



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA TELECOMUNICACIONES**

**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED FTTH PARA BRINDAR  
INTERNET EN LAS PARROQUIAS URBANAS Y SUBURBANAS  
DEL CANTÓN MORONA DEL PROVEEDOR DE SERVICIOS  
RAPIRED. SA UTILIZANDO EL ESTÁNDAR ITU-G984.X”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y  
REDES**

**AUTOR: MARCO ANTONIO RAIGOZA VALENCIA**

**DIRECTOR: ING. MARCO VINICIO RAMOS VALENCIA MSC.**

Riobamba – Ecuador

2023

© 2022, Marco Antonio Raigoza Valencia

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

Yo, Marco Antonio Raigoza Valencia, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 13 de marzo de 2023

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a light blue oval. The signature reads "Marco Raigoza" in a cursive script.

**Marco Antonio Raigoza Valencia**

**1400797922**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE TELECOMUNICACIONES**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico, **Diseño y simulación de una red FTTH para brindar internet en las parroquias urbanas y suburbanas del cantón Morona del proveedor de servicios Rapidred. SA utilizando el estándar ITU-G984.X**, realizado por el señor: **MARCO ANTONIO RAIGOZA VALENCIA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Fabricio Javier Santacruz		2023-13-03
<b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		
Ing. Marco Vinicio Ramos Valencia		2023-13-03
<b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE</b>		
<b>INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		
Ing. Jorge Vicente Yuquilema		2023-13-03
<b>ASESOR DEL TRABAJO DE</b>		
<b>INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Rodrigo y Rita, quienes con su ejemplo supieron forjar cada una de mis virtudes y defectos siendo mis pilares de apoyo en mi vida universitaria. A mis docentes que supieron siempre apoyarme y corregir mis errores inculcando en mí ese deseo por seguir algo que me apasiona. A mis amigos y familiares y demás personas que me han acompañado en la vida universitaria.

Marco Raigoza

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero agradecer de todo corazón a mis padres, por siempre confiar en mí, otorgándome las herramientas necesarias para cumplir mis sueños y lograr ser ingeniero que a través de sus valores y principios impartidos me ayudaron a ser un ser productivo en la sociedad. Un especial agradecimiento a un gran amigo Eduardo, por su amistad y paciencia con el cual siempre nos apoyamos hombro a hombro para vencer las dificultades universitarias que se nos atravesaron.

Marco Raigoza

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xv
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xviii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xix
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT .....	xxi
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I.....	2
1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Formulación del problema.....	2
1.2 Justificación del trabajo de titulación.....	2
1.2.1 Justificación Teórica .....	2
1.2.2 Justificación Aplicativa .....	3
1.3 OBJETIVOS .....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
CAPITULO II .....	5

<b>2.</b>	<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1</b>	<b>Fibra Óptica .....</b>	<b>5</b>
2.1.1	Estructura.....	5
2.1.1.1	Núcleo (Core) .....	5
2.1.1.2	Revestimiento (Cladding) .....	5
2.1.1.3	Recubrimiento (Coating) .....	6
2.1.2	Tipos de fibra óptica.....	6
2.1.2.1	Salto de índice .....	6
2.1.2.2	Índice gradual .....	6
2.1.3	Modos de transmisión .....	7
2.1.3.1	Fibra Monomodo (SM) .....	7
2.1.3.2	Fibra Multimodo (MM) .....	7
2.1.4	Estructuras de cables de fibra óptica .....	8
2.1.4.1	Cables de estructura holgada.....	8
2.1.4.2	Cables de estructura ajustada.....	9
2.1.5	Elementos de una red de fibra óptica.....	10
2.1.5.1	Conectores .....	10
2.1.5.2	Pulidos.....	12
2.1.5.3	Empalmes.....	13



2.1.5.4	Pigtails .....	14
2.1.5.5	Patchcord .....	14
2.1.5.6	Splitters .....	15
<b>2.2</b>	<b>Redes GPON.....</b>	<b>15</b>
2.2.1	Arquitectura de una red GPON .....	16
2.2.1.1	OLT .....	16
2.2.1.2	ODN.....	16
2.2.1.3	ONT .....	17
<b>2.2.2</b>	<b>Recomendación ITU-T G.984.x .....</b>	<b>17</b>
2.2.2.1	ITU-T G.984.1 .....	17
2.2.2.2	ITU-T G.984.2 .....	18
2.2.2.3	ITU-T G.984.3 .....	19
2.2.2.4	ITU-T G.984.4 .....	20
2.2.2.5	ITU-T G.984.5 .....	20
2.2.2.6	ITU-T G.984.6 .....	20
<b>2.3</b>	<b>Redes FTTx.....</b>	<b>21</b>
2.3.1	FTTN (Fiber to the Node) .....	21
2.3.2	FTTC (Fiber to the Curb).....	21
2.3.3	FTTB (Fiber to the Building) .....	22

2.3.4	FTTH (Fiber to the Home) .....	22
2.3.5	Parámetros de transmisión.....	22
2.3.5.1	BER (Bit Error Ratio) .....	22
2.3.5.2	Factor Q.....	23
2.3.5.3	Codificación NRZ (No Return to Zero).....	23
2.3.5.3	Diagrama de ojo .....	24
2.3.5.4	OSNR Relación señal a ruido .....	25
<b>2.4</b>	<b>Software de simulación .....</b>	<b>25</b>
2.4.1	OptiSystem.....	25
2.4.1.1	Características principales.....	26
2.4.2	ArcGIS.....	26
2.4.2.1	Aplicaciones .....	27
<b>CAPITULO III.....</b>		<b>28</b>
<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>28</b>
<b>3.1</b>	<b>Metodología del diseño.....</b>	<b>28</b>
<b>3.2</b>	<b>Enfoque .....</b>	<b>28</b>
<b>3.3</b>	<b>Método de Investigación .....</b>	<b>28</b>
<b>3.4</b>	<b>Técnicas.....</b>	<b>29</b>

<b>3.5</b>	<b>Diseño Lógico.....</b>	<b>29</b>
3.5.1	Delimitación del área de estudio .....	29
3.5.1.1	División en Distritos.....	32
3.5.1.2	Población.....	32
3.5.1.3	Muestra .....	33
3.5.1.4	Diseño de la Muestra. ....	34
3.5.1.5	Interpretación de resultados de la encuesta.....	34
3.5.2	Topología de la Red.....	39
3.5.3	Determinación de la zona de estudio .....	40
3.5.4	Ubicación de los Nodos Principales .....	40
3.5.5	Cálculo del ancho de banda .....	42
<b>3.6</b>	<b>Diseño de Planta Externa.....</b>	<b>43</b>
3.6.1	Red de Alimentación o Feeder .....	43
3.6.2	Red de Distribución.....	45
3.6.2.1	Distrito 1.....	45
3.6.2.2	Distrito 2.....	46
3.6.2.3	Distrito 3.....	48
3.6.2.4	Distrito 4.....	49
3.6.2.5	Distrito 5.....	50

3.6.2.6	Distrito San Isidro .....	51
3.6.2.7	Distrito Sevilla Don Bosco.....	52
3.6.2.8	Distrito Rio Blanco .....	53
3.6.3	Red de Dispersión .....	54
3.6.4	Red del Usuario.....	55
<b>3.7</b>	<b>Presupuesto Óptico.....</b>	<b>55</b>
3.7.1	Atenuación.....	56
3.7.1.1	Perdidas por conectores .....	56
3.7.1.2	Pérdidas por fusiones o empalmes .....	57
3.7.1.3	Perdidas de la fibra óptica.....	57
3.7.1.4	Atenuación de los Splitters.....	60
3.7.1.5	Atenuación total.....	60
3.7.2	Balance de Potencias .....	61
<b>3.8</b>	<b>Selección de equipos.....</b>	<b>62</b>
3.8.1	OLT .....	62
3.8.2	ONT .....	63
3.8.3	Selección de los distribuidores de fibra óptica (ODF) .....	64
3.8.4	Divisores (Power splitters) .....	65
3.8.5	Rack.....	66

3.8.6	Mangas.....	67
3.8.7	Cajas de distribución o NAPs.....	67
<b>CAPITULO IV .....</b>		<b>69</b>
<b>4.</b>	<b>EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>69</b>
<b>4.1</b>	<b>Simulación .....</b>	<b>69</b>
4.1.1	Simulación del Transmisor .....	69
4.1.2.	Simulación de la red óptica de distribución (ODN).....	71
4.1.3.	Simulación del receptor.....	73
<b>4.2</b>	<b>Análisis de Resultados .....</b>	<b>74</b>
4.2.1.	Señal Transmitida .....	75
4.2.2.	Señal recibida .....	76
4.2.2.1	Usuario más cercano.....	76
4.2.2.2	Usuario más lejano.....	78
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>84</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>86</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>		<b>87</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>91</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-0:</b> Usos de la sincronización GPON .....	17
<b>Tabla 2-0:</b> Velocidad de transmisión GPON .....	18
<b>Tabla 3-0:</b> Niveles de potencia óptica clase B+ .....	19
<b>Tabla 4-0:</b> Pérdidas en la red GPON clase B+ .....	19
<b>Tabla 1-3:</b> Distribución de usuarios en las parroquias .....	32
<b>Tabla 2-3:</b> Calidad de servicio actual.....	34
<b>Tabla 3-3:</b> Calidad de servicio actual.....	35
<b>Tabla 4-3:</b> Capacidad de pago de usuarios.....	36
<b>Tabla 5-3:</b> Tipo de uso del servicio de internet.....	37
<b>Tabla 6-3:</b> Ancho de banda requerido.....	38
<b>Tabla 7-3:</b> Direccionamiento IP Distrito 1.....	46
<b>Tabla 8-3:</b> Direccionamiento IP Distrito 2.....	47
<b>Tabla 9-3:</b> Direccionamiento IP Distrito 3.....	48
<b>Tabla 10-3:</b> Direccionamiento IP Distrito 3.....	50
<b>Tabla 11-3:</b> Direccionamiento IP Distrito 5.....	51
<b>Tabla 12-3:</b> Direccionamiento IP Distrito San Isidro. ....	52
<b>Tabla 13-3:</b> Direccionamiento IP Distrito Sevilla.....	53
<b>Tabla 14-3:</b> Direccionamiento IP Distrito Rio Blanco.....	54
<b>Tabla 15-3:</b> Atenuación por la fibra óptica distrito 1.....	57
<b>Tabla 16-3:</b> Atenuación por la fibra óptica distrito 2.....	58
<b>Tabla 17-3:</b> Atenuación por la fibra óptica distrito 3.....	58
<b>Tabla 18-3:</b> Atenuación por la fibra óptica distrito 4.....	58
<b>Tabla 19-3:</b> Atenuación por la fibra óptica distrito 5.....	58
<b>Tabla 20-3:</b> Atenuación por la fibra óptica distrito San Isidro.....	59
<b>Tabla 21-3:</b> Atenuación por la fibra óptica distrito Sevilla.....	59
<b>Tabla 22-3:</b> Atenuación por la fibra óptica distrito Rio Blanco.....	59
<b>Tabla 23-3:</b> Atenuación en la ODN por cada distrito. ....	60
<b>Tabla 24-3:</b> Balance de potencias para cada distrito.....	61
<b>Tabla 25-3:</b> Características OLT MA5608T.....	62
<b>Tabla 26-3:</b> Características Huawei EG8145V5 .....	64
<b>Tabla 27-3:</b> Características ODF Connection.....	65
<b>Tabla 1-4:</b> Datos de potencia, BER, Factor de calidad y diagrama del ojo en cada distrito .....	<b>79</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-2:</b> Composición típica de una fibra óptica .....	6
<b>Ilustración 2-2:</b> Tipos de fibra óptica .....	7
<b>Ilustración 3-2:</b> Tipos de fibra óptica .....	7
<b>Ilustración 4-2:</b> Fibra multimodo (MM).....	8
<b>Ilustración 5-2:</b> Cable de estructura holgada.....	9
<b>Ilustración 6-2:</b> Cable de estructura ajustada.....	10
<b>Ilustración 7-2:</b> Tipos de conectores ópticos .....	11
<b>Ilustración 8-2:</b> Tipos de pulidos en fibra óptica.....	12
<b>Ilustración 9-2:</b> Empalme mecánico en fibra óptica.....	13
<b>Ilustración 10-2:</b> Empalme por fusión en fibra óptica.....	14
<b>Ilustración 11-2:</b> Pigtail de fibra óptica.....	14
<b>Ilustración 12-2:</b> Patchcord de fibra óptica .....	15
<b>Ilustración 13-2:</b> Divisor óptico .....	15
<b>Ilustración 14-2:</b> Arquitectura de una red GPON.....	16
<b>Ilustración 15-2:</b> Asignación de longitud de onda de una red GPON .....	20
<b>Ilustración 16-2:</b> Redes FTTx.....	21
<b>Ilustración 17-2:</b> Codificación NRZ.....	24
<b>Ilustración 18-2:</b> Diagrama del Ojo.....	24
<b>Ilustración 19-2:</b> OSNR.....	25
<b>Ilustración 20-2:</b> Software OptiSystem .....	26
<b>Ilustración 21-2:</b> Software ArcGIS.....	27
<b>Ilustración 1-3:</b> Extensión de la red Macas y Proaño .....	29
<b>Ilustración 2-3:</b> Zona de estudio Sevilla Don Bosco.....	30
<b>Ilustración 3-3:</b> Extensión de la red San Isidro. ....	30
<b>Ilustración 4-3:</b> Extensión Distrito Rio Blanco .....	31
<b>Ilustración 5-3:</b> Mapa Político del cantón Morona.....	31
<b>Ilustración 6-3:</b> Ubicación del cantón Morona en el mapa de Ecuador.....	32
<b>Ilustración 7-3:</b> Resultados de la Pregunta 1 en la Encuesta de Aplicabilidad.....	35
<b>Ilustración 8-3:</b> Resultados de la Pregunta 2 en la Encuesta de Aplicabilidad.....	36
<b>Ilustración 9-3:</b> Resultados de la Pregunta 3 en la Encuesta de Aplicabilidad.....	36
<b>Ilustración 10-3:</b> Resultados de la Pregunta 4 en la Encuesta de Aplicabilidad.....	37
<b>Ilustración 11-3:</b> Resultados de la Pregunta 5 en la Encuesta de Aplicabilidad.....	38

<b>Ilustración 12-3:</b> Topología de Red.....	39
<b>Ilustración 13-3:</b> Extensión de la Red en ArcGIS. ....	40
<b>Ilustración 14-3:</b> Ubicación OLT en el nodo Centro.....	41
<b>Ilustración 15-3:</b> Edificio Nodo Centro.....	41
<b>Ilustración 16-3:</b> Ubicación de la OLT Nodo Norte.....	42
<b>Ilustración 17-3:</b> Construcción Nodo Norte. ....	42
<b>Ilustración 18-3:</b> Red Feeder. ....	44
<b>Ilustración 19-3:</b> Fibra Feeder OLT Centro. ....	44
<b>Ilustración 20-3:</b> ODFs DISTRITO 1.....	45
<b>Ilustración 21-3:</b> ODFs DISTRITO 2.....	47
<b>Ilustración 22-3:</b> Ubicación Nodo Distrito 3. ....	48
<b>Ilustración 23-3:</b> Ubicación Nodo Distrito 4. ....	49
<b>Ilustración 24-3:</b> Ubicación Nodo Distrito 5. ....	50
<b>Ilustración 25-3:</b> Ubicación Nodo Distrito San Isidro.....	51
<b>Ilustración 26-3:</b> Ubicación Nodo Distrito Sevilla.....	52
<b>Ilustración 27-3:</b> Ubicación Nodo Distrito Rio Blanco.....	54
<b>Ilustración 28-3:</b> Red de Dispersión. ....	55
<b>Ilustración 29-3:</b> Red del Usuario. ....	55
<b>Ilustración 30-3:</b> Esquema red de acceso. ....	56
<b>Ilustración 31-3:</b> ODF Connection de 24 puertos.....	65
<b>Ilustración 32-3:</b> <i>Splitter 1:16 connection</i> .....	66
<b>Ilustración 33-3:</b> Rack StarTech.....	66
<b>Ilustración 34-3:</b> Manga Troncal Connection. ....	67
<b>Ilustración 35-3:</b> NAP <i>Connection</i> de 16 puertos.....	68
<b>Ilustración 1-4:</b> Bloques de simulación de la OLT.....	70
<b>Ilustración 2-4:</b> Espectro de la señal generada. ....	71
<b>Ilustración 3-4:</b> Simulación ODN.....	72
<b>Ilustración 4-4:</b> Configuración Fibra óptica. ....	73
<b>Ilustración 5-4:</b> Subsistema de recepción. ....	73
<b>Ilustración 6-4:</b> Espectro de la señal recibida.....	74
<b>Ilustración 7-4:</b> Espectro y Potencia de la señal de la OLT.v ....	75
<b>Ilustración 8-4:</b> Espectro y Potencia señal de la ONT.....	76
<b>Ilustración 9-4:</b> Grafico de BER para el cliente más cercano.....	77
<b>Ilustración 10-4:</b> Diagrama del ojo del usuario más cercano. ....	77
<b>Ilustración 11-4:</b> Potencia usuario más cercano. ....	78
<b>Ilustración 12-4:</b> BER cliente más lejano.....	78



<b>Ilustración 13-4:</b> Diagrama del ojo usuario más lejano.....	79
<b>Ilustración 14-4:</b> Potencia usuario más lejano.....	79

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-2:</b> BER (Bit Error Ratio).....	23
<b>Ecuación 2-2:</b> Factor Q .....	23
<b>Ecuación 1-3:</b> Ecuación de cálculo de población.....	33
<b>Ecuación 2-3:</b> Calculo de Ancho de banda <i>downstream</i> .....	43
<b>Ecuación 3-3:</b> Calculo de ancho de banda <i>upstream</i> .....	43
<b>Ecuación 4-3:</b> Atenuación Total .....	61
<b>Ecuación 5-3:</b> Balance de potencia.....	61

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**Anexo A:** ENCUESTA DE APLICABILIDAD DE SERVICIOS A CLIENTES DE LA EMPRESA RAPIDRED.SA

**Anexo B:** RED DE DISTRIBUCIÓN DEL DISTRITO 1

**Anexo C:** RED DE DISTRIBUCIÓN DEL DISTRITO 2.

**Anexo D:** RED DE DISTRIBUCIÓN DISTRITO 3.

**Anexo E:** RED DE DISTRIBUCIÓN DISTRITO 4.

**Anexo F:** RED DE DISTRIBUCIÓN DISTRITO 5.

**Anexo G:** RED DE DISTRIBUCIÓN DISTRITO SAN ISIDRO.

**Anexo H:** RED DE DISTRIBUCIÓN DISTRITO SEVILLA.

**Anexo I:** RED DE DISTRIBUCIÓN DISTRITO RIO BLANCO.

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tuvo como objetivo el diseño de una red de fibra óptica usando el estándar ITU G-984. X. Teniendo como finalidad la migración de un Proveedor de Servicios de Internet (ISP) de una infraestructura enlaces mediante terrestre a una red de acceso que usa la tecnología de Red Óptica Pasiva de capacidad Gigabit (GPON), para esto se realizó un estudio de factibilidad en diferentes parroquias del cantón Morona como son Macas, Proaño, Rio Blanco, San Isidro y Sevilla Don Bosco. Para realizar el diseño en el área seleccionada se realizó un estudio de los diferentes estándares en redes pasivas ópticas, para así seleccionar cual es el estándar más indicado para el estudio. En estas zonas se realizó el diseño de la red de fibra óptica haciendo uso de planos georreferenciados en el software de diseño ArcGIS. Una vez diseñada la red se realizó una simulación de la infraestructura GPON, tomando en cuenta los usuarios más cercanos y lejanos, obteniendo datos para medir la calidad de la red. Una vez diseñada y simulada la red se desarrolló un análisis de los equipos necesarios para la implementación de la red. Como resultado de este trabajo se obtuvo una red lista para su implementación cumpliendo todos los parámetros que establece el estándar además de ser una red escalable y bien dimensionada. Finalmente se concluyó que la red que fue diseñada cuenta con una factibilidad tanto en los aspectos técnicos como en la aceptación por parte de la población a la cuál está destinada. Se recomienda que la red de acceso sea escalable ya que con la flexibilidad que tiene la fibra óptica se puede expandir la red de manera relativamente fácil.

**PALABRAS CLAVE:** <TELECOMUNICACIONES>, <REDES ÓPTICAS>, <ESTANDAR G.984.X>, <ESTUDIO DE FACTIBILIDAD>, <OPTISYSTEM (SOFTWARE)>, <REDES DE ACCESO>, <TASA DE ERROR DE BIT (BER)>, <CALIDAD DE SERVICIO >



## **ABSTRACT**

The objective of this degree work was to design a fiber optic network using the ITU G-984 standard. X. Having the purpose of migrating an Internet Service Provider (ISP), which makes use of terrestrial radio links in its infrastructure; to an access network using Gigabit capacity Passive Optical Network (GPON) technology, For this, a feasibility study was carried out in different parishes of the Morona canton such as Macas, Proaño, Rio Blanco, San Isidro and Sevilla Don Bosco. To carry out the design in the selected area, a study of the different standards in passive optical networks was carried out, to select the appropriate standard for the study. In these areas, the design of the fiber optic network was carried out using georeferenced plans in the ArcGIS design software. Once the network was designed, a simulation of the GPON infrastructure was carried out, taking into account the closest and most distant users and obtaining data to measure the quality of the network. Once the network was designed and simulated, an analysis of the equipment necessary for the implementation of the network was carried out. As a result of this work, a network ready for implementation is obtained, fulfilling all the parameters established by the standard, as well as being a scalable and well-dimensioned network. Finally, it is concluded that the designed network has a feasibility, both in technical aspects and in the acceptance by the population for which it is intended. It is recommended that the access network be scalable since with the flexibility of fiber optics, the network can be expanded relatively easily.

Keywords: <TELECOMMUNICATIONS>, <OPTICAL NETWORKS>, <ITU G.984.X>, <FEASIBILITY STUDY>, <OPTISYSTEM (SOFTWARE)>, <ACCESS NETWORKS>, <BIT ERROR RATE (BER)>, <QUALITY SERVICE (QOS)>.

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue oval. The signature is stylized and appears to read 'Wilson G. Rojas'.

MSc. Wilson G. Rojas

## **NOMBRE Y FIRMA PROFESOR**

C.I 0602361842

## **INTRODUCCIÓN**

El uso de fibra óptica como medio de transmisión se ha posicionado como la líder mundial en redes de acceso, desde la década de los noventa la transmisión por medios ópticos ha venido evolucionando, ya que conecta continentes, pero también es usada en redes de acceso por medio de redes FTTx. El uso de la fibra óptica se debe a que este medio de transmisión permite el intercambio de grandes volúmenes de datos con una velocidad alta y con pérdidas de transmisión mínimas, además que permite recorrer grandes distancias sin la necesidad de usar equipos activos, esto la posiciona en frente de medios guiados como son los pares trenzados y el cable coaxial y de medios no guiados como son los enlaces terrestres. La fibra óptica ha presentado un avance significativo en las Telecomunicaciones que se han venido desarrollando por siglos, y esta tecnología demuestra cómo se está avanzando a pasos agigantados en las comunicaciones a largas distancias.

A pesar de que el primer sistema de fibra óptica eficiente fue desarrollado a inicios de los 90, el primer vestigio de la comunicación óptica empieza en 1870 cuando Tyndall descubrió que se puede transmitir luz por medio del agua, a partir de esto se fueron desarrollando formas de transmitir luz por medios guiados.

## CAPITULO I

### 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Formulación del problema

La empresa Rapired.SA consta con alrededor de 1500 clientes haciendo uso del servicio de internet inalámbrico, para mejorar los servicios ofrecidos hasta la actualidad se plantea el diseño de una infraestructura de red GPON para la ciudad de Macas y parroquias aledañas.

¿El diseñar una red GPON para la empresa Rapired.SA permitirá un aumento en las utilidades de la empresa?

#### 1.2 Justificación del trabajo de titulación

##### 1.2.1 *Justificación Teórica*

Los servicios de contenido multimedia y compartición de información actuales demandan un consumo de ancho de banda muy grande y por ende una velocidad de transmisión mayor.

Entre estos servicios se incluye: Video Streaming, Video conferencia, Juegos en línea, descarga de datos, etc. Por medio de ITU-C se ha presentado la tecnología de redes PON que está destinada a cumplir estas exigencias en el consumo de ancho de banda.

Debido a factores muy importantes como son la flexibilidad y escalabilidad, las redes pasivas de capacidad GPON son las más usadas en los proveedores de servicios de Internet (ISP), además el ancho de banda de 2,5 Gbps y 1,25 Gbps hacen que la implementación de esta sea la más conveniente para redes ópticas de acceso.

El desarrollo de este estudio está enfocado en ofrecer una solución de acceso a internet en el cantón Morona en la provincia de Morona Santiago, permitiendo a sus habitantes tener un

servicio de calidad que cumpla con las exigencias para el acceso a la información que hay en la actualidad.

### ***1.2.2 Justificación Aplicativa***

En los últimos años ha habido un desarrollo muy acelerado en cuanto a los servicios que se dan a través de internet, los servicios de Streaming, video bajo demanda y juegos en línea se han posicionado como actividades muy populares con cientos de millones de usuarios en el mundo, estas tendencias han impactado en el consumo de ancho de banda de una persona lo que hace que tecnología como ADS o servicios de internet inalámbrico usando enlaces terrestres para brindar servicios de acceso a internet hayan quedado en el olvido la que no cumplen con las necesidades de consumo de las aplicaciones actuales.

Enfocándonos específicamente en el ISP Rapidred que contaba con alrededor de 1500 suscriptores al servicio de internet inalámbrico ha visto la necesidad de migrar de la infraestructura obsoleta con la que contaba, a una infraestructura con fibra óptica con tecnología GPON que permite brindar un servicio de calidad y reduce costos de mantenimiento que presentan los enlaces inalámbricos debido a los problemas que presenta el usar el aire como medio de transmisión.

En este estudio buscamos el diseñar una red de acceso GPON basándose en el estándar ITU-G984.X que permita a Rapidred la capacidad de ofrecer el servicio de FTTH (Fiber To The Home) que ofrecerá un servicio con una velocidad y disponibilidad mayor. Para el diseño se tomará en cuenta todos los puntos en donde es necesario analizar en que lugares se necesita colocar los diferentes elementos de una red PON para después realizar una evaluación de los diferentes parámetros que se deben tomar en cuenta para la estandarización GPON establecida por ITU. El diseño se realizará en el software ArcGIS que hace posible el uso de planos para el diseño de redes, posterior a esto se efectuara un análisis financiero estableciendo la inversión necesaria para la implementación del proyecto.

Las parroquias del cantón Morona escogidas para el diseño y simulación de la red son Macas, Proaño, Río blanco y Sevilla Don Bosco.



### **1.3 OBJETIVOS**

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

Diseñar y simular una red FTTH para brindar internet utilizando el estándar ITU-G984.X en las parroquias urbanas y suburbanas del cantón Morona del proveedor de servicios Rapired.SA.

#### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- Estudiar las diferentes clases de redes que especifica el estándar ITU-G984.X, considerando la más adecuada para las parroquias urbanas y suburbanas del cantón Morona.
- Diseñar la red GPON basado en las especificaciones de estándar ITU-G984.X y requerimientos para las parroquias urbanas y suburbanas del cantón Morona.
- Simular la red GPON para evaluar los parámetros técnicos resultantes del diseño y determinar las prestaciones que tendrá la red.

## CAPITULO II

### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1 Fibra Óptica

La fibra óptica se define como una guía de onda dieléctrica y cilíndrica capaz de transmitir información en forma de uno o varios haces de luz, este último debido al fenómeno de reflexión que se produce en su interior. Se constituye principalmente de un núcleo de fibra de vidrio y una cubierta de plástico, cuya función es proteger la integridad de la fibra.

En la actualidad la fibra óptica se ha posicionado como un medio de transmisión eficiente y seguro debido a sus múltiples características; altas velocidades, mayor ancho de banda, distancias superiores e inmunidad a las interferencias electromagnéticas, remplazando a los cables de cobre o tecnologías inalámbricas, además de su versatilidad en distintas aplicaciones como sensores y láseres de fibra óptica. (Ilbay, 2016)

##### 2.1.1 Estructura

Una fibra óptica se compone por tres elementos básicos: el núcleo (*core*), el revestimiento (*cladding*) y una cubierta o recubrimiento (*coating*).

