valor Total (dB)</b>
<i>conector iFAT</i>	0,45	0,45
<i>1 fusión pigtail a hilo</i>	0,1	0,1
<i>distancia iFAT-ONT (0,1 Km)</i>	0,35	0,035
<i>1 fusión hilo a conector NAP</i>	0,1	0,1
<i>NAP</i>	0,9	0,9
<i>1 fusión conector NAP a hilo</i>	0,1	0,1
<i>1 fusión hilo a conector roseta</i>	0,1	0,1
<i>Cable G.657B</i>	0	0
<i>Puerto ONT</i>	0,45	0,45
<b>Valor Última Milla</b>		<b>2,235</b>

*Fuente: (Villacís, 2015).***Tabla 41***Atenuación - 1490 nm para el abonado más lejano, última milla*

<b>1490 nm</b>		
<i>Abonado más Lejano</i>		
<b>Atenuación</b>	<b>Valor Individual (dB)</b>	<b>Valor Total (dB)</b>
<i>conector iFAT</i>	0,45	0,45
<i>1 fusión pigtail a hilo</i>	0,1	0,1
<i>distancia iFAT-ONT (0,1 Km)</i>	0,35	0,035
<i>1 fusión hilo a conector NAP</i>	0,1	0,1
<i>NAP</i>	0,9	0,9
<i>1 fusión conector NAP a hilo</i>	0,1	0,1
<i>1 fusión hilo a conector roseta</i>	0,1	0,1
<i>Cable G.657B</i>	0	0
<i>Puerto ONT</i>	0,45	0,45
<b>Valor Última Milla</b>		<b>2,235</b>

*Fuente: (Villacís, 2015).*

### ❖ *Atenuaciones Totales*

Determinadas las pérdidas por sección, se suman cada una de ellas, logrando la atenuación que se tendrá en la red, en el usuario más cercano como en el más lejano por cada ventana de trabajo (Villacís, 2015). Las atenuaciones que logrará la red son:

**Tabla 42**

*Atenuación - 1310 nm para el abonado más cercano*

<i>1310 nm</i>	
<i>Abonado más cercano</i>	
<i>Atenuación</i>	<i>Valor Total (dB)</i>
Conexión OLT – iODF	0,9
Red de Transporte	8,44
Red de Acceso	14,73
Última Milla	2,24
<b>Total</b>	<b>26,31</b>

*Fuente:* (Villacís, 2015).

**Tabla 43**

*Atenuación - 1310 nm para el abonado más lejano*

<i>1310 nm</i>	
<i>Abonado más Lejano</i>	
<i>Atenuación</i>	<i>Valor Total (dB)</i>
Conexión OLT-iODF	0,9
Red de Transporte	8,92
Red de Acceso	14,79
Última Milla	2,24
<b>Total</b>	<b>26,85</b>

*Fuente:* (Villacís, 2015).

**Tabla 44***Atenuación - 1490 nm para el abonado más cercano*

<i>1490 nm</i>	
<i>Abonado más Cercano</i>	
<i>Atenuación</i>	<i>Valor Total (dB)</i>
Conexión OLT-iODF	0,9
Red de Transporte	8,44
Red de Acceso	14,73
Última Milla	2,235
<b>Total</b>	<b>26,305</b>

*Fuente: (Villacís, 2015).***Tabla 45***Atenuación - 1490 nm para el abonado más lejano*

<i>1490 nm</i>	
<i>Abonado más Lejano</i>	
<i>Atenuación</i>	<i>Valor Total (dB)</i>
Conexión OLT-iODF	0,9
Red de Transporte	8,86
Red de Acceso	14,78
Última Milla	2,235
<b>Total</b>	<b>26,775</b>

*Fuente: (Villacís, 2015).*❖ *Análisis de resultados*

Como ya se estima, las atenuaciones totales que se mostrarán en la red, están trabajando en las tres ventanas que están dentro del rango de trabajo de equipos clase B, según la recomendación G.984.2. Esto será de beneficio al momento de adquirir los equipos dinámicos. En la red iODN trazada para la parroquia Urcuquí se utilizarán equipos que cumplan con la clase B (Villacís, 2015).

Se finiquita que el diseño de la red cumple en su totalidad con los objetivos planeados. *La implementación de ser considerada en SERVICETEL a futuro sería totalmente realizable.*

#### **3.2.4. Requisitos para la Red iODN en SERVICETEL**

Una vez que se concluyó el boceto de la red, se procede con el análisis de los requisitos que deben cumplir los equipos activos y pasivos, para que la red trabaje adecuadamente.

##### **3.2.4.1. Requerimientos de los equipos activos**

En seguida veremos los equipos dinámicos que incluye la red, que son la OLT en la parte del operador y la ONT en la parte del abonado o el cliente final.

##### **❖ OLT**

Para implementar la red iODN en la parroquia Urcuquí, es preciso adquirir una OLT, la cual cumplirá con los requisitos que se describieron en el desarrollo del proyecto, como son la potencia máxima y la mínima, longitudes de onda, etc. En la Tabla 46 expuesta a continuación se presenta una sinopsis sobre los requisitos que la OLT deberá cumplir.

**Tabla 46**  
*Requisitos para la OLT*

<b>OLT</b>	
<i>Indicadores</i>	<i>Requerimientos</i>
Puertos	5 GPON 2 Uplink
Longitudes de onda	1310 nm voz y datos upstream 1490 nm voz y datos downstream
Estándares y características	UIT-T G.984.1 – G.984.4 QoS Hot Swap 802.3ad, puertos trunking 802.1p, prioridad de tráfico 802.1q, VLANs
Sensibilidad de Rx	-13 a -28 dBm (Clase B+)
Potencia de Tx	-1.5 a 5 dBm (Clase B+)
Gestión	Mediante CLI o GUI, Telnet SSH
Energía	2 entradas para fuentes de energía
Interfaces ópticas	Compatible con fibra G.652.D
Garantía	Mínima 2 año

*Fuente:* (Villacís, 2015).

❖ **ONT**

Las 292 ONT indispensables para la ejecución del proyecto, deberán cumplir con los requisitos detallados en la Tabla 47, los mismos que han sido ensayados en el boceto de la red.

**Tabla 47**  
*Requisitos para la ONT*

<b>ONT</b>	
<i>Indicadores</i>	<i>Requerimientos</i>
Puertos	1 puerto GPON Mínimo 2 puertos LAN Mínimo 1 puerto POTS para telefonía analógica Mínimo un puerto RF para TV Interfaz Wi-Fi
Longitudes de onda	1310 nm voz y datos upstream 1490 nm voz y datos downstream
Estándares y características	UIT-T G.984.1 – G.984.4 QoS 802.1p, prioridad de tráfico
Sensibilidad de Rx	-13 a -28 dBm (Clase B+)
Potencia de Tx	-1.5 a 5 dBm (Clase B+)
Gestión	Mediante CLI o GUI, Telnet, SSH
Energía	110 VAC @ 60Hz
Interfaces ópticas	Compatible con fibra G.652.D
Otros	Tipo indoor
Garantía	Mínima 2 año

*Fuente:* (Villacís, 2015).

### 3.2.4.2. Requisitos de los equipos pasivos

Este estudio se dividirá en dos partes:

- Todos los elementos pasivos que conforman la ODN
- Los equipos pasivos que la convierten a la red en iODN.

#### ❖ *Elementos pasivos*

Los dispositivos pasivos solicitados para la puesta de la red se describen en la Tabla 48:

**Tabla 48**  
*Requisitos para los elementos pasivos*

<b>Elementos Pasivos</b>		
<i>Dispositivo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Requisitos</i>
		División 1:4
Splitters de primer nivel	5	Pérdida de inserción -7.2 dB Compatible con FO G.652.D
		División 1:16
Splitters de segundo nivel	19	Pérdida de inserción -13.5 dB Compatible con FO G.652.D
Cables de FO de 1 hilo de 1 metro de longitud	730 m	FO G.657B
Cables de FO de 16 hilos	2000 m	FO G.652.D
Cables de FO de 8 hilos	4500 m	FO G.652.D
Cables de FO de 2 hilos	96000 m	FO G.652.D

*Fuente:* (Villacís, 2015).

### 3.2.4.3. Equipos iODN

Los dispositivos inevitables para que la red sea iODN, se describen en la Tabla 49.

**Tabla 49**  
*Requerimientos para los equipos iODN*

<b>Equipos iODN</b>		
<i>Dispositivo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Especificaciones</i>
		Enlaza y distribuye las rutas de la iODN.
<i>iODF</i>	1	Soporta comunicación y manejo inteligente de la FO. Incluye tipificación automática y gestión de las conexiones de fibra.
		Puede ser ubicado bajo las calles.
<i>iFDT</i>	5	Es empleado para las conexiones entre la red de transporte y la red de acceso. Tiene una zona dispuesta para los splitters de primer nivel.
		Puede ser del tipo outdoor
<i>iFAT</i>	19	Vincula, fracciona y distribuye los cables de la red de acceso y los cables de drop.

*Fuente:* (Villacís, 2015).

## CAPITULO 4

### ANÁLISIS DE COSTOS

En este capítulo se elaborará un presupuesto referencial considerando la implementación y puesta en marcha de la red iODN en la parroquia Urcuquí. Anteriormente se establecieron los requerimientos de los equipos tanto activos como pasivos que forman parte de la red. Se analizarán los productos de dos fabricantes, entre los que se escogerá la mejor alternativa.

#### 4.1. Dispositivos Activos

Se indicarán los costos referenciales de los equipos para redes PON. Trabajando conjuntamente con el gerente de SERVICETEL, anteriores al desarrollo del proyecto, se decidió que los equipos activos serán de la marca HUAWEI, ya que es el principal fabricante de los equipos iODN los mismos que ofertan varias opciones con el único objetivo que cumplan con los requerimientos solicitados en el diseño de la red iODN. *A continuación, se presenta una breve recopilación de las características de estos equipos, ya que el detalle en su totalidad se encuentra en los anexos del presente trabajo de grado.*

##### 4.1.1. OLT Huawei – MA5800

Esta plataforma de acceso global integral proporciona el acceso óptico integrado. Simplifica la arquitectura de red y permite la migración sin trabas en redes FTTX (AlibabaOLT, 2021).

**Figura 85**

*OLT – Huawei*



*Fuente: (AlibabaOLT, 2021).*

Las principales características son:

- Acepta múltiples métodos de acceso, como: VDSL2/ADSL2+/G. SHDSL/POTS/ISDN/GPON/Ethernet P2P.
- Sobrelleva múltiples escenarios: FTTC / FTTB / FTTH / FTTO / FTTM.
- H-QoS que admite 3 niveles de QoS (diferentes ISP/servicio/usuario).
- El acceso al servicio E1 tradicional, NATIVE TDM o CESoP para el servicio E1 tradicional para empresas y backhaul móvil.
- Acepta auto conmutación de tráfico local, que satisface los requisitos de las redes de empresas y campus.
- Posee gran capacidad de agregación, capacidad de backplane de 3.2 Tbps; capacidad de conmutación de 960 Gbps, 512 mil direcciones MAC.
- Interfaces GE/10GE de alta densidad para conexiones en cascada, hasta 36 interfaces de 10 GE o 140 GE, es decir, no se requiere inversiones adicionales en switches de agregación.
- Sobrelleva networking de alta fiabilidad, conexión directa al BRAS y función de actualización de software sin pérdida de datos.
- Admite conectar en cascada los ATM DSLAM con las interfaces ATM STM-1.
- Comprime los gastos operativos con la reutilización de los ATM DSLAM y la eliminación de la red de agregación de ATM.
- Traslado de red sin inconvenientes, por lo tanto, la inversión está protegida.
- Armazón unificado de fibra/cobre, con lo que se maximiza el valor de los recursos de red.
- Mínimo consumo de energía y costo de mantenimiento (AlibabaOLT, 2021).