###### 2.1.1.1 Núcleo (Core)

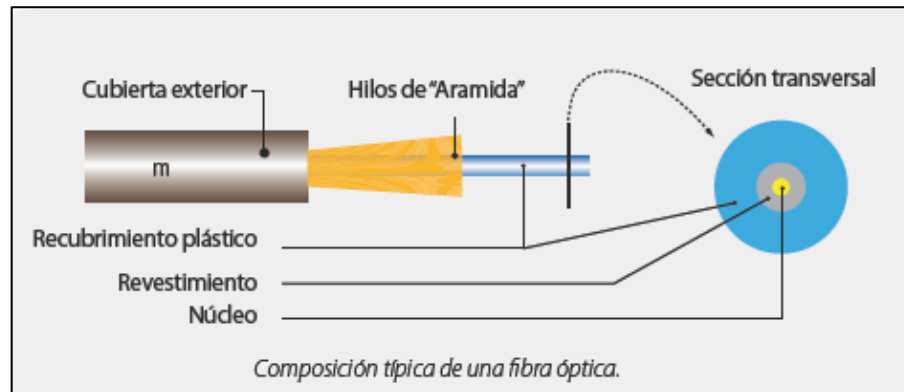
El núcleo está compuesto generalmente de vidrio de sílice, con un índice de refracción superior al del revestimiento, permitiendo que la luz se propague a través del material y llevando la información transmitida de un lugar a otro. (Velasco Rivera, 2018)

###### 2.1.1.2 Revestimiento (Cladding)

El revestimiento cumple con la función de proteger al núcleo, evitando que los rayos de luz se disipen y provoque pérdidas en la información, está formado por un material similar, comúnmente de vidrio y posee un índice de refracción menor. (Velasco Rivera, 2018)

### 2.1.1.3 Recubrimiento (Coating)

El recubrimiento o cubierta exterior se compone generalmente de polietileno y es el encargado de proteger todos los elementos que componen la fibra óptica, impidiendo daños en el material. (Velasco Rivera, 2018)



**Ilustración 1-2:** Composición típica de una fibra óptica

Fuente: Casasola, 2014

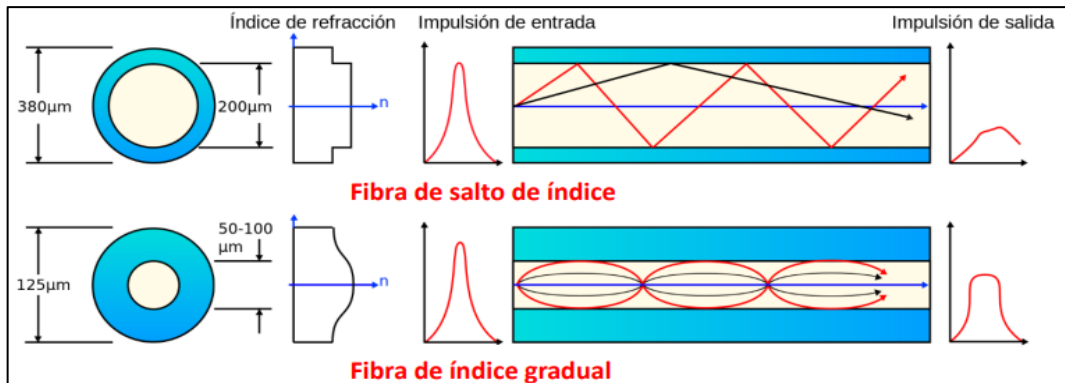
## 2.1.2 Tipos de fibra óptica

### 2.1.2.1 Salto de índice

Este tipo de fibra se caracteriza por que el índice de refracción de su núcleo es constante, en su interior se produce la reflexión de los rayos de luz a diferentes ángulos, esto provoca la existencia de desfases en las trayectorias de los rayos.

### 2.1.2.2 Índice gradual

El índice de refracción del núcleo varía radialmente de forma continua, de modo que los rayos de luz adopten una forma ondulada en su trayectoria por el núcleo de la fibra óptica.

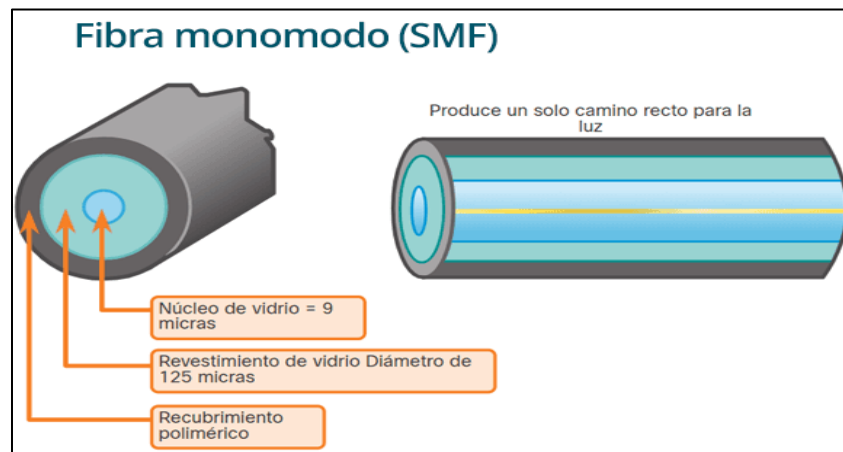


**Ilustración 2-2:** Tipos de fibra óptica  
**Fuente:** Otazu Palacios, 2017

### 2.1.3 Modos de transmisión

#### 2.1.3.1 Fibra Monomodo (SM)

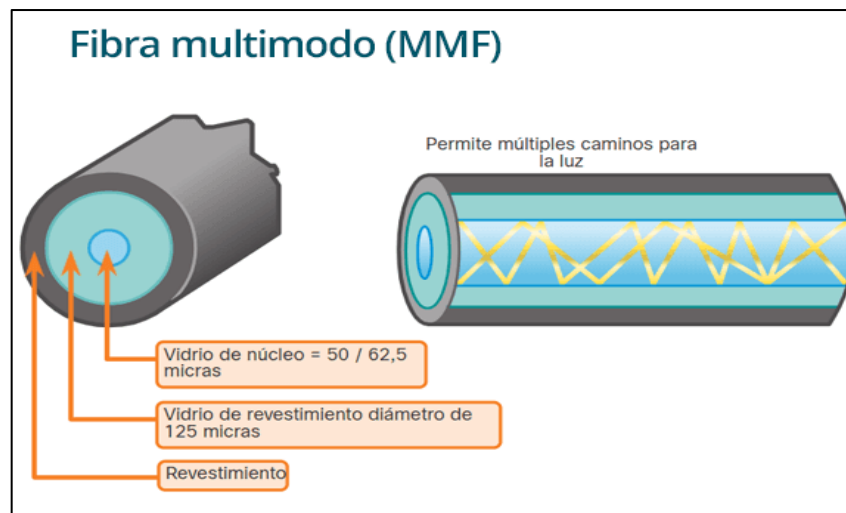
El principal atributo que caracteriza a este tipo de fibra es el diámetro sumamente pequeño de su núcleo, en el orden de 4 a 10  $\mu\text{m}$ , debido a sus condiciones de diseño, un solo haz de luz se propaga en línea recta por su interior, descartando efectos de reflexión. Este tipo de fibra presenta algunas ventajas sobre la fibra multimodo, un ancho de banda superior, bajas pérdidas de atenuación, mayor velocidad de transmisión y a mayor distancia, sin embargo, su costo es más elevado. (Cevallos Rojas y Montalvo Espinosa, 2010)



**Ilustración 3-2:** Tipos de fibra óptica  
**Fuente:** CCNA desde cero, 2018

#### 2.1.3.2 Fibra Multimodo (MM)

Las fibras multimodo tienen diámetros de núcleo entre 50 y 200  $\mu\text{m}$ , rangos de revestimiento entre 125 y 20  $\mu\text{m}$  y pueden transportar múltiples haces con diferentes modos de propagación. Las ventajas de este tipo de fibra incluyen la versatilidad de la conectividad de la red, una mayor tolerancia a los componentes de poca precisión y un precio económico, pero sufren de alta dispersión y mayores tasas de error en instalaciones de larga distancia. (Cevallos Rojas y Montalvo Espinosa, 2010)



**Ilustración 4-2:** Fibra multimodo (MM)

Fuente: CCNA desde cero, 2018

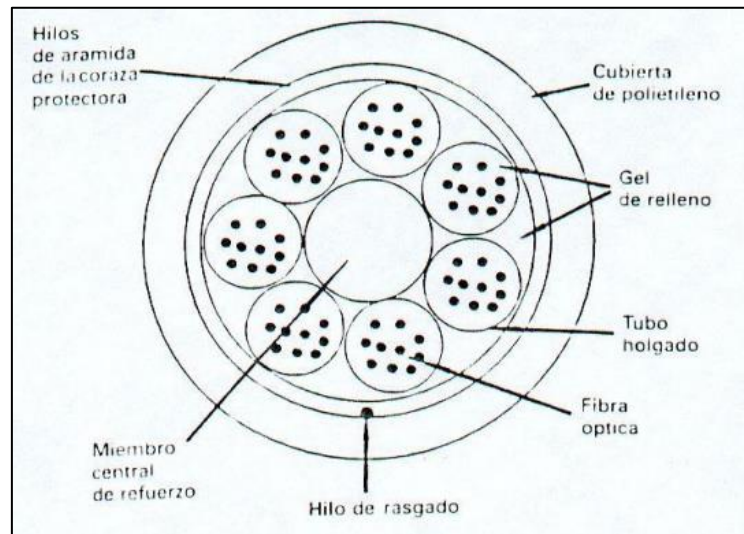
#### 2.1.4 Estructuras de cables de fibra óptica

Los cables de fibra óptica se dividen en dos categorías, según la naturaleza de su construcción básica.

##### 2.1.4.1 Cables de estructura holgada

El cable de estructura holgada consta de un conjunto de tubos, los cuales rodean a un miembro central de refuerzo y a una cubierta protectora. El diámetro de estos tubos varía entre 2 y 3 mm, permitiendo que la fibra óptica pueda descansar en su interior, los tubos pueden ser huecos o estar rellenos de gel resistente al agua y cumplen la función de aislar a la fibra de fuerzas mecánicas exteriores que se ejerzan sobre el cable.

El elemento central de refuerzo del tubo está compuesto por acero, kevlar o material similar y se encarga de soportar la estructura durante las operaciones de tendido de cable, este tipo de cables de estructura holgada son ideales en instalaciones exteriores o en conductos soterrados. (Morales Cabello, 2018)



**Ilustración 5-2:** Cable de estructura holgada

Fuente: Morales Cabello, 2018

Cable de Fibra Óptica Aéreo Autosoportante (ADSS): Este tipo de cable es ideal en instalaciones de entornos de distribución y transmisión, incluso cuando se requieren instalaciones de línea viva. Los trabajos de instalación se lo hacen de manera rápida y no requiere soporte ni cable mensajero, lo que convierte a ADSS en un medio económico y simple para construir una red de fibra óptica.

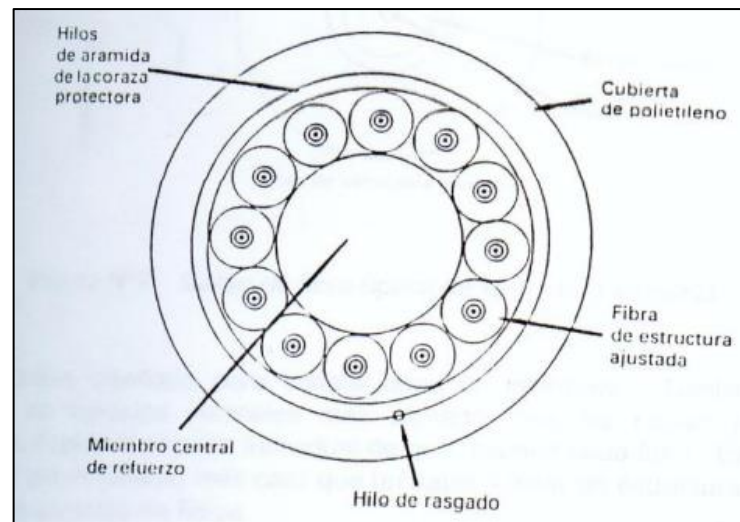
Cable de Fibra Óptica como se muestra en la ilustración 5-2: Este cable es utilizado en comunicaciones a largas y cortas distancias, se compone de un alambre trenzado de acero formando parte de la estructura auto soportada del cable de fibra óptica, alcanza una alta resistencia a la tracción durante trabajos de instalación y operación. Debido a su forma, peso liviano, flexibilidad y tamaño reducido es útil para ahorrar costos de instalación, siendo uno de los cables alternativos para la red de cableado FTTH.

Cable de Fibra Óptica Compuesto Tierra (OPGW): El diseño de este cable cumple dos funciones; reemplazar los cables tradicionales estáticos/blindaje/tierra en las líneas aéreas de transmisión con el beneficio adicional de contener fibras ópticas y soportar las tensiones mecánicas aplicadas a los cables aéreos por factores ambientales sin dañar dichas fibras dentro del cable.

#### 2.1.4.2 Cables de estructura ajustada

El cable de estructura ajustada este compuesto de varias fibras protegidas por una cubierta secundaria, las cuales rodean al miembro central de tracción y todo en conjunto recubierto por una protección exterior. La cubierta secundaria tiene como objetivo proveer a cada una de las

fibras individuales de protección adicional frente al entorno y está compuesta de plástico con un diámetro de 900  $\mu\text{m}$ . (Morales Cabello, 2018)



**Ilustración 6-2:** Cable de estructura ajustada

Fuente: Morales Cabello, 2018

Cable de Fibra Óptica de Distribución: Comprende los sistemas de cableado de fibra más vendidos y populares para aplicaciones empresariales, incluidas redes troncales dentro de edificios e instalaciones horizontales y verticales y están diseñados para aplicaciones en interiores y exteriores.

Cable de Fibra Óptica de *Breakout*: El diseño robusto de este tipo de cables de fibra Breakout los hace ideales para entornos exigentes, incluidos conductos, cajas de empalme, paneles de conexión y el piso de la fábrica. Proporcionan características de resistencia y durabilidad inigualables en trabajos de construcción, además de una terminación ajustada de 900  $\mu\text{m}$  con solo una fibra por subunidad.

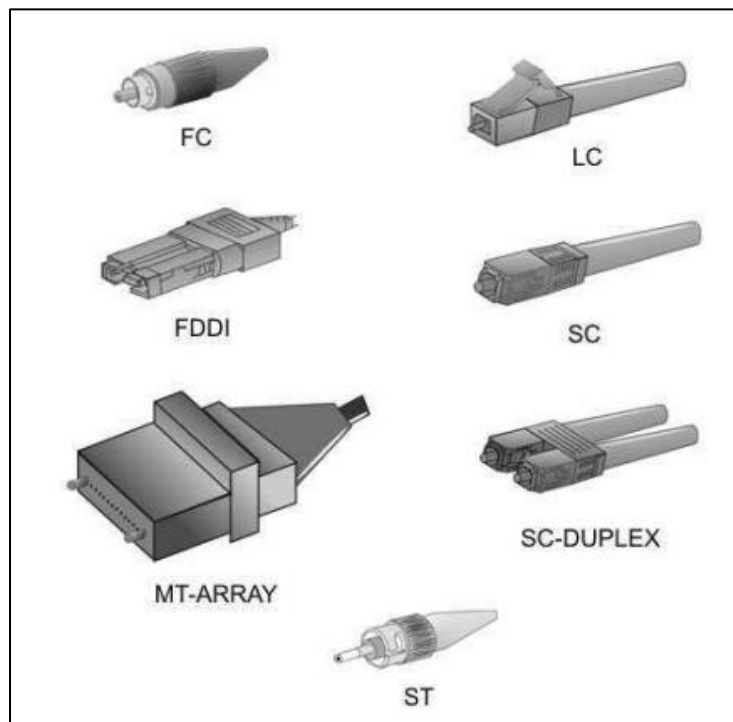
### 2.1.5 Elementos de una red de fibra óptica

Entre los elementos principales que se encuentran en una red de fibra óptica tenemos:

#### 2.1.5.1 Conectores

Los conectores ópticos tienen la función de alinear perfectamente las fibras de vidrio para permitir la comunicación entre las terminaciones de la fibra óptica del sistema. Existen tres componentes principales dentro de un conector de fibra óptica. (C2G, 2021)

- **Férula:** Es una estructura cilíndrica delgada ahuecada, la cual sostiene a la fibra de vidrio. Las férulas generalmente están hechas de cerámica, metal o plástico de alta calidad.
- **Cuerpo del conector:** Elaborado de plástico o metal se adhiere a la cubierta y fortalece los miembros del propio cable de fibra.
- **Mecanismo de acoplamiento:** Es parte del cuerpo del conector, manteniéndolo en su lugar cuando se conecta a otro dispositivo (un interruptor, NIC, acoplador de mamparo, etc.).



**Ilustración 7-2:** Tipos de conectores ópticos

Fuente: Vargas, 2012

**ST (*Straight Tip*):** Los conectores ST utilizan una férula de 2,50 mm con un cuerpo redondo de plástico o metal, utilizan un mecanismo tipo bayoneta de "giro y desenganche" y posee un valor de pérdida alrededor de 0,25 dB.

**SC (*Straight Connection*):** Los conectores SC también usan una férula redonda de 2,50 mm, mientras que el cuerpo del conector es cuadrado, utilizan un mecanismo de acoplamiento de empujar/tirar que generalmente es más fácil de usar que el conector ST y posee un valor de pérdida alrededor de 0,25 dB.

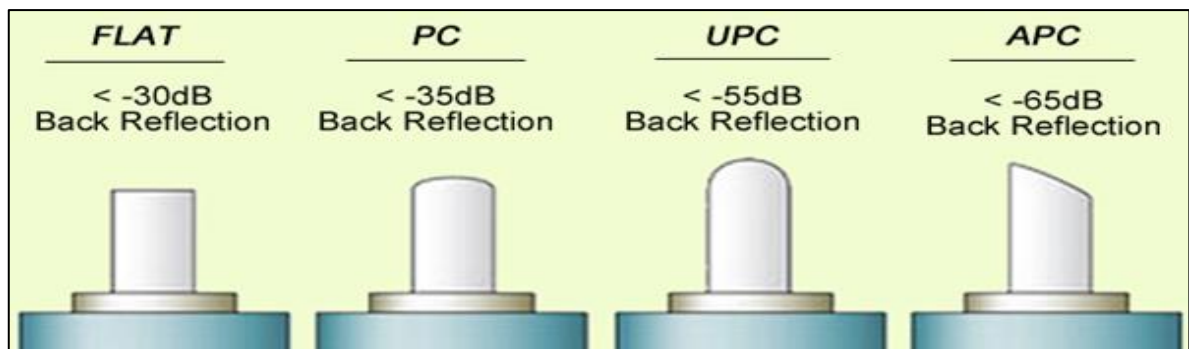
**LC (*Lucent Connector*):** Los conectores LC utilizan una férula de 1,25 mm, se asemejan a un conector RJ45 al hacer uso de un mecanismo de lengüeta de retención, similar a un teléfono o un conector RJ45 y posee un valor de pérdida alrededor de 0,10 dB.



FC (*Fiber Connector*): Los conectores FC utilizan una férula de 2,50 mm, se atornilla con firmeza, pero debe asegurarse de tener la llave alineada en la ranura correctamente antes de apretar, ha sido reemplazado principalmente por SC y LC y posee un valor de pérdida alrededor de 0,30 dB.

### 2.1.5.2 Pulidos

Al momento de realizar trabajos de acoplamiento entre un conector y el extremo de la fibra, se experimentará cierta pérdida de energía. La luz se refleja de regreso hacia la fuente generadora de esta señal de luz, a esto se denomina pérdida de retorno óptico (ORL). Los diferentes tipos de pulidos en cada uno de los conectores ayudan a mitigar este efecto en la fibra y disponen de diferentes niveles de ORL. (Jens, 2020)



**Ilustración 8-2:** Tipos de pulidos en fibra óptica

Fuente: Jens, 2020

Flat Surface: Los pulidos de superficie plana disponen de un pequeño espacio cuando se acoplan dos caras de fibras planas, no son apropiados para fibra monomodo, por lo que se recomienda utilizar pulidos (PC). Los valores de ORL en este tipo de conectores rondan los -35 dB.

PC (*Physical Contact*): Este pulido tiene un diseño esférico más pequeño que reduce el tamaño total de la cara del extremo y supera el problema del espacio de aire que se encuentra en los conectores de bajo perfil. El valor ORL para este tipo de conector es de aproximadamente -45 dB.

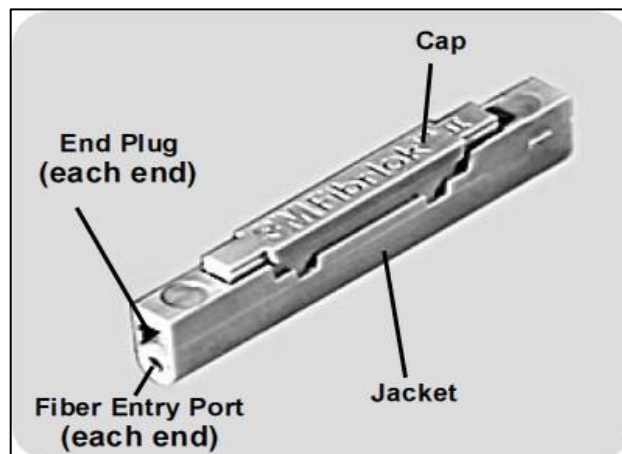
UPC (*Ultra Physical Contact*): El diseño UPC amplía el método de pulido de la superficie convexa de los conectores de PC para lograr conectores aún más finos. Los valores ORL para este tipo de conector son tan bajos como -55 dB. Opera en fibra monomodo y multimodo y se utiliza en sistemas telefónicos y aplicaciones de TV digital

APC (*Angled Physical Contact*): El pulido APC dispone de bordes curvos, pero tienen un ángulo de 8 grados de un estándar industrial, permitiendo una conexión aún más cercana y provocando que cualquier luz reflejada rebote en el revestimiento de la fibra. Los valores de ORL en este tipo de conectores son inferiores a -65 dB. Cabe mencionar que este tipo de pulido solo se puede usar con fibra monomodo.

### 2.1.5.3 Empalmes

Los empalmes son la unión entre dos cables de fibra óptica, aplicando el método de terminación. Usualmente tiene aplicación en trabajos de campo, pero tiene aplicación en casas de ensamblaje de cables. (FOC, 2019)

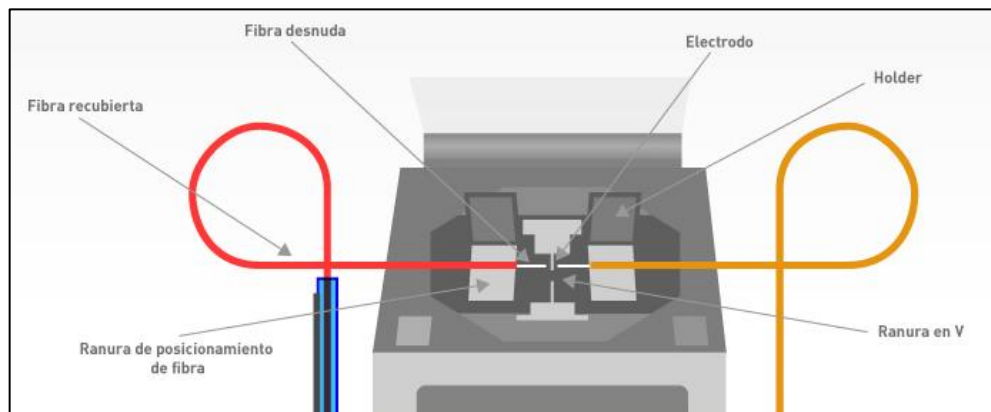
Empalmes mecánicos: Un empalme mecánico une dos o más fibras ópticas, obteniendo alineación y orden en dichas fibras, mediante un fluido de comparación de índices y un pequeño empalme mecánico, de unos 6 cm de largo y 1 cm de diámetro, que une de forma permanente las dos fibras ópticas. Se utiliza una cubierta a presión, una cubierta adhesiva, o ambas, para sujetar permanentemente el empalme. Los empalmes mecánicos se utilizan para fibras monomodo o multimodo y el valor de atenuación es de 0,30 dB, introduciendo mayor reflexión que el método de empalme por fusión.



**Ilustración 9-2:** Empalme mecánico en fibra óptica  
Fuente: Alibaba, 2022

Empalmes por fusión: El empalme por fusión es más caro, pero tiene una vida útil más larga que el empalme mecánico. Este método utiliza una máquina empalmadora especial para alinear con precisión los dos extremos de la fibra. Luego se usa alguna forma de calor para "fusionar" o "soldar" los extremos de vidrio, creando una unión continua transparente y no reflectante entre

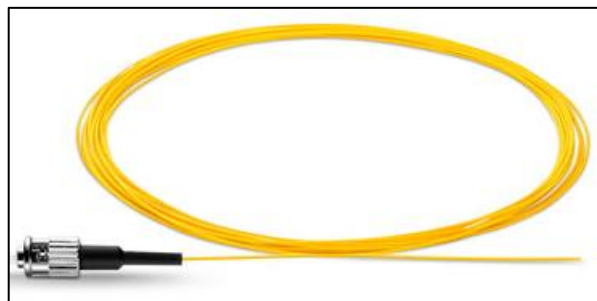
las fibras ópticas. Una fibra que permite una transmisión óptica de muy baja pérdida y tiene un valor de atenuación de 0,10 dB.



**Ilustración 10-2:** Empalme por fusión en fibra óptica  
**Fuente:** Fibremex, 2020

#### 2.1.5.4 Pigtails

Generalmente un cable de fibra posee un conector óptico en un extremo y la fibra desnuda del otro extremo para realizar un empalme con otra fibra. Los *pigtails* pueden tener conectores hembra o macho, se quitan para ser empalmados y luego cubiertos con un protector de junta de empalme mecánico o térmico. (Terceiro, 2021)



**Ilustración 11-2:** Pigtail de fibra óptica  
**Fuente:** FOSCO, 2022

#### 2.1.5.5 Patchcord

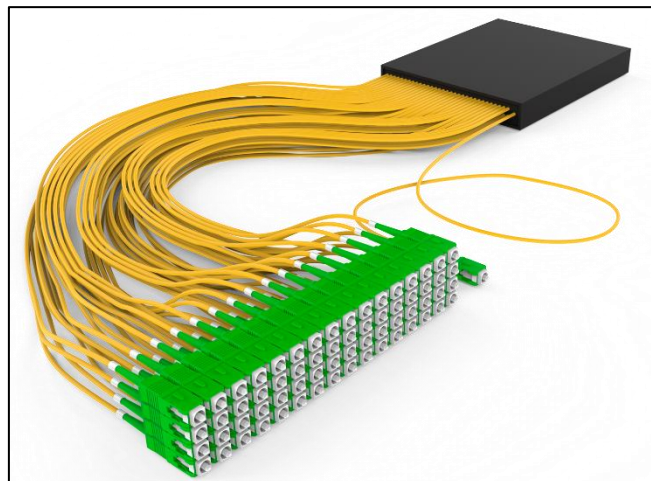
Un *patchcord* es un cable de fibra óptica monomodo o multimodo que se utiliza para conectar un dispositivo óptico a otro.



**Ilustración 12-2:** Patchcord de fibra óptica  
**Fuente:** Terceiro, 2021

#### 2.1.5.6 Splitters

El divisor óptico se emplea para dividir un haz de fibra óptica en varios haces con una determinada relación de división. Los parámetros típicos del divisor de fibra óptica incluyen la longitud del cable de la parte de entrada y salida, la relación de división, la longitud de onda de trabajo y con qué tipo de conectores de fibra óptica. Los conectores típicos instalados en los divisores de fibra óptica son de tipo FC o SC o simplemente colas para empalme. (Sattelite Fiber, 2016)



**Ilustración 13-2:** Divisor óptico  
**Fuente:** FURUKAWA, 2022

## 2.2 Redes GPON

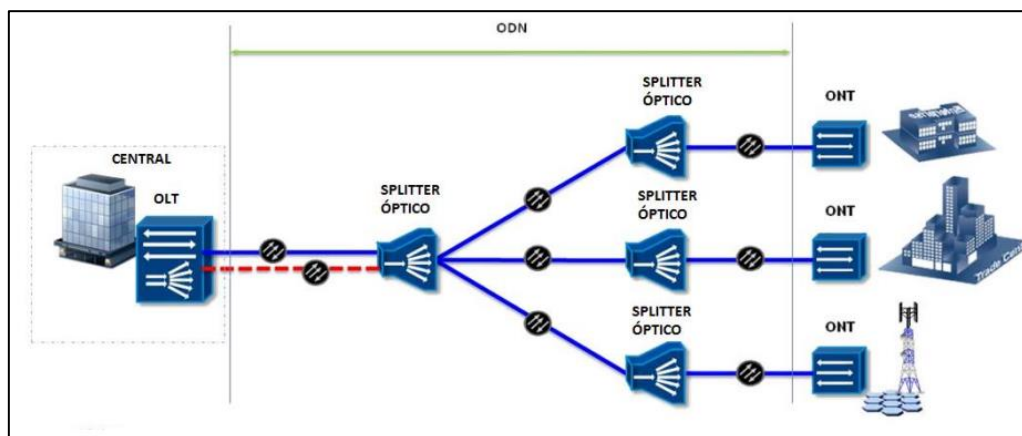
La creciente demanda en tecnologías de la información y su acceso a la red con estándares más eficaces y velocidades más grandes generó la idea de desarrollar y operar una red PON con capacidades más allá de las de las propuestas en arquitecturas BPON y EPON. El objetivo principal era desarrollar una red PON versátil, con un formato de trama que podría transmitir paquetes de longitud variable de manera eficiente en tasas de gigabit por segundo, el resultado

fue la serie de Recomendaciones UIT-T G.984.x para redes GPON. Esta nueva tecnología es esencial para soportar todos los servicios conocidos actualmente y servicios innovadores para clientes comerciales y residentes suscriptores potenciales debido a la capacidad de banda ancha. (Abdellaoui, Dieudonne y Aleya, 2021)

### 2.2.1 Arquitectura de una red GPON

Los elementos que conforman dicha arquitectura generalmente son:

- OLT: Terminal de Línea Óptico.
- ODN: Red de distribución óptica
- ONT: Terminales de Red Ópticos también conocidas como ONU



**Ilustración 14-2:** Arquitectura de una red GPON

Fuente: FURUKAWA, 2022

#### 2.2.1.1 OLT

Se encuentra ubicado en la oficina central, donde la señal eléctrica del equipo del proveedor de servicios se convierte en una señal óptica y se entregan a la red de distribución (ODN). El modo de transmisión desde ONT es *broadcasting* y se envían las tramas de información por toda la infraestructura de la red. (Rose, Jacob y Renjith, 2017)

#### 2.2.1.2 ODN

ODN consta de los elementos pasivos de una red GPON, que representan cables de alimentación donde los puertos ODF y dos niveles de distribución están conectados a dispositivos finales (ONT) a través de cajas de distribución y cables de bajada.

Red Feeder: La red de alimentación se extiende desde el distribuidor óptico (ODF) en la oficina central (OLT) hasta los puntos de distribución. En estos puntos, comúnmente denominados armarios de distribución óptica, normalmente se implementan divisores de nivel 1 y los cables de fibra óptica normalmente se conectan en una topología de anillo desde puertos GPON y terminan en puertos con las mismas características. (M.Al-Quzwini, 2014)

Red de Dispersión: La red de dispersión conecta el divisor de nivel 1, dentro de los armarios de distribución, con el divisor de nivel 2 alojado en cajas montadas en los postes de las calles, denominadas cajas NAP (Network Access Point) o cajas CTO (caja de terminación óptica). (M.Al-Quzwini, 2014)

### 2.2.1.3 ONT

Es un equipo activo utilizado en las instalaciones del cliente, la señal óptica recibida se convierte en señal eléctrica.