#### 4.1.2. ONT – Huawei HG8447

Este gateway residencial de gama alta al utilizar en tecnología GPON, se tiene acceso a la banda ultra ancha para usuarios domésticos. Posee 4 puertos POTS, 4 puertos Ethernet autoadaptables GE/FE, un puerto CATV y uno Wi-Fi. Tiene capacidad de transmisión de alto rendimiento para avalar la excelente calidad con servicios de VoIP, Internet y video de alta definición (AlibabaONT, 2021).

**Figura 86**

*ONT - Huawei*



*Fuente: (AlibabaONT, 2021).*

Las características principales son:

- Puerto: 4 POTS + 4 GE + 1 USB + 1 CATV + Wi-Fi.
- Posee la función plug-and-play (PnP): los servicios de Internet, IPTV y VoIP se pueden implementar al hacer clic en el NMS. No se requiere configuración en sitio. La función plug-and-play facilita y agiliza el aprovisionamiento de servicios.
- Análisis remoto: la localización remota de fallos se implementa mediante la prueba de los circuitos en bucle de los puertos POTS y la emulación de una llamada iniciada por el NMS. Una multiplicidad de diagnósticos remotos permite localizar fallos más rápidamente y reducir los gastos operativos.
- Conservación de energía: se ahorra un 25% en el consumo de energía con la solución “system on chipset” (SOC) altamente integrada (AlibabaONT, 2021).

## 4.2. Estimación de Costos

A continuación, detallaremos todos los costos que son factores importantes a ver para la estimación el presupuesto económico de la empresa SERVICETEL.

### 4.2.1. Equipos iODN

Cabe recalcar que los costos son referenciales, ya que la empresa HUAWEI no hace público los precios de dichos equipos. Para obtener los precios referenciales, se realizó diversas indagaciones entre varios mercados electrónicos y proveedores de equipos de telecomunicaciones, los cuales despliegan los costos más aproximados a los reales hacer adquiridos. En la Tabla 50 se resumen los precios al mercado actual entre los periodos noviembre a diciembre del año 2021.

**Tabla 50**  
*Precios estimados de los equipos iODN*

<b>Equipo</b>	<b>Marca</b>	<b>Función</b>	<b>Precio unitario (USD)</b>	<b>Cantidad Requerida</b>	<b>Precio Total (USD)</b>
MA5800	Huawei	OLT	1200	1	1200
GPX147-ODF2101	Huawei	iODF	1831	1	1831
GXF147-iFDT3103D	Huawei	iFDT	1860	5	9300
GPX147-iFAT3102	Huawei	iFAT	400	19	7600
SPL1101	Huawei	Splitter 1:4/1:16	150	38	5700
HG8447	Huawei	ONT	98	295	28910
<b>Total</b>					<b>54541</b>

*Fuente:* (AlibabaOLT, 2021), (ItPriceiODF, 2021), (ItPriceiFDT, 2021), (AlibabaSP, 2021), (AlibabaONT, 2021).

#### 4.2.2. Fibra Óptica

En la Tabla 51 se muestra la fibra óptica a ser utilizada, dependiendo de las características y de los costos que más conviene a la empresa.

**Tabla 51**  
*Precios referenciales de la fibra óptica*

<b>Tipo</b>	<b>Marca</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Precio unitario (USD)</b>	<b>Cantidad requerida (metros)</b>	<b>Precio Total (USD)</b>
8 HILOS	Gyxtw	Red de Transporte	0,25	6000	1500
16 HILOS	Gyxtw	Red de Acceso	0,25	4000	1000
2 HILOS	Gyxtw	Cable de Drop	0,2	96000	19200
Conectores	Elfcam	OLT/iODF/ ONT	15	700	10500
<b>Total</b>					<b>32200</b>

*Fuente:* (AlibabaFO, 2021), (AmazonC, 2021).

#### 4.2.3. Costos Operativos

Se determinará la cantidad que invertirá la empresa SERVICETEL en el personal capacitado para toda la administración de la red.

El personal designado será indispensable para asegurar el buen funcionamiento de la red y solucionar las dificultades a presentarse, así como también realizar los mantenimientos periódicos con el objetivo de avalar la disposición total del servicio. Estos gastos se detallan en la Tabla 52.

**Tabla 52**  
*Gastos operativos mensuales*

<b>Cargo</b>	<b>Tipo de Trabajo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Salario mensual (USD)</b>	<b>Total, en (USD)</b>
<i>Técnico de Campo</i>	TURNOS 24/7	4	817	3268
<i>Ingeniero Monitoreo</i>	TURNOS 24/7	4	1086	4344
<i>Experto iODN</i>	40 horas/semana	1	1560	1560
<b>Total</b>				<b>9172</b>

*Fuente:* (Ministerio de Trabajo [MT], 2021).

#### **4.2.4. Imprevistos**

Es necesario tomar los imprevistos de los costos de los elementos chicos que no se han considerado anteriormente, además de posibles variaciones de los costos en el tiempo que demoran en implementar el diseño. Según el estudio realizado de la *Aproximación Metodológica para el Cálculo de la Administración, Imprevistos y Utilidad*, realizado por Rojas y Bohórquez, se recomienda tomar un valor aproximado del 5% de la suma de los costos anteriores (Rojas, s.f.).

**Tabla 53**  
*Costos sobre los imprevistos*

<b>Indicador</b>	<b>Total (USD)</b>	<b>Imprevisto 5 % (USD)</b>
Equipos iODN	54541	2727,05
Fibra óptica	32200	1610
Gastos Administrativos	9172	458,6
<b>Total (USD)</b>		<b>4795,65</b>

*Fuente:* Autoría

#### 4.2.5. Costos totales determinados para la Implementación

Para establecer los costos totales determinados para la implementación del proyecto se tomará en consideración los valores establecidos en las secciones anteriores. Es importante aclarar que este valor puede diferenciarse según la fecha de la implementación de la red.

**Tabla 54**  
*Costos totales estimados*

<b>Descripción</b>	<b>Precio (USD)</b>
Equipos iODN	54541
Fibra óptica	32200
Gastos Administrativos	9172
Imprevistos	4780,95
<b>Total</b>	<b>100708,65</b>

*Fuente:* Autoría

### 4.3. Factores Económicos

Para el análisis de los factores económicos como el VAN y TIR, es indispensable determinar el Flujo de Caja en los cuales se establecen los ingresos y egresos en períodos idénticos.

#### 4.3.1. Ingresos y Egresos

Mas adelante analizaremos lo que es el flujo de caja, por lo cual, empezaremos analizando todo lo que se refiere a ingresos y egresos del proyecto a implementarse.

##### 4.3.1.1. Arriendo de Red

Enseguida se muestra los valores del ingreso que se logrará por concepto de arrendamiento o pago del servicio de la red de acceso hacia la empresa SERVICETEL.

**Tabla 55**  
*Ingreso por arriendo de la fibra óptica*

<b>Indicador</b>	<b>Valor Mensual (USD)</b>
Red con Fibra Óptica	20

*Fuente:* Autoría

El número de abonados se incrementa aproximadamente 5 por año, según los cálculos expuestos en la Tabla 12. La Tabla 56 muestra las ganancias mensuales y anuales de la empresa según el cálculo de crecimiento de los abonados en un periodo de 5 años.

**Tabla 56**  
*Ganancia por valores de arrendamiento*

<b>Tiempo (años)</b>	<b>Usuarios</b>	<b>Ingreso mensual (USD)</b>	<b>Ingreso anual (USD)</b>
0	270	5400	64800
1	275	5500	66000
2	280	5600	67200
3	285	5700	68400
4	290	5800	69600
5	295	5900	70800

*Fuente:* Autoría

#### **4.3.1.2. Implementación de la Red.**

En lo que respecta a la implementación de la red, se consideran todos los valores definidos que se toman al momento de realizar la instalación, es decir, lo que se considera como egresos para la empresa, tal cual, se indica en la Tabla 58. Pero, antes que nada, indicaremos en la Tabla 57, los valores de implementación para un nuevo cliente. Estos valores se definieron en conjunto con el gerente de la empresa basados en los precios por equipos y en los costos operativos de la red.

**Tabla 57***Precio total estimado para la implementación de un abonado*<sup>27</sup>

<b>Descripción</b>	<b>Precio (USD)</b>
Equipos iODN	300
Fibra óptica	100
Gastos Administrativos	100
Imprevistos	20
<b>Total</b>	<b>520</b>

*Fuente:* Autoría

Como se había indicado en la Tabla 12 se estima una proyección de crecimiento de 5 nuevos usuarios por año, lo que lleva a un costo anual de instalación de 2600 dólares, por lo tanto, con este valor que se muestra en la Tabla 58, se muestra el valor que se invertirá por año para la instalación de los nuevos abonados en un lapso de 5 años.

**Tabla 58***Egreso total por la Implementación de la Red*

<b>Tiempo (años)</b>	<b>Usuarios</b>	<b>Egreso anual (USD)</b>
0	270	<u>100708,65</u> <sup>28</sup>
1	312	<u>2600</u> <sup>29</sup>
2	354	2600
3	396	2600
4	438	2600
5	480	2600

*Fuente:* Autoría

<sup>27</sup> Valores estimados por el gerente de la empresa para la proyección de ingreso de un nuevo abonado (Flores, 2021).

<sup>28</sup> Valor Inicial de Inversión del proyecto de la implementación de red, al momento de realizar la migración de todos los clientes que actualmente posee la empresa, que en total son 270 abonados.

<sup>29</sup> Valor por año que se invertirá, por el ingreso de los nuevos clientes que en proyección son 5 abonados por año.

### 4.3.1.3. Devaluación de los Equipos

Los dispositivos de cómputo y software de acuerdo a la página web del Servicio de Rentas Internas del Ecuador tienen un gasto de Devaluación Anual del 33%; mediante este indicador en un periodo de 3 años, los dispositivos pierden su costo (SRI, 2021).

Para nuestro proyecto los dispositivos que se emplean son los conversores ópticos que, de acuerdo a las hojas técnicas de los mencionados dispositivos, el tiempo operativo es de 10 años, por lo tanto, para nuestro esquema este costo no se tomará en cuenta debido a que estos dispositivos se han empleado por más de 5 años en la empresa SERVICETEL y hasta la fecha no han mostrado problemas en este lapso de tiempo.

**Tabla 59**  
*Gastos de devaluación anual - Activos Fijos*

<b>Activos Fijos</b>	<b>% Anual</b>
Inmuebles (excepto terrenos), naves, aeronaves, barcasas y similares	5 %
Instalación, máquinas y equipos	10 %
Vehículos, equipos de transporte y equipo caminero móvil.	20 %
<b>Dispositivos de cómputo y software</b>	<b>33 %</b>

*Fuente:* (SRI, 2021).

### 4.3.1.4. Financiamiento

En este momento la empresa SERVICETEL no tiene todo el capital para la elaboración del diseño de red, por lo cual, se tiene proyectado hacer un crédito a una entidad bancaria para dar inicio con la implementación.

En la Tabla 60, se indica la amortización del préstamo a ser gestionada, detallándose en la misma el pago de interés, de capital y el saldo a descontarse mes a mes.