## 2.2.2 Recomendación ITU-T G.984.x

Las redes GPON disponen de un extenso conjunto de recomendaciones que se detallan en la norma ITU-T G.984.x, las cuales brindan especificaciones, parámetros técnicos y características de los equipos desarrollados para el soporte de dicho estándar, así como indicaciones en el diseño y certificación de topologías GPON, con el objetivo de optimizar los recursos disponibles en dicha red.

### 2.2.2.1 ITU-T G.984.1

La recomendación ITU-T G.984.1 describe las operaciones de GPON con IEEE 1588 y explica cada uno de los casos de uso para la sincronización en tiempo y frecuencia de esta tecnología, además del transporte de mensajes ESMC a través de PON.

**Tabla 1-2:** Usos de la sincronización GPON

CASOS	SINCRONIZACIÓN DE RED A OLT	SINCRONIZACIÓN UNI DESDE ONU
1	SyncE (solo frecuencia)	SyncE (solo frecuencia)
2	IEEE 1588 y SyncE	IEEE 1588 y SyncE

3	IEEE 1588	IEEE 1588
4	IEEE 1588	IEEE 1588 y SyncE
5	IEEE 1588 y SyncE	Interface ToD y SyncE
6	IEEE 1588	Interface ToD y SyncE
7	Interface ToD y SyncE	Interface ToD y SyncE

**Fuente:** ITU-T G.984.1, 2012

**Realizado por:** Raigoza, Marco, 2022

### 2.2.2.2 ITU-T G.984.2

La Recomendación ITU-T G.984.2 como se observa en la tabla 2-2 se describe velocidades nominales para redes de acceso de fibra óptica flexibles que son compatibles con los requisitos de ancho de banda de los servicios comerciales y residenciales, y también incluye requisitos de capa física y se propone la gestión de medios físicos (PMD) de capa dependiente. antes) y convergencia de transmisión (TC).

**Tabla 2-2: Velocidad de transmisión GPON**

DIRECCIÓN EN TRANSMISIÓN	VELOCIDAD (Mbit/s)
Downstream	1 244.16
	2 488.32
Upstream	155.52
	622.08
	1 244.16
	2 488.32

**Fuente:** ITU-T G.984.2, 2019

**Realizado por:** Raigoza, Marco, 2022

Se establece tres clases que describen los niveles de potencia óptica permitidos en los equipos transmisores y receptores para el cálculo de presupuesto óptico de la red GPON.

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

**Tabla 3-2:** Niveles de potencia óptica clase B+

PARÁMETRO	OLT	ONT
Sensibilidad mínima	-28 (dBm)	-27 (dBm)
Potencia máxima	+5 (dBm)	+5 (dBm)

Fuente: ITU-T G.984.2, 2019

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022

La Tabla 4-2 cubre el rango de valores de atenuación de los componentes ópticos entre la OLT y ONU, incluidos pérdidas en la fibra, empalmes, conectores y divisores ópticos

**Tabla 4-2:** Pérdidas en la red GPON clase B+

PARÁMETRO	LONGITUD DE ONDA 1490 nm	LONGITUD DE ONDA 1310 nm
Pérdida óptica mínima	13 (dBm)	13 (dBm)
Pérdida óptica máxima	28 (dBm)	28 (dBm)

Fuente: ITU-T G.984.2, 2019

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022

### 2.2.2.3 ITU-T G.984.3

La recomendación ITU-T G.984.3 describe la capa de convergencia de transmisión para dispositivos con capacidad gigabit. Además, incluye las siguientes especificaciones:

- Entramado de capa de convergencia de transmisión (GTC)
- Mecanismo de acceso múltiple por división de tiempo en sentido ascendente (WDM)
- Canal de mensajería de operación, administración y mantenimiento (OAM) de la capa física
- Principios y mecanismo de señalización de la asignación dinámica de ancho de banda en sentido ascendente
- Método de activación de la unidad de red óptica (ONU)
- Corrección de errores hacia adelante (FEC)



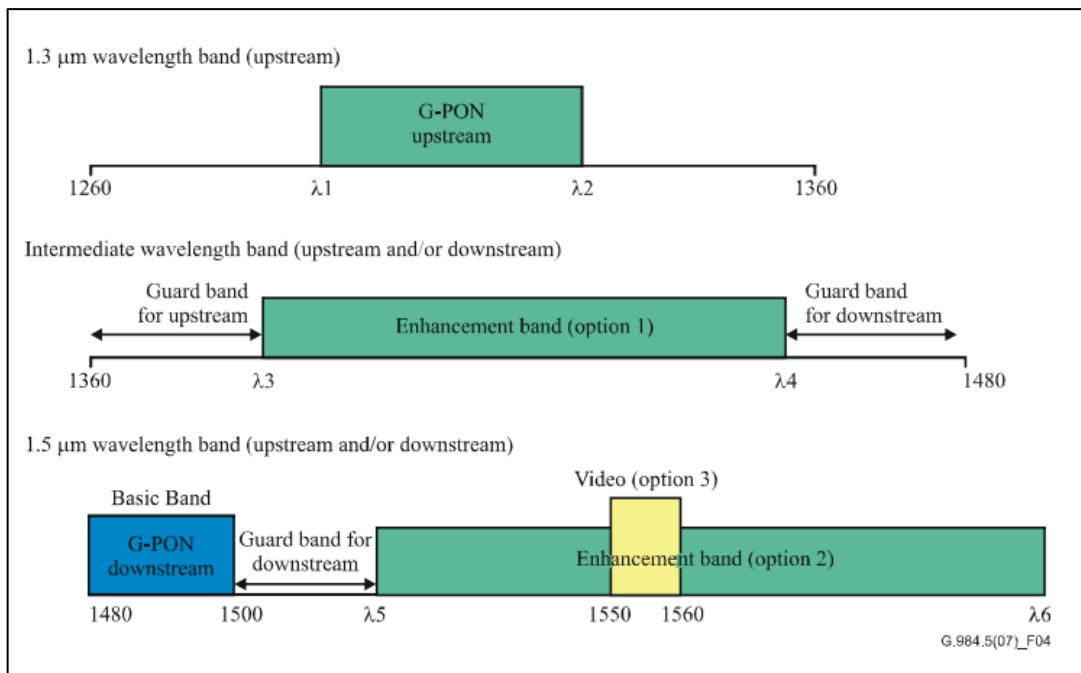
- Seguridad

#### 2.2.2.4 ITU-T G.984.4

La Recomendación ITU-T G.984.4 proporciona las características de operación en la terminación de red óptica (ONT) y la interfaz de control (OMCI) para sistemas de red óptica pasiva (GPON). Adicionalmente, cubre el canal de gestión y control de la ONT,

#### 2.2.2.5 ITU-T G.984.5

La recomendación ITU-T G.984.5 define rangos de longitud de onda reservados para señales de servicio adicionales a través de multiplexación por división de longitud de onda (WDM) para maximizar el valor de las redes de distribución óptica (ODN).



**Ilustración 15-2:** Asignación de longitud de onda de una red GPON

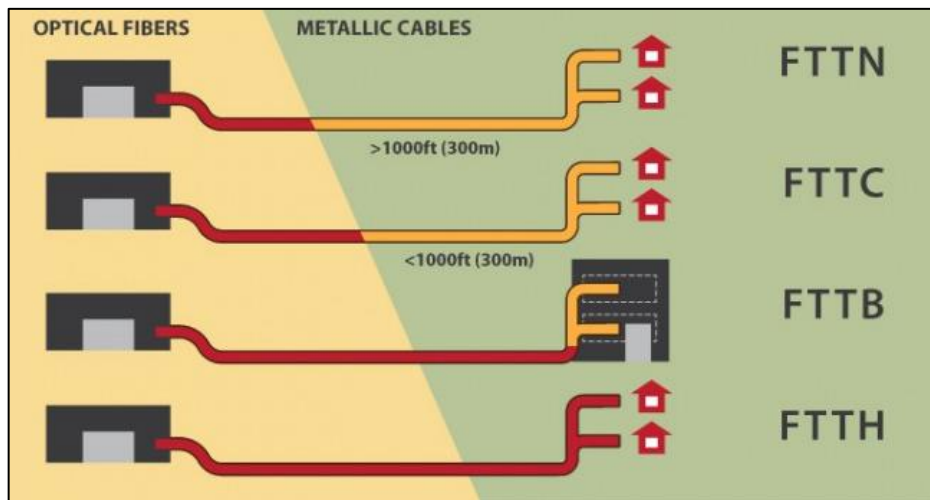
Fuente: ITU-T G.984.5, 2022

#### 2.2.2.6 ITU-T G.984.6

La recomendación ITU-T G.984.6 describe la arquitectura y los parámetros de interfaz de un sistema GPON de rango extendido que utiliza dispositivos de extensión de rango de capa física como regeneradores y repetidores ópticos en el enlace de fibra entre OLT y ONT. Tiene un alcance máximo de hasta 60 km y ambas secciones pueden alcanzar más de 27,5 dB de atenuación.

## 2.3 Redes FTTx

Las redes FTTx constituyen una arquitectura de alto desempeño en la transmisión de información a través de fibra óptica, proporcionan conectividad de banda ancha a empresas, negocios y hogares. Estas redes comprenden una generalización de las diferentes configuraciones que disponen (FTTN, FTTC, FTTB, FTTH) y cada una se diferencia por el nivel del alcance y el acercamiento que tiene la fibra óptica hacia el usuario o cliente final. (Villacrés Valverde y Muriel Bonilla, 2016)



**Ilustración 16-2:** Redes FTTx  
Fuente: Fiber Optic Network, 2015

### 2.3.1 FTTN (Fiber to the Node)

FTTN o conocido como fibra hasta el vecindario, ofrece el servicio a varios hogares ubicados dentro de un radio de aproximadamente una milla del poste de servicios públicos del nodo, cuanto más lejos esté su hogar del nodo, más lejos deben viajar los datos a través del cableado de cobre, lo que puede resultar en una conexión más lenta y menos confiable. (Goldman, 2021)

### 2.3.2 FTTC (Fiber to the Curb)

FTTC hace referencia a la fibra óptica que se instala desde el poste o gabinete de servicios públicos que contiene una caja de conexiones llamada nodo hasta el usuario, dentro del nodo, la fibra se combina con cables coaxiales existentes o líneas telefónicas de cobre llegando a uno o varios hogares alrededor del nodo. La calidad y la antigüedad del cableado de cobre de su hogar pueden afectar su conexión a Internet. (Goldman, 2021)

### **2.3.3 FTTB (*Fiber to the Building*)**

FTTB conecta básicamente las señales ópticas de la caja de distribución principal de un edificio o construcción por medio de fibra óptica, sin embargo, el edificio sigue haciendo uso de su red interna que puede ser de cable coaxial, par trenzado o fibra óptica que distribuye la señal dentro de este y obtener transmisión de datos a altas velocidades, siendo un método de acceso de banda ancha más razonable, práctico y rentable. (OPTICO, 2019)

### **2.3.4 FTTH (*Fiber to the Home*)**

FTTH) conocida también como fibra hasta las instalaciones (FTTP), comprende la instalación y utilización de la fibra óptica desde una central directamente a edificios individuales como residencias, apartamentos y empresas para proporcionar acceso a internet de alta velocidad, esta tecnología incrementa drásticamente las velocidades de conexión disponibles para los usuarios de computadoras en comparación con las tecnologías anteriores que eran usadas en la mayoría de los lugares. La desventaja que presenta en su implementación son los elevados costes de instalación, los nuevos cables correspondientes a la "última milla" desde los cables de fibra óptica existentes hasta los usuarios individuales. (Lutkevich, 2020)

### **2.3.5 *Parámetros de transmisión***

Muestra los parámetros más utilizados que permiten comprobar la calidad de la conexión durante la transmisión.

#### **2.3.5.1 *BER (Bit Error Ratio)***

Dentro de los sistemas de telecomunicaciones es primordial evaluar la calidad de transmisión de información, midiendo qué tan bien la señal de salida reproduce la entrada. El BER se define como la relación entre la cantidad de los bits que se reciben correctamente frente a los incorrectos.

$$BER = \frac{E(t)}{N(t)}$$

### **Ecuación 1-2: BER (Bit Error Ratio)**

Donde,

$E(t)$ : el número de bits recibidos con error en un tiempo  $t$

$N(t)$ : el número total de bits transmitidos en el tiempo  $t$

El BER esencialmente especifica la probabilidad promedio de identificación de bit incorrecta. Por lo tanto, un BER de  $10^{-9}$  significa que, en promedio, 1 bit de cada  $10^9$  bits se lee incorrectamente. Si el sistema está funcionando a 100 Mb/s, es decir,  $10^8$  pulsos por segundo. (FOSCO, 2022)

#### *2.3.5.2 Factor Q*

El factor Q se define como una función de la relación señal/ruido (óptica) y, por lo tanto, describe cualitativamente el rendimiento del receptor. El factor Q indica la SNR mínima requerida para obtener un BER dado para una señal dada mientras se cumple con el estándar requerido. (Cisco Networking Academy, 2003)

$$Q = \frac{I_1 - I_0}{\sigma_1 - \sigma_0}$$

### **Ecuación 2-2: Factor Q**

Donde,

$I_1$ : es el valor de la corriente de 1 bit

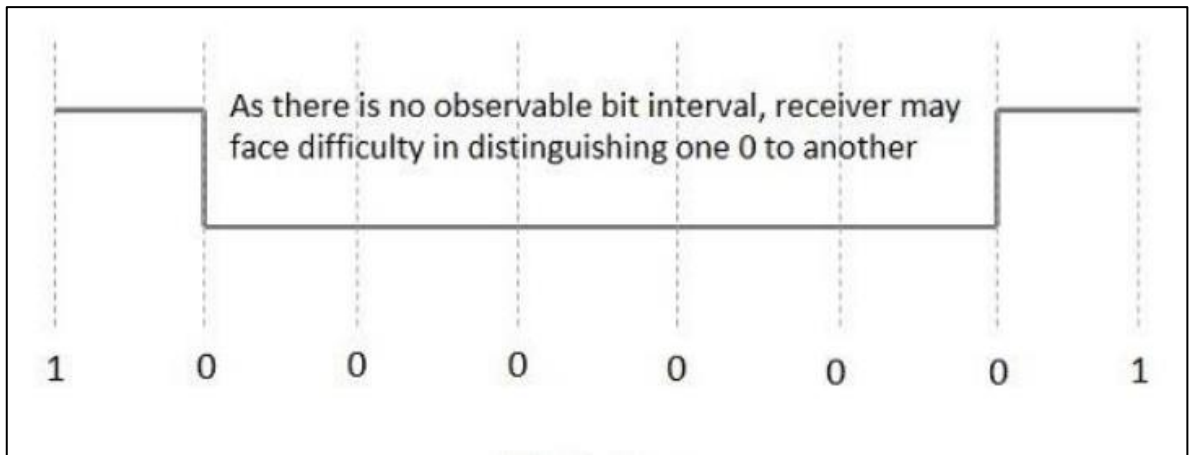
$I_0$ : es el valor de la corriente de 0 bit

$\sigma_1$ : es la desviación estándar de la corriente de 1 bit

$\sigma_0$ : es la desviación estándar de la corriente de 0 bit

#### *2.3.5.3 Codificación NRZ (No Return to Zero)*

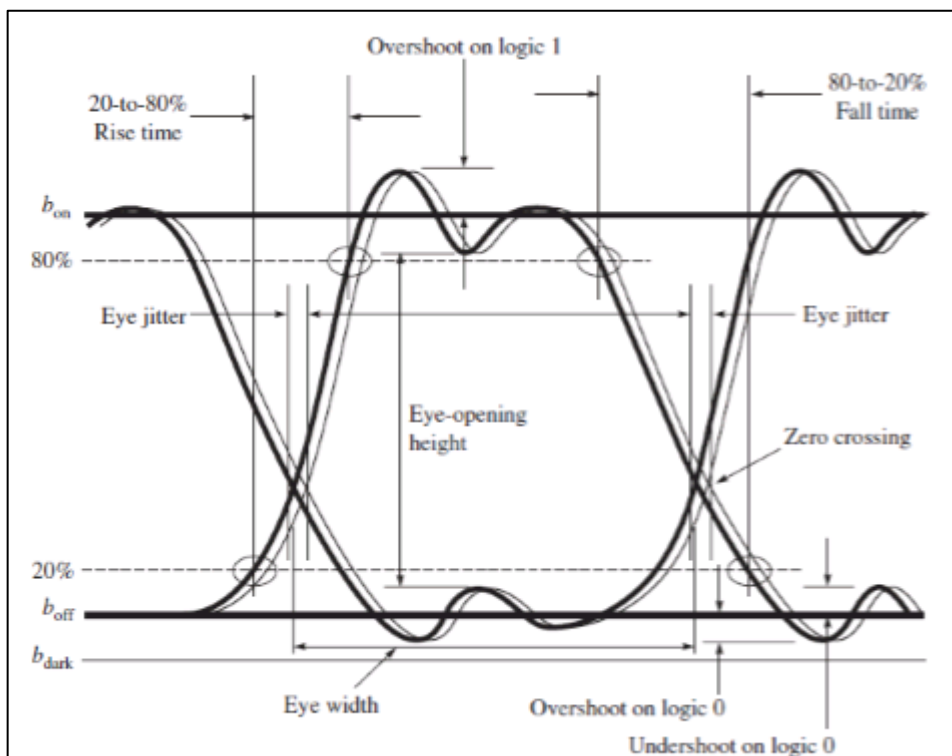
La codificación NRZ posee dos niveles; 1 para nivel de alto voltaje y 0 para nivel de bajo voltaje. El comportamiento principal de los códigos NRZ es que el nivel de voltaje permanece constante durante el intervalo de bits. Al final o no se indicará el inicio de un bit y mantendrá el mismo estado de voltaje, si el valor el bit anterior y el valor del bit actual son los mismos. (VIKRA, 2012)



**Ilustración 17-2:** Codificación NRZ  
Fuente: VIKRA, 2012

### 2.3.5.3 Diagrama de ojo

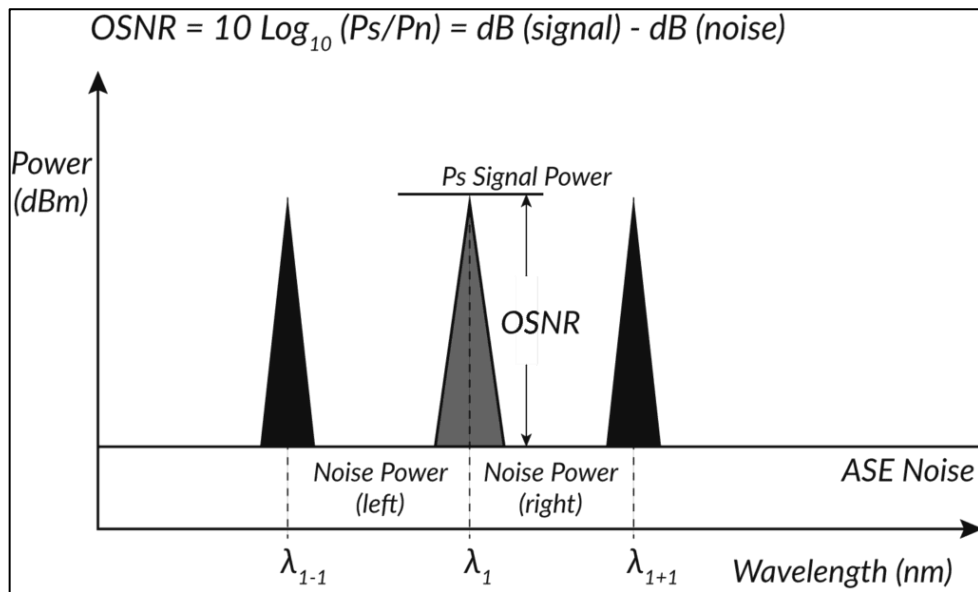
El diagrama de ojo proporciona información sobre el rendimiento del sistema óptico; el ruido de amplitud y la fluctuación de tiempo, además de medir la tasa de extinción. La medición tradicional del diagrama de ojo generalmente implica el uso de un osciloscopio digital y requiere recopilar una gran cantidad de datos, lo que requiere una gran cantidad de tiempo, por lo tanto, no es adecuado para el procesamiento en tiempo real. (FrenzelJr, 2010)



**Ilustración 18-2:** Diagrama del Ojo  
Fuente: Ques10, 2016

#### 2.3.5.4 OSNR Relación señal a ruido

La relación señal-ruido óptica (OSNR) se utiliza para cuantificar el grado de interferencia de ruido en las señales ópticas, se establece mediante la potencia de la señal de servicio y la potencia del ruido dentro de un ancho de banda válido. OSNR sirve como indicador de referencia para la evaluación del rendimiento de los sistemas de transmisión óptica. Las redes DWDM deben operar por encima de su límite OSNR para garantizar un funcionamiento sin errores. (Vitoils, 2022)



**Ilustración 19-2: OSNR**

Fuente: EDGE Optical Solutions, 2022

## 2.4 Software de simulación

### 2.4.1 OptiSystem

OptiSystem es un potente software de diseño de componentes, interconexiones y sistemas ópticos que permite a los usuarios planificar, probar y simular estas interconexiones ópticas en la capa de transporte de las redes ópticas modernas para reducir el tiempo y los costes de construcción de la red. Una interfaz gráfica de usuario (GUI) completa impulsa los componentes de diseño óptico, lista de conexiones y diagrama de presentación para automatizar el diseño de la capa física para todos los tipos de enlaces ópticos y para una amplia gama de redes ópticas, como redes de área metropolitana (MAN) y automatización local. análisis de red. Red de área (LAN). (Dr. Ismail, 2014)



**Ilustración 20-2:** Software OptiSystem  
Fuente: AZHAR TECH, 2022

#### *2.4.1.1 Características principales*

- Biblioteca: Incluye cientos de componentes, todos los cuales han sido cuidadosamente validados para ofrecer resultados comparables con las aplicaciones de la vida real.
- Componentes definidos por el usuario: el usuario puede crear nuevos componentes basados en subsistemas y bibliotecas definidas por el usuario.
- Representación de señales mixtas: OptiSystem maneja formatos de señales mixtas para señales ópticas y eléctricas en la biblioteca
- Calidad y Rendimiento: OptiSystem calcula parámetros como BER y Q-Factor para predecir el rendimiento del sistema.
- Monitores de datos: el usuario puede seleccionar cualquier puerto de componente y guardar los datos y luego monitorearlos una vez que finaliza la simulación.
- Múltiples diseños: el usuario puede crear muchos diseños utilizando el mismo archivo de proyecto, permitiéndole crear y modificar sus diseños de forma rápida y eficiente.
- Barridos y optimizaciones de parámetros: las simulaciones se pueden repetir con variaciones modificadas de los parámetros.
- Lista de materiales: OptiSystem proporciona una tabla de análisis de costos del sistema que se está diseñando, organizada por sistema, diseño o componente.

#### *2.4.2 ArcGIS*

ArcGIS es un software de diseño que brinda las herramientas para conectar mapas, aplicaciones, datos y personas de manera rápida y eficiente. que ayuda a las organizaciones a estar más informados. ArcGIS está contemplado como una aplicación flexible, ofreciendo capacidades a

través de múltiples patrones y enfoques de implementación en mapas geográficos, mejorando la experiencia del usuario. (Esri, 2020)



**Ilustración 21-2:** Software ArcGIS  
**Fuente:** Software Activo, 2020

#### 2.4.2.1 Aplicaciones

- Creación y utilización de mapas inteligentes
- Procesamiento y compilación de información geográfica
- Creación y administración de bases de datos con información geográfica
- Resolución de problemas con análisis espacial
- Creación de aplicaciones basadas en topografía
- Compartición de recursos geográficos



## CAPITULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo describe el procedimiento usado para el diseño de la red de acceso FTTH para el proveedor de servicios Rapired.SA, en esto se realiza un enfoque a el diseño lógico es decir la selección de la zona de estudio, cálculo del ancho de banda, la topología de la red y la ubicación de los equipos a usarse, además de esto se realiza el diseño físico en donde se incluye el diseño de la red de alimentación, distribución y dispersión.

#### 3.1 Metodología del diseño

Una vez revisada la información correspondiente al diseño de la red FTTH, se procede analizar los requerimientos de diseño tomando en cuenta las necesidades que tiene la red en cuanto a eficiencia, capacidad y tamaño de la red, para esto se debe tomar en cuenta que no se está realizando una investigación no experimental ya que está usando una tecnología existente para cubrir una necesidad en la empresa Rapidred.SA.

#### 3.2 Enfoque

Se partió de algo no medible que después de un proceso pasó a ser algo medible mediante un enfoque cualitativo-cuantitativo, es decir que se sacó conclusiones a partir de hechos.

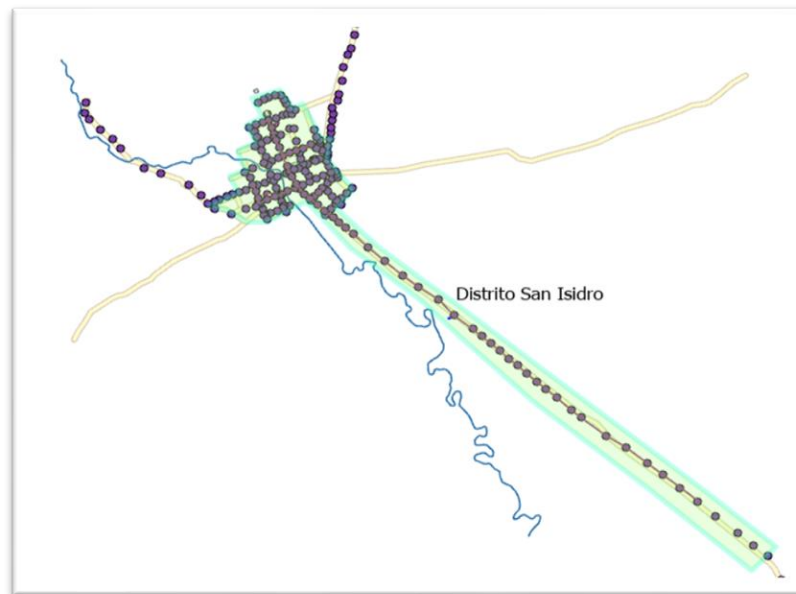
#### 3.3 Método de Investigación

- **Método inductivo**, fue empleado para la formulación del problema mediante el análisis de la situación de empresa interesada, en este proyecto se relacionan casos con respecto a las redes de acceso para proveedores de internet, se realiza un diagnóstico de cómo ocurre esto actualmente y se presenta sugerencias para mejorar.
- **Método deductivo**, ideal para entender el funcionamiento de las redes de acceso FTTH, además permite analizar los estándares en las arquitecturas G-PON y también los diferentes conceptos que son necesarios para el diseño de la red.

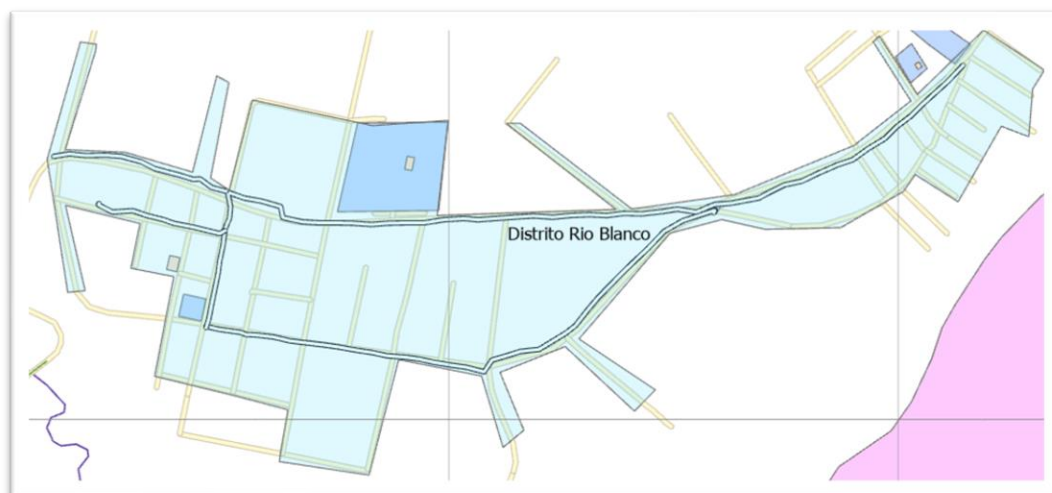




**Ilustración 2-3:** Zona de estudio Sevilla Don Bosco.  
Realizador por: Raigoza, Marco, 2022.



**Ilustración 3-3:** Extensión de la red San Isidro.  
Realizador por: Raigoza, Marco, 2022.



**Ilustración 4-3: Extensión Distrito Rio Blanco**

Realizador por: Raigoza, Marco, 2022.

Las zonas mostradas están ubicadas en el cantón Morona provincia de Morona Santiago, esta provincia a su vez se encuentra localizada en el centro sur de la región Amazónica, entre las coordenadas geográficas 79° 05' de Long. W; 01° 26' de Lat. S y 76° 35' de Long. W; 03° 36' Lat. S; forma parte de la cuenca amazónica sudamericana, que “con su enorme superficie, 7.5 millones de km<sup>2</sup>, su complejidad ecosistémica, es la más importante reserva biótica existente en el mundo”- El Cantón Morona corresponde al 19.35% de la superficie provincial y el 4.02% con respecto a la Región Amazónica Ecuatorial, RAE, posee una superficie de 465.272 hectáreas (4.652,72 Km<sup>2</sup>) y es el segundo cantón más extenso de la Provincia de Morona Santiago. En la ilustración 5-3 y 6-3 se puede observar la ubicación geográfica de las zonas de estudio. (ZUÑAC,2014).



**Ilustración 5-3: Mapa Político del cantón Morona.**

Fuente: ABANICOSN & CIA LTDA., 2015



**Ilustración 6-3: Ubicación del cantón Morona en el mapa de Ecuador.**  
 Fuente: ABANICOSN & CIA LTDA., 2015

La distribución de las zonas se ha realizado tomando en cuenta la mayor concentración de usuarios de la empresa Rapidred.SA, por ello no se ha tomado toda la extensión de las parroquias sino solo las zonas de más concentración demográfica.

#### 3.5.1.1 División en Distritos.

Para una mejor distribución de las diferentes etapas de *spliteo* se dividió las zonas de estudio en distritos, en donde la zona correspondiente a Macas y Proaño se dividen en 5 distritos mientras que las otras tres parroquias corresponden a un distrito cada una.

#### 3.5.1.2 Población

Tomando en cuenta los clientes actuales del servicio de internet de Rapidred.SA, se toma un número de 1487 clientes, esta cantidad se toma del sistema de cobranzas de la empresa el cual se puede observar en el Anexo A, redistribuidos en las 5 parroquias consideradas para el diseño de la red de fibra óptica, para su diseño se tomó en cuenta 8 distritos distribuidos en toda el área de estudio. En la tabla 1-3 se puede observar la distribución de usuarios en las diferentes parroquias.

**Tabla 1-3:** Distribución de usuarios en las parroquias.

Parroquia	Número de usuarios.
Macas	887

Proaño	225
Sevilla Don Bosco	175
San Isidro	102
Rio Blanco	98
Total	1487

**Fuente:** Encuesta de aplicabilidad  
**Realizado por:** Raigoza, Marco, 2022.

### 3.5.1.3 Muestra

Para realizar el cálculo de la muestra se toma en cuenta el número de clientes activos actualmente en el proveedor de servicios que son un total de 1487 usuarios, para obtener la muestra se utiliza la siguiente formula:

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{e^2 (N - 1) + Z^2 \sigma^2}$$

#### **Ecuación 1-3:** Ecuación de cálculo de población

En donde:

n: Es el tamaño de la muestra a obtener.

N: Es la población total.

$\sigma$ : Representa la desviación estándar de la población. Generalmente se usa 0,5.

Z: Es el valor del nivel de confianza. Generalmente se toma valores del 99% (2,58) o del 95% (1,96).

e: Es el límite aceptable de error muestral, generalmente va del 1% al 9%.

En nuestro caso los valores que se tomaran son los siguientes:

N=1487

$\sigma$ =0,5

Z=1,96

e= 0,05

En donde n=306 encuestas.

#### 3.5.1.4 Diseño de la Muestra.

Se elaboro una encuesta conformada de 5 preguntas de opción múltiple, las cuales fueron redactadas de una manera en la cual los encuestados puedan comprender de manera fácil cada una de las preguntas, con lo cual se tiene un promedio de 7 minutos por cada encuesta realizada a los clientes de la empresa. La encuesta busca cumplir con los siguientes aspectos:

- Reconocer las principales falencias existentes en el servicio que se ha ofrecido hasta la fecha.
- Conocer los requerimientos y el uso que dan los clientes a un plan de internet para el hogar.
- Determinar el ancho de banda a ofrecer con el valor que un cliente está dispuesto a pagar por un plan de internet.

#### 3.5.1.5 Interpretación de resultados de la encuesta.

En este segmento se realizará un análisis de los resultados obtenidos en cada una de las preguntas de la encuesta, los cuales ayudaran a tener una mejor visión de la factibilidad que tendrá la implementación de una red de fibra óptica en las diferentes parroquias del cantón Morona. Las preguntas tienen un mayor enfoque a las necesidades y requerimientos que tienen los clientes en el servicio de internet para el hogar y de que forma la tecnología de fibra óptica ayudaría a mejorar el servicio brindado a cada uno de los clientes.

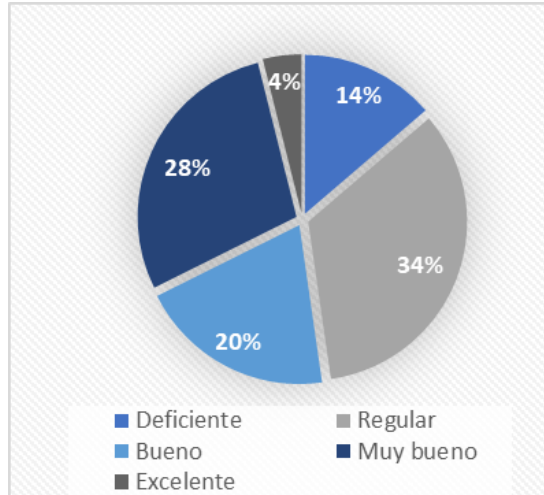
- **Pregunta 1.** ¿Cómo califica usted el servicio de internet que recibe actualmente?

**Tabla 2-3:** Calidad de servicio actual.

<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje</b>
Deficiente	42	14%
Regular	104	34%
Bueno	61	20%
Muy bueno	87	28%
Excelente	12	4%

**Fuente:** Encuesta de aplicabilidad

Para una mejor visualización de los datos se ha usado diagramas de pastel en donde se puede observar el porcentaje de encuestados que has respondido cada opción.



**Ilustración 7-3:** Resultados de la Pregunta 1 en la Encuesta de Aplicabilidad.

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

### Interpretación:

En la ilustración 3-7 se puede observar que el 28% de los usuarios del servicio de internet opinan que el servicio de internet es deficiente, mientras que un 34% dice que este es regular, 20% que es bueno, el 14% que es muy bueno y tan solo un 4% ha dicho que el servicio de internet es excelente. Lo cual indica que es necesario mejorar el servicio para así mantener los clientes actuales y obtener nuevos clientes.

- **Pregunta 2.** ¿Cuál considera que es el mayor problema en su servicio de internet?

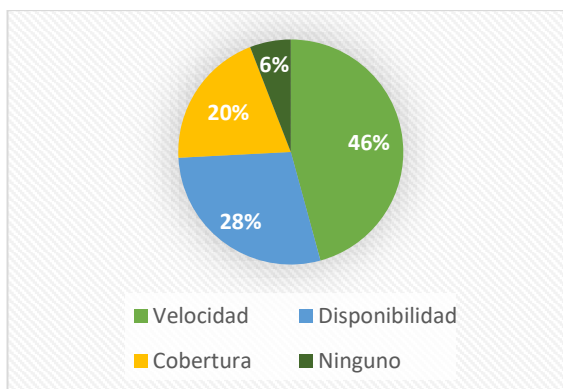
**Tabla 3-3:** Calidad de servicio actual

Detalle	Cantidad	Porcentaje
Velocidad	140	46%
Disponibilidad	87	28%
Cobertura	61	20%
Ninguno	18	6%

Fuente: Encuesta de aplicabilidad

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.





**Ilustración 8-3:** Resultados de la Pregunta 2 en la Encuesta de Aplicabilidad.

**Realizado por:** Raigoza, Marco, 2022.

**Interpretación:**

En la ilustración 8-3 se puede observar que el mayor problema del servicio es la velocidad con un 46%, seguido por la disponibilidad con un 28% y la Cobertura con un 20%, y una baja cantidad de clientes no tienen ningún problema con un 6%.

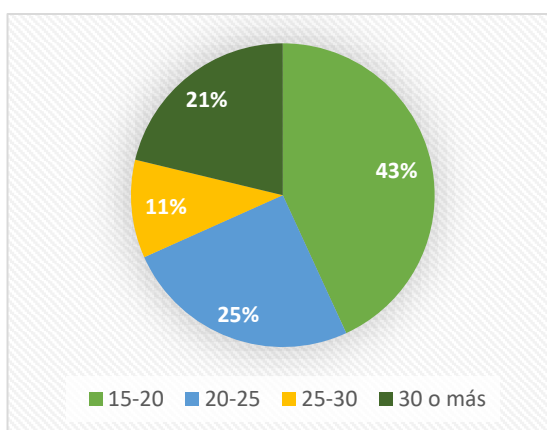
- **Pregunta 3.** ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por internet por fibra óptica?

**Tabla 4-3:** Capacidad de pago de usuarios.

Detalle	Cantidad	Porcentaje
15-20	132	43%
20-25	77	25%
25-30	32	10%
30 o más	65	21%

**Fuente:** Encuesta de aplicabilidad

**Realizado por:** Raigoza, Marco, 2022.



**Ilustración 9-3:** Resultados de la Pregunta 3 en la Encuesta de Aplicabilidad.

**Realizado por:** Raigoza, Marco, 2022.

**Interpretación:**

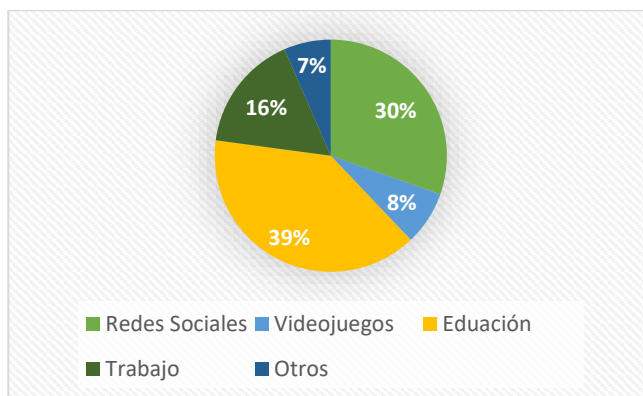
En la ilustración 9-3 se puede observar que una gran parte están dispuestos a pagar de 15 a 20 USD con un 43%, el 25% de los clientes está dispuesto a pagar hasta 25%, el 21% hasta 30 USD y tan solo el 11% pagaría más de 30 USD.

- **Pregunta 4.** ¿Qué uso da al servicio de internet?

**Tabla 5-3:** Tipo de uso del servicio de internet

Detalle	Cantidad	Porcentaje
Redes Sociales	93	30%
Videojuegos	23	8%
Educación	120	39%
Trabajo	50	16%
Otros	20	7%

Fuente: Encuesta de aplicabilidad  
Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.



**Ilustración 10-3:** Resultados de la Pregunta 4 en la Encuesta de Aplicabilidad.

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

**Interpretación:**

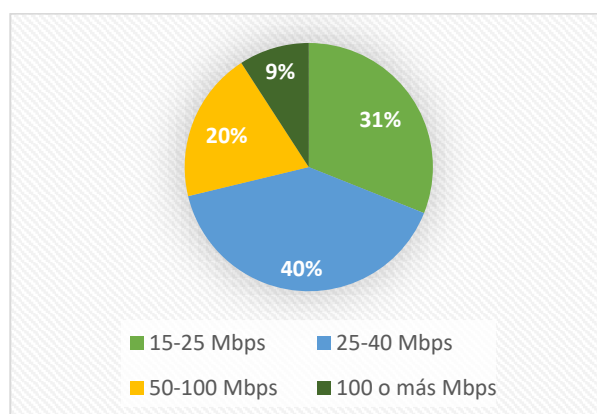
Según la ilustración 10-3 la mayor parte de los usuarios utilizan el internet para fines educativos y laborales con 39% y 30% respectivamente, luego el 16% lo usa para redes sociales, el 8% en Videojuegos y el 7% en otras actividades.

- **Pregunta 5.** ¿Qué ancho de banda le gustaría contratar para su plan de internet?

**Tabla 6-3:** Ancho de banda requerido.

Detalle	Cantidad	Porcentaje
15-25 Mbps	95	31%
25-40 Mbps	123	40%
50-100 Mbps	60	20%
100 o más Mbps	28	9%

**Fuente:** Encuesta de aplicabilidad  
**Realizado por:** Raigoza, Marco, 2022.



**Ilustración 11-3:** Resultados de la Pregunta 5 en la Encuesta de Aplicabilidad.

**Realizado por:** Raigoza, Marco, 2022.

### **Interpretación:**

Según la ilustración 11-3 el 31% de los encuestados están interesados en un plan entre 15 y 25 Mbps, el 40% buscan un plan en 25 y 40 Mbps, el 20% desea un plan entre 50 y 100 Mbps y el 9% un plan de más de 100 Mbps.

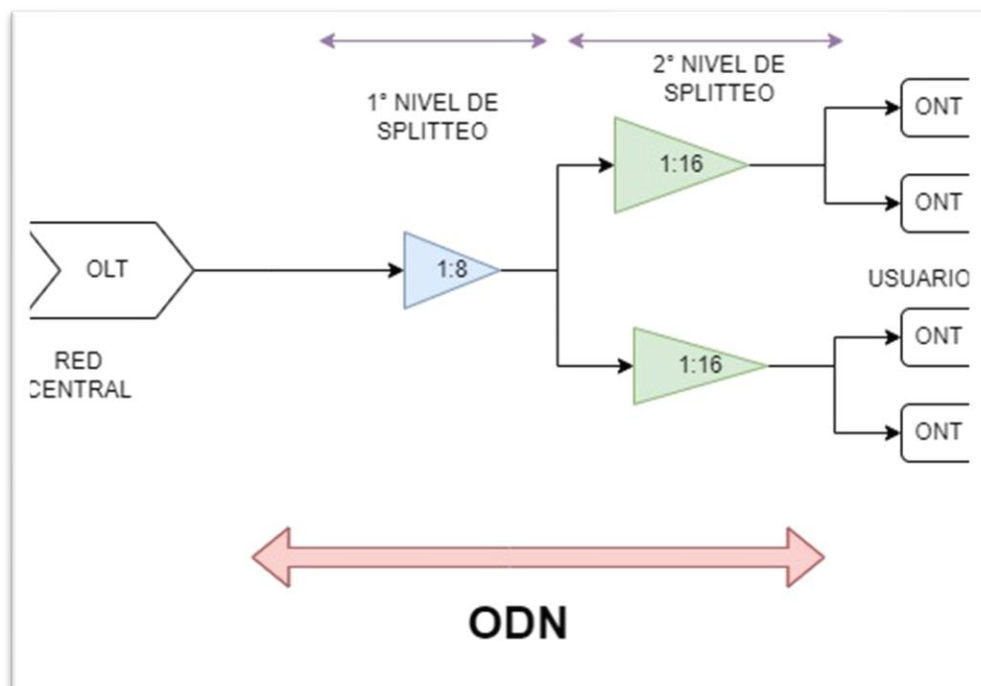
- **Análisis.**

Según las encuestas realizadas se llega a la conclusión de implementación de una red de fibra óptica además de factible es muy necesaria ya que el servicio brindado hace un momento por medio de enlaces terrestres ha presentado muchas falencias en cuanto a la calidad del servicio ofrecido. Con implementación de la red de fibra óptica el servicio brindado mejorará sustancialmente, logrando de esta manera mantener los actuales suscriptores de los planes de internet para el hogar, además de esto se logrará atraer a nuevos clientes con la mejora en el servicio y las nuevas prestaciones que tendrá la red de fibra óptica. Con esto los problemas que han mencionado los clientes actuales como son la velocidad en un 46% de los encuestados y la

disponibilidad en el 28% de los encuestados serán corregidos, ya que el internet por fibra óptica permite ofrecer una mayor velocidad de transmisión de datos y disponibilidad del 99%. De esta manera los clientes que califican al servicio como deficiente y regular tendrá una mayor conformidad con las prestaciones quedará la nueva tecnología. En cuanto a la velocidad que recibirá el usuario los planes podrán ser más económicos y como un mayor ancho de banda conforme a la capacidad que tiene la tecnología

### 3.5.2 Topología de la Red

Dado que se está diseñando una red FTTH se hace uso de una topología de tipo árbol, en donde la raíz será la OLT y se irá dividiendo en ramas mediante 2 niveles de splitteo, finalmente los abonados se conectarán a la red mediante una ONT. se hace uso de esta topología de red dado la eficiencia de esta distribución ya que no se hace uso de un gran número de equipos activos no que ahorra una gran cantidad de recursos. GPON. En la ilustración 12-3 se puede observar dicha topología.

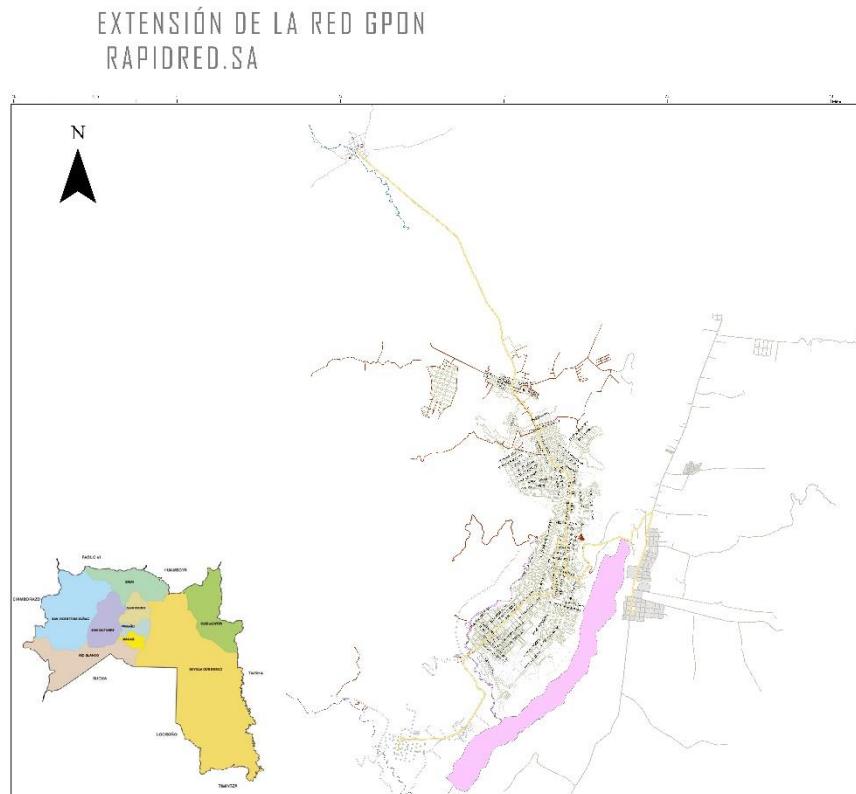


**Ilustración 12-3:** Topología de Red.

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

### 3.5.3 *Determinación de la zona de estudio*

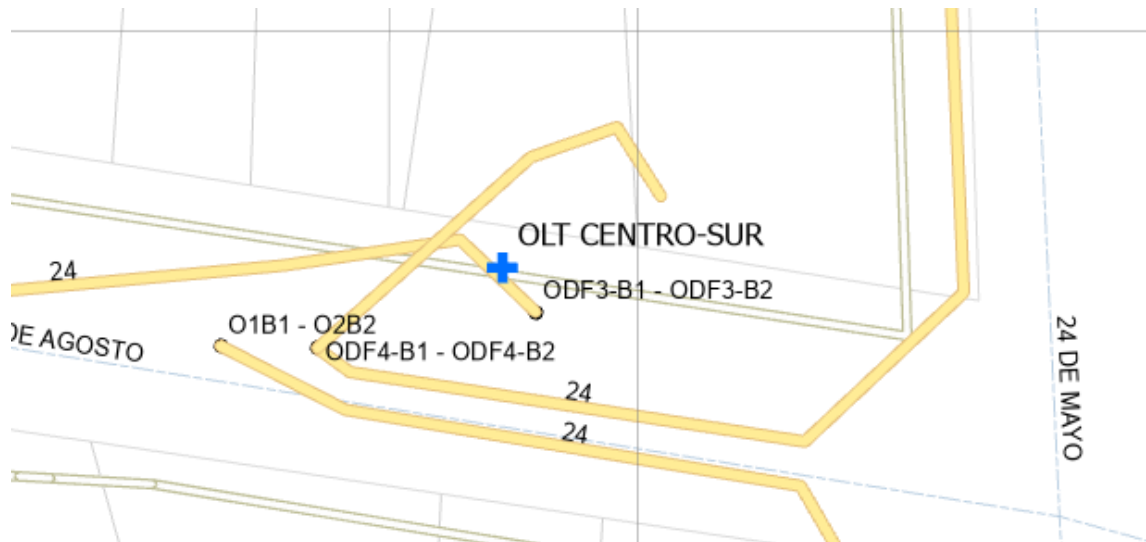
A continuación, en la ilustración 13-3 observaremos la extensión de la red de fibra óptica en las parroquias del cantón Morona. Los planos fueron diseñados y georreferenciados en el software ArcGIS Pro.



**Ilustración 13-3:** Extensión de la Red en ArcGIS.  
**Realizado por:** Raigoza, Marco, 2022.

### 3.5.4 *Ubicación de los Nodos Principales*

Para poder extender la red por toda la zona de estudio se ha seleccionado dos ubicaciones en donde se colocarán las OLTs, que permitirán el armado de la red óptica. En la ilustración 14-3 y 15-3 se puede observar la ubicación del nodo que alimentara los Distritos 1, 2, 3, 4, Sevilla Don Bosco y Rio Blanco.



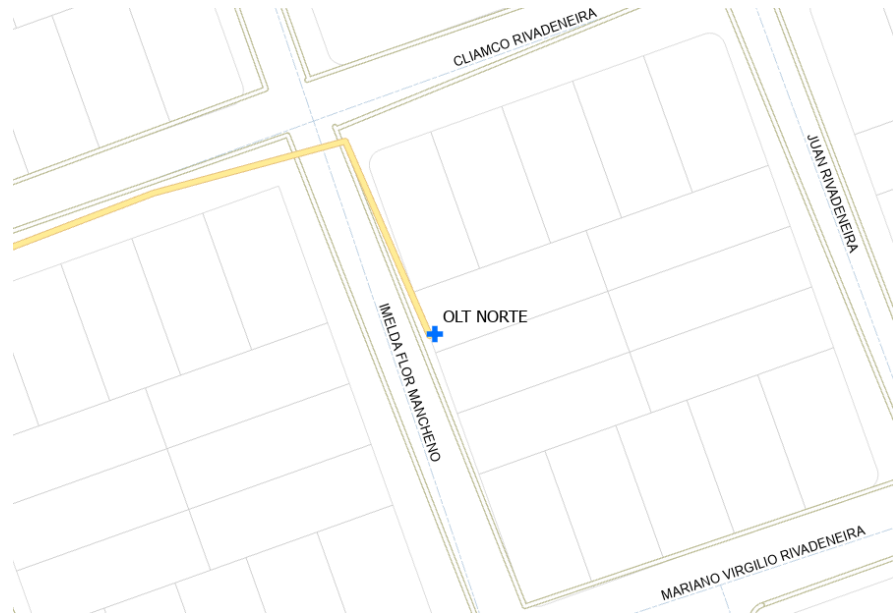
**Ilustración 14-3:** Ubicación OLT en el nodo Centro.  
**Realizado por:** Raigoza, Marco, 2022



**Ilustración 15-3:** Edificio Nodo Centro.  
**Fuente:** Google Maps, 2022.

El Nodo central ha sido ubicado en un punto estratégico para la distribución de la fibra óptica el cual se ubica en las calles 5 de agosto entre 24 de mayo y Soasti en la ciudad de Macas-Morona Santiago.

En la ilustración 16-3 y 17-3 se observa la ubicación del nodo que alimentara la zona norte de la red que se conforma de los distritos 5 y San Isidro.



**Ilustración 16-3:** Ubicación de la OLT Nodo Norte.  
Realizado por:: Raigoza, Marco, 2022.



**Ilustración 17-3:** Construcción Nodo Norte.  
Fuente: Google Maps, 2022.

Por su parte el nodo norte fue ubicado en las calles Imelda Mancheno entre Climaco Rivadeneira y Mariano Rivadeneira.

### 3.5.5 Cálculo del ancho de banda

En la Rec. ITU-G 984.3 se especifica que un puerto de una OLT en una red GPON tiene un ancho de banda de 2,48832 Gbits/s en *downstream* y 1,24416 Gbits/s en *upstream*. Con esto el ancho de banda se divide en función del nivel de splitteo que se realiza en la red GPON. En este caso de estudio el primer nivel de splitteo tiene una relación de 1:8 y el segundo nivel de splitteo 1:16 con

lo cual por cada puerto de la OLT puede prestar servicio a un total de 128 clientes. Para el cálculo del ancho de banda se divide el ancho de banda total para el número total de clientes que en este caso son 128.

$$AB_{DS} = \frac{2488,32}{128} = 19,44 \text{ Mbps}$$

**Ecuación 2-3:** Calculo de Ancho de banda *downstream*

$$AB_{UP} = \frac{1244,16}{128} = 9,72 \text{ Mbps}$$

**Ecuación 3-3:** Calculo de ancho de banda *upstream*.

Esto indica que cada cliente tiene asegurado 19,44 Mbps de *downstream* y 9,72 Mbps en *upstream*. En los ISP que brinda servicio para el hogar se realiza una compartición de canal de 1:4 por lo cual con este diseño de red se pueden ofrecer planes de hasta 80 Mbps en compartición 1:4.

## 3.6 Diseño de Planta Externa

### 3.6.1 Red de Alimentación o Feeder

La red Feeder comprende el trayecto que recorre la fibra desde la OLT hasta el primer nivel de splitteo. Esta fibra de alimentación hará un recorrido de tal manera que pueda llegar a cada uno de los distritos en donde se ubicaran nodos de distribución. Para el tendido de la red feeder hay que tomar en cuenta varios aspectos como son la escalabilidad de la red, optimización de recursos, ubicación de los nodos de distribución.

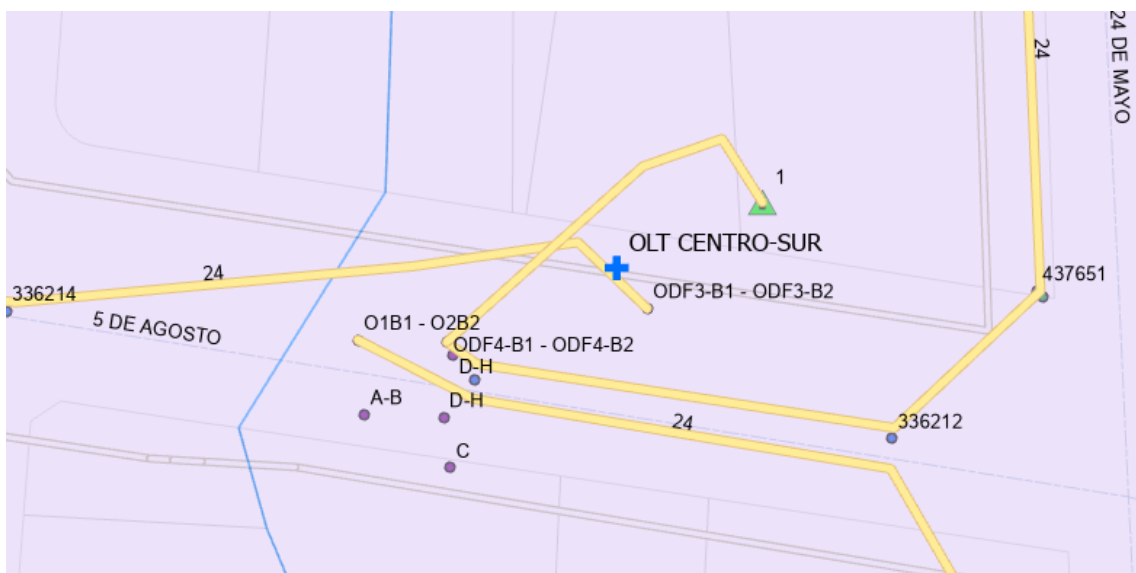
En nuestra red contamos con dos OLTs, por lo tanto, la red feeder tendrá salida de dos lugares diferentes. Para el tendido de la fibra de alimentación se ha seleccionado fibra ADSS de 24 hilos, tomando en cuenta que cada hilo tiene la capacidad para 128 clientes, cada una de las fibras que salen de los nodos podrán escalar hasta 3072 clientes. Lo que cumple con el número de clientes a migrar además que permite una gran escalabilidad en la red. En la ilustración 18-3 se observa la extensión de la red de alimentación.





**Ilustración 18-3: Red Feeder.**  
 Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

Como se mencionó anteriormente la fibra feeder tiene su origen en cada OLT, en la ilustración 19-3 se observa como los cables de fibra salen del nodo principal indicando la capacidad de cada fibra.



**Ilustración 19-3: Fibra Feeder OLT Centro.**  
 Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

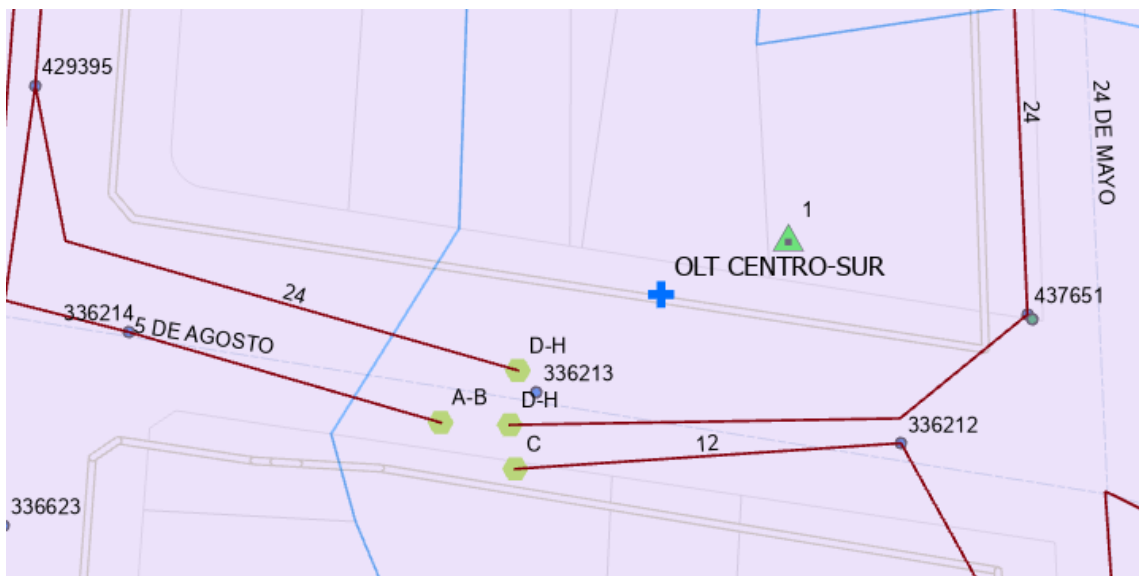
Una vez que la fibra de alimentación se extiende hasta cada uno de los distritos pasan a el primer nivel de splitteo, en donde la fibra de alimentación ingresa a los nodos secundarios y se realiza la derivación en los Armarios o ODFs de distribución. De cada uno de los hilos de alimentación se procede a colocar un *splitter* de orden 1:8 que pasara a ser distribuido por cada uno de los distritos por medio de la red de distribución.