**Tabla 60**  
*Tabla de Amortización*

<b># Pago</b>	<b>Pago Interés</b>	<b>Pago Capital</b>	<b>Saldo</b>
1	\$824,17	\$1.295,13	\$98.704,87
2	\$813,49	\$1.305,80	\$97.399,07
3	\$802,73	\$1.316,57	\$96.082,50
4	\$791,88	\$1.327,42	\$94.755,09
5	\$780,94	\$1.338,36	\$93.416,73
6	\$769,91	\$1.349,39	\$92.067,34
7	\$758,79	\$1.360,51	\$90.706,84
8	\$747,58	\$1.371,72	\$89.335,11
9	\$736,27	\$1.383,03	\$87.952,09
10	\$724,87	\$1.394,42	\$86.557,66
11	\$713,38	\$1.405,92	\$85.151,75
12	\$701,79	\$1.417,50	\$83.734,24
13	\$690,11	\$1.429,19	\$82.305,06
14	\$678,33	\$1.440,97	\$80.864,09
15	\$666,45	\$1.452,84	\$79.411,25
16	\$654,48	\$1.464,82	\$77.946,44
17	\$642,41	\$1.476,89	\$76.469,55
18	\$630,24	\$1.489,06	\$74.980,49
19	\$617,96	\$1.501,33	\$73.479,16
20	\$605,59	\$1.513,71	\$71.965,45
21	\$593,12	\$1.526,18	\$70.439,27
22	\$580,54	\$1.538,76	\$68.900,51
23	\$567,86	\$1.551,44	\$67.349,07
24	\$555,07	\$1.564,23	\$65.784,84

---

25	\$542,18	\$1.577,12	\$64.207,72
26	\$529,18	\$1.590,12	\$62.617,61
27	\$516,07	\$1.603,22	\$61.014,38
28	\$502,86	\$1.616,44	\$59.397,95
29	\$489,54	\$1.629,76	\$57.768,19
30	\$476,11	\$1.643,19	\$56.125,00
31	\$462,56	\$1.656,73	\$54.468,27
32	\$448,91	\$1.670,39	\$52.797,88
33	\$435,14	\$1.684,15	\$51.113,73
34	\$421,26	\$1.698,03	\$49.415,69
35	\$407,27	\$1.712,03	\$47.703,67
36	\$393,16	\$1.726,14	\$45.977,53
37	\$378,93	\$1.740,36	\$44.237,16
38	\$364,59	\$1.754,71	\$42.482,45
39	\$350,13	\$1.769,17	\$40.713,28
40	\$335,55	\$1.783,75	\$38.929,53
41	\$320,84	\$1.798,45	\$37.131,08
42	\$306,02	\$1.813,27	\$35.317,81
43	\$291,08	\$1.828,22	\$33.489,59
44	\$276,01	\$1.843,29	\$31.646,30
45	\$260,82	\$1.858,48	\$29.787,83
46	\$245,50	\$1.873,79	\$27.914,03
47	\$230,06	\$1.889,24	\$26.024,79
48	\$214,49	\$1.904,81	\$24.119,98
49	\$198,79	\$1.920,51	\$22.199,48
50	\$182,96	\$1.936,34	\$20.263,14
51	\$167,00	\$1.952,29	\$18.310,85
52	\$150,91	\$1.968,38	\$16.342,46
53	\$134,69	\$1.984,61	\$14.357,86
54	\$118,33	\$2.000,96	\$12.356,89
55	\$101,84	\$2.017,45	\$10.339,44

---

56	\$85,21	\$2.034,08	\$8.305,36
57	\$68,45	\$2.050,85	\$6.254,51
58	\$51,55	\$2.067,75	\$4.186,76
59	\$34,51	\$2.084,79	\$2.101,97
60	\$17,32	\$2.101,97	\$0,00
<b>Total</b>	<b>\$27.157,76</b>	<b>\$100.000,00</b>	

*Fuente:* (ExcelT, 2022).

Elaborando los cálculos sobre el interés y el plazo a pagar de la Tabla de Amortización, se establece que el valor a pagar por el interés es de \$27.157,76 *dólares*, para un monto planificado de crédito de 100000 *dólares*, en un plazo de 5 años. Según los indicadores actuales para un crédito en el Banco Central del Ecuador a enero del 2022, la *Tasa Activa Efectiva Máxima para un préstamo Productivo Empresarial anual es del 9,89%*. Se planifico tomar como referencia la tasa máxima, ya que, al momento de realizar el préstamo, estos valores pueden variar (BCE, 2022).

**Tabla 61**  
*Crédito Bancario*

<b>Indicador</b>	<b>USD</b>
Valor del crédito (USD):	100000,00
Tasa de interés (anual):	9,89%
Número de pagos (mensuales):	60
Pago (mensual USD):	2.119,30

*Fuente:* (BCE, 2022).

#### **4.3.1.5. Estado de Pérdidas y Ganancias**

Las ganancias y pérdidas miden los movimientos de una empresa a lo largo de un período de tiempo, indica los ingresos, los gastos y los dividendos tanto positivos como negativos. En la Tabla 62, se muestran los cálculos del estado de pérdidas y ganancias.

**Tabla 62**  
*Estado de pérdidas y ganancias*

<b>Ingresos operativos</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
Ventas de productos (USD)	0	0	0	0	0
Ventas de servicios (USD)	66000	67200	68400	69600	70800
<b>Ingresos operativos totales (USD)</b>	<b>66000</b>	<b>67200</b>	<b>68400</b>	<b>69600</b>	<b>70800</b>
<b>Gastos operativos</b>					
Costo de implementación (USD)	100708,65	2600	2600	2600	2600
<b>Ganancia bruta (USD)</b>	<b>-34708,65</b>	<b>64600</b>	<b>65800</b>	<b>67000</b>	<b>68200</b>
<b>Gastos fijos</b>					
Mantenimiento (USD)	200	200	200	200	200
Seguro (USD)	0	0	0	0	0
Artículos de oficina (USD)	0	0	0	0	0
Servicios públicos (USD)	0	0	0	0	0
<b>Total, de gastos fijos (USD)</b>	<b>200</b>	<b>200</b>	<b>200</b>	<b>200</b>	<b>200</b>
<b>Ingresos operativos (USD)</b>	<b>-34908,65</b>	<b>64400</b>	<b>65600</b>	<b>66800</b>	<b>68000</b>
<b>Otros gastos</b>					
Interés por préstamos (USD)	27.157,76	27.157,76	27.157,76	27.157,76	27.157,76
<b>Ganancias antes de impuestos (USD)</b>	<b>-62.066,41</b>	<b>37.242,24</b>	<b>38.442,24</b>	<b>39.642,24</b>	<b>40.842,24</b>
Impuestos a la renta (USD)	0	0	0	0	0
<b>Ganancia bruta (USD)</b>	<b>-62.066,41</b>	<b>37.242,24</b>	<b>38.442,24</b>	<b>39.642,24</b>	<b>40.842,24</b>

Fuente: Autoría

#### 4.3.1.6. Flujo Efectivo

En la Tabla 63 se muestra el flujo efectivo del proyecto de red, en el cual se muestra tanto los ingresos como los egresos. Para nuestro estudio se lo realizará con una proyección de 5 años, que es el tiempo en el que deberá ser recuperada la inversión.

**Tabla 63**  
*Flujo Efectivo*

<b>Actividades de operación</b>	Inicio	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Cobranza a los clientes	0	66000	67200	68400	69600	70800
Otros cobros de efectivo relativos a la actividad	0	0	0	0	0	0
Pago a proveedores	0	0	0	0	0	0
Pago de remuneraciones y beneficios sociales	0	200	200	200	200	200
Pagos de tributos	0	0	0	0	0	0
Otros pagos relativos a la actividad	0	0	0	0	0	0
<b>Efectivo proveniente de actividades de operación</b>	<b>0</b>	<b>65800</b>	<b>67000</b>	<b>68200</b>	<b>69400</b>	<b>70600</b>
<b>Actividades de inversión</b>						
Ingresos por venta de valores	0	0	0	0	0	0
Ingresos por venta de inmuebles, máquinas y equipos	0	0	0	0	0	0
Otros ingresos relativos.	0	0	0	0	0	0
Pagos por compra de valores	100708,65	2600	2600	2600	2600	2600
Pagos por compra de inmuebles, máquinas y equipos	0	0	0	0	0	0
Otros pagos efectuados	0	0	0	0	0	0
<b>Efectivo y equivalente de efectivo proveniente de actividades de inversión</b>	<b>-100708,7</b>	<b>-2600</b>	<b>-2600</b>	<b>-2600</b>	<b>-2600</b>	<b>-2600</b>
<b>Actividades de financiamiento</b>						
Ingresos por emisión de acciones o nuevos aportes	0	0	0	0	0	0
Ingresos por préstamos bancarios a corto y largo plazo	0	0	0	0	0	0
Ingresos por emisión de bonos hipotecas y otros	0	0	0	0	0	0
Otros ingresos.	0	0	0	0	0	0
Amortización de préstamo obtenidos	0	27.157,76	27.157,76	27.157,76	27.157,76	27.157,76
Redención de emisión de títulos valores	0	0	0	0	0	0

Pago de dividendos y otras distribuciones	0	0	0	0	0	0
Otros pagos efectuados	0	0	0	0	0	0
<b>Efectivo y equivalente de efectivo proveniente de actividades de financiamiento</b>	<b>0</b>	<b>-27.157,76</b>	<b>-27.157,76</b>	<b>-27.157,76</b>	<b>-27.157,76</b>	<b>-27.157,76</b>
<b>Saldo de efectivo al final del año</b>	<b>-100708,7</b>	<b>36042,24</b>	<b>37242,24</b>	<b>38442,24</b>	<b>39642,24</b>	<b>40842,24</b>

Fuente: Autoría

#### 4.3.1.7. Flujo de Caja

El Flujo de Caja es proporcionar toda la información necesaria y la más relevante sobre los ingresos y egresos de dinero después de la ejecución de un proyecto durante un período de tiempo, es decir, es un estado financiero dinámico y acumulativo. Para determinar el Flujo de Caja se toman en cuenta los valores calculados de los Ingresos y Egresos.

**Tabla 64**

*Tabla de Egresos*

<b>Tiempo (Años)</b>	<b>Implementación (USD)</b>	<b>Mantenimiento (USD)</b>	<b>Financiamiento (USD)</b>	<b>Total (USD)</b>
Inicio	100.708,65	0	0	100.708,65
1	2600	200	27.157,76	29.957,76
2	2600	200	27.157,76	29.957,76
3	2600	200	27.157,76	29.957,76
4	2600	200	27.157,76	29.957,76
5	2600	200	27.157,76	29.957,76

Fuente: Autoría

**Tabla 65**  
*Flujo de Caja*

<b>Tiempo (años)</b>	<b>Ingreso (USD)</b>	<b>Egreso (USD)</b>	<b>Flujo de caja (USD)</b>
Inicio	0	100.708,65	-100.708,65
1	66000	2600	63.400,00
2	67200	2600	64.600,00
3	68400	2600	65.800,00
4	69600	2600	67.000,00
5	70800	2600	68.200,00

*Fuente:* Autoría

Finalmente veremos que, para determinar la factibilidad del proyecto se utilizarán los indicadores para establecer la viabilidad del diseño, los cuales son:

- Valor Actual Neto (VAN)
- Tasa Interna de Retorno (TIR)

#### **4.3.2. Valor Actual Neto (VAN)**

El valor actual neto o más conocido como VAN, es el proceso donde se evalúan mediante una serie de cálculos los proyectos que tienen como fin la inversión de capital. Este se obtiene evaluando la diferencia entre el actual valor de los ingresos estimados de la inversión y el actual valor de los egresos. El objetivo es determinar si el proyecto a invertir es rentable en un lapso de tiempo, es decir, si el valor de VAN es positivo, en caso de arrojar un valor que borde el cero se considerará al proyecto como aceptable, y si el valor actual neto arroja valores negativos, el proyecto deberá descartarse por completo.

$$VAN = -I_o + \sum_{n=1}^m \frac{Fn}{(1+i)^n}$$

**Ecuación 15.** *Cálculo del Valor Actual Neto (VAN)*

*Fuente:* (Economía, 2021).

Dónde:

- $I_o =$  *Inversión Inicial*
- $Fn =$  *Flujo Neto*
- $m =$  *número de periodos considerados*
- $i =$  *tasa de interés*

Según los cuadros actuales para un crédito en el Banco Central del Ecuador a enero del 2022, la *Tasa Activa para un préstamo Productivo Empresarial anual es del 9,89%*, y como es bien conocido, este interés puede variar, por lo que, es indispensable realizar los cálculos de rentabilidad del proyecto en un periodo de 5 años.

Remplazando los valores de la Tabla 65 en la Ecuación 15, tenemos:

$$VAN = -100708,65 + \frac{63400}{(1+0,0989)^1} + \frac{64600}{(1+0,0989)^2} + \frac{65800}{(1+0,0989)^3} + \frac{67000}{(1+0,0989)^4} + \frac{68200}{(1+0,0989)^5}$$

$$VAN = 148570,51$$

*Por lo tanto, concluimos que el Valor Actual Neto es de 148570,51 dólares. Vemos claramente que le VAN es mucho mayor que cero, por lo que podemos concluir que le proyecto es totalmente rentable para la implementación.*

### 4.3.3. Tasa Interna de Retorno (TIR)

En lo que se refiere a la Tasa Interna de Retorno o mejor conocido como TIR, es el indicador de cuan rentable es el proyecto en un determinado periodo de tiempo, esto es, si la tasa iguala la suma del valor actual de los gastos juntamente con la suma del actual valor de los ingresos. El valor del TIR determina si un proyecto es rentable al momento que la tasa de interés mínima vigente del actual mercado es menor que el valor porcentual arrojado por el TIR.

$$TIR = -I_o + \sum_{n=1}^m \frac{Fn}{(1+r)^n}$$

**Ecuación 16.** Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

Fuente: (Economía, 2021).

Dónde:

- $I_o$  = Inversión Inicial
- $Fn$  = Flujo Neto
- $m$  = número de periodos considerados
- $i$  = tasa de interés

Remplazando los valores de la Tabla 65 en la Ecuación 16, tenemos:

$$TIR = -100708,65 + \frac{63400}{(1+0,0989)^1} + \frac{64600}{(1+0,0989)^2} + \frac{65800}{(1+0,0989)^3} + \frac{67000}{(1+0,0989)^4} + \frac{68200}{(1+0,0989)^5}$$

Para realizar el cálculo del TIR, hacemos uso de Microsoft Excel mediante la función #TIR

$$TIR = 57,75\%$$

*Por lo tanto, concluimos que la Tasa Interna de Retorno es del 57,75%. Vemos claramente que el TIR es mayor que la tasa de interés vigente, por lo que podemos concluir que le proyecto es totalmente rentable para la implementación.*

#### 4.3.4. *Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)*

Es la variable económica donde conocemos el tiempo necesario que se tiene para esperar la recuperación del capital invertido, es decir, la recuperación de la inversión será mucho más rápido a medida que el tiempo de la inversión sea mucho menor. Para determinar el tiempo en el cual se recuperará el capital, se utiliza la variable del tiempo estimado de proyección y los flujos de caja que se proyectaron anteriormente en la Tabla 65.

A saber, que la inversión del proyecto es de **100708,65 dólares**, analizamos que el periodo de recuperación del capital invertido se estimaría a partir del segundo año, por lo tanto, para establecer el PRI se selecciona el flujo neto de un año de inversión y se resta de la inversión inicial.

$$PRI = A_I + \frac{(I_O - F_A)}{F_E}$$

**Ecuación 17.** *Cálculo del Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)*

*Fuente:* (Cruz, 2017).

Dónde:

- **PRI = Tiempo de Recuperación de la Inversión**
- **$I_O$  = Inversión Inicial**
- **$A_I$  = Año inmediato anterior en que se recupera la inversión**
- **$F_E$  = Flujo de efectivo del año en el que se recupera la inversión**
- **$F_A$  = Flujo de Efectivo Acumulado del año inmediato anterior en el que se recupera la inversión**

Remplazando los valores de la Tabla 65 en la Ecuación 17, tenemos:

$$PRI = A_I + \frac{(I_O - F_A)}{F_E} = 1 + \frac{(100708,65 - 63400)}{64600} = 0,57$$

Por lo tanto, observamos que el tiempo exacto de recuperación de la inversión se dará en:

**1 año, 6 meses, 28 días**

#### 4.3.5. *Relación Costo - Beneficio*

La relación costo – beneficio indica el lucro que se adquirirá con el costo de la inversión realizada. En resumen, esta relación nos ayuda a ver los beneficios que se obtendrán por ganancia por cada cierto número de dólares invertidos.

Existen 3 escenarios en los cuales se puede ver reflejada esta relación:

- Relación Costo - Beneficio < 1 (No atractivo)
- Relación Costo - Beneficio = 1 (Indiferente)
- Relación Costo - Beneficio > 1 (Atractivo)

La ecuación es:

$$CB = \frac{I}{C + I_0}$$

**Ecuación 18.** *Cálculo del Costo - Beneficio*

*Fuente:* (Rodríguez, 2021).

Dónde:

- **CB = Relación Costo - Beneficio**
- **I = Ingresos Totales Actuales**
- **C = Costos Totales Actuales**
- **I<sub>0</sub> = Inversión Inicial**

La Tabla 66 muestra los valores de Ingreso, precios de los nuevos abonados y la inversión del proyecto.

**Tabla 66**  
*Valores del Proyecto*

<b>Indicador (año)</b>	<b>Ingreso (USD)</b>	<b>Costos de los nuevos abonados (USD)</b>	<b>Inversión (USD)</b>
1	63.400,00	2600	100708,65
2	64.600,00	2600	
3	65.800,00	2600	
4	67.000,00	2600	
5	68.200,00	2600	
<b>Total</b>	<b>329.000,00</b>	<b>13000</b>	<b>100708,65</b>

*Fuente:* Autoría

Remplazando los valores de la Tabla 66 en la Ecuación 18, tenemos:

$$CB = \frac{I}{C + I_0} = \frac{329000}{13000 + 100708,65} = 2,89$$

Por tanto, el valor Costo – Beneficio vendrían a ser de 2,89 dólares lo que significa que: por cada dólar invertido se recuperan 1.89 dólares adicionales en cinco años.

#### **4.4. Financiamiento**

El objetivo de realizar los cálculos descritos en las secciones 4.3.4 y 4.3.5, trata de mostrar el Periodo o el Tiempo de Recuperación de la Inversión y la Relación que este proyecto tiene en cuanto a la cantidad de capital invertido con el beneficio que traerá a la empresa en un cierto periodo de tiempo. Es factible hacer este tipo de cálculos ya que con esto se pretende verificar si el financiamiento es totalmente valido. Como hemos visto y verificado acorde a las fórmulas establecidas, esta propuesta de diseño de red es totalmente viable en un periodo de dos años, ya que su rentabilidad neta se la podrá ver reflejada a partir del tercer año.

#### 4.5. Observaciones Finales

Es importante indicar y como se indicó en la sección 4.3, la *migración* de los clientes que posee la empresa en cuanto a los planes de tecnología inalámbrica hacía un plan íntegramente cubierto por fibra óptica, se la realizará en su *totalidad*, es decir, cada abonado será beneficiado de poseer todas las ventajas que se tiene al momento de gozar de los beneficios GPON y para nuestro caso, aún muy superior ya que se contará con equipos altamente eficientes y rentables, como es el uso de dispositivos iODN, esto es, unidades de red de distribución óptica inteligentes.

Uno de los objetivos primordiales de la empresa y como visión a futuro es abarcar la mayoría del mercado de las telecomunicaciones en la provincia de Imbabura, y como punto fuerte afianzar su liderazgo en Urcuquí. Es por ello, que cada *nuevo cliente* será beneficiado de ingresar con un plan totalmente cubierto por fibra óptica y con esto consolidar una posición fuerte en el mercado de las telecomunicaciones.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

Al momento de iniciar con el previo estudio de esta migración de red, hemos visto que uno de los objetivos principales de la empresa SERVICETEL es llegar con tecnología GPON a todos sus abonados de la parroquia Urcuquí, y como segundo objetivo a cumplirse y según nos ha manifestado el gerente de la empresa, es afianzar el mercado de las telecomunicaciones en la provincia de Imbabura y como punto fuerte consolidarse en el sector donde actualmente es fuerte como proveedor. En este caso hemos visto a lo largo del desarrollo de la red, como al ser una migración por medio de la fibra óptica de todos sus clientes, se adicionarán a estos la solución iODN al diseño de la red GPON.

Fue necesario e indispensable estar empapado de todo el conocimiento teórico antes de empezar con el estudio del proyecto de red que abarca todo lo referente a la tecnología donde se involucra la fibra óptica. Para nuestro caso particular fue aún más necesario conocer a fondo la nueva tecnología que este análisis abarco, la cual es, la Red de Distribución Óptica Inteligente que no es más que la autogestión de los procesos normales que involucra el control y el manejo de la fibra, la programación automática de rutas y la gestión automatizada de las ordenes de trabajo.

También es necesario y muy importante conocer el campo de estudio donde se implementará el diseño de red propuesto. Para ello es preciso conocer el área física donde se encuentran distribuidos los diferentes clientes de la empresa en caso de realizar una migración de tecnología de los abonados consolidados con el proveedor de servicios. De igual manera, así como es importante conocer la parte teórica de la tecnología a ser empleada, es importante conocer las características más relevantes de los nuevos equipos que abarcan la propuesta de migración hacia la nueva tecnología ya empleada en este estudio de red, ya que es necesario conocer sus ventajas

como desventajas en caso de haberlas y tener claro con que dispositivos se cuentan al momento de la realizar la implementación. No está por demás indicar la serie de beneficios que esta nueva propuesta tecnológica traerá tanto a la empresa como a sus actuales y futuros clientes, ya que al tratarse de una Red de Distribución Inteligente para gestionar todo lo que es la fibra óptica, el primero beneficio a relucir para SERVICETEL es el enorme ahorro de capital a futuro que esta tecnología traerá, ya que al tener características de autogestionables, muchos de los procesos se realizan por si solos evitando la mano de obra en exceso, a diferencia de una GPON normal donde se necesitan de varios técnicos en diversas áreas para la solución de los distintos inconvenientes típicos en una red de fibra, y por otra parte se presenta la enorme ventaja hacia los usuarios, ya que una pronta respuesta al momento de solucionar algún inconveniente de conectividad es indispensable, al menos si hablamos de abonados que necesitan operar en línea las 24 horas del día, ya que la caída del servicio sin una pronta respuesta sería determinante al momento de evaluar la continuidad del cliente con la empresa.

Como punto importante y muy relevante se encuentra el estudio de la parte financiera del proyecto, ya que podemos hablar de una nueva propuesta tecnológica con enormes beneficios a conseguir técnicamente, si el proyecto económicamente no es factible ni rentable; es por ello que se ha realizado un estudio exhaustivo y minucioso de cada uno de los elementos a ser considerados para este esquema, en cuanto a equipos pasivos de red como a materiales típicos en una instalación de tendido de fibra óptica, así como la parte humanamente necesaria e indispensable para montar el diseño propuesto como los diversos gastos e imprevistos que puedan presentarse durante la implementación del proyecto. Es por ello que, al hacer el análisis económico con las diferentes variables a ser consideradas, hemos concluido que este proyecto es totalmente viable y rentable a futuro en el lapso del tiempo ya estimado para este estudio, tal cual se indicó en la sección 4.3.

## **Recomendaciones**

Es importante destacar un punto en el diseño propuesto, ya que, si alguna persona o entidad desea tomar como referencia esta propuesta de red, tenga en cuenta y se recomienda realizar un estudio previo del sector donde se va aplicar el nuevo esquema, ya que son varios los factores a considerar antes de proponer un diseño, como son la parte geográfica, los equipos, dispositivos e insumos que intervendrán, así también la parte financiera y la proyección a futuro en cuanto a la rentabilidad del nuevo modelo de red.