### 3.6.2 Red de Distribución

La red de distribución se extiende desde los armarios de distribución en donde se realiza el primer nivel de splitteo, hasta las NAPs o cajas de distribución en donde se realizará el segundo nivel de splitteo. Cada uno de los distritos corresponde a un segmento de red de distribución en donde serán colocadas las NAPs en donde estarán conectados los usuarios.

#### 3.6.2.1 Distrito 1

El distrito 1 está ubicado en las calles 5 de agosto entra 24 de mayo y Soasti, esto significa que está en el nodo centro donde está ubicada la OLT. En este distrito se dispone de 12 hilos de alimentación que permite mediante el splitteo de 1:8 la disponibilidad de 96 cajas, de las cuales para el diseño actual solo serán usados 4 hilos que dan un total de 32 cajas que serán ubicadas en la zona que corresponde al distrito 1. En la ilustración 20-3 se puede observar la ubicación de los Armarios de Distribución en donde se realiza el primer de splitteo, así como la ubicación del nodo.



**Ilustración 20-3: ODFs DISTRITO 1.**

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

En la ilustración 20-3 se puede apreciar como de cada uno de los splitters sale una fibra de distribución que se extenderá hasta el lugar donde se va a ubicar cada una de las Naps. En el ANEXO C se observa toda la red de distribución del distrito 1.

Para la asignación de puertos se ha tomado 3 de la tarjeta 2 de la OLT que son los puertos 0/2/13-15 y un puerto de la tarjeta 1 que es el puerto 0/1/1. En la Tabla 7-3 se puede ver el direccionamiento que se colocó en la red del distrito 1.

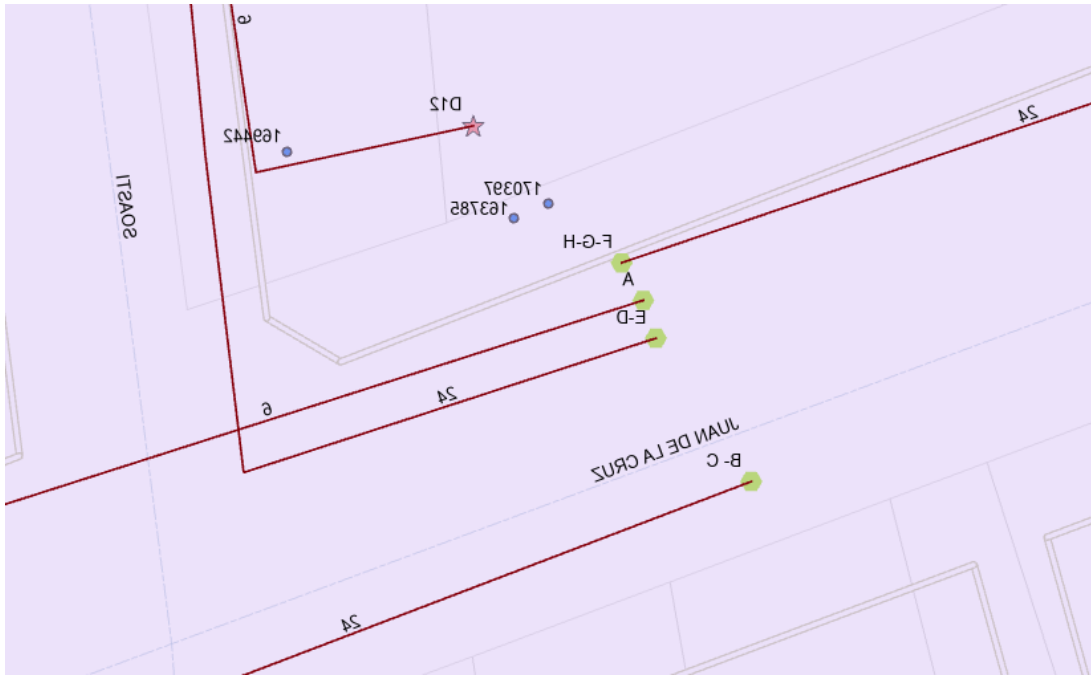
**Tabla 7-3:** Direccionamiento IP Distrito 1.

Puerto OLT.	Familia de Red.	Gateway	Service VLAN.	Management VLAN.
0/2/13	10.200.6.0/23	10.200.6.1	203	1203
0/2/14	10.200.6.0/23	10.200.6.1	203	1203
0/2/15	10.200.6.0/23	10.200.6.1	203	1203
0/1/1	10.200.8.0/23	10.200.8.1	204	1204

**Realizado por:** Raigoza, Marco, 2022.

### 3.6.2.2 Distrito 2

El distrito 2 se encuentra ubicado en las calles Juan de La Cruz y Soasti en el edificio donde se localiza la cooperativa de ahorro y crédito 29 de octubre. Al igual que en el distrito 1 al distrito 2 llegan 12 hilos de alimentación, con la diferencia que en este distrito se han colocado 5 splitters dando cabida a 40 Naps. En la ilustración 21-3 se observa la ubicación del nodo de distribución del distrito 2 así como sus ODFs.



**Ilustración 21-3:** ODFs DISTRITO 2.

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

El diseño completo de la red de distribución correspondiente al distrito 2 se puede observar en el ANEXO D.

En el Distrito 2 se usó los puertos 0/1/2-6 de la OLT, que corresponden a la tarjeta 1. En la tabla 8-3 se observa la asignación de VLANs y el direccionamiento IP de este distrito.

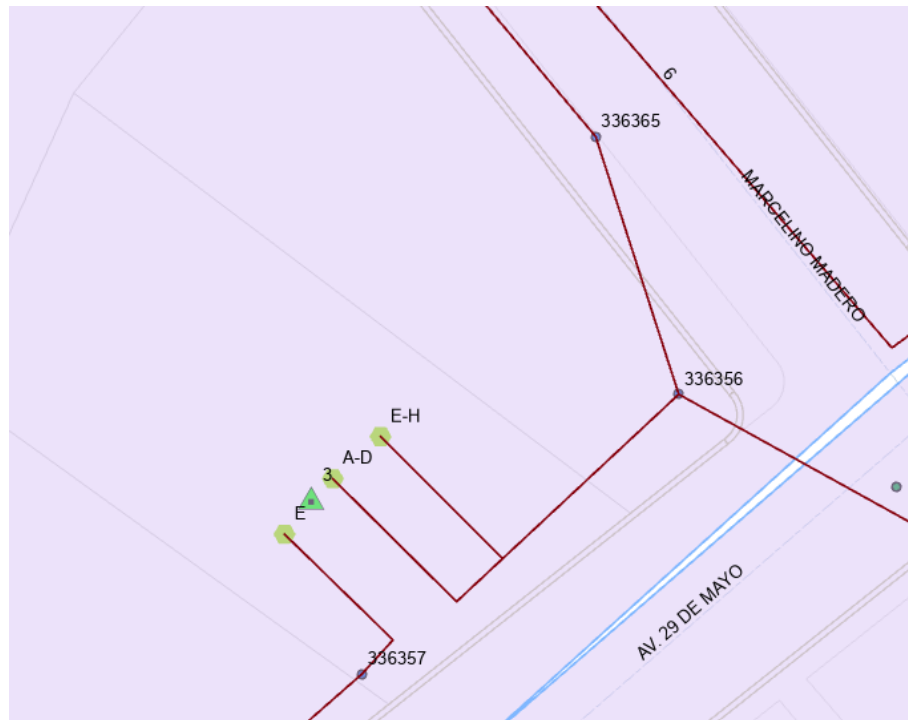
**Tabla 8-3:** Direccionamiento IP Distrito 2.

Puerto OLT.	Familia de Red.	Gateway	Service VLAN.	Management VLAN.
0/1/2	10.200.8.0/23	10.200.8.1	204	1204
0/1/3	10.200.8.0/23	10.200.8.1	204	1204
0/1/4	10.200.10.0/23	10.200.10.1	205	1205
0/1/5	10.200.10.0/23	10.200.10.1	205	1205
0/1/6	10.200.10.0/23	10.200.10.1	205	1205

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

### 3.6.2.3 Distrito 3

El distrito 3 se encuentra ubicado Av. 29 de mayo y Marcelino Madero. A este Nodo llegan 12 hilos de alimentación de los cuales 5 son usados para alimentar los splitters que pasaran a la red de distribución del distrito 3. En la ilustración 22-3 se observa la ubicación del nodo de distribución del distrito 3 así como sus ODFs.



**Ilustración 22-3:** Ubicación Nodo Distrito 3.  
Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

En el Anexo E se puede observar la red de distribución del distrito 3 de manera detallada.

En el Distrito 3 se usó los puertos 0/2/0-4 de la OLT, que corresponden a la tarjeta 2. En la tabla 9-3 se observa la asignación de VLANs y el direccionamiento IP de este distrito.

**Tabla 9-3:** Direccionamiento IP Distrito 3.

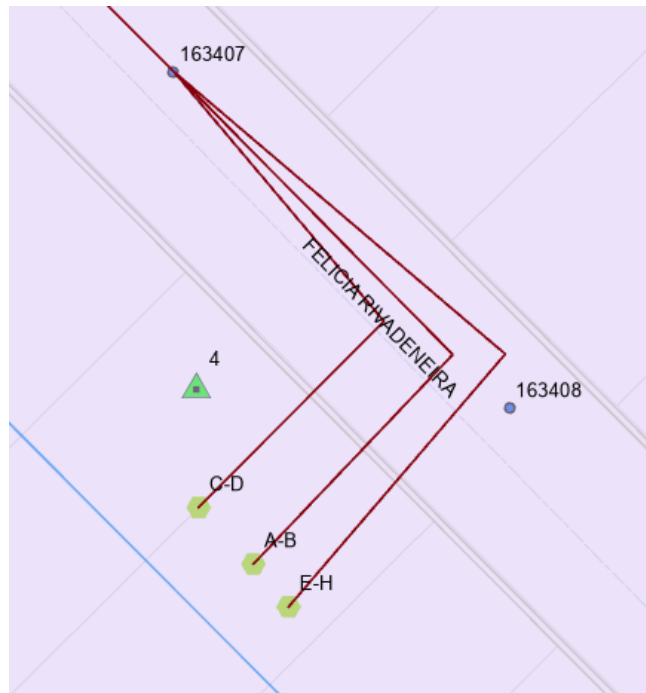
Puerto OLT.	Familia de Red.	Gateway	Service VLAN.	Management VLAN.
0/2/0	10.200.0.0/23	10.200.0.1	200	1200
0/2/1	10.200.0.0/23	10.200.0.1	200	1200

0/2/2	10.200.0.0/23	10.200.0.1	200	1200
0/2/3	10.200.2.0/23	10.200.2.1	201	1201
0/2/4	10.200.2.0/23	10.200.2.1	201	1201

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

#### 3.6.2.4 Distrito 4

El distrito 4 se encuentra ubicado Av. 29 de mayo y Felicia Rivadeneira. A este Nodo llegan 12 hilos de alimentación de los cuales 4 son usados para alimentar los splitters que pasaran a la red de distribución del distrito 4. En la ilustración 23-3 se observa la ubicación del nodo de distribución del distrito 3 así como sus ODFs.



**Ilustración 23-3:** Ubicación Nodo Distrito 4.

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

En el Anexo F se puede observar la red de distribución del distrito 4 de manera detallada. En el Distrito 4 se usó los puertos 0/2/5-8 de la OLT, que corresponden a la tarjeta 2. En la tabla 10-3 se observa la asignación de VLANs y el direccionamiento IP de este distrito.

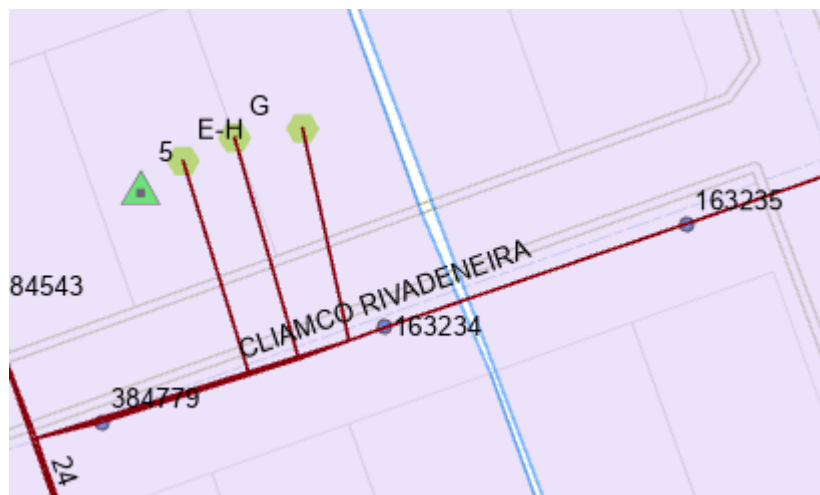
**Tabla 10-3:** Direccionamiento IP Distrito 3.

Puerto OLT.	Familia de Red.	Gateway	Service VLAN.	Management VLAN.
0/2/5	10.200.2.0/23	10.200.2.1	201	1201
0/2/6	10.200.2.0/23	10.200.2.1	201	1201
0/2/7	10.200.2.0/23	10.200.2.1	201	1201
0/2/8	10.200.4.0/23	10.200.4.1	202	1202

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

### 3.6.2.5 Distrito 5

El distrito 5 se encuentra ubicado en la calle Climaco Rivadeneira, en este nodo llegan 12 hilos de alimentación de los cuales se alimentan 5 splitters que serán usados para la red de distribución. el distrito 5 se encuentra alimentado por la OLT Norte, por lo cual es parte de una segunda red. Para este distrito ha sido usada la tarjeta 1 de la OLT norte y se han asignado los puertos 1/1/4-8. En la ilustración 24-3 se observa la ubicación del Nodo del distrito 5.



**Ilustración 24-3:** Ubicación Nodo Distrito 5.

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

En el Anexo G se puede observar la red de distribución del distrito 4 de manera detallada. En la tabla 11-3 se observa la asignación de VLANs y el direccionamiento IP de este distrito.

**Tabla 11-3:** Direccionamiento IP Distrito 5.

Puerto OLT.	Familia de Red.	Gateway	Service VLAN.	Management VLAN.
1/1/4	10.201.2.0/23	10.201.2.1	301	1301
1/1/5	10.201.2.0/23	10.201.2.1	301	1301
1/1/6	10.201.2.0/23	10.201.2.1	301	1301
1/1/7	10.201.4.0/23	10.201.4.1	302	1301
1/1/7	10.201.4.0/23	10.201.4.1	302	1301

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

### 3.6.2.6 Distrito San Isidro

El nodo principal del Distrito San Isidro se encuentra en la calle 6 de septiembre y Sangay en la parroquia San Isidro, a este nodo se llega con 4 hilos de alimentación de los cuales 2 hilos están conectados para alimentar los splitter. Para este distrito han sido usados los puertos 1/1/0-1 de la OLT norte. En la ilustración 25-3 se muestra la ubicación del distrito San Isidro.



**Ilustración 25-3:** Ubicación Nodo Distrito San Isidro.

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.



En el Anexo H se puede observar el diseño de la red de distribución del distrito San Isidro. En la tabla 12-3 se puede observar el direccionamiento IP y las VLANs asignadas para el distrito San Isidro.

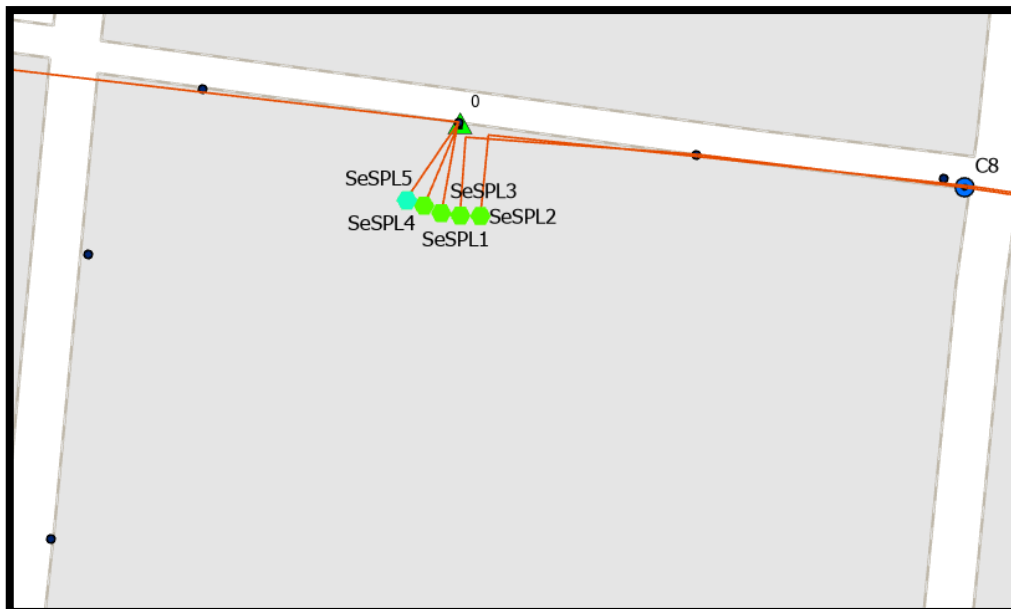
**Tabla 12-3:** Direccionamiento IP Distrito San Isidro.

Puerto OLT.	Familia de Red.	Gateway	Service VLAN.	Management VLAN.
1/1/0	10.201.0.0/23	10.201.0.1	300	1300
1/1/1	10.201.0.0/23	10.201.0.1	300	1300

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

### 3.6.2.7 Distrito Sevilla Don Bosco

El Distrito Sevilla está ubicado en la parroquia Sevilla Don Bosco junto al coliseo parroquial en las coordenadas 78,1021195°W 2,3168673°S, a este nodo llegan 10 hilos de alimentación de los cuales 5 están siendo usados para el splitteo. Los puertos usados para este distrito corresponden a la tarjeta 1 de la OLT centro y van desde el 0/1/7-11. En la ilustración 26-3 se observa la ubicación del nodo Sevilla Don Bosco.



**Ilustración 26-3:** Ubicación Nodo Distrito Sevilla.

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

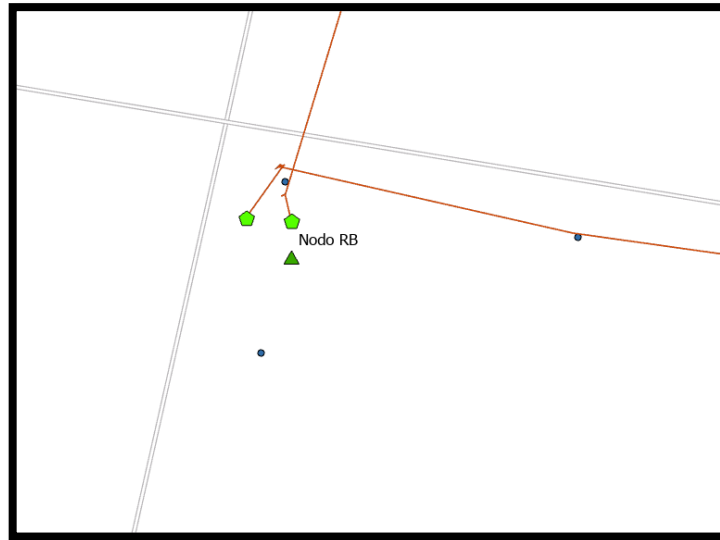
En el Anexo I se puede observar la red de distribución del Distrito Sevilla. En la tabla 13-3 se puede observar el direccionamiento IP y las VLANs asignadas a este distrito.

**Tabla 13-3:** Direccionamiento IP Distrito Sevilla.

Puerto OLT.	Familia de Red.	Gateway	Service VLAN.	Management VLAN.
0/1/7	10.200.10.0/23	10.200.10.1	205	1205
0/1/8	10.200.12.0/23	10.200.12.1	206	1206
0/1/9	10.200.12.0/23	10.200.12.1	206	1206
0/1/10	10.200.12.0/23	10.200.12.1	206	1206
0/1/11	10.200.12.0/23	10.200.12.1	206	1206

#### 3.6.2.8 Distrito Rio Blanco

Este Nodo se encuentra ubicado en la parroquia Rio Blanco en la vía antigua Macas - Sucúa, exactamente en las coordenadas 78,1548476°W 2,3475144°S. A este distrito llegan 5 hilos de alimentación de los cuales 2 han sido asignados a los splitters. Para este distrito se ha definido el uso de los puertos 0/1/12-13 que corresponden a la tarjeta 1 de la OLT centro. En la ilustración 27-3 se muestra la ubicación y splitteo del distrito Rio Blanco.



**Ilustración 27-3:** Ubicación Nodo Distrito Rio Blanco.  
Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

En el Anexo J se puede apreciar a detalle la red de distribución del distrito Rio Blanco. En la tabla 14-3 se puede observar el direccionamiento IP y las VLANs asignadas a este distrito.

**Tabla 14-3:** Direccionamiento IP Distrito Rio Blanco.

Puerto OLT.	Familia de Red.	Gateway	Service VLAN.	Management VLAN.
0/1/12	10.200.14.0/23	10.200.14.1	207	1207
0/1/13	10.200.14.0/23	10.200.14.1	207	1207

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

### 3.6.3 Red de Dispersión

La red de dispersión corresponde al trayecto que recorre la fibra óptica entre las NAPs y el cliente final. A este segmento de red se lo conoce también como la última milla. En la ilustración 28-3 se muestra un segmento de la red de dispersión correspondiente al usuario más lejano del distrito 4.



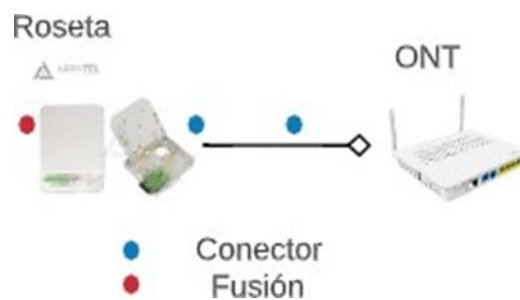
**Ilustración 28-3:** Red de Dispersión.

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

### 3.6.4 Red del Usuario

La red de dispersión llega hasta el usuario con una roseta óptica, en este punto es donde se mide la potencia recibida, y a partir de este punto empieza la red interna del usuario.

La red interna consta de un *patch cord* de fibra que va conectado a la roseta óptica a la cual llega la fibra, este *patch cord* va conectado a un receptor óptico que puede ser una ONT o ONU. Este receptor óptico hace como router y distribuye el servicio de internet a dispositivos que se pueden conectar por medio cableado o inalámbrico. La ilustración 29-3 muestra la red interna que se va a usar.

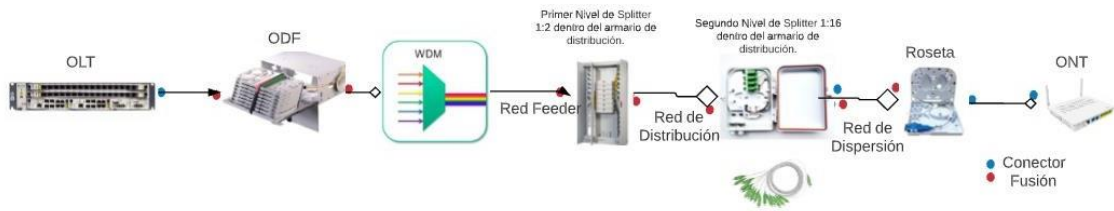


**Ilustración 29-3:** Red del Usuario.

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

## 3.7 Presupuesto Óptico

Para calcular el presupuesto óptico es necesario tener en cuenta la potencia que va a ser enviada por la OLT, así como todas las pérdidas que se tendrá en la red de distribución óptica (ODN) para ello se tomará en cuenta el siguiente esquema mostrado en la ilustración 30-3.



**Ilustración 30-3:** Esquema red de acceso.

**Realizado por:** Raigoza, Marco, 2022.

Entre las pérdidas a ser consideradas se toma en cuenta los conectores, splitters, fusiones y la distancia que recorre la fibra, así como el tipo de fibra que va a ser usada. Para el tipo de fibra a usar se toma en cuenta la Recomendación ITU-G 652 (nota 2), en donde se especifica las pérdidas de la fibra por unidad de distancia es de 0,4 dB/km, esto tomando en cuenta la longitud de onda a ser utilizada que es de 1490 nm. Otro punto para considerar es la atenuación total aceptada en el ODN que se especifica en la Recomendación ITU-G 984.7, en este caso se ha seleccionado una red C+ por lo cual la atenuación permitida está en un rango de 17-32 dB y se puede extender hasta 40 km de distancia.

### 3.7.1 Atenuación

La atenuación es la pérdida de la potencia de una señal a ser enviada a través de un medio guiado o no guiado. La atenuación generalmente se expresa en escala logarítmica (dB). Como se mencionó anteriormente la atenuación puede ser producto del uso de diferentes elementos pasivos como las fusiones, conectores, *splitters* o la distancia recorrida con por el cable de fibra óptica en donde se tiene atenuación causada por la dispersión de la onda luminosa.

#### 3.7.1.1 Pérdidas por conectores

Para estas pérdidas se toma en cuenta los conectores, *pigtail*, *patch cord* y adaptadores simples que se usan en la red de fibra, las pérdidas de inserción que aportan estos elementos se pueden observar en el *datasheet* de cada uno de estos como se puede observar en el ANEXO K. En nuestro caso los *patch cord* y *pigtail* presentan una pérdida de inserción de 0,17 dB cada uno y los adaptadores simples una pérdida de 0,05 dB cada uno. En donde se usó 1 *patch cord* 5 *pig tails* y 4 adaptadores simples, lo que da como resultado:

$$\alpha_c = (6 * 0,17) + (5 * 0,05)$$

$$\alpha_c = 1,27 \text{ dB}$$

Las pérdidas causadas por conectores son de 1,27 dB.

### 3.7.1.2 Pérdidas por fusiones o empalmes

Al manipular correctamente los equipos al momento de fusionar dos hilos de fibra óptica la pérdida de inserción de un empalme es prácticamente nula, pero en el rango aceptable de una fusión esta puede ser de hasta 0,05 dB en nuestro caso se ha considerado 6 fusiones que da como resultado:

$$\alpha_f = (6 * 0,05)$$

$$\alpha_f = 0,3 \text{ dB}$$

Los empalmes de fibra dan una pérdida de inserción de 0,3 dB.

### 3.7.1.3 Pérdidas de la fibra óptica

Al extender un cable de fibra óptica por una distancia significativa la señal enviada por este medio sufre cierta dispersión la cual causa una pérdida de inserción que depende del tipo de cable que se va a usar. En este caso de estudio se ha seleccionado el cable que se describe en la Rec. ITU-G 652 el cual presenta una pérdida de inserción de 0,4 dB/km. La atenuación que es causada por la distancia recorrida por la fibra va a ser diferente para cada uno de los usuarios por ello se ha considerado los usuarios más cercanos y lejanos de cada distrito para este caso de estudio.

- **Distrito 1**

**Tabla 15-3:** Atenuación por la fibra óptica distrito 1.

<b>Usuario</b>	<b>Red Feeder</b>	<b>Red de Distribución</b>	<b>Red de Dispersión</b>	<b>Distancia Total</b>
<b>Mas cercano</b>	0	45	23	68
<b>Mas Lejano</b>	0	2202	234	2436

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

- **Distrito 2**

**Tabla 16-3:** Atenuación por la fibra óptica distrito 2.

<b>Usuario</b>	<b>Red Feeder</b>	<b>Red de Distribución</b>	<b>Red de Dispersión</b>	<b>Distancia Total</b>
<b>Mas cercano</b>	772	10	25	807
<b>Mas Lejano</b>	772	1097	342	2211

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

- **Distrito 3**

**Tabla 17-3:** Atenuación por la fibra óptica distrito 3.

<b>Usuario</b>	<b>Red Feeder</b>	<b>Red de Distribución</b>	<b>Red de Dispersión</b>	<b>Distancia Total</b>
<b>Mas cercano</b>	3392	89	21	3502
<b>Mas Lejano</b>	3392	2045	231	5668

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

- **Distrito 4**

**Tabla 18-3:** Atenuación por la fibra óptica distrito 4.

<b>Usuario</b>	<b>Red Feeder</b>	<b>Red de Distribución</b>	<b>Red de Dispersión</b>	<b>Distancia Total</b>
<b>Mas cercano</b>	4720	223	45	4988
<b>Mas Lejano</b>	4720	645	312	5677

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

- **Distrito 5**

**Tabla 19-3:** Atenuación por la fibra óptica distrito 5.

<b>Usuario</b>	<b>Red Feeder</b>	<b>Red de Distribución</b>	<b>Red de Dispersión</b>	<b>Distancia Total</b>
----------------	-------------------	----------------------------	--------------------------	------------------------

<b>Mas cercano</b>	158	145	17	320
<b>Mas Lejano</b>	158	1775	456	2389

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

- **Distrito San Isidro**

**Tabla 20-3:** Atenuación por la fibra óptica distrito San Isidro.

<b>Usuario</b>	<b>Red Feeder</b>	<b>Red de Distribución</b>	<b>Red de Dispersión</b>	<b>Distancia Total</b>
<b>Mas cercano</b>	8187	5	15	8207
<b>Mas Lejano</b>	8187	2456	122	10765

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

- **Distrito Sevilla**

**Tabla 21-3:** Atenuación por la fibra óptica distrito Sevilla.

<b>Usuario</b>	<b>Red Feeder</b>	<b>Red de Distribución</b>	<b>Red de Dispersión</b>	<b>Distancia Total</b>
<b>Mas cercano</b>	2927	79	36	3042
<b>Mas Lejano</b>	2927	987	145	4059

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

- **Distrito Rio Blanco**

**Tabla 22-3:** Atenuación por la fibra óptica distrito Rio Blanco.

<b>Usuario</b>	<b>Red Feeder</b>	<b>Red de Distribución</b>	<b>Red de Dispersión</b>	<b>Distancia Total</b>
<b>Mas cercano</b>	7181	56	32	7269
<b>Mas Lejano</b>	7181	1234	208	8623

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.