Muchas de las veces, las personas y en particular los técnicos que operan en trabajos de telecomunicaciones, suelen asumir ciertos conocimientos teóricos como ya hechos, esto es, que no se preocupan por actualizar sus conocimientos, mucho menos indagar a fondo sobre las ventajas y desventajas que un equipo, un dispositivo u otro elemento de red puedan acarrear a futuro, por lo que es muy recomendable antes de realizar el diseño, empaparse de toda la teoría de todos los factores que intervendrán en la nueva propuesta tecnológica.

En cuanto al diseño, se recomienda tomar muy en cuenta la ubicación de la OLT ya que de esta depende toda la nueva red a ser trazada, así como también el cálculo de las ONT y los diferentes divisores ópticos a utilizarse, ya que si al realizar equivocadamente una operación matemática, ésta puede afectar considerablemente el diseño a ser realizado, y no solamente en el cálculo de los elementos ópticos, sino también en el presupuesto a valorarse, ya que en muchos de los casos, un diseño mal bosquejado, presentará valores negativos e infundados económicamente.

Finalmente cabe destacar la importancia rentable del proyecto, ya que, si no se posee los suficientes conocimientos, van a existir una serie de inconvenientes al momento de realizar la proyección beneficiosa del estudio, es por ello que se recomienda acudir a fuentes confiables y acreditadas, las mismas que nos servirán para hacer correctamente todos los procesos numéricos.

## Referencias

### Bibliografía

Falcone, F. y Matías, I. (2017). Domótica e inmótica: Instalaciones de telecomunicaciones para edificaciones. Buenos Aires, Argentina: Alfaomega.

Escartín, V. (2016). Procesamiento sobre hardware reconfigurable de imágenes estereoscópicas transmitidas por mazos de fibras ópticas no coherentes. La Habana, Cuba: Editorial Universitaria.

Gallardo, S. (2015). Elementos de sistemas de telecomunicaciones. Madrid, España: Paraninfo.

Barja, R. (2013). Enfoque de telecomunicaciones para redes convergentes: Artículos de telecomunicaciones bajo la red HFC: Madurez de la tecnología. Madrid, España: Editorial Académica Española.

Rodríguez, J. (2013). Circuito cerrado de televisión y seguridad electrónica. Madrid, España: Paraninfo.

Fernandez, C. (2012). Instalaciones de telefonía: Prácticas. Madrid, España: Paraninfo.

Huidrobo, J. (2011). Telecomunicaciones: Tecnologías, redes y servicios. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Urcuquí. (2021). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2011 – 2031. Urcuquí, Ecuador.

Flores, V. (30 de noviembre del 2021). Informe anual general 2021 de clientes del cantón Urcuquí. SERVICETEL

Quisnancela, E., Espinosa, N. (2016). Certificación de redes GPON, normativa ITU G.984.x. Quito, Ecuador.

Huawei, Enterprise. (2014). iODN Product Documentation. Huawei Proprietary and Confidential. Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd.

García, A. (2012). GPON Introducción y Conceptos Generales. Telnet

Gerencia de Ingeniería CNT. (2012). Normativa de Diseño y Construcción de Redes de Telecomunicaciones con fibra óptica.

Instituto Latinoamericano de Planificación Económica y Social. (1974). Guía para la presentación de proyectos. México. Siglo XXI Editores

### **Artículos Científicos**

Rosales, S.; Pinar, M. y Díez, A. (2018). Caracterización de la sensibilidad a la fibra cerca del punto de inflexión de la interacción Acousto-Optic. OSA Publishing, OSA Technical Digest, Optical Society of America, artículo Th4A.23.

Bing, F.; Zuxing, S.; Xu, J. y Wei, W. (2018). Sensores de temperatura que operan cerca del punto de inflexión de dispersión de la fibra de dos modos basada en microfibras. OSA Publishing, OSA Technical Digest, Optical Society of America, papel M3B.1.

Duong, A.; Shin, J.; Seungmin, J. y Han, Y. (2018). Medición simultánea del índice de refracción ambiental y del sensor de temperatura basado en un resonador de nudo de microfibras de dos modos superpuesto por polímero. OSA Publishing, OSA Technical Digest, Optical Society of America, papel WF69.

CSMA/CA: definición y mecánica del protocolo. (2018). Digitalguide IONOS. Know How  
Veen, D.; Houtsma, V. y Vetter, P. (2014). Advanced modulation techniques for NG EPON: duobinar. Ed Harstead. Member Fixed Networks CTO.

Cevallos, R; Montalvo, R; Vinueza, M. (2014). Estudio y Diseño de una Red de Última Milla, Utilizando la Tecnología G-PON, Para el Sector del Nuevo Aeropuerto de Quito.

### **Trabajos de Grado**

Díaz, M. (2020). Diseño de un enlace de fibra óptica por cable submarino entre Ecuador Continental e Insular para acceso a internet. EPN, Quito, Ecuador.

Palacios, R. (2020). Reconfiguración óptima de Redes de Distribución que contienen generación distribuida hidroeléctrica, aplicando un algoritmo de optimización basado en colonia de hormigas. EPN, Quito, Ecuador.

Campos, J. y Romo, C. (2019). Diseño de una red de acceso para brindar servicios Triple Play con tecnología GPON (Gigabit-Capable Passive Optical Network) y plan de certificación de la ODN (Optical Distribution Network) implementada para el sector “El Dorado” en la ciudad de Puyo, provincia de Pastaza. EPN, Quito, Ecuador.

Pozo, L. y Zurita, K. (2019). Diseño y simulación de una red de acceso 10G-PON para el sector de la Mariscal. EPN, Quito, Ecuador.

Simbaña, Z. (2019). Análisis Técnico - Económico de Redes xDSL y GPON para CNT EP en la Ciudad de Ibarra. UTN, Ibarra, Ecuador.

Ruiz, M. (2019). Diseño de una red de fibra óptica FTTH para brindar el servicio de internet a los usuarios de la empresa REDECOM en el centro de la ciudad de Otavalo. UTN, Ibarra, Ecuador.

Villacís, E. (2015). Diseño de una red iODN con tecnología FTTH para la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT-EP en la ciudad de Guaranda. EPN, Quito, Ecuador.

Sanipatin, J. (2014). Diseño de una red con fibra óptica para migrar las últimas millas inalámbricas de la empresa EQUYSUM en la ciudad de Otavalo. UTN. Ibarra, Ecuador.

## Linkografía

ExcelT. (2022). Tabla de amortización en Excel. Excel Total. <https://exceltotal.com/tabla-de-amortizacion-en-excel/>

BCE. (2022). Tasas de Interés. Banco Central del Ecuador. <https://contenido.bce.fin.ec/docs.php?path=/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/Indice.htm>

Banco Mundial. (2021). Crecimiento de la población (% anual) – Ecuador. <https://datos.bancomundial.org/indicador/sp.pop.grow?end=2020&locations=EC&start=2010>

Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL). (2021).

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2021). Población y Vivienda. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas/>

SRI. (2021). Extracto Arts. 10 al 15 Ley Orgánica de Régimen Tributario Interno y Arts. 26 al 31 y Art. 36 Reglamento para la aplicación Ley de Régimen Tributario Interno. <https://derechoecuador.com/depreciaciones-de-activos-fijos/#:~:text=la%20t%C3%A9cnica%20contable.->

,La%20depreciaci%C3%B3n%20de%20los%20activos%20fijos%20se%20realizar%C3%A1%20de%20acuerdo,barcazas%20y%20similares%205%25%20anual.

Economía. (27 de septiembre del 2021). Van y TIR: Concepto, diferencias y cómo calcularlos. Economía. <https://economia3.com/van-tir-concepto-diferencias-como-calcularlos/>

Rodríguez, N. (22 de marzo del 2021). Cómo realizar un análisis de costo-beneficio paso a paso. Ventas. <https://blog.hubspot.es/sales/analisis-cost-beneficio>

FO. (2021). Conector SC. Fibras Ópticas de México. <https://fibrasopticasdemexico.com/tienda/>

CYCOM. (2021). Conector de las fibras ópticas de la PC/de APC de FC SX. <http://spanish.fiber-patch-cord.com/sale-1863762-fc-sx-pc-apc-fiber-optics-connector.html>

Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. (2021). Plan Nacional de Telecomunicaciones y Tecnologías de Información del Ecuador 2016 – 2021. <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2016/08/Plan-de-Telecomunicaciones-y-TI..pdf>

Google Maps. (2021). Mapa de Urcuquí. Recuperado el 01 de diciembre del 2021 de <https://www.google.com.ec/maps/place/Urcuqui/@0.4212425,-78.2000399,16z/data=!4m5!3m4!1s0x8e2a3a2247b65bfb:0x63ec3355fe2815a5!8m2!3d0.420038!4d-78.1941122?hl=es>

Mikrotik. (2021). RB3011UiAS-RM. Recuperado el 11 de diciembre del 2021 de <https://mikrotik.com/product/RB3011UiAS-RM#fndtn-specifications>

TpLink. (2021). Switches Inteligentes Sencillos TL-SG1024DE. Recuperado el 5 de diciembre del 2021 de <https://www.tp-link.com/ec/business-networking/easy-smart-switch/tl-sg1024de/#specifications>

SinCables. (2021). AM-5G19-120 Ubiquiti Rocket Sector 19dBi 120° 5GHz airMAX. Recuperado el 4 de diciembre del 2021 de <https://www.sincables.com.ec/product/am-5g19-120-ubiquiti-rocket-sector-19dbi-120-5ghz-airmax/>

Huawei, E. (2021). iODN Product Documentation. Huawei. <https://support.huawei.com/enterprise/es/category/optical-transmission-pid-1482607141779?submodel=doc>

Odintsov, D. (2021). Comunicaciones unificadas. TrueConf. <https://trueconf.com/es/comunicaciones-unificadas.html>

ITU-T. (2021). Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales. ITU-T.  
<https://www.itu.int/rec/T-REC-G/es>

Ley de Snell. (7 de diciembre del 2021). En Wikipedia.  
[https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Ley\\_de\\_Snell&gettingStartedReturn=true](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Ley_de_Snell&gettingStartedReturn=true)

RS. (2021). Cable para Fibra Óptica RS PRO St. RS. <https://es.rs-online.com/web/p/cables-para-fibra-optica/5368648>

Imbabura. (2021). Imabura “Provincia de los Lagos”. Sites.  
<https://sites.google.com/site/imbaburaprovinciadeloslagos/datos-adicionales>

Ministerio de Trabajo. (2021). Salarios mínimos sectoriales 2021. Ministerio de Trabajo.  
<https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2020/12/ANEXO-1%E2%80%9CEstructuras-ocupacionales-%E2%80%93salarios-m%C3%ADnimos-sectoriales-y-tarifas-sa.pdf?x42051>

AlibabaONT. (2021). Huawei HG8447 CATV GPON ONT ONU Huawei HG8447 módem FTTH. Alibaba. <https://spanish.alibaba.com/product-detail/huawei-hg8447-catv-gpon-ont-onu-huawei-hg8447-ftth-modem-50039104568.html>

AlibabaOLT. (2021). MA5800-x7 GPON. Alibaba. [https://www.alibaba.com/product-detail/Olt-Huawei-Olt-Brand-New-MA5800\\_1600212683780.html?spm=a2700.7735675.normal\\_offer.d\\_image.14827597pYhYHo&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/Olt-Huawei-Olt-Brand-New-MA5800_1600212683780.html?spm=a2700.7735675.normal_offer.d_image.14827597pYhYHo&s=p)

ItPriceiFDT. (2021). Huawei FB2B0FDT4300. ItPrice.  
<https://itprice.com/es/huawei/fb2b0fdt4300.html>