#### 3.7.1.4 Atenuación de los Splitters

Las pérdidas que causan los splitters depende del nivel de splitteo, en este caso de estudio el primer nivel de splitteo tiene una relación 1:8 y de igual manera que para los conectores se obtiene la perdida de inserción en el datasheet del elemento que nos da una pérdida que varía de 9,9 a 10,15 dB dependiendo del color del hilo del splitter, para objeto de cálculos se ha tomado una pérdida de 10 dB. El segundo nivel de splitteo tiene una relación de 1:16 y las pérdidas de inserción son de 12,85 a 13,08 dB por lo tanto se usará el valor de 13 dB. Por lo tanto:

$$\alpha_{sp} = 10 + 13$$

$$\alpha_{sp} = 23 \text{ dB.}$$

Las pérdidas debido a los splitters son de 23 dB.

#### 3.7.1.5 Atenuación total

La atenuación es únicamente la sumatoria de todas las pérdidas que se han obtenido de los elementos de la ODN. Que quedaría como se observa en la siguiente ecuación 3-4.

$$\alpha_T = \alpha_c + \alpha_f + \alpha_{fo} + \alpha_{sp}$$

#### **Ecuación 3-4: Atenuación Total**

En la tabla 23-3 se observa la atenuación total en los clientes más cercanos y lejanos de cada distrito.

**Tabla 23-3:** Atenuación en la ODN por cada distrito.

Distrito	Usuario	Atenuación Total (dB)
Distrito 1	Mas cercano	24,60
	Mas Lejano	25,54
Distrito 2	Mas cercano	24,89
	Mas Lejano	25,45
Distrito 3	Mas cercano	25,97
	Mas Lejano	26,84
Distrito 4	Mas cercano	26,57
	Mas Lejano	26,84

Distrito 5	Mas cercano	24,70
	Mas Lejano	25,53
Distrito San Isidro	Mas cercano	27,85
	Mas Lejano	28,88
Distrito Sevilla	Mas cercano	25,79
	Mas Lejano	26,19
Distrito Rio Blanco	Mas cercano	27,48
	Mas Lejano	28,02

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

### 3.7.2 Balance de Potencias

Para comprobar la factibilidad del diseño de la red GPON se debe realizar el balance de potencias, en donde se obtiene el valor de potencia recibida por el cliente. De esta manera se comprueba si la red diseñada cumple con los parámetros técnicos establecidos en la Rec. ITU-G984. X. Para el balance de potencias se hace uso de la siguiente formula:

$$P_{RX} = P_{TX} - \alpha_T - MG$$

#### Ecuación 5-3: Balance de potencia

Donde:

- $P_{RX}$  = Potencia optica recibida por el usuario.
- $P_{TX}$  = Potencia enviada por la OLT.
- $\alpha_T$  = Atenuación total en la ODN.
- $MG$  = Margen de guarda.

En la recomendación ITU-G 984.2 se indica que la potencia máxima de transmisión admitida es de +7 dBm, y que la sensibilidad mínima de la ONU es de -30 dBm. También los estándares indican que se debe considerar un margen de seguridad de 3 dB sobre la potencia que se recibe.

En la tabla 24-3 se puede observar los valores de potencia de recibida por el usuario para cada distrito.

**Tabla 24-3:** Balance de potencias para cada distrito.

Distrito	Usuario	Potencia Recibida	Potencia con MG
----------	---------	-------------------	-----------------

Distrito 1	Mas cercano	-17,60	-20,60
	Mas Lejano	-18,54	-21,54
Distrito 2	Mas cercano	-17,89	-20,89
	Mas Lejano	-18,45	-21,45
Distrito 3	Mas cercano	-18,97	-21,97
	Mas Lejano	-19,84	-22,84
Distrito 4	Mas cercano	-19,57	-22,57
	Mas Lejano	-19,84	-22,84
Distrito 5	Mas cercano	-17,70	-20,70
	Mas Lejano	-18,53	-21,53
Distrito San Isidro	Mas cercano	-20,85	-23,85
	Mas Lejano	-21,88	-24,88
Distrito Sevilla	Mas cercano	-18,79	-21,79
	Mas Lejano	-19,19	-22,19
Distrito Rio Blanco	Mas cercano	-20,48	-23,48
	Mas Lejano	-21,02	-24,02

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

Como se puede visualizar en la tabla 24-3, las potencias recibidas por los usuarios están dentro del rango admitido dentro de la Rec. ITU-G 984.2 por lo cual se obtiene como resultado que se tiene un balance óptico para toda la red GPON que se ha diseñado.

### 3.8 Selección de equipos

Para la selección de equipos se debe tomar en cuenta que las características de estos se adapten a las necesidades de la red GPON que ha sido diseñada para el proveedor de servicios Rapidred.SA.

#### 3.8.1 OLT

Las OLTs seleccionadas para la implementación son de la marca Huawei con el modelo MA5608T que tiene las siguientes características mostradas en la tabla 25-3.

**Tabla 25-3:** Características OLT MA5608T.

Características	OLT HUAWEI MA5608T
GPON Board	Clase B+/C+
Método de Encapsulamiento	GEM

Capacidad de Agregación	1:128
Servicios	P2P con acceso óptico, Ethernet, ISDN, GPON,  POTS.
Velocidad de Blackplane	3.2 Tbits
Costo	Medio
GPON Ports	16*2=32
GE/10 GE Upstream ports	· MCUD: 8*GE (load-sharing mode)  · MCUD1: 4*GE+2*10GE/GE (load-sharing mode)
<i>Control board switching capacity</i>	128 Gbit/s (active/standby mode)  256 Gbit/s (load-sharing mode)

**Realizado por:** Raigoza, Marco, 2022.

Se seleccionó esta OLT debido a su capacidad de transmisión de datos de hasta 10GE, además que posee hasta 32 puertos, la OLT cumple con las especificaciones que se establecen en la Rec, ITU-G 984.2 en cuanto a potencia de salida. Además, el sistema HUAWEI permite tener actualizaciones periódicas sin pérdida de datos durante este proceso.

### 3.8.2 *ONT*

Para las ONT se seleccionó de la misma manera la marca HUAWEI específicamente el modelo EG8145V5 que posee las siguientes características mostradas en la tabla 26-3.

**Tabla 26-3:** Características Huawei EG8145V5

<b>Model</b>	<b>EchoLife EG8145V5</b>
Type	Routing
Dimensions (H x W x D)	30 mm x 155 mm x 105 mm (without external antenna and pads)
Operating Temperature	0°C to 40°C
Operating Humidity	5% RH to 95% RH (non-condensing)
Power Adapter Input	100V to 240V AC, 50 Hz/60 Hz
System Power Supply	11V to 14V DC, 2A
Network-side Ports	GPON
User-side Ports	1 POTS + 4 GE + Wi-Fi + USB
Indicators	POWER, PON, LOS, LAN1, LAN2, LAN3, LAN4, TEL, USB, WLAN, and WPS

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

Esta ONT al trabajar como Router y al tener conexión Wi-Fi evita el uso de equipos adicionales además del receptor óptico. Cuenta con puertos GE además de tecnología Wi-Fi 6 lo que hace que se adapte a las necesidades actuales en transmisión de datos.

### **3.8.3 Selección de los distribuidores de fibra óptica (ODF)**

Están ubicados en los nodos y sirve como punto de conexión entre las diferentes etapas de la red. Aquí van ubicados los splitters. Los ODFs seleccionados son de la marca Connection de 24 puertos con conectores SC/APC que es el mostrado en la ilustración 31-3.



**Ilustración 31-3: ODF Connection de 24 puertos.**

**Fuente:** Connection cabling systems, 2022

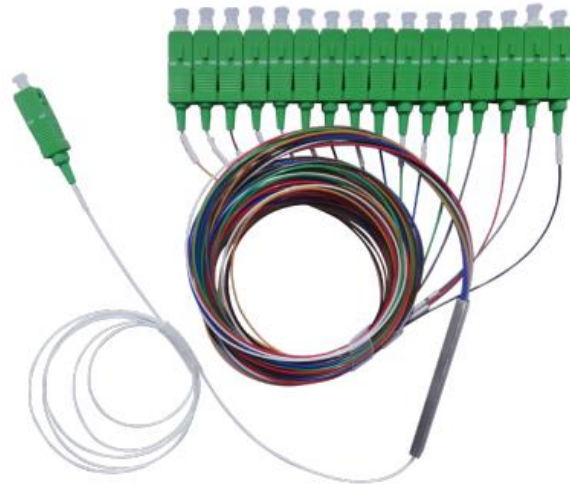
**Tabla 27-3:** Características ODF Connection.

<b>Parámetro</b>	<b>Especificación</b>
Capacidad de puertos	24
Bandeja removible	Si
Tipo de conector/pulido	SC/APC
Compatibilidad	Diferentes usos

**Realizado por:** Raigoza, Marco, 2022.

#### **3.8.4 Divisores (Power splitters)**

Para este proyecto se ha escogido un nivel de splitteo de 1:8 y de 1:16 considerando el ancho de banda promedio que contrataría un cliente. Por ello se ha seleccionado splitters de la marca Connection que presentan pérdidas de 10 y 13 dB respectivamente a continuación en la ilustración 32-3 se observa estos splitter.



**Ilustración 32-3:** *Splitter 1:16 connection.*  
**Fuente:** Connection cabling systems, 2022

### 3.8.5 Rack

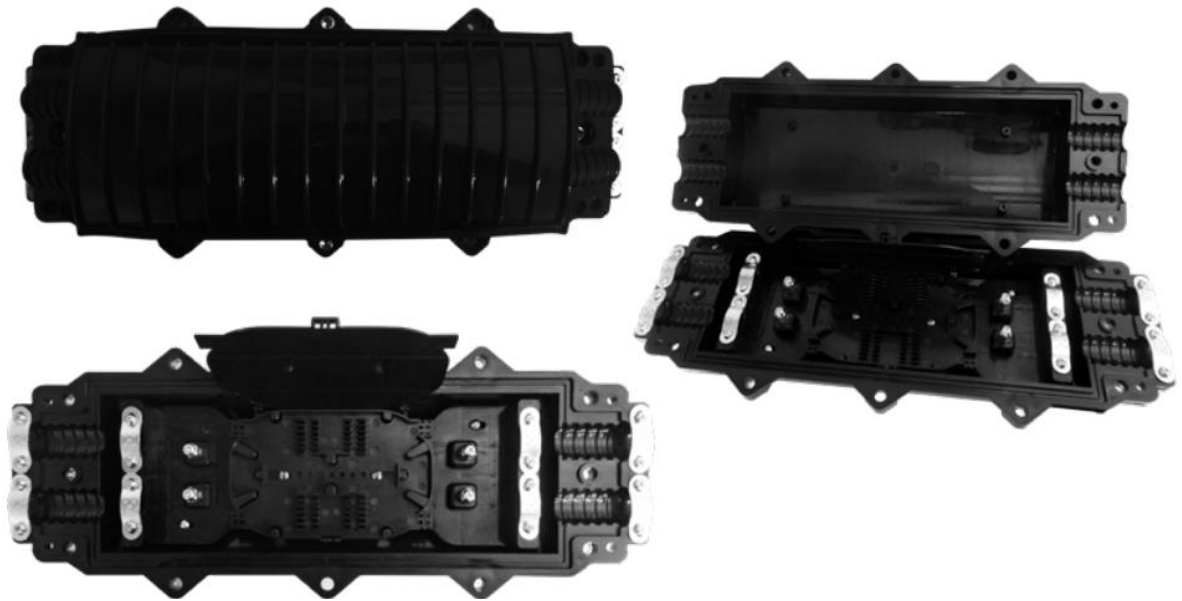
Sirven para organizar los equipos y ODFs además que los protege de las condiciones externas. Para esto se ha seleccionado un rack StarTech.com que tiene capacidad para 22 equipos rack como se observa en la ilustración 33-3.



**Ilustración 33-3:** Rack StarTech  
**Fuente:** Amazon,2022

### 3.8.6 *Mangas*

Es una especie de armario que puede ir colocada en los postes o conductos para unir cables de fibra o para enviar en varias direcciones la fibra de distribución. Se selecciono mangas Connection con capacidad de hasta 4 fibras y con 6 bandejas de hasta 24 fusiones cada una, en la ilustración 34-3 se muestra la manga seleccionada.



**Ilustración 34-3:** Manga Troncal Connection.

**Fuente:** Connection cabling systems, 2022

### 3.8.7 *Cajas de distribución o NAPs*

Son los puntos de acceso donde van conectados los clientes a través de la última milla de fibra. Para esto se seleccionó NAPs de la marca Connection con capacidad de 16 puertos y con disponibilidad para montaje con punta de fibra y para sangrado. En la ilustración 35-3 se observa la NAP seleccionada.





**Ilustración 35-3:** NAP *Connection* de 16 puertos.  
**Fuente:** Connection cabling systems, 2022

## CAPITULO IV

### 4. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se realizará la evaluación de resultados mediante la simulación de la red GPON diseñada en el capítulo anterior tomando los parámetros de diseño, de esta manera se establecerá la factibilidad de implementación de la red GPON para el proveedor de servicios Rapidred.SA.

#### 4.1 Simulación

Para realizar la simulación de la red óptica se usó el software OptiSystem 19 desarrollado por OptiWave, de esta manera se puede comprobar los valores obtenidos con cálculos teóricos obtenidos en el diseño de la red de acceso. Los valores obtenidos de los balances de potencia serán corroborados y además el software permite obtener gráficas correspondientes a la eficiencia de la red óptica como son el BER (bit error rate), factor de calidad (Q) y el diagrama del ojo. Con los resultados obtenidos de la simulación será posible hacer un análisis del funcionamiento de la red de acceso GPON diseñada para el proveedor de servicios Rapidred.sa.

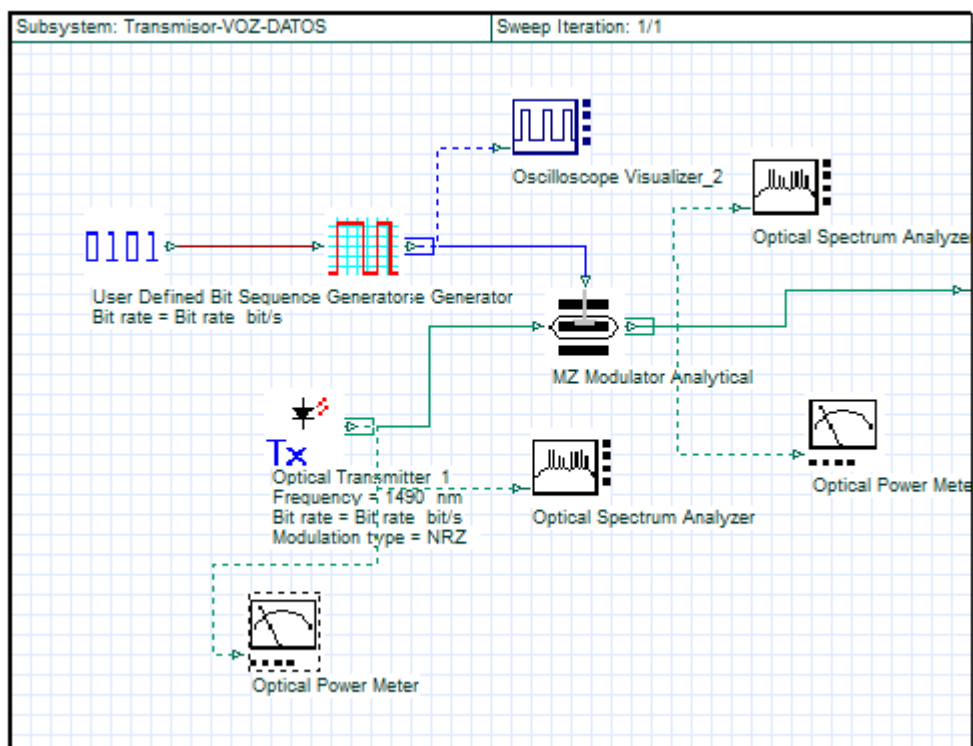
En el Anexo L se muestra el diseño de la red de acceso en el software seleccionado, donde se han colocado el transmisor y el receptor, así como todos los elementos pasivos que se encuentran en una red GPON.

##### 4.1.1 Simulación del Transmisor

La OLT es la encargada de la transmisión de la señal óptica y para su simulación se requiere de varios bloques que hacen que se genera dicha señal óptica. La señal generada es transmitida en la longitud de onda de 1490 nm que es la especificada para la transmisión de datos en una red GPON esto corresponde a la señal *downstream* que es la que llega de la OLT al cliente, por otro lado, los datos de subida o upstream son enviados con una longitud de onda de 1310 nm este tráfico es enviado desde la ONT hacia la OLT por medio de DWDM que se encarga de multiplexar todas las señales que se dirigen a la OLT. Este proceso fue simulado mediante un generador de secuencias de bit con codificación de línea NRZ y un transmisor óptico estas señales pasan a través de un modulador para obtener la señal que debe ser enviada por la red de acceso, este modulador es de tipo Mach Zehnder y se encarga de hacer un acoplamiento electroóptico en amplitud. Los elementos que contiene el transmisor son:

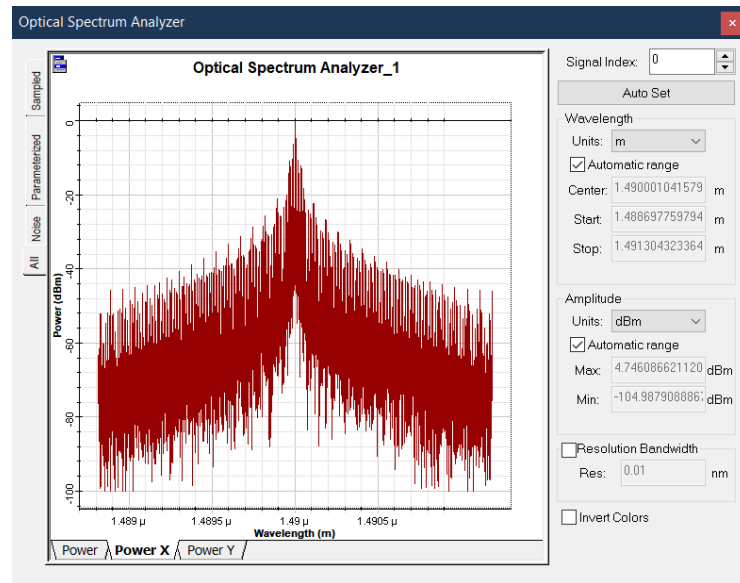
1. **Generador de secuencia de bits:** genera una secuencia de bits que simula la información que envía la OLT hacia el usuario.
2. **Codificador NRZ:** convierte la secuencia de bits que ha sido generada en un código de línea NRZ que está especificado en la Rec ITU-G 984.2 para su uso en redes GPON.
3. **CW Laser:** es el transmisor que genera la señal óptica que posteriormente será modulada con la secuencia de bits.
4. **Modulador Match-Zehnder:** convierte la secuencia de bits que es una señal eléctrica en una señal óptica en la longitud de que es necesaria en el caso de GPON 1490 nm.

En la ilustración 1-4 se puede observar la configuración necesaria para simular el funcionamiento de una OLT.



**Ilustración 1-4:** Bloques de simulación de la OLT.  
Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

Como resultado de esta simulación se obtiene una señal óptica que tiene su espectro con centro en la frecuencia de 1490 nm como se puede observar en la ilustración 2-4.

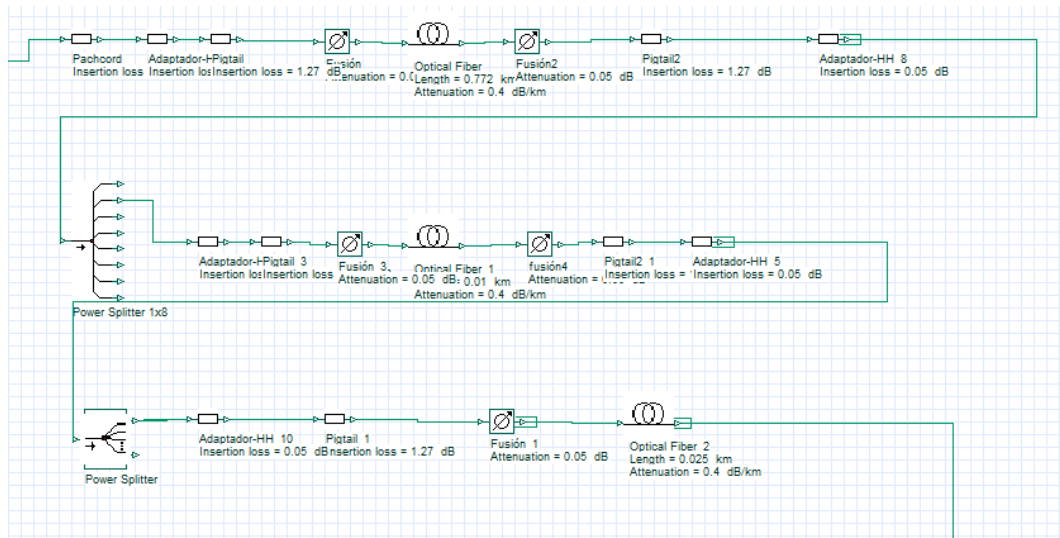


**Ilustración 2-4:** Espectro de la señal generada.  
**Realizado por:** Raigoza, Marco, 2022.

Con este proceso se habrá obtenido una señal lista para ser enviada por la red de acceso hasta el cliente con una potencia de 7 dBm como se especifica en el estándar GPON. En el caso del transmisor que contiene una ONT el circuito y funcionamiento es el mismo con la diferencia que la longitud de trabajo en upstream es de 1310 nm y la potencia máxima que envía una ONT es de 5dBm recorrida por la fibra óptica.

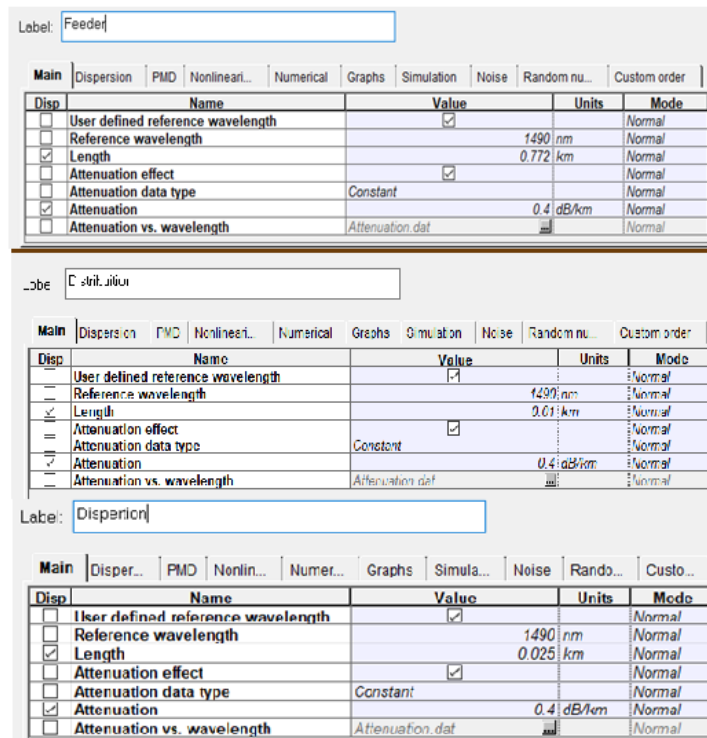
#### 4.1.2. Simulación de la red óptica de distribución (ODN)

La simulación de la red óptica corresponde a todos los elementos que hacen posible la llegada de la señal óptica desde la OLT hasta el usuario final y en sentido contrario desde la ONT hacia la OLT, en este segmento se incluye el recorrido de la fibra óptica en las diferentes partes de la red pasiva, así como los conectores, empalmes, *pigtails*, *patch cords* y *splitters*. En la simulación se configura todas las pérdidas que aportan a la potencia óptica todos estos elementos. En la ilustración 3-4 se muestra los elementos que se han colocado en la simulación de la ODN.



**Ilustración 3-4:** Simulación ODN  
**Realizado por:** Raigoza, Marco, 2022.

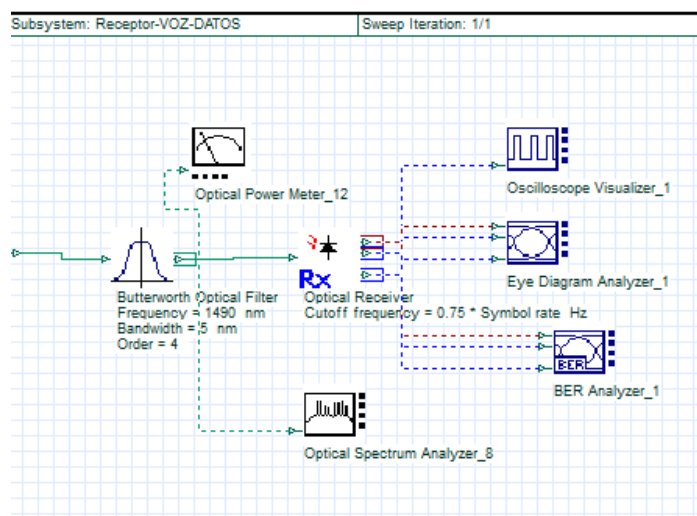
En la ilustración 3-4 se puede visualizar que se ubicaron los diferentes elementos, así como los *splitter* en los dos niveles de derivación el primero de 1:8 con una atenuación de 10 dB y la segunda derivación de 1:16 con pérdidas de inserción de 13 dB. En cuanto a las pérdidas que tiene la fibra se coloca la distancia que recorre la fibra en las redes de alimentación, distribución y dispersión, en este caso se mostrara la configuración realizada en los segmentos de fibra óptica para el cliente más cercano del distrito 2. En la ilustración 4-4 se puede observar la configuración de la distancia de la fibra óptica.



**Ilustración 4-4:** Configuración Fibra óptica.  
Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

#### 4.1.3. Simulación del receptor

El receptor es el que se encarga de tomar la señal óptica modulada y convertirla de vuelta en una señal eléctrica, para este proceso se usa dos componentes principales que son un filtro de Butterworth y un receptor óptico como se muestra en la ilustración 5-4.

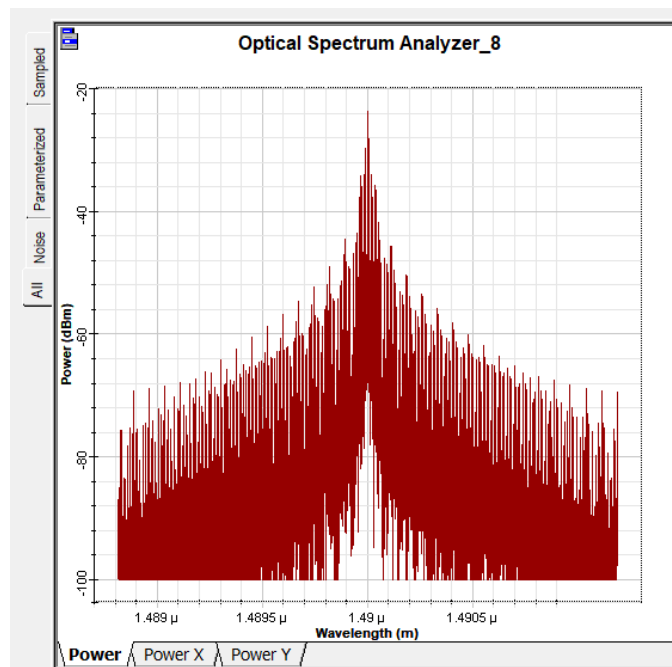


**Ilustración 5-4:** Subsistema de recepción.  
Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

**Filtro óptico Butterworth:** filtra la señal recibida eliminando los componentes de ruido provocada por los equipos pasivos, este posee la opción de configurar el orden del filtro, mientras mayor sea el orden, la señal se filtrará de mejor manera.

**Receptor óptico:** se encarga de recibir la señal óptica y procesarla para convertirla en señal eléctrica ya que contiene varios elementos como son el detector óptico, demodulador óptico y un filtro pasabajas que deja lista la señal para ser interpretada.

La señal que se recibe en el receptor será muy parecida a la enviada que se observa en la ilustración 2-4, esta tiene su espectro alrededor de la banda de 1490 nm en la ilustración 6-4 se muestra la señal recibida después de pasar por el filtro de Butterworth.



**Ilustración 6-4:** Espectro de la señal recibida.

Realizado por:: Raigoza, Marco, 2022.

Al igual que el transmisor de la OLT y ONT funcionan de la misma manera los receptores también funcionan igual, el receptor de la ONT tiene una sensibilidad de -30 dBm y recibe la señal en la banda de 1490 nm, mientras tanto el receptor de la OLT tiene una sensibilidad de -35 dBm y trabaja con una longitud de onda de 1310 nm.

## 4.2 Análisis de Resultados

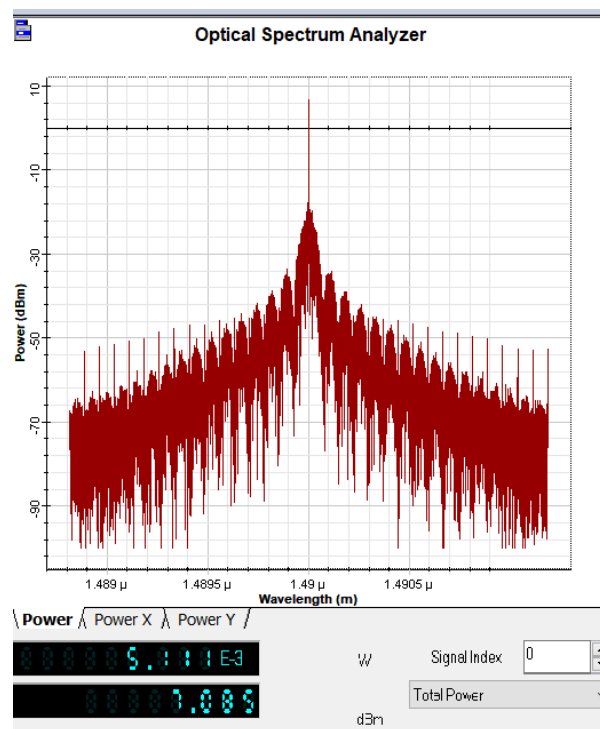
Una vez colocados todos los elementos en el software se debe simular los clientes más lejanos y cercanos de cada distrito o zona, se debe comprobar que el balance de potencia coincida o se

aproxime a los cálculos numéricos que fueron realizados además de esto se debe analizar las gráficas que indican la eficiencia y calidad en los enlaces de fibra óptica.