ItPriceiODF. (2021). Huawei ODF2101-CH2. ItPrice.  
<https://itprice.com/es/huawei/odf2101-ch2.html>

AlibabaSP. (2021). Divisor PLC Huawei SPL1101-P1008A-FC. Alibaba. [https://www.alibaba.com/product-detail/Huawei-PLC-Splitter-SPL1101-P1008A-FC\\_62295569047.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Huawei-PLC-Splitter-SPL1101-P1008A-FC_62295569047.html)

AlibabaFO. (2021). G652D Gyxtw, 4 / 6 / 8 / 12 núcleos, cable de fibra óptica con armazón para exteriores. Alibaba. [https://spanish.alibaba.com/product-detail/4-6-8-12-core-g652d-gyxtw-outdoor-armoured-fiber-optic-cable-62250569425.html?spm=a2700.7735675.normal\\_offer.d\\_image.653739e7ItvKCw&s=p](https://spanish.alibaba.com/product-detail/4-6-8-12-core-g652d-gyxtw-outdoor-armoured-fiber-optic-cable-62250569425.html?spm=a2700.7735675.normal_offer.d_image.653739e7ItvKCw&s=p)

AmazonC. (2021). Elfcam - Conector rápido de Fibra óptica SC/APC Simplex Monomodo (SM), 5 Unidades. Amazon. [https://www.amazon.es/Elfcam-Conector-Simplex-Monomodo-Unidades/dp/B08GLVM6RS/ref=sr\\_1\\_1?keywords=conectores+para+fibra+optica&qid=1642117573&sr=8-1](https://www.amazon.es/Elfcam-Conector-Simplex-Monomodo-Unidades/dp/B08GLVM6RS/ref=sr_1_1?keywords=conectores+para+fibra+optica&qid=1642117573&sr=8-1)

Huawei, E. (2020). iODN Product Documentation. Huawei. [http://support.huawei.com/hedex/hdx.do?docid=EDOC1000066753&tocURL=resources%2Fcd%2Fv1r3pd%2Ftc\\_iodn\\_cd\\_0012.html](http://support.huawei.com/hedex/hdx.do?docid=EDOC1000066753&tocURL=resources%2Fcd%2Fv1r3pd%2Ftc_iodn_cd_0012.html)

Erden, S. (2020). Ángulo crítico y la reflexión total. Erden. [https://www.physicstutorials.org/pt/es/67-%C3%81ngulo\\_cr%C3%ADtico\\_y\\_la\\_reflexi%C3%B3n\\_total](https://www.physicstutorials.org/pt/es/67-%C3%81ngulo_cr%C3%ADtico_y_la_reflexi%C3%B3n_total)

ITU-T. (2019). Series G.984.2: Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2/es>

Castillo, J. (2019). Fibra óptica: qué es, para qué se usa y cómo funciona. Recuperado el 15 de febrero del 2019 de <https://www.profesionalreview.com/2019/02/15/fibra-optica-que-es/>

ITU-T. (2019). Series G.671: Transmission characteristics of optical components and subsystems. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.671/es>

Promax. (23 de enero del 2019). Cómo fusionar dos fibras ópticas. Promax. <https://www.promax.es/esp/noticias/556/como-fusionar-dos-fibras-opticas/>

FS, Community. (2018). Las ventajas y desventajas de la fibra óptica. FS. <https://community.fs.com/es/blog/the-advantages-and-disadvantages-of-fiber-optic-transmission.html>

Aydaf. (2018). Evolución de Redes de Telecomunicaciones. Science and Technology. Aydaf. <https://www.timetoast.com/timelines/evolucion-de-redes-de-telecomunicaciones>

MIMC. (2018). Refracción de la luz. Wixsite. MIMC. <http://maragnas.wixsite.com/edu-fotografia/copia-de-comportamiento-luz-reflexin-2>

CCDSitel. (2018). Comercializadora en Comunicaciones Digitales S.A. de C.V. CCDSitel. [http://ccdsitel.com/index.php?route=product/product&product\\_id=395](http://ccdsitel.com/index.php?route=product/product&product_id=395)

Pasciullo, F. (06 de junio de 2017). Diferentes tipos de cables. Pasciullo. <http://fernando516.blogspot.com/2017/06/diferentes-tipos-de-cables.html>

Cruz, E. (24 de enero del 2017). El PRI: uno de los indicadores que más llama la atención de los inversionistas. Apuntes Empresariales. <https://www.esan.edu.pe/apuntes-empresariales/2017/01/el-pri-uno-de-los-indicadores-que-mas-llama-la-atencion-de-los-inversionistas/>

Reyes, Luis. (17 de julio del 2017). Características Eléctricas de las fibras ópticas: Ancho de banda, Atenuación. Ingeniería Electrónica. <https://ingenieriaelectronica.org/caracteristicas-electricas-las-fibras-opticas-ancho-banda-atenuacion/>

Fibrain. (2017). Léxico de transmisión óptica: CATV, CWDM, DWDM, FTTH. Fibrain. <https://pon.fibrain.com/artykuly-techniczne/optical-transmission-lexicon-catv-cwdm-dwdm-ftth,44.html>

Díaz, J. (agosto de 2016). Fibra Óptica. Díaz. [http://jmdg10blog.blogspot.com/p/fibra-optica\\_14.html](http://jmdg10blog.blogspot.com/p/fibra-optica_14.html)

ITU-T. (2016). Series G.652: Characteristics of a single-mode optical fibre and cable. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652/es>

ITU-T\_1. (2016). Series G.657: Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.657/es>

González, V. (23 de abril de 2016). Fibra Óptica. González. [https://mdtviridianaggr.blogspot.com/2016/04/fibra-optica\\_23.html?showComment=1531691105872#c1364729975480631996](https://mdtviridianaggr.blogspot.com/2016/04/fibra-optica_23.html?showComment=1531691105872#c1364729975480631996)

Fumero, H. (01 de abril de 2016). Ejemplo de Presupuesto de Potencia en GPON. Fumero. <https://www.fibraopticahoy.com/blog/ejemplo-de-presupuesto-de-potencia-en-gpon/>

(“MyNetFone Launches FTTN/B”). (2016). MyNetFone lanza FTTN/B. MyNetFone. MyNetFone. <https://www.mynetfone.com.au/blog/MyNetFone-Launches-FTTNB>

Huawei, T. (2016). Redes de Transmisión. Huawei. <https://support.huawei.com/enterprise/es/category/optical-access-pid-1482605784817?submodel=doc>

Unknown. (23 de abril del 2016). Fibra Óptica. *Medios de transmisión*. [http://mdtviridianaggr.blogspot.com/2016/04/fibra-optica\\_23.html](http://mdtviridianaggr.blogspot.com/2016/04/fibra-optica_23.html)

Infrasys Solutions Pvt. Ltd. bags. (2015). Fiber To The Home (FTTH). Infrasy. [http://www.infrasyssolutions.com/Fiber\\_to\\_the\\_home](http://www.infrasyssolutions.com/Fiber_to_the_home)

Apablaza, F. (2015). NG-WDM. Textos Científicos. Apablaza. <https://www.textoscientificos.com/redes/ng-wdm>

- Apablaza, F. (2015). NG-WDM. Textos Científicos.  
<https://www.textoscientificos.com/redes/ng-wdm>
- (“Soluciones Fibra Óptica”). (2015). Fibra Óptica Holgada. Silex Fiber. Fibra Óptica.  
<http://silexfiber.com/fibra-optica-holgada/>
- SectorElectricidad. (8 de enero del 2015). OPGW Tubo Central de Aluminio Extruido.  
<https://www.sectorelectricidad.com/10979/opgw-tubo-central-de-aluminio-extruido/>
- CRT. (2014). Cable ADSS - Aerial Dielectric Self-Supporting.  
<http://www.crttele.com/productos/cables-opticos/adss/cable-optico-dielectrico-adss-self-supporting.html>
- SilexFiber. (2014). Fibra Óptica Holgada. Silex Fiber.  
<https://silexfiber.com/portfolio/fibra-optica-holgada/>
- ITU-T. (2014). Series G.984.3: Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Transmission convergence layer specification. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.3/es>
- Jacovix. (8 de agosto del 2013). Redes privadas y PON. Jacovix.  
<http://redesprivadasypon.blogspot.com/2013/08/redes-privadas-y-pon.html>
- Beach J. (09 de enero de 2013). Huawei deploys first iODN in Russia. Telecoms. Beach.  
<http://telecoms.com/65281/huawei-deploys-first-iodn-in-russia/>
- Pérez, J., Merino, M. (2012). Definición de reflexión de la luz. Definición.  
<https://definicion.de/reflexion-de-la-luz/>
- Lorenzo, K. (1 de junio del 2010). Relatividad General. *Temas de Física*.  
<http://karlita777.blogspot.com/2010/>
- ITU-T. (2008). Series G.984.1: Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1/es>

Cisco. (2005). Calcular la atenuación máxima para enlaces de fibra óptica. [https://www.cisco.com/c/es\\_mx/support/docs/optical-networking/ons-15454-sonet-multiservice-provisioning-platform-mspp/27042-max-att-27042.html](https://www.cisco.com/c/es_mx/support/docs/optical-networking/ons-15454-sonet-multiservice-provisioning-platform-mspp/27042-max-att-27042.html)

Turnero, P. (s.f.). Introducción a la fibra óptica. <https://www.monografias.com/trabajos104/introduccion-fibra-optica/introduccion-fibra-optica.shtml>

León, L. (s.f.). Qué es la Difracción y Cómo Afecta a la Nitidez de tus Fotos. Dzoom. <https://www.dzoom.org.es/difraccion-y-nitidez/>

MIMC. (s.f.). Refracción de la luz. MIMC. <https://maragnas.wixsite.com/edu-fotografia/copia-de-comportamiento-luz-reflexin-2>

JMDG10. (s.f.). Fibra Óptica. JMDG10. [https://jmdg10blog.blogspot.com/p/fibra-optica\\_14.html](https://jmdg10blog.blogspot.com/p/fibra-optica_14.html)

Rojas, M., Bohórquez, N. (s.f.). Aproximación Metodológica para el Cálculo de la Administración, Imprevistos y Utilidad (AIU). <http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v77n162/a30v77n162.pdf>