Para analizar las gráficas se han seleccionado el cliente más cercano del distrito 1 y al cliente más lejano del distrito San Isidro los cuales son los dos extremos de toda la red de acceso GPON. Además de esto se va a analizar las señales que salen del transmisor de fibra y la ONT.

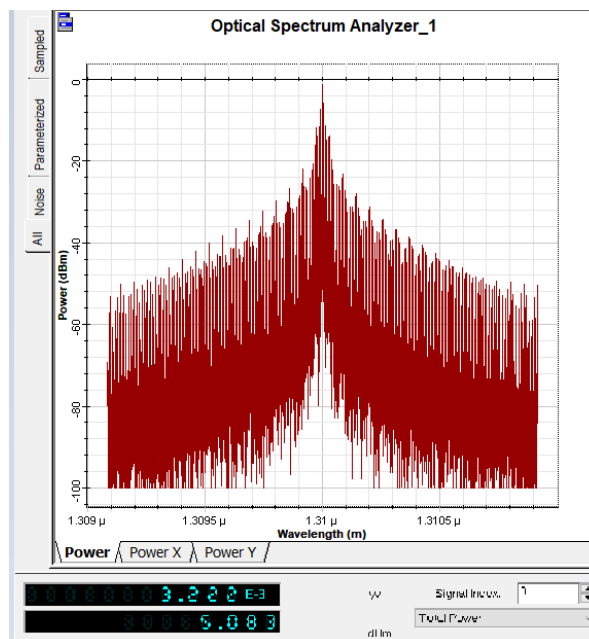
#### 4.2.1. Señal Transmitida

Como se mencionó anteriormente la señal transmitida debe tener una potencia máxima de +7dBm en una red GPON de clase C+ esto es para el tráfico upstream y una potencia de +5dBm para el tráfico downstream. En la ilustración 6-4 y 7-4 se muestra el espectro y la potencia generada para los dos casos.



**Ilustración 7-4:** Espectro y Potencia de la señal de la OLT.v  
Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.





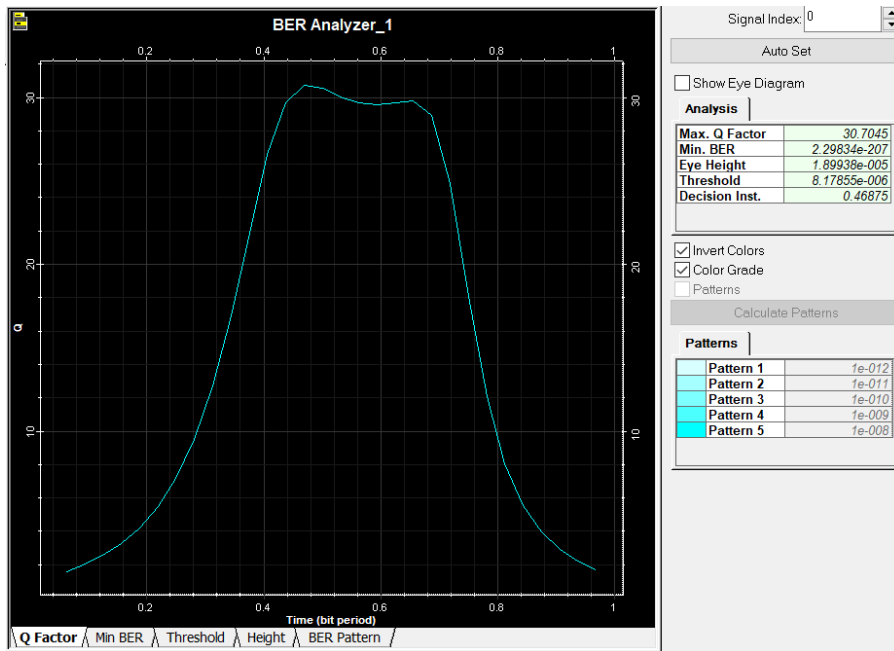
**Ilustración 8-4:** Espectro y Potencia señal de la ONT  
**Realizado por:** Raigoza, Marco, 2022.

#### 4.2.2. Señal recibida

En este punto se debe analizar varios parámetros ya que se toma en cuenta la señal después de pasar por toda la red GPON, para esto se toma en cuenta el BER, Factor de calidad y Diagrama del ojo que son parámetros que sirven para medir la calidad de una señal GPON esto está establecido en la REC ITU-G 984.2.

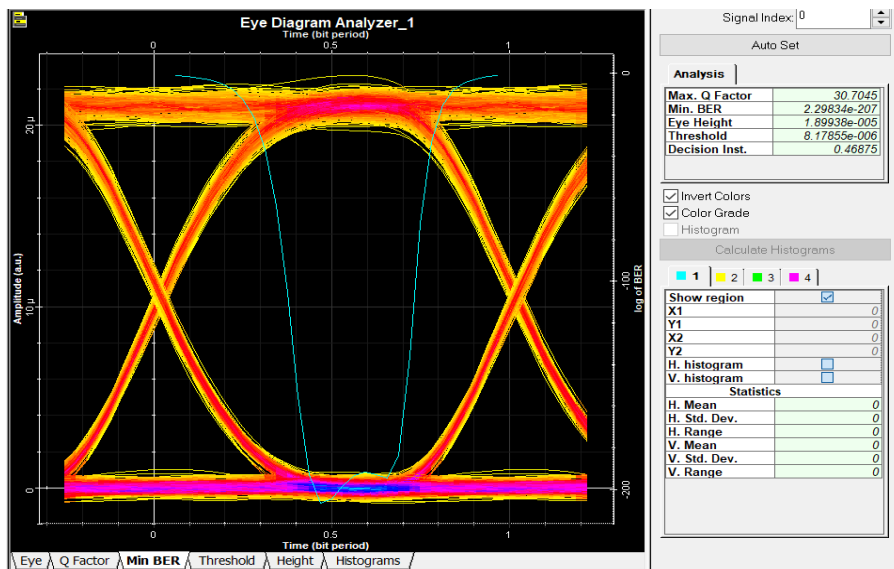
##### 4.2.2.1 Usuario más cercano

Como se mencionó anteriormente el usuario más cercano se encuentra en el distrito 1 que se encuentra conectado a la NAP D12 a 68 metros de la OLT Centro, en la ilustración 9-4 se pudo observar el BER y el Factor de los cuales se obtuvo valores de  $2,30 \text{ E}-207$  y 30,71 respectivamente, esto indica que la transmisión se está realizando de manera eficaz ya que cumple con los parámetros especificados en REC ITU-G 98.2. esto especifica que el BER debe ser menor o igual  $10^{-10}$ , y en nuestro caso tenemos el valor antes indicado, esto significa que por cada  $1\text{E}207$  bits se perderá 2,3 bits, en cuanto al valor del factor de calidad se indica que este debe ser mayor o igual a 6 por lo tanto también se cumple esta condición.



**Ilustración 9-4:** Grafico de BER para el cliente más cercano.  
**Realizado por::** Raigoza, Marco, 2022.

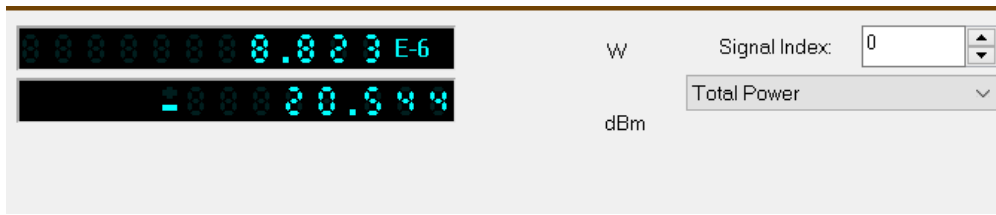
Otro parámetro que se debe tomar en cuenta para la calidad de una red de acceso GPON es el diagrama del Ojo como el mostrado en la ilustración 10-4, en esta se muestra una apertura vertical muy buena lo que indica que la interferencia y el ruido son muy bajos o inexistentes, además la apertura horizontal presenta una buena sincronización y un jitter muy bajo.



**Ilustración 10-4:** Diagrama del ojo del usuario más cercano.  
**Realizado por::** Raigoza, Marco, 2022.

La potencia recibida da un valor de 20,54 dBm como se muestra en la ilustración 11-4, esto supera de la sensibilidad mínima de la ONT que es de -30 dBm, lo cual indica que se tiene un enlace que

está funcionando correctamente.

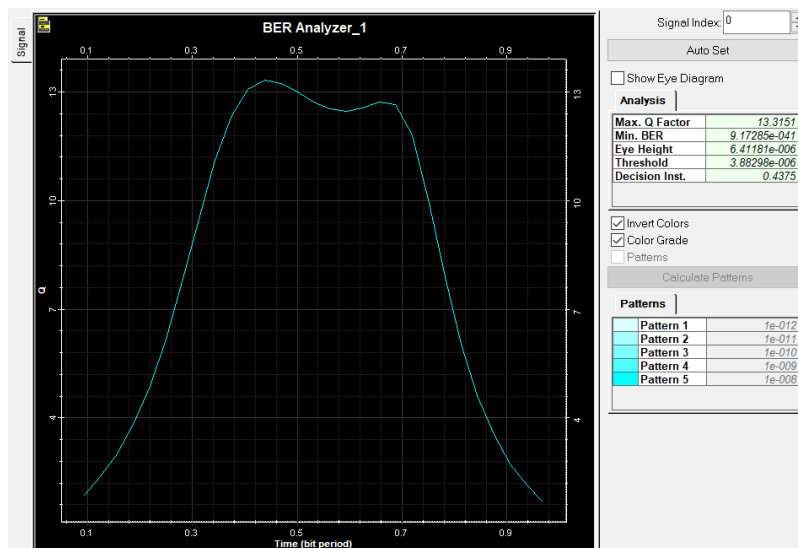


**Ilustración 11-4:** Potencia usuario más cercano.

Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

#### 4.2.2.2 Usuario más lejano

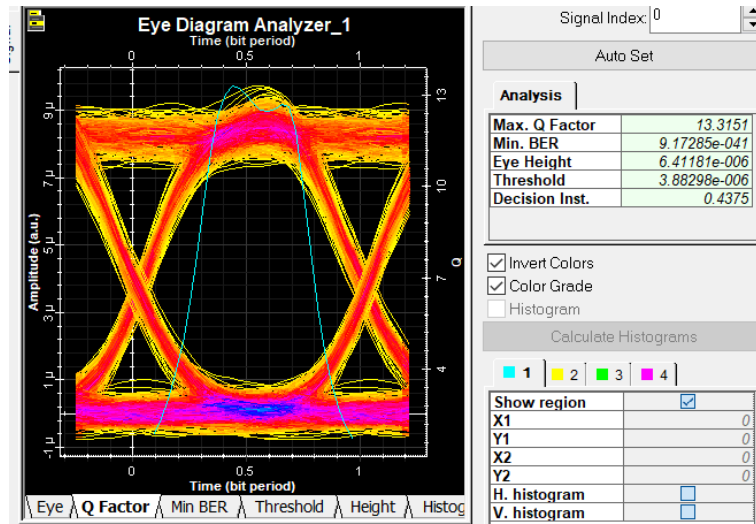
El usuario más lejano de la red de acceso está ubicado en la caja SI01 en el distrito San Isidro a 10765 metros de la OLT Norte, el valor del BER para este usuario es de  $9,17 \text{ E-}41$  lo que significa que por cada  $10^{41}$  bit enviados se pierde 9,17 bits por lo cual cumple con la condición de ser menor que  $10\text{E-}10$ . El factor de calidad obtenido es de 13,31 entonces se tiene un enlace eficiente al ser mayor que 6. En la ilustración 12-4 se puede observar el gráfico del BER.



**Ilustración 12-4:** BER cliente más lejano.

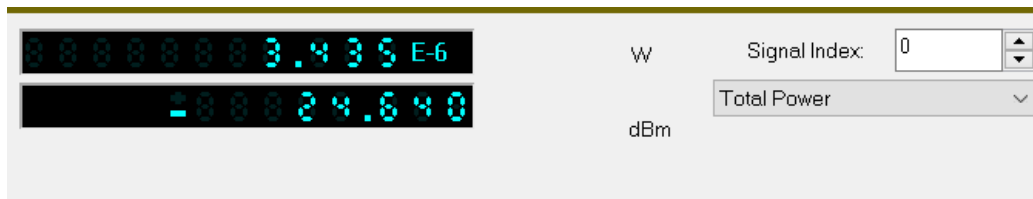
Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

El diagrama del ojo presenta una apertura vertical de  $6,41\text{E-}6$  que indica una interferencia nula y un jitter muy bajo. En la ilustración 13-4 se observa el diagrama del ojo.



**Ilustración 13-4:** Diagrama del ojo usuario más lejano  
 Realizado por:: Raigoza, Marco, 2022.

La potencia recibida da un valor de -24,64 dBm como se muestra en la ilustración 14-4, esto está dentro del rango que corresponde a la sensibilidad de la ONT que es de -8 a -30 dBm, lo cual indica que se tiene un enlace que está funcionando correctamente.

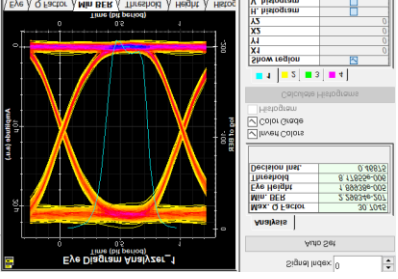
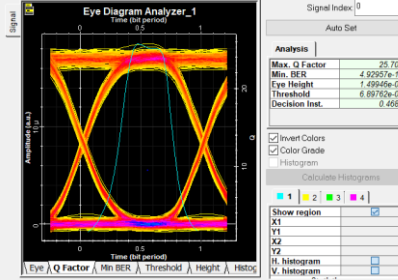
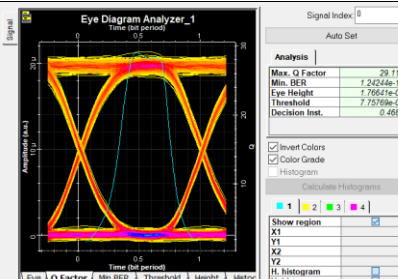
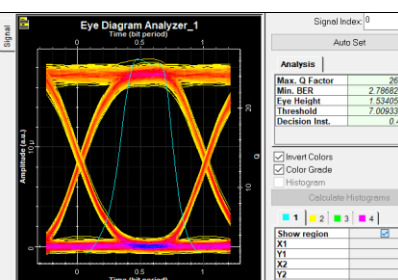
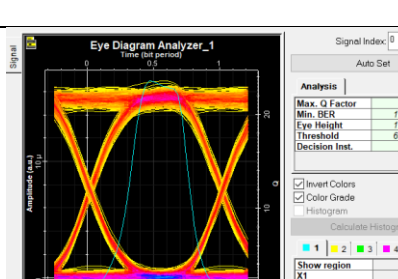


**Ilustración 14-4:** Potencia usuario más lejano.  
 Realizado por: Raigoza, Marco, 2022.

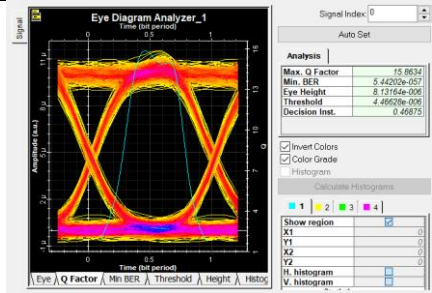
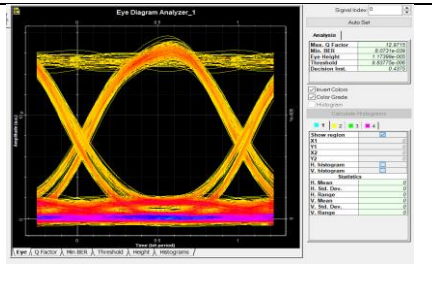
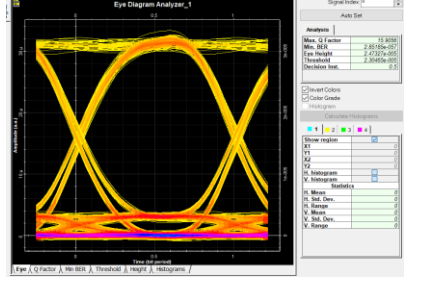
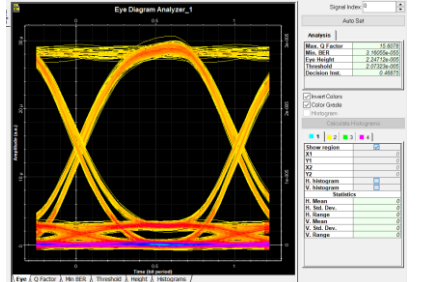
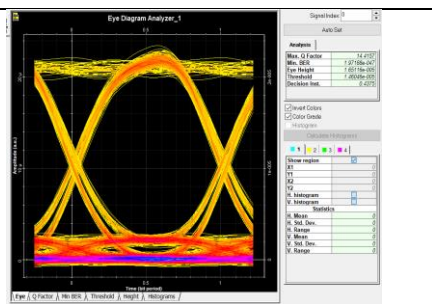
A continuación, se muestra una tabla 1-4 con los datos de potencia, BER, factor de calidad y diagrama del ojo que corresponden a cada uno de los distritos.

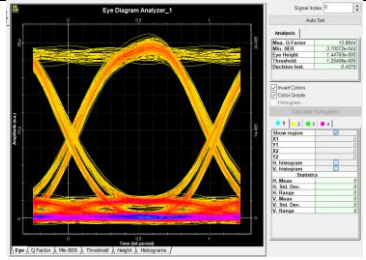
**Tabla 1-4:** Datos de potencia, BER, Factor de calidad y diagrama del ojo en cada distrito

Distrito	Usuario	Potencia	Factor de Calidad	BER	DIAGRAMA DEL OJO

Distrito 1	Mas cercano	-20,54 dB	30,71	8,3E-207	
	Mas Lejano	-21.491 dB	25,7042	4,93E-146	
Distrito 2	Mas cercano	-20,836 dB	29,1102	1,24E-186	
	Mas Lejano	-21.401 dB	26,1693	2,79E-151	
Distrito 3	Mas cercano	-21.918 dB	23,6106	1,42E-123	

	Mas Lejano	-22,783 dB	19,661	2,22E-86	
Distrito 4	Mas cercano	-22,512 dB	20,853	6,8E-97	
	Mas Lejano	-22,788 dBm	19,6465	2,95E-86	
Distrito 5	Mas cercano	-20,648 dB	30,15	5,15E-200	
	Mas Lejano	-21,472 dB	25,8031	3,84E-147	

Distrito San Isidro	Mas cercano	-23,8 dB	15,8634	5,44E-57	
	Mas Lejano	-24,64 dB	13,3151	-41 9,17E	
Distrito Sevilla	Mas cercano	-21,702 dB	15,9056	2,85185E-57	
	Mas Lejano	-22,108 dB	15,6078	3,16055E-55	
Distrito Rio Blanco	Mas cercano	-23,395 dB	14,4157	1,97188E-47	

	Mas Lejano	-23,936 dB	13,844	3,4057E-44	
--	------------	------------	--------	------------	---

**Realizado por:** Raigoza, Marco, 2022.

Al simular los usuarios más lejanos y cercanos se puede evidenciar que toda la red diseñada funciona correctamente según los estándares técnicos y los requerimientos del proveedor de servicios Rapidred.SA. Por ello el proyecto técnico está listo para su implementación.



## CONCLUSIONES

- De acuerdo con las encuestas realizadas a los clientes activos del proveedor de servicios Rapidred.SA se obtuvo un interés del 100% en migrar su servicio a tecnología de fibra óptica haciendo que la implementación de una red GPON para brindar el servicio de internet sea factible.
- La red GPON, operando a 2.5 Gbps de bajada y 1.25 Gbps de subida, brinda grandes ventajas como alta disponibilidad de servicios de telecomunicaciones como Internet de alta velocidad, televisión digital, IPTV, etc., permitiendo a los usuarios proyectar un acceso flexible, viable, escalable y de calidad. redes
- Para el diseño de la red de acceso uno de los aspectos más importantes es la selección de los niveles de splitter y la atenuación total de los cables de fibra óptica que conforman las diferentes redes (feeder, distribución y dispersión), los cuales tienen un efecto importante al calcular el presupuesto óptico de la red, siendo precisamente los splitters los elementos que mayor atenuación poseen, de los cuales va a depender el ancho de banda con el que va a contar la red, para poder cumplir la demanda de los servicios de internet se colocó una derivación de 1:128 lo que permite ofrecer anchos de banda de hasta 80 Mbps con una compartición de 1:4.
- Se obtuvo el presupuesto óptico tomando en cuenta el esquema general de la red que se ha diseñado tomando en cuenta todos los elementos pasivos y las potencias que establece la Rec. ITU-G 9.84.X además se considera un margen de guarda de 3dB que sirve para asegurar la potencia en situaciones imprevistas que comprometan la misma, con esto se obtuvo como resultado una potencia de -24,88 dBm que es superior a la sensibilidad mínima que es de -30 dBm lo que indica que la red funciona de manera eficiente.
- Para comprobar los resultados se utilizó el software OptiSystem 19.0 en su versión gratuita, con una referenciación geográfica a través del software ArcGIS Pro, obteniendo en el usuario más lejano -24.64 dBm, existiendo una diferencia de 0.44 dBm, corroborando con lo obtenido de manera teórica. En los parámetros adicionales que determinan la calidad del servicio se obtuvo un mejor factor de calidad de 13,31 mientras que la probabilidad de que exista un error en la transferencia de bits se encuentra en el rango de  $9,17 \times 10^{-41}$ , por lo que se obtuvieron resultados favorables referente a lo definido por el estándar, obteniendo enlaces de calidad, ya

que tanto los valores obtenidos en el factor de calidad como en el BER son casi tres veces el valor dispuesto por la recomendación vigente.

## RECOMENDACIONES

- Es importante tener el conocimiento suficiente de cada tema, revisar los estándares más actualizados que se encuentren en la página oficial de la ITU referentes a la familia G.984.x, ya que el uso de versiones obsoletas puede afectar al diseño de una red óptima, de tal forma que estos no causen cambios significativos o retrasos en el proyecto.
- Se debe tomar en cuenta la escalabilidad de la red de acceso ya que la fibra óptica tiene la ventaja de ser muy flexible al momento de expandirse, siendo posible el uso de derivaciones por medio de mangas troncales o el uso de un hilo de fibra óptica para alimentar una nueva olt.
- Para las encuestas las preguntas deben ser resumidas, estratégicas y de fácil comprensión para cualquier tipo de cliente, ya que estas serán de vital importancia para determinar la viabilidad del proyecto, su demanda y la proyección de la meta a llegar con la finalidad de que se garantice las decisiones tomadas en el proyecto.
- Se debe consultar a los datasheets de los componentes y equipos a usar en la red para obtener lo datos técnicos que afectan a la red.
- En caso de querer ofrecer un mayor ancho de banda se recomienda usar splitter de menor relación ya que así el ancho de banda recibido por cada cliente será mayor.
- Hay que tomar en cuenta el colocar los elementos correctos en la simulación ya que al colocar componentes diferentes a los necesarios envíe resultados erróneos.
- Dado que el software de simulación cuenta con un periodo gratuito de 30 días se recomienda descargarlo cuando se tenga los datos listos para la simulación.

## **BIBLIOGRAFIA.**

**ABDELLAOUI, Z., DIEUDONNE, Y. y ALEYA, A.,** 2021. *Design, implementation and evaluation of a Fiber To The Home (FTTH) access network based on a Giga Passive Optical Network GPON*. *Array* [en línea], vol. 10, no. March, pp. 100058. ISSN 25900056. DOI 10.1016/j.array.2021.100058. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.array.2021.100058>.

**C2G,** 2021. *Fiber Optic & Networking Connector Guides*. [en línea], Disponible en: <https://www.cablestogo.com/learning/connector-guides/fiber-networking>.

**CEVALLOS ROJAS, R.A. y MONTALVO ESPINOSA, R.R.,** 2010. *Estudio Y Diseño De Una Red De Última Milla, Utilizando La Tecnología G-Pon, Para El Sector Del Nuevo Aeropuerto De Quito*. *Estudio Y Diseño De Una Red De Última Milla, Utilizando La Tecnología G-Pon, Para El Sector Del Nuevo Aeropuerto De Quito* [en línea], no. December, pp. 225. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/45204646\\_Estudio\\_y\\_diseno\\_de\\_una\\_red\\_de\\_ultima\\_milla\\_utilizando\\_la\\_tecnologia\\_G-PON\\_para\\_el\\_sector\\_del\\_nuevo\\_aeropuerto\\_de\\_Quito/download](https://www.researchgate.net/publication/45204646_Estudio_y_diseno_de_una_red_de_ultima_milla_utilizando_la_tecnologia_G-PON_para_el_sector_del_nuevo_aeropuerto_de_Quito/download).

**CISCO NETWORKING ACADEMY,** 2003. *WDM Network Design*. [en línea], Disponible en: <https://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=30886&seqNum=4>.

**DR. ISMAIL, T.,** 2014. *Optical Communication System and Amplifier Design Software*. [en línea], no. March. Disponible en: [https://scholar.cu.edu.eg/?q=hmostafa/files/optisystem\\_d1.pdf](https://scholar.cu.edu.eg/?q=hmostafa/files/optisystem_d1.pdf).

**ESRI,** 2020. *Architecting the ArcGIS Platform: Best Practices*. *Esri White Paper* [en línea], no. September, pp. 27. Disponible en: <https://www.esri.com/~media/Files/Pdfs/products/arcgis-platform/architecting-the-arcgis-platform>.

**FOC,** 2019. *Fiber Optic Cable Splicing Explained*. [en línea], Disponible en: <https://focenter.com/fiber-optic-cable-splicing-explained/>.

**FOSCO,** 2022. *WHAT IS BER (BIT ERROR RATIO) AND BERT (BIT ERROR RATIO*

TESTER)?. [en línea], Disponible en: <https://www.fiberoptics4sale.com/blogs/archive-posts/95047174-what-is-ber-bit-error-ratio-and-bert-bit-error-ratio-tester>.

**FRENZELJR, L.E.**, 2010. *Optical performance monitoring in optical long-haul transmission systems. Optical Performance Monitoring* [en línea], Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/eye-diagram>.

**GOLDMAN, L.**, 2021. *What's Fiber to the Home? To the Curb? To the Node?* [en línea], Disponible en: <https://blog.frontier.com/2021/10/whats-fiber-to-the-home-to-the-curb-to-the-node/>.

**ILBAY, H.T.**, 2016. *Diseño de una red de accesos GPON en la ESPOCH para proveer servicios Triple-Play (voz, video y datos). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo* [en línea], vol. 5, pp. 146. ISSN 1440-1738. DOI 10.1111/j.1440-1738.1994.tb00129.x. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6429>.

**ITU-T, G.984.1.** *Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics.* [en línea]. SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS Digital sections and digital line system – Optical line systems for local and access networks. 2012. [consulta: 03 junio 2021]. (Amendment 1 y 2) Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1/es>

**ITU-T, G.984.2.** *Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Physical media dependent (PMD) layer specification.* [en línea]. SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS Digital sections and digital line system – Optical line systems for local and access networks. 2019. [consulta: 03 junio 2021]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2-200602-S!Amd1/es>

**ITU-T G.984.3.** *Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa de convergencia de transmisión* [en línea]. SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS Digital sections and digital line system – Optical line systems for local and access networks. 2014. [consulta: 03 junio 2021]. Disponible en <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.3/es>

**ITU-T G.984.4.** *Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la interfaz de control y gestión de la terminación de red óptica.* [en línea]. SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS Digital sections and digital

line system – Optical line systems for local and access networks. 2004, 2008 [consulta: junio de 2021]. Disponible en: <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=7345&lang=es>

**ITU-T G.984.5.** *Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Banda de ampliación.* . [en línea]. SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS Digital sections and digital line system – Optical line systems for local and access networks. ,2014. [consulta: 04 junio 2021]. Disponible en: <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=9185&lang=es>

**ITU-TG.984.6.** *Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Características generales* [en línea]. SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS Digital sections and digital line system – Optical line systems for local and access networks. 2008. [consulta: junio de 2021]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.6/es>

**JENS, 2020.** *WHAT KIND OF FIBER POLISH BE USED (PC, UPC OR APC).* [en línea], Disponible en: <http://www.fiber-blog.de/en/270-what-kind-of-fiber-polish-be-used-pc-upc-or-apc.html>.

**LUTKEVICH, B., 2020.** *fiber to the home (FTTH).* [en línea], Disponible en: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/fiber-to-the-home>.

**M.AL-QUZWINI, M., 2014.** *Design and Implementation of a Fiber to the Home FTTH Access Network based on GPON. International Journal of Computer Applications* [en línea], vol. 92, no. 6, pp. 30-42. DOI 10.5120/16015-5050. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/263025546\\_Design\\_and\\_implementation\\_of\\_a\\_Fiber\\_to\\_the\\_Home\\_FTTH\\_access\\_network\\_based\\_on\\_GPON/download](https://www.researchgate.net/publication/263025546_Design_and_implementation_of_a_Fiber_to_the_Home_FTTH_access_network_based_on_GPON/download).

**MORALES CABELLO, E., 2018.** *Guía y Material de apoyo para redes de fibra óptica. INSTITUTO PROFESIONAL DUOC-UC* [en línea], Disponible en: <https://1library.co/document/q7o8exky-instructivos-de-fibra-optica.html>.

**OPTICO, 2019.** *FTTB, Fiber to The Building.* [en línea], Disponible en: <https://www.fiber opticom.com/info/fttb-fiber-to-the-building-34055384.html>.