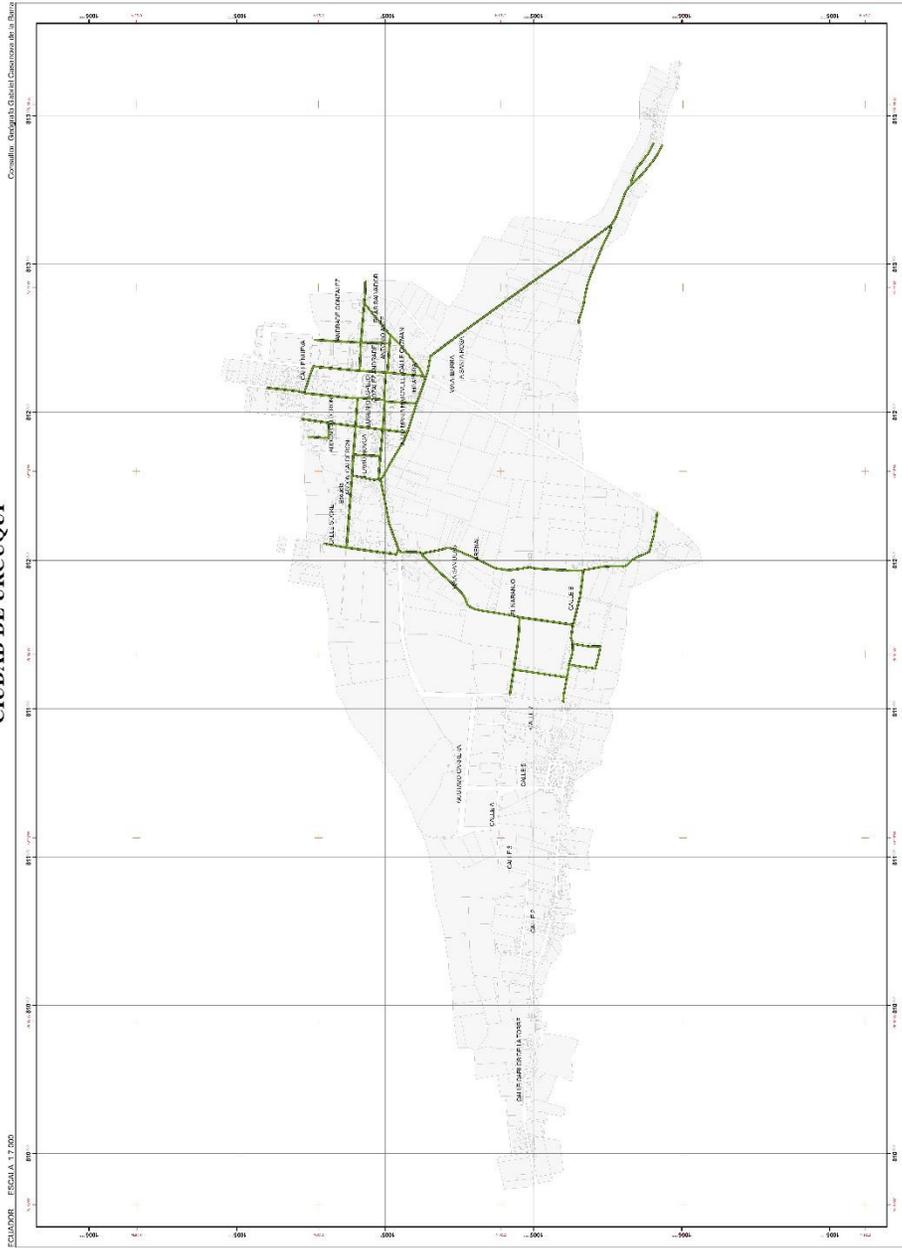
**Anexos**

# **ANEXOS**

# **ANEXO I**

*Red Telefónica del cantón Urcuquí*

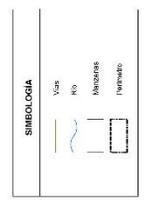
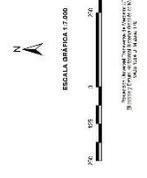
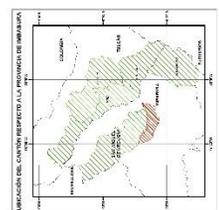
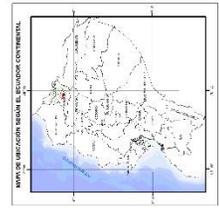
# CIUDAD DE URCUQUÍ



ESCALA: 1:12.000  
 CONSULTA: Geografía y Social Ciencias de la Base

## LEYENDA

REDES TELEFÓNICAS



**MANCOMUNIDAD DE LA CUENCA DEL RÍO MIRA**

**GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTÓN SAN MIGUEL DE URCUQUÍ**

**GEÓGRAFO GABRIEL CASANOVA DE LA BARRA**

**PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL 2011-2014 DEL CANTÓN SAN MIGUEL DE URCUQUÍ**

**ASENTAMIENTOS HUMANOS**

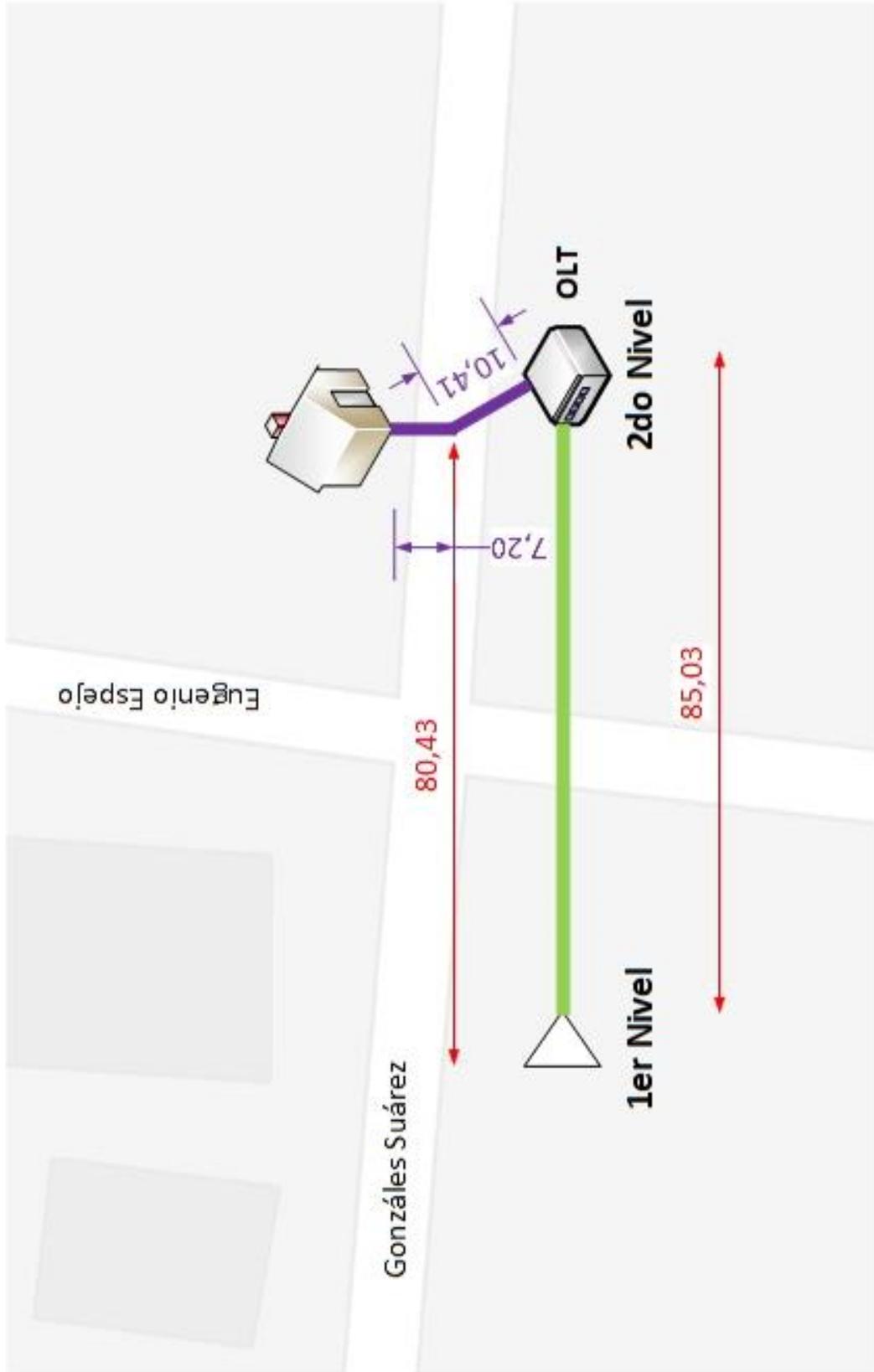
**RED TELEFÓNICA**

FECHA: MARZO 2010  
 ESCALA: 1:12.000

## **ANEXO II**

*Planos de las Distancias de la Zona 1 y Zona 2*

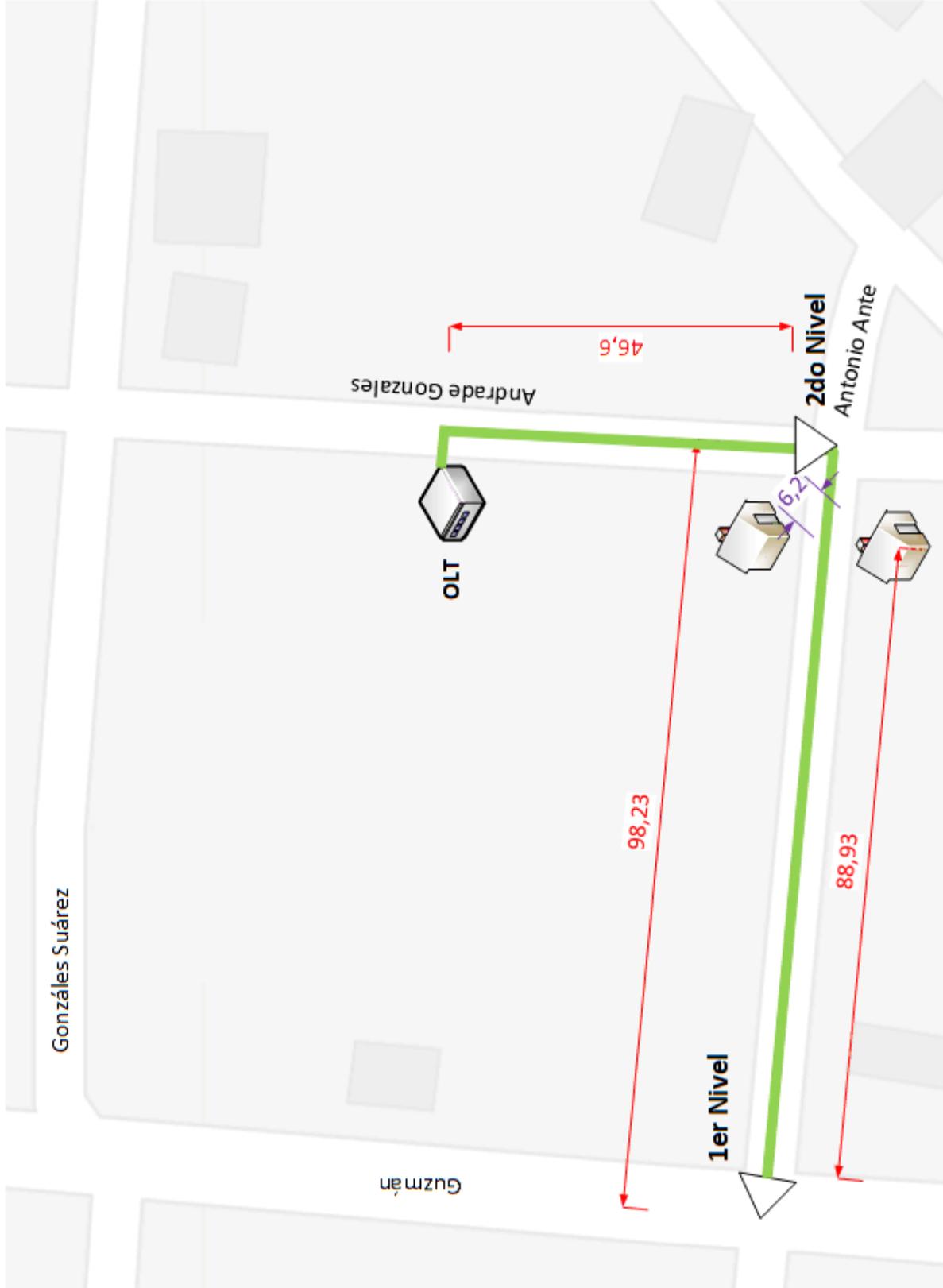
### Zona 1 - Cerca



### Zona 1 - Lejos



# Zona 2 - Cerca



### Zona 2 – Lejos



# **ANEXO III**

*Huawei MA5800-X7*



## Cabinet and Service Subrack

**N63E-22 CABINET**

Power supply backup

**MA5800-X17 SERVICE SUBRACK**

11 U (height) | 21 inch (width)  
17 slots for service boards

**MA5800-X7 SERVICE SUBRACK**

6 U (height) | 19 inch (width)  
7 slots for service boards

## Board

**MA5800 BOARD OVERVIEW**

Control board

Upstream board

Service boards

E1 board    PON board    10G PON board    10GE board    GE/FE board

GPIO board

Power board

\*For details, see MA5800 Hardware Description.

**200 GBIT/S SWITCHING CAPACITY, AVAILABLE 256K MAC ADDRESS, LARGE CACHE CAPACITY**

◆ Switching capacity per slot (bit/s)

◆ Available MAC addresses

## Typical Configuration

**ULTRA-LARGE CAPACITY**

◆ Distributed architecture constructs a large-capacity non-blocking system for easy expansion

**FTTH**

Configuration	Maximum Number of Ports		Maximum Number of ONTs	
	X17	X7	X17	X7
PON board	272	112	17K	14K
10G PON board	136	56	17K	14K

# **ANEXO IV**

*HG8447*



Parámetros de la interfaz:

Puerto GPON	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clase B+</li> <li>• Sensibilidad del receptor: -27dBm</li> <li>• Longitudes de onda: US 1310 nm, DS 1490 nm</li> <li>• Filtro de bloqueo de longitud de onda (WBF)</li> <li>• Mapeo flexible entre el puerto GEM y TCONT</li> <li>• GPON: consistente con el SN o contraseña autenticación definida en G.984.3</li> <li>• FEC bidireccional</li> <li>• SR-DBA y NSR-DBA</li> </ul>
Puerto Ethernet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Etiquetas VLAN basadas en puertos Ethernet y eliminación de etiquetas</li> <li>• Transmisión transparente VLAN 1:1, VLAN N:1 o VLAN</li> <li>• QinQ VLAN</li> <li>• Límite en el número de direcciones MAC aprendidas</li> <li>• Aprendizaje de direcciones MAC</li> <li>• Transmisión transparente de paquetes IPv6 en la capa 2</li> </ul>
Puerto POTS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• REN máximo: 4</li> <li>• G.711A/μ, G.729a/b y G.722 codificación/decodificación</li> <li>• Modo de fax T.30/T.38/G.711</li> <li>• DTMF</li> <li>• Llamadas de emergencia (con el SIP) protocolo)</li> </ul>

**ANEXO V**  
***GPX147-ODF2101***

# GPX147-ODF2101



The GPX147-ODF2101 series of optical fiber distribution cabinet (or frame) can be applied in the FTTx-ODN or traditional optical transmission network, the cabinet (or frame) is designed to house the 19-inch standard modules which can provide the function of splicing, termination or splitting. The GPX147-ODF2101 of 2200 millimeters high can provide a maximum capacity of 576 cores of termination or 1248 cores of splitting.

## Characteristics

- Standard design: The 19-inch open structure contributes to high universality of units.
- Modular design: Modular design, each module can be removed separately. Therefore, it can be configured flexibly and expanded easily.
- Proper Cabling: Proper cabling design meets the requirements for leading in or out cables upward or downward.
- Excellent Operability: Allows to perform operations at full front. It can be combined back to back or side by side, also installed against the wall.
- High Security: Support the stripping, fixing, and grounding protection of optical fibers. The optical fibers are protected from end to end depending on arc-shaped cabling devices, complete protection accessories, and over-30mm radius of curvature.

## Specifications

Model	GPX147-ODF2101CH2	GPX147-ODF2101CH3	GPX147-ODF2101FH2
Dimension (H×W×D)mm	2290×890×300	2000×800×300	2000×800×300
Installation space(U)	43	38	43
Installation standard	19"	19"	19"
Capacity (core)	Integrated splicing and termination: 576 Splicing: 1248	Integrated splicing and termination: 504 Splicing: 1008	Integrated splicing and termination: 576 Splicing: 1248
Material	Metal sheet	Metal sheet	Metal sheet
Net weight / Gross weight (kg)	101/142	91/131	56/97

## Performance specifications

Item	Description
Minimum bend radius	≥30mm
Insertion loss	PC<0.35dB; UPC<0.35dB; APC<0.45dB
Return loss	PC<40dB; UPC<50dB; APC<50dB
Swapping durability	>1000 times
Dielectric withstanding voltage	≥1×103MΩ/500V DC

## Configuration

Item	Description
Operating temperature	-10°C~+45°C
Storage temperature	-40°C~+65°C
Operating humidity	≤85%(+30°C)
Atmospheric pressure	70kPa~106kPa

## Ordering Information

Item	Description
Structure module	Cabinet/Frame, Optical cable entry unit, Fiber spool unit, base
Function module	Integrated splicing and termination unit, 19" rack-mounted optical splitter

**ANEXO VI**  
***GXF147-iFDT3103D***

# GXF147-iFDT3103D



GXF147-iFDT3103D, 432 cores Intelligent Fiber Distribution Terminal, is a product that Huawei develops for the intelligent optical distribution network (iODN) solution. It connects to distribution cables in the uplink and to drop cables in the downlink. The iFDT inherits the functions, such as splicing, splitting, and distributing optical fibers, of a traditional FDT. By communicating with the U2000 ODN NMS, the element management system (EMS), over the iField, the iFDT intelligently manages optical fibers and provides operation instructions.

## Characteristics

- Easy upgrade: Serve as a traditional FDT or intelligent FDT, upgraded without interrupting services.
- Intelligent management: Identify FO patching and connection and manage equipment resource automatically.
- Intelligent engineering: Control engineering process automatically;
- Verify engineering result automatically;
- Record engineering data and upload NMS automatically.
- Modular design: 19" installation structure to house various 19" Rack-mounted units;
- Separate module for flexible configuration and extending capacity.
- Flexible application: Be compatible with ribbon optical and bundle optical cable;

## Specification

Model		GFX147-IFDT3103D
Capacity	432 cores	
Dimensions (H x W x D)	1550mm*800mm*360mm (with base)	
Net Weight	65 Kg	
Materials	Rust-proof SDC	
Parking zone	64 pigtail parking	
Optical cable inlet and outlet hole	13 holes for common cable (3*22-26mm) inlet and outlet	
Color	Huawei Gray (RAL7035)	
Installation	Ground mounting	
Protection level	IP55	
Intelligent function module	Intelligent main control unit	1 pcs for managing max 12 intelligent subrack
	Intelligent subrack	216 cores/5 U intelligent subrack (SC/UFC, SC/APC)
	Splitter	ISPL3502 series/Splitter board, splitting ratio 1:4-1:64 (28 compact splitter installation slots)
Non-intelligent function module	Splicing subrack	216 core/2U splicing subrack (right installation)
	Parking unit	max 64 pigtail parking
	Optical cable fixing & stripping Unit	for ribbon optical cable and bundle optical cable
	AC power	220V AC power for long-time power supply

## Environmental Specification

Item		Description
Cabinet body	Operating temperature	-40°C to +65°C
	Storage temperature	-40°C to +70°C
	Humidity	0%-95%
	Atmospheric pressure	70-108kPa
Item		Description
Adapter insertion loss	U/PC $\leq$ 0.2dB; APC $\leq$ 0.2 dB	
Adapter return loss	U/PC $\geq$ 50dB; APC $\geq$ 60 dB	
Resealing durability	$\geq$ 500 times	

**ANEXO VII**  
***GPX147-iFAT3102***

# GPX147-iFAT3102



The GPX147-iFAT3102 indoor intelligent Fiber Access Terminal (splicing & Termination 24 cores, or splitting 16 channels), is developed for HUAWEI intelligent optical distribution network (iODN) solution. It connects to the distribution cable in the uplink and to the drop cable in the downlink and functions as the traditional fiber access terminal (FAT) to splice, split, and terminate optical cables. In cooperation with the Intelligent Field (iField) and optical distribution network (ODN) network management system (NMS), the iFAT intelligently manages the iODN optical fibers and guides engineering (iFAT is the abbreviation for intelligent Fiber Access Terminal).

## Characteristics

- Easy upgrade: Serve as a traditional FAT or intelligent FAT, upgraded without interrupting services.
- Intelligent management: The iFAT can identify and manage optical fiber patching and connection.
- Intelligent engineering: The iFAT controls indicator states to provide engineering guidance and eliminate engineering faults.
- In addition, the iFAT automatically verifies and records engineering data to ensure correct optical connections.
- Flexible application: Splicing & distribution: 24 cores, or splitting: 16 channels,
- Support straight through,
- Support pre-connected drop cable and SC Field mechanical connectors (FMC).

**Specification**

Model		GPX147-IFAT3102
Capacity		Splicing & Termination: 24 cores Splicing: 16 channel
Dimensions (H x W x D)		410 mm x 290 mm x 145 mm
Weight		7.5 kg (net)
Materials		Electrolyte plate
Color		Pentone Cool Gray 3C
Installation		wall indoor
Protection level		IP53
Function module	Control board	1 pcs 24 port Intelligent monitoring board
	Splice tray	2 pcs (each splicing 12 core wires)
	Cable distribution module	12-fiber, SC/UPC, SC/APC, LC/APC
	Optical splitter	with a split ratio of N:4, N:8, N:16 (N=1 or 2)

**Environmental Specification**

	Item	Description
Cabinet body	Operating temperature	-5°C to +45°C
	Storage temperature	-25°C to +55°C
	Humidity	5%-85% RH (non-condensing)
	Atmospheric pressure	70-106 kPa

**Performance Specification**

Item	Description
Adapter insertion loss	UPC ≤ 0.2dB, APC ≤ 0.2 dB
Adapter return loss	UPC ≥ 50dB, APC ≥ 60 dB
Repeating durability	> 500 times

# **ANEXO VIII**

*SPL1101 Compact Optical Splitter*

# SPL1101 Compact Optical Splitter



SPL1101 series products directly lead out 3m pigtailed mainly installed in a tray to implement splitting and cable distribution functions. The splitting ratio covers 1:2~1:64 even splitting and 1:2 (5/95, 10/90, 30/70) uneven splitting.

## Characteristics

- Connector: FC/UPC
- Splitting ratio : 1:2~1:64 even
- 1:2 (5/95, 10/90, 30/70) uneven
- Standard pigtail length 3m

Specifications

Uneven	Ratio	Insertion loss (dB)		Return loss (dB)	Stability of hot (dB/°C)	PDL (dB)		Power (mW)
		Signal	Tap			Signal	Tap	
1:2 FBT	5/95	±0.5	±14.3	≥55	±0.002	±0.10	±0.15	≤4000
	10/90	±0.7	±11.1			±0.10	±0.15	
	30/70	±2.0	±6			±0.10	±0.15	

Even Optical Splitter	Working bandwidth (nm)	Insertion loss (dB)	WDL (dB)	TDL (dB)	Return loss (dB)	Uniformity (dB)	PDL (dB)	Directivity (dB)	Power (mW)
1:2 FBT	1310±10 & 1490±10 & 1550±40	±3.5	±0.5	±0.3	≥50 (FC) ≥55 (APC)	±0.6	±0.15	≥55	≤500
1:4 PLC	1260-1650	±7.2	±0.5	±0.3		±0.7	±0.2		≤300
1:8 PLC		±10.3	±0.5	±0.3		±0.8	±0.2		
1:16 PLC		±13.6	±0.5	±0.5		±1.0	±0.3		
1:32 PLC		±16.8	±0.8	±0.5		±1.3	±0.3		
1:64 PLC		±20.3	±0.9	±0.5		±1.8	±0.3		

Environmental Parameters

Item	Description	
Environment parameter	Working temp	-40°C~+70°C
	Storage temp	-40°C~+70°C
	Work humidity	≤95% (with no condensate)
	Atm pressure	70kPa~106kPa
Physical parameter	Size (H*W*D)	140mm*114mm*18mm 120mm*90mm*10mm
	Connector	FC/UPC

Connector Parameters

Item	Description
Insertion loss	UPC≤0.2dB; APC≤0.2dB
Return loss	UPC≥50dB; APC≥55dB
Lifetime	>500 times