**ROSE, F., JACOB, S. y RENJITH, R.,** 2017. *Design and Implementation of FttH Network Based on Gpon Kein H Index Technology.* [en línea], vol. 4, no. 11. Disponible en: <http://www.ijiser.com/paper/2017/vol4issue11/Nov2017p101.pdf>.

**SATTELITE FIBER,** 2016. *Fibre Optic Splitters.* [en línea], Disponible en: <https://www.satellitebyfibre.co.uk/contents/en-uk/d111.html>.

**TERCEIRO, F.,** 2021. *Differences Between Fiber Pigtailes and Fiber Patch Cords.* [en línea], Disponible en: <https://blog.twoosk.com/telecommunications-equipment/differences-between-fiber-pigtailes-and-fiber-patch-cords/>.

**VELASCO RIVERA, B.L.,** 2018. *Diseño y Simulación de una red GPON para ofrecer el servicio Triple Play en el sector de San Antonio de Ibarra para la Cnt-EP. Escuela Politécnica Nacional* [en línea], Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/2040>.

**VIKRA,** 2012. *DATA ENCODING TECHNIQUES.* ,

**VILLACRÉS VALVERDE, J. y MURIEL BONILLA, A.G.,** 2016. *Estudio Y Diseño De Unaredde Planta Externa De Fibra Óptica Gpon Para Proveer Servicios De Voz, Video Y Datos Aplicado a La Ciudad De Alausípara La Cnt Empresa Pública Riobamba.* [en línea], pp. 1-97. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5462>.

**VITOILS, A.,** 2022. *OSNR meaning and calculation.* [en línea], Disponible en: [https://edgeoptic.com/kb\\_article/osnr-meaning-and-calculation/#:~:text=Optical signal-to-noise ratio,power within a valid bandwidth.](https://edgeoptic.com/kb_article/osnr-meaning-and-calculation/#:~:text=Optical signal-to-noise ratio,power within a valid bandwidth.)

## ANEXOS

**Anexo A:** ENCUESTA DE APLICABILIDAD DE SERVICIOS A CLIENTES DE LA EMPRESA RAPIDRED.SA

### ENCUESTA DIRIGIDA A LOS CLIENTES DEL SERVICIO DE INTERNET DE RAPIDRED.SA.

**Objetivo del instrumento:** Evaluar la calidad del servicio prestado por la red de internet de radio enlaces.

**INSTRUCCIONES:** Marque con una X la opción deseada.

1. ¿Cómo califica usted el servicio de internet que recibe actualmente?

Deficiente  Regular  Bueno  Muy Bueno  Excelente

2. ¿Cuál considera que es el mayor problema en su servicio de internet?

Velocidad  Disponibilidad  Cobertura  Ninguno

3. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por internet por fibra óptica?

15-20 USD  20-25 USD  25-30  30 o más USD

4. ¿Qué uso da al servicio de internet?

Redes Sociales  Videojuegos  Educación  Trabajo   
Otros  \_\_\_\_\_

5. ¿Qué ancho de banda le gustaría contratar para su plan de internet?

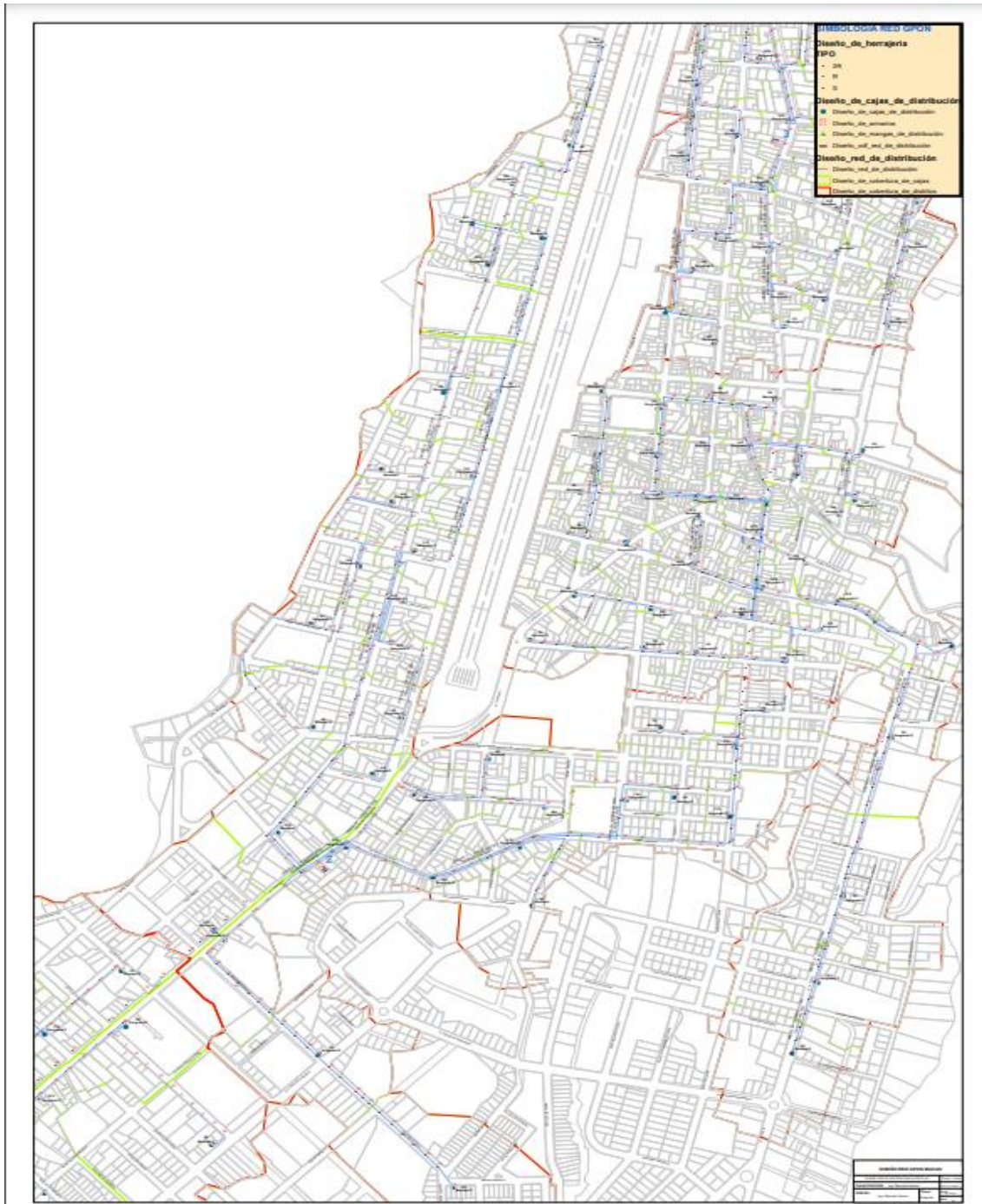
15-25 Mbps  25-40 Mbps  Mas de 50 Mbps  Mas de 100 Mbps



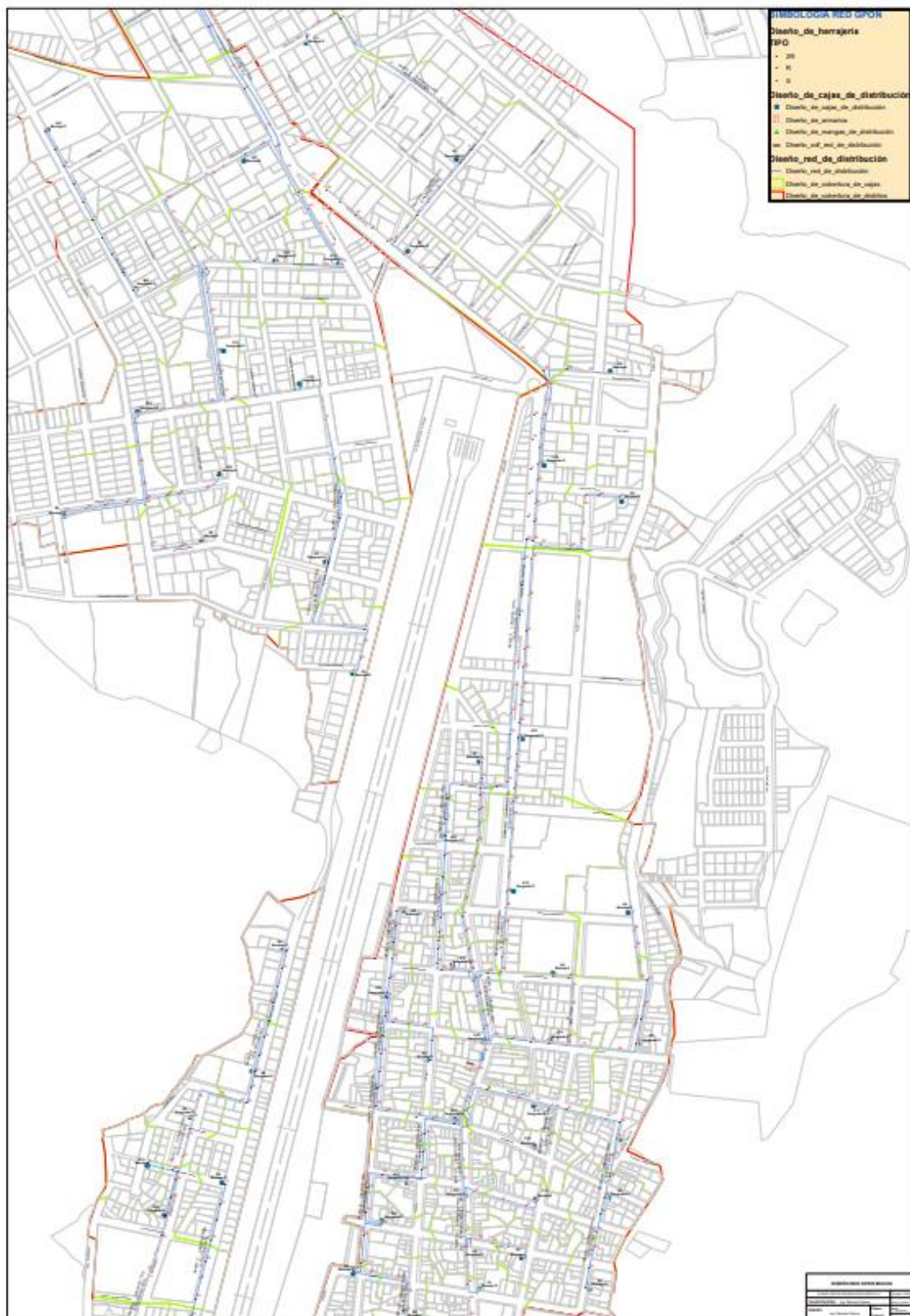
## Anexo B: RED DE DISTRIBUCIÓN DEL DISTRITO 1



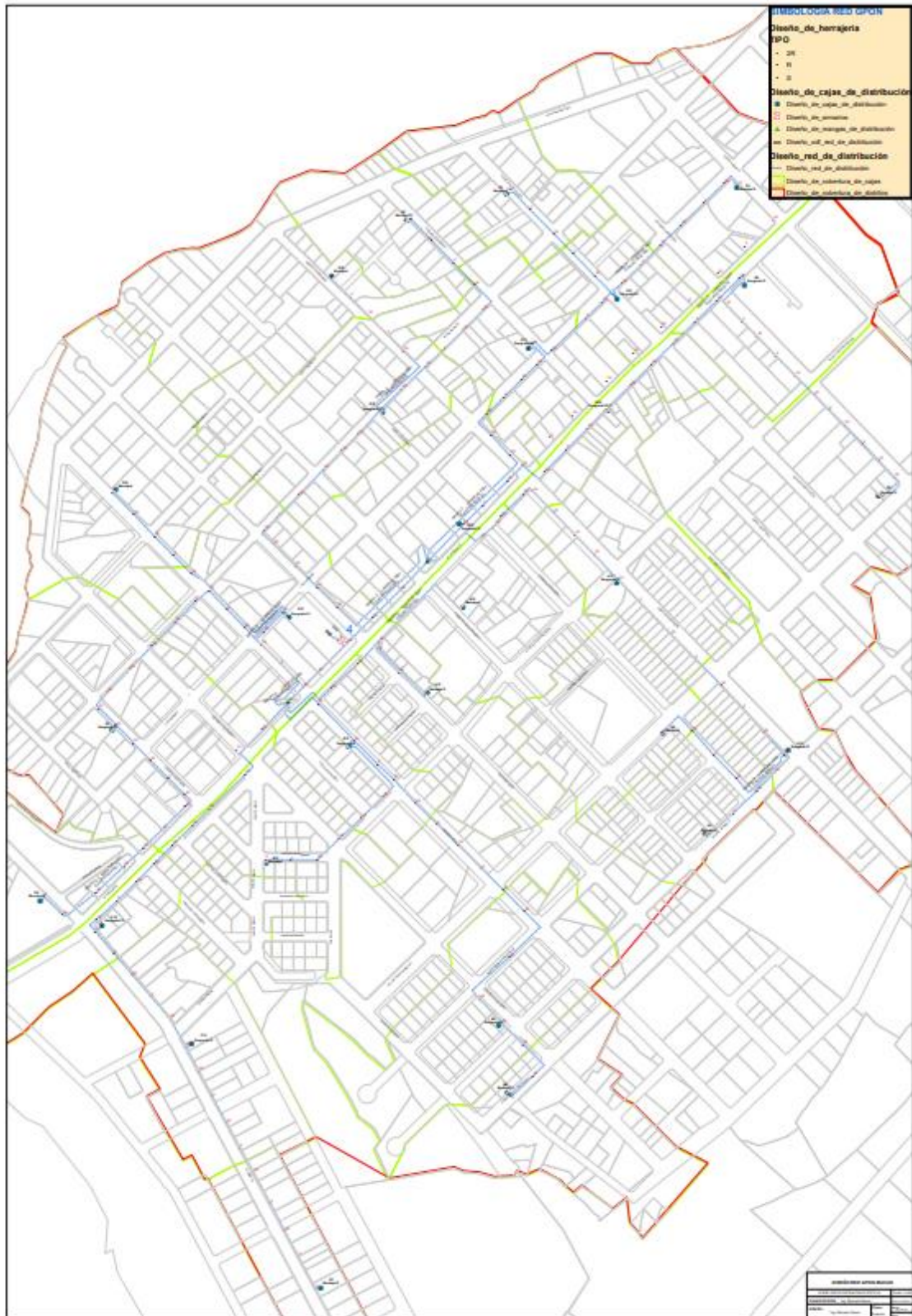
## Anexo C: RED DE DISTRIBUCIÓN DEL DISTRITO 2.



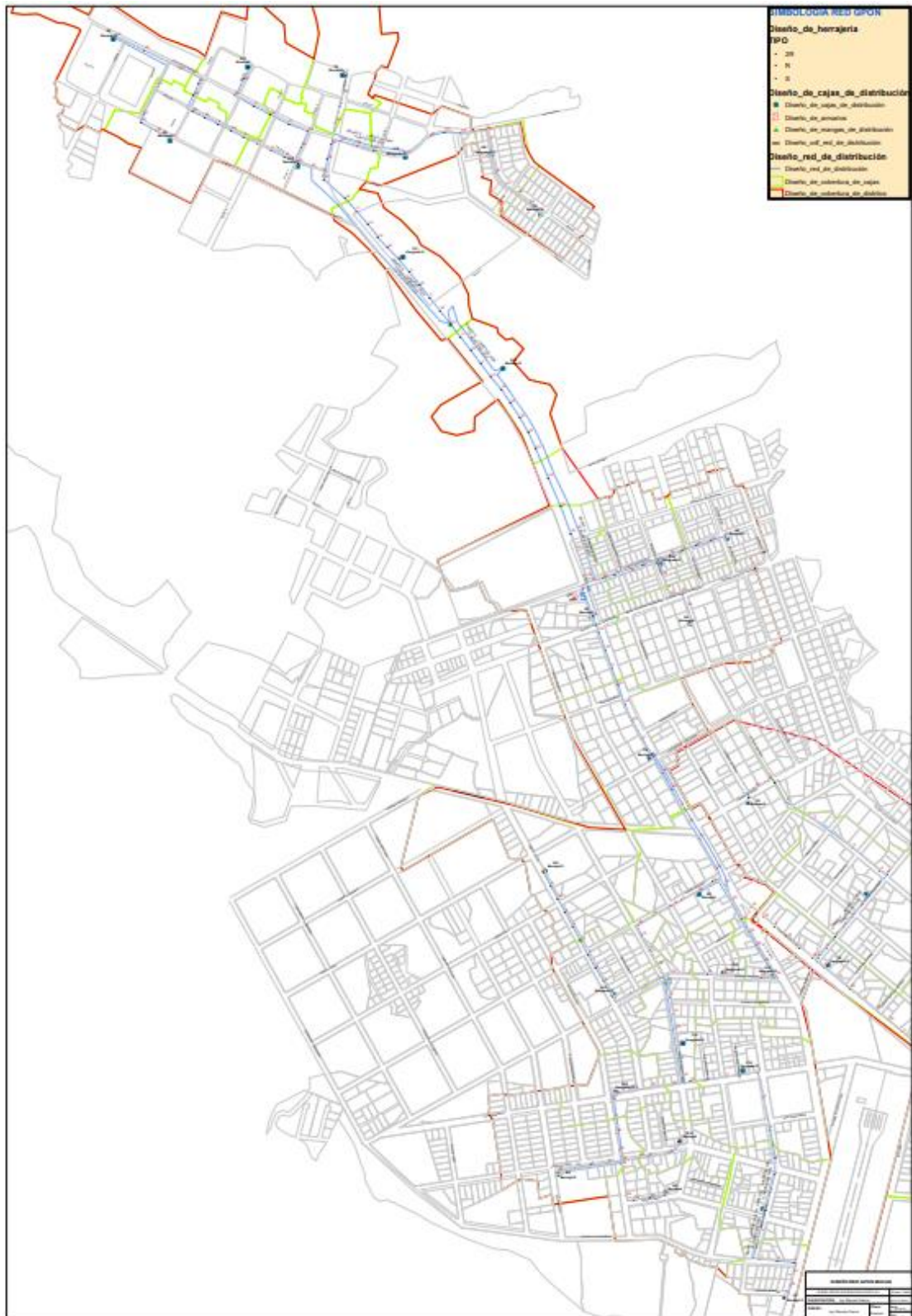
## Anexo D: RED DE DISTRIBUCIÓN DISTRITO 3.



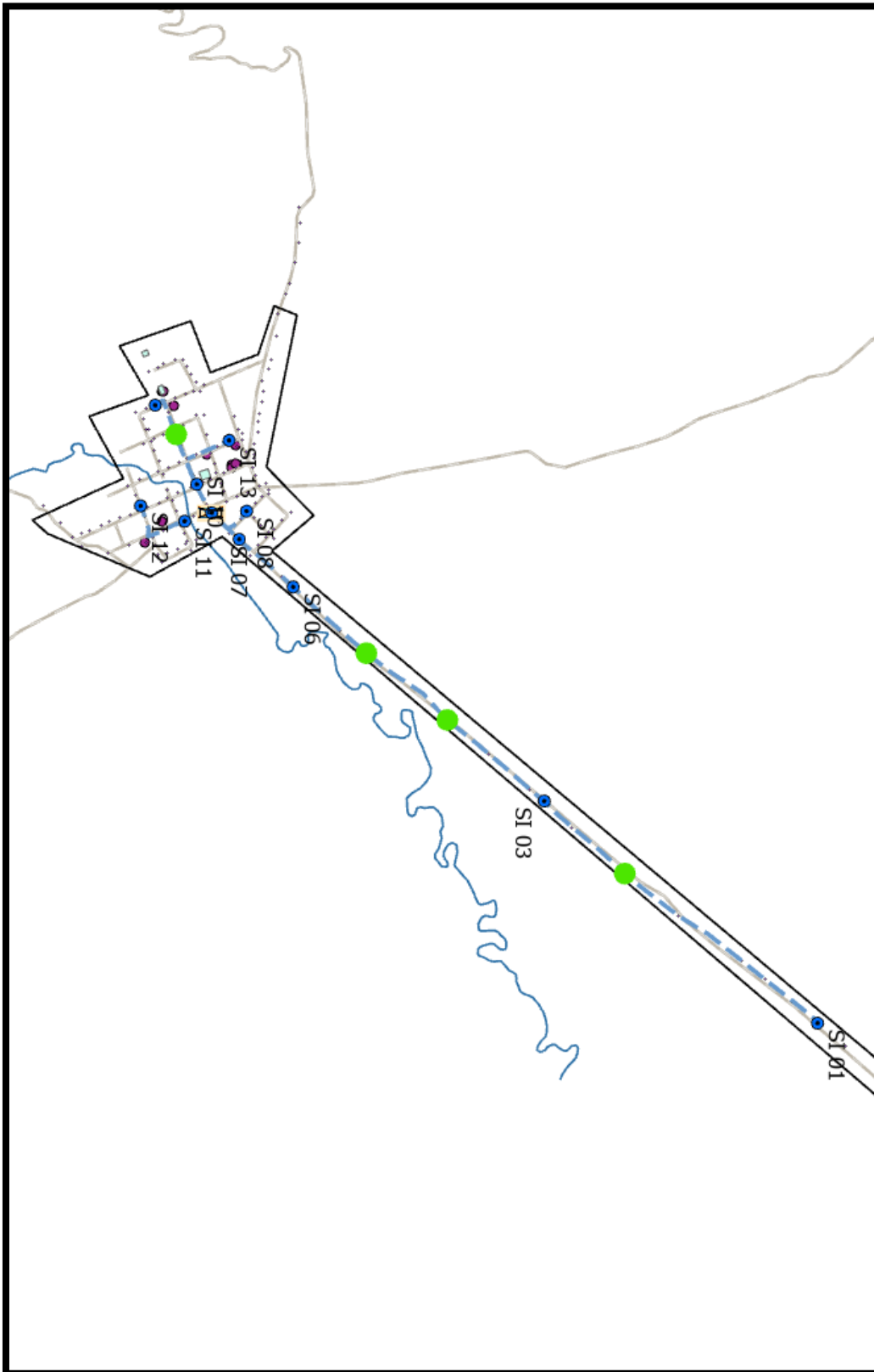
## Anexo E: RED DE DISTRIBUCIÓN DISTRITO 4.



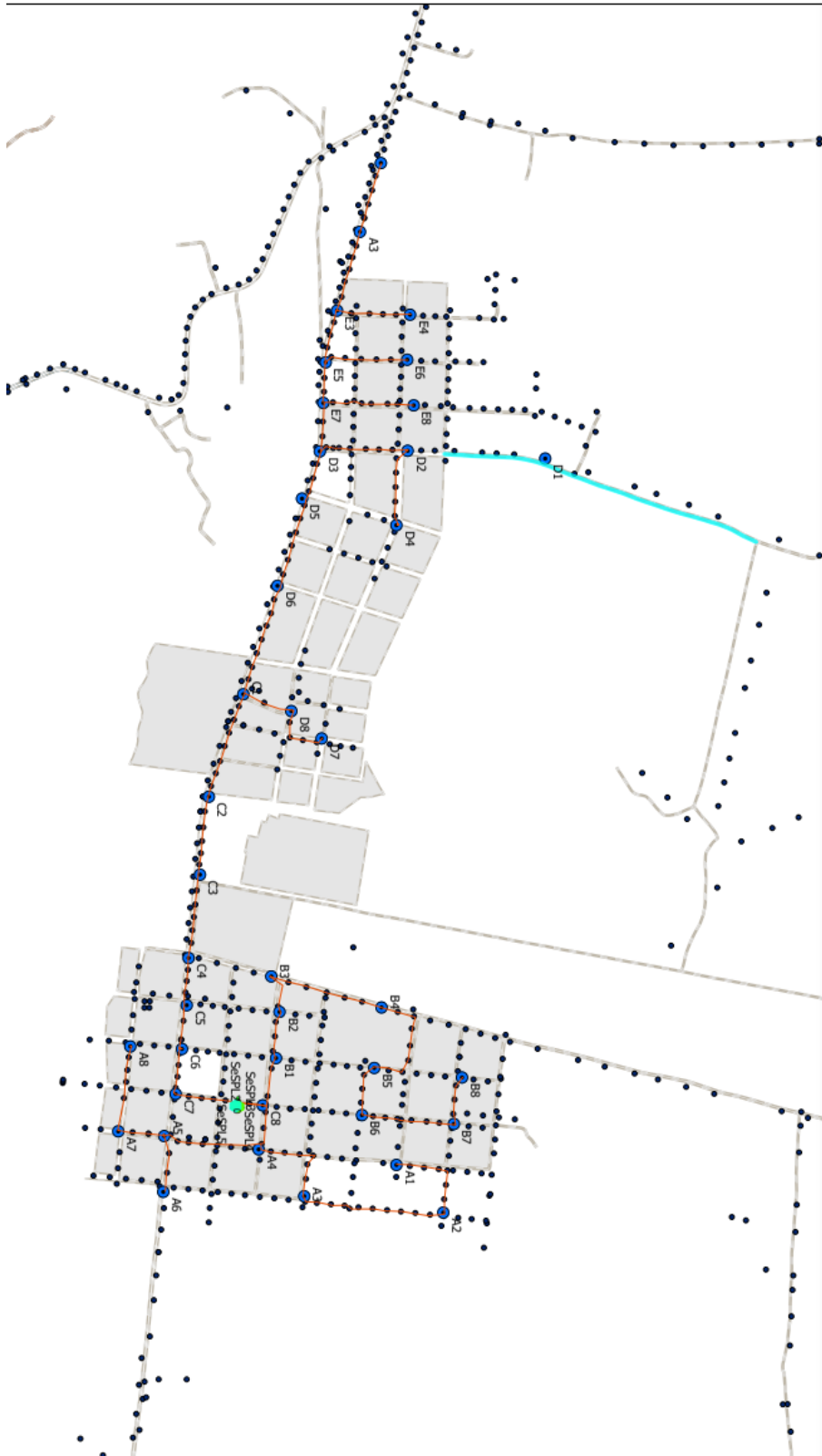
## Anexo F: RED DE DISTRIBUCIÓN DISTRITO 5.



Anexo G: RED DE DISTRIBUCIÓN DISTRITO SAN ISIDRO.



Anexo H: RED DE DISTRIBUCIÓN DISTRITO SEVILLA.

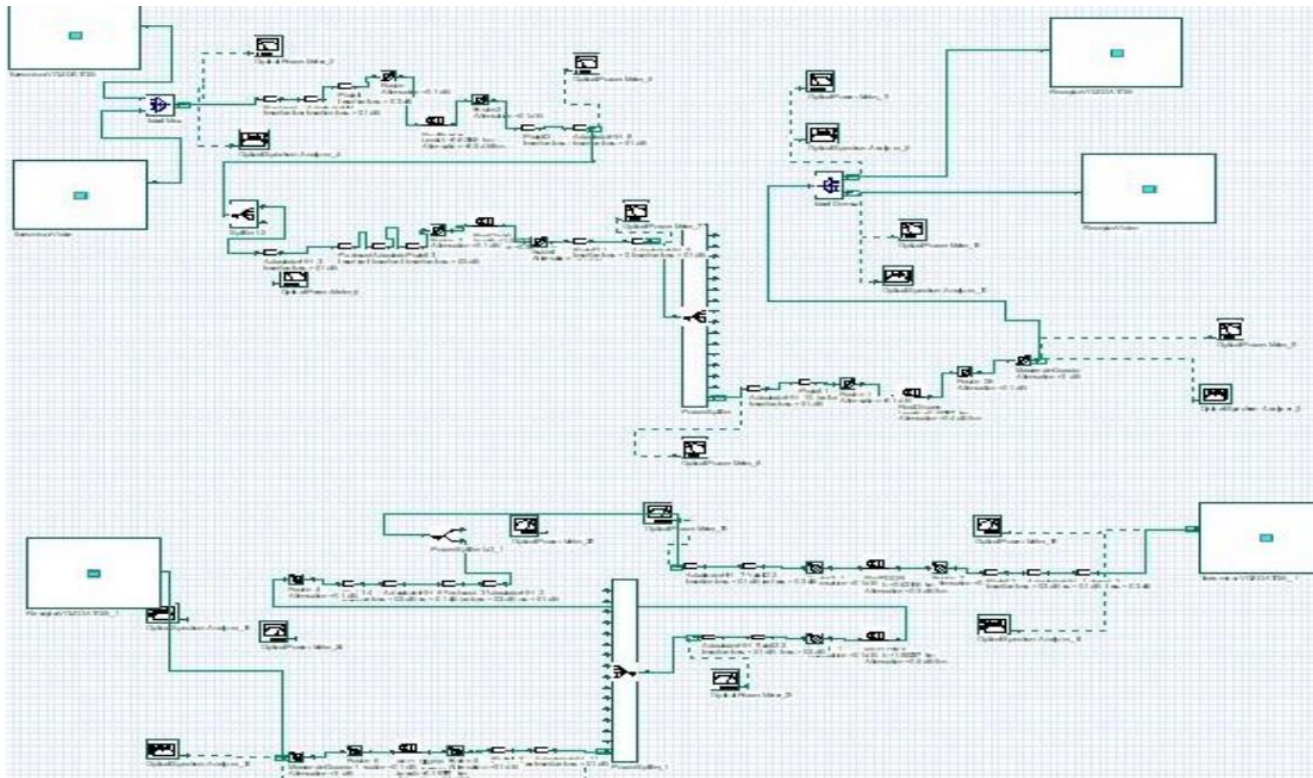


# Anexo I: RED DE DISTRIBUCIÓN DISTRITO RIO BLANCO.





Anexo L: ESQUEMA DE SIMULACIÓN DE LA RED DE ACCESO.





**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL  
APRENDIZAJE**



**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS**  
**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

**Fecha de entrega:** 17/04/2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> MARCO ANTONIO RAIGOZA VALENCIA
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Facultad de Informática y Electrónica
<b>Carrera:</b> Carrera de Telecomunicaciones
<b>Título a optar:</b> Ingeniero en Electrónica, Telecomunicaciones y Redes.
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Fernanda Arévalo M.

